

**ERZURUM'DA PASİF ÖRNEKLEME YÖNTEMİYLE
ALANSAL HAVA KALİTESİNİN TAHMİNİ**

Özlem KOCAMAN

**Y. Lisans Tezi
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı
Doç. Dr. F. Sezer TURALIOĞLU
2010**

Her hakkı saklıdır

ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Y. LİSANS TEZİ

ERZURUM'DA PASİF ÖRNEKLEME YÖNTEMİYLE
ALANSAL HAVA KALİTESİNİN TAHMİNİ

Özlem KOCAMAN

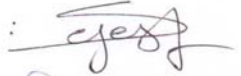
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ERZURUM
2010

Her hakkı saklıdır

Doç. Dr. F. Sezer TURALIOĞLU danışmanlığında, **Özlem KOCAMAN** tarafından hazırlanan bu çalışma 27/08/2010 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından **Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı**'nda yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

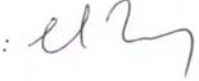
Başkan : Doç. Dr. F. Sezer TURALIOĞLU

İmza : 

Üye : Doç. Dr. Enes ŞAYAN

İmza : 

Üye : Yrd. Doç. Dr. Hanefi BAYRAKTAR

İmza : 

Yukarıdaki sonucu onaylarım

(imza)

Prof. Dr. Ömer AKBULUT
Enstitü Müdürü

ÖZET

Y. Lisans Tezi

ERZURUM'DA PASİF ÖRNEKLEME YÖNTEMİYLE ALANSAL HAVA KALİTESİNİN TAHMİNİ

Özlem KOCAMAN

Atatürk Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. F. Sezer TURALIOĞLU

Bu çalışmada, Erzurum şehir atmosferinde O₃, NO₂ ve SO₂ örnekleri kış ve bahar dönemlerinde 8 hafta süresince 14 noktada dış atmosfere ve 9 noktada iç atmosferde radiello pasif örnekleyiciler ile haftalık olarak toplanıp ekstrakte edilerek O₃ spektrofotometreyle, NO₂ ve SO₂ ise iyon kromatografi ile analiz edildi.

Ortalama O₃, NO₂ ve SO₂ konsantrasyon değerleri sırasıyla 60,84±6,45, 15,63±8,16, 15,65±11,74 µg/m³ olarak bulundu ve bu değerlerin yasal sınır değerleri aşmadığı görüldü. Bu kirlenici bileşenlerin bazı meteorolojik parametrelerle ilişkisi SPSS 17.01 paket program yardımı araştırıldı. Analiz sonuçlarına göre O₃'ün meteorolojik parametrelerle ilişkisi, NO₂ ve SO₂ değerlerinininkinden daha yüksek bulundu. Surfer6 programı yardımıyla parametrelerin şehirdeki alansal dağılımı çizildi. Şehir merkezine yaklaştıkça NO₂ ve SO₂ değerlerinin arttığı, O₃ değerinin ise düştüğü gözlemlendi.

2010, 47 sayfa

Anahtar Kelimeler: Erzurum, Hava kalitesi, Pasif örnekleyici

ABSTRACT

MS Thesis

THE ESTIMATION OF THE AIR QUALITY OF ERZURUM WITH THE PASSIVE SAMPLER

Özlem KOCAMAN

Atatürk University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Environmental Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. F. Sezer TURALIOĞLU

In this work, the radiello passive samplers of O₃, NO₂ and SO₂ are put in 14 places (external atmosphere) and 9 places (internal atmosphere) in Erzurum city for a period of eight weeks during both winter and spring seasons. And then these samplers are collected weekly and analyzed by extracting O₃ with spectrophotometer and NO₂ and SO₂ with ion chromatography.

In sequence, the values of O₃, NO₂ and SO₂ are found as 60,84±6,45, 15,63±8,16, 15,65±11,74 µg/m³. It is seen that these values don't exceed the limit of legal values. Moreover the relationship between these pollutive components and meteorologic parameters are searched by using SPSS 17.01 packet programme. And the result of the study shows that the relationship between O₃ and meteorologic parameters is higher than the values NO₂ and SO₂. Also with the help of the programme surfer 6, a graph for dispersion of the parameters in inner-city area is formed and it shows that the more you approach the city centre the more the values of NO₂ and SO₂ rise but the values of O₃ decrease.

2010, 47 pages

Keywords: Air quality, Erzurum, Passive sampler

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum bu çalışmada, danışmanlığımı üstlenen ve her türlü desteği sağlayan çok değerli hocam Sayın Doç. Dr. F. Sezer TURALIOĞLU'na içten teőekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım sırasında büyük ilgi ve desteğini gördüğüm Sayın Yrd. Doç. Dr. Hanefi BAYRAKTAR, Sayın Prof. Dr. Ergün YILDIZ'a teşekkür ederim.

Bu alışma, Atatürk Üniversitesi 2009/263 nolu bilimsel araştırma projesi (BAP) tarafından desteklenmiştir.

Laboratuvar çalışmam boyunca her zaman ilgi ve desteklerini gördüğüm arkadaşlarım Sayın Uzman Nejdet DEĞERMENCI, Sayın Gökçe Didar HAŐILOĐLU, Sayın İsmail Yusuf GÖDEKMERDAN'a teşekkür ederim.

Ayrıca örnekleme esnasında yardım ve desteğini gördüğüm Sayın Cihan PALOLUOĞLU'na teşekkür ederim.

Hayatım boyunca benden maddi manevi her türlü yardımı esirgemeyen çok sevgili aileme tez çalışmam esnasında gösterdikleri teővik ve ilgiden dolayı teőekkürlerimi sunarım.

Özlem KOCAMAN

Ağustos 2010

İÇİNDEKİLER

| | |
|--|-----------|
| ÖZET..... | i |
| ABSTRACT..... | ii |
| TEŞEKKÜR..... | iii |
| ŞEKİLLER DİZİNİ..... | vi |
| ÇİZELGELER DİZİNİ..... | vii |
| 1.GİRİŞ..... | 1 |
| 2.KURAMSAL TEMELLER | 3 |
| 2.1. Hava Kirliliği ve Hava Kalitesi..... | 3 |
| 2.2. Hava Kirleticiler, Kaynakları ve Etkileri..... | 3 |
| 2.2.1. Karbon Monoksit (CO)..... | 4 |
| 2.2.2. Kükürt Oksitler (SOx)..... | 4 |
| 2.2.3. Azot Oksitler (NOx)..... | 5 |
| 2.2.4. Ozon (O ₃) | 5 |
| 2.2.5. Partikül madde (PM)..... | 6 |
| 2.2.6. Hidrokarbonlar (HC)..... | 7 |
| 2.2.7. Ağır metaller..... | 7 |
| 2.3. Hava Kalitesi Örnekleme ve Ölçümü..... | 8 |
| 2.3.1. Aktif örnekleyiciler..... | 8 |
| 2.3.2. Pasif örnekleyiciler..... | 8 |
| 2.3.3. Otomatik analizörler..... | 9 |
| 2.3.4. Uzaktan algılayıcılar..... | 10 |
| 2.3.5. Biyoindikatörler..... | 10 |
| 3. MATERYAL ve YÖNTEM..... | 13 |
| 3.1. Örnekleme Noktaları | 13 |
| 3.2. Örnekleme Prosedürü | 14 |
| 3.3. Örneklerin Ekstraksiyonu..... | 16 |
| 3.3.1. NO ₂ ve SO ₂ ekstraksiyonu..... | 16 |
| 3.3.2. O ₃ ekstraksiyonu..... | 17 |
| 3.4. Örneklerin Analizi ve Hesaplanması..... | 18 |

| | |
|--|----|
| 3.4.1. O ₃ Analizi ve sonucun hesaplanması..... | 18 |
| 3.4.2. NO ₂ ve SO ₂ Analizi..... | 19 |
| 3.5. Kalite Kontrol..... | 21 |
| 4. ARAŞTIRMA BULGULARI | 22 |
| 4.1. Verilerin Genel Değerlendirilmesi | 22 |
| 4.2. Verilerin Zamansal Değişimi | 28 |
| 4.3. Bazı Meteorolojik Parametrelerin Verilere Etkisi..... | 30 |
| 4.4. İç ve Dış Ortam Verilerinin Karşılaştırılması | 34 |
| 4.5. Verilerin Alansal Dağılımı | 40 |
| 5. TARTIŞMA ve SONUÇ | 43 |
| KAYNAKLAR..... | 45 |
| ÖZGEÇMİŞ..... | 48 |

ŞEKİLLER DİZİNİ

| | | |
|------------|---|----|
| Şekil 3.1 | Difüzyon tüpleri ve kesiti | 15 |
| Şekil 3.2 | Ozonun DPE ile reaksiyonu ve hidroliz ürünleri..... | 15 |
| Şekil 3.3 | Absorplayıcı silika jel ve üçgen plakaya takılmış örnekleyici..... | 16 |
| Şekil 3.4 | Pyridine-4 aldehyde (PA)'nın MBTH ile reaksiyonu..... | 17 |
| Şekil 3.5 | Ozon ekstraksiyonu ve analizinde kullanılan karıştırıcı ve spektrofotometre..... | 17 |
| Şekil 3.6 | ICS 3000 İyon kromatografı..... | 19 |
| Şekil 3.7 | İyon Kromatografi akış şeması..... | 21 |
| Şekil 4.1 | Örnekleme noktalarındaki NO ₂ , SO ₂ ve O ₃ konsantrasyonlarının değişimi..... | 23 |
| Şekil 4.2 | Ozon konsantrasyonunun (a) güneşlenme süresi, (b) sıcaklık, (c) nem ve (d) rüzgar hızı ile ilişkisi..... | 31 |
| Şekil 4.3 | NO ₂ konsantrasyonunun (a) güneşlenme süresi, (b) sıcaklık, (c) nem ve (d) rüzgar hızı ile ilişkisi..... | 32 |
| Şekil 4.4 | SO ₂ konsantrasyonunun (a) güneşlenme süresi, (b) sıcaklık, (c) nem ve (d) rüzgar hızı ile ilişkisi..... | 33 |
| Şekil 4.5 | Dış ortama karşı iç ortamda ki ozon konsantrasyonları | 34 |
| Şekil 4.6 | Dış ortama karşı iç ortamda ki NO ₂ konsantrasyonları..... | 36 |
| Şekil 4.7 | Dış ortama karşı iç ortamda ki SO ₂ konsantrasyonları..... | 38 |
| Şekil 4.8 | Ozon konsantrasyonunun alansal dağılımı | 41 |
| Şekil 4.9 | NO ₂ konsantrasyonunun alansal dağılımı..... | 41 |
| Şekil 4.10 | SO ₂ konsantrasyonunun alansal dağılımı..... | 42 |

ÇİZELGELER DİZİNİ

| | | |
|-------------|---|----|
| Çizelge 2.1 | Farklı hava kalitesi izleme yöntemlerinin avantaj ve dezavantajları..... | 12 |
| Çizelge 3.1 | Örnekleme noktalarının adları ve koordinatları..... | 14 |
| Çizelge 4.1 | Tüm dış noktalarda ölçülen parametrelerin ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) istatistiksel özellikleri..... | 22 |
| Çizelge 4.2 | Çeşitli bölgelerdeki NO_2 , SO_2 ve O_3 konsantrasyonlarının ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) karşılaştırılması..... | 25 |
| Çizelge 4.3 | SO_2 , NO_2 ve O_3 verilerinin ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) sınır değerleri (Özden vd 2008c)..... | 27 |
| Çizelge 4.4 | 14 noktadaki O_3 , NO_2 ve SO_2 'nin 8 haftalık korelasyon matrisi.... | 28 |
| Çizelge 4.5 | Kirletici konsantrasyonlarının ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) kış ve bahar mevsimindeki genel istatistiksel özellikleri..... | 29 |
| Çizelge 4.6 | Kirleticilerin kış ve (bahar) daki korelasyon matrisi..... | 29 |
| Çizelge 4.7 | İç ve dış ortamda bulunan ozon değerleri ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ve oranları..... | 35 |
| Çizelge 4.8 | İç ve dış ortamda bulunan NO_2 değerleri ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ve oranları..... | 37 |
| Çizelge 4.9 | İç ve dış ortamda bulunan SO_2 değerleri ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ve oranları..... | 39 |

1. GİRİŞ

Hava Kirliliği, atmosferde doğal süreçleri bozmakta ve insan sağlığını olumsuz yönde etkilemektedir. Dünyada son 30 yıldır hava kirliliği düzenli olarak izlenmesine ve mücadele edilmesine rağmen, özellikle büyük şehirlerde kirlilik düzeyleri halen güvenli kabul edilen sınırların üzerindedir. 1980'li yıllara kadar dünyada 1.3 milyar kişinin hava kalite standartlarının üstünde kirlilik içeren şehirlerde yaşadığı saptanmıştır. Hava kirliliği, dünya genelinde özellikle endüstriyel tesislerden, konutlarda ısınma amaçlı yakıt tüketiminden ve motorlu taşıt egzozlarından kaynaklanmaktadır. Dünyada hava kirletici emisyonlarda 2030 yılına kadar beş katlık bir artış beklenmektedir. Özellikle gelişmekte olan bölgelerde hızlı kentleşme ve enerji tüketiminin artışı ile birlikte kirlilik de artmaktadır.

Ülkemizde bir çevre problemi olarak hava kirliliği, ilk kez 1960'lı yılların başlarında Ankara'da ortaya çıkmıştır. 1980'den sonra özellikle yerleşim alanlarında önemli bir problem haline gelen hava kirliliğinin başlıca kaynağını, enerji elde etmek amacıyla kullanılan yakıtlar, ısınma sistemleri ve yakma prosesleri oluşturmaktadır. Şehirlerde araç trafiği de, önemli bir hava kirliliği kaynağıdır. Endüstriyel bölgelerde de hava kirliliği; endüstriyel tesislerin yer seçimine, mevcut sanayi türlerine ve tesislerde atık gaz emisyonlarına yönelik uygulanan kontrol tedbirlerine bağlı olarak, farklılıklar göstermektedir. Hava kirliliğini oluşturan parametreler sadece lokal olarak etkili olmayıp, meteorolojik faktörlere bağlı olarak uzak mesafelere taşınabilmekte ve bu bölgelerde lokal bir kirletici kaynak bulunmamasına rağmen hava kirliliğine sebep olabilmektedir. Bundan dolayı kirleticilerin gerçek kaynaklarını belirlemek üzere; lokal kirlilik ölçümlerinin yanı sıra, sınırlar ötesi oluşabilecek kirlenme boyutlarının da tespit edilmesi gerekmektedir.

Ülkemizde Ankara'dan sonra hava kirliliğinin en yoğun olarak hissedildiği kent Erzurum olmuştur. Kentte, ısınma amacıyla 1978 yılına kadar kok kömürü kullanılmakta iken, bu yıldan sonra kok kömürü tahsisinin durdurulması ve yerine

kirleticilik özelliği fazla olan linyit ve asfaltitlerin tahsis edilmesine bağlı olarak hava kirliliği sorunu gündeme gelmiştir. 1978-1979 kış döneminde ilk kez görülen hava kirliliği sorunu, daha sonraki yıllarda artarak devam etmiş, 2004 yılından sonra şehirde giderek artan doğal gaz kullanımı nedeniyle hava kalitesi iyileşmeye başlamıştır. Erzurum kentindeki hava kirliliğinde, yakılan yakıtın kirleticilik özelliği yanında, yakma yöntemi, meteorolojik faktörler, topoğrafik özellikler ve kentin konumu da etkili olmuştur.

