

**T.C.  
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DENİZLİ'DE OZON SEVİYELERİNİN BELİRLENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**SEHER YÜKSEL**

**DENİZLİ, KASIM - 2019**

**T.C.  
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**



**DENİZLİ'DE OZON SEVİYELERİNİN BELİRLENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**SEHER YÜKSEL**

**DENİZLİ, KASIM - 2019**

## KABUL VE ONAY SAYFASI

**Seher YÜKSEL** tarafından hazırlanan “**Denizli’de Ozon Seviyelerinin Belirlenmesi**” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 25.11.2019 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği ile Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Danışman  
Dr. Öğr. Üyesi Sibel ÇUKURLUOĞLU

.....

Üye  
Prof. Dr. Abdurrahman BAYRAM  
Dokuz Eylül Üniversitesi

.....

Üye  
Prof. Dr. Osman Nuri AĞDAĞ  
Pamukkale Üniversitesi

.....

Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun  
..... tarih ve ..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....

Prof. Dr. Uğur YÜCEL

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

**Bu tez çalışması Pamukkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri  
Koordinatörlüğü tarafından 2012FBE018 nolu proje ile desteklenmiştir.**

**Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.**

**Seher YÜKSEL**

## ÖZET

**DENİZLİ'DE OZON SEVİYELERİNİN BELİRLENMESİ**  
**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**SEHER YÜKSEL**  
**PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**  
**(TEZ DANIŞMANI: DR. ÖĞR. ÜYESİ SİBEL ÇUKURLUOĞLU)**

**DENİZLİ, KASIM - 2019**

Tez kapsamında Radiello® pasif örnekleyiciler kullanılarak Denizli'de ozon ve azot dioksit seviyeleri belirlenmiştir. Örneklemeler Aralık 2012 – Temmuz 2013 döneminde, Denizli'nin dört farklı bölgesinde; Altıntop Mahallesi (Bölge 1), Pamukkale Üniversitesi Kınıklı Yerleşkesi (Bölge 2), Sümer Mahallesi (Bölge 3) ve Bahçelievler Mahallesi (Bölge 4)'de gerçekleştirilmiştir. Örnekleme döneminde maksimum ozon konsantrasyonu 88,7  $\mu\text{g m}^{-3}$  olarak Bölge 4'de Haziran 2013'de ve minimum ozon konsantrasyonu ise 12,8  $\mu\text{g m}^{-3}$  şeklinde Bölge 3'de Aralık 2012'de belirlenmiştir. En yüksek azot dioksit konsantrasyonu Bölge 3'de 82,8  $\mu\text{g m}^{-3}$  şeklinde Aralık 2012'de ölçülürken, en düşük azot dioksit konsantrasyonu ise 7,8  $\mu\text{g m}^{-3}$  olarak Bölge 2'de Haziran 2013'de kaydedilmiştir. Bölge 2 ve Bölge 4'de ozon konsantrasyonlarının, Bölge 1 ve Bölge 3'de ise azot dioksit konsantrasyonlarının diğer bölgelere göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Ozon konsantrasyonları bahar aylarından itibaren artarak yaz aylarında en yüksek düzeylere ulaşmış, NO<sub>2</sub> konsantrasyonları ise yaz aylarında kış dönemine göre bir miktar azalmıştır. Sıcaklık değerleri arttıkça ozon konsantrasyonlarının arttığı, azot dioksit konsantrasyonlarının ise azaldığı görülmüştür. Bağıl nem arttıkça azot dioksit konsantrasyonları artmış, buna karşılık ozon konsantrasyonları azalmıştır. Rüzgar hızının ozon ve azot dioksit konsantrasyonları üzerinde çok önemli bir etkisinin olmadığı görülmüştür. Günlük güneşlilik süresinin artması ozon konsantrasyonlarını artma yönünde, azot dioksit konsantrasyonlarını ise azalma yönünde etkilemiştir.

**ANAHTAR KELİMELELER:** Hava kirliliği, ozon, azot dioksit, pasif örnekleme, Radiello®, Denizli.

## ABSTRACT

**DETERMINATION OF OZONE LEVELS IN DENİZLİ**  
**MSC THESIS**  
**SEHER YÜKSEL**  
**PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE**  
**ENVIRONMENTAL ENGINEERING**  
**(SUPERVISOR: ASSIST. PROF. SİBEL ÇUKURLUOĞLU)**

**DENİZLİ, November 2019**

In the scope of the thesis, ozone and nitrogen dioxide levels were determined by using Radiello<sup>®</sup> passive samplers in Denizli. Sampling was conducted during December 2012 – July 2013 period in four different regions in Denizli; Altıntop District (Site 1), Pamukkale University Kınıklı Campus (Site 2), Sümer District (Site 3) and Bahçelievler District (Site 4). During the sampling period, the maximum ozone concentration was measured as 88.7  $\mu\text{g m}^{-3}$  in Site 4 in June 2013 and the minimum ozone concentration was determined as 12.8  $\mu\text{g m}^{-3}$  in Site 3 in December 2012. The highest nitrogen dioxide concentration was measured as 82.8  $\mu\text{g m}^{-3}$  in Site 3 in December 2012, while the lowest nitrogen dioxide concentration was recorded as 7.8  $\mu\text{g m}^{-3}$  in Site 2 in June 2013. It was observed that the ozone concentrations in Site 2 and Site 4 were higher than in other regions, and the nitrogen dioxide concentrations in Site 1 and Site 3 were higher than in other regions. Ozone concentrations increased from spring to reach the highest levels in summer, while nitrogen dioxide concentrations decreased slightly in summer compared to winter. It was observed that ozone concentrations increased and nitrogen dioxide concentrations decreased as the temperature values increased. As relative humidity increased, nitrogen dioxide concentrations increased, whereas ozone concentrations decreased. It has been observed that wind speed does not have a significant effect on ozone and nitrogen dioxide concentrations. Increasing daily sunshine duration has affected ozone concentrations to increase and nitrogen dioxide concentrations to decrease.

**KEYWORDS:** Air pollution, ozone, nitrogen dioxide, passive sampling, Radiello<sup>®</sup>, Denizli.

# İÇİNDEKİLER

## Sayfa

|   |      |
|---|------|
| ÖZET.....   | i    |
| ABSTRACT .....  | ii   |
| İÇİNDEKİLER .....                                     | iii  |
| ŞEKİL LİSTESİ.....                                    | v    |
| TABLO LİSTESİ .....                                   | vi   |
| SEMBOL LİSTESİ .....                                  | vii  |
| ÖNSÖZ.....  | viii |
| 1. GİRİŞ.....   | 1    |
| 2. GENEL BİLGİLER .....                               | 2    |
| 2.1 Hava Kirliliği.....                               | 2    |
| 2.1.1 Hava, Hava Kirliliği ve Atmosferin Yapısı ..... | 2    |
| 2.1.2 Hava Kirliliğinin Küresel Etkileri.....         | 3    |
| 2.1.2.2 İklim Değişikliği .....                       | 4    |
| 2.1.2.3 Asit Yağışları .....                          | 5    |
| 2.2 Hava Kirliliği Kaynakları .....                   | 5    |
| 2.2.1 Alansal Kaynaklar.....                          | 6    |
| 2.2.2 Çizgisel Kaynaklar.....                         | 6    |
| 2.2.3 Noktasal Kaynaklar.....                         | 6    |
| 2.3 Hava Kirletici Maddeler .....                     | 6    |
| 2.3.1 Karbon Monoksit .....                           | 7    |
| 2.3.1.1 Karbon Monoksit Kaynakları.....               | 7    |
| 2.3.1.2 Karbon Monoksitin Etkileri .....              | 8    |
| 2.3.2 Uçucu Organik Bileşikler .....                  | 8    |
| 2.3.2.1 Uçucu Organik Bileşik Kaynakları .....        | 9    |
| 2.3.2.2 Uçucu Organik Bileşiklerin Etkileri.....      | 9    |
| 2.3.3 Kükürt Oksitler .....                           | 10   |
| 2.3.3.1 Kükürt Oksit Kaynakları .....                 | 10   |
| 2.3.3.2 Kükürt Oksitlerin Etkileri .....              | 11   |
| 2.3.4 Partikül Maddeler .....                         | 11   |
| 2.3.4.1 Partikül Madde Kaynakları .....               | 12   |
| 2.3.4.2 Partikül Maddelerin Etkileri.....             | 12   |
| 2.3.5 Azot Oksitler.....                              | 12   |
| 2.3.5.1 Azot Oksit Kaynakları.....                    | 13   |
| 2.3.5.2 Azot Oksitlerin Etkileri .....                | 13   |
| 2.3.6 Ozon.....                                       | 14   |
| 2.3.6.1 Ozon Kaynakları .....                         | 15   |
| 2.3.6.2 Ozonun Etkileri .....                         | 17   |
| 2.4 Hava Kirliliği Ölçüm Yöntemleri.....              | 18   |
| 2.4.1 Pasif Örnekleme Yöntemi.....                    | 18   |
| 2.4.2 Aktif Örnekleme Yöntemi .....                   | 21   |
| 2.4.3 Otomatik Örnekleme Yöntemi.....                 | 22   |



|  |           |
|--|-----------|
| <b>3. MATERYAL VE METOD</b> .....  | <b>23</b> |
| 3.1 Örnekleme Bölgesi .....  | 23        |
| 3.2 Örnekleme Dönemi .....   | 24        |
| 3.3 Pasif Örnekleme .....  | 25        |
| 3.4 Ekstraksiyon İşlemleri .....   | 26        |
| 3.5 Analiz İşlemleri .....   | 28        |
| 3.6 Kalite Güvence / Kalite Kontrol İşlemleri .....  | 29        |
| 3.7 Konsantrasyonların Hesaplanması .....  | 29        |
| 3.8 Meteorolojik Parametreler .....  | 31        |
| 3.9 İstatistiksel Analiz .....   | 31        |
| <b>4. BULGULAR</b> .....   | <b>32</b> |
| 4.1 Ozon Konsantrasyonları .....   | 32        |
| 4.2 NO <sub>2</sub> Konsantrasyonları .....  | 33        |
| 4.3 Radiello® Pasif Örnekleme Ürünleri ile Gerçekleştirilmiş Çalışmalar .....  | 35        |
| 4.4 Ozon ve NO <sub>2</sub> Konsantrasyonlarının Değişimi .....  | 36        |
| 4.5 Ozon ve NO <sub>2</sub> Konsantrasyonlarının İstatistiksel Değerlendirmesi ....  | 38        |
| 4.6 Ozon ve NO <sub>2</sub> Dağılım Haritaları .....   | 39        |
| 4.7 Ozon ve NO <sub>2</sub> Konsantrasyonları ile Meteorolojik Parametreler<br>Arasındaki Değerlendirme.....                 | 42        |
| 4.7.1 Örnekleme Döneminde Gözlemlenen Meteorolojik Veri.....   | 42        |
| 4.7.2 Ozon ve NO <sub>2</sub> Konsantrasyonları ile Meteorolojik Parametreler<br>Arasındaki Değişim .....                    | 45        |
| 4.7.3 Ozon ve NO <sub>2</sub> Konsantrasyonları ile Meteorolojik Parametreler<br>Arasındaki İstatistiksel Değerlendirme..... | 49        |
| <b>5. SONUÇ VE ÖNERİLER</b> .....  | <b>51</b> |
| <b>6. KAYNAKLAR</b> .....  | <b>53</b> |
| <b>7. ÖZGEÇMİŞ</b> .....   | <b>57</b> |

## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

|   |    |
|---|----|
| Şekil 2.1: Karbon monoksitin meydana geldiği başlıca kaynaklar .....                        | 7  |
| Şekil 3.1: Tez çalışması kapsamındaki örnekleme noktaları .....                             | 24 |
| Şekil 3.2: Tez çalışmasında kullanılan Radiello <sup>®</sup> pasif örnekleyciler .....      | 25 |
| Şekil 3.3: Pasif yöntemle ozon örneklemede oluşan reaksiyonlar .....                        | 26 |
| Şekil 3.4: Ozon örnekleycilerin ekstraksiyonu sırasında oluşan reaksiyon .....              | 27 |
| Şekil 4.1: Ozon ve NO <sub>2</sub> konsantrasyonlarının alansal değişimi .....              | 37 |
| Şekil 4.2: Ozon konsantrasyonlarının dağılım haritaları.....                                | 39 |
| Şekil 4.3: NO <sub>2</sub> konsantrasyonlarının dağılım haritaları .....                    | 41 |
| Şekil 4.4: Örnekleme döneminde gözlemlenen ortalama sıcaklık değerleri.....                 | 43 |
| Şekil 4.5: Örnekleme döneminde gözlemlenen ortalama bağıl nem değerleri..                   | 43 |
| Şekil 4.6: Örnekleme döneminde gözlemlenen ortalama rüzgar hızı değerleri.                  | 44 |
| Şekil 4.7:Örnekleme döneminde gözlemlenen ortalama günlük güneşlilik süresi değerleri ..... | 44 |
| Şekil 4.8: Ozon konsantrasyonlarının sıcaklık ile değişimi .....                            | 45 |
| Şekil 4.9: Azot dioksit konsantrasyonlarının sıcaklık ile değişimi .....                    | 46 |
| Şekil 4.10: Ozon konsantrasyonlarının bağıl nem ile değişimi .....                          | 46 |
| Şekil 4.11: Azot dioksit konsantrasyonlarının bağıl nem ile değişim.....                    | 47 |
| Şekil 4.12: Ozon konsantrasyonlarının rüzgar hızı ile değişimi .....                        | 47 |
| Şekil 4.13: Azot dioksit konsantrasyonlarının rüzgar hızı ile değişimi .....                | 48 |
| Şekil 4.14: Ozon konsantrasyonlarının günlük güneşlilik süresi ile değişimi ..              | 48 |
| Şekil 4.15: Azot dioksit konsantrasyonlarının günlük güneşlilik süresi ile değişimi .....   | 49 |

## TABLO LİSTESİ

|  | <u>Sayfa</u> |
|--|--------------|
| Tablo 3.1: Ozon ve NO <sub>2</sub> örnekleme periyotları .....   | 25           |
| Tablo 4.1: Örnekleme döneminde belirlenen ozon konsantrasyonları.....  | 33           |
| Tablo 4.2: Örnekleme döneminde belirlenen NO <sub>2</sub> konsantrasyonları .....  | 34           |
| Tablo 4.3: Ozon ve NO <sub>2</sub> konsantrasyonlarına ilişkin Pearson korelasyon<br>matrisi .....                                   | 38           |
| Tablo 4.4: Ozon ve NO <sub>2</sub> konsantrasyonlarının zamansal değişimine ilişkin<br>Pearson korelasyon katsayıları .....          | 39           |
| Tablo 4.5: Ozon ve NO <sub>2</sub> konsantrasyonları ile meteorolojik parametreler<br>arasındaki Pearson korelasyon katsayıları..... | 49           |

## SEMBOL LİSTESİ

|                                    |   |                                       |
|------------------------------------|---|---------------------------------------|
| <b>CFC</b>                         | : | Kloroflorokarbon                      |
| <b>CO</b>                          | : | Karbon monoksit                       |
| <b>CO<sub>2</sub></b>              | : | Karbondioksit                         |
| <b>H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></b> | : | Sülfürik asit                         |
| <b>HNO<sub>3</sub></b>             | : | Nitrik asit                           |
| <b>HC</b>                          | : | Hidrokarbon                           |
| <b>IPCC</b>                        | : | Uluslararası İklim Değişikliği Kurulu |
| <b>NO<sub>2</sub></b>              | : | Azot dioksit                          |
| <b>NO<sub>x</sub></b>              | : | Azot oksitler                         |
| <b>O<sub>3</sub></b>               | : | Ozon                                  |
| <b>PM</b>                          | : | Partikül Madde                        |
| <b>SO<sub>2</sub></b>              | : | Kükürt dioksit                        |
| <b>SO<sub>3</sub></b>              | : | Kükürt trioksit                       |
| <b>VOC</b>                         | : | Uçucu Organik Bileşik                 |

## ÖNSÖZ

Yüksek lisans tez çalışmamda; planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren sayın hocam Dr. Öğr. Üyesi Sibel ÇUKURLUOĞLU'na sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Tezim kapsamında çok değerli yorum, öneri ve desteklerini esirgemeyen sayın Prof. Dr. Abdurrahman BAYRAM, sayın Prof. Dr. Tolga ELBİR ve sayın Prof. Dr. Osman Nuri AĞDAĞ'a teşekkür ederim.

Kasım, 2019

Seher YÜKSEL

# 1. GİRİŞ

Atmosfer tabakalarından stratosfer üzerinde bulunan doğal ozon tabakası, UV ışınlarını absorplamakta ve zararlı ışınların dünyaya ulaşmasını engellemektedir. Troposferde bazı kirletici bileşenlerinin güneş ışınlarının etkisiyle yani fotokimyasal reaksiyonlar sonucu oluşan ve güçlü yükseltgen bir gaz olan ozon ise ikincil bir kirleticidir. Dünyanın farklı bölgelerinde yapılan gözlemler troposferik ozonun geçtiğimiz yüzyılda arttığını göstermektedir.

Ozon ve ondan türeyen organik oksitleyicilerin konsantrasyonundaki artış “sera gazı” olarak önemi ve etkileşim sonucu bitki, hayvan ve insan sağlığı üzerindeki olası olumsuz etkileri nedeni ile endişe oluşturmaktadır. Ozon insan sağlığı üzerindeki ciddi etkilerinin yanı sıra, tarım ürünleri ve orman alanlarına verdikleri zarar ve şehir alanlarında oluşturduğu toksik etki nedeni ile izlenmesi gereken önemli bir fotokimyasal oksidanttır. İnsanların yüksek ozon konsantrasyonlarına maruz kalmaları durumunda ateşlenme ve akciğer fonksiyonlarında azalma görülür.

Denizli’de Çevre ve Şehircilik Bakanlığı’na ait iki sabit istasyonda kükürt dioksit ve partikül madde ölçümleri yapılmaktadır. Türkiye İstatistik Kurumu tarafından bu ölçüm sonuçları değerlendirilmekte ve değerlendirmeler dikkate alındığında, Denizli’nin hava kirliliği bakımından her yıl üst sıralarda yer aldığı görülmektedir.

Bu tezin amacı; Denizli’de 4 farklı bölgede, Radiello<sup>®</sup> pasif örnekleyiciler kullanılarak ozon ve azot dioksit örnekleme yapılması, ozon ve azot dioksit konsantrasyonlarının zamansal ve alansal değişimlerinin incelenmesi, ozon ve azot dioksit konsantrasyonları arasındaki istatistiksel ilişkilerin araştırılması, ozon ve azot dioksit dağılım haritalarının belirlenmesi ve meteorolojik parametreler ile ozon ve azot dioksit konsantrasyonları arasındaki istatistiksel ilişkilerin araştırılmasıdır.

## 2. GENEL BİLGİLER

### 2.1 Hava Kirliliği

#### 2.1.1 Hava, Hava Kirliliği ve Atmosferin Yapısı

Hava kirliliği, atmosferdeki bir veya daha fazla kirleticinin insan, bitki ve hayvan yaşamına; ticari veya kişisel eşyalara ve çevre kalitesine zarar veren miktar ve sürelerde bulunması olarak tanımlanmaktadır (Müezzinoğlu 2000).

Atmosfer, içeriğinde, yaklaşık olarak % 78 azot ( $N_2$ ), % 21 oksijen ( $O_2$ ) ve % 1 bazı iz gazların bulunduğu bir karışımdır.  $N_2$ ,  $O_2$ , argon (Ar), neon (Ne), helyum (He), kripton (Kr), hidrojen ( $H_2$ ) ve ksenon (Xe) sabit miktarda bulunmakta, diğerleri zamansal ve alansal olarak değişmektedir. Bu bileşenler arasında su buharı ( $H_2O$ ), karbon dioksit ( $CO_2$ ), metan ( $CH_4$ ), ozon ( $O_3$ ), azot oksitler (nitroz oksit ( $N_2O$ ), azot monoksit (NO), azot dioksit ( $NO_2$ ), amonyak ( $NH_3$ ), formaldehit (HCHO), kükürt dioksit ( $SO_2$ ), bir dizi indirgenmiş kükürt bileşiği (dimetil sülfür ( $(CH_3)_2S$ ), karbon disülfür ( $CS_2$ ), karbonil sülfür (COS) ve hidrojen sülfür ( $H_2S$ )), hidroksil radikali, hidroperoksil radikali ve hidrojen peroksit bulunmaktadır. Gaz fazındaki bu bileşenlerin yanı sıra atmosfer iz miktarlarda partikül nitrat ( $NO_3^-$ ), amonyum ( $NH_4^+$ ) ve sülfat ( $SO_4^{2-}$ ) içermektedir (Godish 2004).

Hızlı kentleşme, motorlu araçların sayısındaki önemli artışlar ve ekonomik gelişme süreçleri, özellikle gelişmekte olan ülkelerdeki kentsel yerleşim alanlarındaki büyük bir hava kirliliğine neden olmuştur. Bu konuda birçok kentte hava kirliliği ile ilgili olarak kapsamlı ve karşılaştırmalı risk değerlendirme ve sağlık etkileri çalışmaları yapılmıştır. Bu yapılan çalışmalarda genel olarak insan sağlığına en büyük etkinin havada asılı halde bulunan çok küçük (aerodinamik çapı 10 mikron ve daha düşük, yani  $PM_{10}$  ve daha alt sınıflara ilişkin) partiküllerden ve kurşundan kaynaklandığı belirlenmiştir. Sağlığa olan etkileri bakımından incelenmesi gereken diğer kirleticiler ise özellikle küçük partiküllerde birikimi, asit yağmurları ve uzun

dönemli çevresel hasarları bakımından kükürt dioksit, uygunsuz topoğrafik koşullara sahip sıcak ve güneşli yerlerdeki karmaşık etkiler bakımından ozon, birçoğu kanserojen olarak tanımlanmış uçucu organik bileşikler (VOC), ozon oluşumuna katkıları bakımından azot oksitler ( $\text{NO}_x$ ) ve karbon monoksit (CO) olarak sayılabilmektedir (Başaran 2009).