Bu çalışma, Erzurum'da kış ve bahar mevsiminde çeşitli iç ve dış ortamlarda kükürt dioksit (SO_2), azot dioksit (NO_2) ve ozon (O_3)'nun pasif örnekleme sistemiyle konsantrasyonlarının belirlenmesi, bunların kendi aralarında ve meteorolojik parametrelerle ilişkilerinin araştırılması ve kirlilik dağılım haritalarının oluşturulması amacıyla yapılmıştır.

2.KURAMSAL TEMELLER

2.1. Hava Kirliliği ve Hava Kalitesi

Hava kirliliği; havada katı, sıvı ve gaz şeklindeki yabancı maddelerin insan sağlığına, canlı hayatına ve ekolojik dengeye zarar verecek miktar, yoğunluk ve sürede atmosferde bulunmasıdır. Diğer bir ifadeyle hava kirliliği, insanların çeşitli faaliyetleri sonucu meydana gelen üretim ve tüketim aktiviteleri sırasında ortaya çıkan atıklarla hava tabakasının kirlenerek, yeryüzündeki canlı hayatının olumsuz yönde etkilenmesidir (Güneş vd 2008).

Hava kalitesi, solunan havanın ne kadar temiz ve kirli olduğunu gösteren bir ölçüttür. Bilim dünyası böyle bir tanım kavramı içerisinde havanın doğal yapısını belirli gazların birleşimi olarak algılamakta ve onun haricindeki her şeyi de kirletici sınıflandırması adı altında incelemektedir. Teknoloji geliştikçe tehlikeli boyutlara ulaşan kirleticilerin, insan sağlığı üzerindeki etkileri ortaya çıkmakta ve alınan tedbirler ile bir dizi kirletici önlenmişken bir başka grup kirleticinin tanımlanması yapılabilmektedir. Araştırma açısından çok olumlu olan bu denli gelişmeler, yönetici açısından ise her zaman emek ve masraf gerektiren kalemler haline gelmekte ve belki de çığ gibi büyüyen önlemler halkası içerisinde ana sorunlar dahi çözümsüz hale gelebilmektedir (Saydam 2008).

2.2. Hava Kirleticiler, Kaynakları ve Etkileri

Hava kalitesini etkileyen parametreler hava kirletici olarak adlandırılır. Hava kirleticiler; karbon monoksit (CO), kükürt dioksit (SO₂), azot oksitler (NO_x), ozon (O₃), partiküller maddeler (PM), hidrokarbonlar (HC) ve ağır metallerdir.

2.2.1. Karbon Monoksit (CO)

Karbonmonoksit renksiz, kokusuz, ve tatsız bir gazdır. Birincil bir hava kirletici olan karbonmonoksit, fosil yakıt veya organik maddelerin eksik yanması sonucu oluşur. Ana kaynağı motorlu taşıt trafiğidir. Kandaki oksijen taşıyan hemoglobin üzerinde kuvvetli etkisi vardır. Kandaki oksijen, karbon monoksit ile yer değiştirdiğinde oksijen açlığına neden olarak aşırı durumlarda ölümlere yol açabilir (Yeşilyurt ve Akcan 2001).

2.2.2. Kükürt Oksitler (SO_x)

Yakma tesislerinde yakıttaki S'ün oksitlenmesiyle oluşan kükürt oksitler, % 95 oranında kükürt dioksit (SO₂) formunda atmosfere atılır. Bu kirletici, boğucu, renksiz, asidik bir gazdır. Hava kalitesini etkileyen en önemli birincil kirleticilerden olan kükürt dioksitin (SO₂) başlıca kaynağı, sabit yakma kaynaklarında (yakma tesisleri) kükürt içeren yakıtların yakılmasıdır. Küresel ölçekte SO₂ kömür yakma tesislerinden %60, petrol rafinerileri ve yakmadan %30 oranında kaynaklandığı tahmin edilmektedir (Taşdemir vd 2005). SO₂, kış mevsiminde ısınmadan kaynaklanan önemli bir antropojenik kirletici olduğu için özellikle kışı oldukça soğuk ve uzun geçen bölgelerde önemli miktarlarda atmosfere atılabilmekte ve bu bölgelerde önemli sorunlara sebebiyet verebilmektedir. SO₂, sülfirik asit ve sülfat aerosollerinin oluşumuna, sülfat ve SO₂'nin birikimine katkıda bulunarak yağışların asiditesinin artmasına sebep olmaktadır (Aneja vd 2001).

SO₂'nin yüksek konsantrasyonları, öksürük ve bunun sonucunda akciğer fonksiyonlarında değişime neden olarak solunum sistemi tahribatına neden olmaktadır. Bu gaz ayrıca taş binaların ve diğer materyallerin de korozyonuna neden olur.

2.2.3. Azot Oksitler (NO_x)

Atmosferde bulunan en önemli azot oksit bileşikleri azot monoksit (NO) ve azot dioksit (NO₂) dir. Yüksek sıcaklıktaki yanma proseslerinden oluşan NO gazı atmosferde oksitlenerek NO₂'ye çevrilmekte, azot dioksitte (NO₂) gün ışığında fotolize uğrayarak tekrar azot monoksite dönüşmekte ve troposferde O₃ oluşumuna sebep olmaktadır (NO₂ + hν (+O₂)→NO + O₃). İkincil bir kirletici olan O₃ ise tekrar azot monoksiti oksitleyerek bu reaksiyon döngülerine katılmaktadır. Dolayısıyla troposferde NO/NO₂ dönüşümü ve O₃ üretimi ve tüketimi iç içedir (NO + O₃→NO₂ + O₂). Azot oksitlerin ana kaynağı, yakma tesisleri olup şehir atmosferinde NO_x'in başlıca antropojen kaynağı motorlu taşıtlardır (Cardenas vd 1998). Troposferde azot oksitlerin kalış süresi, yaz mevsiminde bir günden daha az, aktif fotokimyasal şartlar olmadığında ise birkaç gün olabilir (Seinfeld 1986).

Azot dioksit, bina içinde, bazen bina dışındaki değerden çok yüksek olabilir. Çünkü bina içinde ısınma ve pişirme amacı ile kullanılan yakıtların yanması sonucu oluşup bunlar oda içinde birikebilir (Paloluoğlu 2008). Azot oksitler göz tahrişine, üst solunum sisteminde enfeksiyona (özellikle çocuklarda), astımın şiddetlenmesine, bronşitin artmasına neden olur.

2.2.4. Ozon (O₃)

Troposferdeki ozon, troposferik/stratosferik değişimler ve troposfer içinde oluşan fotokimyasal reaksiyonlar ile meydana gelmektedir (Duenas 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 öncülerin (NO_x ve VOC) bu alanlardan uzun menzilli taşınımları ile rüzgar altı yöndeki kırsal alanlarda da ozon seviyelerinin yükselmesine katkıda bulunabilmektedir (Aneja vd 2000).

Ozon, özellikle yaz mevsiminde güneşli havalarda ve yüksek sıcaklıkta oluşumu artar. Çocuklar, dış ortamda aktif olan yetişkinler, astım gibi solunum hastalığı olan ve ozona karşı çok hassas olan kişiler; ozon maruziyetine karşı en yüksek risk grubudur. Ancak tüm yaş grupları ve dışarıda aktif olan kişiler de risk altındadır. Çünkü, fiziksel aktivite sırasında ozon, akciğerlerin derinliklerine kadar nüfuz ederek zararlı etkilerini gösterir. Solunum rahatsızlığı olan kişilerde, ozona maruziyet sonucu, akciğerlerin etkilenmesi daha kolaydır. Ozon, solunum yollarını tahriş edebilir (öksürük, boğaz tahrişi ve göğüste rahatsızlık hissi gibi) ve akciğer fonksiyonunu azaltarak, derin ve kuvvetli nefes almayı güçleştirebilir. Akciğer fonksiyonundaki bu azalma, kişinin dış ortamdaki aktivitesini sınırlandırabilir ve özellikle astımı olan kişiler fazla etkilenebilir (Ertaş ve Yıldız 2008).

2.2.5. Partikül madde (PM)

Atmosferde gazların dışında bileşenler de bulunur. Sıvı veya katı taneciklerin gaz ortamında askıda durmasıyla oluşan ve partikül madde diye adlandırılan kirletici türü, ister doğal isterse yapay kaynaklı olsun; çeşitli iklimsel ve sağlık etkileriyle önem kazanmaktadır. Bu asılı maddelerin çok ince olup havada koloidal süspansiyon oluşturmalarına aerosol denmektedir. Doğal sis olayında asıl etken bu aerosollerdir. Bunun gibi kirlenmeye bağlı yapay sis olaylarında aeroseller etkili olmaktadır. Tozlar, katı maddelerdir ve doğrudan endüstri veya ısınma tesislerinin atık gazlarıyla havaya atılan kül, kömür ve çimento tozları, kum, talaş, toprak gibi maddeler bu sınıfa girer. Havanın tozlu olması, yani doğal veya yapay partikül maddelerle dolu olması; görüş mesafesini kısaltmakta, güneş ışınlarının enerji taşıdığı dalga boylarında etkili olarak gelen enerji akışını değiştirmekte insan, hayvan ve bitki sağlığını olumsuz yönde etkilemektedir.

2.2.6. Hidrokarbonlar (HC)

Fosil yakıtların yakılması sonucu oluşan kirleticilerdir. Motorlu taşıtlarda kullanılan petrolün, tüm olarak yanmaması etilen (C_2H_4) ve benzen (C_6H_6) gibi çeşitli hidrokarbonların çevreye salınmasına neden olur. Bu hidrokarbonlar, havadaki başka kimyasal maddelerle tepkimeye girdiklerinde, gözlere ve solunum yollarına zararlı etkileri ortaya çıkar.

Gaz haldeki hidrokarbonların (HC) yerel boyuttaki doğrudan sağlık etkilerinin yanında, atmosferdeki fotokimyasal reaksiyonlar sonunda oluşturdukları ürünler büyük önem taşır. Metan ile başlayan bu gruptaki organik maddelerin metan eşdeğeri ile ifade edildiği hafif alkanlardan meydana gelen bir alt gurubu mevcuttur. Metan daha çok sera gazı etkisiyle tanınır. Çünkü metan molekülünün de karbon dioksit gibi güneş radyasyonunu yutarak ısıya dönüştürmektedir. Havadaki hidrokarbon gaz ve buharları genelde uçucu organik karbon (VOC) bileşikleri olarak tanınır. VOC'larda zincir yapısında düz karbon iskeletleri taşıyan (alkil) veya benzen halkaları taşıyan (aril) kökler içeren, doymuş veya doymamış haldeki maddeler ile aldehit, keton veya asit gurupları taşıyabilen organik maddeler yer almaktadır. Poliaromatik hidrokarbonlar (PAHlar), petrol yanmasından birincil olarak oluşan benzen (C_6H_6) gibi gaz ve PM formunda organik bileşiklerdir (Paloluoğlu 2008).

2.2.7. Ağır metaller

Arsenik, kadmiyum, kurşun, civa gibi ağır metaller, atık içerisindeki metal bileşiklerinden kaynaklanmakta, yanma sonucu parçacık veya gaz fazında baca gazına geçmektedir. Parçacık şeklinde olan ağır metaller diğer partiküllerle birlikte partikül tutma sistemlerinde tutulurlar. Ağır metallere kanserojen olanlar arsenik, kadmiyum, krom ve berilyumdur. Bazı metaller yanma odası çıkışındaki baca gazı sıcaklıklarında buhar fazında bulunabilirler. Bunlar ise püskürtmeli kurutucu veya ıslak arıtıcılarda

bacagazının soğutulması ile birlikte yoğunlaşma sonucu tutulabilirler (Ertürk ve Güneş 2008).

2.3. Hava Kalitesi Örneklemesi ve Ölçümü

Hava kalitesi ölçüm yöntemleri; aktif örnekleyiciler, pasif örnekleyiciler, otomatik online analizörler, uzaktan algılayıcılar ve biyoindikatörler olmak üzere 5 grupta incelenebilir.

2.3.1. Aktif örnekleyiciler

Hava numunesinin bir pompa aracılığı ile kimyasal veya fiziksel bir ortamdan geçirilebilmesi için elektrik enerjisine ihtiyaç duyarlar. Örneklenen hava hacminin yüksek olması hassasiyeti arttırır. Günlük ortalama ölçümler elde edilebilir. Geniş çapta kullanılan aktif örnekleme yöntemleri, SO₂ için asidimetrik yöntem, asılı partikül madde için OECD filtre (reflektometrik) yöntemi, toplam veya solunabilir partiküller için US EPA gravimetrik yüksek hacimli (High-Volume) örnekleme yöntemidir.

2.3.2. Pasif örnekleyiciler

Genellikle disk veya silindirik tüp şeklindedir. Ölçülecek olan kirletici, (ağır metaller, PAH, NO_x, VOC vb.), seçilen bir kimyasal ortamda sorbsiyon yöntemi ile toplanır. Uygun örnekleme süresi boyunca maruziyetten sonra, (tipik olarak bir kaç günden bir aya kadar) örnekleyici laboratuara getirilir ve kirletici miktarı kantitatif olarak uygun analiz ekipmanları ile belirlenir. Pasif örneklemenin avantajı, kolaylığı ve başlangıçta bir örnekleyici için 15-20 dolarlık bir harcama ile çalışmalara başlanabilmesidir. Sonuç olarak, çok sayıda ünite ile kirleticinin mekân içindeki dağılımı konusunda faydalı bilgileri sağlar. Ancak bu teknikle sadece entegre ortalama kirletici konsantrasyonları hakkında bilgi sağlanmaktadır.

Şehirlerde hava kalitesini çok noktada aktif yöntemlerle ölçüp alansal dağılımını belirlemek oldukça pahalıdır. Bu nedenle çok noktada yapılan ölçümlerde, pasif örnekleyicilerin kullanımı daha fazla tercih edilmektedir. Pasif örnekleyicilerin maliyetinin çok yüksek olmaması, pratik olması, kullanımında teknik bir personele ihtiyaç duyulmaması, arazi çalışmalarında hiçbir güç kaynağı kullanılmaması bu yöntemi daha geniş sahalardaki örnekleme uygulamalarında uygulama olanağı sağlamaktadır (Santis *et al* 1997; Krupa and Legge 2000; Tang and Thomas 2000; Helaleh 2002; Buffoni 2002; Plaisance *et al.* 2002; Varshney and Singh 2003; Özden 2005; Klanova *et al* 2006; Plaisance *et al.* 2007; Civan vd 2007; Yay vd 2008; Özden vd 2008a; Meng *et al.* 2008; Özden vd 2008b; Lozano *et al.* 2009; Vardoulakis *et al.* 2009; Martin *et al.* 2009; Salem *et al.* 2009).