Troposfer, yeryüzünden ortalama 10 km yükseğe kadar çıkan atmosfer tabakasıdır. Troposfer ve alt troposfer arasında iklim ile ilgili olaylar gerçekleşmektedir. Bu bölge atmosferin en aktif bölgesi olup stratosfer ile birlikte fotokimyasal reaksiyonların da meydana geldiği kısımdır (Coşkun 2008).

### **2.1.2 Hava Kirliliğinin Küresel Etkileri**

Atmosfer tabakası çeşitli gazlardan oluşmaktadır. Ayrıca küçük miktarlarda bazı asal gazlar bulunmaktadır. Güneşten gelen ışınlar (ısı ışınları/kısa dalgalı ışınlar), atmosferi geçerek yeryüzünü ısıtmaktadır. Atmosferdeki gazlar yeryüzündeki ısının bir kısmını tutarak yeryüzündeki ısının kaybına engel olmaktadır (Taş 2006).

Atmosferin, ışığı geçirme ve ısıyı tutma özelliği bulunmaktadır. Atmosferin ısıyı tutma özelliği sayesinde suların sıcaklığı dengede kalmaktadır. Bu şekilde oluşan, atmosferin ısıtma ve yalıtma etkisine sera etkisi denmektedir. Metan, ozon ve kloroflorokarbon (CFC) gibi sera gazları çeşitli insan aktiviteleri ile atmosfere karışmaktadır. Bu gazların hepsinin ısıyı tutma özelliği vardır.  $\text{CO}_2$  ve ısıyı tutan diğer gazların miktarındaki artış, atmosferin ısısının yükselmesine neden olmaktadır. Bu da küresel ısınma olarak ifade edilmektedir (Ertürk 2004).

İnsanların yapmış oldukları çeşitli faaliyetlerin küresel ısınmaya katkısı şu şekildedir:

- Enerji kullanımı % 49
- Endüstrileşme % 24
- Ormansızlaşma % 14



- Tarım % 13 (Ertürk 2004).

Sera etkisi yeryüzünden uzaya gönderilen ısının atmosfer gazları tarafından absorbe edilmesidir. Böylece atmosfer doğal olarak sera etkisi özelliği göstererek yeryüzünün ortalama sıcaklığının + 15 °C civarında kalmasını sağlamaktadır. Sera etkisini arttıran gazların emisyonunun azaltılmaması halinde yeryüzü sıcaklığının 2050 yılına kadar 3 – 9 °C artacağı tahmin edilmektedir (Smith ve Hunt 1978).

1992 Dünya Çevre Konferansı'nın gündemindeki birinci madde "iklim değişiklikleri ve biyolojik çeşitlilik" olmuştur. Son yüzyılda en çok araştırılan konuların başında; iklim değişikliğinin çevre, tarım, ormancılık ve su kaynaklarının üzerindeki etkileri gelmektedir. Dünya nüfusu, 1987 yılında 5 milyar sınırını aşarak 1993'de 5,4 milyara ulaşmıştır. Bu süre içerisinde enerji kullanımı ise yaklaşık dört kat artmıştır. Hızlı nüfus artışı beraberinde sanayileşmeyi de getirmiştir. Sanayileşmenin başlaması ile fosil yakıt tüketimi artmış ve atmosfer kirlenmeye başlamıştır. Atmosferin kirlenmesi beraberinde küresel sorunların ortaya çıkmasına neden olmuştur. Bunlar içerisinde en önemlisi küresel ısınmadır. Küresel sıcaklıktaki artışın bitkilere ne gibi etkilerde bulunacağı konusunda çeşitli araştırmalar yapılmaktadır. Zira bitki ile iklim arasında oldukça karmaşık bir ilişki bulunmaktadır. Tarımda kontrolü en zor olan etken meteorolojik parametrelerdeki değişikliklerdir. Bu değişiklikler o yıl içinde elde edilecek ürün miktarını doğrudan veya dolaylı olarak etkilemektedir (Smith ve Hunt 1978).

### **2.1.2.2. İklim Değişikliği**

İklim değişikliği konusunda 150'den fazla hükümet, Birleşmiş Milletler tarafından 1988 yılında kurulmuş olan Uluslararası İklim Değişikliği Kurulu'nda (IPCC) yer alan binlerce bilim insanının dünyanın dikkatine getirdiği kesin bulgular üzerinde anlaşmaya varmıştır (EPA 2005).

Dünyanın önde gelen 17 ulusal bilim akademisi, ortak bir açıklama ile IPCC'yi ve ortaya koyduğu en son sonuçları, iklim değişikliği konusunda en güvenilir bilgi kaynağı olarak kabul ettiğini bildirmiştir (EPA 2005).

IPCC 2001 yılında iklim sisteminin nasıl işlediği ve insan etkinliklerinin bunu nasıl değiştirdiği ile ilgili daha güçlü kanıtları içeren üçüncü değerlendirme raporunu yayınlamıştır. Bu değerlendirmeye göre son 50 yılda gözlenen ısınmanın büyük bölümünün insan etkinliklerine bağlanabileceği konusunda yeni ve daha güçlü kanıtlar bulunmaktadır. Ayrıca raporda, küresel ısınmanın düşünüleninden daha önce, hızlı ve şiddetli gerçekleştiği yer almaktadır (IPCC 2002).

### **2.1.2.3. Asit Yağışları**

Antropojenik olarak sanayi, endüstri, tarım ve diğer çevresel faaliyetler sonucunda birçok kirletici atmosfere atılmaktadır. Sanayi tesisleri, enerji santralleri, motor egzozları ve benzeri kaynaklardan atmosfere atılan SO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> atmosferdeki taşınımı sırasında bulut içinde bulunan su buharı ile reaksiyona girmektedir. Bu reaksiyonlar sonucunda sülfürik asit (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) ve nitrik asit (HNO<sub>3</sub>) oluşmaktadır. Oluşan bu asitlerin yağmur, kar, sis ve diğer şekillerde yağışlarla birlikte yeryüzüne düşmesi olayına asit yağışları denmektedir. Yağışların normal yağıştan daha fazla asitlik derecesine sahip olmaları, düştükleri bölgeyi (bitkiler, toprak, yapılar, göller, akarsular, denizler vb) kirletmekte, doğal yapılara ve canlılara zarar vermektedir (Durham 1990).

Baca emisyonlarının sebep olduğu asit yağışlarının yanı sıra, atmosfer bitki örtüsü–toprak yüzeyleri arasındaki kuru ve yağ çökme yolu ile taşınma işlemleri son yıllarda ön planda yer alan araştırma konularındandır. Yağış suyunun asitleşmesinde 1/3 oranında azot bileşikleri, 2/3 oranında ise kükürt bileşikleri sorumludur. Kükürttten gelen kirlenme tehlikesi daha büyüktür. Asitleşme temel olarak kükürt dioksit ve azot oksit kirleticilerinin dolaylı bir etkisidir (Durham 1990).

## **2.2 Hava Kirliliği Kaynakları**

Hava kirliliği doğal veya antropojenik kaynaklardan gaz, toz veya sıvı halde atmosfere atılan maddelerin doğrudan veya dolaylı olarak diğer maddelerle reaksiyona girmesiyle oluşmaktadır. Doğal kaynaklar; volkanlar, tozlar, orman yangınları, su yüzeyinden olan atımlardır (Taş 2006).

Hava kirliliği kaynakları alansal, çizgisel ve noktasal kaynaklar olarak da sınıflandırılmaktadır.

### **2.2.1 Alansal Kaynaklar**

Belirli bir alandan ortaya çıkan kirleticiler alansal kaynaklar olarak tanımlanabilmektedir. Alansal kaynaklar içerisinde en önemli kaynak konutların ısıtılmasıdır (Taş 2006).

### **2.2.2 Çizgisel Kaynaklar**

Hareket halindeyken kirleticilerin oluşturulması çizgisel kaynak olarak tanımlanmaktadır. Araçlar en önemli çizgisel kaynaklardır. Oluşan CO, hidrokarbon ve NO<sub>x</sub>'ler emisyonlarının en yüksek miktarları araçlardan kaynaklanmaktadır. Örneğin, motorlu araçlar % 66 oranında CO üreterek başlıca kirletici kaynaklar arasında birinci sırada yer almaktadır. En yüksek hidrokarbon emisyonuna % 12 ile en yüksek NO<sub>x</sub> emisyonuna da % 6 ile yine motorlu araçlar sahip bulunmaktadır (Teer 1971).

### **2.2.3 Noktasal Kaynaklar**

Sanayi tesisleri ve enerji santralleri noktasal kaynaklardır. Sanayi tesislerinde enerji sağlamak amaçlı kullanılan yakıtlardan ortaya çıkan kirleticilerdir. Noktasal kaynaklar ayrıca katı yakıtların dış ortamda yakılmasıyla oluşmaktadır. Benzin, boya maddeleri gibi organik buharlardan noktasal olarak kirlilik oluşmaktadır (Taş 2006).

## **2.3 Hava Kirletici Maddeler**

Hava kirliliği, soluduğumuz havanın bileşiminin bozulması olarak tanımlanabilmektedir. Bu bileşimi bozan ve havayı kirleten maddeler; tozlar, çeşitli gazlar ve sıvı damlacıklardır. Bu kirleticiler çeşitli nedenlerle oluşup havaya

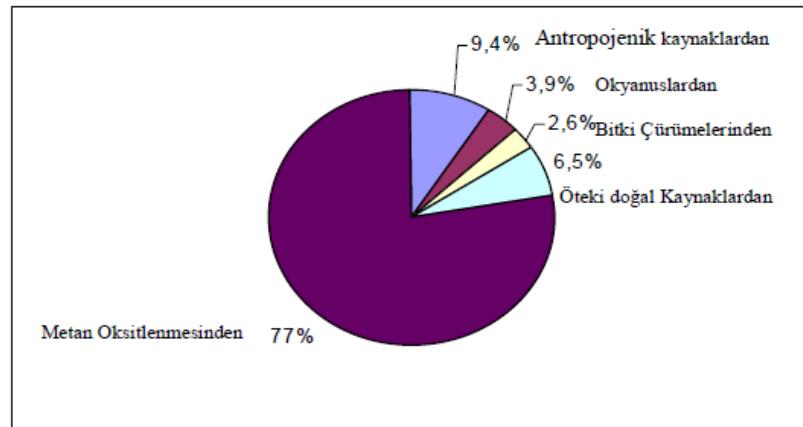
karişarak insan ve çevresi üzerinde zararlı etkiler oluşturmaktadır. Temel hava kirletici maddeler azot oksitler, kükürt oksitler, karbon monoksit, uçucu organik bileşikler ve partikül maddeler şeklinde beş sınıf altında incelenmektedir (Peavy ve diğ. 1985).

### 2.3.1 Karbon Monoksit

Karbon monoksit renksiz, kokusuz, ve tatsız bir gaz olup karbonlu yakıtların eksik yanması ile oluşmaktadır. Birincil bir hava kirletici olan CO, oksijen eksikliği, tutuşma sıcaklığı, yüksek sıcaklıkta gazın kalıcılık zamanı ve yanma odası trblanısı gibi etkenlerden birinin eksikliğinde tam yanma olamaması sonucunda CO<sub>2</sub> yerine meydana gelmektedir (Masters 1991).

#### 2.3.1.1 Karbon Monoksit Kaynakları

CO, antropojenik ve doğal olmak üzere iki ana kaynaktan meydana gelmektedir. CO oluşumuna sebep olan başlıca kaynaklar şekil 2.1’de gösterilmiştir (Ertürk ve Okutan 1993):



şekil 2.1: Karbon monoksitin meydana geldiği başlıca kaynaklar

şekil 2.1’de görüldüğü gibi atmosferdeki CO’in başlıca kaynağı yeryüzündeki değil, atmosferdeki reaksiyonlardır. Atmosferde olan bir takım karişık fotokimyasal reaksiyonlar hidrokarbonlar içerisinde en inert olan metanı kolayca

oksitlemektedir. CO'in % 77'si atmosferdeki bu oksitlenme sonucunda oluşmaktadır (Bayat 2005).

Okyanuslardaki CO'in kaynağının atmosfer olduğu düşünülebilmektedir. Ancak yapılan çalışmalar, okyanuslarda çözülmüş halde bulunan CO konsantrasyonunun, atmosferden absorpsiyon sonucu gelecek CO konsantrasyonundan 30 – 40 kat daha fazla olduğunu göstermiştir. Bu da okyanuslarda birtakım mikroorganizmaların (algler gibi) bu prosesi gerçekleştirdiğini göstermektedir (Peavy ve diğ. 1985; Lyman 1972).

### **2.3.1.2 Karbon Monoksitin Etkileri**

CO gazı solunduğunda tam olarak anlaşılabilen bir anestezi etkisinin olduğu bilinse de durdurucu mekanizmalar işlemezse boğulma başlamakta ve süreç ölüme kadar gidebilmektedir (Gorman ve diğ. 2003).

CO'in Hemoglobin'e (Hb) olan bağlanma ilgisi oksijenden 200 kat fazla olduğu için karboksihemoglobin oluşmaktadır. Sonuç olarak CO aracılı hipoksik stres ortaya çıkmaktadır. CO zehirlenmesi yaygın doku hipoksisi ile sonuçlanmaktadır. Beyin hipoksisi CO zehirlenmesine bağlı ölümün başlıca nedenidir (Brvar ve diğ. 2003).

### **2.3.2 Uçucu Organik Bileşikler**

Uçucu organik bileşikler güneş ışığında NO<sub>x</sub> ile reaksiyona girerek fotokimyasal oksidantlar oluşturabilen, antropojenik ve biyojenik kaynaklardan oluşan metan dışındaki tüm organik bileşikler olarak tanımlanmaktadır. Bu organik bileşikler havada önemi her geçen gün daha çok anlaşılan ve tartışmaya açılan kimyasal etkiler oluşturmaktadır. Bu bileşikler gerek doğrudan ekosisteme, insan sağlığına ve refahına olan etkileri, gerekse atmosferdeki doğal süreçlerde şekil değiştirme ve diğer kirleticilerle girdikleri reaksiyonlar sonunda aldıkları yeni formlar dolayısıyla önemlidir. Bu bakımdan atmosferdeki organik nitelikli karbonlu

gaz ve tozları; doğrudan etkili ve dolaylı etkili maddeler olarak iki grupta ele almak gerekmektedir (Müezzinoğlu 2003).

Organik maddelerin havaya girme yolları da doğal ve antropojenik kaynaklı olarak iki ana gruba ayrılmaktadır. Bunlardan doğal karbonlu madde kaynakları emisyon miktarları bakımından daha önemlidir. Toplam olarak atmosferde bulunan organik maddelerin tamamının yaklaşık % 85'inin doğal kökenli olduğu hesaplanmaktadır. Bu orantıyı arttıran en önemli etmen biyogenik metan gazıdır (Müezzinoğlu 2003).

### **2.3.2.1 Uçucu Organik Bileşik Kaynakları**

VOC'ler çeşitli ısıl işlemler, üretim prosesinde organik solvent kullanımı, petrol ve petrol türevleri gibi organik bileşiklerin ve sıvı yakıtların taşınması ve depolanması, rafineriler ve organik kimyasal işlemler gibi farklı faaliyetler sonucu oluşabilmektedir. Solvent ve organik kimyasal ürünler kullanan tüm işlemler ve sanayi kolları VOC emisyonuna neden olmaktadır (Müezzinoğlu 2003).

### **2.3.2.2 Uçucu Organik Bileşiklerin Etkileri**

VOC'lerin, ana sağlık etkileri; akut ve kronik solunum yolu etkileri, nörolojik toksisite, akciğer kanseri ile göz ve boğaz tahrişidir (Guo ve diğ. 2004). Birçok VOC'nin toksik olduğu ve karsinogenik, mutajenik veya teratojenik olduğu düşünülmektedir (Mo ve diğ. 2009). Ayrıca VOC'ler gibi birçok kapalı alan hava kirleticisi akciğer kanserine neden olabilmektedir. Yaşam boyu VOC'lerden kaynaklanan kanser riskinin üst sınırı, radon ve sigara dumanından kaynaklanan risk tahminleri ile oldukça benzerdir (Wallace 1991).

VOC'lerin önemli bir kısmı reaktif olup atmosferde NO<sub>x</sub>'ler ile girdikleri reaksiyonlar sonucu troposferik ozon oluşumuna neden olmaktadır. Ozonun yanı sıra formaldehit gibi birçok ikincil organik kirletici de oluşmaktadır. VOC'lerin önemli bir kısmı reaktif olup atmosferde girdikleri reaksiyonlar, ozon tabakasındaki ozonun

bozunmasına ve sonuç olarak ozon tabakasının incelmesine neden olmaktadır (Müezzinoğlu 2003).

### **2.3.3 Kükürt Oksitler**

Gaz haldeki kirleticiler arasında renksiz ve yanıcı olmayan kükürt oksitler en çok bilinen birincil hava kirleticilerdendir. Kükürt oksitler 6 farklı oksidinden oluşmaktadır ve SO<sub>x</sub> olarak kollektif bir parametre ile ifade edilmektedir. Bu oksitler SO (kükürt monoksit), SO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub> (Kükürt trioksit), S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Kükürt seskioksit), S<sub>2</sub>O<sub>7</sub> (Kükürt heptaoksit) ve SO<sub>4</sub> (Kükürt tetraoksit)tir. Bunlar arasında hemen hemen yalnızca SO<sub>2</sub> ve SO<sub>3</sub> önem taşımaktadır. Her ikisi de havayı kirleten gazlardır. Kükürt trioksit konsantrasyonu kükürt dioksitin % 1–2'si kadardır (Bayat 2005; Peavy ve diğ. 1985; Ertürk ve Okutan 1993; Şaylan 1994).

SO<sub>3</sub> çok kuvvetli nem çeken, suda çözünen son derece aktif bir maddedir. Nem çekerek, sülfürik asit (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) haline dönüşmektedir. Onun için normal olarak, havada gaz halinde değil, sülfürik asit halinde bulunmakta ve hemen yeryüzüne inmektedir. Her ikisi de renksiz, yanıcı olmayan gazlardır. Kükürt dioksit – 10 °C'de sıvılaşmakta ve – 75 °C'de de katılaşmaktadır. SO<sub>3</sub> ise 45 °C'de kaynamaktadır (Bayat 2005; Peavy ve diğ. 1985; Ertürk ve Okutan 1993; Şaylan 1994).

#### **2.3.3.1 Kükürt Oksit Kaynakları**

Yaklaşık 200 milyon tonu doğal kaynaklardan, 150 milyon tonu da antropojenik kaynaklardan olmak üzere atmosfere her yıl 350 milyon ton kadar kükürt oksitleri karışmaktadır. Doğal kaynaklardan karışan kükürt oksitleri, atmosfere doğrudan kükürt oksitler olarak değil, hidrojen sülfür (H<sub>2</sub>S) olarak karışmaktadır. Hidrojen sülfür atmosferde oksijenle, ozonla (O<sub>3</sub>) yükseltgenerek SO<sub>x</sub> haline dönüşmektedir. Her yıl atmosfere 103 milyon ton hidrojen sülfür yayılmaktadır. Bunlardan 70 milyonu organik maddelerin bozunmasından, 30 milyonu okyanuslardaki biyolojik bozunmalardan, 3 milyon tonu ise endüstriyel bozunmalardan kaynaklanmaktadır (Bayat 2005).

Atmosfere karışan 150 milyon tonluk antropojenik kaynaklı SO<sub>x</sub> başlıca kömür, petrol, doğal gaz gibi fosil yakıtların yakılmasından ve bakır, kurşun, demir, çinko, civa gibi metallerin sülfürlerinin işlenmesinden kaynaklanmaktadır. Fosil yakıtlardan, özellikle kömür yandığı zaman önemli ölçüde SO<sub>x</sub> meydana gelmektedir. Kalitesiz kömürler daha yüksek oranlarda kükürt içermektedir (Peavy ve diğ. 1985).

Antropojenik kaynaklı SO<sub>x</sub>'in yaklaşık % 70'i kömür yakıtlarından gelmektedir. Kömür kullanılan başlıca yerler fabrikalar, santraller ve konutlardır (Bayat 2005; Peavy ve diğ. 1985; Ertürk ve Okutan 1993; Şaylan 1994).

### **2.3.3.2 Kükürt Oksitlerin Etkileri**

Solunan yüksek konsantrasyondaki SO<sub>x</sub>'in % 95'i üst solunum yollarında absorbe olarak tahribata sebep olmaktadır. Hücresel solunumu bozarak etkisini göstermektedir. Bunun sonucunda bronşit, amfizem ve diğer akciğer hastalıkları semptomları meydana gelmektedir. 1 – 12 yaş grubunda akut bronşit hastalıklarında % 20 artış gözlenmiştir. Kalp ve solunum sistemine bağlı ölümlerde artışa yol açmaktadır. Astımlılar en duyarlı gruptur. Sinir sisteminde tahribata yol açmaktadır (Onat ve diğ. 2012).

Asit yağmurlarının oluşmasına sebep olması bölgesel ölçekte meydana getirdiği önemli etkiler arasındadır. Bitki örtüsü ve malzemelere önemli zararlar vermektedir (Lyman 1972).

### **2.3.4 Partikül Maddeler**

Partiküller hava kirleticiler içerisinde önemli bir yere sahiptir. 0,001 – 1 µm büyüklüğünde olan partiküllere duman, 0,1 – 10 µm büyüklüğünde olan partiküllere ise sis adı verilmektedir. Sis yoğuşma yoluyla oluşan ince sıvı damlacıklarından meydana gelmektedir. Dumanlar ise gazların yoğuşması, süblime olması veya kimyasal reaksiyona girmesiyle oluşmaktadır (Peavy ve diğ. 1985).



### **2.3.4.1 Partikül Madde Kaynakları**

Partikül maddeler orman yangınları, volkanlar, kasırgalar gibi doğal kaynakların yanı sıra sanayi tesisleri, yakıt kullanımı, ulaşım gibi antropojenik kaynaklara sahiptir.

### **2.3.4.2 Partikül Maddelerin Etkileri**

Partiküllerin sağlık üzerine etkileri partikül büyüklüğü ve konsantrasyonuna bağlıdır. Özellikle 10 µm'nin altındaki partiküller önemlidir. Akut etkileri; solunum sistemi hastalıklarında artış, öksürükte artış, solunumda azalmadır. Bronşit, amfizem gibi kronik solunum hastalıklarına yol açmaktadır. 0,01 – 1 µm arasındaki partiküller akciğer içinde alveollere nüfus etmekte ve büyük oranda birikmeleri neticesinde akciğerlere zarar vermektedir. Kanın içindeki karbon dioksitin oksijene dönüşümünü yavaşlatarak kalbin daha fazla çalışmasını gerektirerek kalp üzerinde ciddi bir baskı oluşturmaktadır. Uzun süreli solunum sonucunda kanser yaptığı bilinen bileşenlerden bazıları kurum, uçucu kül, benzin, dizel egzoz partikülleri, benzopiren gibi maddelerdir (Onat ve diğ. 2012).

### **2.3.5 Azot Oksitler**

Azot monoksit renksiz, kokusuz bir gaz olup yüksek sıcaklık altında yanma işlemi sonucunda ortaya çıkmakta ve yanmanın tüm şekillerinde daima meydana gelmektedir. Azot oksitler ( $\text{NO}_x$ ), azot monoksit (NO), azot dioksit ( $\text{NO}_2$ ), nitrozoksit ( $\text{N}_2\text{O}$ ), azot sasquioksit ( $\text{N}_2\text{O}_4$ ), azot tetraoksit ( $\text{N}_2\text{O}_4$ ), ve azot pentoksit ( $\text{N}_2\text{O}_5$ ) bileşenlerinden oluşmaktadır. Azot oksitler içinde NO ve  $\text{NO}_2$  daha fazla bulunmaktadır. Benzin, mazot ve doğal gazların yüksek sıcaklıklı yanmasından meydana gelmektedir. Azot dioksit güneş ışığına maruz kaldığında, kirli kahverengimsi bir renk almaktadır.  $\text{NO}_2$  aynı zamanda güneş ışınlarının ultraviyole bölümünün iyi bir absorplayıcısı olduğu için ozon gibi ikincil hava kirleticilerinin oluşumunda rol oynamaktadır (Coşkun 2008).

Kirli bir atmosferde azot oksidin azot dioksite oksitleşerek dönüşümü temel olarak ikincil fotokimyasal reaksiyonlar yolu ile olmaktadır. Azot oksit sabahın erken saatlerde trafiğin yoğun olduğu dönemde maksimum seviyeye ulaşmaktadır. Yükselen güneş azot oksidi azot diokside dönüştüren bir dizi fotokimyasal reaksiyona yol açmaktadır. Yani NO<sub>2</sub> konsantrasyonu NO maksimum seviyeyi bulduktan yaklaşık iki saat sonra maksimum değerini görmektedir. Güneş radyasyonunun etkin olmaya başladığı saatlerde NO<sub>2</sub> fotolizi ile O<sub>3</sub> oluşmaya başlamaktadır. Güneş battıktan sonra da fotoliz için gerekli enerji kalmadığından gece saatlerinde O<sub>3</sub> konsantrasyonu düşmektedir. Bu olay her gün yenilenmektedir. Eğer hava kütlesi bir rüzgar sayesinde başka yere sürüklenmezse veya geri gelirse kalan gazlar yeni günün kirleticilerine eklenmektedir (Coşkun 2008).

### **2.3.5.1 Azot Oksit Kaynakları**

NO<sub>x</sub> kaynakları hem doğal hem de antropojenik kaynaklardır. Atmosferin üst tabakalarından atmosferin alt tabakalarına ulaşan ve şimşekler ve orman yangınları sırasında oluşan NO<sub>x</sub> 'ler buna örnek olarak verilebilmektedir. Ayrıca bakteriyel parçalanma sonucunda da bir miktar NO<sub>x</sub> oluşmaktadır. Bu şekilde meydana gelen NO<sub>x</sub>, antropojenik faaliyetler sonucu oluşan NO<sub>x</sub>'in yaklaşık 10 katıdır (Bayat 2005; Peavy ve diğ. 1985; Ertürk ve Okutan 1993).

Maksimum NO konsantrasyonları çoğunlukla sonbaharın sonlarında ve kış aylarında oluşmaktadır. Bu aylar ısınma enerjisinin maksimum ihtiyaç duyulduğu, rüzgar hızlarının düşük olduğu ve solar radyasyonların en az olduğu aylar olarak tanımlanmaktadır. NO<sub>2</sub>, NO gibi mevsimsel değişiklikler göstermemektedir (Bayat 2005; Peavy ve diğ. 1985; Ertürk ve Okutan 1993).

### **2.3.5.2 Azot Oksitlerin Etkileri**

3000 – 9400 µg m<sup>-3</sup> konsantrasyona 10 – 15 dakika maruziyet sonucunda akciğer fonksiyonlarında değişimler gözlenmiştir. Azot dioksit maruziyetindeki şikayetler sağlıklı kişilerde 1880 µg m<sup>-3</sup>, astımlılarda ise 940 µg m<sup>-3</sup> düzeyinde olmaktadır. Bir haftadan bir aya kadar olan sürede 1880 µg m<sup>-3</sup> konsantrasyona

maruziyette bronşiyel ve pulmoner bölgelerdeki hücrelerde anormal değişiklikler, 940  $\mu\text{g m}^{-3}$  konsantrasyona maruziyette ise akciğerin bakteriyel enfeksiyonlara karşı hassasiyetinin artması ve biyokimyasal değişimler gözlenmektedir. 0,01 ppm'in altındaki azot dioksit konsantrasyonunda 2 – 3 yaş arası çocuklarda bronşit vakalarında artış gözlenmiştir. Düşük konsantrasyonlarda bakteriyel enfeksiyonlara karşı direnci düşürmektedir (Coşkun 2008).

Azot dioksit solar radyasyon ile foto reaksiyona girerek yanmamış hidrokarbonlarla birlikte zincirleme reaksiyonlar neticesinde fotokimyasal smog ve oksidantları (ozon, PAN) oluşturmaktadır. Asit yağmurlarına yol açarak bölgesel ölçekte etkiler meydana getirmektedir (Coşkun 2008).

### 2.3.6 Ozon

Ozon ( $\text{O}_3$ ), azot oksitlerin, gaz hidrokarbonların ve güneş ışığının etkileşimi sırasında oluşan bir oksijen formudur. Troposferde kirletici olarak bulunan  $\text{O}_3$  doğrudan oluşmamakta, meydana gelmesi için enerjiye ihtiyaç duymaktadır.  $\text{O}_3$  oluşumunun fotokimyasal reaksiyonu için ihtiyaç duyulan enerji güneş radyasyonu ile sağlanmaktadır.  $\text{O}_3$  önemli bir oksidantdır (Bayat 2005).

Atmosferdeki  $\text{O}_3$ 'un yaklaşık % 10'u atmosferin alt tabakalarında, troposferde; yaklaşık % 90'ı da stratosferde bulunmaktadır. Stratosferdeki  $\text{O}_3$ , güneşten gelen morötesi ışınların enerjisini alıkoyan bir döngü içinde sürekli parçalanıp yeniden oluşarak canlı yaşamında önemli rol oynamaktadır. Stratosfer tabakasında bulunan  $\text{O}_3$  solar ultraviyole ışınlarını perdelemek için ihtiyaç duyulurken azalmakta; troposfer tabakasında ise artarak insan ve canlı sağlığı, tarım alanları, orman ve bitki örtüleri üzerine zararlı etkisiyle bir tehdit unsuru haline gelmektedir (Özden 2005).

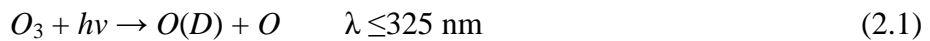
Troposferik  $\text{O}_3$  küresel iklim değişikliğinde rol oynayan sera gazları arasında dördüncü sırada gelmektedir. Uzun dalga boylu radyasyonun atmosferde kalmasına, atmosferin sera etkisinin artmasına neden olmaktadır. Küresel iklim değişikliğindeki sera etkisi % 7 kadardır (Bayat 2005).

### 2.3.6.1 Ozon Kaynakları

Ozonun ana kaynağı orta-stratosferdeki ozondur. Bu ozonun troposfere geçmesi yerçekimindeki bölgesel dalgalanmalar stratosfer ve mezosferdeki katmanların bölgesel değişimleri ile ilişkilidir. Stratosfer ile troposfer arasındaki geçişte en önemli bölge, üst troposferin siklonik bölgesi, jet akım bölgesi yakınıdır. Stratosfer ve troposfer arasındaki geçişlerin en etkin olduğu dönem kış mevsiminin sonları ve ilkbahardır. Önemli fotokimyasal ürünlerin atmosferde oluşmadığı ilkbahar döneminde troposferde beklenenden yüksek O<sub>3</sub> konsantrasyonları görülmektedir. Bu değerler göstermektedir ki bölgenin enlemi, troposferik yüksekliği, mevsim ve troposferde önemli hiçbir fotokimyasal ürünün bulunmaması gibi koşullarda stratosferdeki ozonun troposferdeki ozon oluşumunda payı büyüktür (Guicherit ve Roemer 2000).

Yeryüzeyinden itibaren yaklaşık 15.km'ye kadar uzanan troposfer tabakasının yere yakın alt kısımlarında bulunan ozon troposferik ozon olarak adlandırılmaktadır. Antropojenik aktivitelerden; yani kısaca motorlu araçların, endüstriyel aktivitelerin ve güç santrallerinin salımlarından ortaya çıkan bu ozon kötü huylu ozon olarak bilinmektedir. Bu şekilde anılmasının sebebi, özellikle çocuklarda bir takım solunum rahatsızlıklarına neden olmasıdır. Aynı zamanda bitkiler ve ormanlar üzerinde de birçok olumsuz etkiye sahiptir. Kötü huylu ozon kirleticilerden atmosfere doğrudan salınan bir kirletici değil, atmosferde tepkime sonucu oluşan ikincil bir kirleticidir. Kötü huylu ozon, hidrokarbon ve NO<sub>x</sub> türevlerinin güneş ışığı ile birlikte girdikleri tepkime sonucunda oluşmaktadır (Guicherit ve Roemer 2000).

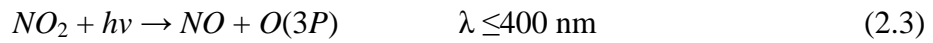
Ozon atmosfer kimyasında ve atmosferin kimyasal yapısının belirlenmesinde önemli bir paya sahiptir. Ozonun ultraviyole ışığa ile O(D) atomunu açığa çıkarması reaksiyonu aşağıda görüldüğü gibi gerçekleşmektedir. Bunu izleyen reaksiyonda O(D) atomu su ile reaksiyona girmektedir (Guicherit ve Roemer 2000):



Atmosferin oksidasyon verimliliği öncelikli olarak hidroksil radikalleri (OH) ile belirlenmektedir. CO, CH<sub>4</sub>, NO<sub>2</sub> ve VOC gibi ozon öncüsü olan bileşiklerin OH

ile reaksiyona girerek atmosferde tüketilmesi atmosferin oksidasyon verimliliğini etkilemektedir. Atmosferik ozonun önemli bir kısmı troposferdeki serbest radikallerin içinde bulunduğu kimyasal reaksiyonlar ve ayrıca kuru çökeltme ile yeryüzeyine ulaşması gibi nedenlerle oluşma ve bozunma özelliklerine sahiptir (Guicherit ve Roemer 2000).

Troposferde ozon, NO<sub>x</sub>'lerin varlığında CO, CH<sub>4</sub> ve metan içermeyen uçucu organik bileşiklerin (NMHC) reaksiyonları ile oluşmakta ve hidroksil radikalleri ile parçalanma reaksiyonuna girmektedir (Guicherit ve Roemer 2000).



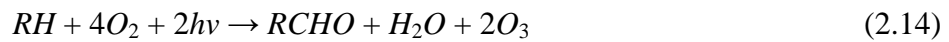
Atmosferde azot monoksit (NO) bulunması durumunda, ozon NO ile reaksiyona girmekte ve NO<sub>2</sub> tekrar oluşmaktadır (Guicherit ve Roemer 2000):



CO ve organik maddelerin varlığında oluşan reaksiyonlar şu şekildedir:

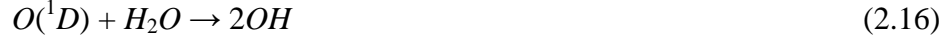
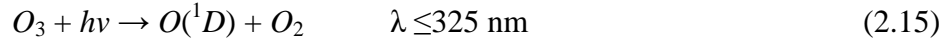


-----net



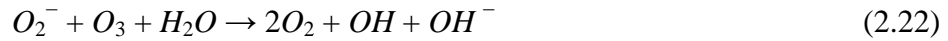
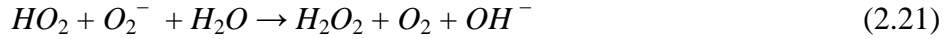
Bu reaksiyonlarda organik maddeler (CH<sub>4</sub>, NMVOC) 2.7 reaksiyonundaki RH ile ifade edilmektedir. CARB ise ya karbonil (RCHO) grubu ya da ketondur

(RCRO). Fotokimyasal olarak troposferik ozonun bozunma reaksiyonları ise aşağıda özetlenmiştir (Guicherit ve Roemer 2000):



Atmosferde gerçekleşen reaksiyonlara bakıldığında ozon oluşumu  $NO_x$  varlığı ile doğrudan ilişkilidir.  $NO_x$  konsantrasyonunun düşük seviyelerde olduğu atmosferin bir bölümünde ozonun parçalanması oluşumundan daha fazladır (Guicherit ve Roemer 2000).

Ozon oluşum ve bozunma reaksiyonları içerisinde bulunan  $HO_x$  ( $HO_x = OH + HO_2$ ) üzerinde bulutların oluşturabileceği etkiler dikkate alınmalıdır. Bulut varlığında  $HO_2$  radikali asit baz çözünmesi ile  $HO_{2(aq)}$ 'ye dönüşmektedir (Guicherit ve Roemer 2000):



### 2.3.6.2 Ozonun Etkileri

Ozon, önemli sağlık problemleri oluşturan, malzemelere ve ekosisteme zarar veren önemli bir fotokimyasal oksidanttır. İnsanların yüksek ozon değerlerine maruz kalmaları durumunda ateşlenme durumu ve akciğer fonksiyonlarında azalma görülmektedir. Görülebilecek semptomlar göğüs ağrısı, nefes almada zorluk, baş ağrısı ve gözlerde tahriş olarak sıralanabilmektedir. Ozon konsantrasyonunun  $160 - 360 \mu\text{g m}^{-3}$  aralığında olması durumunda 1 ile 8 saat maruz kaldığında akciğer fonksiyonlarında azalma gözlemlenmiştir (Leeuw 2000).

Ekosistem ve tarım ürünlerinin ozona maruz kalması sonucunda yapraklı bitkilerin yapraklarında oluşan zararlar, ekinlerde ve tohumlu bitkilerde ise azalma görülmektedir. Bunların dışında ozonun etkilediği başka bir yapı doğal ya da yapay kauçuk, kumaş ve bunun gibi malzemelerdir. Günümüze kadar gelen dönemde bu zarar verme mekanizmalarının incelenmesinde, bu zararlara ozonun katkısının belirlenmesinde ve ekonomik değerlendirmeler konusunda büyük eksiklikler olduğu hissedilmektedir (Leeuw 2000).

Ozonun insan ve çevre sağlığı üzerindeki olumsuz etkilerinin önemi göz önünde bulundurularak Amerika Çevre Koruma Ajansı 1997 yılında hava kalitesi sınır değerlerini (USEPA, 62 FR 38856, 1997) yenilemiştir (Lehman ve diğ. 2004). Avrupa'da geçerli olan hava kalitesi sınır değerlerinin belirlenmesinde Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO) değerleri göz önünde bulundurulmuştur.

## **2.4 Hava Kirliliği Ölçüm Yöntemleri**

Atmosferin genişliğinden ve dinamik yapısından dolayı, kirleticilere özgü sonsuz konsantrasyon değerlerini belirlemek mümkün değildir. Konsantrasyonlar, kirletici maddeleri bir örnekleme ortamında ya da otomatik sürekli sistemlerde toplayarak belirlenmektedir. Manuel yöntemlerde, örnekleme ve örneklerin toplanmasından günler veya haftalar sonra yapılan analizler birbirinden ayrık olaylardır. Otomatik sistemlerde ise örnekleme ve analiz eş zamanlı veya yaklaşık eş zamanlı olaylardır ve konsantrasyonlar gerçek zamanlı olarak ölçülmektedir (Godish 2004).

### **2.4.1 Pasif Örnekleme Yöntemi**

Pasif örnekleme yöntemi ekosistemin maruz kaldığı gaz kirleticilerin konsantrasyonlarının belirlenmesinde, kirleticilerin bölgesel değişimlerinin belirlenmesinde, atmosferde taşınım gibi bilgilerin alınmasında uygun olarak kullanılan bir yöntemdir (Tang ve diğ. 1998).

Difüzyon tüpleri, birkaç hafta veya ay boyunca ortalama kirlilik konsantrasyonlarının genel bir göstergesini sağlamak için hava kalitesini izlemek için basit ve ekonomik bir teknik sağlamaktadır. Bu nedenle yöntem özellikle yıllık (uzun dönemli) ortalama hedeflere göre değerlendirme için yararlıdır. Bu yöntem, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, 1,3-bütadien, BTX (benzen, toluen ve ksilen) düzeylerini ölçmek için kullanılmaktadır (Harrop 2002).

Gaz ve buhar halindeki kirlenici örneklerini, atmosferdeki statik bir tabaka içinden difüzyon veya bir membran içinden permeasyon gibi fiziksel bir işlemle, atmosferden hız kontrollü olarak alabilen cihazlar pasif örnekleyiciler olarak tanımlanmaktadır. Ancak burada, havanın örnekleyici içinden aktif bir hareketle geçmesi gerekmediği için bu ölçüm sonuçları, meteorolojik koşullara büyük ölçüde bağlıdır. Modern anlamda difüzyon tipi pasif örnekleyiciler Palmes ve Gunnison tarafından; permeasyon / difüzyon tipi örnekleyiciler ise Reiszner ve West tarafından geliştirilmiştir. Difüzyon tipi örnekleyicilerin temel prensibi; gaz moleküllerinin, yüksek konsantrasyon bölgesinden, düşük konsantrasyon bölgesine difüze olmasıdır (Monn ve Hangartner 1990).

Pasif örnekleme cihazları disk veya silindirik tüp şeklindedir. Ölçülecek olan kirlenici, seçilen bir kimyasalda absorpsiyon yöntemi ile toplanmaktadır. Uygun örnekleme süresi boyunca maruziyetten sonra örnekleyici laboratuvara getirilmekte ve kirlenici miktarı kantitatif olarak belirlenmektedir (Monn ve Hangartner 1990).

Pasif örnekleyicilerin kullanımı, ozonun ekolojik etkilerinin belirlenmesi amacıyla yapılan çalışmalarda son dönemlerde artmıştır. Ekonomik nedenler ve ölçüm yapılacak bölgelerin coğrafik koşulları nedeniyle konsantrasyonların belirlenmesinde pasif örnekleyiciler kullanılmakta ve etkilerinin incelenmesinde kümülatif ortalamalar göz önünde bulundurulmaktadır (Krupa ve diğ. 2001).

Pasif örnekleme cihazlarının kolaylığı bir örnekleyici için düşük miktarda bir harcama ile çalışmalara başlanabilmesidir. Bu sayede çok sayıda ünite ile kirlenicinin alan içindeki dağılımı konusunda yararlı bilgileri sağlamaktadır. Kullanım kolaylığı ve başlangıç maliyetinin düşük olmasından dolayı pek çok uygulama için pasif örnekleyiciler uygundur. Çok sayıda kirlenici parametre için farklı teknikler bulunmaktadır (Monn ve Hangartner 1990).



Pasif örnekleyicilerin kolay taşınımı ve depolanması, maliyetlerinin uygun olması, kimyasal analizlerinin kolay olması gibi özellikleri bu örnekleyicilerin tercih edilmesindeki önemli sebeplerdir. Absorbent tüplerde toplanan birden çok kirletici çeşidinin analiz edilebilmesi ve bunun sağladığı ekonomik ve karmaşık kimyasal analizlerin yapılabilirliği yöntemin diğer önemli avantajlarıdır (Tang ve diğ. 1998). Pasif örnekleyiciler enerji gereksinimi göstermemekte, pompa kullanımına gerek duyulmamakta, kolay taşınabilmekte ve sessiz çalışmaktadır (Krupa ve diğ. 2001).