Pasif örnekleyiciler, son zamanlarda atmosferdeki gaz fazı kirleticilerinden olan NO₂ ve O₃'ün konsantrasyonlarının belirlenmesinde önem kazanmıştır. Pasif örnekleyicilerin kullanımı aktif örnekleyicilere göre eski bir teknik olmasına rağmen pasif örnekleme sistemi en az aktif örnekleme sistemi kadar yüksek verimle çalışmaktadır (Santis *et al* 1997; Tang *et al* 1999; Buffoni 2002; Cruz *et al* 2004; Civan vd 2007; Greenwood *et al* 2007; Özden vd 2008a).

2.3.3. Otomatik analizörler

Bu cihazlar, ölçülen gazın fiziksel ve kimyasal özelliklerinden yararlanarak sürekli tayinlerine olanak sağlarlar. Örneklenen hava, ya gazın optik özelliğine göre doğrudan reaksiyon hücresine girer ya da kimyasal ışımaya veya floresans ışığı üreterek kimyasal reaksiyon oluşur. Işık detektörü, ölçülecek kirleticinin konsantrasyonu ile orantılı olarak elektriksel bir sinyal oluşturur.

2.3.4. Uzaktan algılayıcılar

Uzaktan algılayıcılar belirli bir hat boyunca (normal olarak >100m) çok bileşenli ölçümlerin yapılmasına olanak sağlar. Mobil sistemler kullanılarak, alan içindeki 3-D (DIAL teknikleri ile) kirletici konsantrasyon haritaları oluşturulabilir. Uzaktan algılayıcılar, kaynak yakınındaki araştırmalar ve atmosferdeki dikey ölçümler için faydalıdır. Ancak, mevcut ticari gelişim içinde, bu cihazlar hem çok pahalı (>200.000 \$) ve de çok karmaşıktır. Ayrıca verilerin geçerliliği, kalite güvenilirliği ve kalibrasyonu konusunda ciddi zorluklar yaşanabilir.

2.3.5. Biyoindikatörler

Hava kalitesi de dahil olmak üzere çeşitli çevresel faktörleri belirlemek için, özellikle etkilerin araştırılmasında biyoindikatörlerin kullanılması gittikçe artan düzeyde araştırmacıların ilgi alanına girmiş bulunmaktadır. "Biyozleme" terimi (genel olarak hava için uygulanır ve bitkiler kullanır) çok farklı düzeylerde farklı örnekleme ve analiz yaklaşımlarını kapsar. Bu yöntemler:

1. Kirleticiler için alıcı ortam olarak bitki yüzeyini kullanmaktır (kurşun için maydanoz, PAH için yosun). Aslında bitkinin kendisi bir örnekleyicidir, klasik yöntemler ile laboratuarda toplanarak analiz edilmelidir.
2. Kirleticilerin veya metabolitlerinin bitki dokusunda birikimi için bitki yeteneğini kullanmaktır (toplam sülfür için ladin iğne yaprakları, florür, sülfür ve belli ağır metaller için çimen yetiştirilmesi). Yine bitki dokusu toplanmalı ve klasik yöntemler ile analizi yapılmalıdır.
3. Kirleticilerin bitki metabolizması ve genetik bilgi üzerindeki etkilerinin belirlenmesidir (ozon için ladin kloroplastları). Toplama ve analizi yüksek teknikleri gerektirir.
4. Kirleticilerin bitki görsel görüntüsü üzerindeki etkilerinin belirlenmesidir (ozon için nikotin, SO₂ için likenler). Değerlendirme, sahada uzmanlar tarafından yapılabilir ve analize gerek yoktur.

5. Toplam hava kalitesinin bir göstergesi olarak özel bitki dağılımlarını analiz etmektir (hava kirliliğinin toplam fototoksik etkisini belirlemek için likenlerin tipi ve dağılımı). Değerlendirme sahada uzmanlar tarafından yapılır. Analize gerek yoktur (Yeşilyurt ve Akcan 2001).

Biyoidikatör yöntemleri için bazı rehberler geliştirilmesine rağmen, bu tekniklerin standardizasyonu ve harmonizasyonunda çözülememiş olan çok sayıda problem bulunmaktadır. Farklı bölgelerde kullanılabilir bitki tipleri sınırlıdır. Mevcut bilgilere göre, geniş çapta farklılık gösteren yerlerde biyoidikatörlerin kullanımını sağlamak için anlamlı kalite kontrol prosedürlerini geliştirmek çok zordur.

Yukarıda anlatılan hava kalitesi izleme metodlarının avantaj ve dezavantajları Çizelge 2.1 de özetlenmiştir.

Çizelge 2.1. Farklı hava kalitesi izleme yöntemlerinin avantaj ve dezavantajları

| YÖNTEM | AVANTAJLAR | DEZAVANTAJLAR | MALİYET |
|----------------------------|--|---|-----------------------------|
| Pasif Örnekleyiciler | Düşük maliyetli. Çok basit. Tarama ve ilk başlangıç çalışmaları için kullanışlı. | Bazı kirleticiler için ispatlanmamıştır. Genel olarak sadece aylık ve haftalık ortalamaları sağlar. | 15-20\$ / Numune |
| Aktif Örnekleyiciler | İşletilmesi kolay. Güvenilir İşletme /performans. Tarihsel veri seti. | Günlük ortalamaları sağlar.Laboratuvarda analizi gerektirir. | 20-80 bin \$ / Birim |
| Otomatik Analizörler | İspatlanmış, yüksek performanslı, saatlik veri alınması. On-line bilgi temini. | Karmaşıktır. Pahalıdır.Yüksek tecrübe gerektirir. Yüksek işletme maliyeti bulunur. | 10-20 bin \$ / Analizör |
| Uzaktan algılama cihazları | Bir hat boyunca veri temini. Kaynakların yakın çevresi ve atmosferde dikey ölçümler için kullanışlı olması. Çok bileşenli ölçümlerin yapılmasına olanak tanınması. | Çok karmaşık ve pahalıdır.Desteklemek, işletmek, kalibre etmek ve geçerliliğini onaylamak zordur. Geleneksel analizörler ile her zaman karşılaştırılabilir ve sonuçları vermez. | >200 bin \$ / Algılayıcı |
| Biyoidikatörler | Geniş alanlara uygulanabilir. | Standart yöntemler değildir. | |

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Örnekleme Noktaları

Kükürt dioksit (SO₂), azot dioksit (NO₂) ve ozon (O₃)'nun eş zamanlı olarak Erzurum'da alansal dağılımını belirlemek, iç ve dış ortam konsantrasyonları arasındaki ilişkiyi oluşturmak ve bu kirleticilerin kendi aralarında ve meteorolojik parametrelerle ilişkilerini belirlemek amacıyla şehrin genelini kapsayan 5 noktada sadece dış ortam, 9 noktada ise hem iç ve hem de dış ortam pasif örnekleme yapıldı. Örnekleme noktaları olarak trafiğin yoğun olduğu noktaların yanında yarı şehrsel ve kırsal olarak adlandırılabilen noktalar da seçildi. İç ve dış ortamın birlikte örneklendiği yerler; farklı bölgede seçilen 2 ev, 2 ilköğretim okulu, 1 hastane ve 1 alışveriş merkezi ve 3 resmi kurum olup örnekleme noktalarının açık adları ve koordinatları Çizelge 3.1'de verildi.

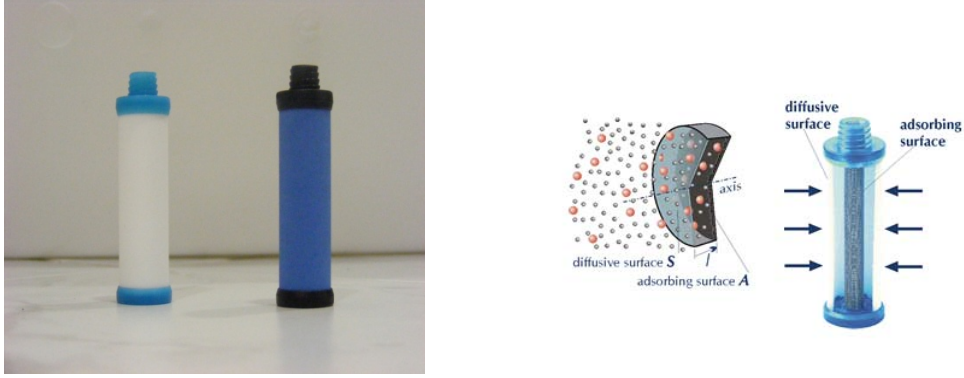
İç ve dış ortamda örnekleme noktaları belirlenirken bazı noktalar göz önünde bulunduruldu. Dış ortamda örnekleme noktaları belirlenirken; ağaç veya çalılardan en az 1 metre uzağa konulmasına, taşıt yolundan en az 5 metre uzağına konulmasına, havalandırma çıkışlarından en az 5 metre uzağa yerleştirilmesine, örnekleycilerin 1,5-2 metre yüksekliğe asılmasına dikkat edildi. İç ortamda yer seçimi yaparken de; örnekleycilerin dış kapıdan ve pencerelerden en az 2 metre uzağına yerleştirilmesine, örnekleycilerin ölçüm yapılacak odanın duvarı boyunca veya köşelerine koymaktan kaçınılmasına ve mümkün olduğunca odanın ortasına yerleştirilmesine, örnekleme yapılacak mekanlarda örnekleycilerin kirletici kaynakların çok yakınında olmamasına dikkat edildi.

Çizelge 3.1. Örnekleme noktalarının adları ve koordinatları

| Örnekleme Noktaları | Örnekleme Noktalarının Özellikleri | Koordinatlar |
|---------------------------------|------------------------------------|-----------------------|
| N1- Terminal | Yarı şehirsel | 37 S 0692656/ 4420487 |
| N2- Sanayi | Şehirsel | 37 S 0695168/ 4422393 |
| N3- Dadaşkent | Yarı şehirsel | 37 S 0687652/ 4421246 |
| N4- Üniversite Kavşağı | Şehirsel | 37 S 0692857/ 4419835 |
| N5- Gar | Şehirsel | 37 S 0693926/ 4420966 |
| N6- Çaykara | Şehirsel | 37 S 0693893/ 4420103 |
| N7- Balık Çiftliği | Kırsal | 37 S 0690756/ 4419139 |
| N8- Kayak Yolu | Yarı şehirsel | 37 S 0694516/ 4417751 |
| N9- Hıfzıssıhha | Şehirsel | 37 S 0694306/ 4419013 |
| N10- Güneş İlköğretim Okulu | Şehirsel | 37 S 0694412/ 4419889 |
| N11- Yenişehir AVM | Şehirsel | 37 S 0693832/ 4418080 |
| N12- Bölge Araştırma Hastanesi | Yarı şehirsel | 37 S 0691553/ 4417856 |
| N13- Çevre ve Orman Müdürlüğü | Yarı şehirsel | 37 S 0693346/ 4421242 |
| N14- Alparslan İlköğretim Okulu | Şehirsel | 37 S 0695329/ 4418761 |

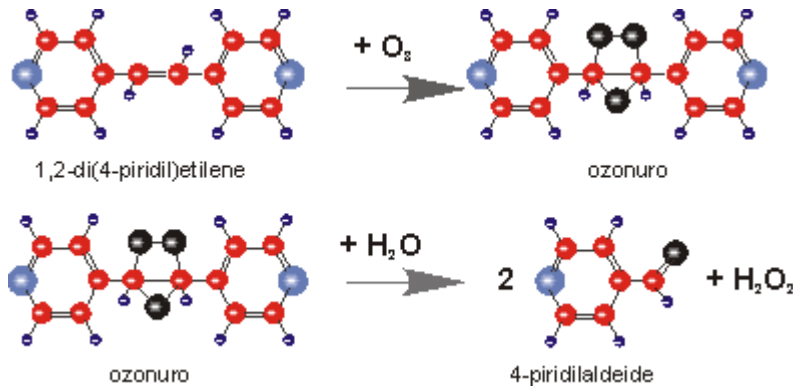
3.2. Örnekleme Prosedürü

Çalışmada Radiello marka pasif örnekleyiciler kullanıldı. Örnekleyici, 16 mm çapında, 50 mm uzunluğunda (47 mm. difüzyon için elverişli), 1.75 mm duvar kalınlığına sahip ve 20-30 µm gözenek boyutlu polietilen silindir tüpler içerir (Şekil 3.1). Silindirin sonuna iki selüloz asetat başlık konulmuştur. Pasif tüplerin çalışma prensibi gaz difüzyonuna bağlı hava hareketlerine dayanır.



Şekil 3.1. Difüzyon tüpleri ve kesiti

Ozon (O_3) örnekleyicisinde, mavi difüzyon tüpü içerisine yerleştirilen bir adsorplayıcı kartuş bulunmakta ve bu kartuş 1,2-di(4-piridyl) ethylene (DPE) ile kaplanmış silika jel (Şekil 3.3) ile doldurulmuştur. Örnekleme süresince ozon, membrandaki porlar boyunca adsorplayıcı kartuşa doğru difüze olmakta ve buradaki DPE ile reaksiyona girerek tutulmaktadır. Mavi renkli difüzyon tüpü örnekleme boyunca kartuşu ışıklardan korumaktadır. Plaisance ve arkadaşlarına (2007) göre, DPE ile reaksiyona giren O_3 , ozonüre oluşturur ve bunun hidroliz ürünleri pyridine-4-aldehyde (PA) dir (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. Ozonun DPE ile reaksiyonu ve hidroliz ürünleri

SO_2 ve NO_2 örneklemesinde kullanılan beyaz difüzyon tüpü içerisine triethanolamine (TEA) ile kaplanan kartuş konulmuştur. Azot dioksit (NO_2) ve kükürt dioksit (SO_2) TEA üzerine sırasıyla nitrit ve sülfat/sülfat iyonları olarak kimyasal adsorplanmaktadır.

O₃ ve SO₂/NO₂ örnekleme için kullanılan pasif tüpler yine aynı markanın üçgen plakasına vidalanarak (Şekil 3.3) örnekleme yerlerine asıldı ve 1 hafta sonra bu noktalardan kartuşlar toplanarak kendi tüplerine konuldu, etiketlendi ve laboratuara getirildi.



Şekil 3.3. Absorplayıcı silika jel ve üçgen plakaya takılmış örnekleme tüpü

3.3. Örneklerin Ekstraksiyonu

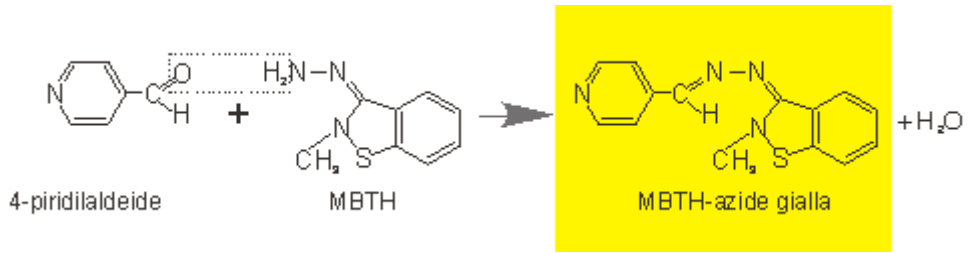
1 hafta örnekleme yerlerinde kalan kartuşlar toplanıp etiketlenerek laboratuara getirildi ve ekstraksiyona kadar buzdolabında saklandı.

3.3.1. NO₂ ve SO₂ ekstraksiyonu

Örnekleme kartuşlarının üzerine 5 ml ultra saf su eklendi ve kapağı kapatılıp 5 dakika hızlı karıştırıcıda karıştırıldı (Şekil 3.3). Sıvı örneği, filtre uçlu şırıngadan geçirildi. Bu örnekten 2 ml alınıp IC'nin viallerine konuldu. Üzerine % 0,15 H₂O₂ çözeltisinden 2ml ilave edilerek azot dioksit (NO₂) nitrit (NO₂⁻) formatına, kükürt dioksit (SO₂) sülfat (SO₄⁼) formatına çevrilerek okundu.

3.3.2. O₃ ekstraksiyonu

Örnekleyici kartuşların kapağı açılıp içindeki silika jel aynı tüpe boşaltıldı. Üzerine 5 ml MBTH (3-Methyl-2-benzothiazolinonhydrazon Hydrochlorid Hydrat) çözeltisi eklendi (0,5 gr MBTH ultra saf su ile çözüldü ve üzerine 0,5 gr H₂SO₄ eklenip 100 ml'ye tamamlandı) ve kapağı kapatılıp 1 saat aralıklı olarak hızlı karıştırıcıda karıştırıldı (Şekil 3.5). Bu esnada pyridine-4-aldehyde (PA), MBTH ile reaksiyona girerek MBTH-azide sarı bileşimini oluşturdu (Şekil 3.4) ve bileşik filtre uçlu şırıngadan geçirilerek spektrofotometrede okundu.



Şekil 3.4. pyridine-4-aldehyde (PA)'nın MBTH ile reaksiyonu



Şekil 3.5. Ozon ekstraksiyonu ve analizinde kullanılan karıştırıcı ve spektrofotometre

3.4. Örneklerin Analizi ve Hesaplanması

3.4.1. O₃ Analizi ve sonucun hesaplanması

Ozon analizleri Shimadzu UV-160A marka spektrofotometre (Şekil 3.3) kullanılarak 430 nm dalga boyunda yapıldı. Ölçülen absorbans değerleri kalibrasyon eğrisi kullanılarak ozon (µg) değerlerine çevrildi ve Eşitlik (1 ve 2) kullanılarak konsantrasyon değerlerine dönüştürüldü. Difüzyon katsayısı sıcaklığa bağlı olduğu için önce Eşitlik (1) de örnekleme esnasındaki sıcaklık (K) kullanılarak, o sıcaklıktaki örnekleme hızı (Q_K) bulundu ve Eşitlik (2) yardımıyla ozon konsantrasyonu C (µg/m³) hesaplandı. Bu eşitlik de; m (µg) ozonun miktarını ve t (dk) örnekleme süresini göstermektedir.

$$Q_K = Q_{298} \left(\frac{K}{298} \right)^{1,5} \quad Q_{298} = 24,6 \text{ ml/dk} \quad (1)$$

$$C(\mu\text{g}/\text{m}^3) = \frac{m(\mu\text{g})}{Q_K(\text{ml/dk}) \times t(\text{dk})} \times 1000000 \quad (2)$$

Kalibrasyonun eğrisinin hazırlanışı: Stok çözelti hazırlamak için, 25 µl 4-pyridinecarboxaldehyde alınıp ultra saf suda çözülerek 250 ml'ye tamamlandı. Bundan 5 farklı standart çözelti hazırlandı (0.05, 0.20, 0.35, 0.50, 0.75). Her standarttan 0,5 ml alınıp üzerine 4,5 ml MBTH çözeltisi eklenerek 1 saat aralıklı olarak hızlı karıştırıcıda karıştırıldı. Spektrofotometrede bu hazırlanan standartların absorbans değerleri okundu ve okunan bu absorbans değerlerine karşı ozon (µg) değerleri belirlendi ve kalibrasyon eğrisi oluşturuldu. Oluşturulan bu kalibrasyon eğrisine göre pasif örnekleycilerden ekstrakte edilen örneklerin ozon miktarları belirlendi.

3.4.2. NO₂ ve SO₂ Analizi

Ekstrakte edilen örneklerde, Dionex ICS 3000 marka iyon kromatografi (Şekil 3.6) kullanılarak, nitrit (NO₂⁻) ve sülfat (SO₄⁻²) iyonları belirlendi. Difüzyon katsayısı sıcaklığa bağlı olduğu için önce Eşitlik (3) yardımıyla örnekleme sıcaklığındaki hız (Q_K) bulundu. Nitrit (NO₂⁻) miktarı, *m* (µg), ve örnekleme süresi, *t* (dk), kullanılarak azot dioksit (NO₂) konsantrasyonu, *C* (µg/m³), Eşitlik (4) ile ve kükürt dioksit (SO₂) konsantrasyonu ise Eşitlik (5) yardımıyla hesaplandı.



Şekil 3.6. ICS 3000 İyon kromatografisi

$$Q_K = Q_{298} \left(\frac{K}{298} \right)^7 \quad Q_{298} = 78 \text{ ml/dk} \quad (3)$$

$$C_{NO_2} (\mu\text{g}/\text{m}^3) = \frac{m_{NO_2} (\mu\text{g})}{Q_K (\text{ml/dk}) \times t (\text{dk})} \times 1000000 \quad (4)$$

$$C_{SO_2} (\mu\text{g}/\text{m}^3) = \frac{m_{SO_4} (\mu\text{g})}{119 (\text{ml/dk}) \times t (\text{dk})} \times 1000000 \quad (5)$$

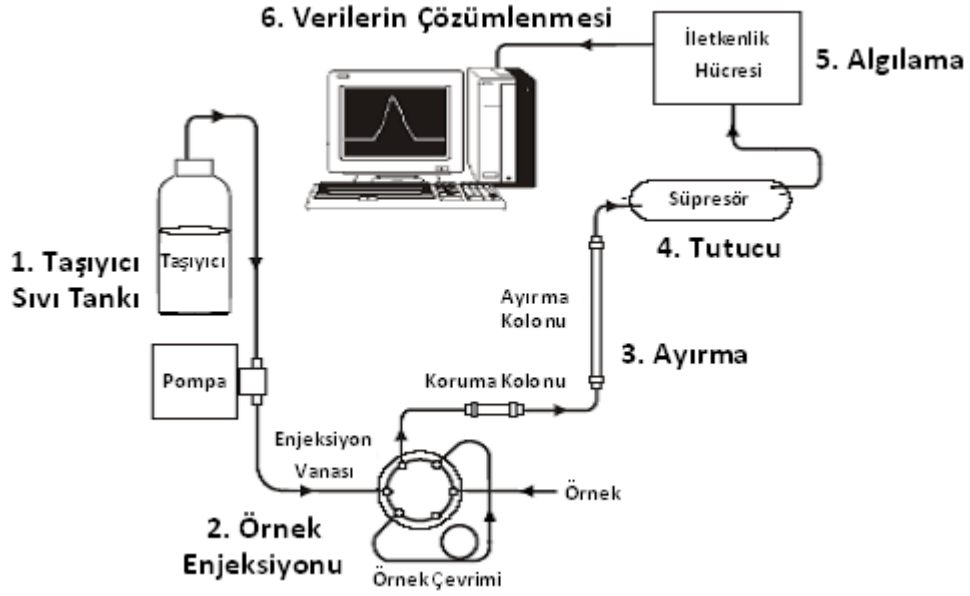
Kalibrasyon eğrisinin hazırlanışı: Hazır alınan Dionex 7 anyon standart II (Florür; 20 mg/L, Klorür; 100 mg/L, Nitrit; 100 mg/L, Bromür; 100 mg/L, Nitrat; 100 mg/L, Fosfat; 200; mg/L, sülfat; 100 mg/L) çözeltisinden 6 standart çözelti hazırlanarak

kalibrasyon egrisi oluşturuldu ve bu oluşturulan kalibrasyon egrisine göre numunelerdeki miktarlar belirlendi.

İyon kromatografi akış şemasında Şekil 3.7 de görüldüğü gibi bir pompa taşıyıcı sıvı olan 10 mM Na₂CO₃ çözeltisi (0.5 M Na₂CO₃' den 20 ml alındı ve 1000 ml'ye ultra saf su ile tamamlandı) sırasıyla;

- Enjeksiyon vanası; Yönlendirme (Akış yönü)
- Koruma kolonu: Ayırıcı kolona zarar veren maddelerin tutulması
- Ayırma kolonu: İyonların ayrılması (Florür (F⁻¹), Klorür (Cl⁻), Nitrit (NO₂⁻), Bromür (Br⁻), Nitrat (NO₃⁻), Fosfat (PO₄⁻³), Sülfat (SO₄⁻²), Klorat (ClO₃⁻), Klorit (ClO₂⁻), Bromat (BrO₃⁻))
- Tutucu: Katyonların geçişini engeller
- İletkenlik hücresi: İletkenlik ölçümü

bölümlerinden geçerek ölçülen iletkenlik verileri bilgisayara aktarılır. Bu veriler kullanılarak analiz tamamlanır.



Şekil 3.7. İyon Kromatografi akış şeması

3.5. Kalite Kontrol

Her örnekleme haftasında 1 alan kör örneği ve 1 laboratuvar kör örneği alınmış ve diğer örneklerle beraber aynı koşullar altında analiz edilmiştir. Değerlendirmede kullanılan veriler, ölçülen değerlerden kör değerlerin çıkartılmasıyla elde edilen konsantrasyonlardır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Çalışmada 23.02.2010 ve 20.04.2010 tarihleri arasında 2 ay (8 hafta) süresince 14 noktada dış atmosfere ve 9 noktada iç atmosferde kükürt dioksit (SO₂), azot dioksit (NO₂) ve ozon (O₃)'nun eş zamanlı olarak pasif örnekleme ile örnekleme yapıldı ve analizlendi. Önce, bütün noktalarda ölçülen parametrelerin genel istatistiksel özellikleri daha sonra, kirleticilerin ilk ve son ay (4'er hafta) ayrı ayrı istatistiksel özellikleri SPSS 17.01 paket program yardımı ile incelendi.

4.1. Verilerin Genel Değerlendirmesi

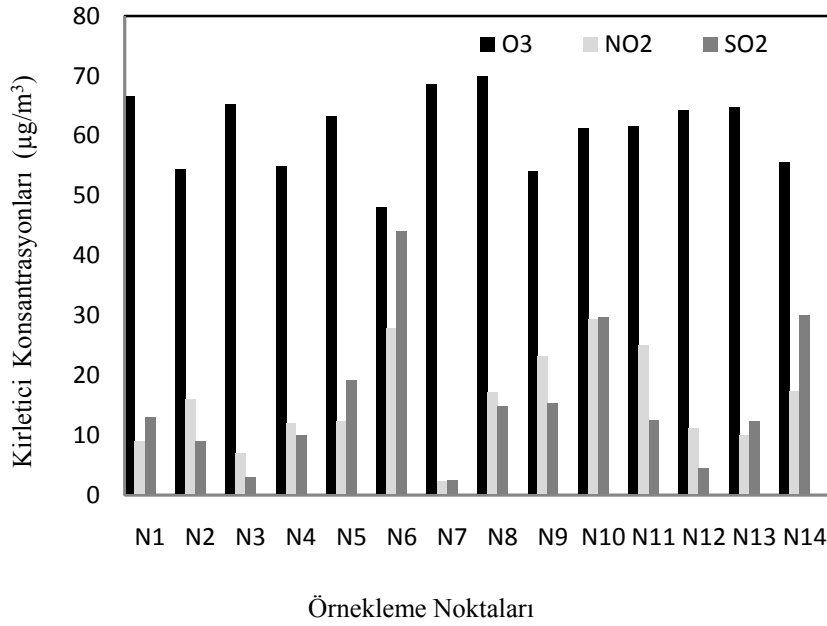
NO₂, SO₂ ve O₃'nun konsantrasyon değerleri kırsal, şehirsal, yarı şehirsal, trafik yoğunluğa ve ısınmaya bağlı olarak iç ve dış ortamlarda değişim göstermektedir. Bu çalışmada 14 dış noktadaki kirletici konsantrasyonlarının 8 haftalık ortalama, standart sapma, çarpıklık gibi istatistiksel özellikleri belirlendi ve Çizelge 4.1'de verildi.

Çizelge 4.1. Tüm dış noktalarda ölçülen parametrelerin ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) istatistiksel özellikleri

| Parametre | N | En Küçük | En Büyük | Ortalama | Standart Sapma | Çarpıklık |
|-----------------|----|----------|----------|----------|----------------|-----------|
| O ₃ | 85 | 47,96 | 69,93 | 60,84 | 6,45 | -0,498 |
| NO ₂ | 84 | 2,20 | 29,35 | 15,63 | 8,16 | 0,315 |
| SO ₂ | 84 | 2,44 | 43,99 | 15,65 | 11,74 | 1,232 |

14 dış örnekleme noktasında 8 hafta boyunca ölçülen NO₂, SO₂ ve O₃ konsantrasyonlarının ortalaması Şekil 4.1'de gösterildi. Çizelge 4.1 de görüldüğü üzere ortalama ozon konsantrasyonu ($60,84 \mu\text{g}/\text{m}^3$), diğer iki kirletici konsantrasyonundan daha büyük bulunmuştur. Aynı şekilde Şekil 4.1'de de her örnekleme noktasında bulunan O₃ konsantrasyonu diğer kirleticilerin değerinden daha yüksek olduğu ve örnekleme noktalarındaki ozon değerlerinin birbirlerine oldukça yakın bulunduğu ve bu

nedenle standart sapmanın da diğerlerine göre düşük çıktığı gözlenmiştir. Ozon konsantrasyonu N8, N7, N1, N3, N13, N12 ve N5 gibi kırsal ve yarı şehrsel denebilecek noktalarda diğer noktalara göre daha büyük bulunurken, NO₂ ve SO₂ konsantrasyonları da N6 ve N10 gibi şehirleşmenin ve trafiğin yoğun olduğu noktalarda daha yüksek gözlenmiştir.



Şekil 4.1. Örneklem noktalarındaki NO₂, SO₂ ve O₃ konsantrasyonlarının değişimi

Bu çalışmada bulunan NO₂, SO₂, ve O₃ konsantrasyonları ile literatürde pasif örnekleme yöntemiyle ölçülen değerler birlikte Çizelge 4.2’de sunulmaktadır. Çizelge 4.2’den görüldüğü üzere Erzurum kent merkezinde yapılan bu çalışma sonuçları, Türkiye’nin İzmir (Civan vd 2007), Eskişehir (Özden vd 2008a, Özden vd 2008b), İskenderun (Yay vd 2008), ve Kocaeli (Bozkurt vd 2007) şehirlerinde yapılmış çalışmaların sonuçlarından genelde düşük çıktığı gözlenmektedir. Bu çalışmada NO₂, SO₂ ve O₃ parametrelerin konsantrasyon değerleri sırasıyla 15,63± 8,16, 15,65±11,74, 60,84±6,45 bulunurken, İzmir’de sırasıyla 26,5±6,2, 29,4±10, 77,4±36,5 µg/m³, Eskişehir’de sırasıyla 33,62±10,49, 53,64±8,36, 30,50±11,49, İskenderun’da sırasıyla 21±8, 56±23, 84±46 µg/m³ ve Kocaeli’de sırasıyla 30,62, 24,06, 44,38 µg/m³ bulunmuştur. Bu şehirler, Türkiye’nin gelişmiş endüstrisi olan ve nüfus yoğunluğunun fazla olduğu

şehirlerdir. Bu nedenle, Erzurum’ da bulunan değerlerden daha yüksek konsantrasyonların elde edildiği düşünölmektedir.