Pasif örneklemede örnekleme periyodunun sonuna kadar örnekleyici kirleticiyi toplamaya devam etmektedir. Bu nedenle örneklenen kirletici konsantrasyonu onun örnekleyici üzerinde toplanan miktarına ve örnekleyicinin kirleticiye maruz kalma süresine bağlı olarak değişmektedir. Kirletici konsantrasyonu ile örnekleme debisi arasındaki ilişkinin bilinmesi durumunda “zaman ağırlıklı ortalama maruz kalma” konsantrasyonu kolayca hesaplanabilmektedir (Krupa ve diğ. 2001).

Pasif örnekleyiciler kullanıldığında kirleticilerin kümülatif olarak toplanmış konsantrasyonları belirlenmiş olmaktadır. Bitkiler üzerindeki etkilerinin belirlenmesinde önemli bir gösterge olan saatlik salınımlar pasif örnekleme yönteminde görülmemektedir, ancak mevsimsel değişim haritalarının çıkarılmasında ve toplam konsantrasyonun bitkiler üzerindeki etkisini görmek için incelenebilir özelliktedir. Pasif örnekleme sonucunda ölçülen değerler kümülatif değerlerin toplam örnekleme zamanına bölümü olarak tanımlanmaktadır (Krupa ve diğ. 2001).

Yuska ve diğ. tarafından 2003 yılında yapılan çalışmada Pennsylvania'nın kuzeyinde bir bölgede atmosferdeki ozon konsantrasyonu pasif örnekleyiciler ile ölçülmüştür. Bu bölgede 15 örnekleme noktasında pasif örneklemeyle paralel olarak sürekli ölçüm cihazları da kullanılmış ve elde edilen değerler birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Pasif örneklemede Ogawa örnekleyiciler kullanılmıştır. Pasif ve aktif örnekleme arasında anlamlı ilişkiler (Birinci yıl,  $r= 0,959$  ve ikinci yıl,  $r= 0,979$ ) bulunmuştur.

İzmir'de sürekli ölçüm cihazlarının bulunduğu iki istasyonda bu cihazlardan alınan verilerle pasif örnekleme yöntemi ile elde edilen veriler karşılaştırılarak, pasif örnekleme ve analizleme/değerlendirme yöntemlerinin güvenilirliği test edilmiştir.

Hem ozon hem de NO<sub>2</sub> ölçümlerinde pasif örnekleme ve sürekli ölçüm sonuçlarının birbirleri ile istatistiksel olarak anlamlı ilişkilere sahip olduğu ve pasif örnekleme yöntemlerinin güvenle kullanılabilceği görülmüştür (Odabaşı ve diğ. 2008).

#### 2.4.2 Aktif Örnekleme Yöntemi

Aktif örnekleme yöntemleri ile bir laboratuvarında fiziksel veya kimyasal yollarla daha sonra analiz etmek üzere örnekler toplanmaktadır. Bilinen bir hava hacmi, belirli bir süre boyunca filtre veya kimyasal çözelti gibi bir kollektörden pompalanmakta ve daha sonra analiz edilmektedir. Örnekler günlük olarak (24 saat) alınabildiği için kirletici seviyeleri hakkında ayrıntılı bilgi sağlanmaktadır. Avrupa'da, aktif örnekleme yöntemlerinin kullanılmasının uzun bir geçmişi vardır ve trend analizleri ve karşılaştırmalar için değerli temel veriler sağlamaktadır. En yaygın kullanılan ekipman tipi günlük hacimsel cihazlardır (Harrop 2002).

Partikül maddeler konsantrasyon ve çökme şeklinde ölçülebilmektedir. Partikül madde çökmesi genellikle birim zaman ve birim alan başına kütle olarak ifade edilmektedir (örneğin mg m<sup>-2</sup> gün<sup>-1</sup>). Çökme için geçerli alanın seçiminde örnekleme platformu etraftaki herhangi bir nesneden etkilenmemesi, örnekleme platformu yüksekliğinin uygun bir şekilde ayarlanması gibi faktörler dikkate alınmalıdır (Harrop 2002).

Atmosferdeki ince parçacıklar genellikle birim hava hacmi başına kütle (örneğin µg m<sup>-3</sup>) gibi bir konsantrasyon olarak ölçülmektedir. Çökme düzenekleri askıda partikül maddeleri ölçemediğinden ölçüm için daha uygun yöntemler gerekmektedir. Havada askıda partikül maddelerin ölçümünün tek yöntemi, düşük ve yüksek hacimli örnekleme cihazları kullanarak bir hava numunesini filtrelemek ve filtre üzerinde toplanan malzemenin ağırlığını ve dış ortamdaki partikül maddelerin toplam miktarını toplam askıda partikül madde miktarı olarak belirlemektir (Harrop 2002).

### 2.4.3 Otomatik Örnekleme Yöntemi

Otomatik örnekleme yöntemleri  $O_3$ ,  $NO_x$ ,  $SO_2$ , CO ve  $PM_{10}$  (ya da  $PM_{2,5}$ ) gibi kirleticiler için tek bir noktada yüksek çözünürlüklü ölçümler (genellikle saatlik ya da daha kısa) sağlamaktadır. Kullanılan yöntemler arasında kızılötesi veya UV absorpsiyonu, UV floresans, kemilüminesans ya da partiküller için çeşitli özel filtrasyon teknikleri bulunmaktadır. Gaz kromatografisi (GC) analizörleri benzen, 1,3-bütadien ve diğer özel hidrokarbon konsantrasyonları hakkında yüksek çözünürlüklü veri sağlamaktadır (Harrop 2002).

Kaydedilen verinin doğru ve güvenilir olmasını sağlamak için, yüksek kalitede bir bakım, kalibrasyon, operasyonel ve Kalite Güvence (KG)/Kalite Kontrol (KK) prosedürleri ile bilgiyi kaydeden, işleyen, analiz eden ve sunan gelişmiş veri kayıt cihazları gerekmektedir. Özellikle taşınabilir ve kişisel maruz kalma izleme uygulamaları için nispeten düşük maliyetli otomatik analizörler geliştirilmiştir. Bunlar, değişken zaman ortalamalarında bir dizi kirletici maddeyi (örneğin, CO,  $NO_2$  ve  $SO_2$ ) sürekli olarak izleyebilen, akülü ya da şebeke tarafından işletilen elektrokimyasal veya katı hal sensör bazlı sistemlerdir. Bu sensörler göreceli olarak düşük hassasiyete sahiptir ve çoğunlukla yol kenarlarında ve yakın nokta kaynak noktalardaki yüksek kirlilik alanlarını belirlemek için uygundur (Harrop 2002).

### 3. MATERYAL VE METOD

#### 3.1 Örnekleme Bölgesi

Tez kapsamında çalışma bölgesi olarak Denizli seçilmiştir. Denizli, Ege Bölgesi'nin doğusunda, güneybatı Anadolu Yarımadası'nda bulunmaktadır. Ege Bölgesi, Akdeniz ve İç Anadolu bölgeleri arasında geçit durumunda olan bir bölgedir. Denizli ili  $28^{\circ} 30' - 29^{\circ} 30'$  doğu meridyenleri ile  $37^{\circ} 12' - 38^{\circ} 12'$  kuzey paralelleri arasında yer almaktadır. Denizli ili doğuda Burdur ve Afyon; batıda Aydın ve Manisa; güneyde Muğla ve kuzeyde Uşak illeri ile komşudur. Yüzölçümü  $12.134 \text{ km}^2$ 'dir. Denizden yüksekliği  $354 \text{ m}$ 'dir. İçişleri Bakanlığı Nüfus ve Vatandaşlık İşleri Genel Müdürlüğü Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi sonuçlarına göre 31 Aralık 2017 itibariyle Denizli nüfusu  $1.018.735$ 'tir (Denizli Valiliği 2019).

Denizli ili Ege Bölgesi'nde olmasına rağmen, Ege Bölgesi'nin iklimi tamamen görülmemektedir. Kıyı kesimlerinden iç bölgelere geçit yerinde olduğundan az da olsa iç bölgelerin iklimi hissedilmektedir. Yıllık ortalama yüksek sıcaklık  $34 \text{ C}^{\circ}$ , ortalama düşük sıcaklık ise yaklaşık  $2 \text{ C}^{\circ}$ 'dir. Yazlar sıcak ve kurak, kışlar ılık ve yağışlıdır. En çok yağış Aralık, Ocak, Şubat ve Mart aylarında görülmektedir. Yağışlı gün sayısı yıllık ortalama 80 gündür. Denizli'de dağlar genel olarak denize doğru dik olduğundan, denizden gelen rüzgârlara açık bulunmaktadır (Denizli Valiliği 2019).

Tez kapsamında ozon ve  $\text{NO}_2$  pasif örnekleme için Denizli'de hava kirliliğini iyi bir şekilde temsil eden 4 bölge belirlenmiştir. Bu bölgeler Altıntop Mahallesi, Kınıklı Mahallesi, Sümer Mahallesi ve Bahçelievler Mahallesi'nde yer almaktadır (Şekil 3.1).

Altıntop Mahallesi'nde bulunan örnekleme noktası Denizli Büyükşehir Belediyesi otoparkının bulunduğu Çınar ismi ile bilinen mevkide bulunmaktadır ve tez kapsamında Bölge 1 olarak adlandırılmıştır. Bu örnekleme noktasının en önemli özelliği çok yoğun bir trafiğe sahip olmasıdır.

Bölge 2 olarak isimlendirilen örnekleme noktası Kınıklı Mahallesi Pamukkale Üniversitesi Kınıklı Yerleşkesi'nde bulunmakta olup en önemli özelliği ormanlık alanlara yakın olmasıdır.

Sümer Mahallesi'nde 3. Sanayi mevkiinde bulunan Denizli Büyükşehir Belediyesi Kanalizasyon Arıza Birimi'nin bulunduğu alan örnekleme noktası olarak seçilmiş ve Bölge 3 şeklinde tanımlanmıştır. Bölge 3'ün en önemli özelliği sanayi faaliyetlerinin ve trafiğin yoğun olmasıdır.

Bahçelievler Mahallesi'nde bulunan Denizli Büyükşehir Belediyesi İtfaiye Dairesi Başkanlığı alanı Bölge 4 olarak adlandırılmıştır. Söz konusu bölgenin en önemli özelliği yerleşim yerlerinin bulunduğu bir alan olmasıdır.



Şekil 3.1: Tez çalışması kapsamındaki örnekleme noktaları

### 3.2 Örnekleme Dönemi

Tez kapsamında 8 aylık bir dönemde pasif örnekleme gerçekleştirilmiştir. Örnekleme Aralık 2012 tarihinde başlamış ve Temmuz 2013'de tamamlanmıştır.

Ozon örnekleme için üretici firma tarafından 24 saat ile 14 gün aralığında değişen örnekleme süreleri verilmiş, 3 ile 7 günlük sürelerin ideal olduğu belirtilmiştir. NO<sub>2</sub> örnekleme için ise neme bağlı olarak 15 günü geçmemek üzere 7 günlük örnekleme süresi önerilmiştir (Radiello® 2006). Tez kapsamında ozon ve NO<sub>2</sub>

pasif örnekleme süreleri 7 gün olarak belirlenmiş ve Aralık 2012 – Temmuz 2013 döneminde her ay bir kez örnekleme yapılmıştır (Tablo 3.1). Örnekleme başlangıç ve bitiş zamanları kayıt altına alınmıştır. Ozon ve NO<sub>2</sub> pasif örnekleme her bir örnekleme noktasında eş zamanlı olarak gerçekleştirilmiştir.

**Tablo 3.1:** Ozon ve NO<sub>2</sub> örnekleme periyotları

| Örnekleme Periyodu |              |               |              |               |               |                 |                |
|--------------------|--------------|---------------|--------------|---------------|---------------|-----------------|----------------|
| Aralık<br>2012     | Ocak<br>2013 | Şubat<br>2013 | Mart<br>2013 | Nisan<br>2013 | Mayıs<br>2013 | Haziran<br>2013 | Temmuz<br>2013 |
| 22.12.2012         | 23.01.2013   | 21.02.2013    | 22.03.2013   | 22.04.2013    | 19.05.2013    | 16.06.2013      | 21.07.2013     |
| 29.12.2012         | 30.01.2013   | 28.02.2013    | 29.03.2013   | 29.04.2013    | 26.05.2013    | 23.06.2013      | 28.07.2013     |

### 3.3 Pasif Örnekleme

Pasif örnekleme yöntemi ile yapılan ölçümlerde Radiello<sup>®</sup> marka pasif örnekleme tüpleri kullanılmıştır. Radiello<sup>®</sup> difüzyon tüpleri İtalya’da bulunan Salvatore Maugeri Kuruluşu (Fondazione Salvatore Maugeri) tarafından üretilmiştir. Şekil 3.2’de gösterilen pasif örnekleme tüplerinde dış yüzey, difüzyon yüzeyi, gazların iç ortama girdiği yüzey ve kirletici parametrenin ölçüldüğü yüzey olan adsorpsiyon yüzeyi bulunmaktadır (Radiello<sup>®</sup> 2006).

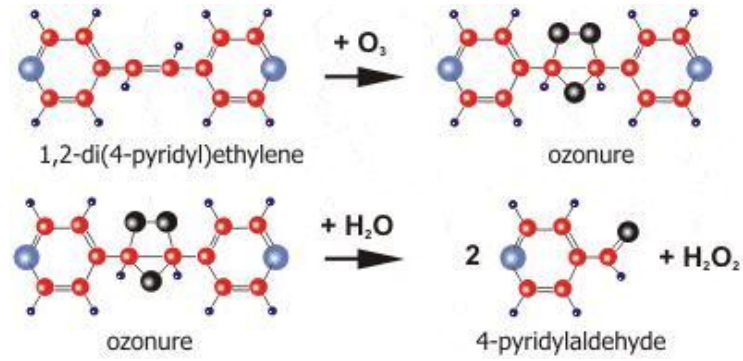


**Şekil 3.2:** Tez çalışmasında kullanılan Radiello<sup>®</sup> pasif örnekleme tüpleri

Difüzyon gövdeleri (mavi difüzyon gövde, kod 120-1) 60 mm uzunluğunda, 16 mm çapında ve 1,7 mm kalınlığındadır. Mikro gözenekli polietilenden yapılmıştır. Işık hassasiyeti olan bileşikler için ışığa karşı opak özelliklidir. Ortalama gözenekliliği  $25 \pm 5 \mu\text{m}$ 'dir. Difüzyon yolu uzunluğu 18 mm'dir (Radiello<sup>®</sup> 2006).

Adsorpsiyon kartuşları üretici firma tarafından uygun tüpler içerisinde kullanıma hazır halde satılmaktadır. Kartuşlar 60 mm boyunda ve 4,8 – 5,8 mm arasında değişen çaplarda üretilmektedir.

Ozon örnekleme kartuşu (kimyasal adsorplayıcı kartuş, kod 172) 4-4'-dipiridiletilen ile kaplanmış silika jel parçacıkları ile doldurulmuş ve politetrafloretilen (PTFE) bir kapakla kapatılmış mikro gözenekli polietilen bir tüpten oluşmaktadır. Maruziyet sonunda 4-4'-dipiridiletilenin asit katalizörlüğündeki ozonoliz reaksiyonu 4-piridilaldehid oluşumuna yol açmaktadır. Silika jel ozonoliz reaksiyonlarını tamamlamak için gerekli olan suyu sağlamaktadır (Şekil 3.3) (Radiello® 2006).



Şekil 3.3: Pasif yöntemle ozon örneklemede oluşan reaksiyonlar

NO<sub>2</sub> örnekleme kartuşu (kimyasal adsorplayıcı kartuş, kod 166) trietanolamin (TEA) ile kaplanmış mikro gözenekli polietilen malzemeden yapılmıştır. NO<sub>2</sub> bu kartuş üzerinde nitrit olarak kimyasal adsorpsiyon yoluyla TEA üstüne adsorplanmaktadır (Radiello® 2006).

Ozon pasif örnekleme kartuşları oda sıcaklığında, doğrudan güneş ışığından korunarak dolapta saklanmıştır. NO<sub>2</sub> pasif örnekleme kartuşları ise buzdolabında, + 4 °C'de ve karanlıkta korunmuştur (Radiello® 2006).

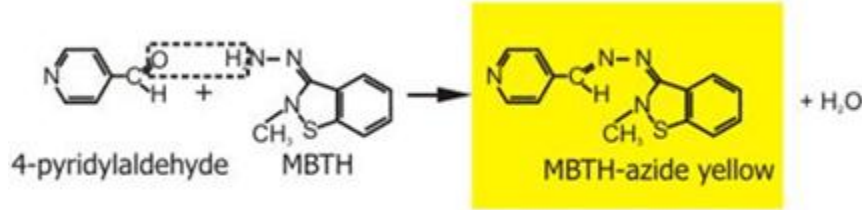
### 3.4 Ekstraksiyon İşlemleri

Radiello® pasif örnekleyciler kullanılarak gerçekleştirilen örnekleme sonrası ekstraksiyon işlemleri yapılırken üretici firmanın belirlediği prosedür

uygulanmıştır (Radiello® 2006). Kullanılan tüm kimyasallar analitik saflıkta sağlanmıştır.

Ozon pasif örnekleme tüpleri için ekstraksiyon işleminin başlangıcında 3-methyl-2-benzothiazolinone hydrazone hydrochloride (MBTH) çözeltisi hazırlamak amacıyla 1 litrelik balon jöjeye 5 g MBTH alınarak deiyonize su ile 1 litreye tamamlanmış ve üzerine 5 mL % 95 saflıkta H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (Merck, % 95 saflıkta) eklenmiştir. Ozon kartuşu plastik tüpten çıkarılmış, ardından PTFE kapak çıkarılmış ve içerisindeki silika jel tüpe boşaltılmıştır. Silika jel üzerine 5 mL MBTH çözeltisi eklenmiş, tüp kapatılmış ve şiddetli bir şekilde karıştırılmıştır. Renk oluşumunun tamamlanması için 1 saat beklenmiş ve bir saat boyunca zaman zaman karıştırılmıştır. Bir saat sonunda renkli numune 13 mm çaplı 0,45 µm gözenek çaplı hidrofilik polipropilen özellikli mikro gözenekli filtre şırıngaya yerleştirilmiştir. Çözelti şırınga ile tüpten çekilmiş ve spektrofotometre ölçüm küvetine filtrelenmiştir (Radiello® 2006).

Şekil 3.4’de ekstraksiyon sırasında oluşan reaksiyon gösterilmiştir. 4-piridilaldehid MBTH ile yoğunlaşarak sarı renkli MBTH-azid oluşumuna yol açmaktadır (Radiello® 2006).



Şekil 3.4: Ozon örnekleme sonunda ekstraksiyon sırasında oluşan reaksiyon

NO<sub>2</sub> pasif örnekleme tüpleri örnekleme öncesinde ve sonrasında + 4 °C sıcaklıkta korunmuştur. 10 g sülfanilamid 100 mL derişik HCl içerisinde çözülmüş ve deiyonize su ile 1 litreye tamamlanmıştır. 250 mg NEDA (N-(1-naphthyl) ethylenediamine dihydrochloride) 250 mL deiyonize suda çözülmüştür. Ekstraksiyon işlemi sırasında kapaklı tüp içerisinde bulunan örnekleme tüpüne 5 mL deiyonize su eklenmiştir. Bir dakika süre ile kapağı kapatılmış tüpe vorteks işlemi uygulanmıştır. 0,5 mL kartuş ekstraksiyon çözeltisi 10 mL’lik plastik tüpe alınarak üzerine 5 mL sülfanilamid eklenmiştir. Tüp sıkı bir şekilde kapatılarak karıştırılmış ve 5 dakika



beklenmiştir. 1 mL NEDA reaktifi eklenmiş, karıştırılmış ve 10 dakika beklenmiştir. Bu şekilde NO<sub>2</sub>, nitrit iyonuna dönüşmüştür (Radiello® 2006).

### 3.5 Analiz İşlemleri

Ekstraksiyon işlemleri sonucunda elde edilen ozon ve NO<sub>2</sub> ekstraksiyon çözeltilerinin analiz edilmesi amacıyla Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nde bulunan Hach Lange DR5000 Spektrofotometre (UV visible) kullanılmıştır.

Ozon pasif örnekleme tüpleri ekstraksiyon işlemlerinden geçirildikten sonra analize hazır hale getirilmiştir. Elde edilen çözeltilerin 430 nm dalga boyunda, su kullanılarak sıfırlanan spektrofotometrede ölçümleri yapılmış ve kullanılmamış kartuşlar için belirlenen değerler çıkarılmıştır. Kalibrasyon çözeltilerinin hazırlanması için 100 µL (20 °C'de 112,2 mg) 4-piridilaldehid 1 L deiyonize suda çözülmüştür. Bu çözelti, deiyonize su ile 1:2, 1:3, 1:5, 1:10 ve 1:20 oranlarında seyreltilerek kalibrasyon çözeltileri hazırlanmıştır. Plastik tüplere her bir kalibrasyon çözeltilisinden 0,5 mL alınarak üzerlerine 4,5 mL MBTH çözeltisi eklenmiş, karıştırılmış ve filtreleme işlemi yapılmadan 1 saat beklenerek analiz edilmiştir. Absorbans kalibrasyon üst sınır değerinden daha yüksek olan örneklerde seyreltme işlemi MBTH çözeltisi ile yapılmıştır. Kalibrasyon eğrisi ozon kütlesine karşı ölçülen absorbans değerleri kullanılarak çizilmiştir. Burada 1 µg 4-piridilaldehidin 0,224 µg ozona eşdeğer olduğu dikkate alınmıştır (Radiello® 2006).