Dünyanın çeşitli bölgelerinde yapılmış çalışmalar ile bu çalışma karşılaştırıldığında, Fransa’da yapılan çalışma (Plaisance *et al.* 2002) sonuçları, Erzurum kent merkezinde yapılmış bu çalışma verilerinden düşük, Pekin (Meng *et al.* 2008) ve Brezilya (Godoi *et al.* 2009)’da yapılan çalışma sonuçlarının ise bu çalışmadan daha yüksek olduğu görölmektedir. Ayrıca Birleşik Arap Emirlikleri (Salem *et al.* 2009), İspanya (Martin *et al.* 2009 ve Lozano *et al.* 2009), İngiltere (Vardoulakis *et al.* 2009), Belçika (Stranger *et al.* 2008) ve İtalya (Plaisance *et al.* 2007) da ölçölen NO₂, SO₂ konsantrasyonları bu çalışmada bulunan NO₂, SO₂ konsantrasyonlarından yüksek, O₃ konsantrasyonu ise daha düşük olduğu görölmektedir.

Çizelge 4.2. Çeşitli bölgelerdeki NO₂, SO₂ ve O₃ konsantrasyonlarının (µg/m³) karşılaştırılması

| Örnekleme Bölgesi | NO ₂ | SO ₂ | O ₃ | Örnekleme Süresi/Dönemi | Kaynak |
|---|-----------------|-----------------|----------------|------------------------------------|-------------------------|
| Erzurum, Türkiye | 15,63±8,16 | 15,65±11,74 | 60,84±6,45 | Kış – Bahar dönemi (Şubat-Nisan) | Bu çalışma, 2010 |
| Kuzey Fransa | 2,3 | 4,2 | - | 2 hafta | Plaisance et al. 2002 |
| Pekin | 34 | 164 | - | Kış - Bahar dönemi (Ocak-Mart) | Meng et al. 2008 |
| Curitiba, Brezilya İç ortam | 34 - 59 | 0,1-4,8 | - | Kış dönemi (Kasım-Aralık) | Godoi et al. 2009 |
| Curitiba, Brezilya dış ortam | 19 - 244 | 60–641 | - | Kış dönemi (Kasım-Aralık) | Godoi et al. 2009 |
| Al-Ain, Birleşik Arap Emirlikleri | 14,82-27,86 | 16,58-43,43 | 18,25-35,80 | İlkbahar –Yaz dönemi (Nisan-Kasım) | Salem et al. 2009 |
| Ciudad Real, Güney İspanya | 20,8±3,8 | - | 38,5±3,5 | Kış dönemi (Ocak-Aralık) | Martin et al. 2009 |
| Birmingham İngiltere | 17,05-25,27 | - | 17,69-23,56 | 13 ay Yaz – Kış dönemi | Vardoulakis et al. 2009 |
| Cordova, İspanya | 17,5-87,5 | - | 44,6-91,8 | 1 yıl (Yaz-Kış) | Lozano et al. 2009 |
| Antwerp, Morsel, Belçika Yol çalışmasından önce | 30 ±7-73 ± 11 | - | - | Yaz dönemi (Haziran-Eylül) | Stranger et al. 2008 |

Çizelge 4.2 (devam)

| Örnekleme Bölgesi | NO ₂ | SO ₂ | O ₃ | Örnekleme Süresi/Dönemi | Kaynak |
|--|-----------------|-----------------|----------------|---|--------------------------|
| Antwerp, Morsel, Belçika Yol çalışmasından sonra | 36 ±17-73 ±17 | - | - | Sonbahar dönemi (Eylül- Ekim) | Stranger et al. 2008 |
| İtalya | - | - | 120 | 8(h) | Plaisance et al. 2007 |
| Aliğa, İzmir Kentsel | 26,5 ± 6,2 | 29,4 ± 10 | 77,4 ± 36,5 | 2 yaz-3 kış dönemi (Aralık- Mart-Haziran- Ağustos-Eylül) | Civan vd 2007 |
| Aliğa, İzmir Kırsal (Rüzgar altı) | 6,9 ± 2,5 | 13,9 ± 14,6 | 81,8 ± 33,6 | 2 yaz-3 kış dönemi (Aralık- Mart-Haziran- Ağustos-Eylül) | Civan vd 2007 |
| Aliğa, İzmir Kırsal (Rüzgar üstü) | 11,7 ± 4,4 | 14,6 ± 8,2 | 83,5 ± 32,8 | 2 yaz-3 kış dönemi (Aralık- Mart-Haziran- Ağustos-Eylül) | Civan vd 2007 |
| Eskişehir | 33,62±10,49 | 53,64 ± 8,36 | 30,50±11,49 | Kış dönemi (Ocak) | Özden vd 2008a |
| Payas, İskenderun | 21 ± 8 | 56 ± 23 | 84 ± 46 | Kış dönemi (Ocak-Şubat) | Yay vd 2008 |
| Eskişehir İç Ortam | 50 | 21 | - | Kış dönemi (Aralık-Şubat) | Özden vd 2008b |
| Eskişehir Dış Ortam | 79,94 | 32,56 | - | Kış dönemi (Aralık-Şubat) | Özden vd 2008b |
| Kocaeli İç Ortam | 35,26 | 3,79 | 6,21 | Yaz dönemi | Bozkurt vd 2007 |
| Kocaeli Dış Ortam | 30,62 | 24,06 | 44,38 | Yaz dönemi | Bozkurt vd 2007 |

Bu çalışmada bulunan kirletici konsantrasyonları Çizelge 4.3’de ülkemizdeki ve dünyadaki sınır değerlerle kıyaslanmak amacıyla birlikte verilmiştir. Çizelge 4.3’de verilen sınır değerlere göre ölçülen SO₂ konsantrasyonları, ülkemiz sınır değeri 400 µg/m³ (günlük), Dünya sağlık örgütü (WHO) 500 µg/m³ (1h), Avrupa birliği (EU) 350 µg/m³ (1h) ve ABD çevre koruma ajansı (USEPA) sınır değeri olan 1300 µg/m³ (3h) ün altında kalmıştır. Ölçülen NO₂ konsantrasyonları, ülkemiz sınır değeri 300 µg/m³ (günlük), Dünya sağlık örgütü (WHO) ve Avrupa birliği (EU) 200 µg/m³ (1h) ve ABD çevre koruma ajansı (USEPA) sınır değeri olan 100 µg/m³ (yıllık) ün altında kalmıştır. Ozon konsantrasyonu ise ülkemiz 240 µg/m³ (1h), Dünya sağlık örgütü (WHO) ve Avrupa birliği (EU) 120 µg/m³ (8h) ve ABD çevre koruma ajansı (USEPA) sınır değeri olan 157 µg/m³ (8h) ün altında kalmıştır.

Çizelge 4.3. SO₂, NO₂ ve O₃ verilerinin (µg/m³) sınır değerleri (Özden vd 2008c)

| Kirletici Madde | Bu Çalışma | Türkiye | WHO | EU | USEPA |
|------------------------|-------------------|----------------|-------------|-------------|--------------|
| SO₂ | 15,65 | 400 (günlük) | 500 (1 h) | 350 (1 h) | 1300 (3 h) |
| | | 150 (yıllık) | 125(24 h) | 25 (24 h) | 365 (24 h) |
| | | | 50 (yıllık) | 20 (yıllık) | 80 (yıllık) |
| NO₂ | 15,63 | 300 (günlük) | 200 (1 h) | 200 (1 h) | 100 (yıllık) |
| | | 100 (yıllık) | 40 (yıllık) | 30 (yıllık) | 30 (yıllık) |
| O₃ | 60,84 | 240 (1 h) | 120 (8 h) | 180 (1 h) | 235 (1 h) |
| | | | | 120 (8 h) | 157 (8 h) |

Bu çalışmada, NO₂, SO₂ ve O₃ konsantrasyonları arasındaki ilişki SPSS 17.01 paket program yardımı araştırıldı ve Çizelge 4.4 verildi. NO₂ ve O₃ konsantrasyonları arasında negatif bir korelasyon gözlenirken, NO₂ ve SO₂ arasında pozitif bir korelasyon gözlenmektedir. Bu ilişki, atmosferde O₃ ve NO₂’in oluşum ve yokolma mekanizmalarının ters olduğunun göstergesidir (ozon, NO₂’in parçalandığı

fotokimyasal reaksiyonlar sürecinde oluşmakta ve sonra tekrar azot dioksiti oluşturmak için parçalanmaktadır).

Çizelge 4.4. 14 noktadaki O₃, NO₂ ve SO₂'nin 8 haftalık korelasyon matrisi

| Parametre | O ₃ | NO ₂ | SO ₂ |
|-----------------|----------------|-----------------|-----------------|
| O ₃ | 1 | | |
| NO ₂ | -0,580 | 1 | |
| SO ₂ | -0,590 | 0,733 | 1 |

4.2. Verilerin Zamansal Değişimi

Örnekleme periyodunda 23.02.2010-23.03.2010 tarihleri arasındaki ilk 1 ay kış dönemi, 23.03.2010-20.04.2010 tarihleri arasındaki son 1 ay ise bahar dönemi olarak kabul edildi ve bu dönemlerdeki veriler ayrı ayrı değerlendirildi. Bu kış ve bahar aylarındaki parametre konsantrasyonlarının ortalama, standart sapma, çarpıklık, korelasyon gibi istatistiksel özellikleri belirlendi ve Çizelge 4.5’de verildi. Çizelge 4.5’de görüldüğü üzere kış ve bahar aylarında parametre konsantrasyonları arasında çok büyük bir fark gözlenmedi. Isınma (özellikle kömür) kaynaklı olan SO₂ havaların biraz ısındığı bahar ayında biraz azalırken, genellikle trafik kaynaklı olan NO₂ konsantrasyonu bahar ayında biraz artmıştır. O₃ konsantrasyonunda bahar ayında gözlenen az bir artış ise, bu aylardaki NO₂ konsantrasyonunun artmasına bağlanmaktadır.

Çizelge 4.5. Kirletici konsantrasyonlarının ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) kış ve bahar mevsimindeki genel istatistiksel özellikleri

| Parametre | O ₃ | | NO ₂ | | SO ₂ | |
|-----------|----------------|-------|-----------------|-------|-----------------|-------|
| | Kış | Bahar | Kış | Bahar | Kış | Bahar |
| N | 32 | 52 | 31 | 52 | 31 | 52 |
| En Küçük | 40,17 | 31,92 | 0,45 | 0,82 | 1,70 | 0,96 |
| En Büyük | 92,95 | 82,69 | 34,97 | 38,33 | 71,27 | 44,95 |
| Ortalama | 62,94 | 59,62 | 11,82 | 16,84 | 16,27 | 14,66 |
| S.Sapma | 11,92 | 12,96 | 7,91 | 9,30 | 16,48 | 11,67 |
| Çarpıklık | 0,212 | 0,130 | 1,000 | 0,510 | 2,064 | 0,945 |

Ayrıca, kirletici konsantrasyonları arasındaki ilişki SPSS 17.01 paket program yardımı ile kış ve bahar dönemlerinde ayrı ayrı tekrar incelendi ve Çizelge 4.6'da verildi. Çizelge 4.6'da Çizelge 4.4'deki gibi ozon ile azot dioksit arasında negatif ve kükürt dioksit ile azot dioksit arasında ise pozitif bir ilişki elde edildi.

Çizelge 4.6. Kirleticilerin kış ve (bahar) daki korelasyon matrisi

| Parametre | O ₃ | NO ₂ | SO ₂ |
|-----------------|--------------------|------------------|-----------------|
| O ₃ | 1 | | |
| NO ₂ | -0,342 (-0,244) | 1 | |
| SO ₂ | -0,418 (-0,303) | 0,727 (0.570) | 1 |

4.3. Bazı Meteorolojik Parametrelerin Verilere Etkisi

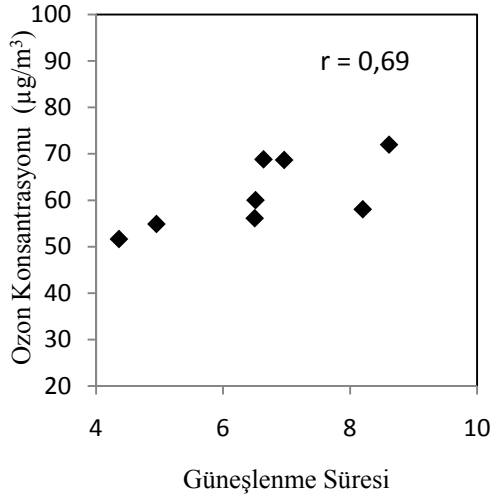
Örnekleme periyodu boyunca kentte 14 noktada ölçülen ortalama O₃, NO₂ ve SO₂ konsantrasyonları ile Meteoroloji Genel Müdürlüğünden alınan, ölçüm dönemlerine ait haftalık ortalama güneşlenme süresi, sıcaklık, nem ve rüzgar hızı ilişkileri Şekil 4.2, 4.3 ve 4.4’de verildi. Şekil 4.2’den görüldüğü üzere güneşlenme süresi ve sıcaklık arttıkça ozon oluşumu artacağı için konsantrasyon artmaktadır. Şekil 4.3’de hem trafik kaynaklı ve hem de fotokimyasal ürün olan NO₂ miktarına sıcaklığın etkisinin olmadığı, güneşlenme süresi ile de negatif bir ilişkisinin olduğu görülmektedir. Bu durum, güneşlenme arttıkça fotoliz reaksiyonları sonucu NO₂’in parçalanıp NO’e dönüşmesine bağlanabilir. Şekil 4.4’de görüldüğü üzere, bu 4 meteorolojik parametreyle SO₂ konsantrasyonu arasındaki ilişki negatif bulunmuştur. Sıcaklık arttıkça şehirde daha az kömürün yanması ve daha az SO₂’nin oluşması doğaldır. Ayrıca, rüzgar hızı arttıkça kirletici konsantrasyonları da dispersiyonla azalacaktır.

Yukarıda incelenen meteorolojik parametrelerin kirletici konsantrasyonlarını ne ölçüde tanımlayabildiğini görmek amacıyla bunlar arasında SPSS 17.01 paket program yardımı ile çoklu lineer regresyon analizi yapıldı ve regresyon denklemleri Denklem (1, 2, 3)’te gösterildi. NO₂ ve SO₂ konsantrasyonlarının mevcut meteorolojik parametreler ile orta derecede, (R² = 0,407 - 0,431), O₃ konsantrasyonunun ise meteorolojik parametreler ile iyi derecede tanımlandığı görüldü (R² = 0,886).

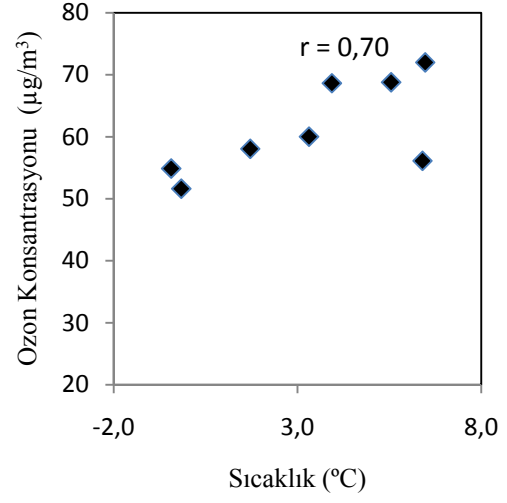
$$O_3 = 4,498 - 1,418 \times \text{Güneşlenme süresi} + 0,857 \times \text{Sıcaklık} + 0,450 \times \text{Nem} + 10,499 \times \text{Rüzgar hızı} \quad (R^2 = 0,886) \quad (1)$$

$$NO_2 = -17,127 - 0,118 \times \text{Güneşlenme süresi} - 1,178 \times \text{Sıcaklık} + 0,505 \times \text{Nem} + 0,119 \times \text{Rüzgar hızı} \quad (R^2 = 0,407) \quad (2)$$

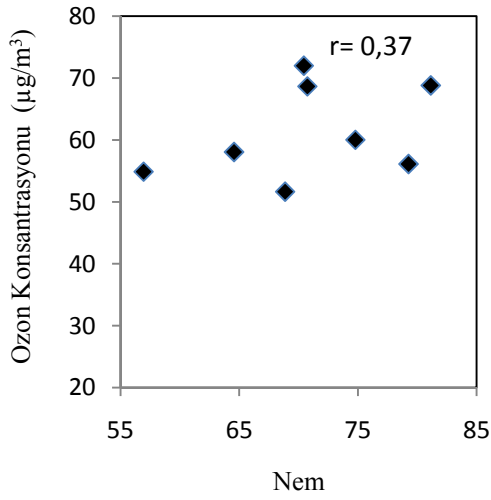
$$SO_2 = 35,033 - 0,699 \times \text{Güneşlenme süresi} - 0,197 \times \text{Sıcaklık} - 0,149 \times \text{Nem} - 1,288 \times \text{Rüzgar hızı} \quad (R^2 = 0,431) \quad (3)$$



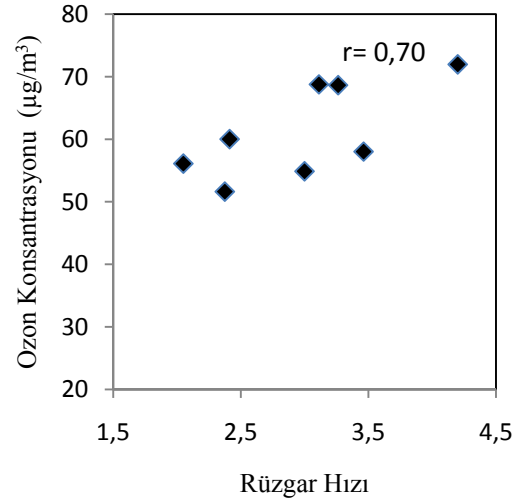
(a)



(b)

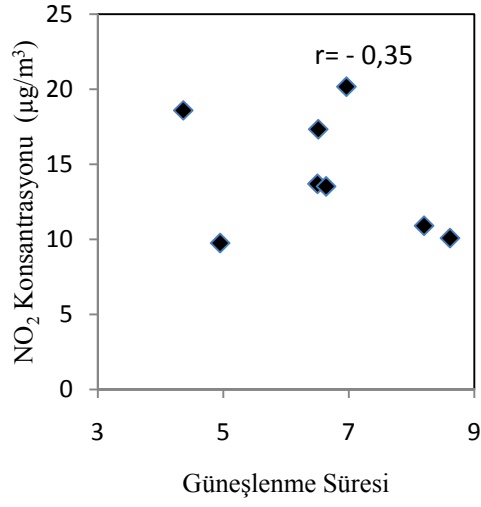


(c)

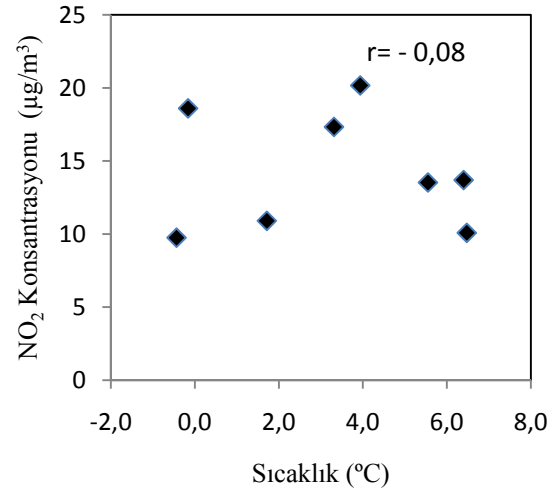


(d)

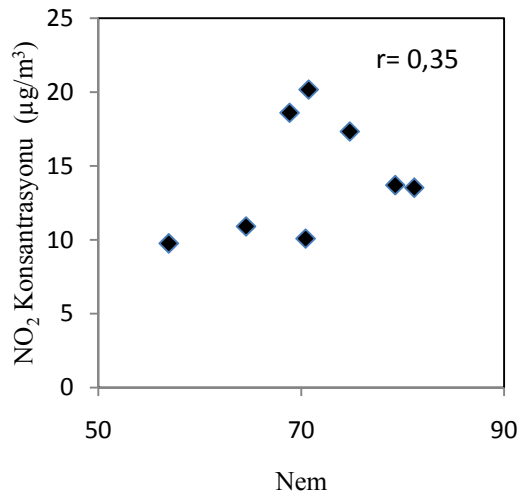
Şekil 4.2. Ozon konsantrasyonunun (a) güneşlenme süresi, (b) sıcaklık, (c) nem ve (d) rüzgar hızı ile ilişkisi



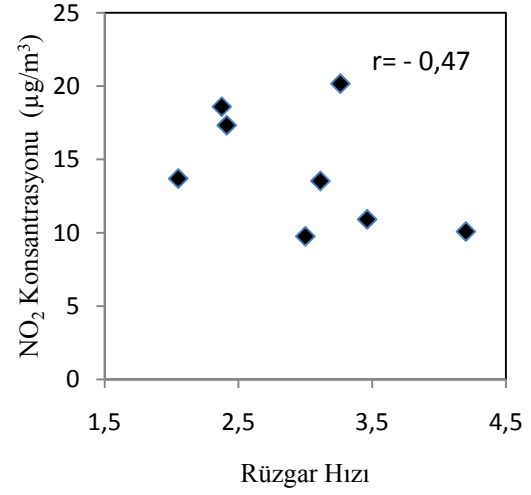
(a)



(b)

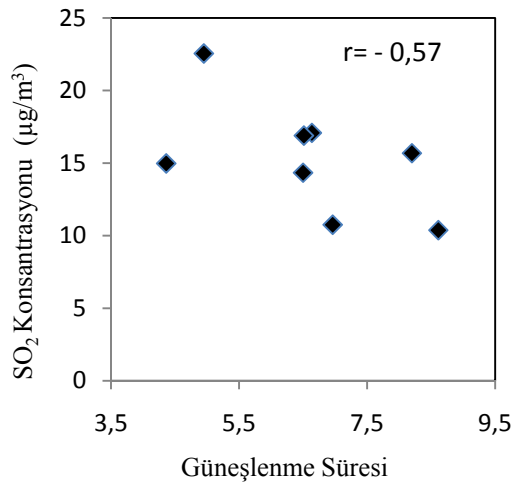


(c)

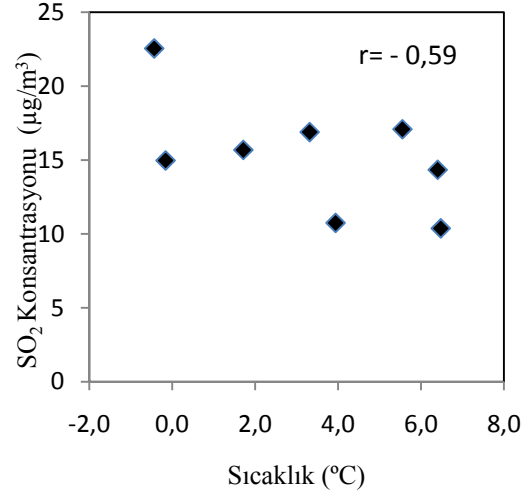


(d)

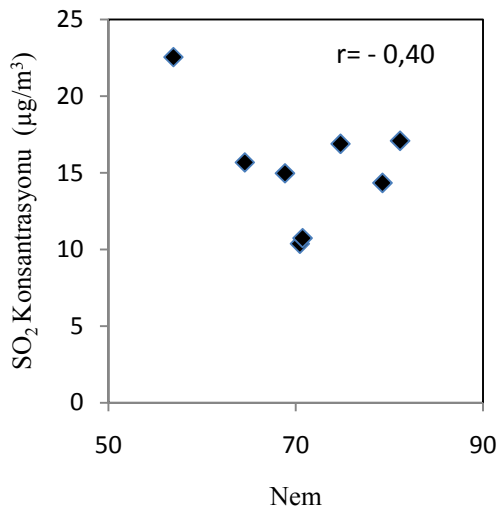
Şekil 4.3. NO₂ konsantrasyonunun (a) güneşlenme süresi, (b) sıcaklık, (c) nem ve (d) rüzgar hızı ile ilişkisi



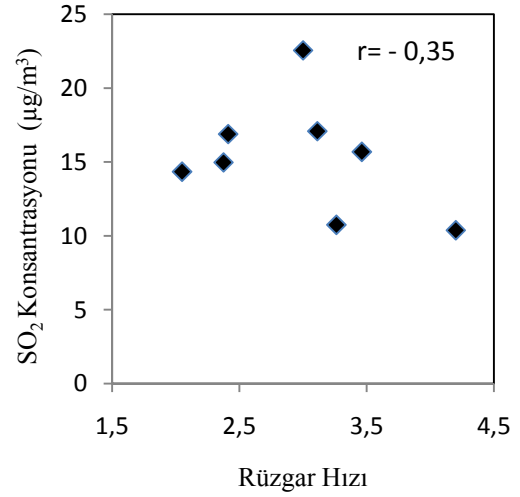
(a)



(b)



(c)

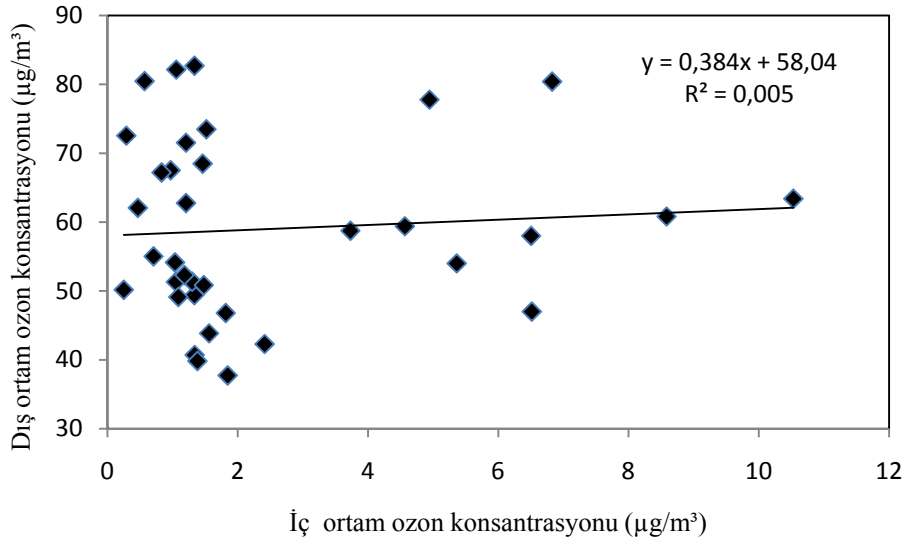


(d)

Şekil 4.4. SO₂ konsantrasyonunun (a) güneşlenme süresi, (b) sıcaklık, (c) nem ve (d) rüzgar hızı ile ilişkisi

4.4. İç ve Dış Ortam Verilerinin Karşılaştırılması

Çalışmada 9 noktada eş zamanlı ölçülen iç ve dış ortam ozon değerleri ve bunların oranları Çizelge 4.7’de verildi. Çizelgede görüldüğü üzere iç ortam ozon konsantrasyonları oldukça düşük bulundu. Evlerin iç ortam konsantrasyonları, diğer toplu yaşam alanların iç ortamlarından (okul, hastane v.b.) daha düşük bulundu. İç ortamda ozon kaynağının bulunmaması ve Şubat-Mart-Nisan aylarının Erzurum’da soğuk geçmesi nedeniyle iç ortamların (özellikle evlerin) yeterince doğal havalandırılmaması iç ortamın düşük ozon değerlerinin nedenleri olarak düşünüldü. Bu belirtilen nedenlerden dolayı iç ve dış ortam ozon konsantrasyonları arasında da önemli bir ilişki de bulunamadı (Şekil 4.5).

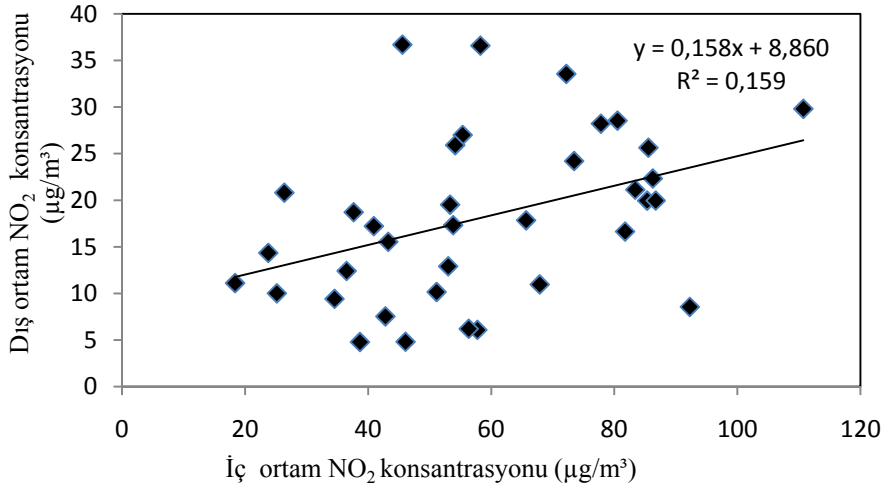


Şekil 4.5. Dış ortama karşı iç ortamda ki ozon konsantrasyonları

Çizelge 4.7. İç ve dış ortamda bulunan ozon değerleri ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ve oranları

| Örnekleme Noktaları | İç ortam salon ort. | İç ortam mutfak ort. | İç ortam ortalaması | Dış ortam ortalaması | İ/D |
|---------------------|---------------------|----------------------|---------------------|----------------------|--------------|
| N3 (ev) | 0,89 | 1,05 | 0,97 | 71,62 | 0,014 |
| N8 (ev) | 0,75 | 1,19 | 0,97 | 68,42 | 0,014 |
| N10 (G.İlköğ.) | | | 0,79 | 61,17 | 0,013 |
| N14 (A.ilköğ.) | | | 2,55 | 55,55 | 0,046 |
| N6 (İş merk.) | | | 1,46 | 45,91 | 0,032 |
| N2 (Karakol) | | | 1,08 | 52,51 | 0,021 |
| N13 (Çev.Orm) | | | 5,82 | 64,66 | 0,090 |
| N9 (Hıfzısıhha) | | | 1,35 | 54,04 | 0,025 |
| N12 (Hastane) | | | 7,64 | 64,14 | 0,119 |
| Ortalama | | | 2,51 | 59,78 | 0,042 |

Çalışmada 9 noktada eş zamanlı ölçülen iç ve dış ortam NO₂ değerleri ve bunların oranları Çizelge 4.8’de verildi. Çizelge 4.8’de görüldüğü üzere iç ortam NO₂ konsantrasyonu oldukça yüksek bulunurken, salon ile mutfak karşılaştırıldığında en yüksek NO₂ konsantrasyonun ise mutfakta olduğu gözlemlendi. Bu durum pişirme aktivitelerinin temel iç ortam NO₂ kaynakları arasında olmasına ve ayrıca bina içinde ısınma ve pişirme amacı ile kullanılan yakıtların yanması sonucu oluşan kirleticilerin oda içinde biriktiğinden dolayı bina içinde daha fazla NO₂ konsantrasyonu bulunmasına bağlanmaktadır. Şekil 4.6’da görüldüğü gibi iç ve dış ortamdaki NO₂ konsantrasyonları arasında da önemli bir ilişki bulunamamıştır.