NO<sub>2</sub> pasif örnekleme kartuşlarının ekstraksiyonu sonucunda elde edilen çözeltiler 537 nm dalga boyunda spektrofotometrede ölçülmüştür. Spektrofotometre su kullanılarak sıfırlanmıştır. Kullanılmamış kartuşlar için belirlenen değerler çözeltiler için belirlenen değerlerden çıkarılmıştır. Kalibrasyon çözeltileri 0,1, 1, 5, 10 ve 20 mg/L konsantrasyonlarında nitriti temsil etmek üzere NaNO<sub>2</sub> çözeltisi kullanılarak hazırlanmıştır. Kalibrasyon çözeltilerinden 0,5'er mL alınarak örnekler için uygulanan işlemler gerçekleştirilmiş ve analiz işlemine geçilmiştir. Kalibrasyon eğrisi nitrit konsantrasyonuna karşı ölçülen absorbans değerleri kullanılarak çizilmiştir (Radiello® 2006).

### 3.6 Kalite Güvence / Kalite Kontrol İşlemleri

Pasif örnekleme tüpleri, örnekleme noktasına götürülüp dış ortama maruz bırakılmaksızın laboratuvara geri getirilmiş, gerçek örnekler gibi işleme tabi tutulmuş ve örnekleme tüplerinde bir kirlenme olup olmadığını anlamak için analiz edilmiştir. Pasif örnekleme yönteminde kullanılan kartuşların tekrarlanabilirlik testleri için aynı noktada birden fazla örnekleme tüpü paralel olarak yerleştirilmiş ve eş zamanlı olarak örnekleme yapılmıştır.

Belirleme limiti (limit of detection, LOD) değerleri ortalama şahit kütlesi ile üç standart sapmanın toplamı şeklinde hesaplanmaktadır (Odabasi ve diğ. 1999). Belirleme limiti değerleri ozon ve NO<sub>2</sub> için sırasıyla 1,35 ve 2,76 µg olarak belirlenmiştir. Pasif örnekleme örneklerinde belirlenen ozon ve NO<sub>2</sub> kütle miktarları, belirleme limiti değerlerinden daha yüksek bulunmuştur.

### 3.7 Konsantrasyonların Hesaplanması

Radiello<sup>®</sup> pasif örnekleme tüpleri ile gerçekleştirilen örnekleme ve analizler sonucunda ozon konsantrasyonlarının hesaplanması amacıyla Denklem 3.1 kullanılmıştır (Radiello<sup>®</sup> 2006).

$$C = \frac{m}{Q_K * t} * 1.000.000 \quad (3.1)$$

C: Örnekleme süresince elde edilen ortalama ozon konsantrasyonu (µg m<sup>-3</sup>)

m: Örnekteki ozon miktarı (µg)

t: Toplam örnekleme süresi (dak)

Q<sub>K</sub>: Sıcaklığa göre düzeltilmiş örnekleme hızı (mL dak<sup>-1</sup>)

Denklem 3.1'de yer alan Q<sub>K</sub> değeri Denklem 3.2 yardımıyla hesaplanmıştır.

$$Q_{K*} = Q_{298} \left( \frac{K}{298} \right)^{1,5} \quad (3.2)$$

Q<sub>298</sub>: Ozon için belirlenmiş örnekleme hızı (24,6 mL dak<sup>-1</sup>)

K: Örnekleme sırasında ölçülen sıcaklık (°K)

Ozon için belirlenmiş örnekleme hızı 25 °C sıcaklık ve 1013 hPa basınç için 24,6 mL dak<sup>-1</sup> olarak verilmiştir. Üretici firma bu değer için 10.000 – 4.000.000 µg m<sup>-3</sup> dak<sup>-1</sup> konsantrasyon aralığında ozon için doğrusal olduğunu belirlemiştir. Ozon konsantrasyonlarının belirlenmesi amacıyla kullanılan örnekleme hızı değeri sıcaklık parametresinden etkilenmekle birlikte nem ve rüzgar hızı gibi faktörlerden etkilenmemektedir (Radiello® 2006).

NO<sub>2</sub> konsantrasyonları Denklem 3.3 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$C_{NO_2} = \frac{m_{NO_2}}{Q_K * t} \quad (3.3)$$

C: Örnekleme süresince elde edilen ortalama NO<sub>2</sub> konsantrasyonu (ppb)

m: Kartuşta bulunan nitrit kütlesi (ng)

t: Toplam örnekleme süresi (dak)

Q<sub>K</sub>: Sıcaklığa göre düzeltilmiş örnekleme hızı (ng ppb<sup>-1</sup> dak<sup>-1</sup>)

Denklem 3.4 kullanılarak NO<sub>2</sub> için örnekleme hızı, Q<sub>K</sub> değeri hesaplanmıştır.

$$Q_K = Q_{298} \left( \frac{K}{298} \right)^{7,0} \quad (3.4)$$

Q<sub>298</sub>: NO<sub>2</sub> için belirlenmiş örnekleme hızı (0,141 ng ppb<sup>-1</sup> dak<sup>-1</sup>)

K: Örnekleme sırasında ölçülen sıcaklık (°K)

NO<sub>2</sub> örneklemesinde kullanılan kartuşlar için verilen örnekleme hızı 25 °C sıcaklık ve 1013 hPa basınç koşulları için 0,141 ± 0,007 ng ppb<sup>-1</sup> dak<sup>-1</sup> şeklindedir. Örnekleme sırasında sıcaklık değerleri – 10 ile 40 °C aralığında olmalıdır. Örnekleme hızını etkileyebilecek diğer koşullar nem ve rüzgar hızıdır. Üretici firma nem oranının % 15 – 90 ve rüzgar hızı değerlerinin 0,1 – 10 m s<sup>-1</sup> aralığında olması durumunda örnekleme hızının değişmediğini belirtmektedir.

### **3.8 Meteorolojik Parametreler**

Denizli Meteoroloji İl Müdürlüğü'nden Denizli Meteoroloji İstasyonu'na ilişkin rüzgar hızı, bağıl nem, sıcaklık ve günlük güneşlilik süresi verisi sağlanmıştır. Denizli Meteoroloji İstasyonun'nda radyasyon verisi ölçülmediğinden günlük güneşlilik süresi verisi kullanılmıştır. Her 7 günlük örnekleme dönemi için söz konusu meteorolojik parametrelere ilişkin değerlerin ortalamaları hesaplanarak değerlendirmelerde kullanılmıştır.

### **3.9 İstatistiksel Analiz**

Çalışma sonucunda elde edilen kirletici miktarlarına ilişkin verinin istatistiksel analizini gerçekleştirmek amacıyla SPSS 16.0 programı kullanılmıştır. Tüm istatistiksel ilişkiler  $p < 0,01$  ve  $p < 0,05$  anlamlılık düzeylerinde değerlendirilmiştir.

## 4. BULGULAR

Denizli’de dört farklı bölgede Radiello® pasif örnekleyiciler kullanılarak belirlenen ozon ve NO<sub>2</sub> konsantrasyonları alansal ve zamansal olarak değerlendirilmiştir.

### 4.1 Ozon Konsantrasyonları

Aralık 2012 – Temmuz 2013 döneminde tüm örnekleme noktalarında belirlenen yer seviyesi ozon konsantrasyonları Tablo 4.1’de verilmiştir.

Örnekleme dönemi boyunca ozon konsantrasyonu 12,8 µg m<sup>-3</sup> ile 88,7 µg m<sup>-3</sup> aralığında belirlenmiştir. Ozon konsantrasyonlarının Mart 2013’den itibaren artarak Haziran ve Temmuz 2013’de en yüksek düzeylere ulaştığı görülmüştür.

Örnekleme döneminde Bölge 1’de en düşük ozon konsantrasyonu Aralık 2012’de 17,9 µg m<sup>-3</sup> ve en yüksek ozon konsantrasyonu ise Temmuz 2013’de 70,8 µg m<sup>-3</sup> olarak belirlenmiştir.

Bölge 2’de kaydedilen minimum ozon konsantrasyonu 48,4 µg m<sup>-3</sup> olup Aralık 2012’de gözlemlenmiştir. Maksimum ozon konsantrasyonu ise Temmuz 2013’de 86,7 µg m<sup>-3</sup> şeklinde kaydedilmiştir.

Tüm örnekleme bölgeleri bazında, 12,8 µg m<sup>-3</sup>’lük en düşük ozon konsantrasyonu Bölge 3’de Aralık 2012’de görülmüştür. Temmuz 2013’de ise 70,1 µg m<sup>-3</sup>’lük en yüksek Bölge 3 konsantrasyonu kaydedilmiştir.

Bölge 4’de minimum ozon konsantrasyonu 56,8 µg m<sup>-3</sup> olarak Aralık 2012’de görülmüştür. Bütün örnekleme bölgeleri içerisinde kaydedilen 88,7 µg m<sup>-3</sup>’lük maksimum konsantrasyon Haziran 2013’de gözlemlenmiştir.

**Tablo 4.1:** Örnekleme döneminde belirlenen ozon konsantrasyonları

| O <sub>3</sub>          | Çınar   | PAÜ     | Sümer   | B.Evler |
|-------------------------|---------|---------|---------|---------|
| C (µg m <sup>-3</sup> ) | Bölge 1 | Bölge 2 | Bölge 3 | Bölge 4 |
| Aralık 12               | 17,9    | 48,4    | 12,8    | 56,8    |
| Ocak 13                 | 47,3    | 65,4    | 44,6    | 69,8    |
| Şubat 13                | 36,7    | 54,9    | 27,1    | 58,5    |
| Mart 13                 | 45,7    | 73,5    | 54,2    | 77,2    |
| Nisan 13                | 64,6    | 75,9    | 59,9    | 84,7    |
| Mayıs 13                | 64,9    | 81,7    | 57,8    | 75,2    |
| Haziran 13              | 67,2    | 79,6    | 65,2    | 88,7    |
| Temmuz 13               | 70,8    | 86,7    | 70,1    | 85,2    |

Tez kapsamında Bölge 2 olarak tanımlanan Pamukkale Üniversitesi Kınıklı Yerleşkesi'nde ve Bölge 4 olarak tanımlanan Bahçelievler Mahallesi'nde ozon konsantrasyonlarının yüksek düzeyde olduğu görülmüştür. Bölge 2'de ormanlık alanlar bulunmaktadır. Bölge 4 yerleşim yerlerinin bulunduğu bir alandır. Her iki bölgede de yoğun olmayan bir trafik ve kış mevsiminde ısınma amaçlı yakıt kullanımı kirletici kaynaklar olarak ifade edilebilir. Bahçelievler Mahallesi en yüksek ozon konsantrasyonların ölçüldüğü alandır. En düşük ortalama ozon konsantrasyonu ise Bölge 3'de gözlemlenmiştir.

Maksimum günlük 8 saatlik ortalama ozon konsantrasyonu sınır değeri WHO tarafından 100 µg m<sup>-3</sup> (WHO 2005) ve Avrupa Birliği (European Union, EU) tarafından 120 µg m<sup>-3</sup> (EU 2002) olarak belirlenmiştir. Söz konusu sınır değerler esas alınarak değerlendirme yapıldığında, örnekleme döneminde belirlenen ozon konsantrasyonlarının sınır değerleri aşmadığı anlaşılmaktadır.

## 4.2 NO<sub>2</sub> Konsantrasyonları

Tablo 4.2 örnekleme noktalarında Aralık 2012 – Temmuz 2013 döneminde belirlenen NO<sub>2</sub> konsantrasyonlarını göstermektedir.

Pasif örnekleme döneminde gözlemlenen NO<sub>2</sub> konsantrasyonları 7,8 – 82,8 µg m<sup>-3</sup> aralığındadır. Yaz aylarında ölçülen NO<sub>2</sub> konsantrasyonlarının kış dönemindeki konsantrasyonlara göre bir miktar azaldığı gözlemlenmiştir.

Bölge 1’de 62,4  $\mu\text{g m}^{-3}$ ’lük  $\text{NO}_2$  konsantrasyonu Aralık 2012’de en yüksek değer olarak kayıtlara geçerken, en düşük  $\text{NO}_2$  konsantrasyonu 30,8  $\mu\text{g m}^{-3}$  şeklinde Temmuz 2013’de görülmüştür.

Bölge 2’de Haziran 2013’de tüm bölgeler kapsamında 7,8  $\mu\text{g m}^{-3}$ ’lük minimum  $\text{NO}_2$  konsantrasyonu kaydedilmiştir. Söz konusu bölgede maksimum  $\text{NO}_2$  konsantrasyonu 26,2  $\mu\text{g m}^{-3}$  olarak Nisan 2013’de görülmüştür.

Bölge 3’de minimum 24,8  $\mu\text{g m}^{-3}$ ’lük  $\text{NO}_2$  konsantrasyonu Temmuz 2013’de gözlemlenirken, Aralık 2012’de tüm bölgeler bazında en yüksek konsantrasyon 82,8  $\mu\text{g m}^{-3}$  olarak kaydedilmiştir.

Bölge 4, Temmuz 2013’de 8,3  $\mu\text{g m}^{-3}$  ile minimum  $\text{NO}_2$  konsantrasyonuna ve Ocak 2013’de 38,2  $\mu\text{g m}^{-3}$  ile maksimum konsantrasyona sahip olmuştur.

**Tablo 4.2:** Örnekleme döneminde belirlenen  $\text{NO}_2$  konsantrasyonları

| $\text{NO}_2$<br>C ( $\mu\text{g m}^{-3}$ ) | Çınar<br>Bölge 1 | PAÜ<br>Bölge 2 | Sümer<br>Bölge 3 | B.Evler<br>Bölge 4 |
|---|------------------|----------------|------------------|--------------------|
| Aralık 12                                   | 62,4             | 18,4           | 82,8             | 29,6               |
| Ocak 13                                     | 61,8             | 24,0           | 54,5             | 38,2               |
| Şubat 13                                    | 60,7             | 19,8           | 72,2             | 26,0               |
| Mart 13                                     | 57,1             | 23,0           | 50,3             | 25,8               |
| Nisan 13                                    | 52,7             | 26,2           | 63,6             | 15,3               |
| Mayıs 13                                    | 38,0             | 10,4           | 36,4             | 11,6               |
| Haziran 13                                  | 41,6             | 7,8            | 27,9             | 13,8               |
| Temmuz 13                                   | 30,8             | 11,5           | 24,8             | 8,3                |

Bölge 1 olarak tanımlanan Çınar’da ve Bölge 3 olarak tanımlanan Sümer Mahallesi’nde  $\text{NO}_2$  konsantrasyonları diğer bölgelere göre oldukça yüksek bulunmuştur. Söz konusu bölgelerde yoğun olan trafiğin  $\text{NO}_2$  konsantrasyonlarının yüksek olmasında etkili olduğu düşünülmektedir. Çınar’da çok yoğun bir trafiğin yanı sıra konutlar ve işyerleri de bulunmaktadır. Sümer Mahallesi sanayi faaliyetlerinin yoğun olduğu bir alandır. Örnekleme noktası yakınında bulunan kirletici kaynaklar trafik ve sanayi faaliyetleridir. Sümer Mahallesi tüm bölgeler içerisinde en yüksek  $\text{NO}_2$  konsantrasyonunun ölçüldüğü bölgedir. En düşük ortalama  $\text{NO}_2$  konsantrasyonunun görüldüğü alan ise Bölge 2’dir.

Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği (HKDYY) Ek 1 B’de  $\text{NO}_2$  için saatlik sınır değer 200  $\mu\text{g m}^{-3}$  ve yıllık sınır değer 40  $\mu\text{g m}^{-3}$  olarak

belirtilmektedir. Ancak geçiş dönemi için (1.1.2009 tarihinde başlayarak 1.1.2014 tarihine kadar) 24 saatlik sınır değer  $300 \mu\text{g m}^{-3}$  ve yıllık sınır değer  $100 \mu\text{g m}^{-3}$  şeklinde verilmiştir (HKDYY 2008).

HKDYY’de belirtilen yıllık sınır değere göre değerlendirme yapıldığında örnekleme döneminde belirlenen özellikle kış dönemi  $\text{NO}_2$  konsantrasyonlarının, Bölge 1 ve Bölge 3’de aşılabildiği görülmektedir. HKDYY geçiş dönemi yıllık sınır değeri esas alındığında ise sınır değer aşılmamaktadır.

### **4.3 Radiello® Pasif Örnekleyciler ile Gerçekleştirilmiş Çalışmalar**

Pasif örnekleme yöntemi ile dış ortamda ozon ve  $\text{NO}_2$  konsantrasyonlarının belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilmiş çalışmalar bulunmaktadır.

İzmir’de kent merkezinde ve yarı kırsal bölgede seçilen iki istasyonda atmosferdeki ozon konsantrasyonları Radiello® pasif örnekleyciler ile ölçülmüştür. Ayrıca yarı kırsal istasyonda sürekli ölçüm cihazları ile  $\text{NO}_x$ ’ler de ölçülmüştür. Örnekleme dönemi boyunca en yüksek ozon konsantrasyonları Mayıs ve Ağustos ayları arasında görülmüştür. Ozon konsantrasyonlarının sanayi bölgelerinde  $63,4 - 73,0 \mu\text{g m}^{-3}$  aralığında, kentsel bölgede  $39,3 - 73,6 \mu\text{g m}^{-3}$  aralığında, yarı kentsel bölgede  $48,4 - 79,9 \mu\text{g m}^{-3}$  aralığında ve kırsal bölgede ise  $76,4 \mu\text{g m}^{-3}$  olduğu belirlenmiştir.  $\text{NO}_2$  konsantrasyonları ise sanayi bölgelerinde  $14,9 - 25,6 \mu\text{g m}^{-3}$  aralığında, kentsel bölgede  $13,3 - 50,6 \mu\text{g m}^{-3}$  aralığında, yarı kentsel bölgede  $6,4 - 31,7 \mu\text{g m}^{-3}$  aralığında ve kırsal bölgede ise  $7,8 \mu\text{g m}^{-3}$  bulunmuştur (Dumanoğlu 2010; Dumanoğlu ve Bayram 2013).

Kocaeli’de 51 örnekleme noktasında Radiello® pasif örnekleyciler kullanılarak  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$  ve ozon konsantrasyonları ölçülmüştür. Yaz döneminde  $\text{SO}_2$  konsantrasyonu ortalama  $8 \mu\text{g m}^{-3}$  (maksimum  $82 \mu\text{g m}^{-3}$ ) ve  $\text{NO}_2$  konsantrasyonu  $14 \mu\text{g m}^{-3}$  (maksimum  $40 \mu\text{g m}^{-3}$ ); kış döneminde ise  $\text{SO}_2$  konsantrasyonu  $25 \mu\text{g m}^{-3}$  (maksimum  $61 \mu\text{g m}^{-3}$ ) ve  $\text{NO}_2$  konsantrasyonu ise  $50 \mu\text{g m}^{-3}$  (en fazla  $100 \mu\text{g m}^{-3}$ ) bulunmuştur. Maksimum ozon konsantrasyonlarının yazın  $86 \mu\text{g m}^{-3}$  ve kışın  $61 \mu\text{g m}^{-3}$  olduğu belirlenmiştir. Endüstriyel ve kentsel alanlardaki  $\text{NO}_2$  ve  $\text{SO}_2$  konsantrasyonları, yaz ve kış aylarında kırsal alanlara oranla 2 – 4 kat daha yüksek bulunmuştur (Pekey ve Özaslan 2013).



Tarihi İstanbul yarımadasında ozon maruziyet dağılım haritalarını belirlemek amacıyla çalışma alanına 50 örnekleme istasyonu kurulmuş ve Radiello® pasif örnekleme cihazları kullanılarak yaz, kış ve sonbahar dönemlerinde örnekleme gerçekleştirilmiştir. Yıllık maruz kalma seviyesini belirlemek için mevsimsel ozon maruziyet değerleri kullanılmış ve mevsimsel ozon maruziyeti haritaları elde edilmiştir. Ozon maruziyet düzeylerine göre beş bölge içeren risk haritaları oluşturulmuş ve UNESCO'nun listesinde yer alan Arkeoloji Parkı'nın en riskli bölgede yer aldığı belirlenmiştir. Çalışma kapsamında yıllık ozon konsantrasyonu 6,6 – 39,4  $\mu\text{g m}^{-3}$  aralığında, yıllık ortalama konsantrasyon ise 20,2  $\mu\text{g m}^{-3}$  olarak belirlenmiştir (Karaca ve Öztürk 2012).

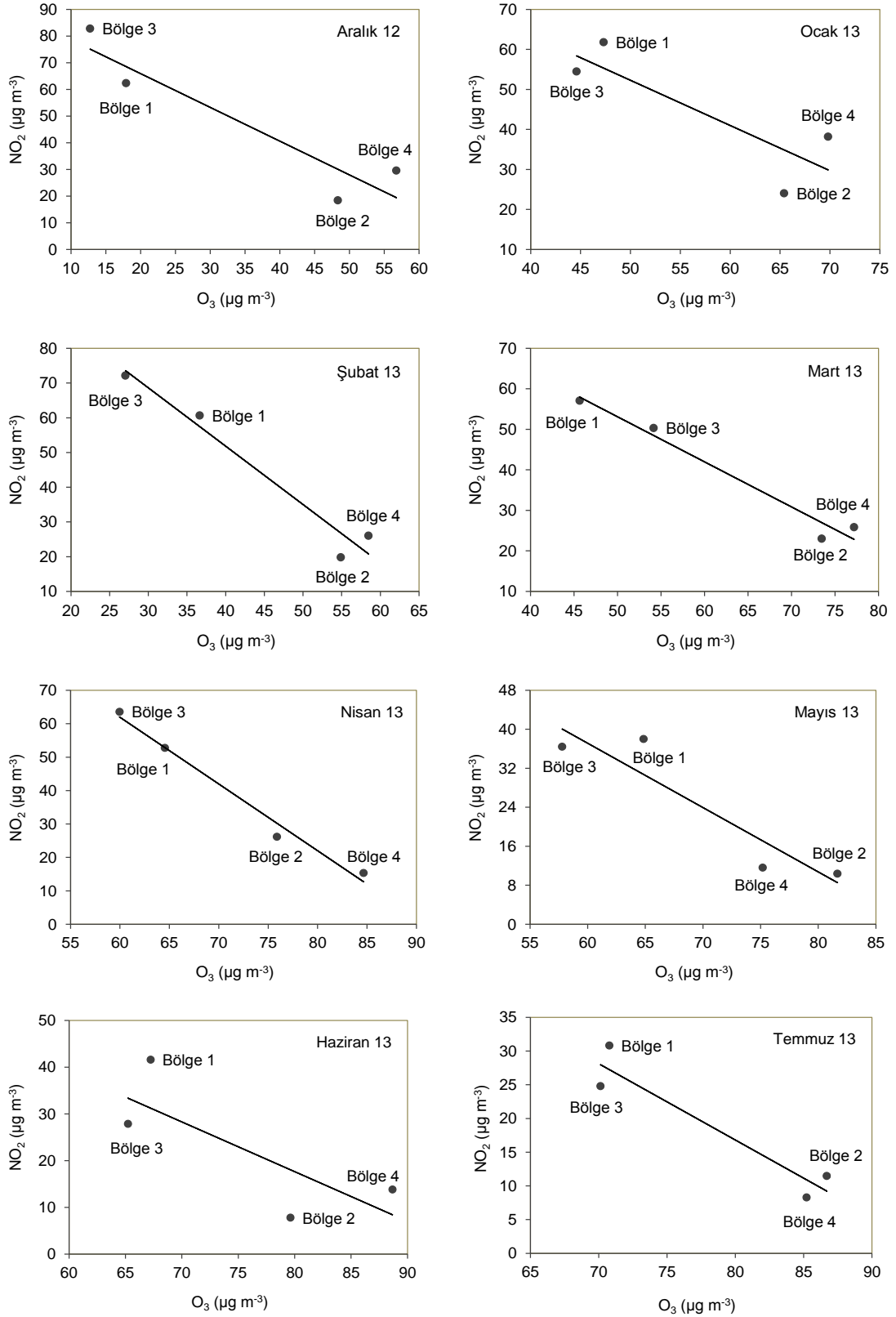
Küba, Santa Clara'da 2010 yılı Şubat – Nisan döneminde (soğuk mevsim) ve Ağustos – Ekim döneminde (ılık mevsim) Radiello® pasif difüzyon tüpleri kullanılarak troposferik ozon seviyeleri belirlenmiştir. Soğuk mevsimdeki maksimum ozon konsantrasyonları ile ılık mevsimdeki minimum ozon konsantrasyonları arasında mevsimsel bir trend gözlemlenmiştir. Soğuk mevsimde Çiftlik bölgesinde ortalama  $58 \pm 12 \mu\text{g m}^{-3}$  değerlerine ulaşılmıştır. Ilık mevsimde ise daha düşük ozon konsantrasyonları görülmüştür. Mevsimsel ortalama ozon konsantrasyonu 24  $\mu\text{g m}^{-3}$  bulunmuştur. Meteorolojik parametreler ile soğuk ve ılık mevsimlerdeki troposferik ozon konsantrasyonları arasındaki korelasyon katsayıları sırasıyla 0,78 ve 0,95 olarak belirlenmiştir (Alejo ve diğ. 2011).

Ocak 2007 – Aralık 2007 döneminde orta-güney İspanya'daki Ciudad Real kentsel havasındaki  $\text{NO}_2$  ve ozon seviyeleri araştırılmıştır. Örnekleme 11 farklı noktada Radiello® pasif örnekleme cihazları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ozon konsantrasyonu ortalama  $38,5 \pm 3,5 \mu\text{g m}^{-3}$ ,  $\text{NO}_2$  konsantrasyonu ise ortalama  $20,8 \pm 3,8 \mu\text{g m}^{-3}$  olarak belirlenmiştir. Meteorolojik koşullar (sıcaklık, basınç, nem bağıl, rüzgar hızı ve yönü) ile ozon ve  $\text{NO}_2$  konsantrasyonları arasında belirgin bir istatistiksel ilişki bulunamamıştır (Martin ve diğ. 2010).

#### **4.4 Ozon ve $\text{NO}_2$ Konsantrasyonlarının Değişimi**

Örnekleme bölgeleri bazında, Aralık 2012 – Temmuz 2013 döneminde, ozon ve azot dioksit konsantrasyonları arasındaki değişimler Şekil 4.1'de verilmiştir.

Grafikler incelendiğinde; Bölge 1 ile Bölge 3'ün ve Bölge 2 ile Bölge 4'ün benzer değişim trendlerine sahip oldukları görülmektedir.



Şekil 4.1: Ozon ve NO<sub>2</sub> konsantrasyonlarının alansal değişimi

#### 4.5 Ozon ve NO<sub>2</sub> Konsantrasyonlarının İstatistiksel Değerlendirmesi

Aralık 2012 – Temmuz 2013 döneminde örnekleme bölgelerinde belirlenen ozon konsantrasyonları arasında 0,91 – 0,98 aralığında yüksek korelasyonlar görülmüştür. NO<sub>2</sub> konsantrasyonları arasında minimum korelasyon katsayısı 0,64, maksimum korelasyon katsayısı ise 0,90 şeklinde gözlemlenmiş olup, bölgeler arasındaki istatistiksel ilişkiler daha zayıf düzeydedir.

Örnekleme dönemi boyunca gözlemlenen yer seviyesindeki ozon konsantrasyonları ile NO<sub>2</sub> konsantrasyonları arasında negatif yönde istatistiksel ilişkiler belirlenmiştir. Pearson korelasyon katsayıları – 0,32 ile – 0,91 aralığındadır. En güçlü korelasyon Bölge 2 ozon konsantrasyonu ile Bölge 3 NO<sub>2</sub> konsantrasyonu arasında görülmüştür. En düşük düzeydeki istatistiksel ilişki ise Bölge 4 ozon konsantrasyonu ile Bölge 2 NO<sub>2</sub> konsantrasyonu arasında gözlemlenmiştir (Tablo 4.3).

**Tablo 4.3:** Ozon ve NO<sub>2</sub> konsantrasyonlarına ilişkin Pearson korelasyon matrisi

|                          | Pearson Korelasyon Katsayıları |                         |                         |                         |                          |                          |                          |                          |
|--------------------------|--------------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
|                          | O <sub>3</sub> _Bölge 1        | O <sub>3</sub> _Bölge 2 | O <sub>3</sub> _Bölge 3 | O <sub>3</sub> _Bölge 4 | NO <sub>2</sub> _Bölge 1 | NO <sub>2</sub> _Bölge 2 | NO <sub>2</sub> _Bölge 3 | NO <sub>2</sub> _Bölge 4 |
| O <sub>3</sub> _Bölge 1  | 1                              |                         |                         |                         |                          |                          |                          |                          |
| O <sub>3</sub> _Bölge 2  | 0,95**                         | 1                       |                         |                         |                          |                          |                          |                          |
| O <sub>3</sub> _Bölge 3  | 0,96**                         | 0,98**                  | 1                       |                         |                          |                          |                          |                          |
| O <sub>3</sub> _Bölge 4  | 0,91**                         | 0,92**                  | 0,96**                  | 1                       |                          |                          |                          |                          |
| NO <sub>2</sub> _Bölge 1 | - 0,82*                        | - 0,86**                | - 0,78*                 | - 0,71*                 | 1                        |                          |                          |                          |
| NO <sub>2</sub> _Bölge 2 | - 0,42                         | - 0,45                  | - 0,35                  | - 0,32                  | 0,77*                    | 1                        |                          |                          |
| NO <sub>2</sub> _Bölge 3 | - 0,85**                       | - 0,91**                | - 0,88**                | - 0,80*                 | 0,87**                   | 0,68                     | 1                        |                          |
| NO <sub>2</sub> _Bölge 4 | - 0,77*                        | - 0,77*                 | - 0,70*                 | - 0,69                  | 0,90**                   | 0,64                     | 0,66                     | 1                        |

\*Korelasyon 0,05 düzeyinde önemlidir. \*\*Korelasyon 0,01 düzeyinde önemlidir.

Aralık 2012 – Temmuz 2013 döneminde, her bir örnekleme bölgesinde gözlemlenen ozon konsantrasyonları ile her bir örnekleme bölgesinde gözlemlenen NO<sub>2</sub> konsantrasyonları arasındaki istatistiksel ilişkiler değerlendirilmiştir. Ozon ve NO<sub>2</sub> konsantrasyonlarının zamansal bazda değişimine ilişkin Pearson korelasyon katsayıları – 0,78 ile – 0,99 aralığında belirlenmiştir. Tüm örnekleme bölgelerinde Haziran 2013 döneminde gözlemlenen ozon konsantrasyonları ile NO<sub>2</sub> konsantrasyonları arasında en zayıf istatistiksel ilişki görülmüştür. En yüksek korelasyon ise Nisan 2013 dönemi ozon konsantrasyonları ile NO<sub>2</sub> konsantrasyonları arasında gözlemlenmiştir (Tablo 4.4).

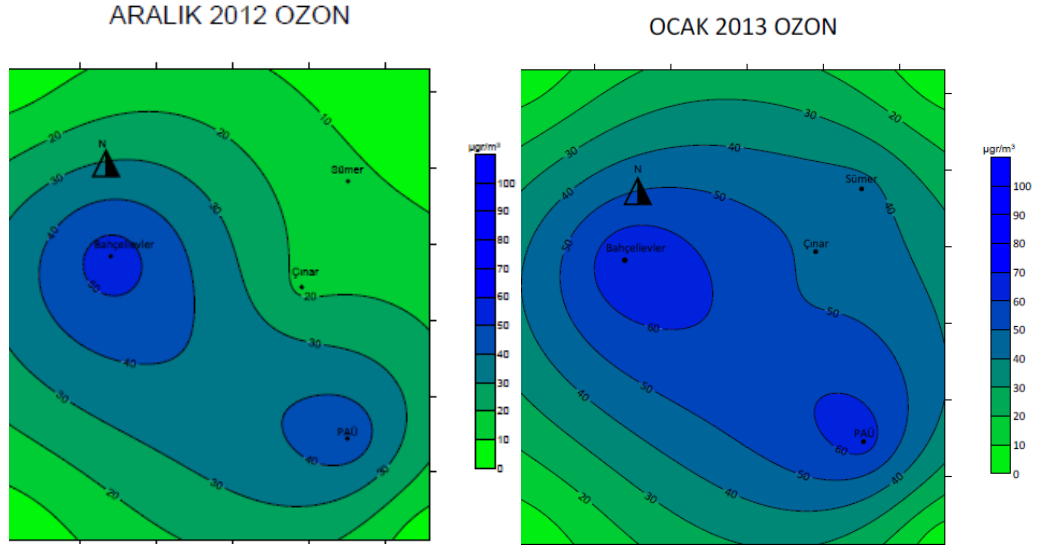
**Tablo 4.4:** Ozon ve NO<sub>2</sub> konsantrasyonlarının zamansal değişimine ilişkin Pearson korelasyon katsayıları

| Pearson Korelasyon Katsayıları |           |            |           |            |            |              |             |
|--------------------------------|-----------|------------|-----------|------------|------------|--------------|-------------|
| Aralık 2012                    | Ocak 2013 | Şubat 2013 | Mart 2013 | Nisan 2013 | Mayıs 2013 | Haziran 2013 | Temmuz 2013 |
| - 0,93**                       | - 0,85**  | - 0,98**   | - 0,98**  | - 0,99**   | - 0,93**   | - 0,78*      | - 0,95**    |

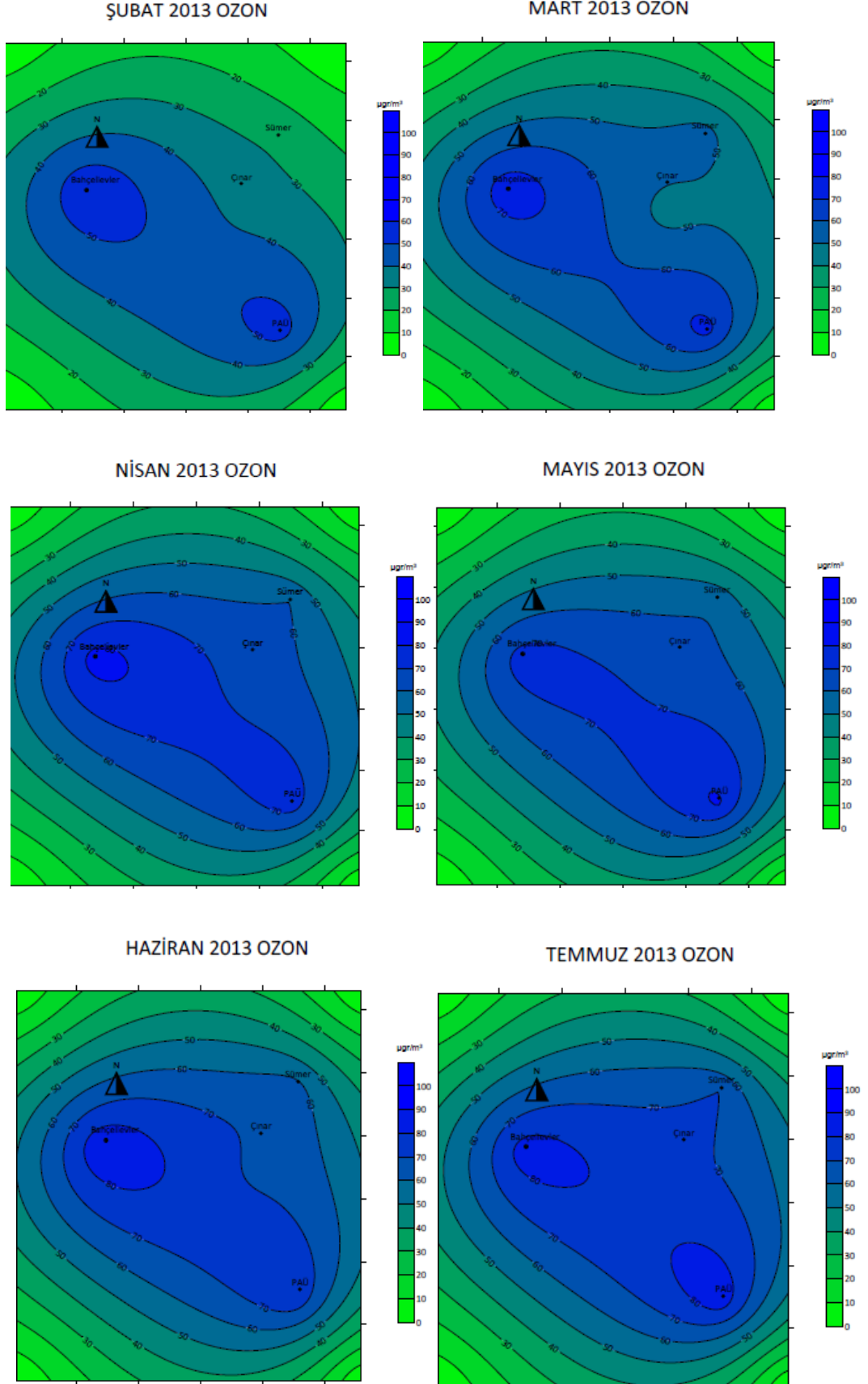
\*Korelasyon 0,05 düzeyinde önemlidir. \*\*Korelasyon 0,01 düzeyinde önemlidir.

#### 4.6 Ozon ve NO<sub>2</sub> Dağılım Haritaları

Aralık 2012 – Temmuz 2013 döneminde belirlenen ozon konsantrasyonları örnekleme noktalarının koordinat sistemine göre yerleştirilerek Surfer 16.0 programı aracılığıyla konsantrasyon dağılım haritaları oluşturulmuştur (Şekil 4.2). Bahar ve yaz aylarında Pamukkale Üniversitesi ve Bahçelievler Mahallesi'nde ozon konsantrasyonlarının yüksek olduğu görülmektedir. Çınar ve Sümer Mahallesi'nde ise daha düşük ozon konsantrasyonları gözlemlenmiştir.

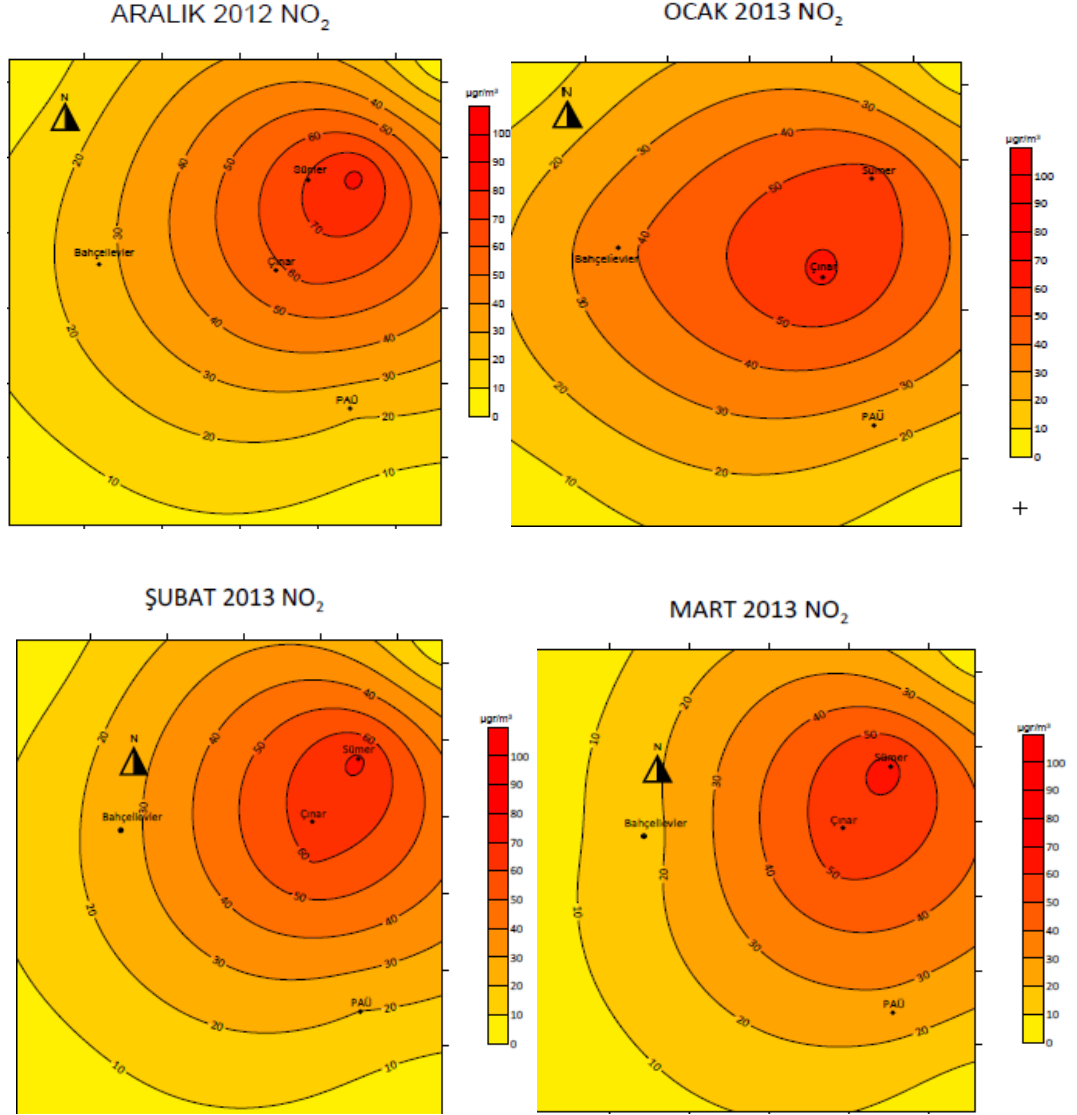


**Şekil 4.2:** Ozon konsantrasyonlarının dağılım haritaları

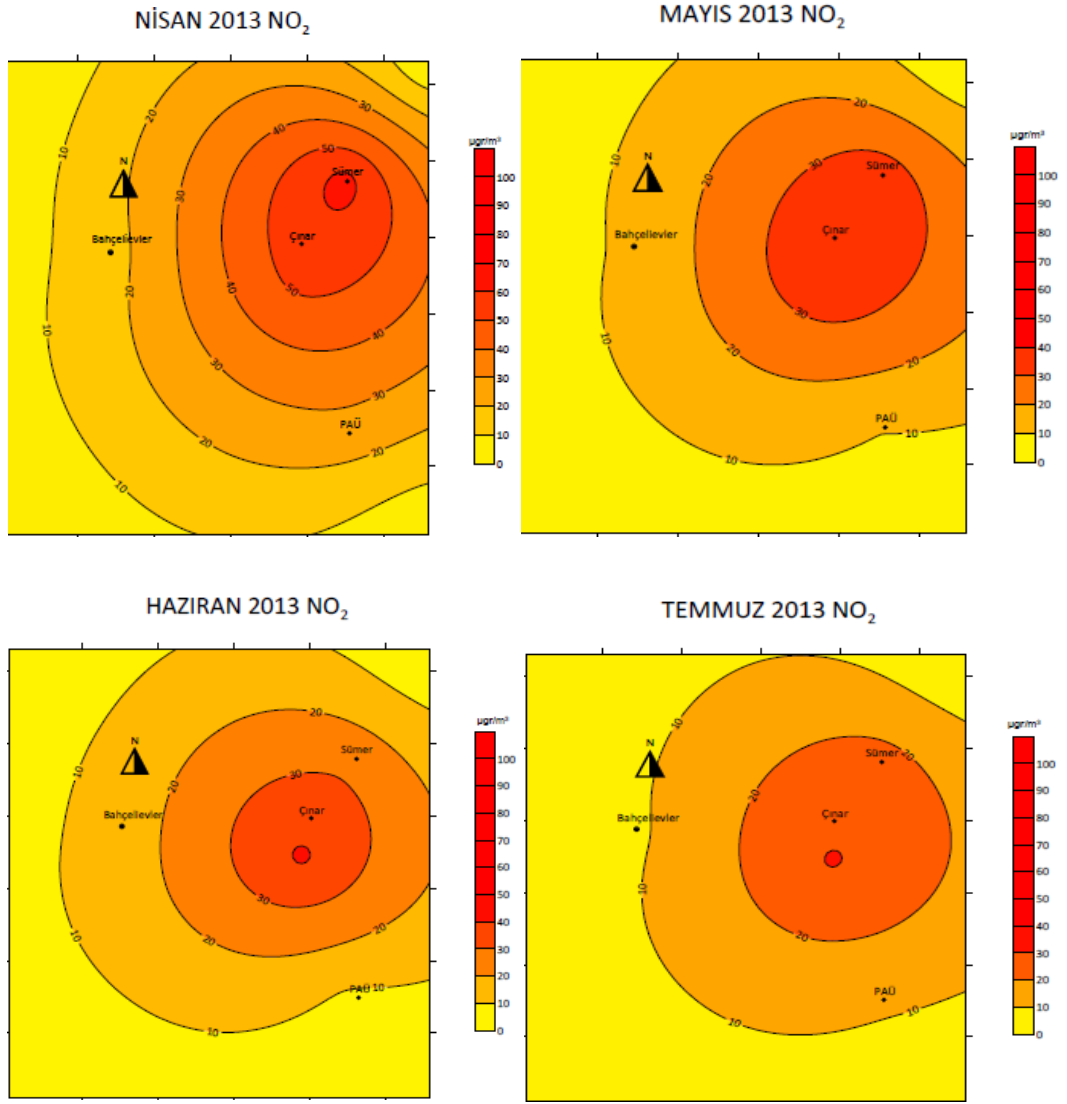


Şekil 4.2: Ozon konsantrasyonlarının dağılım haritaları (Devamı)

Şekil 4.3’de NO<sub>2</sub> konsantrasyonlarının dağılım haritaları verilmiştir. Kış aylarında ısınma kaynaklı yakıt tüketiminin fazla olduğu ve yoğun trafiğin yaşandığı Çınar ve Sümer Mahallesi’nde yüksek NO<sub>2</sub> konsantrasyonları ölçülmüştür. Pamukkale Üniversitesi ve Bahçelievler Mahallesi’nde belirlenen NO<sub>2</sub> konsantrasyonları ise düşük düzeylerde dir.



Şekil 4.3: NO<sub>2</sub> konsantrasyonlarının dağılım haritaları



Şekil 4.3: NO<sub>2</sub> konsantrasyonlarının dağılım haritaları (Devamı)

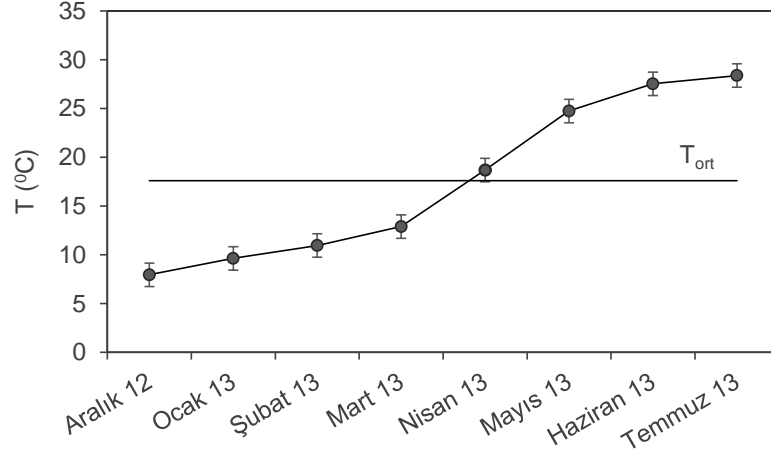
## 4.7 Ozon ve NO<sub>2</sub> Konsantrasyonları ile Meteorolojik Parametreler Arasındaki Değerlendirme

### 4.7.1 Örnekleme Döneminde Gözlemlenen Meteorolojik Veri

Aralık 2012 – Temmuz 2013 döneminde yedi günlük her bir örnekleme periyodunda kaydedilen sıcaklık (T), bağıl nem (Nem), rüzgar hızı (RH) ve günlük güneşlilik süresi (GGS) değerlerinin ortalamaları hesaplanmıştır.

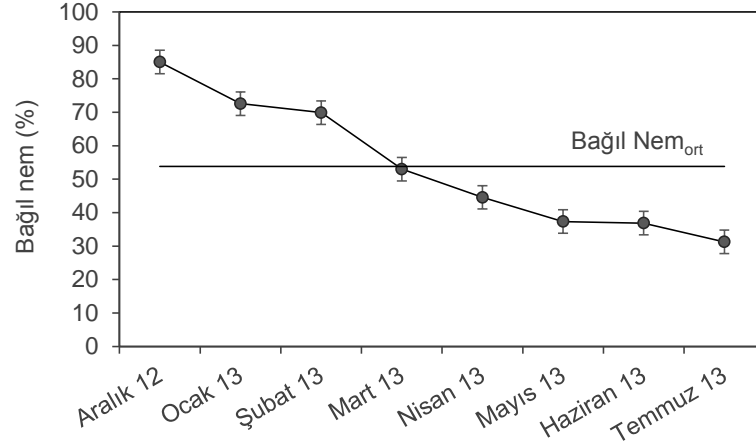
Örnekleme döneminde ortalama sıcaklık  $17,6 \pm 8,4$  °C olarak belirlenmiştir. Aylara göre sıcaklık değişimleri Şekil 4.4’de verilmiştir. Minimum ve maksimum

ortalama sıcaklıklar sırasıyla Aralık 2012’de 7,9 °C ve Temmuz 2013’de 28,4 °C olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.4: Örnekleme döneminde gözlemlenen ortalama sıcaklık değerleri

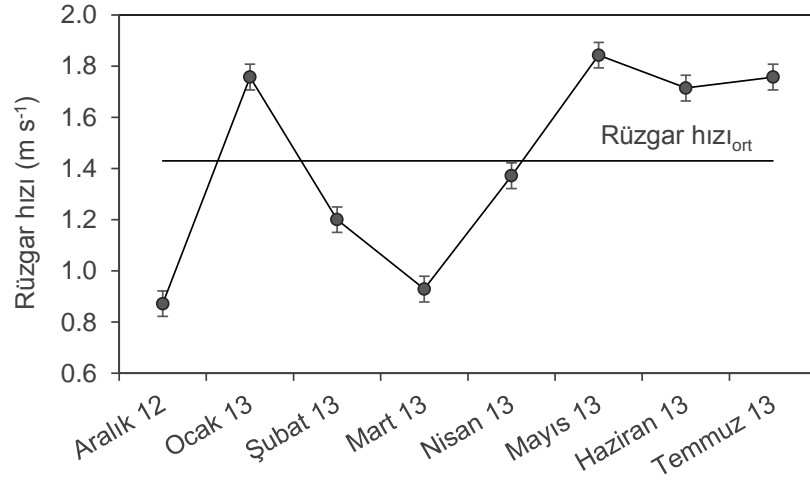
Aralık 2012 – Temmuz 2013 dönemi için hesaplanan ortalama bağıl nem değeri % 53,8 ± 19,8 olup aylara göre bağıl nem değişimi Şekil 4.5’de görülmektedir. Temmuz 2012’de % 31,3 en düşük düzeydeki bağıl nem değeri olarak kaydedilirken Aralık 2012’de % 85,0 değerindeki en yüksek oran belirlenmiştir.



Şekil 4.5: Örnekleme döneminde gözlemlenen ortalama bağıl nem değerleri

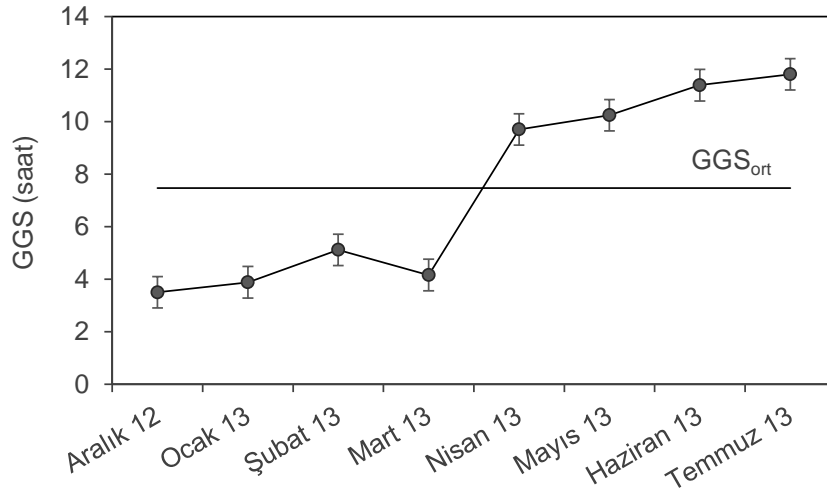
Pasif örnekleme dönemindeki ortalama rüzgar hızı  $1,4 \pm 0,39 \text{ m s}^{-1}$ ’dir. Rüzgar hızının aylar bazında değişimi Şekil 4.6’da verilmiştir. En düşük rüzgar hızı  $0,87 \text{ m s}^{-1}$  olarak Aralık 2012’de, en yüksek rüzgar hızı ise  $1,84 \text{ m s}^{-1}$  şeklinde Mayıs 2013’de görülmüştür.





Şekil 4.6: Örnekleme döneminde gözlemlenen ortalama rüzgar hızı değerleri

Örnekleme döneminde ortalama günlük güneşlilik süresi  $7,5 \pm 3,6$  saat olarak belirlenmiştir. Şekil 4.7 Aralık 2012 – Temmuz 2013 dönemindeki günlük güneşlilik süresi değişimini göstermektedir. Minimum günlük güneşlilik süresi Aralık 2012’de 3,5 saat olarak, maksimum günlük güneşlilik süresi ise Temmuz 2013’de 11,8 saat olarak kaydedilmiştir.

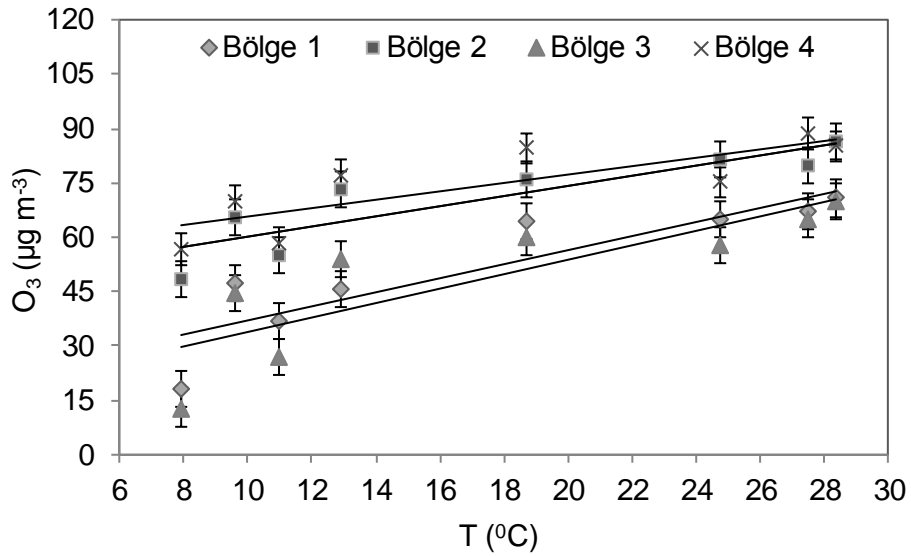


Şekil 4.7: Örnekleme döneminde gözlemlenen ortalama günlük güneşlilik süresi değerleri

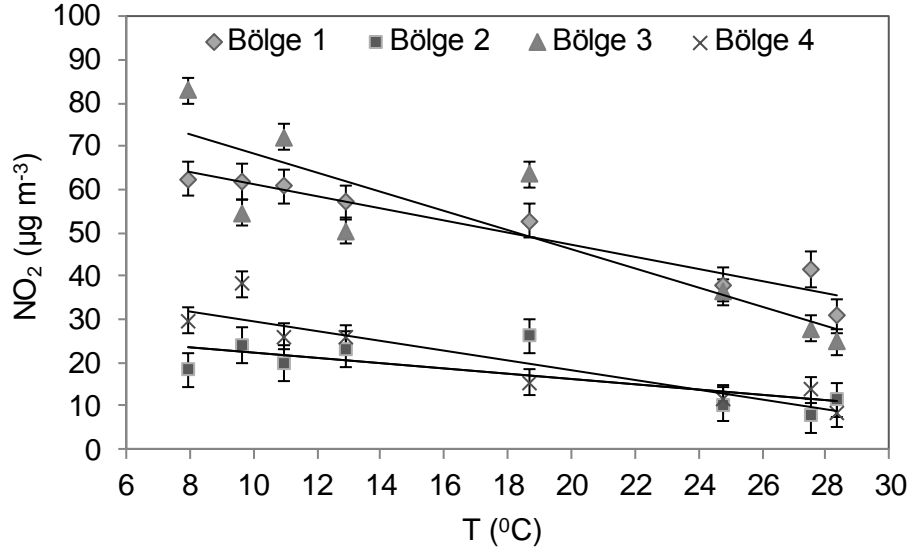
#### 4.7.2 Ozon ve NO<sub>2</sub> Konsantrasyonları ile Meteorolojik Parametreler Arasındaki Değişim

Örnekleme dönemlerine ilişkin sıcaklık, bağıl nem, rüzgar hızı ve günlük güneşlilik süresi verisi ile ozon ve azot dioksit konsantrasyonları arasındaki değişimler değerlendirilmiştir.

Tüm örnekleme bölgelerinde sıcaklık değerleri arttıkça ozon konsantrasyonlarının arttığı gözlemlenmiştir (Şekil 4.8). Sıcaklık ile ozon konsantrasyonları arasındaki değişime karşılık azot dioksit konsantrasyonları sıcaklık arttıkça azalmaktadır (Şekil 4.9).

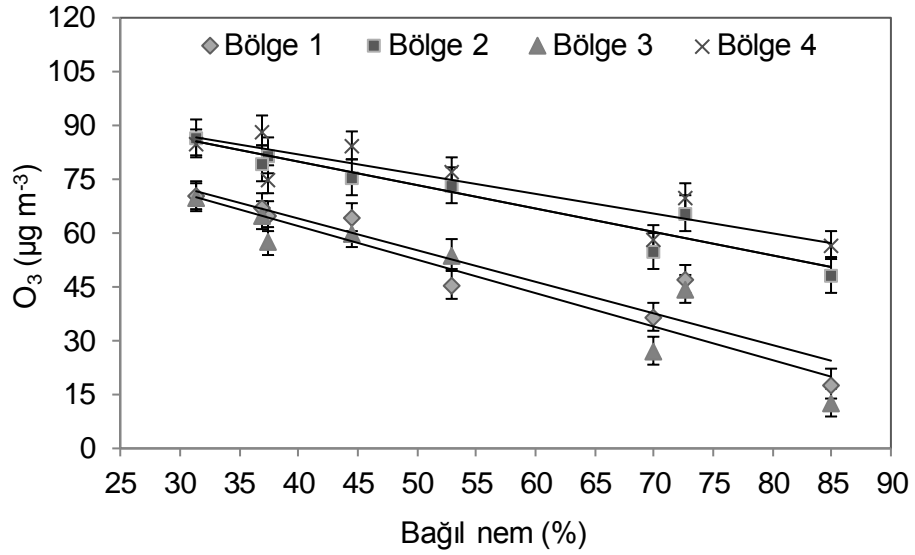


Şekil 4.8: Ozon konsantrasyonlarının sıcaklık ile değişimi

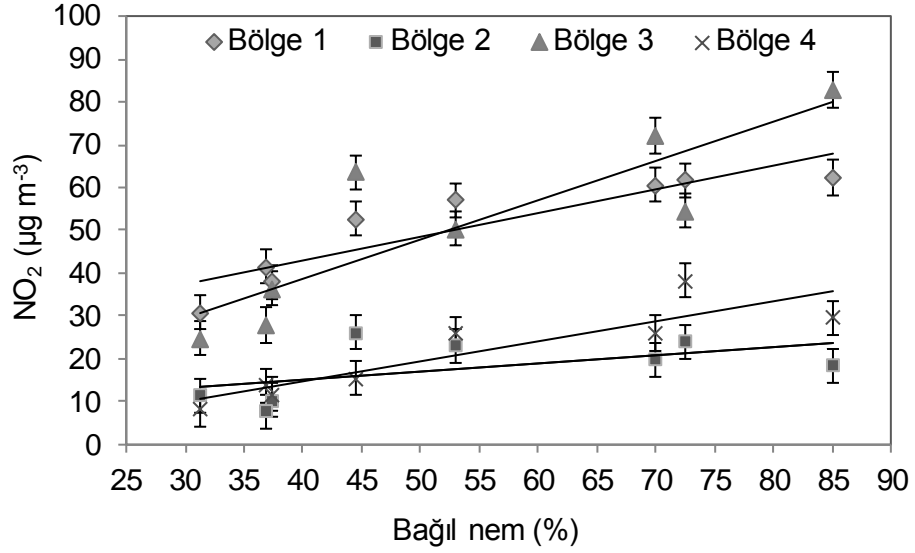


Şekil 4.9: Azot dioksit konsantrasyonlarının sıcaklık ile değişimi

Örnekleme döneminde bağıl nem değerleri arttıkça ozon konsantrasyonları azalmış, azot dioksit konsantrasyonları ise artmıştır (Şekil 4.10, Şekil 4.11).

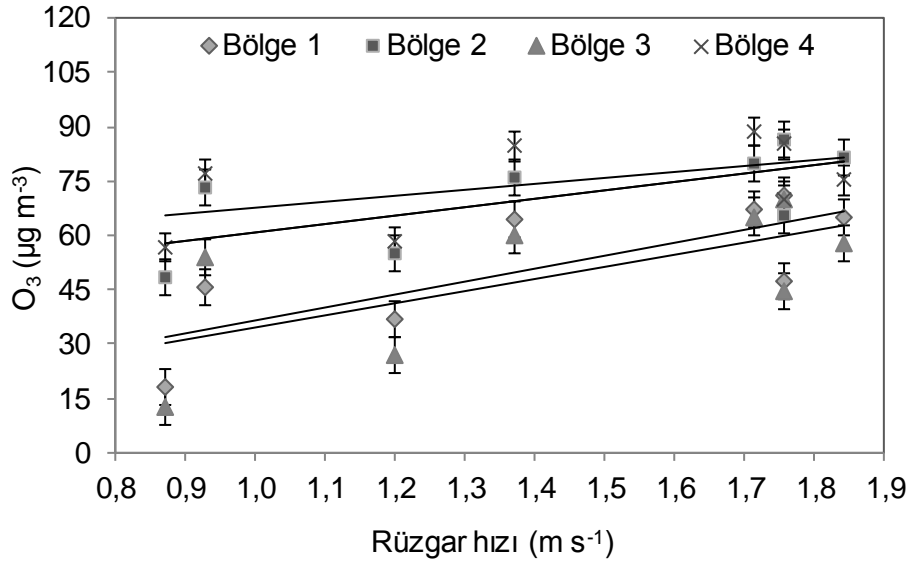


Şekil 4.10: Ozon konsantrasyonlarının bağıl nem ile değişimi

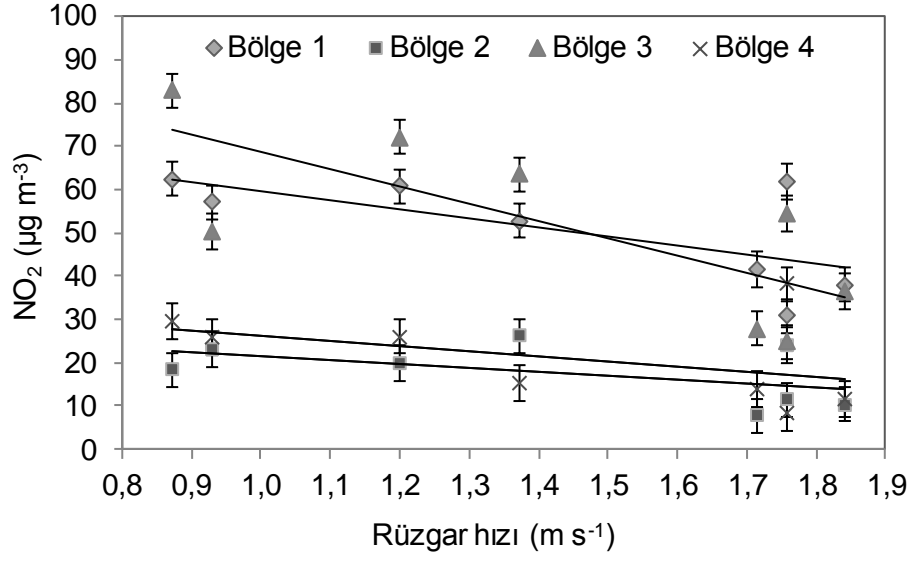


Şekil 4.11: Azot dioksit konsantrasyonlarının bağıl nem ile değişimi

Aralık 2012 – Temmuz 2013 döneminde rüzgar hızı değerleri ile ozon ve azot dioksit konsantrasyonları arasında istatistiksel olarak güçlü ilişkiler belirlenmemiştir (Şekil 4.12, Şekil 4.13). Bununla birlikte rüzgar hızı arttıkça ozon konsantrasyonlarının artma eğiliminde olduğu, NO<sub>2</sub> konsantrasyonlarının ise azalma eğiliminde olduğu görülmektedir.

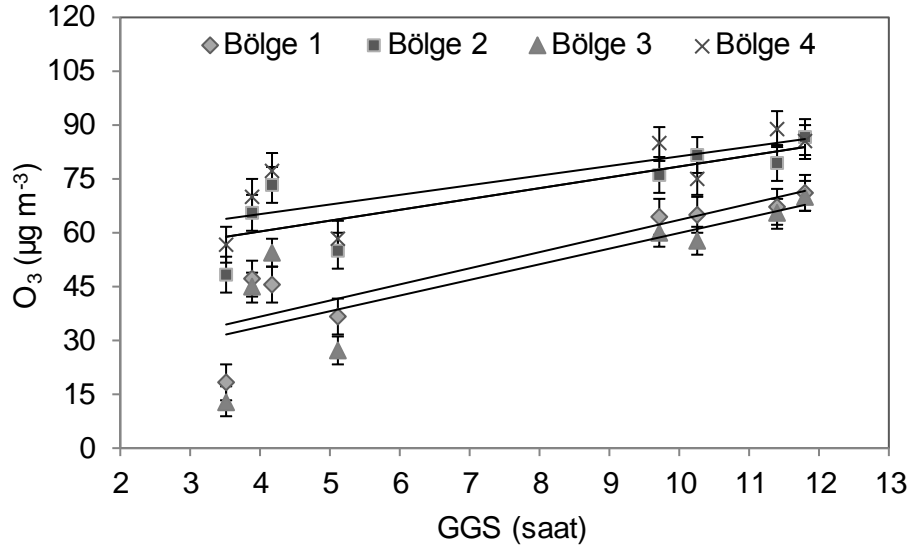


Şekil 4.12: Ozon konsantrasyonlarının rüzgar hızı ile değişimi

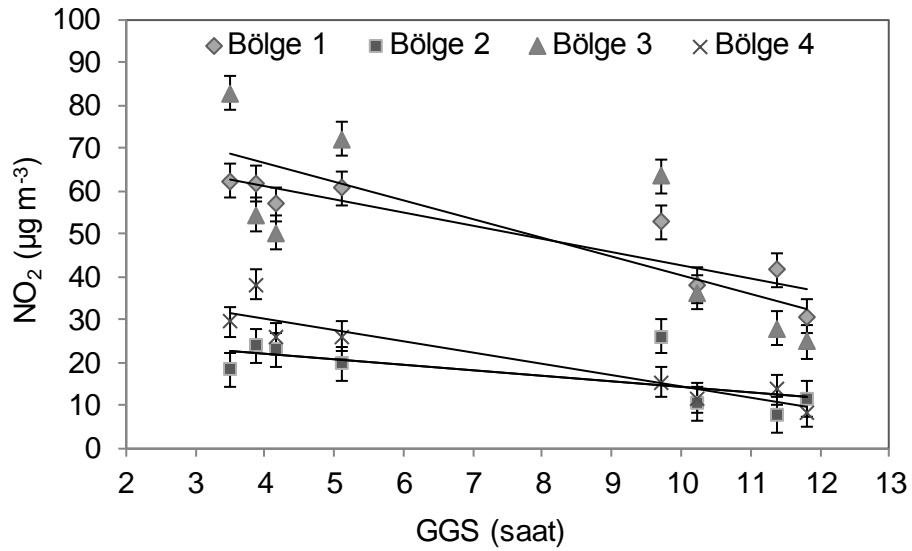


Şekil 4.13: Azot dioksit konsantrasyonlarının rüzgar hızı ile değişimi

Ozon konsantrasyonları günlük güneşlilik süresinin artması ile doğru orantılı bir değişim gösterirken, azot dioksit konsantrasyonları ise ters orantılı bir değişim göstermiştir (Şekil 4.14, Şekil 4.15).



Şekil 4.14: Ozon konsantrasyonlarının günlük güneşlilik süresi ile değişimi



Şekil 4.15: Azot dioksit konsantrasyonlarının günlük güneşlilik süresi ile değişimi

### 4.7.3 Ozon ve NO<sub>2</sub> Konsantrasyonları ile Meteorolojik Parametreler Arasındaki İstatistiksel Değerlendirme

Örnekleme döneminde belirlenen ozon ve NO<sub>2</sub> konsantrasyonları ile sıcaklık, bağıl nem, rüzgar hızı ve günlük güneşlilik süresi verisi arasındaki istatistiksel ilişkiler değerlendirilmiş ve Pearson korelasyon katsayıları Tablo 4.5’de verilmiştir.

**Tablo 4.5:** Ozon ve NO<sub>2</sub> konsantrasyonları ile meteorolojik parametreler arasındaki Pearson korelasyon katsayıları

| Meteorolojik Parametre           | Kirlenici       | Pearson Korelasyon Katsayıları |          |          |          |
|----------------------------------|-----------------|--------------------------------|----------|----------|----------|
|                                  |                 | Bölge 1                        | Bölge 2  | Bölge 3  | Bölge 4  |
| Sıcaklık (°C)                    | O <sub>3</sub>  | 0,89**                         | 0,88**   | 0,84**   | 0,81*    |
|                                  | NO <sub>2</sub> | - 0,97**                       | - 0,75*  | - 0,88** | - 0,92** |
| Bağıl nem (%)                    | O <sub>3</sub>  | - 0,94**                       | - 0,96** | - 0,93** | - 0,89** |
|                                  | NO <sub>2</sub> | 0,90**                         | 0,54     | 0,87**   | 0,89**   |
| Rüzgar hızı (m s <sup>-1</sup> ) | O <sub>3</sub>  | 0,77*                          | 0,67     | 0,66     | 0,54     |
|                                  | NO <sub>2</sub> | - 0,68                         | - 0,51   | - 0,75*  | - 0,44   |
| Günlük güneşlilik süresi (saat)  | O <sub>3</sub>  | 0,89**                         | 0,83*    | 0,79*    | 0,79*    |
|                                  | NO <sub>2</sub> | - 0,92**                       | - 0,66   | - 0,76*  | - 0,93** |

\*Korelasyon 0,05 düzeyinde önemlidir. \*\*Korelasyon 0,01 düzeyinde önemlidir.

Ozon konsantrasyonları ile sıcaklık arasındaki pozitif korelasyonların tüm örnekleme bölgelerinde yüksek düzeyde olduğu görülmüştür. Bölge 2 hariç NO<sub>2</sub> konsantrasyonlarının da sıcaklık ile negatif yönde yüksek korelasyonlar gösterdiği belirlenmiştir.

Bağıl nem değerleri ile tüm örnekleme noktalarında ölçülen ozon konsantrasyonları arasında negatif yönde yüksek korelasyonlar gözlemlenmiştir. Bölge 2 dışındaki tüm bölgelerdeki NO<sub>2</sub> konsantrasyonları ile bağıl nem arasında yüksek pozitif korelasyon değerleri görülmüştür.

Ozon ve NO<sub>2</sub> konsantrasyonları ile en zayıf istatistiksel ilişkileri gösteren meteorolojik parametre rüzgar hızı olmuştur. Rüzgar hızı ile Bölge 1'deki ozon konsantrasyonları arasında  $p < 0,05$  anlamlılık düzeyinde en yüksek pozitif korelasyon görülürken, diğer bölgeler için zayıf istatistiksel ilişkiler belirlenmiştir. Bölge 3'deki NO<sub>2</sub> konsantrasyonları ile rüzgar hızı değerleri maksimum negatif korelasyona ( $p < 0,05$  için) sahipken, diğer bölgeler için gözlemlenen korelasyon değerleri düşüktür.

Günlük güneşlilik süresi ile tüm örnekleme bölgelerindeki ozon konsantrasyonları arasında pozitif yönde güçlü istatistiksel ilişkiler gözlemlenmiştir. NO<sub>2</sub> konsantrasyonları ile günlük güneşlilik süresi arasında, Bölge 2 NO<sub>2</sub> konsantrasyonları dışında, yüksek negatif korelasyon değerleri belirlenmiştir.

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Tez kapsamında Aralık 2012 – Temmuz 2013 döneminde, Denizli’de dört farklı nokta belirlenerek Radiello® pasif örnekleyiciler ile ozon ve azot dioksit örneklemeleri gerçekleştirilmiştir. Pasif örnekleyiciler örnekleme noktalarında birer haftalık maruziyet süreleri boyunca eş zamanlı olarak bırakılmıştır.

Örnekleme bölgelerinde minimum ozon konsantrasyonu Aralık 2012’de, Bölge 3’de  $12,8 \mu\text{g m}^{-3}$  ve maksimum ozon konsantrasyonu ise Haziran 2013’de, Bölge 4’de  $88,7 \mu\text{g m}^{-3}$  olarak belirlenmiştir. En düşük  $\text{NO}_2$  konsantrasyonu Haziran 2013’de Bölge 2’de  $7,8 \mu\text{g m}^{-3}$  şeklinde gözlemlenirken, en yüksek  $\text{NO}_2$  konsantrasyonu ise Aralık 2012’de Bölge 3’de  $82,8 \mu\text{g m}^{-3}$  olarak kaydedilmiştir.

Tez kapsamında Bölge 2 olarak tanımlanan Pamukkale Üniversitesi Kınıklı Yerleşkesi’nde ve Bölge 4 olarak tanımlanan Bahçelievler Mahallesi’nde ozon konsantrasyonlarının yüksek düzeyde olduğu görülmüştür. Bölge 1 olarak tanımlanan Çınar’da ve Bölge 3 olarak tanımlanan Sümer Mahallesi’nde  $\text{NO}_2$  konsantrasyonları diğer bölgelere göre oldukça yüksek bulunmuştur.

Ozon konsantrasyonlarının Mart 2013’den itibaren artarak Haziran ve Temmuz 2013’de en yüksek düzeylere ulaştığı görülmüştür. Yaz aylarında ölçülen  $\text{NO}_2$  konsantrasyonlarının kış dönemine göre bir miktar azaldığı gözlemlenmiştir.

Örnekleme döneminde belirlenen ozon konsantrasyonları arasında yüksek Pearson korelasyon katsayısı değerleri 0,91 ile 0,98 aralığında görülmüştür.  $\text{NO}_2$  konsantrasyonları arasında ise alansal olarak daha zayıf istatistiksel ilişkiler (0,64 ile 0,90 aralığında) gözlemlenmiştir. Yer seviyesindeki ozon konsantrasyonları ile  $\text{NO}_2$  konsantrasyonları arasında (- 0,32 ile - 0,91 aralığında) negatif yönde istatistiksel ilişkiler belirlenmiştir.

Zamansal bazda ozon ve  $\text{NO}_2$  konsantrasyonlarının istatistiksel ilişkisi değerlendirildiğinde, Haziran 2013 döneminde örnekleme bölgelerinde gözlemlenen ozon konsantrasyonları ile  $\text{NO}_2$  konsantrasyonları arasında en zayıf, Nisan 2013



dönemi ozon konsantrasyonları ile NO<sub>2</sub> konsantrasyonları arasında en güçlü istatistiksel ilişkinin olduğu görülmüştür.

Örnekleme döneminde sıcaklık değerleri arttıkça ozon konsantrasyonlarının artış gösterdiği, buna karşılık NO<sub>2</sub> konsantrasyonlarının azaldığı gözlemlenmiştir. NO<sub>2</sub> konsantrasyonları bağıl nem değerleri arttıkça yükselirken, ozon konsantrasyonları azalmıştır. Ozon ve NO<sub>2</sub> konsantrasyonlarının rüzgar hızı ile önemli ölçüde değişmediği belirlenmiştir. Günlük güneşlilik süresinin artması ile ozon konsantrasyonları artmış, NO<sub>2</sub> konsantrasyonları ise azalmıştır.

## 6. KAYNAKLAR

Alejo, D., Morales, M.C., Nuñez, V., Bencs, L., Grieken, R., Espen, P., “Monitoring of Tropospheric Ozone in the Ambient Air with Passive Samplers”, *Microchemical Journal*, 99, 383–387, (2011).

Başaran, Y.. “Dilovası Çanağında Ozon Prekürsörü Olan NO<sub>x</sub> Dağılımlarının İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı*, İstanbul, (2009).

Bayat, C., “Hava Kirlenmesi Ders Notları”, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, 1 – 30, (2005).

Brvar, M., Mozina, H., Osredkar, J., Mozina, M., Brucan, A., Bunc, M., “The Potential Value of the Protein S–100 B Level as a Criterion for Hyperbaric Oxygen Treatment and Prognostic Marker in Carbon Monoxide Poisoned Patients”, *Resuscitation*, 56, 1005 – 1019, (2003).

Coşkun, A.. “Şehir Atmosferinde Taşıt Emisyonundan Kaynaklanan Hava Kirliliğinin Belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı*, İstanbul, (2008).

Denizli Valiliği, “Denizli İli Coğrafi Konum, Denizli İli Nüfus Bilgileri”, <http://www.denizli.gov.tr>, (2019).

Dumanoğlu, Y., “Study on Atmospheric Ozone Levels in Izmir”, PhD Thesis, Dokuz Eylül University, *Graduate School of Natural and Applied Sciences, Environmental Technology Program*, İzmir, (2010).

Dumanoğlu, Y., Bayram, A., “İzmir’de Kent Merkezi ve Yakın Çevresinde Ölçülen Ozon ve Azot Dioksit Seviyelerinin Zamansal Değişiminin İncelenmesi”, *Hava Kirliliği Araştırmaları Dergisi*, 2, 65 – 73, (2013).

Durham, J.L., "Office of Environmental Processes and Effects Research", *Acid Rain Source Book*, 1 – 15, (1990).

Ertürk, F., Okutan, H., “Hava Kirliliğinin Çevre Üzerindeki Etkileri, Hava Kirliliği Kaynakları ve Kontrolü”, Marmara Araştırma Merkezi, Kimya Mühendisliği Araştırma Bölümü, Gebze – Kocaeli, 15 – 47, (1993).

Ertürk, F., “Hava Kirliliği ve Kontrolü Ders Notları”, Yıldız Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü, (2004).

EPA, “Global Warming and Climate”, <http://yosemite.epa.gov/oar/globalwarming.nsf/content/Climate.html>, (2005).

European Union, “Directive 2002/3/EC, The European Parliament and of the Council, 09.03.2002, Ozone in Ambient Air”, Official Journal of European Communities, L67/14, (2002).

Godish, T., “Air Quality”, 4th Edition Lewis Publishers, a CRC Press Company, Boca Raton London New York Washington, D.C., (2004).

Gorman, D., Drewry, A., Huang, Y.L., Sames, C., “The clinical toxicology of carbon monoxide”, *Toxicology*, 187, 25 – 38, (2003).

Guicherit, R., Roemer, M., “Tropospheric Ozone Trends”, *Chemosphere – Global Change Science*, 2,167 – 183, (2000).

Guo, H., Lee, S.C., Chan, L.Y., Li, W.M., “Risk Assessment of Exposure to Volatile Organic Compounds in Different Indoor Environments”, *Environmental Research*, 94, 57 – 66, (2004).

Harrop, D.O., “Air Quality Assessment and Management, A Practical Guide”, Spon Press, Taylor & Francis Group, London and New York, USA and Canada, (2002).

Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği, 06.06.2008 tarih ve 26898 sayılı Resmi Gazete, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, (2009).

IPCC, Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli (IPCC), 2001 Raporu, (2002).

Karaca, F., Öztürk, Z., “Ground Level Ozone Exposure and Distribution Over the Historical Peninsula of Istanbul”, *Journal of Cultural Heritage*, 13, 69–76, (2012).

Krupa, S., Nosal, M., Peterson, D.L., “Use of Passive Ambient Ozone (O<sub>3</sub>) Samplers in Vegetation Effects Assessment”, *Environmental Pollution*, 112, 303 – 309, (2001).

Leeuw, F.A.A.M., Trends in Ground Level Ozone Concentration in the European Union, *Environmental Science and Policy*, 3, 189 – 199, (2000).

Lyman, D.R., “The Atmospheric Diffusion of Carbon Monoxide and Lead from an Expressway”, Ph.D. Dissertation, University of Cincinnati, Cincinnati, (1972).

Martin, P., Cabañas, B., Villanueva, F., Gallego, M.P., Colmenar, I., Salgado, S., “Ozone and Nitrogen Dioxide Levels Monitored in an Urban Area (Ciudad Real) in central – southern Spain”, *Water, Air, Soil Pollution*, 208, 305–316, (2010).

Masters, G.M., “Introduction to Environmental and Science”, Prentice Hall International Editions, (1991).

Mo, J., Zhang, Y., Xu, Q. Lamson, J.J., Zhao, R., “Photocatalytic Purification of Volatile Organic Compounds in Indoor Air”, *Atmospheric Environment*, 43, 2229 – 2246, (2009).

Monn, C., Hangartner, M., “Passive Sampling for Ozone”, *Journal of the Air & Waste Management Association*, 40, 3, 357 – 358, (1990).

Müezzinoğlu, A., “Hava Kirliliği ve Kontrolünün Esasları”, Dokuz Eylül Yayınları, ISBN 975-6981-36-9, 1. Baskı, İzmir, (2000).

Müezzinoğlu, A., “Atmosfer Kimyası”, Dokuz Eylül Üniversitesi Yayınları, Yayın No: 305, İzmir, (2003).

Odabasi, M., Sofuoğlu, A., Vardar, N., Tasdemir, Y., Holsen, T.M., “Measurement of Dry Deposition and Air–Water Exchange of Polycyclic Hydrocarbons with the Water Surface Sampler”, *Environmental Science & Technology*, 33, 426–434, (1999).

Odabaşı M., Bayram A., Müezzinoğlu A., Sofuoğlu A., Sofuoğlu C.S., Dumanoğlu Y., “İzmir Atmosferinde Yüzey Ozon Seviyelerinin İncelenmesi”, TÜBİTAK Proje No: 104Y163, İzmir, (2008).

Onat, B., Şahin, Ü.A., “Trafik Kaynaklı Partikül Madde Boyutlarının ve Siyah Duman ile İlişkisinin Araştırılması”, Çevre Koruma ve Araştırma Vakfı, (2012).

Özden, Ö., “Hava Kalitesinin Monitörlenmesinde Pasif Örnekleyicilerin Kullanılması”, Anadolu Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı*, Eskişehir, (2005).

Pekey, B., Özaslan, Ü., “Spatial Distribution of SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, and O<sub>3</sub> Concentrations in an Industrial City of Turkey Using a Passive Sampling Method”, *Clean – Soil, Air, Water*, 41 (5), 423–428, (2013).

Peavy, H.S., Rowe, D.R., Tchobanoglous, G., "Environmental Engineering", McGraw Hill Inc., Singapore, (1985).

Smith, F.B., Hunt, R.D., “Meteorological Aspects of the Port of Pollution Over Long Distances”, *Atmospheric Environment*, 12, 461 – 470, (1978).

Şaylan, L., “Hava Kirliliğinin Bitkiler Üzerindeki Etkisi”, *Hasad Dergisi*, 111, 29 – 31, (1994).

Tang, H., Lau, T., Brassard, B., “A New All-Season Passive Sampling System for Monitoring SO<sub>2</sub> and NO<sub>2</sub> in the Atmosphere”, *Air and Waste Management Association*, 529 – 537, (1998).

Taş, F., “Hava Kirliliği ve Kastamonu Şehir Merkezi İçin Değerlendirme”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Bilimleri Anabilim Dalı*, Ankara, (2006).

Teer, E.H., 'Atmospheric Lead Concentration Above an Urban Street', Master of Science Thesis, Washington University, (1971).

Wallace, L.A. "Comparison of Risks from Outdoor and Indoor Exposure to Toxic Chemicals", *Environmental Health Perspectives*, 95, 7 – 13, (1991).

WHO, "Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide", Summary of risk assessment, (2005).

Yuska, D.E., Skelly, J.M., Ferdinand, J.A., Stevenson, R.E., Savage, J.E., Mulik, J.D., Hines, A., "Use of Bioindicators and Passive Sampling Devices to Evaluate Ambient Ozone Concentrations in North Central Pennsylvania", *Environmental Pollution*, 125, 71–80, (2003).

## 7. ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Seher YÜKSEL

Doğum Yeri ve Tarihi : Uşak / 16.01.1987

Lisans Üniversite : Pamukkale Üniversitesi

Elektronik posta : seher.yksel@gmail.com

İletişim Adresi : Fatih Mah. 2. Keban Sok. NO:10/2  
Merkez/UŞAK

05545648372

### **Yayın Listesi** :

Yüksek Lisans Tez Projesi: Denizli’de Ozon Seviyelerinin Belirlenmesi

Proje Yürütücüsü: Sibel ÇUKURLUOĞLU

Proje Araştırmacısı: Seher YÜKSEL

Pamukkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü

Proje Başlangıç – Proje Bitiş: 2012 – 2017

### **Konferans listesi** : ---