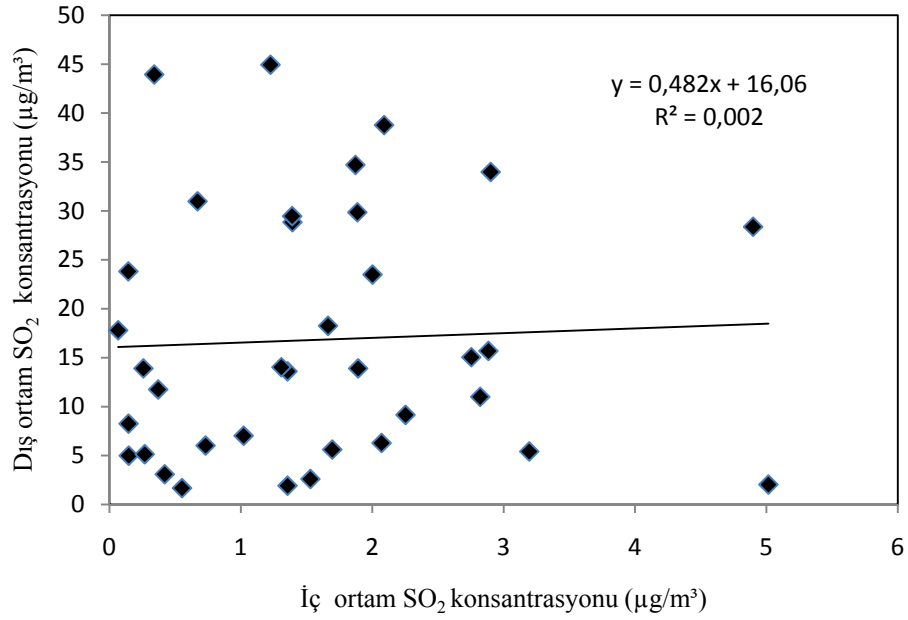


Şekil 4.6. Dış ortama karşı iç ortamda ki NO₂ konsantrasyonları

Çizelge 4.8. İç ve dış ortamda bulunan NO₂ değerleri (µg/m³) ve oranları

| Örnekleme Noktaları | İç ortam salon ort. | İç ortam mutfak ort. | İç ortam ortalaması | Dış ortam ortalaması | İ/D |
|---------------------|---------------------|----------------------|---------------------|----------------------|--------------|
| N3 (ev) | 85,44 | 98,50 | 91,97 | 22,80 | 4,034 |
| N8 (ev) | 30,85 | 62,11 | 46,48 | 8,59 | 5,414 |
| N10 (G.İlköğ.) | | | 63,11 | 29,35 | 2,150 |
| N14 (A.ilköğ.) | | | 44,96 | 17,27 | 2,604 |
| N6 (İş merk.) | | | 80,16 | 29,01 | 2,764 |
| N2 (Karakol) | | | 50,90 | 16,06 | 3,170 |
| N13 (Çev.Orm) | | | 23,43 | 9,91 | 2,363 |
| N9 (Hıfzısıh) | | | 64,92 | 23,08 | 2,812 |
| N12 (Hastane) | | | 38,25 | 11,05 | 3,462 |
| Ortalama | | | 56,02 | 18,57 | 3,197 |

Çalışmada 9 noktada eş zamanlı ölçülen iç ve dış ortam SO₂ değerleri ve bunların oranları Çizelge 4.9'da verildi. Çizelge 4.9'dan görüleceği üzere, dış ortam SO₂ konsantrasyonu iç ortama göre oldukça yüksek bulundu. İç ortamda SO₂ kaynağının bulunmaması ve Şubat-Mart-Nisan aylarının Erzurum'da soğuk geçmesi nedeniyle iç ortamların (özellikle evlerin) yeterince doğal havalandırılmaması iç ortamın düşük SO₂ kaynağının nedenleri olarak düşünülmektedir. Bu belirtilen nedenlerden dolayı iç ve dış ortam SO₂ konsantrasyonları arasında da bir ilişki bulunamamıştır (Şekil 4.7).



Şekil 4.7. Dış ortama karşı iç ortamda ki SO₂ konsantrasyonları

Çizelge 4.9. İç ve dış ortamda bulunan SO₂ değerleri (µg/m³) ve oranları

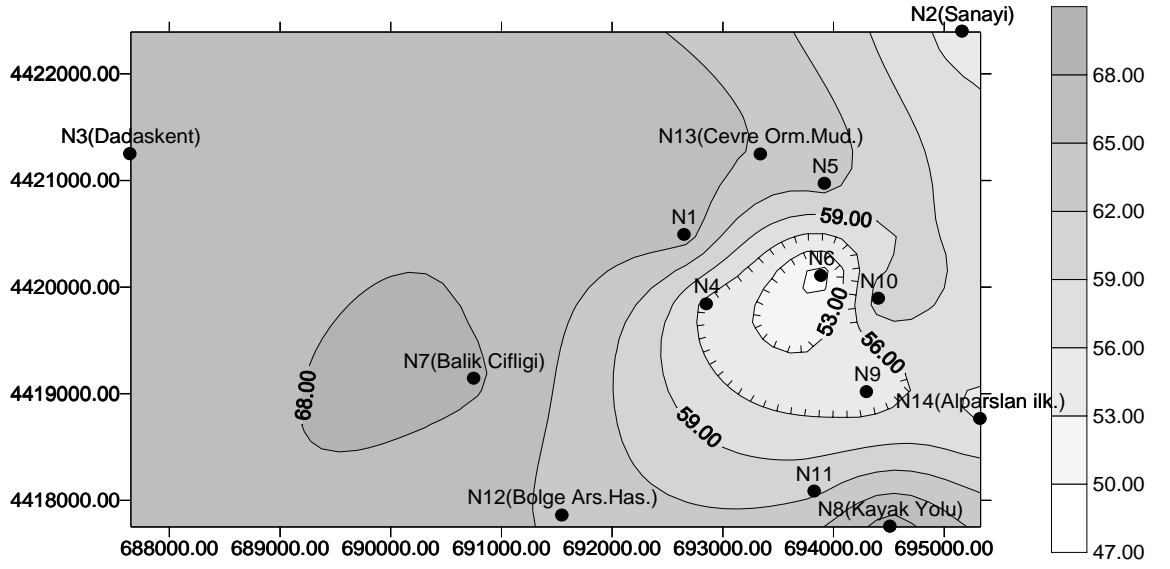
| Örnekleme Noktaları | İç ortam salon ort. | İç ortam mutfak ort. | İç ortam ortalaması | Dış ortam ortalaması | İ/D |
|---------------------|---------------------|----------------------|---------------------|----------------------|--------------|
| N3 (ev) | 0,26 | 1,28 | 0,77 | 10,01 | 0,077 |
| N8 (ev) | 0,40 | 0,49 | 0,44 | 2,38 | 0,185 |
| N10 (G.İlköğ.) | | | 1,15 | 29,66 | 0,039 |
| N14 (A.ilköğ.) | | | 3,21 | 30,03 | 0,107 |
| N6 (İş merk.) | | | 1,70 | 43,99 | 0,039 |
| N2 (Karakol) | | | 1,52 | 7,41 | 0,204 |
| N13 (Çev.Orm) | | | 1,86 | 12,32 | 0,152 |
| N9 (Hıfzısıh) | | | 1,72 | 15,23 | 0,113 |
| N12 (Hastane) | | | 1,16 | 4,36 | 0,266 |
| Ortalama | | | 1,50 | 17,27 | 0,131 |

4.5. Verilerin Alansal Dağılımı

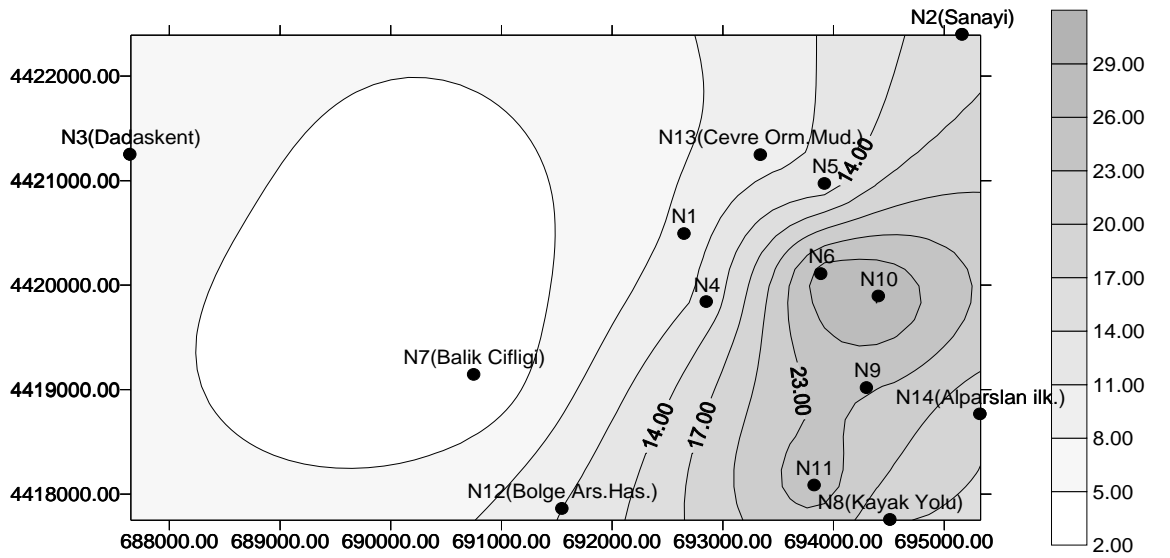
Erzurum kentinde 14 farklı noktada ölçülen O_3 , NO_2 ve SO_2 ortalama konsantrasyonlarının alansal dağılımı Sufer6 programı kullanılarak çizildi ve Şekil 4.8, 4.9, 4.10'de gösterildi. Şekil 4.8'de görüldüğü gibi, ozon konsantrasyonlarının en yüksek olduğu noktalar (N7, N8, N1 ve N3) kırsal, yarı şehirsal ve trafik yoğunluğunun az olduğu yerler olup, en düşük ozon konsantrasyonu ise trafik yoğunluğunun yüksek olduğu (N6, N9, N2, N4 ve N14) şehir merkezlerinde görülmektedir. Şehir merkezlerinde gözlenen düşük O_3 seviyeleri, bu noktalarda ki yüksek NO_2 seviyeleri ile ilişkilendirilebilir. Ayrıca, şehir merkezinde trafikden kaynaklanan öncül bileşenlerin şehrin dış bölgelerine taşınımı esnasında O_3 oluşmakta ve böylece şehirden uzak noktalarda daha yüksek O_3 seviyesi gözlenmesine neden olmaktadır (Özden vd 2008a).

Şekil 4.9'da görüldüğü üzere, NO_2 trafik kaynaklı bir kirletici olduğu için trafiğin yoğun olduğu şehir merkezlerinde (N10, N6, N9, N11) en yüksek NO_2 konsantrasyonları bulunurken, şehir merkezinden uzaklaştıkça (N7, N1, N3) NO_2 konsantrasyonu da giderek düşmektedir.

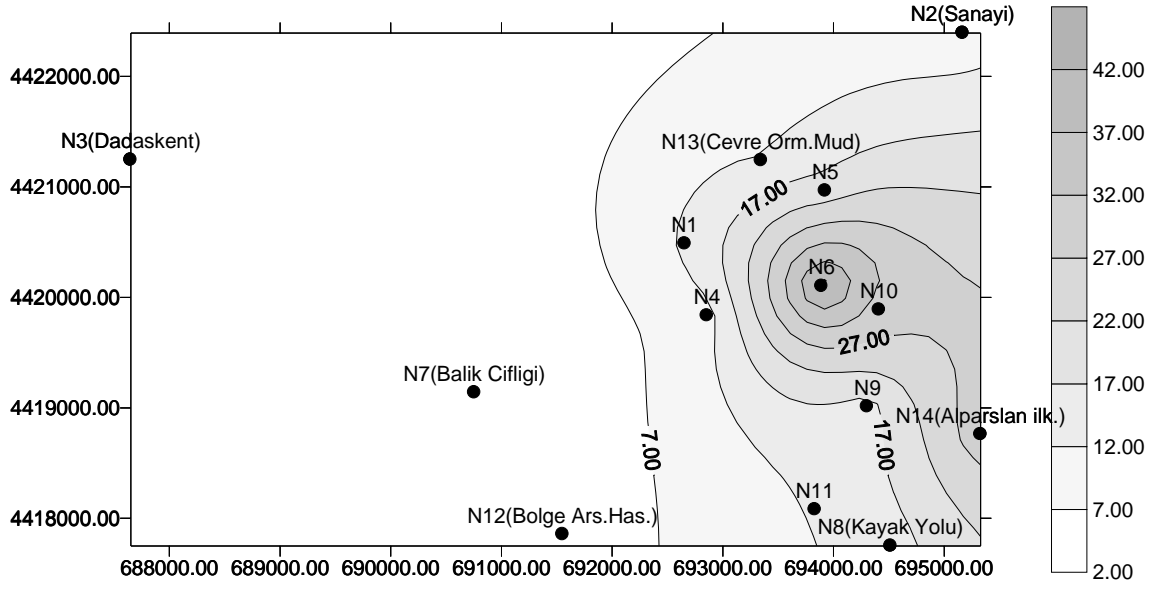
Şekil 4.10'da SO_2 konsantrasyonunun en yüksek olduğu noktalar (N10, N6, N14) genellikle kömürün daha fazla kullanıldığı, sobalı evlerin bulunduğu ve sıkışık bir yerleşimin olduğu kısımlardır. Kırsal kesimlerde ve doğalgaz kullanımının yaygın olduğu bölgelerde (N7, N12, N4, N1, N11) ise daha düşük SO_2 konsantrasyonu gözlenmiştir.



Şekil 4.8. Ozon konsantrasyonunun alansal dağılımı



Şekil 4.9. NO₂ konsantrasyonunun alansal dağılımı



Şekil 4.10. SO₂ konsantrasyonunun alansal dağılımı

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Bu çalışmada, Erzurum'da 3 parametrenin (O_3 , NO_2 ve SO_2) 2 ay (8 hafta) süresince pasif örnekleme yapıldı. Örnekleme, şehirleşme ve trafik yoğunluğu dikkate alınarak 14 noktada dış ve 9 noktada iç atmosferde 1 hafta süresince gerçekleştirildi ve örnekler laboratuara getirilip ekstrakte edilerek O_3 spektrofotometreyle, NO_2 ve SO_2 iyon kromatografiyle analiz edildi. Ortalama O_3 , NO_2 ve SO_2 konsantrasyon değerleri sırasıyla, $60,84 \pm 6,45$, $15,63 \pm 8,16$, $15,65 \pm 11,74 \mu g/m^3$ olarak bulundu ve bu değerlerin dünyada ve ülkemizdeki sınır değerleri aşmadığı görüldü.

O_3 , NO_2 ve SO_2 konsantrasyon değerlerinin bazı meteorolojik parametrelerle istatistiki ilişkileri SPSS 17.01 paket program yardımı ile araştırıldı. SO_2 konsantrasyonunun sıcaklık, güneşlenme süresi, nem ve rüzgar hızı ile negatif bir ilişkisi olduğu görüldü. Bu da, SO_2 'nin ısınma kaynaklı bir kirletici olduğu için sıcaklık arttıkça konsantrasyonunun azaldığını ve rüzgar hızı arttıkça seyrelmeyle de konsantrasyonun düştüğünü göstermektedir. Trafik kaynaklı olarak bilinen NO_2 'nin rüzgar hızı ile negatif bir ilişkisi olduğu fakat diğer parametrelerle fazla bir ilişkisinin olmadığı gözlemlendi. İkincil bir kirletici olan O_3 'nun ise tüm parametrelerle pozitif bir ilişkisinin olduğu görüldü. Bu durum, sıcaklık ve güneşlenme süresi arttıkça fotokimyasal reaksiyon ürünü olan O_3 'nun oluşumunun artmasını göstermektedir.

9 noktada yapılan eşzamanlı iç ve dış atmosfer örneklemesinde, iç atmosferdeki NO_2 konsantrasyonunun dış atmosferden oldukça yüksek olduğu ve dolayısıyla İ/D oranının da 1 den büyük olduğu görüldü. En yüksek iç atmosfer NO_2 değeri evde (N3), en düşük değer ise resmi kurumda (N13) elde edildi. Bu durum evde fazla yapılan pişirme ve sigara aktivitelerine bağlandı. O_3 ve SO_2 'nin iç atmosfer değerlerinin oldukça düşük ve İ/D oranlarının dan 1'den küçük olduğu görüldü. Bu da, O_3 ve SO_2 'nin iç ortamda kaynaklarının olmadığını ve iç ortamların iyi havalandırılmadığını göstermektedir.

Erzurum'da O_3 , NO_2 ve SO_2 ortalama konsantrasyonlarının alansal dağılımları surfer6 programı yardımıyla çizildi. O_3 'nun kırsal ve yarı şehirselde, NO_2 ve SO_2 konsantrasyonlarının ise şehir merkezlerinde yoğunlaştığı görüldü.

Bu çalışmada bulunan O_3 , NO_2 ve SO_2 konsantrasyon değerleri literatürdeki değerlerle kıyaslandı ve buna göre Erzurum gibi sanayinin olmadığı küçük bir şehir için parametrelerin önemli olduğu gözlendi. Geçmiş yıllarda yoğun hava kirliliğine maruz kalmış olan Erzurum'da, hava kalitesi iyileşse de daha iyi bir kalitede hava kirliliğine sahip olmak için doğal gaza geçişin artması ve özellikle gecekondularında daha iyi kalitede kömürün yakılması sağlanmalıdır.

KAYNAKLAR

- Aneja, V. P., Agarwal A., Roelle P. A., Philips S. B., Tong Q., Watkins N., Yablonsky., 2001. Measurements And Analysis Of Criteria Pollutants İn New Delhi, India, *Environment International*, 27(1), 35-42.
- Aneja, V. P., Adams A. A., Arya S. P., 2000. An Observational Based Analysis Of Ozone Trends And Production For Urban Areas İn North Carolina, *Chemosphere-Global Science*, 2 (2), 157-165.
- Bozkurt, Z., Arslanbaş, D., Pekey, H., Pekey, B., Zararsız, A., Doğan, G., Dumanoğlu, Y. S., Bayram, A., Efe, N., Tuncel, G., 2007. Kocaeli'de Farklı Mikroçevrelerde Uçucu Organik Bileşikler, Ağır Metaller Ve İnorganik Gaz Fazı Kirleticilerin İç Ve Dış Ortam Seviyelerinin Belirlenmesi, VIII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İzmir.
- Buffoni, A., 2002. Ozone And Nitrogen Dioxide Measurements İn The Framework Of The National Integrated Programme For The Control Of Forest Ecosystems (CONECOFOR), *J Limnol*, 61, 69-76.
- Cardenas, L. M., Austin J. F., Burgess R. A., Clemitshaw K. C., Dorling S., Penkett S. A and Harrison R. M., 1998. Correlations Between CO, NOy, O₃ And Non-Methane Hydrocarbons And Their Relationship With Meteorology During Winter 1993 On The North Norfolk Coast, UK, *Atmospheric Environment*, 32 (19), 3339-3351.
- Civan, M., Elbir, T., Seyfioğlu R., Sofuoğlu, S., Bayram A., Müezzinoğlu, A., Odabaşı., Kuntasal, Ö., Bozlaker, A., Pekey, H., Andiç Ö., Yorulmaz, S.Y., Tuncel, G., 2008. Aliğa Bölgesindeki İnorganik Ve Uçucu Organik Bileşiklerin Pasif Örnekleme Metoduyla Belirlenmesi, Hava Kirliliği Ve Kontrolü Ulusal Sempozyumu, Hatay.
- Cocheo, V., Boaretto, C., Sacco, P., 1996. High Uptake Rate Radial Diffusive Sampler Suitable For Both Solvent And Thermal Desorption. *American Industrial Hygiene Association Journal* 57, 897-904.
- Cruz, L. P. S., Campos, V. P., Silva, A. M. C. ve Tavares, T. M. A., 2004. Field Elevation Of SO₂ Passive Sampler İn Tropical Industrial And Urban Air, *Atmospheric Environment*, 38, 6425-6429.
- Duenas, C., Fernandez, M. C., Cañete, S., Carretero, J. and Liger, E., 2002. Assessment Of Ozone Variations And Meteorological Effects İn An Urban Area İn The Mediterranean Coast, *The Science Of The Total Environ.* 299 (1-3), 97-113.
- Ertaş, S. ve Yıldız, H., 2008. Hava Kirliliğinin İnsan Sağlığı Üzerine Etkileri. Ulusal Hava Kalitesi Sempozyumu, Konya.
- Ertürk, F. ve Güneş, G., 2008. Yakma Tesislerinde Dioksin ve Furan Oluşumları Ve Kontrol Teknikleri İzaydaş Ve Tıbbi Atık Yakma Tesisleri Örneği. Ulusal Hava Kalitesi Sempozyumu, Konya.
- Godoi, R. H. M., Avigo Jr, D., Campos, V. P., Tavares, T. M., de Marchi, M. R. R., Van Grieken, R., Godoi, A. F. L., 2009. Indoor Air Quality Assessment Of Elementary Schools İn Curitiba, Brazil. *Water Air Soil Pollu* 9, 171-177.
- Greenwood, R., Mills, G. Ve Vrana, B., 2007. Passive Sampling Techniques İn Environmental Monitoring, Elsevier.

- Güneş, B. H., Özer, A., Tekin, İ., Kaynakoğlu, H., Dalkılıç, C., 2008. Hava Kalitesi Yönetiminde Konya Kenti Temiz Hava Uygulamaları. Ulusal Hava Kalitesi Sempozyumu, Konya.
- Helaleh, M. I. H., Ngudiwaluyo, S., Korenaga, T. ve Tanaka, K., 2002. Development of Passive Sampler Technique For Ozone Monitoring. Estimation Of Indoor And Outdoor Ozone Concentration, *Talanta*, 58, 649-659.
- Klanova, J., Kohoutek, J., Hamplova, L., Urbanova, P. ve Holoubek, I., 2006. Passive Air Sampler As A Tool For Long-Term Air Pollution Monitoring: Part 1. Performance Assessment For Seasonal And Spatial Variations, *Environmental Pollution*, 144 (2), 393-405.
- Krupa, S. V. and Legge, A. H., 2000. Passive Sampling Of Ambient, Gaseous Air Pollutants: An Assessment From Ecological Perspective, *Environmental Pollution*, 107, 31-45.
- Lozano, A., Usero, J., Vanderlinden, E., Ruez, J., Contreras, J., Navarrete, B., Bakouri, H. E., 2009. Design Of Air Quality Monitoring Networks And Its Application To NO₂ And O₃ In Cordova, Spain. *Microchemical Journal*, xxx, xxx-xxx.
- Martin, P., Cabañas, B., Villanueva, F., Gallego, P. M., Colmenar, I., Salgado, S., 2009. Ozone And Nitrogen Dioxide Levels Monitored in an Urban Area (Ciudad Real) In Central-Southern Spain.
- Meng, Z. Y., Ding, G. A., Xu, X. B., Xu, X. D., Yu, H. Q., Wang, S. F., 2008. Vertical Distributions Of SO₂ And NO₂ In The Lower Atmosphere In Beijing Urban Areas, China. *Science Of The Total Environment*, 390, 456-465.
- Özden, Ö., 2005. Hava Kalitesinin Monitorlanmasında Pasif Örnekleyicilerin Kullanılması, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Özden, Ö., Yay, O. D., Altuğ, H., Gaga, E., Demirel, G., Döğeroğlu, T., Örnektekin, S., Meliefste, K., Doorn, W., 2008a. Eskişehir’de Hava Kirliliği Ön Değerlendirme çalışmalarının Pasif Örneklemeye Yöntemiyle Gerçekleştirilmesi, Hava Kirliliği Ve Kontrolü Ulusal Sempozyumu, Hatay.
- Özden, Ö., Koçaker, S., Döğeroğlu, T., 2008b. Eskişehir’de Azot Dioksit (NO₂) Ve Kükürt Dioksitin (SO₂) Kış Dönemi İç ve Dış Ortam Seviyelerinin Pasif Örneklemeye Yöntemiyle Ölçümü, Hava Kirliliği ve Kontrolü Ulusal Sempozyumu, Hatay.
- Özden, Ö., Döğeroğlu, T., Kara S., 2008c. Assessment Of ambient Air Quality In Eskişehir, Turkey. *Environment International*, 34, 678-687.
- Paloluoğlu, C., 2008 Erzurum Şehir Merkezinde Polisiklik Aromatik Hidrokarbonların Konsantrasyonlarının Alansal Dağılımı. Yüksek Lisans Tezi. A. Ü. Erzurum.
- Plaisance, H., Sagnier, I., Saison, J. Y., Galloo, J. C., Guillermo, R., 2002. Performances And Application Of A Passive Sampling Method For The Simultaneous Determination Of Nitrogen Dioxide And Sulfur Dioxide In Ambient Air. *Environmental Monitoring and Assessment*, 79, 301-315.
- Plaisance, H., Gerboles, M., Piechocki, A., Detimmerman, F., Saeger, D. E., 2007. Radial Diffusive Ve Sampler For The Determination Of 8-h Ambient Ozone Concentrations. *Environmental Pollution*, 148, 1-9.

- Salem, A. A., Soliman, A. A., El-Haty, I. A., 2009. Determination Of Nitrogen Dioxide, Sulfur Dioxide, Ozone, And Ammonia In Ambient Air Using The Passive Sampling Method Associated With Ion Chromatographic And Potentiometric Analyses. *Air Qual Atmos Health*, 2, 133–145.
- Santis, F. D., Allegrini, I., Fazio, M. C., Pasella, D. ve Piredda, R., 1997. Development Of Passive Sampling Technique For The Determination Of Nitrogen Dioxide And Sulphur Dioxide In Ambient Air, *Analytica Chimica Acta*, 346, 127-134.
- Saydam, A.C., 2008. Sahra Çöl Tozları Ve Ulusal Hava Kalitesi. Ulusal Hava Kalitesi Sempozyumu, Konya.
- Seinfeld, J.H., 1986. Atmospheric Chemistry and Physics of Air Pollution, John Wiley And Sons, New York.
- Stranger, M., Krata, A., Kontozova-Deutsch, V., Bencs, L., Deutsch, F., Worobiec, A., Naveau, I., Roekens, E., Grieken, R. V., 2008. Monitoring of NO₂ in the Ambient Air With Passive Samplers Before And After A Road Reconstruction Event *Microchemical Journal*, 90, 93–98.
- Tang, H., Lau, T., Brassard, B. ve Cool W., 1999. A New All-Season Passive Sampling System For Monitoring NO₂ In Air, *Field Analytical Chemistry And Technology*, 3, 6, 338-345.
- Tang, H., Lau, T., 2000. A New All Season Passive Sampling System For Monitoring Ozone In Air. *Environmental Monitoring and Assessment*, 65, 129–137.
- Taşdemir, Y., Cindoruk S. S. ve Esen, F., 2005. Monitoring Of Criteria Air Pollutants In Bursa, Turkey, *Environmental Monitoring And Assessment*, 110 (1-3) 227-241.
- Vardoulaki, S., Lumberras, J., Solazzo, E., 2009. Comparative Evaluation Of Nitrogen Oxides And Ozone Passive Diffusion Tubes For Exposure Studies. *Atmospheric Environment*, 43, 2509–2517.
- Varshney, C. K. and Singh, A.P., 2003. Passive Samplers For NO_x monitoring : A Critical Review, *The Environmentalist*, 23, 127-136.
- Yay, O. D., Özden, Ö., Altuğ H., Gaga, E., Erdemir, G., Örnektekin, S., Döğeroğlu, T., Meliefeste, K., Doorn, W. V., 2008. İskenderun-Payas Bölgesinde Pasif Örnekleme İle Hava Kalitesinin Ön Değerlendirmesi, *Hava Kirliliği Ve Kontrolü Ulusal Sempozyumu*, Hatay.
- Yeşilyurt, C. ve Akcan, N. 2001. Hava Kalitesi İzleme Metodolojileri Ve Örnekleme Kriterleri. T.C Sağlık Bakanlığı Refik Saydam Hıfzısıhha Merkezi Başkanlığı Çevre Sağlığı Araştırma Müdürlüğü. 177 pp.

ÖZGEÇMİŞ

Tokat Zile' de 1983 yılında doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Zile'de tamamladı. 2001 yılında girdiği Atatürk Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümünden 2006 yılında mezun oldu. 2006 tarihinde Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Bölümü Çevre Teknolojileri Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı.