

**KÜTAHYA BÖLGESİNDE İNORGANİK KİRLETİCİLERİN ALANSAL  
DAĞILIMLARININ VE MEVSİMSEL DEĞİŞİMLERİNİN PASİF ÖRNEKLEME  
METODU İLE BELİRLENMESİ**

**Yüksek Lisans Tezi**

**Narin POLAT**

**Eskişehir, 2016**

**KÜTAHYA BÖLGESİNDE İNORGANİK KİRLETİCİLERİN ALANSAL  
DAĞILIMLARININ VE MEVSİMSEL DEĞİŞİMLERİNİN PASİF  
ÖRNEKLEME METODU İLE BELİRLENMESİ**

**NARİN POLAT**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı**

**Danışman: Doç. Dr. Eftade Emine GAGA**

**Eskişehir**

**Anadolu Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Haziran, 2016**

**"Bu tez çalışması, 1306F272 no'lu Anadolu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi  
ve 112Y305 no'lu TÜBİTAK Projesi tarafından desteklenmiştir."**

## JÜRİ ONAYI

Narin POLAT'ın 'Kütahya Bölgesinde İnorganik Kirlenmelerin Alansal Dağılımlarının ve Mevsimsel Değişimlerinin Pasif Örnekleme Metodu ile Belirlenmesi' başlıklı Çevre Mühendisliği Anabilim Dalındaki, Yüksek Lisans Tezi 01/06/2016 tarihinde, aşağıdaki jüri tarafından Anadolu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

**Unvanı-Adı Soyadı**

**İmza**

**Üye (Tez Danışmanı):** Doç. Dr. Eftade Emine GAGA

.....

**Üye:** Prof. Dr. Tuncay DÖĞEROĞLU

.....

**Üye:** Doç. Dr. Serdar GÖNCÜ

.....

**Üye:** Yrd. Doç. Dr. Mihriban CİVAN

.....

**Üye:** Yrd. Doç. Dr. Özlem ÖZDEN ÜZMEZ

.....

.....

**Enstitü Müdürü**

## ÖZET

# KÜTAHYA BÖLGESİNDE İNORGANİK KİRLİTİCİLERİN ALANSAL DAĞILIMLARININ VE MEVSİMSEL DEĞİŞİMLERİNİN PASİF ÖRNEKLEME METODU İLE BELİRLENMESİ

NARİN POLAT

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Haziran, 2016

Danışman: Doç. Dr. Eftade Emine Gaga

Kütahya, Türkiye’de hava kirliliği yüksek düzeyde olan kentler arasında yer almaktadır. Bu çalışma kapsamında, Kütahya ve yakın çevresini de içine alan 130 km x 120 km’lik bir alanda azot dioksit (NO<sub>2</sub>), kükürt dioksit (SO<sub>2</sub>) ve ozon (O<sub>3</sub>) ölçümleri pasif örnekleme yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Örnekleme çalışmaları 108 noktada, yaz ve kış olmak üzere iki ayrı mevsimde iki haftalık periyotlarda yapılmıştır. Bileşenlerin mevsimsel ve alansal dağılımlarını incelemek için Coğrafi Bilgi Sistemi yardımıyla kirlilik haritaları oluşturulmuştur.

Kış mevsiminde 15 günlük örnekleme sürecinde en yüksek SO<sub>2</sub> konsantrasyonları şehir merkezinde ve termik santrallerinin yakınındaki örnekleme noktalarında ölçülmüştür. En yüksek SO<sub>2</sub> konsantrasyonu 139,1 µg/m<sup>3</sup> ve ortalama değer 69,5±28,6 µg/m<sup>3</sup> olarak ölçülmüştür. En yüksek NO<sub>2</sub> konsantrasyonu ise (56,9 µg/m<sup>3</sup>) şehir merkezinde ölçülmüştür ve ortalama NO<sub>2</sub> konsantrasyonu 12,5±11,4 µg/m<sup>3</sup> olarak bulunmuştur. NO<sub>2</sub>’nin aksine, O<sub>3</sub> konsantrasyonları şehir merkezinde, trafiğin yoğun olduğu örnekleme noktalarında düşük ve kırsal noktalarda daha yüksektir. En yüksek ozon konsantrasyonu 133,8 µg/m<sup>3</sup> ve ortalama değer 56,4±24,6 µg/m<sup>3</sup>’tür. Yaz mevsiminde elde edilen sonuçlar incelendiğinde, en yüksek NO<sub>2</sub> seviyelerinin Kütahya şehir merkezinde ölçüldüğü görülmektedir. En yüksek NO<sub>2</sub> konsantrasyonu 21,4 µg/m<sup>3</sup> ve ortalama konsantrasyon ise 4,8±4,2 µg/m<sup>3</sup> tür. En yüksek ozon konsantrasyonu 176,1 µg/m<sup>3</sup> ve ortalama değer 83,0±27,2 µg/m<sup>3</sup> olarak ölçülmüştür. Şehir merkezinde gözlenen yüksek NO<sub>2</sub> konsantrasyonları, bu noktadaki düşük O<sub>3</sub> seviyeleri ile ilişkilendirilebilir. SO<sub>2</sub> konsantrasyonlarına bakıldığında, en yüksek konsantrasyon seviyesi 111,1 µg/m<sup>3</sup> Seyitömer Termik Santrali civarındaki örnekleme noktalarında ölçülmüştür. Ortalama SO<sub>2</sub> konsantrasyon değeri ise 55,6±19,3 µg/m<sup>3</sup>’tür.

**Anahtar kelimeler:** Azot dioksit, Kükürt dioksit, Ozon, Pasif örnekleme, Mevsimsel ve alansal dağılım, Kütahya.

## ABSTRACT

### DETERMINATION OF SPATIAL DISTRIBUTION AND SEASONAL CHANGES OF INORGANIC POLLUTANTS WITH USING PASSIVE SAMPLING IN KÜTAHYA REGION

NARİN POLAT

Department of Environmental Engineering

Anadolu University, Graduate School of Sciences, June, 2016

Supervisor: Assoc. Prof. Eftade Emine GAGA

Kütahya is one of the cities with high air pollution in Turkey. In this study, gaseous inorganic air pollutants; nitrogen dioxide (NO<sub>2</sub>), sulfur dioxide (SO<sub>2</sub>) and ozone (O<sub>3</sub>) were measured at 108 sampling points covering an area of 130 km x 120 km within Kütahya, for winter and summer seasons by using passive samplers. Spatial distribution of the pollutants were investigated by a geographical information system and the pollution distribution map of the city was created.

In winter season, highest SO<sub>2</sub> concentrations were measured in the city center, and also the sampling points around the power plants. The highest SO<sub>2</sub> concentration was 139.1 µg/m<sup>3</sup> and average value was 69.5±28.6 µg/m<sup>3</sup>. The highest NO<sub>2</sub> concentration 56.9 µg/m<sup>3</sup> was obtained in the city center. The average value was 12.5±11.4 µg/m<sup>3</sup>. Contrary to NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> concentrations were found to be lower in the city center, and higher at the rural points. The highest ozone concentration was 133.8 µg/m<sup>3</sup> and average value was 56.4±24.6 µg/m<sup>3</sup>. According to summer season results, highest NO<sub>2</sub> concentrations were measured in the city center. The highest NO<sub>2</sub> concentration was 21.4 µg/m<sup>3</sup> and average value was 4.8±4.2 µg/m<sup>3</sup>. The highest ozone concentration was 176.1 µg/m<sup>3</sup> and average value was 83.0±27.2 µg/m<sup>3</sup>. The highest values of NO<sub>2</sub> concentrations which were observed in the city center can be associated with the lowest value of O<sub>3</sub> concentrations at the same points. The highest SO<sub>2</sub> concentration was observed around the Seyitömer Thermal Power Plant and this value was 111.1 µg/m<sup>3</sup> and average concentration was 55.6±19.3 µg/m<sup>3</sup>.

**Keywords:** Nitrogen dioxide, Sulfur dioxide, Ozone, Passive Sampling, Spatial and temporal distribution, Kütahya.

## TEŞEKKÜR

Teşekkür etmek istediğim o kadar çok kişi var ki...

Kapısını çalıp çevre mühendisi ne yapar? sizler neler yapıyorsunuz? dediğim zaman beni güzellikle karşılayan ve bu güne kadar yanımda olan, bana güvenen, zorlayan ve her zaman destekleyen sevgili danışman hocam Doç.Dr. Eftade Emine GAGA'ya,

Yanımda her zaman varlığını hissettiğim, deneyimlerini bizimle paylaşmaktan çekinmeyen, her zaman sevgi dolu yaklaşan sevgili hocam Prof. Dr. Tuncay DÖĞEROĞLU'na,

Esprî anlayışı ve pratik zekasıyla gönülümü fetheden, ne zaman yardım istesem hızır gibi yetişen sevgili hocam Yrd.Doç.Dr. Ozan Devrim YAY'a,

Hava kirliliği ile alakalı laboratuvara girdiğim günden beri ne zaman başım sıkışsa yardım istediğim ve yardımını hiçbir zaman esirgemeyen sevgili hocam Arş.Gör. Akif ARI'ya,

Laboratuvarda analiz yapmam için ilk kullanımı öğreten, gösteren ve bana her zaman destek olan, fikirsel katkıda bulunan sevgili hocam Yrd.Doç.Dr. Özlem ÖZDEN ÜZMEZ'e,

Anadolu üniversitesi Çevre mühendisliği bölümü bünyesinde hava kirliliği üzerine çalışmalar sürdüren hava grubundaki diğer sevgili hocalarımdan Yrd.Doç.Dr. Hicran ALTUĞ'a, sevgili grup arkadaşlarım İbrahim HACIOĞLU'na, Pelin ERTÜRK'e, Gülzade KÜÇÜKAÇIL'a, Emre CAN'a, Elif YILMAZ'a, Sevim Burçin CAN'a, Abdullah DAVUD'a, Simona MOLDOVAN'a,

Dokuz Eylül Üniversitesi, Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Gazi Üniversitesi, Abant İzzet Baysal Üniversitesi'nde projenin diğer iş paketlerinde yer alan sevgili hocalarıma, sevgili arkadaşlarıma özverili çalışmalarından dolayı,

Kütahya İl Çevre ve Şehircilik Müdürlüğü'ne, Kütahya Belediye'si personeline bize sağladıkları destek ve anlayış için,

Anadolu Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü sevgili hocalarıma, çalışan personel abla ve abilerime gösterdikleri özen ve sevgiden dolayı,

Anadolu Üniversitesi'ne (BAP, 1306F272 nolu proje), Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumuna (TÜBİTAK 112Y305 nolu proje) çalışmamı destekledikleri ve sağladıkları burs desteği için,

Bana desteğini veren, seven, arayan, soran tüm arkadaşlarıma, ailem gibi yanımda duran sevgili Semra TUNALIER'e,

İlk olarak dans ile tanıştığım, sonrasında yazılarında bulduğum ve dostluğunu kazandığım iyi kısmetim Demet KURTOĞLU TAŞDELEN'e, sevgili eşi İskender Abi'ye ve biricik oğlu Teoman'a,

Anne ve babadan öte en iyi arkadaşım, sırdaşım, yoldaşım, dostum olan biricik annem Ayşe'ye, babam Mehmet Emin'e, abim Müslüm'e ve biricik eşi Pınar'a,

Doğaya, yaşama ve bir işi yaparken varını yoğunu koyan tüm insanlara en içten teşekkürlerimi sunarım...

Narin POLAT  
Haziran 2016  
Eskişehir

## ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

01.06.2016

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmanın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilemeyen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; bu çalışmanın Anadolu Üniversitesi tarafından kullanılan “bilimsel intihal tesbit programıyla tarandığını ve hiçbir şekilde “intihal içermediğini” beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara razı olduğumu bildiririm.

Narin POLAT

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
<b>BAŞLIK SAYFASI</b> .....	<b>i</b>
<b>JÜRİ ONAYI</b> .....	<b>ii</b>
<b>ÖZET</b> .....	<b>iii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>iv</b>
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	<b>v</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>vii</b>
<b>ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ</b> .....	<b>vi</b>
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	<b>x</b>
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b> .....	<b>xii</b>
<b>SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ</b> .....	<b>xii</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
1.1. Çalışmanın Amacı.....	1
1.2. Çalışmanın Önemi.....	2
<b>2. HAVA KİRLETİCİLERİ</b> .....	<b>4</b>
2.1. Hava Kirleticilerinin Sınıflandırılması.....	5
2.1.1. Yaygın Hava kirleticileri.....	5
2.1.2. Birincil ve ikincil kirleticileri.....	6
2.2. Azot Oksitler (NO <sub>x</sub> ).....	7
2.2.1. Azot oksitlerin atmosferdeki reaksiyonları.....	8
2.2.2. Azot oksitlerin etkileri.....	10
2.3. Kükürt Dioksit (SO <sub>2</sub> ).....	11
2.3.1. Kükürt dioksitin etkileri.....	12
2.4. Ozon (O <sub>3</sub> ).....	13



2.4.1. Ozon atmosferik reaksiyonları.....	14
2.4.2. Ozonun etkileri.....	15
2.5. Termik Santrallerin Hava Kalitesine Etkisi.....	15
2.6. Pasif Örnekleme Yöntemi.....	17
2.7. Dağılım Modellemesi.....	19
<b>3. LİTERATÜR TARAMASI.....</b>	<b>20</b>
<b>4. MATERYAL VE METOT.....</b>	<b>29</b>
4.1. Çalışma Alanı.....	29
4.1.1. Coğrafi Konum.....	29
4.1.2. Topografik yapı ve kentsel yerleşim.....	31
4.1.3. İklim.....	31
4.1.4. Hava Kalitesi Açısından Kütahya'daki Mevcut Durum.....	33
4.2. Örnekleme Programı.....	37
4.2.1. Pasif örnekleme yöntemleri.....	37
4.2.1.1. NO <sub>2</sub> -SO <sub>2</sub> pasif örnekleme yöntemi.....	39
4.2.1.2. Ozon pasif örnekleme yöntemi.....	43
4.3. Örneklerin Ekstraksiyon ve Analizi.....	44
4.3.1. NO <sub>2</sub> -SO <sub>2</sub> pasif örnekleri.....	44
4.3.2. Ozon pasif örnekleri.....	45
4.3.3. Örneklerin analizi.....	45
4.4. Kalibrasyon Çözeltileri ve Kalibrasyon Yöntemi.....	47
4.5. Atmosferik Konsantrasyonlarının Hesaplanması.....	50
4.6. Kalite Kontrol Çalışmaları.....	50
4.6.1. Kalite kontrol kartlarının oluşturulması.....	50
4.6.1.1. Nitrit için X-kart oluşturma.....	51
4.6.1.2. Nitrat için X-kart oluşturma.....	52

4.6.1.3. Sülfat için X-kart oluşturma.....	54
4.6.2. Cihaza ait Metot dedeksiyon limiti.....	55
4.6.3. Tekrarlanabilirlik.....	56
4.6.4. Kör örnek değerleri.....	57
4.7. Meteorolojik Veriler.....	58
<b>5. BULGULAR.....</b>	<b>59</b>
5.1. NO <sub>2</sub> Pasif Örnekleme Sonuçları.....	59
5.2. SO <sub>2</sub> Pasif Örnekleme Sonuçları.....	63
5.3. O <sub>3</sub> Pasif Örnekleme Sonuçları.....	65
5.4. NO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> ve O <sub>3</sub> Bileşenlerinin Kendi Arasında ve İstatistiksel Olarak Değerlendirilmesi.....	68
5.5. Ölçüm Sonuçlarının Sınır Değerler ile Karşılaştırılması.....	71
5.6. Ölçülen Kirlenici Konsantrasyonlarının Kentsel, Kırsal Ve Endüstriyel Bölge Bazında Değerlendirilmesi.....	73
5.7. Ölçüm Sonuçlarının Model Sonuçlarıyla Karşılaştırılması.....	75
<b>6. SONUÇ,TARTIŞMA VE ÖNERİLER.....</b>	<b>77</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>80</b>
<b>EKLER.....</b>	<b>88</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>98</b>

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

Şekil 2.1. Atmosferde NO, NO <sub>2</sub> ve HNO <sub>3</sub> arasında oluşan temel reaksiyonlar.....	8
Şekil 4.1. (a)Kütahya ili, (b)örnekleme alanı ve örnekleme noktaları.....	31
Şekil 4.2. Yıllık rüzgar gülü.....	33
Şekil 4.3. Kütahya merkez ilçesi hava kalitesi ölçüm istasyonu verilerinin sınır değerlerle karşılaştırmalı olarak gösterimi.....	35
Şekil 4.4. EÜAŞ Tunçbilek Termik Santrali (GLİ Tesisleri) hava kalitesi ölçüm istasyonu yıllara göre PM <sub>10</sub> , SO <sub>2</sub> ve NO <sub>x</sub> değişimi.....	35
Şekil 4.5. Çalışma alanı içerisinde yer alan sanayi tesisleri.....	37
Şekil 4.6. Kirletici kaynak sektörlerinin toplam emisyonlara katkıları.....	38
Şekil 4.7. Çalışmanın akım şeması.....	40
Şekil 4.8. NO <sub>2</sub> -SO <sub>2</sub> pasif örnekleme.....	41
Şekil 4.9. Örnekleme noktalarının örnekleme esnasındaki konumları (a) koruyucu ekipman içerisinde (b) ağaçta asılı (c) kentsel (d) kırsal alanda.....	44
Şekil 4.10. O <sub>3</sub> pasif örnekleme.....	45
Şekil 4.11. DIONEX 2500 iyon kromatografi cihazı.....	48
Şekil 4.12. NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ve NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> kalibrasyon eğrileri.....	50
Şekil 4.13. (a) NO <sub>2</sub> ve SO <sub>2</sub> (b) Ozon bileşenleri için örnek bir kromatogram.....	51
Şekil 4.14. 1,5 mg/L NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> için hazırlanan X-kart.....	53
Şekil 4.15. 0,1 mg/L NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> için hazırlanan X-kart.....	54
Şekil 4.16. 3 mg/L NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> için hazırlanan X-kart.....	54
Şekil 4.17. 0,2 mg/L NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> için hazırlanan X-kart.....	55
Şekil 4.18. 6 mg/L SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> için hazırlanan X-kart.....	55
Şekil 4.19. 0,4 mg/L SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> için hazırlanan X-kart.....	56
Şekil 4.20. (a) Kış mevsimi ve (b) yaz mevsimine ait rüzgar gülleri.....	59
Şekil 5.1. Kış mevsimi NO <sub>2</sub> için elde edilen kirletici seviyesi dağılım haritası.....	61
Şekil 5.2. Kış mevsimi NO <sub>2</sub> için elde edilen kirletici seviyesi dağılım haritası.....	63
Şekil 5.3. NO <sub>2</sub> kış ve yaz mevsimi kirlilik seviyeleri.....	63
Şekil 5.4. Kış mevsimi SO <sub>2</sub> için elde edilen kirletici seviyesi dağılım haritası.....	65
Şekil 5.5. Yaz mevsimi SO <sub>2</sub> için elde edilen kirletici seviyesi dağılım haritası.....	65
Şekil 5.6. SO <sub>2</sub> kış ve yaz mevsimi kirlilik seviyeleri.....	66

Şekil 5.7. Kış mevsimi O <sub>3</sub> için elde edilen kirletici seviyesi dağılım haritası.....	67
Şekil 5.8. Yaz mevsimi O <sub>3</sub> için elde edilen kirletici seviyesi dağılım haritası.....	68
Şekil 5.9. O <sub>3</sub> kış ve yaz mevsimi kirlilik seviyeleri.....	68
Şekil 5.10. Kış mevsimi O <sub>3</sub> ve NO <sub>2</sub> arasındaki ilişki.....	70
Şekil 5.11. Yaz mevsimi O <sub>3</sub> ve NO <sub>2</sub> arasındaki ilişki.....	70
Şekil 5.12. Yaz ve kış mevsimi NO <sub>2</sub> /SO <sub>2</sub> oranı.....	71
Şekil 5.13. Kış ve yaz mevsimi NO <sub>2</sub> sonuçlarının ulusal limit değerler ile karşılaştırılması.....	72
Şekil 5.14. Kış ve yaz mevsimi SO <sub>2</sub> sonuçlarının ulusal limit değerler ile karşılaştırılması.....	73
Şekil 5.15. Kış mevsiminde kentsel, kırsal ve endüstriyel bölgeye ait NO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> ve O <sub>3</sub> konsantrasyonları.....	75
Şekil 5.16. Yaz mevsiminde kentsel, kırsal ve endüstriyel bölgeye ait NO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> ve O <sub>3</sub> konsantrasyonları.....	75
Şekil 5.17. Kış ve yaz mevsimi SO <sub>2</sub> model ve ölçüm sonuçları.....	76
Şekil 5.18. Kış ve yaz mevsimi NO <sub>2</sub> model ve ölçüm sonuçları.....	77

## ÇİZELGELER DİZİNİ

### Sayfa

Çizelge 3.1. NO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> ve O <sub>3</sub> konsantrasyonlarının belirlenmesine yönelik daha önce Dünya’da yapılan çalışmalar.....	24
Çizelge 3.2. NO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> ve O <sub>3</sub> konsantrasyonlarının belirlenmesine yönelik daha önce Türkiye’de yapılan çalışmalar.....	26
Çizelge 4.1. Termik santrallerden kaynaklanan emisyonlar.....	39
Çizelge 4.2. NO <sub>2</sub> -SO <sub>2</sub> pasif örnekleyicisinin özellikleri.....	42
Çizelge 4.3. Ozon pasif örnekleyicisinin özellikleri.....	46
Çizelge 4.4. İyon kromatografi cihazının işletim parametreleri.....	48
Çizelge 4.5. Kalibrasyon eğrilerine ait konsantrasyon değerleri.....	49
Çizelge 4.6. X-kart için hazırlanan ara standart çözeltilerin konsantrasyonları.....	53
Çizelge 4.7. Tekrarlı analizlerin ortalama, s.sapma ve tekrarlanabilirlik değerleri...58	
Çizelge 4.8. Kör örneklere ait ortalama miktar ve standart değerleri.....	58
Çizelge 4.9. Meteorolojik veriler.....	59
Çizelge 5.1. NO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> ve O <sub>3</sub> bileşenlerinin istatistiksel olarak değerlendirilmesi...69	
Çizelge 5.2. Kış ve yaz mevsimine ait Spearman korelasyon matrisi.....	69
Çizelge 5.3. Kentsel, kırsal ve endüstriyel bölgeye ait NO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> ve O <sub>3</sub> konsantrasyonları.....	74

## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

°C	:	Santigrat Derece
AERMOD	:	American Meteorological Society/ Environmental Protection Agency Regulatory Model
BAP	:	Bilimsel Araştırma Projesi
CH <sub>4</sub>	:	Metan
Cl	:	Klor
CO	:	Karbon Monoksit
CO <sub>2</sub>	:	Karbon Dioksit
EPA	:	Environmental Protection Agency, Amerika Çevre Koruma Ajansı
H <sub>2</sub> S	:	Hidrojen Sülfür
HKDYY	:	Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği
IC	:	Ion Chromatography (İyon Kromatografi)
KÜMAŞ	:	Kütahya Manyezit A.Ş.
lt	:	Litre
NMHC	:	Metan içermeyen hidrokarbonlar
NO	:	Azot Oksit
NO <sub>2</sub>	:	Azot Dioksit
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	:	Nitrit İyonu
O <sub>3</sub>	:	Ozon
PAN	:	Peroksiasetil Nitrat
PBN	:	Peroksi benzol nitrat
PM	:	Partikül madde
ppb	:	Parts per billion (Milyarda bir)
ppm	:	Parts per million (Milyonda bir)
ROC	:	Reaktif Organik Karbon
SO <sub>2</sub>	:	Kükürt Dioksit
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	:	Sülfat İyonu
TEA	:	Triethanolamin
TEAŞ	:	Türkiye Elektrik Üretim İletim A.Ş.
TEMA	:	Türkiye Erozyonla Mücadele, Ağaçlandırma ve Doğal Varlıkları Koruma Vakfı

TÜİK : Türkiye İstatistik Kurumu  
TÜBİTAK : Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu  
UOB : Uçucu Organik Bileşen

# 1. GİRİŞ

## 1.1. Çalışmanın Amacı

Sanayileşme ve nüfus artışı gibi nedenlerle kentsel hava kalitesindeki bozulmaya karşı alınacak önlemler günümüzün önemli sorunları arasındadır. Kömürden doğalgaza geçiş gibi önlemler her kentsel alanda hava kalitesinde aynı oranda iyileşme sağlayamamaktadır. Bu çalışma kapsamında hava kalitesi değerlendirmesine yönelik çalışmaların amaçlandığı Kütahya ilinde, gerekli önlemler alınarak hava kalitesinde iyileşmenin sağlandığı Eskişehir, Bursa gibi civar illere benzer hedeflenen sonuçlar sağlanamamıştır. Özellikle partikül madde (PM) ve kükürt dioksit (SO<sub>2</sub>) düzeylerindeki azalma, diğer illerle karşılaştırıldığında beklenenin çok daha altında gerçekleşmiştir(TÜBİTAK-112Y305,2016, s.1). Bu durum, çalışma için Kütahya ilinin seçilmesine yönelik önemli nedenler arasında yer almaktadır.

Ayrıca, kentin sınırları içerisinde Seyitömer ve Tunçbilek Termik Santralleri bulunmaktadır. 1990'larda hava kirliliğine neden olan emisyonların (SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, PM vb) düşük kaliteli linyitlerin yoğun şekilde yerleşim bölgelerinde ısıtma sistemlerinde kullanılması, özellikle termik santraller başta olmak üzere diğer sanayi dallarında kullanılması yoğun hava kirliliği problemlerinin yaşanmasına sebep olmuştur (SBTSHGM, 2010,s.99).

Kütahya'daki hava kalitesinin değerlendirilmesine yönelik geçmişte yalnızca kent merkeziyle sınırlı kısıtlı sayıda çalışma gerçekleştirilmiş (Doom ve ark, 2005,s.631), ancak kirlenici kaynakların tespitine ve kirliliğin sağlık etkilerinin araştırılmasına yönelik özel çalışmalar yapılmamıştır. Bu durum, kentin hava kalitesini araştırmak için tüm il sınırlarını kapsayacak şekilde kapsamlı bir örnekleme çalışmasının gerekliliğini ortaya çıkarmaktadır. Bunun için bölgedeki termik santrallerin ilin hava kalitesi üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla bu tez çalışması planlanmıştır.



Bu tez çalışması bölgede yürütülmekte olan TÜBİTAK (112Y305 numaralı proje) ve Anadolu Üniversitesi BAP Komisyonu destekli (1306F272 numaralı proje) iş paketlerinde tanımlı pasif örnekleme çalışmaları kapsamında gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmada Kütahya il sınırlarında kirleticilerin (SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>) alansal dağılımlarının ve kaynaklarının araştırılması hedeflenmiştir.

Bu kapsamda;

➤ Temel hava kirleticileri arasında yer alan azot dioksit (NO<sub>2</sub>), kükürt dioksit (SO<sub>2</sub>) ve ozon (O<sub>3</sub>) gibi inorganik bileşenlerin atmosferik konsantrasyonlarını belirlemek için pasif örnekleme çalışması gerçekleştirilmiştir.

➤ Pasif örnekleme çalışmaları, Kütahya ili sınırlarını kapsayacak şekilde 130 km×120 km'lik bir alan içerisinde 108 örnekleme noktasında gerçekleştirilmiştir.

➤ Örnekleme çalışmaları kış ve yaz olmak üzere iki ayrı mevsimde gerçekleştirilmiştir. Coğrafi Bilgi Sistemleri kullanılarak hazırlanan dağılım haritaları yardımıyla kirletici bileşenlerin alansal ve mevsimsel dağılımları incelenmiştir.

➤ Her bir bileşen için kış ve yaz mevsimi örnekleme sonuçları karşılaştırılmış ve ayrıca eş zamanlı ölçülen meteorolojik parametreler ile de ilişkilendirme çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

➤ Kentin hava kalitesi hakkında değerlendirme yapabilmek için, ölçüm sonuçları ilgili sınır değerlerle karşılaştırılmıştır.

## 1.2. Çalışmanın Önemi

Bu tez çalışması, Kütahya hava kalitesinin zamansal ve alansal değişimlerini ortaya koyabilmek amacıyla 1306F272 no'lu "Kütahya Hava Kalitesinin ve Partikül Madde Genotoksitesinin Araştırılması" başlıklı Anadolu Üniversitesi tarafından desteklenen BAP projesi ve 112Y305 no'lu "Kütahya'da Hava Kalitesi Belirleme Çalışmaları: Kaynakların Tespiti, Ölçümler ve Sağlık Riski Analizi" başlıklı TÜBİTAK Projesi kapsamında gerçekleştirilen geniş çaplı ve kapsamlı

örnekleme çalışmalarının bir kısmını oluşturmaktadır. Çalışmadan elde edilen sonuçların sağlanması beklenen katkılar aşağıda yer almaktadır:

- Her bir bileşen için gerçekleştirilen detaylı veri değerlendirme işlemleri sonucu, kirleticiler için öne çıkan kirletici kaynaklar belirlenecektir. Böylece, bölgedeki termik santrallerin de hava kalitesi üzerindeki etki dereceleri belirlenmiş olacaktır.
- Elde edilen sonuçlar ile Kütahya hava kalitesi açısından genel bir durum tespiti yapılabilecektir.
- Elde edilen veriler, bölge için gerçekleştirilmesi hedeflenen hava kalitesi modelleri için veri sağlayacaktır.
- Çalışma sonuçları ilin hava kalitesi yönetimi için ilgili mercilere önemli veriler sunacak, benzer sorunların yaşandığı başka iller için de önemli bir literatür katkısı sağlamış olacaktır.

## 2. HAVA KİRLLETİCİLERİ

EPA (Environmental Protection Agency, Amerika Çevre Korum Ajansı) hava kirliliğini, 'kirletic maddelerin insan sağlığına veya refahına zarar verecek veya başka zararlı çevresel etkiler oluşturacak şekilde havada bulunması' olarak tanımlamıştır (Cavkaytar ve ark, 2013, s.105). Bahsedilen bu zararlı etkilerin oluşabilmesi için, kirletic yayarı bir kaynağın, kirleticilerin taşınımının ve bir alıcı ortamın aynı anda bulunması gerekir. Kaynağın şiddeti, tipi ve bulunduğu konum atmosfere salınan kirletic özelliklerini ve etkilerini belirleyen önemli faktörlerdir. Kirleticilerin taşınımı ise meteorolojik şartlara, bölgenin topografyasına ve iklimine bağlıdır. Tüm bu faktörler kirleticilerin kaynaktan alıcı ortama ulaşmasında etkilidir. Alıcı ortam ise, insanlar, hayvanlar, materyal ve bitkilerdir (Schnelle ve ark, 2002,s.14).

Hava kirliliğinin olumsuz etkileri, bir alıcı ortama ulaşması, temasta bulunması ve maruziyetin meydana gelmesi ile anlaşılabilir. Bu durum hava kirliliği etkilerinin anlaşılması için aşağıdaki özelliklerin bilinmesi gerekmektedir (Boubel ve ark, 2008,s.165).

- Alıcı ortama ulaşan kirleticilerin doğal, fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri,
- Alıcı ortam özellikleri (insan, hayvan, bitki, nesli tükenmekte olan türler, tüm populasyon veya ekosistem),
- Kişilerin mevcut sağlık durumu,
- Ekosistem şartları,
- Kirleticilerin saf veya karışım içinde olduğu,
- Organizmanın veya kişinin kirleticie maruziyet şekli (gıda, içecek, hava veya cilt yoluyla

Tüm bu durumlar hava kirliliğinden kaynaklanan zararın boyutunu ve derecesini belirler ve hava kirliliğinin tanımlanmasını sağlar.

## 2.1. Hava Kirleticilerinin Sınıflandırılması

Hava kirleticileri için farklı sınıflandırmalar bulunmaktadır. Bu sınıflandırmalar genel olarak, insan sağlığına etkileri (toksik ve kanserojenik), kaynakları (birincil, ikincil) ve fiziksel durumlarına (katı, sıvı, gaz) göre yapılmıştır.

### 2.1.1. Yaygın hava kirleticileri

EPA tarafından kirleticilerin sağlık etkileri baz alınarak yapılmış bir sınıflandırmadır (EPA, 2016a). Kriter hava kirleticiler, kabul edilebilir hava kalitesi ile sağlıksız veya kötü hava kalitesini birbirinden ayıran, konsantrasyon limitleri belirlenmiş kirleticilerdir. Bu sınır değerler belirli zaman aralıklarında insan sağlığı ve/veya çevresel etkiler göz önünde bulundurularak dış ortam havasında bulunmasına izin verilen kirletici konsantrasyonlarıdır. Bu kirleticiler için belirlenen sınır değerler farklı ülkelerde ve çevresel örgütlerde farklı değerler alabilmektedir.

Kriter hava kirleticileri:

- Karbon monoksit (CO),
- Azot dioksit (NO<sub>2</sub>),
- Kükürt dioksit (SO<sub>2</sub>),
- Ozon (O<sub>3</sub>),
- Patikül madde (PM)
- Kurşun (Pb)

Toksik hava kirleticiler, yine EPA tarafından toksik (toxic) veya tehlikeli (hazardous) hava kirleticileri olarak belirlenmiştir. Bu kirleticilerin çevreye zarar verdiği, ciddi sağlık etkilerine neden olduğu bilinmekte veya tahmin edilmektedir. Toksik kirleticiler, kriter kirleticilerin aksine dış ortam havasında çok düşük konsantrasyonlarda bulunurlar. Toksik hava kirleticilere, benzinde bulunan benzen, bazı kuru temizleme işlemlerinden yayılan perkloroetilen, çözücü olarak kullanılan metilen klorid örnek olarak verilebilir. EPA, 187 kirleticiyi bu sınıfta değerlendirmektedir (EPA, 2016b).

### 2.1.2. Birincil ve ikincil kirleticiler

Hava kirleticilerin diğer bir sınıflandırılması kaynaklara göre yapılmaktadır. Birincil kirleticiler, atmosfere doğrudan bir kaynak tarafından yayılan kirleticilerdir. Bu kirleticileri atmosfere bırakan temel iki kaynak grubu bulunmaktadır:

- Doğal kaynaklar
- Antropojenik kaynaklar

Doğal kaynaklar; jeolojik ve biyojenik olmak üzere ikiye ayrılır. Jeolojik kaynaklar, yer kabuğu aktivitelerinden kaynaklanan SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, mineraller, Cl gibi kirleticileri salar. Biyojenik kaynaklar ise biyojenik aktivitelerden kaynaklanan hidrojen ve karbon temelli gazları ortama verir. Bu kirleticiler, fotosentez, metabolik faaliyetler, bitkisel ve hayvansal emisyonlardan salınır. CO, CO<sub>2</sub>, metan, organik bileşikler (terpen, izopren vb.) örnek olarak verilebilir. Antropojenik kaynaklar; üretim, taşıma, ulaşım, yakma gibi insan faaliyetlerini oluşturur. Bu faaliyetler sonucu pek çok hava kirletici atmosfere bırakılır.

İkincil kirleticiler; atmosferde bulunan kirleticilerin atmosferik dinamiklerin de etkisiyle gaz fazı reaksiyonları veya partiküllerle reaksiyonları sonucu oluşurlar. Bu kirleticiler doğrudan bir kaynaktan atmosfere atılmış kirleticiler değil, atmosferde kimyasal reaksiyonlar sonucu oluşmuş kirleticilerdir. Ozon en bilinen ikincil kirleticidir. Diğer oksidantlar, peroksi asetil nitrat (PAN) ve peroksi benzoil nitrat (PBN) bu yolla üretilmiş kirleticilerdir.

Fiziksel durumlarına göre kirleticiler üç temel durumda bulunurlar ve farklı özelliklere ve etkilere sahiptirler. Bunlar; katı, sıvı ve gaz halleridir. Katı ve sıvı kirleticiler partikül madde olarak ele alınmaktadır.

Gaz kirleticiler, gaz yasalarına uyarlar. Temel gaz hava kirleticileri reaktiftir, fotokimyasal süreçlere katılırlar veya direkt olarak materyal, bitki veya canlı dokusuyla reaksiyona girebilirler. Atmosferde karışım halinde bulunurlar. SO<sub>2</sub>, CO, O<sub>3</sub>, UOB' ler, NO<sub>x</sub> başlıca kirletici gazlardır. Bu kirletici gazlar tüm dünyada çeşitli kaynaklardan atmosfere büyük miktarda salınır.

Partikül maddeler atmosferde katı veya sıvı damlacık formunda ve asılı olarak bulunur. Atmosferde çok değişken bir tane boyutuna sahiptirler ve doğal ve

antropojenik kaynaklardan önemli miktarlarda atmosfere atılırlar. Tane çapları, kimyasal kompozisyonları atıldıkları kaynaklara ve atmosferde katıldıkları reaksiyonlara bağlı olarak değişir. Önemli sağlık etkileri yanında görüş mesafesi üzerine etkileri de bulunmaktadır (SBTSHGM, 2010,s.79).

Bu tez çalışması kapsamında insan sağlığı ve çevresel etkileri bulunan temel hava kirleticilerinden  $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_2$  ve  $\text{O}_3$ ' a ait tanım, kaynak ve diğer özellikleri üzerinde durulmuştur.

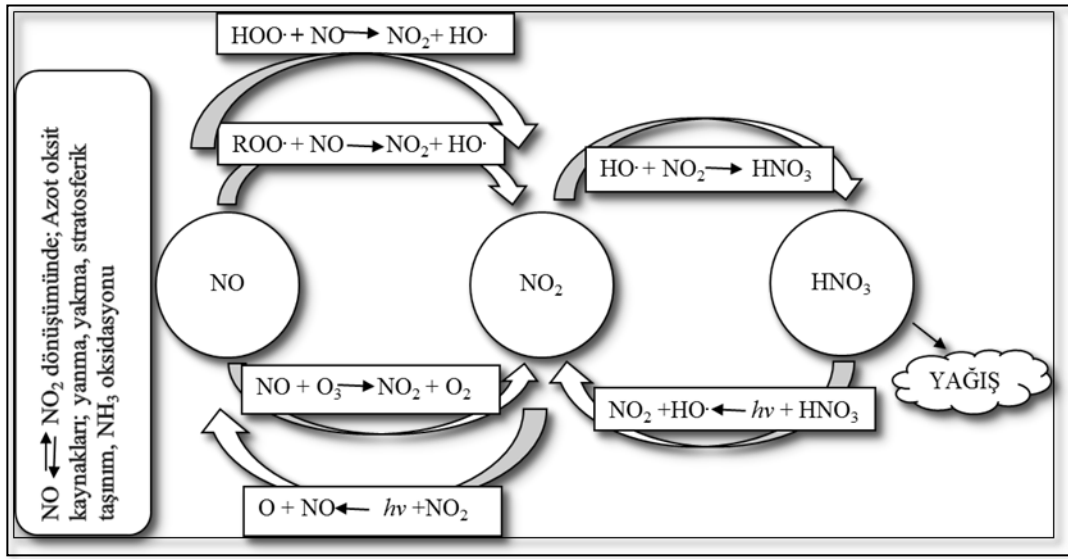
## 2.2. Azot Oksitler ( $\text{NO}_x$ )

Azot oksitler ( $\text{NO}_x$ ) havadaki en önemli kirlenici gazlardandır. Yanma sürecinde yüksek sıcaklık bölgesinde oluşan NO ile bunun daha ileri oksitlenme ürünü olan  $\text{NO}_2$  gazlarının toplamından oluşur.  $\text{NO}_x$  gazları  $\text{NO}_2$  eşdeğeri ile tanımlanır. Yanma kaynaklı olan bu gazlardan asıl zehirli olanı  $\text{NO}_2$ ' dir. NO daha çok  $\text{NO}_2$  hammaddesi olduğu için önem taşır. Her iki gaz da doğal azot çevriminin birer parçasıdır. Atmosferdeki yarılanma ömürleri düşük olup, normalde atmosferde 1 ppb'den daha az konsantrasyonda olmaları beklenir. Oysa, kentsel atmosferde bu konsantrasyonlar 40-80 ppb hatta 300-1400 ppb değerlere kadar yükselebilmektedir. Yoğun fotokimyasal sis olaylarının gerçekleştiği ortamlarda 300 ppb seviyeleri gözlenebilmektedir (Müezzinoğlu, 2000,s.24).

Azot oksitlerin iki önemli kaynağı motorlu taşıtlar ve termik santrallerdir. Diğer endüstri tesisleri, ticari ve evsel ısıtma için yakıt tüketimi diğer  $\text{NO}_x$  kaynakları arasındadır. Özellikle kentsel bölgelerde taşıt sayısındaki artışa bağlı olarak  $\text{NO}_x$  konsantrasyonları da artmaktadır. Gelişmekte olan ülkelerde genel olarak  $\text{SO}_2$  ve partikül madde azalma gösterse bile  $\text{NO}_x$  emisyonları artan taşıt sayısı ve sanayileşme nedeniyle artış göstermektedir (Han ve Naehner, 2006,s.107).

### 2.2.1. Azot oksitlerin atmosferdeki reaksiyonları

Azot oksitler atmosferde gerçekleşen kimyasal reaksiyonlar sonucu nitrik asit ( $\text{HNO}_3$ ), inorganik nitrat tuzları ( $\text{NO}_3^-$ ) ve peroksi asetil nitrat (PAN) formuna dönüşmektedir. Atmosferde reaktif halde bulunan NO,  $\text{NO}_2$  ve  $\text{HNO}_3$  gibi oksitlenmiş azot bileşiklerinin atmosferik konsantrasyonları güneş ışığı, sıcaklık ve kirlenici emisyonlarına bağlıdır. Bu üç oksitlenmiş azot bileşiklerinin arasındaki döngü Şekil 2.1’de gösterilmektedir.



Şekil 2.1. Atmosferde NO, NO<sub>2</sub> ve HNO<sub>3</sub> arasında oluşan temel reaksiyonlar

(Kaynak: Manahan, 2000)

Azot oksitin atmosfere salınan ilk hali NO olmasına rağmen, troposferde NO çok hızlı bir şekilde NO<sub>2</sub>'ye dönüşmektedir ve atmosferik oksijen ile 2.1 nolu reaksiyona göre oksitlenmektedir (Manahan, 2000,s.21).

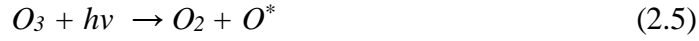


Düşük NO konsantrasyonlarında bu tepkime yavaş gerçekleşmektedir ve NO > 1 ppm konsantrasyonlarında daha fazla önem kazanmaktadır. Konsantrasyon değeri 1 ppm'in altında olduğu durumda ise, NO'nun NO<sub>2</sub>'ye oksitlenmesi iki farklı yolla gerçekleşebilmektedir.

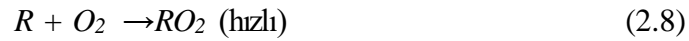
NO<sub>2</sub> atmosferde reaktif olan oksitlenmiş azot bileşiğidir ve güneş ışığının varlığıyla fotolizi sonunda ozon oluşumunu sağlar. Oluşan ozon atmosferde bulunan NO ile tepkimeye girerek NO<sub>2</sub> oluşumuna neden olur. Denklem 2.2, 2.3, 2.4'de bu tepkimeler yer almaktadır.



NO'nun NO<sub>2</sub>'ye oksitlendiği diğer bir reaksiyonda ise organik bileşikler yer almaktadır. Atmosferdeki organik bileşikler, UOB (uçucu organik bileşikler), ROC (reaktif organik karbon) ve NMHC (metan içermeyen hidrokarbonlar) olarak sınıflandırılabilir. Kentsel bölgeler özellikle azot oksitler ve ROC kaynağı olarak nitelendirilmektedir. Bu bileşikler ve uygun atmosferik koşulların bulunduğu durumlarda fotokimyasal duman (photochemical smog) oluşumu gerçekleşmektedir. Duman oluşumunu sağlayan reaksiyonlar, serbest radikallerin oluşumuna neden olan fotolitik reaksiyonlar ile başlamaktadır ve 2.5-2.6 nolu reaksiyon uyarınca gerçekleşmektedir (http-1).



Aldehitlerin fotolizi de OH oluşumuna neden olmaktadır. Motorlu taşıtlar egzozları, ROC türlerinin OH ile gerçekleştirdiği reaksiyonlar atmosferdeki aldehit oluşum kaynaklarıdır. OH, atmosferin alt katmanlarındaki en önemli oksitleyici faktördür. Tüm organik bileşiklerle reaksiyona girerek 2.7. ve 2.8 nolu reaksiyonlar gereği H<sub>2</sub>O ve organik radikaller oluşturmaktadır (Özden, 2005,s.10).



RO<sub>2</sub>, NO'yu oksitleyerek NO<sub>2</sub>'ye dönüştürmektedir.



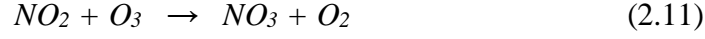
NO<sub>2</sub> birçok süreçle atmosferden uzaklaştırılabilir. Kuru çökeltme ve OH radikalleri ile HNO<sub>3</sub>'e oksitlenir. HNO<sub>3</sub>, suda yüksek çözünürlüğe sahiptir ve yağış şeklinde atmosferden uzaklaşır. OH radikalleri ile gündüz ve gece saatlerinde oluşturduğu HNO<sub>3</sub> bileşiği 2.10-2.13 nolu reaksiyonlarda verilmiştir (Colls, 2002,s.35).



Gündüz;

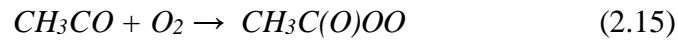


Gece;

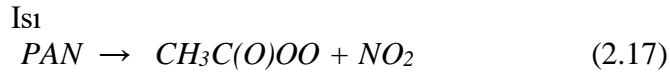


$HNO_3$  yüzeyde hızlı bir şekilde birikmektedir ve bazılarla ( $NH_3$ , partikül kireç) tepkimeye girerek partikül nitrati oluşturur (Manahan, 2000,s.23).

Karbonlu bileşiklerin troposferde fotokimyasal reaksiyonları sonucunda PAN oluşmaktadır. Denklem 2.14- 2.16' nolu eşitliklerde verilmiştir (Colls, 2002,s.30).



PAN'nın sudaki çözünürlüğü çok az olduğundan, çökme prosesleriyle uzaklaştırılmaz. Termal bozunma ile  $NO_2$ ' ye dönüşmektedir. Reaksiyon 2.17' de verilmiştir (Colls, 2002,s.30).



Bu bozunma prosesi 1 saat süresince 295 K' de bazı aylarda 250 K' de gerçekleşmektedir. (Colls, 2002,s.30).

### 2.2.2. Azot oksitlerin etkileri

Azot oksitlerden  $NO_2$  zehirli bir gazdır. Çok yüksek konsantrasyonlarda  $NO_2$  ciğerlerde ödem ve kanamalara neden olur (Müezzinoğlu, 2000,s.41).

Kömürlü termik santrallerin insan sağlığı üzerinde etkileri bulunmaktadır ve  $NO_x$  bileşiğinin astım gelişiminde etkili olduğundan şüphelenilmektedir. Astım alevlenmesi, KOAH, az gelişmiş akciğer, kardiyak aritmileri, iskemik inme gibi sağlık risklerini oluşturmaktadır. Güneş ışığında UOB' lerle tepkimeye girerek yer seviyesi ozon oluşumuna neden olur (Çevre ve Sağlık Birliği, 2015,s.31).

Azot monoksit (NO) ve azot dioksit (NO<sub>2</sub>) yüksek konsantrasyonlarda (>50 ppm) toksik ve öldürücü etki gösterirler, ancak atmosferdeki konsantrasyonları bu seviyenin çok altında olduğundan, esas olarak akciğer ve solunum sistemleri üzerinde olumsuz etkileri vardır. Atmosferde bulunan konsantrasyon seviyelerinde azot dioksitin kronik pulmoner fibrosise yol açtığı belirlenmiştir (Tırıs, 1993,s.30). Nitrik asit metal yüzeylerin korozyonuna neden olur. Uzun süreli düşük konsantrasyonlarda NO<sub>2</sub> maruziyeti çocuklarda bronşit hastalığının artmasına sebep olduğu görülmüştür (Masters, 1991,s.284).

Azot oksitler atmosferde hidroksil radikalleri (OH) ile reaksiyona girerek nitrik asit (HNO<sub>3</sub>) oluştururlar bu da asit yağmurlarına neden olur (Masters, 1991).

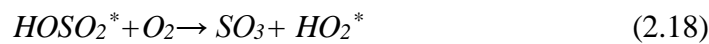
Asit yağmurlarının en zararlı etkilerinden biri de doğal su kaynaklarınının (göller) asidifikasyonu ve bunun neticesinde sucul canlıların ve özellikle balıkların ölmesidir. Suyun pH' ı 5,5'in altına düştüğü takdirde, birçok balık türünde üreme sekteye uğrar. Ayrıca, balıkların gıdasını oluşturan plankton ve dip faunada pH düşmesiyle birlikte azalmalar gözlenmiştir (Tırıs, 1993,s.45).

Geniş yapraklı bitkilerde 2-10 ppm NO<sub>2</sub>'ye maruz kalındığında nekroz oluştuğu ve yaklaşık 0,5 ppm'de büyüme geriliği oluşturduğu gözlenmiştir (Cooper, 2002,s.53).

### 2.3. Kükürt Dioksit (SO<sub>2</sub>)

Antropojenik kaynaklı SO<sub>2</sub> emisyonlarınının % 80'den fazlası fosil yakıtlarının yanması sonucu oluşmaktadır. Yaklaşık % 85'i, elektrik üreten termik santrallerden yayılmaktadır ve sadece % 2'lik kısmı karayolu ulaşımından gelmektedir. Yanma kaynaklı olmayan kükürt emisyonları petrol rafinerileri, maden eritme tesisleri ve çimento fabrikalarından oluşmaktadır. Yakıt ve kömürler genellikle % 0,5-6 kükürt içeriğine sahiptir ve bunlar inorganik sülfür ya da organik kükürt şeklindedir. Yanma işlemi gerçekleştiğinde, kükürt dioksit (SO<sub>2</sub>) ve az miktarda kükürt trioksit (SO<sub>3</sub>) atmosfere yayılır (Masters, 1991,s.295).

Atmofere yayılan SO<sub>2</sub> ile OH radikalı reaksiyona girerek SO<sub>3</sub>'e yükseltgenmektedir (Eşitlik 2.17 ve 2.18).



Kükürt trioksit ( $SO_3$ ) ile  $H_2O$  çok hızlı bir şekilde reaksiyona girer ve sülfirik asit ( $H_2SO_4$ ) haline dönüşmektedir (Eşitlik 2.19).



Sülfirik asit molekülleri atmosferde var olan parçacıkların üstünde yoğunlaşarak veya su buharı ile birleşerek  $H_2O-H_2SO_4$  damlacıklarını oluşturur ve parçacık sülfat ( $SO_4^{2-}$ ) oluştururlar.  $SO_2$  gazının  $SO_4^{2-}$  parçacığına dönüşmesi yavaş yavaş olur, günler dahi sürebilir. Bu süre zarfında, kükürt kirliliği karaya veya suya,  $SO_2$  ya da sülfat olarak ıslak ya da kuru olarak çökler. Yağmur suyunun pH'ını düşürerek, yağmur suyuyla beraber asit yağmurlarını meydana getirmektedir (Masters, 1991,s.296).

Kükürt trioksit sülfirik asidin anhidriti olup; yağmur veya yoğuşmuş nem (sis) damlalarıyla birleşerek havada bu asidin damlacıklarının oluşmasına yol açar. Sülfatlar ise çoğunluğu 0,2- 0,9  $\mu m$  çapa sahip katı tanecikler şeklinde olup, görünür ışığın 0,4-0,7  $\mu m$  olan dalga boyları ile girişim yaparak görüş mesafesini azaltır ve güneş radyasyonunu engelleyerek yerel iklimlerde soğumaya yol açar. Bu yüzden kent atmosferinde  $SO_2$ 'nin tipik seviyelerinde, bağıl nemin de % 50'den fazla olduğu günlerde önemli görüş kayıpları ortaya çıkar (Müezzinoğlu, 2000,s.22).

### 2.3.1. Kükürt dioksitin etkileri

Havadaki kükürt oksitler ( $SO_x$ ) içerisinde en önemli pay kükürt dioksit ( $SO_2$ ) gazına aittir. Kükürt dioksit renksiz bir gaz olup, havadaki 0,3-1 ppm seviyelerde ağızda karakteristik bir tat bırakmakta, 3 ppm in üstünde ise boğucu bir hisse yol açmaktadır (Müezzinoğlu, 2000,s.22).

Yapılan çalışmalar ortalama olarak asit yağışlarının % 70'inin  $SO_2$ ; diğer kısmının ise  $NO_x$  gazları etkisiyle oluştuğunu göstermiştir. Burada  $SO_2$ 'nin bilhassa kükürtçe zengin katı ve sıvı yakıt kullanan ağır sanayiden ve termik santrallerden;  $NO_x$ 'in ise daha çok yüksek sıcaklık işlemlerinden ve taşıt araçlarından kaynaklandığı söylenebilir. Asit yağmurlarının başlıca iki dolaylı kötü etkisi bilinmektedir. Bunlardan biri, yere düşen asitli yağış sularının yüzeysel akış sonunda karıştıkları alıcı su ortamında doğal dengeyi bozmalarıdır. Özellikle tatlı su göllerinde görülen bu durum, göl suyunun pH'sının 5,5'in altına düşmesiyle

kütleli balık ölümlerine, flora ve fauna değişmelerine yol açar. Diğer etki ise toprakta ve bitkilerde kendini gösterir. Asidik yağışlarla yıkanan topraktaki besin maddeleri suda daha çok çözünerek suyla birlikte topraktan uzaklaşırlar. Toprağın üzerindeki bitki örtüsünde ise doğrudan veya su-toprak ilişkileriyle dolaylı zararlar meydana gelir. Asit yağışları sanat ve kültür yapıtlarına zarar vermekte, özellikle mermerden yapılan tarihi yapı ve antik eserlerin yıpranmasına ve değerlerini yitirmesine neden olmaktadır (Müezzinoğlu, 2000,s.27).

İnsanlar için tatma ve koku almayı engelleyen SO<sub>2</sub> eşik değerleri sırasıyla 0,3 ppm ve 0,5 ppm'dir. Konsantrasyonlar 1 ppm'in üzerine çıktığında soluk borusunda tıkanmalar görülür, 10 ppm'in üzerine çıktığında göz, burun ve boğaz tahrişi gözlenir (Cooper, 2002,s.51).

SO<sub>2</sub>'nin madeni eşya üzerinde, fabrika bacalarında, çinko damlarda özellikle nemli havalardaki aşındırıcı ve paslandırıcı tahribatı büyüktür. Kükürt miktarı yüksek olan yakıtların kullanılması ile havaya çok fazla SO<sub>2</sub> verilmesi durumu WHO (Dünya Sağlık Teşkilatı) da incelenmiş ve şehirlerde kullanılan yakıtların kükürt miktarının % 2' den fazla olmaması esası kabul edilmiştir (Özaslan, 2008,s.24).

#### **2.4. Ozon (O<sub>3</sub>)**

Ozon, normal bir ortamda havanın karışımında çok az miktarda (0,02 ppm) bulunan bir gazdır. Hava karışımı içerisindeki bulunan bu miktar zararlı değildir. Ancak, karışım içerisindeki elektriksel boşalmalarla stratosfer tabakası içerisinde oluşan ozon, düşey doğrultudaki hava akımları ile troposfere taşınır. Aslında düşey doğrultudaki ozon taşınması fazla olmamakla birlikte yine de troposferdeki miktarını önemli ölçüde değiştirir. Ayrıca, insan faaliyetlerine bağlı olarak atmosfere yayılan azot oksitler ve hidrokarbonların atmosferdeki fotokimyasal reaksiyonları sonucu ozon oluşur. Söz konusu faaliyetlerin başında, motorlu taşıtların egzozları ve ısı üretimi amacıyla fosil yakıt kullanımı gelmektedir (Kırımhan, 2006,s.66).

Ozon ikincil bir kirlenici olduğundan, hava kirliliğine etki eden diğer faktörler ve meteorolojik etkenlerle doğrudan ilişkilidir (Özcan ve ark, 2006,s.239).

Son 30 yıl içerisinde antropojenik kaynaklardan atmosfere verilen bileşenlerin stratosferdeki ozon seviyelerini ciddi oranda azaltırken, troposferik

ozon seviyelerini artırdığı bilinmektedir. Stratosferik ozon, zararlı ultraviyole ışınlarını absorplama özelliğinden dolayı, olması istenen bir bileşendir, ancak troposferik ozon, özellikle insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkilerinden dolayı istenmeyen bir bileşendir. Bu nedenle stratosferik ozon “iyi” ve troposferik ozon “kötü” ozon olarak nitelendirilmektedir (Seinfeld ve Pandis, 1998,s.197).

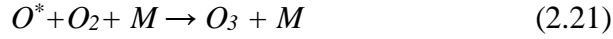
#### 2.4.1. Ozonun atmosferik reaksiyonları

Ozonun atmosferik davranışı, havadaki kirleticilerle fotokimyasal reaksiyonuna dayanmaktadır. Güneş ışığında azot monoksit azot dioksite dönüşür. Reaktif olan NO<sub>2</sub>, CO, metan ve NMOB'lerin (nonmetan organik bileşikler) de ortamda bulunmasıyla güneş ışığı ve yüksek sıcaklık sayesinde ozon oluşumuna neden olur (Melkonyan ve Kutter, 2012,s.316). Ozonun atmosferik yarılanma ömrü yaz mevsiminde 1-2 hafta, kış mevsiminde ise 1-2 ay sürmektedir (Özaslan, 2008,s.28).

NO<sub>x</sub> ve O<sub>3</sub> oluşumu arasındaki ilişki aşağıdaki şekilde gerçekleşir:



Burada  $hv$ , reaksiyonun gerçekleşmesi için gerekli ve güneş ışığı tarafından sağlanan uygun dalga boyundaki fotonun enerjisidir. (2.20) reaksiyonuyla oluşan tek atomlu oksijen daha sonra, aşağıdaki reaksiyonla ozon oluşumuna neden olur:



Burada M, yüksek enerjili O atomundan dolayı açığa çıkan fazla enerjiyi uzaklaştıran başka bir molekül (genellikle N<sub>2</sub> ya da O<sub>2</sub>) ya da bu tepkimenin oluşmasına olanak sağlayan bir aerosol yüzeyidir (Özaslan,2008,s.28). Yukarıdaki reaksiyonlarda ozon oluşmakla birlikte, ortamdaki NO'nun bir kısmı da NO<sub>2</sub>'ye yükseltgenme sırasında ozonun harcanmasını sağlar:



Böylece, O<sub>3</sub>, NO ve NO<sub>2</sub> arasında bir denge oluşur.

Ozon seviyesini belirleyen en önemli atmosferik bileşenler azot oksitler ile uçucu organik bileşiklerdir. Bu bileşen gruplarının atmosferik konsantrasyonlarının oranı, ozon oluşumunun anlaşılması ve ozon azaltımına yönelik çalışmaların izleyeceği yol açısından önemlidir. Şehir atmosferinde, çoğunlukla NO<sub>x</sub>

emisyolları daha yüksektir. Bu durumda, UOB emisyollarının NO'nun yükseltgenmesi sürecine girişimi belli bir süre sonra etkisini yitirecektir ve NO<sub>x</sub>'ler ile ozon arasında bir denge konumuna yaklaşılacaktır. Bu durum, UOB -limitli (UOB limited) rejim olarak tanımlanır, çünkü UOB emisyollarındaki herhangi bir değişiklik, bahsedilen NO<sub>x</sub>-ozon dengesini etkilemeye başlayacaktır. NO<sub>x</sub> emisyolları çoğunlukla antropojenik etkilere bağlı olduğundan, şehirlerden uzaklaşıkça NO<sub>x</sub>/UOB oranı düşmeye başlar. Bu rejim ise NO<sub>x</sub>-limitli (NO<sub>x</sub> limited) olarak tanımlanır. UOB miktarındaki bir artışın ozon seviyelerine etkisi çok düşükken, NO<sub>x</sub> seviyesindeki bir artış, ozonda da önemli oranda artışa neden olacaktır. UOB -limitli rejimlerde de bunun tersi geçerlidir (Yay, 2006,s.23).

#### **2.4.2. Ozonun etkileri**

Ozon, kuvvetli bir yükseltgen olmasından dolayı, insanlar üzerinde özellikle solunum sistemine zarar verici olumsuz etkiler gösterir. Ozon maruziyetinin; ağız, burun ve ciğerler üzerinde yakıcı ve tahriş edici bir etkisi vardır. Yüksek ozon seviyeleri nefes darlığı, öksürük, hırıltı, göğüste sıkışma hissi ve ağrılara neden olabilir. Çocuklar yaz aylarında zamanlarının çoğunu dış ortamlarda oyun oynayarak geçirdiklerinden dolayı, ozon maruziyeti için riskli grubu oluştururlar (ATSDR, 2006,s.42).

Ozon, reaktif ve tahriş edici özelliğe sahip olmasının yanı sıra, bulunduğu zaman solunum problemlerine yol açan ve akciğer dokularına zarar veren önemli bir kirleticidir. AB lkelerinde ozon konsantrasyonu hala yüksektir. Özellikle kırsal alanlarda yüksek konsantrasyonlarda tespit edilen ozon, bitki örtüsüne ve ormanlık alanlara zarar vermektedir (Kara ve ark, 2013,s.629).

Ozonun en önemli etkilerinden biri, kauukdan yapılan malzemelerin çatlaması şeklinde görülmektedir. Doğal kauçuk, polimerize olmuş izopren ünitelerinden meydana gelmiştir. Kauçuk gerilim altındayken, ozon karbon atomları arasındaki çift bağları parçalar. Bunu, diğer bağların zincirleme bir şekilde parçalanmaları takip eder. Ozonun kauuklu malzemelere karşı etkisini önlemek için yüksek derecede doğun moleküller veya parafin kullanmak, kağıt veya plastik ile yüzeyini korumak gibi önlemler alınabilir (Tırs, 1993,s.41).

## 2.5. Termik Santrallerin Hava Kalitesine Etkisi

Termik santraller kömür, fuel-oil, motorin, doğal gaz ve jeotermal enerji kaynaklarının kullanılmasıyla elektrik enerjisinin üretildiği tesislerdir. Termik santraller; çabuk yapılabirliği, ucuza mal edilmesi, düşük kaliteli kömürlerin değerlendirilmesi gibi getirdiği avantajlar nedeniyle elektrik üretiminde tercih nedenidir. Kömür yakıtlı termik santrallerin Türkiye’de ağırlıklı bir elektrik enerjisi üretim biçimi olarak seçilmesinin başlıca nedeni, kömürün fuel-oil veya doğalgaz gibi ülkemizde pahalı ya da sınırlı olan yakıtlara göre daha ucuz olarak kabul edilmesidir. Ülkemizin hidroelektrik güç ile birlikte en önemli öz enerji kaynağı linyitlerdir. Ülkemiz linyitleri yüksek nem, kükürt ve kül içerikli olup, düşük ısı değerlidirler ve büyük miktarda çevre kirliliğine neden olurlar (Karaca ve ark, 2009,s.25).

Kömür yakılarak enerji elde edilen termik santrallardan çevreye, alıcı ortamlara verilen zararlı atıklar aşağıdaki gibi sıralanabilir (MIT, 2013; EPA, 2015; Vardar ve Yumurtacı, 2010; Avcı, 2005; Öztürk ve Özdoğan, 2004; Curezone, 2015; Acar ve ark, 2015,s.64).

- Havada asılı tanecikler (PM)
- Kükürt dioksit
- Azot oksitler
- Karbondioksit
- Karbon monoksit
- Uçucu organik bileşikler (UOB)
- Dioksinler
- Hidroklorik asit
- Kül
- Radyoaktif maddeler
- Ağır metaller (arsenik, krom, kadmiyum, kurşun, civa, bakır, vanadyum, nikel, çinko, selenyum, antimon)

Termik santrallerin çevreye verdiği hava kirliliğine neden olan ögelerin solunan havadaki miktarının az veya çok oluşu, yoğunlukları, yayılma alanlarının

genişliği, etki süreleri aşağıdaki özelliklere göre değişmektedir (Acar ve ark, 2015,s.65):

- Kirletici yayan bacanın yüksekliği
- Kullanılan yakıtın niteliği ve niceliği
- Bölge veya yerin topografik yapısı
- Meteorolojik koşullar (rüzgar hızı, yağışlar gibi)
- Yanlış yer seçimi
- Yanma ürünlerinin filtre edilmeden atmosfere salınması
- Geri teknoloji kullanımı

Kömür ve linyit kömürü kullanan termik santrallerin kükürt dioksit, azot oksitler, karbon monoksit, hidrokarbon, flor ve uçucu küller salması nedeniyle hava kirliliğine neden olduğu bilinmektedir. Söz konusu bu kirleticiler aynı zamanda bölgede rüzgarın etkin olduğu tüm alanlarda doğal ve tarımsal bitki örtüsüne zarar vererek hem tarımsal verimi azaltmakta, hem de kirlenmiş ürünlerin tüketilmesiyle insan sağlığına olumsuz etki yapmaktadır. Türkiye'deki 51 termik santralde, 2010 yılında 18,75 milyon ton atık oluşmuştur. Termik santrallerin atık bileşimi içindeki en büyük payını, % 98,7 ile mineral atıklar (kül, cüruf, uçucu kül ve alçıtaşı) oluşturmaktadır. TUIK' in resmi rakamlarına göre, termik santrallerden oluşan atığın ancak %65 kadarı kül barajlarında depolanmıştır. Geriye kalan %35' in büyük bir kısmının rüzgar ile uçuşarak, toprağa, suya ve gıda zinciri ile birlikte insan vücuduna karıştığı bilinmektedir (TEMA, 2013,s.54).

Termik santrallardan kaynaklanan kükürt dioksit ve azot oksitleri havadaki suyla asit yağmurlarına neden olurlar. Asit yağmuru bitkilerin kısa sürede bitki yaşamı için olumsuz etki yaratırlar. Bunun yanında toprağın pH' sı asit yöne çekerek dengesini bozar ve bitkilerin kronik etkilenmesine sonuğa o toprakta yetişen bitkilerin ölümüne neden olur (Acar ve ark, 2015,s.65).



## 2.6. Pasif Örnekleme Yöntemi

Örnekleme çalışması, analitik işlemler arasında en önemli adım olarak sayılabilir. Bu aşamada yapılan hatalar sonradan analiz esnasında düzeltilemez. Analit veya analitlerin yapısına ve konsantrasyon seviyelerine bağlı olarak değişen çok sayıda örnekleme yöntemi vardır. En basit şekli ile örnekleme, ilgili bileşenin bir örneğinin (su, hava, v.b.) uygun bir kaba toplandıktan sonra yerinde veya laboratuvarında doğrudan analiz edilmesidir (Gorecki ve Namiesnik,2002,s.276). Bu anlamda; örnekleme teknikleri üç ana kategoriye ayrılmaktadır: (1) pasif örnekleme, (2) aktif örnekleme, (3) otomatik örnekleme. Bu teknikler; gaz, buhar ve partiküler madde (aerosol) gibi önemli kirlenici tiplerine uygulanabilir.

Pasif örnekleme yöntemi, örneklenen gazın, atmosferden kimyasal adsorbent içeren bir tüp olan örnekleyici içine Fick difüzyon kanununa göre difüzyon ile taşınması prensibine dayanır.

Fick Difüzyon kanunu;

$$J = -D \frac{dC_g}{dx}$$

Burada;

J, kirlenici akışı, (kütle/ alan × zaman)

D, gaz difüzyon katsayısı (difüzyon hızı), (alan/ zaman)

dC<sub>g</sub>/dx, gaz konsantrasyon gradyenti, (kütle/ hacim × mesafe)

Konsantrasyon gradyenti, adsorbent üzerine kirlenicilerin adsorpsiyonu ile oluşur. Sabit difüzyon hızı (difüzyon hızı), doğrusal konsantrasyon gradyenti ve adsorbent yüzeyinde sıfır başlangıç konsantrasyonu ile t (saniye) toplama süresinde ortalama kirlenici konsantrasyonu (Özaslan, 2008,s.31).

$$C_g = \frac{m \times L}{t \times D \times A} \quad (2.23)$$

şeklinde hesaplanmaktadır. Burada;

m, toplanan kirlenicilerin kütlesi (µg)

L, Difüzyon yolunun uzunluğu (cm)

A, adsorbentin temas alanıdır (cm<sup>2</sup>)

Pasif örnekleyiciler örnekleyici geometrisi esas alınarak badge ve tüp olmak üzere iki şekilde sınıflandırılmaktadır. L/A (difüzyon yolu uzunluğu/örnekleyici kesit alanı) oranı 1' den büyük olduğu durumda tüp, bu oran 1' den küçük olduğu

durumda ise badge tip örnekleyci olarak adlandırılır. Tüp şeklindeki pasif örnekleycilerin örnekleme hızları, badge örnekleyci örnekleme hızlarının 1/100' i kadardır (Oury ve ark, 2006; Özden, 2013).

Pasif örnekleme birçok kirlenici maruziyetinin eş zamanlı ölçülmesini sağladığı için maliyet açısından çok etkili bir örnekleme şeklidir. Ormanlık veya kırsal alanların hava kirlenicilerine maruziyetinin kapsamlı bir şekilde belirlenmesi ve karakterizasyonu yalnızca nispeten pahalı olmayan pasif örnekleycilerin kullanılması ile sağlanabilir (Cox, 2003,s.301).

## **2.7. Dağılım Modellemesi**

Tez çalışması kapsamında ölçülen kirlenici parametrelerin noktasal konsantrasyonları, modelleme çalışması sonucunda elde edilen değerler ile karşılaştırılmıştır. Modelleme çalışması TÜBİTAK ve BAP projeleri iş paketi kapsamında DEU Çevre Mühendisliğindeki araştırma grubu tarafından gerçekleştirilmiştir. Kirlenici kaynakların yaydığı emisyonların bölge atmosferinde oluşturacağı kirlenici konsantrasyonlarının hesabında USEPA (United States–Environmental Protection Agency)'nın AERMOD dağılım modeli kullanılmıştır. AERMOD modeli, bir kirlenici kaynaktan atmosfere bırakılan gaz ve toz kirlenicilerin farklı mesafelerdeki yer seviyesi konsantrasyonlarını ve çökme miktarlarını hesaplayabilen bir modeldir. Model genel olarak yer seviyesinden yüksekte bulunan ve sürekli emisyon yapan noktasal kaynaklar (bacalar) için geliştirilmiş hareket etmeyen (sabit) Gauss dağılım eşitliğini kullanmaktadır.

Dağılım modellemesi çalışmaları için ihtiyaç duyulan verilerin başında kirlenici kaynak, meteoroloji ve topoğrafya verileri gelmektedir (TÜBİTAK-112Y305,2016,s.360).

### 3. LİTERATÜR TARAMASI

Çalışmanın bu kısmında atmosferik hava kirleticilerin (SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, Ozon) konsantrasyonunu belirlemeye yönelik farklı yöntemlerle örnekleme çalışmalarından bahsedilmiştir. Özellikle pasif örneklemenin avantajlarından, yaygın kullanımından kentsel, endüstriyel ve kırsal alanda kirletici konsantrasyonlarının değerlendirildiği çalışmalara yer verilmiştir. Ayrıca, bu çalışmanın çıkış noktası olan Termik Santrallerin hava kalitesi üzerine etkisini inceleyen çalışmalar da bulunmaktadır.

Hava kalitesinin belirlenmesine yönelik gerçekleştirilen monitorlama çalışmaları güvenilir bir yöntem olmakla birlikte, ölçüm ağının kurulması, ağın sürekli aktif halde tutulması ve işletim masrafları büyük miktarlarda maliyet gerektirmektedir. Özellikle, kırsal ve uzak noktalarda sürekli hava kalitesi ölçümlerinin yapılması, ölçüm cihazlarının yüksek maliyetinden dolayı sınırlı kalmaktadır. Bu aşamada, pasif örnekleme yönteminin kullanılması oldukça önem kazanmaktadır (Özden ve ark, 2008,s.631). Pasif örnekleme yöntemlerinin kullanımı kolay ve monitorlama sonuçları ile karşılaştırıldığında yüksek korelasyon sağladığı çalışmalar bulunmaktadır (An ve ark, 2001; Ozkurt ve ark, 2013,s.254).

Pasif örnekleme yöntemleri kirletici gazların geniş alanda mekânsal dağılımının belirlenmesinde, atmosferik taşınım kontrolünde, atmosferik izleme ağının kurulmasında, kişisel örneklemede, şehirdeki kirlilik konsantrasyonlarının haritalandırılmasında ve uzak mesafedeki yerlerin konsantrasyonlarının belirlenmesinde kullanılmaktadır (Cruz ve ark, 2004,s.6425). Bunun yanı sıra sistemin maliyeti, pratik oluşu, kullanımında teknik bir personele ihtiyaç duyulmaması, arazi çalışmalarında hiçbir güç kaynağı kullanılmaması bu yöntemi daha geniş sahalardaki örnekleme uygulamalarında kullanılabileceği sağlamaktadır (Bayındır ve ark, 2008,s.115).

Emisyonların belirlenmesinde, hava kalitesi monitorlaması ve modellenmesi hava kalitesi değerlendirmesi ve yönetimi içinde uygulanan temel prensiptir. Sürekli ve uzun dönem kirleticilerin monitorlanması her zaman uygun olmayabilir, kirliliğin belirlenmesinde hava kalitesi modellenmesi yaygın olarak kullanılmaktadır. Çan- Bayramiç bölgesinde 2007 yılında SO<sub>2</sub>'ye ait model sonucu

(0,12-390,7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) iken ölçüm sonucu (1,77-376,7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) gözlenmiştir (Ozkurt ve ark, 2013,s.254).

Güney Afrika' da 1 yıl boyunca 13 noktada pasif örnekleme yöntemiyle şehir merkezindeki  $\text{NO}_2$  konsantrasyonları belirleme çalışması yapılmıştır. Ogawa pasif örnekleme cihazları yardımıyla 7 gün bekleme süresi ile pasif örnekleme çalışması tamamlanmıştır.  $\text{NO}_2$  konsantrasyonu 10-20 ppb seviyesinde gözlenmiştir. Pasif ölçüm sonuçları otomatik analizör sonuçlarıyla karşılaştırıldığında sonuçların birbiri ile uyumlu olduğu gözlenmiştir (Moodley, K., 2011,s.2145).

Hava kalitesini iyi temsil edebilecek izleme istasyonunu kurmak için İspanya'nın Malaga şehrinde pasif örnekleme kampanyası yapılmıştır. 74 bölgede 2 haftalık örnekleme periyoduyla yaz ve kış döneminde  $\text{O}_3$  ve  $\text{NO}_2$  bileşenleri Ogawa tipi pasif örnekleme cihazları kullanılarak pasif örnekleme çalışması gerçekleştirilmiştir. Ortalama  $\text{NO}_2$  konsantrasyonu 22,8  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  iken ortalama  $\text{O}_3$  konsantrasyonu 64,3  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  olarak hesaplanmıştır (Lozano ve ark., 2009,s.164). Benzer şekilde Türkiye' de ileriye yönelik temiz hava kalitesi planlarının hazırlanmasında ve yeni hava kalitesi izleme istasyonlarının yer seçiminde önemli ölçüde katkı sağlayacağı düşünülerek Eskişehir ve İskenderun' da 2008 yılında birer haftalık örnekleme süresiyle  $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_2$  ve ozon bileşenlerinin pasif örnekleme yöntemiyle ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Ortalama  $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_2$  ve  $\text{O}_3$  konsantrasyon değerleri sırasıyla  $33,62 \pm 10,49 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $53,64 \pm 8,36 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ve  $30,50 \pm 11,49 \mu\text{g}/\text{m}^3$  olarak bulunmuştur. Şehir merkezine yaklaştıkça  $\text{NO}_2$  ve  $\text{SO}_2$  seviyeleri artarken,  $\text{O}_3$  seviyelerinde azalma gözlenmiştir (Özden ve ark., 2008,s.631).

Vietnam, Hanoi'de 120  $\text{km}^2$ 'lik alanda pasif örnekleme için 96 nokta seçilmiş ve bu noktaların 80' i arka plan, 6' sı trafik, 5' i endüstriyel ve 5 noktası da kırsal alandan seçilerek yaz ve kış dönemlerinde  $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_2$  ve benzen konsantrasyonları ölçülmüştür.  $\text{NO}_2$  ve benzen konsantrasyonları trafiğin yoğun olduğu bölgeler yüksek değer gözlenmiş, en yüksek  $\text{NO}_2$  derişimi kış mevsiminde 84,6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ve Hanoi'de anayoldaki bir nokta olduğu gözlenmiştir. Benzen ile  $\text{NO}_2$  benzer bir dağılım gösterdiği ve en yüksek benzen değerinin 26  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  yol kavşağında ölçülmüştür.  $\text{SO}_2$  için en yüksek derişim 91,5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  kış mevsiminde endüstriyel bölgede kömür yanmasından ve lastik fabrikasındaki kükürtleştirme işlemlerinden kaynaklandığı gözlenmiştir. Motorsiklet kullanımı Hanoi'de yaygın

kullanılmaktadır, NO<sub>2</sub> ve benzen kirliliğinin kaynağını oluşturduğu düşünülmektedir. Benzenin dağılımı NO<sub>2</sub> göre daha farklıdır, buharlaşan benzen emisyonu park yerlerinde, ev kenarlarında daha yüksek değerlerde gözlenmiştir. Bu çalışmanın sonunda, dizel kullanan kamyon ve otobüslerin SO<sub>2</sub> oluşumuna yüksek katkısı olduğu, motorsikletlerin NO<sub>2</sub> oluşumuna temel kaynak oluşturduğu ve motorsikletlerden buharlaşan emisyonların benzen oluşumuna büyük katkısı olduğu gözlenmiştir (Hien ve ark, 2014,s.66).

İngiltere, Birmingham'da BTEX, NO<sub>2</sub> ve O<sub>3</sub> derişimlerinin bir yıllık pasif örnekleme tüpleri (PDT) ile kentsel ve cadde ölçeğinde trafik kaynaklı kirliliğın mekânsal dağılımının incelenmesi ve 3 tane sürekli ölçüm istasyonlarında incelenen NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, O<sub>3</sub>, CO, SO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub> ve PM<sub>2.5</sub> kirlleticilerin mevsimsel ve yıllık kirlilik trendlerinin belirlenmesi amaçlanmıştır (Vardoulakis ve ark, 2011,s.5069).

Konya'da 52 örnekleme noktasında yaz ve kış mevsiminde 4 kez yapılan pasif örnekleme ile Konya kentinin hava kalitesinin değerlendirilmesi çalışması yapılmıştır. Bölgede bulunan sürekli izleme istasyonlarında SO<sub>2</sub> konsantrasyonları ölçülürken, NO<sub>2</sub> ve O<sub>3</sub> derişimleri pasif örnekleme tüpleri ile yaz ve kış dönemi olmak üzere iki farklı dönemde birer aylık gösterge ölçümleri yapılmıştır. Kışın elde edilen O<sub>3</sub> ve NO<sub>2</sub> konsantrasyonları sırasıyla 18-55µg/m<sup>3</sup>, 8-60 µg/m<sup>3</sup> iken yazın bu değerler sırasıyla 54-98 µg/m<sup>3</sup>, 3-48 µg/m<sup>3</sup> olarak hesaplanmıştır. O<sub>3</sub> ölçümü tarımın en önemli sektör olduğu Konya ili için oldukça önemlidir. Çünkü yer seviyesinde ozon konsantrasyonunun artması kırsal ve ormanlık alanlarda fitotoksik etkiye neden olduğu bilinmektedir (Kara ve ark., 2013,s.609).

Brezilya' da kentsel, kırsal ve endüstriyel bölgelerde pasif örnekleme metoduyla SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> ve H<sub>2</sub>S bileşenleri ölçülmüştür ve pasif ölçüm sonuçları otomatik analizör sonuçlarıyla da desteklenmiştir. 2 haftalık pasif örnekleme sonunda elde edilen SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> ve O<sub>3</sub> konsantrasyonları sırasıyla 1,8-3,9 µg/m<sup>3</sup>, 3,6-12 µg/m<sup>3</sup>, 17-37 µg/m<sup>3</sup>. Otomatik analizör sonuçları ise sırasıyla 1,2-1,9 µg/m<sup>3</sup>, 6,7-11 µg/m<sup>3</sup>, 19-22 µg/m<sup>3</sup> olarak ölçülmüştür (Campos ve ark., 2010,s.132).

Kocaeli kentinde endüstriyel, evsel ve taşıt kaynaklı kirleticilerden ortama yayılan kükürtdioksit (SO<sub>2</sub>), azotdioksit (NO<sub>2</sub>) ve ikincil kirleticisi olan ozon (O<sub>3</sub>) düzeyleri belirlenmiştir. Pasif örnekleme tekniğı kullanılarak 51 noktada toplanan örnekler, SO<sub>2</sub> için iyon kromatografi, O<sub>3</sub> için spektrofotometrik ve NO<sub>2</sub> için her iki

yöntem kullanılarak analiz edilmiştir. İnorganik kirleticilerin mevsimsel değişimlerini belirlemek amacıyla yaz ve kış mevsimini temsil eden iki örnekleme periyodu seçilmiştir (Özaslan, 2008,s.9).

İzmir Aliğa bölgesinde O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub> ve SO<sub>2</sub> bileşenlerinin atmosferik konsantrasyonu belirlemek için 49 noktada pasif örnekleme cihazları kullanılarak ölçülmüştür. Pasif kampanyalar yazın 2 kez, kışın 3 kez olmak üzere 2005-2007 yılları arasında yapılmıştır. Genellikle en düşük SO<sub>2</sub> ve NO<sub>2</sub> seviyeleri, her iki mevsim için, temiz bölgelerde ve kırsal alanlarda ölçülmüştür. Yazın ölçülen ozon seviyeleri genellikle, muhtemelen güneş radyasyonunun artması nedeniyle, kışın ölçülenlere oranla daha yüksektir. Anayol üzerinde, endüstrilerin çevresinde ve ilçe merkezindeki noktalarda ölçülen ozon seviyeleri düşükken, temiz ve kırsal alanlarda ölçülenler yüksektir (Evcı, 2009,s.6).

Çanakkale Merkez, Lapseki ve Çan' da mevcut hava kalitesini farklı özellikteki bölgelerinde belirlemek amacıyla, iç ortamlar ve eş zamanlı dış ortamlarda hava kalitesi ve meteorolojik ölçümler yapılmıştır. Ağustos 2013- Nisan 2014 tarihleri arasında gerçekleştirilen çalışmada, toplam partikül madde (PM), karbondioksit (CO<sub>2</sub>), karbon monoksit (CO), ozon (O<sub>3</sub>) ve meteorolojik parametreler anlık ölçüm yapan cihazlarla 122 farklı iç ortam ve eş zamanlı olarak dış ortamlarda ölçülmüştür (Çotuker, 2014,s.7).

Erzurum şehir atmosferinde O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub> ve SO<sub>2</sub> örnekleri kış ve bahar dönemlerinde 8 hafta süresince 14 noktada dış atmosferde ve 9 noktada iç atmosferde radiello pasif örnekleme cihazları ile haftalık olarak toplanıp ekstrakte edilerek O<sub>3</sub> derişimleri spektrofotometreyle, NO<sub>2</sub> ve SO<sub>2</sub> ise iyon kromatografi ile belirlenmiştir. Ortalama O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub> ve SO<sub>2</sub> konsantrasyon değerleri sırasıyla 60,84±6,45, 15,63±8,16, 15,65±11,74 µg/m<sup>3</sup> tür ve bu değerlerin yasal sınır değerleri aşmadığı görülmüştür (Kocaman, 2010,s.4).

Dünya' da ve Türkiye' de NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> ve O<sub>3</sub> konsantrasyonlarını belirlemek adına pek çok çalışma yer almaktadır. Çizelge 3.1 ve Çizelge 3.2' de Dünyada ve Türkiye' de yer alan çalışmaların ölçüm sonuçları detaylı olarak verilmiştir.

**Çizelge 3.1.** *NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> ve O<sub>3</sub> konsantrasyonlarının belirlenmesine yönelik daha önce Dünya’da yapılan çalışmalar*

Çalışma Alanı	Çalışma alanının özellikleri	NO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	SO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	O <sub>3</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	Örnekleme dönemi	Örnekleme Süresi	Örnekleyici tipi	Referans
Salvador, Brazilya	Kentsel	-	1,9-13	-	Yıllık	1-4 hafta	Pasif örnekleyici	Cruz ve ark (2004)
Almanya	Kentsel	28,8	-	-	26 kez (Yıllık)	2 hafta	Palme difüzyon tüpü	Lewne ve ark(2004)
Hollanda		28,9						
İsveç		18,5						
Alberta, Kanada	Kentsel, kırsal ve endüstriyel	8,33	3,9	46,8	12 kez (Yıllık)	1 ay	Pasif örnekleyici	Hsu,(2013)
Malaga, İspanya	Kentsel, yarı-kentsel	22,8	-	64,3	Yıllık	2 hafta	Ogawa pasif örnekleyiciler	Lozano ve ark (2009)
Salvador, Brazilya	Kentsel, kırsal ve endüstriyel	3,6-12,0	1,8-3,9	17,0-37,0	Yıllık	2 hafta	Pasif örnekleyiciler	Campos ve ark (2010)

**Çizelge 3.1 (Devam).** *NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> ve O<sub>3</sub> konsantrasyonlarının belirlenmesine yönelik daha önce Dünya’ da yapılan çalışmalar*

Çalışma Alanı	Çalışma alanının özellikleri	NO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	SO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	O <sub>3</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	Ornekleme dönemi	Ornekleme Süresi	Ornekleyici tipi	Referans
Delhi, Hindistan	Kentsel, yarı-kentsel, trafik	68,6	-	-	Sonbahar	2 hafta	PASSAM difüzyon tüpleri	Behera ve ark (2015)
Kanpur, Hindistan		36,9	-	-				
Al-Ain, BAE	Kentsel, kırsal ve endüstriyel	59,3	15,15	17,03	26 kez (yıllık)	14 gün	IVL (NO <sub>2</sub> -SO <sub>2</sub> ), ogawa (O <sub>3</sub> ) örnekleyiciler	Salem ve ark (2009)
Birmingham, İngiltere	Kentsel, cadde ölçekli	32,6	-	47,12	13 kez (yıllık)	4-5 hafta	PDT pasif difüzyon tüpleri	Vardoulakis ve ark(2011)
Alberta, Canada	Kentsel, kırsal ve endüstriyel	0,38-34,03	0,26-10,14	20,2-112,2	2 kez ayda (yıllık)	1 ay	Maxxam pasif örnekleyiciler	Bari ve ark (2015)
Hanoi, Vietnam	Kentsel-trafik, kırsal ve endüstriyel	17,9-65,9	11,7-47,4	-	Kış ve yaz (yıllık)	2 hafta	PASSAM difüzyon tüpleri	Hien ve ark (2014)
Delhi, Hindistan	Kentsel, kırsal ve endüstriyel	5,71 ± 2,07	2,63±1,25	-	Yaz	20gün	Otomatik analizör	Saharma ve ark (2010)
		20,12 ± 6,11	5,12±2,21		Kış			
		6,03 ±3,00	2,99±0,1		Sonbahar			
Waliguan, Çin	Kırsal	1,13± 0,75	1,82±10,4	-	12 kez (yıllık)	10 gün	Ogawa pasif örnekleyiciler	Meng ve ark (2010)
Kaili, Çin		12,78±3,57	160,68±96,2					



**Çizelge 3.2.** *NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> ve O<sub>3</sub> konsantrasyonlarının belirlenmesine yönelik daha önce Türkiye’de yapılan çalışmalar*

Çalışma Alanı	Çalışma alanının özellikleri	NO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	SO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	O <sub>3</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	Örnekleme dönemi	Örnekleme Süresi	Örnekleyici tipi	Referans
Ankara, Türkiye	Kentsel, kırsal ve endüstriyel	10,0-50,0	15,0-40,0	70,0-110,0	Yaz	4 hafta	Pasif örnekleyiciler	Doorn ve ark (2005)
		30,0-60,0	20,0-110,0	10,0-50,0	Kış			
Kütahya, Türkiye		10,0-46,0	35,0-100,0	70,0-120,0	Yaz	2 hafta		Doorn ve ark (2005)
		20,0-48,0	60,0-290,0	12,0-63,0	Kış			
Kocaeli, Türkiye	Kentsel, kırsal ve endüstriyel	0,1-40	0,3-82,0	30,0-86,0	Yaz	1 hafta	Radiello pasif örnekleyiciler	Pekey ve Özasan (2013)
		7,0-100	1,0-61,0	10,0-61,0	Kış			
İzmir, Türkiye	Kentsel, yarı-kentsel, kırsal ve endüstriyel	4,0-65,0	-	47,0-132,0	Yaz	1 hafta	Radiello pasif örnekleyiciler	Dumanoğlu ve Bayram (2013)
		11,0-57,0		18,0-65,0	Kış			
Çan-Bayramiç, Türkiye	Kentsel, endüstriyel	0,81-25,94	0,88-49,1	-	Yaz	1 ay	Otomatik analizör	Ozkurt ve ark (2013)
		1,20-40,13	1,77-376,3		Kış			
Çan-Bayramiç, Türkiye		0,86-24,60	1,04-34,16	-	Yaz	1 ay		Ozkurt ve ark (2013)
		1,11-34,73	1,45-402,96		Kış			

**Çizelge 3.2 (Devam).** *NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> ve O<sub>3</sub> konsantrasyonlarının belirlenmesine yönelik daha önce Türkiye’de yapılan çalışmalar*

Çalışma Alanı	Çalışma alanının özellikleri	NO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	SO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	O <sub>3</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	Örnekleme dönemi	Örnekleme Süresi	Örnekleyici tipi	Referans
Düzce, Türkiye	Kentsel, kırsal ve endüstriyel	18,69	21,96	18,65	Sonbahar	2 hafta	Anadolu pasif örnekleyiciler	Bozkurt ve ark (2015)
		33,13	35,98	18,98	Kış			
Konya, Türkiye	Kentsel, kırsal ve endüstriyel	7,0-54,0	6,0-31,0	28,26-153,86	Yıllık	2 hafta	Gradko pasif örnekleyiciler	Kara ve ark (2013)
Bu çalışma	Kentsel, kırsal ve endüstriyel	1,26-21,36	17,37-111,11	46,56-176,07	Yaz	2 hafta	Anadolu pasif örnekleyiciler	Polat (2016)
		1,77-56,85	10,96-139,07	12,59-133,83	Kış			

Termik santrallerin kentsel bölgede hava kalitesine olan etkinin inceleyen pek çok çalışma yer almaktadır. Bu çalışmalardan bir kaçını incelenmiştir. Kömürün iki önemli kullanım alanı demir-çelik endüstrisi ve termik santrallerdir. Kömürün üretiminden tüketimine kadar olan aşamalarda (kömür zinciri) çevresel hususların dikkate alınması yönünde artan bir politik talep vardır. Kömür:  $SO_x$ ,  $NO_x$ ,  $CH_4$ ,  $CO_2$  ve partikül emisyonları açısından artan bir çevresel baskı altındadır. Bu konuların çoğu için bilinen çözüm yöntemleri mevcut iken bunların karışımının oluşturduğu 'sera gazı etkisi' üzerine yoğun bir kamuoyu duyarlılığı oluşmaktadır (TTKGM, 2015,s.23).

Zonguldak il merkezinde bulunan Çatalağzı Termik Santrali (ÇATES) kaynaklı azot oksitler, kükürt dioksit ve partikül madde kirleticileri için emisyon miktarları hesaplanmıştır (Zeydan ve Yıldırım 2013,s.322). Çin' de kömür yakıtlı enerji sektörünün emisyonları değerlendirmek için yakıt kalitesi, yakıt ünitesinin yapısı, emisyon kontrol teknolojisi ve konumu üzerinde çalışmışlardır. 2000- 2005 yılları arasında enerji sektörü hızla gelişmiş  $SO_2$ ,  $NO_x$  ve PM emisyonları kömür kaynaklı termik santrallerde yüksek seviyelerde gözlenmiştir Zhao ve ark (2008,s.8442)

Çanakkale, Çan- Bayramiç bölgesinde tarafından, 18 Mart Çan termik santralinde meteorolojik model olan CALMET ve CALPUFF dispersiyon modeli kullanılarak bölgedeki  $SO_2$  ve  $NO_2$  emisyonları hesaplanmıştır. Atımtay ve Dölek, (2008) ISCST3 ve AERMOD atmosferik dağılım modelleri kullanılarak Çayrhan Termik Santrali emisyonlarının yer seviyesindeki  $SO_2$  ve  $NO_x$  konsantrasyonlarına etkisi hesaplanmış ve modellerin performanslarının belirlenebilmesi için model sonuçları ortam hava kalitesi ölçüm sonuçları ile karşılaştırılmıştır(Özkurt ve ark, 2013,s.254).

Kütahya ili ve çevresinde bulunan 3 adet kömürlü termik santralin enerji kaynağı olarak kullandığı kömürü yakması sonucunda oluşan  $SO_2$ , CO,  $NO_x$  ve  $PM_{10}$  kirletici konsantrasyonları bir hava kalitesi dağılım modeli yardımıyla (AERMOD) hesaplanmış ve hem üç termik santralin toplam etkisi hem de termik santrallerin tekil etkileri belirlenmiştir (Özkan, 2013,s.725).

## 4. MATERYAL VE METOT

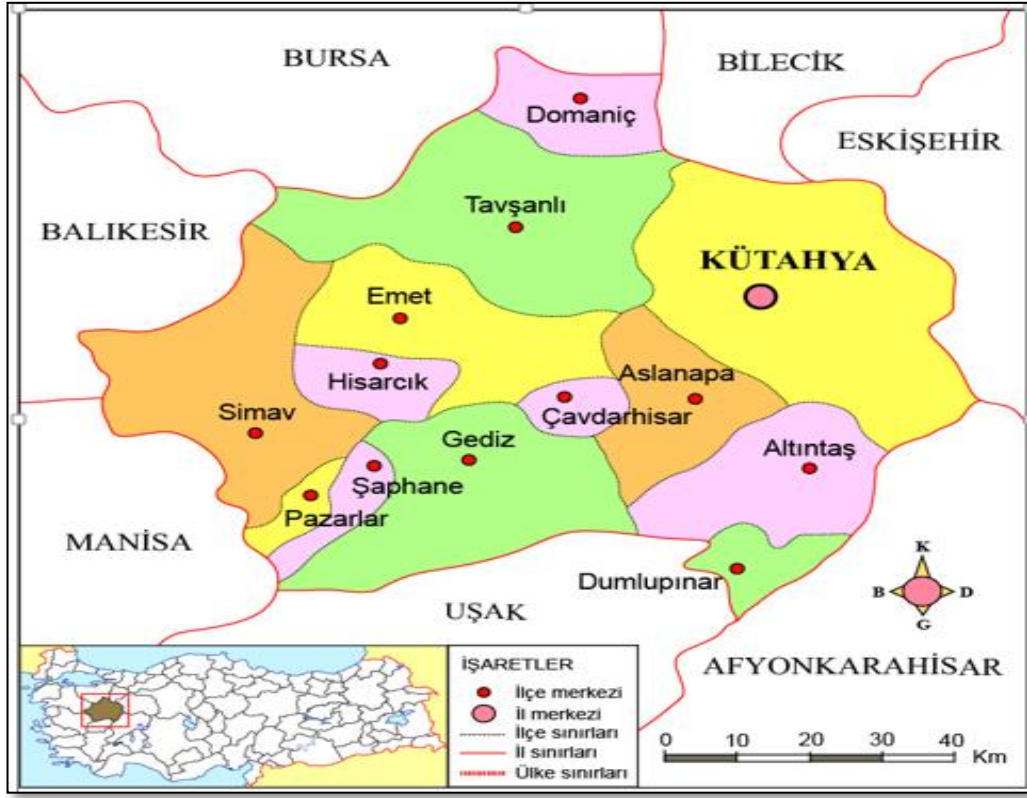
Bu çalışma kapsamında hava kalitesinin değerlendirilmesine yönelik çalışmalar Kütahya ilinde gerçekleştirilmiştir. Kömürden doğal gaza geçiş gibi önlemler her kentsel bölgede aynı oranda iyileşme sağlayamamaktadır. Kütahya' da bu iller arasındadır ve bu yüzden hava kalitesini iyileştirmek adına hava kalitesini belirleyen etkenlerin yerel olarak değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

### 4.1. Çalışma Alanı

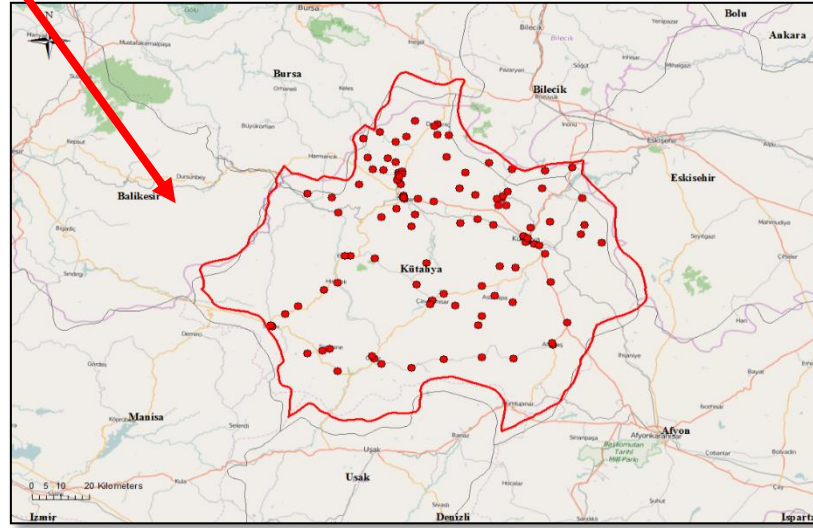
#### 4.1.1. Coğrafi Konum

Kütahya, Ege Bölgesi'nin İç Batı Anadolu Bölümü'nde yer alır. İç Anadolu Bölgesi ile denize kıyısı olan Ege Bölgesi arasında geçiş alanıdır. Kütahya ili, 38° 70' ve 39° 80' kuzey enlemleri ile 29° 00' ve 30° 30' doğu boylamları arasındadır. Kütahya, 11.875 km<sup>2</sup>'lik yüzölçümüyle Türkiye topraklarının yaklaşık % 1,5'nu kaplamaktadır. Kütahya, kuzeyinde Bursa, kuzeydoğusunda Bilecik, doğusunda Eskişehir ve Afyon, güneyinde Uşak, batısında Manisa ve Balıkesir illerimizle çevrilidir. 2014 yılı adrese dayalı nüfus kayıt sistemine göre Kütahya ili nüfusu 571.554 kişi olarak belirlenmiştir (KÇŞİM, 2015,s.16).

Şekil 4.1'de Türkiye haritası üzerinde Kütahya ili ve çalışma alanı gösterilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 4.1. (a) Kütahya ili, b) Örnekleme alanı ve örnekleme noktaları  
((a) Kaynak:http-2)

#### 4.1.2. Topografik yapı ve kentsel yerleşim

İç Batı Anadolu eşiği üzerinde yer alan Kütahya bölgesinin yüzey şekilleri bakımından bariz karakterini, Yellice Dağının ve tepe dizilerinin yer aldığı çeşitli yükseltilerdeki yaylalar ile bunlar içinde gelişmiş ovalar oluşturmaktadır. Kütahya Ovası, deniz seviyesinden ortalama 930m yükseklikindedir. Gerek dağ ve tepe dizileri, gerek çukur sahalar, eşiğin genel karakterine uygun olarak kuzeybatı–güneydoğu istikametinde uzanmaktadır.

Kütahya şehir merkezi kuzeybatı-güneydoğu uzanımlı bir havzada yer almaktadır. Bölgede yıl içinde etkili olan aksiyon merkezlerinin durumları ile diğer iklimik etkenler ile birlikte yukarıda açıklanan topografik etkenler, kirletici emisyonların taşınması, miktarları ve özellikle kent havasında kalma süreleri bakımından olumsuz koşullar oluşturmaktadır. Bu nedenlerle, yıl boyunca faaliyetlerini sürdüren sanayi kuruluşlarından kaynaklanan emisyonlara, kış sezonunda ısınma kaynaklı emisyonların da eklenmesi, kentteki hava kirliliğini kritik boyutlara getirmektedir (Doorn ve ark, 2005,s.631).

#### 4.1.3. İklim

Kütahya ili; Ege Bölgesi'nde yer almasına rağmen, denizden uzaklık ve yükseltiye bağlı olarak iklimi kıyı Ege'den daha farklıdır. Kütahya ve çevresinin iklimi Ege, Marmara ve İç Anadolu Bölgeleri arasında bir geçiş tipidir. İklim ve sıcaklık şartları bakımından, her üç bölgenin özelliklerini taşır. Sıcaklık şartları İç Anadolu, yağış şartları Marmara Bölgesi tesiri altındadır (KÇŞİM, 2015,s.17).

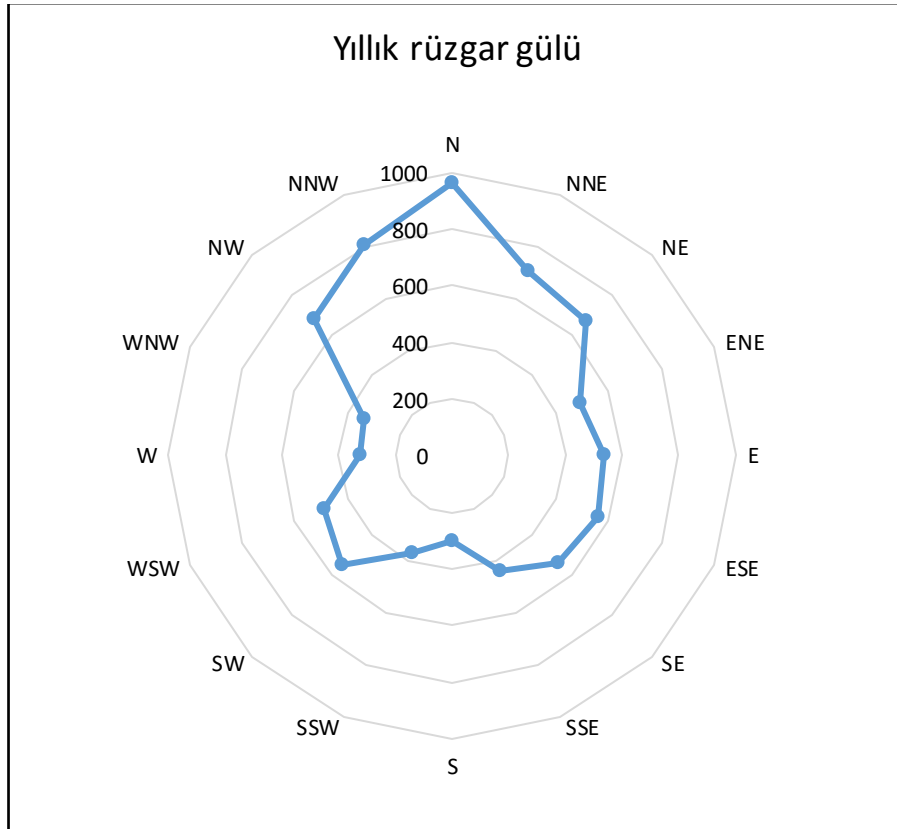
**Sıcaklık:** İlde yazlar sıcak ve kurak, kışlar soğuk ve yağışlı geçer. Kütahya 'da yıllık sıcaklık ortalaması 10,5° dir. En sıcak aylar, Temmuz ve Ağustos, en soğuk aylar ocak ve şubatır. İlde ölçülen en yüksek sıcaklık, 38,6° dir. En düşük ölçülen sıcaklık ise -28,1° dir. Buradan da anlaşılacağı gibi, yıllık sıcaklık 66,7° ile büyük bir fark gösterir (KÇŞİM, 2015,s.17).

**Yağışlar:** Kütahya'da yağışlar karasal iklime bağlı olarak, kış, ilkbahar ve sonbaharda görülür. Yazları genellikle kuraktır. Yıllık ortalama yağış miktarı 565 mm'dir. En yağışlı ay Aralık, en kurak ay Ağustostur. Yağışların %38,8'i kış, %29,4'ü İlkbahar, %12,5'i yaz, %19,3'ü sonbahar aylarında düşer. Kış aylarında, sıcaklığın düşük ve yükseltinin fazla olması nedeniyle yağışlar, genellikle kar şeklinde, diğer mevsimlerde yağmur şeklindedir. Kar yağışlı günlerin, yıllık

ortalama sayısı 19 gündür. Kar kalınlığı ortalama 12 cm civarındadır (KÇŞİM, 2015,s.17).

**Basınç ve Rüzgarlar:** Kütahya çevresinde ortalama hava basıncı, 904,7 milibardır. En düşük hava basıncı 873 milibar, en yüksek hava basıncı 928,4 milibardır. Kütahya, yaz aylarında bir alçak basınç merkezi olduğu için, özellikle kuzey sektörlü rüzgarlara açıktır. Kütahya'da hakim rüzgâr yönü, kuzeydir. Yıldız adlı kuzey rüzgârı, her yıl ortalama 2.944 kez eser. Bunu kuzeybatıdan esen karayel izler. Daha sonra güneybatıdan esen lodos rüzgârı görülür. İlde ortalama rüzgar hızı 1,7 m/sn'dir. Ölçülen en yüksek rüzgâr hızı değeri, kuzeybatıdan esen karayele ait olup 27,6 m/sn'dir (KÇŞİM, 2015,s.18).

Meteorolojiden alınan rüzgar verileri ışığında elde edilen yıllık rüzgar gülü Şekil 4.2'de verilmiştir.



**Şekil 4.2.** Yıllık rüzgar gülü  
(Kaynak: TÜBİTAK-112Y305,2016)

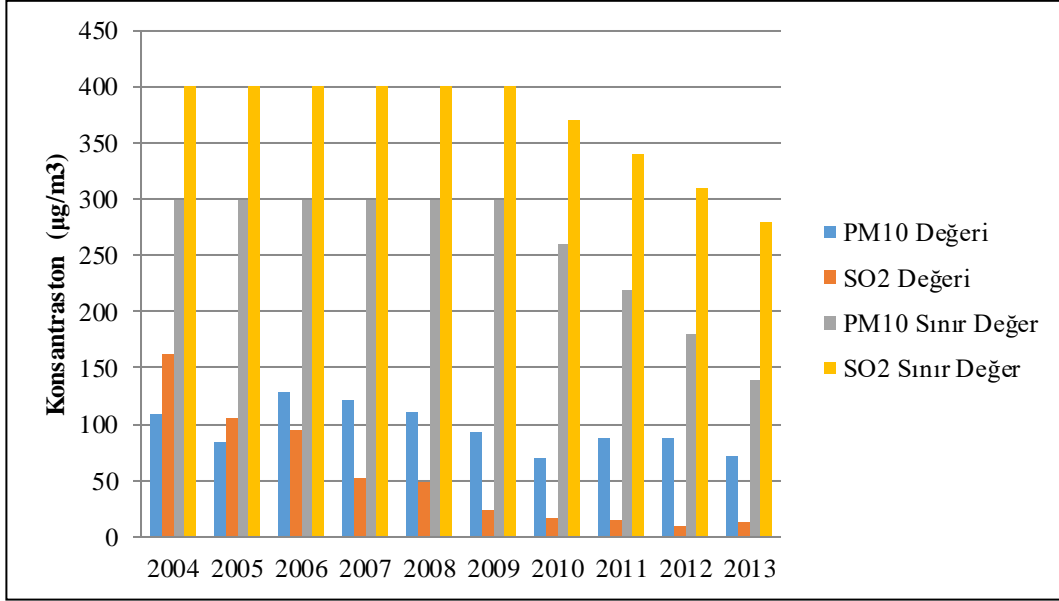
Kütahya'da özellikle kışın rüzgarların ters yönde estiği, şehrin yerleştiği ve dağlar arasında kalan vadi yüzünden geceleyin soğuyan havanın yamaçlardan tabana doğru hareket ettiği ve sıcak havayı yukarı doğru inversiyon seviyesine kadar ittiği bir olay görülmektedir. Bu olay gece boyunca soğuk hava tabakasının artmasına, şehrin üzerini kaplamasına neden olduğu ve ertesi gün yavaş yavaş ısınarak kaybolduğu belirtilmiştir. Özellikle kış aylarında bu kirli ve sisli görünümündeki tabaka çıplak gözle rahatlıkla görülebilmektedir (KÇŞİM, 2014,s.20).

Bu çalışma, Kütahya'da  $130 \times 120 \text{ km}^2$ 'lik alanda 108 örnekleme noktasında yapılmıştır. Örnekleme noktaları kentin topografik yapısı, rüzgar yönü, kirletici kaynaklara olan mesafeleri dikkate alınarak seçilmiştir. Proje kapsamında yapılan ön modelleme çalışması ile örnekleme noktası seçimi desteklenmiştir. Örnekleme noktaları kirlilik kaynaklarının türlerine göre kentsel (35 nokta), kırsal (64 nokta) ve endüstriyel (9 nokta) ayrılmıştır.

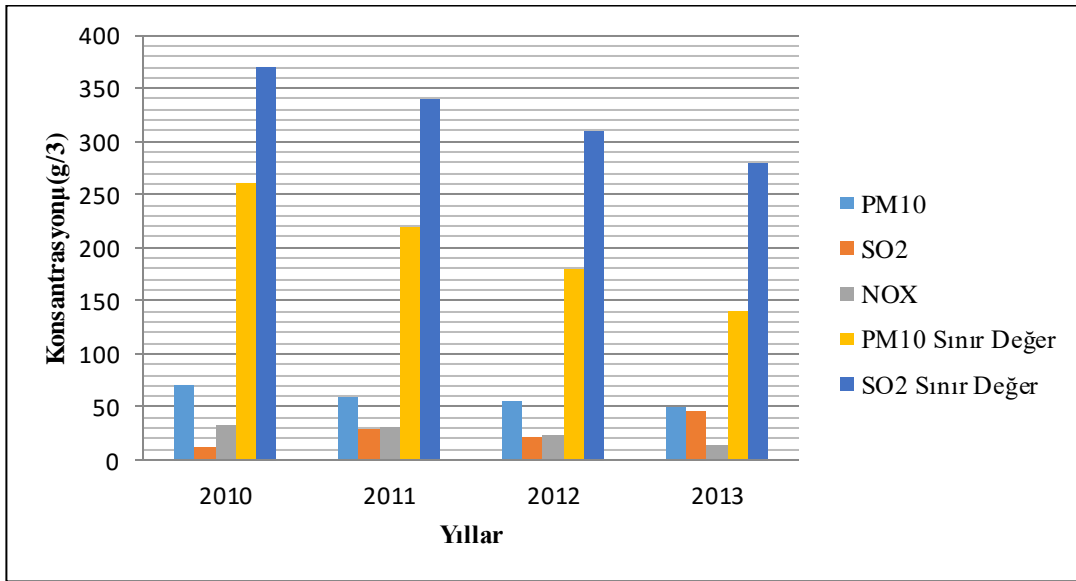
#### **4.1.4. Hava Kalitesi Açısından Kütahya'daki Mevcut Durum**

Kütahya merkez ilçesinde bir adet, Seyitömer ve Tunçbilek beldelerinde ikişer adet olmak üzere toplam beş adet hava kalitesi ölçüm istasyonu bulunmaktadır. İlde bulunan tüm istasyonlar Ekosis Çevre ve İş güvenliği Teknolojileri Elektronik San. Tic. Ltd. Şti. firması tarafından kurulmuştur. İlde bulunan istasyonlardan Kütahya merkez ilçesinde bulunan hava kirliliği ölçüm izleme istasyonu Çevre Bakanlığı'na ait olup dört adeti ise ilde bulunan termik santrallere aittir. Kütahya merkezde bulunan ve ulusal izleme ağına bağlı olan bu istasyonda  $\text{SO}_2$  ve  $\text{PM}_{10}$  parametrelerinin 24 saat düzenli ölçümleri yapılmaktadır. Kütahya merkez hava kalitesi ölçüm istasyonu ulusal izleme ağına bağlıdır. Kurulum yılından itibaren tüm ölçüm sonuçları Çevre Bakanlığı'na ait havaizleme.gov.tr adresinden alınıp, müdürlük tarafından aylık ortalama değerler şeklinde kaydedilmektedir. Şekil 3'de Kütahya merkez ilçesi hava kalitesi ölçüm istasyonu verilerinin sınır değerlerle karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir(KTHEP,2014,s.10). Tavşanlı ilçesine bağlı Tunçbilek beldesinde bulunan bu istasyonda  $\text{SO}_2$ ,  $\text{PM}_{10}$  ve  $\text{NO}_x$  parametrelerinin 24 saat düzenli ölçümleri yapılmaktadır. Şekil 4'de EÜAŞ Tunçbilek Termik Santrali (GLİ Tesisleri) hava kalitesi ölçüm istasyonu yıllara göre  $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{SO}_2$  ve  $\text{NO}_x$  değişimlerini vermiştir.





Şekil 4.3. Kütahya merkez ilçesi hava kalitesi ölçüm istasyonu verilerinin sınır değerlerle karşılaştırmalı olarak gösterimi (Kaynak: KTHEP,2014)



Şekil 4.4. EÜAŞ Tunçbilek Termik Santrali (GLİ Tesisleri) hava kalitesi ölçüm istasyonu yıllara göre  $PM_{10}$ ,  $SO_2$  ve  $NO_x$  değişimi (Kaynak: KTHEP,2014)

**Sanayi:** İde sanayi işletmeleri ve istihdam belli başlı sektörlerde yoğunlaşmıştır. İşletme sayısına göre maden, taş ocağı ve seramik sektörü ön plana çıkmaktadır. Bununla birlikte otomotiv sektörü de kentte gelişmeye başlamıştır. Kütahyada il merkezinde iki adet ve Gediz, Tavşanlı, Simav ilçelerinde de birer adet olmak üzere toplam beş adet sanayi bölgesi bulunmaktadır (KTHEP,2014,s.29).

**Evsel Isınma:** Kütahya ilinde konut ısıtılmasına yönelik olarak geçmiş yıllarda kömür ve 2004 yılından bu yana da kömür ile birlikte doğalgaz kullanılmaktadır (KTHEP,2014,s.31).

**Karayolu Ulaşımı:** Trafik sayımı ve yakıt türlerine göre araç sayıları hakkında detaylı veri bulunamadığı için her araç türü için ortalama hız ve günlük kat edilen mesafe değerleri varsayılarak emisyon hesaplamaları gerçekleştirilmiştir (KTHEP,2014,s.33).

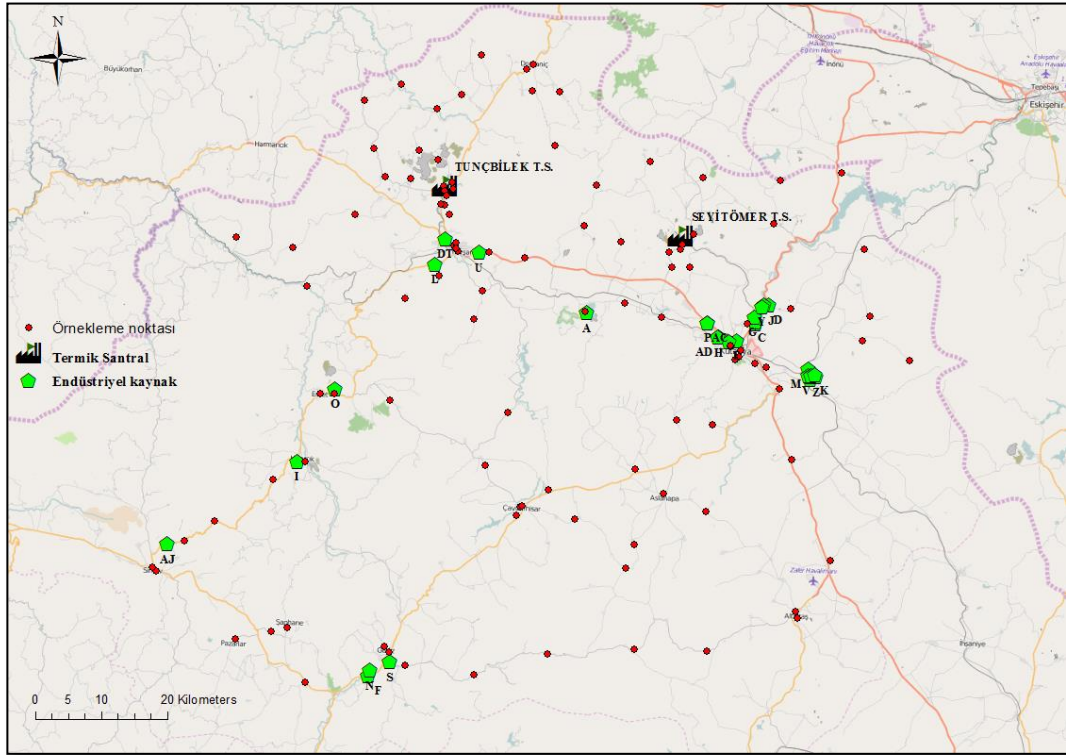
**Enerji Santralleri:** Kütahya ili ve çevresinde bulunan 3 adet kömürlü termik santrali bulunmaktadır. Kütahya il sınırları içinde bulunan Seyitömer ve Tunçbilek termik santralleri ile Bursa il sınırı içerisinde bulunan Orhaneli termik santralidir (KTHEP,2014,s.35).

Seyitömer Termik Santrali, her biri 150 MW kurulu gücünde toplam 4 ünite olarak inşaa edilmiş 600 MW'lık kurulu güce sahip ve ülkenin % 1,1'lik enerji ihtiyacını karşılayan bir tesistir. Kütahya'nın Tunçbilek ilçesi yakınında bulunan Tunçbilek Termik Santrali, 2 adet 150 MW'lık ve 1 adet 65 MW'lık toplam 3 üniteden (toplam 365 MW) oluşan bir tesistir. Orhaneli Termik Santrali ise Bursa il sınırları içinde bulunan ve çalışma alanının kuzeybatısında yer alan Orhaneli ilçesi yakınındadır. 1992 yılında faaliyete başlayan santral tek bir üniteye sahip olup toplamda 210 MW kurulu güce sahiptir (TKİK, 2014,s.23).

1954 yılında kurulmuş olan Tunçbilek Termik Santrali ova içerisinde yer almakta olup, bulunduğu yükselti de yaklaşık şehirle aynıdır. Kuruluş aşamasında yerlerinin yanlış seçilmiş olması, günümüzde giderek ova kenarından iç kesimlere doğru büyüyen ve yoğun nüfus barındıran kent merkeziyle iç içe kalmalarına neden olmuştur (Keser, 2002,s.75).

Çalışma alanı içerisinde yer alan tüm sanayi tesisleri Şekil 4.5’de gösterilmektedir. Kamu ve özel endüstriyel kuruluşlara ait bilgiler tez içerisinde yer alan Ek-1’ de verilmiştir.

Bölgede faaliyet gösteren 41 tesisten emisyon iznine tabi 31’ i üretim türü ve tesis kapasiteleri bölgede önemli emisyon kaynağı oldukları düşünülerek çalışmaya dahil edilmiştir. Bu tesislerin toplam 246 adet bacası bulunmaktadır. Sanayi tesislerinde yakıt olarak 4 farklı yakıt türü (fuel oil, linyit, petrokok ve doğal gaz) kullanıldığı belirlenmiştir. En yaygın kullanılan yakıt doğalgazdır. Bölgedeki 31 tesisden 21 tanesi yakıt olarak doğalgaz kullanmaktadır (Tuna ve ark, 2015,s924).



Şekil 4.5. Çalışma alanı içerisinde yer alan endüstriyel kuruluşlar

(Kaynak: TÜBİTAK-112Y305,2016)

Bölgede eş zamanlı gerçekleştirilen emisyon envanteri çalışmalarını sonucunda kirletici kaynak sektörlerinin toplam emisyonlara katkıları Şekil 4.6’da verilmiştir. Emisyon envanteri çalışmasında üç kirletici sektör (sanayi, evsel ısınma ve trafik) ile çalışılmış ve bu sektörlerden kaynaklanan 4 temel kirletici (SO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub>, NO<sub>x</sub> ve CO) için bir emisyon envanteri hazırlanmıştır. Çalışma sonuçlarına göre;

bölgedeki toplam emisyonlar sırasıyla SO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub>, NO<sub>x</sub> ve CO için 64.399 ton/yıl, 9.770 ton/yıl, 24.627 ton/yıl ve 29.198 ton/yıl olarak belirlenmiştir.

**Çizelge 4.1.** Termik santrallerden kaynaklanan emisyonlar (ton/yıl)  
(Kaynak: ÜBİTAK-112Y305, 2016)

Santraller	SO <sub>2</sub>	PM <sub>10</sub>	NO <sub>x</sub>	CO
Seyitömer Termik Santrali	43.543	1.593	15.194	1.063
Tunçbilek Termik Santrali	11.837	433	4.137	289
Orhaneli Termik Santrali	4.888	180	1.709	120
<b>TOPLAM</b>	60.268	2.205	21.040	1.472

## 4.2. Örneklem Programı

İnorganik bileşenlerin (NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> ve ozon) konsantrasyonları pasif örnekleme yöntemi ile kış ve yaz olmak üzere iki ayrı mevsimde ölçülmüştür. Kış mevsimi örnekleme tarihleri 20 Ocak-4 Şubat 2014 tarihleri arasında ve yaz mevsimi örnekleme tarihleri 2-16 Haziran 2014 tarihleri arasında iki haftalık periyotlarda gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.7'de örnekleme öncesinde, sırasında ve sonrasında yapılan çalışmaları gösteren bir akım şeması yer almaktadır.

### 4.2.1. Pasif örnekleme cihazları

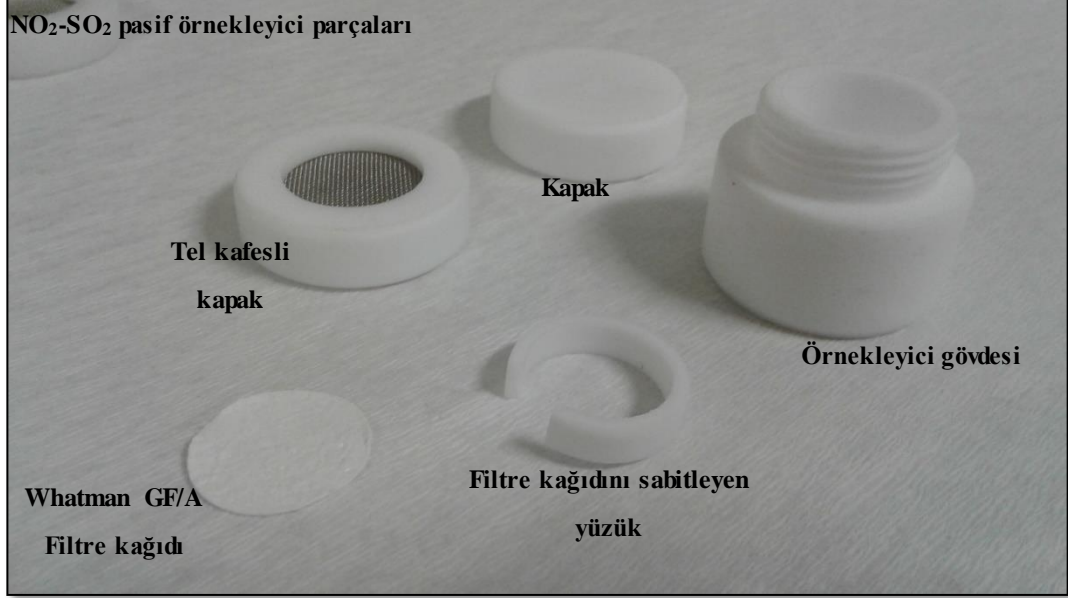
Pasif örnekleme çalışmalarında Anadolu Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü Hava Kalitesi Araştırma Ekibi tarafından geliştirilen pasif örnekleme cihazları kullanılmıştır. Aşağıda söz konusu örnekleme cihazları ile ilgili gerekli açıklamalar yer almaktadır.



Şekil 4.7. Çalışmanın akım şeması

#### 4.2.1.1. NO<sub>2</sub>-SO<sub>2</sub> pasif örnekleyicisi

Pasif örnekleyici 2 cm çap ve 2,5 cm yükseklik boyutlarına sahip olup, teflon malzemeden üretilmiştir. Şekil 4.8’ da, söz konusu pasif örnekleyicisi ve tüm parçaları yer almaktadır.



Şekil 4.8. NO<sub>2</sub>-SO<sub>2</sub> pasif örnekleyicisi

NO<sub>2</sub>-SO<sub>2</sub> pasif örnekleyicileri için tutma ortamının hazırlanması amacıyla, Whatman GF/A fiber glass filtre kağıtları, laboratuvar ortamında % 20 TEA (trietanolamin) sulu çözeltisi ile kaplanır. Kaplama çözeltisinin hazırlanması için, 5 mL TEA alınarak toplam hacmi ultra saf su (Milli-Q) ile 25 mL’ye tamamlanır. Örnekleyicilerin hazırlanması aşamasında kaplama sonrası filtre kağıtları, özel olarak dizayn edilmiş ve kızıl ötesi ışık yayma özelliğine sahip hızlı kurutma sisteminde kurutulduktan sonra pasif örnekleyicilerin tabanına yerleştirilir. 0,5 cm kalınlığındaki plastik yüzükler pasif örnekleyici tabanına yerleştirilerek filtre kağıtlarının örnekleyici tabanında sabit kalması sağlanır. Çizelge 4.2’ de NO<sub>2</sub>-SO<sub>2</sub> pasif örnekleyicisinin özellikleri gösterilmektedir.

**Çizelge 4.2.** *NO<sub>2</sub>-SO<sub>2</sub> pasif örnekleyicisinin özellikleri*

Parametreler		NO <sub>2</sub> -SO <sub>2</sub> pasif örnekleyiciler
Malzeme	Gövde	Teflon malzeme
	Bariyer	Teflon/paslanmaz çelik
Boyutları L(cm)×A (cm <sup>2</sup> )		2,5×3,14
Tutma ortamı		Fiber glass filtre kağıdı
Absorban madde		TEA çözeltisi
Analiz Metodu		İyon Kromatografi

108 noktada pasif örnekleme kampanyası 3 ekip halinde gerçekleştirilmiş ve her ekip sahada örnekleme çalışması esnasında 3'er adet kör (blank) örnekleyici kullanmıştır. Kör örnekleyiciler örnekleme periyodu boyunca taşınmış fakat örnekleme yerinde açılmamış ve arazide bırakılmamıştır.

Örnekleme çalışmasına başlamadan önce örnekleyiciler laboratuvarında hazırlanmış, örnekleme tarihine kadar 1 gün +4°C'lik buzdolabında muhafaza edilmiştir. Örnekleyicilerin hazırlanması aşamasında uygun çözelti ile kaplanmış filtre kağıdı örnekleyiciye yerleştirildikten sonra ağzı sıkıca kapatılmış ve örnekleme noktasına gidene kadar açılmamıştır. Her bir örnekleyici üzerine etiket yapıştırılıp, örnekleyici numarası yazılmıştır. Örneklemenin başlangıç ve bitiş tarihi, örnekleme noktasının özellikleri ve bölgede kaynak teşkil edebilecek faktörler saha çalışması esnasında kullanılan bilgi formuna not edilmiştir. Ek-2' de örnekleme esnasında kullanılan örnek bilgi formu verilmiştir.

Örnekleycilerin yağmur, rüzgar, güneş gibi meteorolojik koşullardan korunması için galvaniz saçdan yapılmış koruyucu ekipmanlar kullanılmıştır. Literatürdeki çalışmalara bakıldığında pasif örnekleme sonuçlarının doğrulunu etkileyen bir parametredir (Gair ve Penkett, 1995; Varsheney ve Slingh, 2003; Yu ve ark, 2008; Vardolukis ve ark, 2009,s.2509). Şekil 4.9'da örnekleyicilerin örnekleme esnasındaki konumları gösterilmektedir.



(a)



(b)





(c)

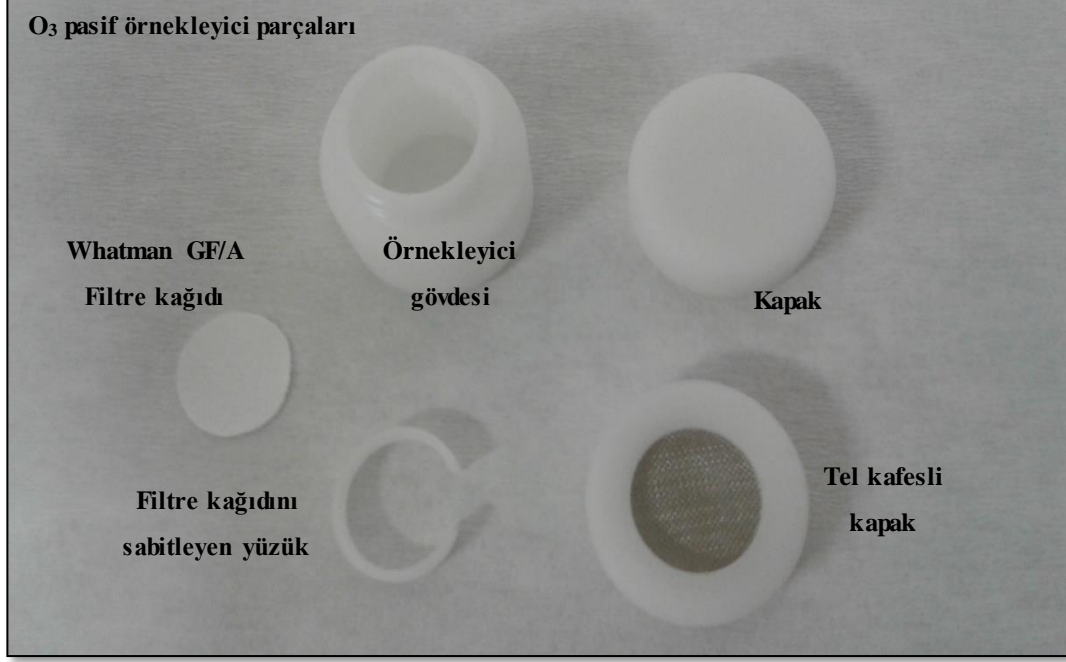


(d)

**Şekil 4.9.** (a) ve (b) Örnekleyicilerin örnekleme esnasında koruyucu ekipman içindeki konumu, (c) kentsel alan, (d) kırsal alan

#### 4.2.1.2. O<sub>3</sub> pasif örnekleyicisi

O<sub>3</sub> pasif örnekleyicisi 2 cm çap ve 2,5 cm yükseklik boyutlarına sahiptir ve delrin malzemedan üretilmiştir. Şekil 4.10'da çalışmada kullanılan ozon pasif örnekleyicisi ve ilgili kısımları yer almaktadır.



Şekil 4.10. O<sub>3</sub> pasif örnekleyici

Ozon örnekleyiciler için; tutma ortamı olarak Whatman GF/A fiber glass filtre kağıdı, laboratuvar ortamında ağırlıkça % 1 NaNO<sub>2</sub>, % 2 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, % 2 gliserol sulu çözeltisi ile kaplanmıştır. Söz konusu çözeltiyi hazırlamak için, 1 gr NaNO<sub>2</sub>, 2 gr Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> ve 1,6 mL gliserol ultra saf su (Milli-Q) kullanılarak 100 mL' ye tamamlanmaktadır. Çizelge 4.3'de ozon pasif örnekleyicisinin özellikleri yer almaktadır.

Çizelge 4.3. Ozon pasiförnekleyicisinin özellikleri

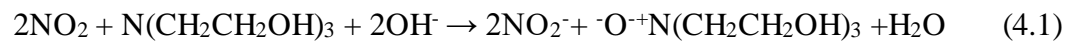
Parametreler		O <sub>3</sub> pasif örnekleyicisi
Malzeme	Gövde	Delrin malzeme
	Bariyer	Delrin/paslanmaz çelik
Boyutları L(cm)×A (cm <sup>2</sup> )		2,5×3,14
Tutma ortamı		Fiber glass filtre kağıdı
Absorban madde		%1 NaNO <sub>2</sub> , %2 Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> , %2 gliserol sulu çözeltisi
Analiz Metodu		İyon Kromatografi

### 4.3. Örneklerin Ekstraksiyon ve Analizi

2 haftalık örnekleme periyodu sonrasında, örnekleme noktalarından toplanan örnekleyiciler laboratuvara ağızları kapalı bir şekilde getirilerek ekstraksiyon işlemlerini takiben laboratuvar analizleri gerçekleştirilmiştir.

#### 4.3.1. NO<sub>2</sub>-SO<sub>2</sub> pasif örnekleri

NO<sub>2</sub>-SO<sub>2</sub> pasif örnekleyicilerinde, atmosferik NO<sub>2</sub>, tutma çözeltisi olan TEA ile 4.1 nolu reaksiyon uyarınca nitrit (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) iyonlarına dönüşmektedir. Trietanolamin N-oksit, reaksiyon sonucu oluşan diğer bir üründür (Moodley ve ark, 2011,s.2145).



$$D_T = D_{298} * (T)^{1,75} * (298,15)^{-1,75} \quad (4.2)$$

4.1 nolu reaksiyonda da görüldüğü üzere NO<sub>2</sub>'nin NO<sub>2</sub><sup>-</sup>'ye dönüşüm oranı 1/1 olduğundan, herhangi bir dönüşüm faktörü kullanılmaksızın 1.Fick yasası gereğince kullanılan 2.23' no'lu eşitlik yardımıyla atmosferik NO<sub>2</sub> konsantrasyonları hesaplanmıştır. Kullanılan eşitlikte yer alan difüzyon katsayısı, sıcaklıkla değişen bir parametre olduğundan, sıcaklığa bağlı değişimi 4.2 nolu eşitlik ile ifade edilmektedir. NO<sub>2</sub> için D<sub>298</sub> değeri 0,154 cm<sup>2</sup>/sn olarak alınmıştır (Özden, 2005,s.104).

NO<sub>2</sub>-SO<sub>2</sub> pasif örnekleyicilerinde, atmosferik SO<sub>2</sub>, tutma çözeltisi ile reaksiyona girerek sülfat SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> iyonlarına dönüşmektedir. SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> konsantrasyonundan SO<sub>2</sub> konsantrasyonuna geçmek için, bileşenlerin molekül ağırlıklarının oranı ile (64/96) çarpılmıştır. SO<sub>2</sub> için D<sub>298</sub> değeri 0,127 cm<sup>2</sup>/sn olarak alınmıştır (Özden, 2005,s.104).

NO<sub>2</sub>-SO<sub>2</sub> örnekleyicileri içerisinde bulunan filtre kağıtları iki haftalık örnekleme periyodu sonrasında 10 mL ultra saf su (Milli-Q) ve 0,02 mL %35 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ile 15 dakika ekstrakte edilmiştir.

#### 4.3.2. O<sub>3</sub> pasif örnekleri

O<sub>3</sub> pasif örnekleyicilerinde, kaplama çözeltisindeki NO<sub>2</sub><sup>-</sup> iyonları örnekleme süresi boyunca ozon tarafından oksitlenerek 4.3 nolu reaksiyon uyarınca nitrat (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) iyonlarına dönüşmektedir (Lozano ve ark, 2009,s.164).



NO<sub>3</sub><sup>-</sup> ve ozonun molekül ağırlıklarının farklı olmasından dolayı, belirlenen NO<sub>3</sub><sup>-</sup> konsantrasyonundan ozon konsantrasyonuna geçmek amacıyla, bileşenlerin molekül ağırlıklarının oranı ile (48/62) çarpılmıştır. Ozon için D<sub>298</sub> değeri ise 0,155 cm<sup>2</sup>/sn olarak alınmıştır(Özden, 2005,s.104).

Filtre kağıtlarında tutulan örnekler iki haftalık örnekleme periyodu sonrasında 10 mL ultra saf su (Milli-Q) ile 15 dakika süreyle ekstrakte edilmiştir.

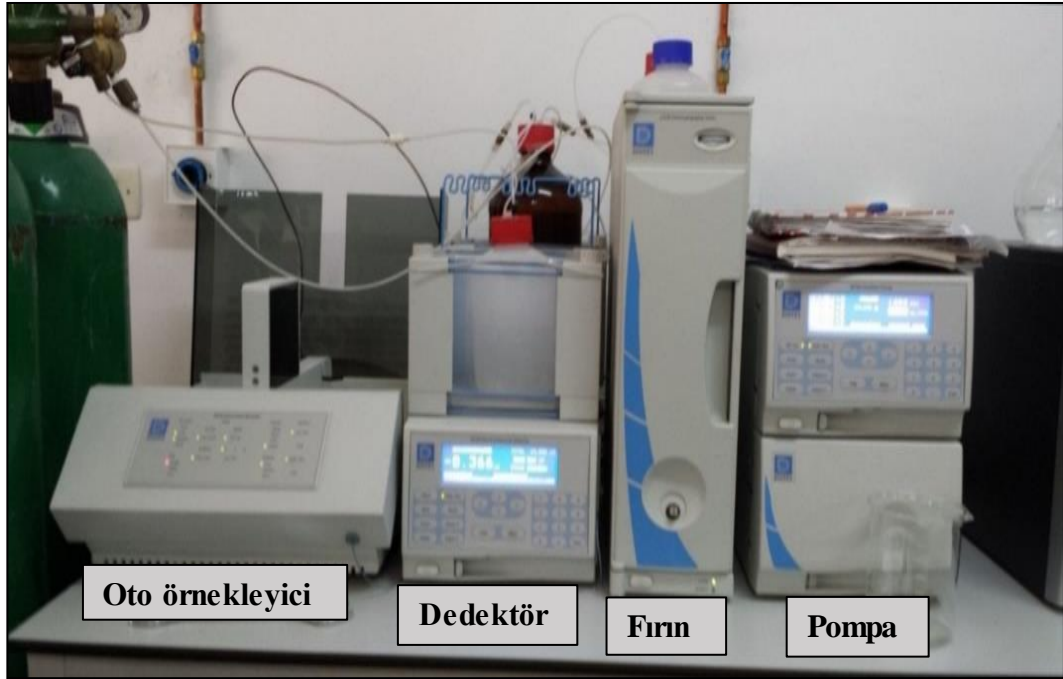
#### 4.3.3. Örneklerin analizi

Tüm örneklerin analizleri Dionex 2500 İyon Kromatografi cihazında gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kullanılan iyon kromatografi cihazı; GP 50 4'lü gradyent pompa, LC 25 kolon firmı ve ED 50 elektrokimyasal detektör olmak üzere üç ana parçadan oluşmaktadır. İyon kromatografi cihazının işletim parametreleri ise Çizelge 4.4'de belirtilmiştir.

Çizelge 4.4. İyon kromatografi cihazının işletim parametreleri

<b>Kolon</b>	AS-HC (250 × 4 mm)
<b>Ön kolon</b>	AS-HC (50 × 4 mm)
<b>Suppressor</b>	ULTRA II, 50 mA suppressor akımı
<b>Eluent</b>	10 mM Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>
<b>Akış hızı</b>	1,0 mL/dak.
<b>Fırın sıcaklığı</b>	30 °C

Şekil 4.11'de ise İyon Kromatografi cihazına ait örnek fotoğraf yer almaktadır.



Şekil 4.11. DIONEX 2500 iyon kromatografi

#### 4.4. Kalibrasyon Çözeltileri ve Kalibrasyon Yöntemi

O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub> ve SO<sub>2</sub> kalibrasyon eğrisi oluşturmak için NaNO<sub>2</sub>, NaNO<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> bileşiklerinden tartılarak 500 mL'lik balon jöjeye aktarılır. İçerisine NaOH eklenerek ultra saf su (Milli-Q) ile 500 mL'ye tamamlanır. Bu çözelti +4 °C' de 3 ay boyunca saklanabilir.

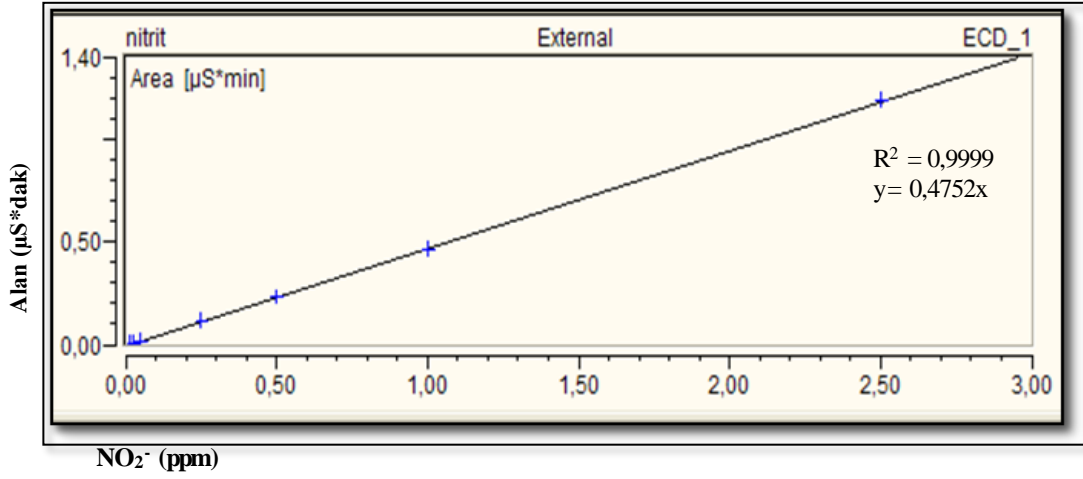
7 farklı konsantrasyonda kalibrasyon noktaları belirlenerek kalibrasyon çalışmasına başlanır. Kontrol çalışma çözeltisi kullanılarak 7 farklı konsantrasyonda standart kalibrasyon çözeltileri hazırlanır. Kalibrasyon çözeltilerine ait konsantrasyonlar Çizelge 4.5'de verilmektedir.

Çizelge 4.5. Kalibrasyon eğrilerine ait konsantrasyon değerleri

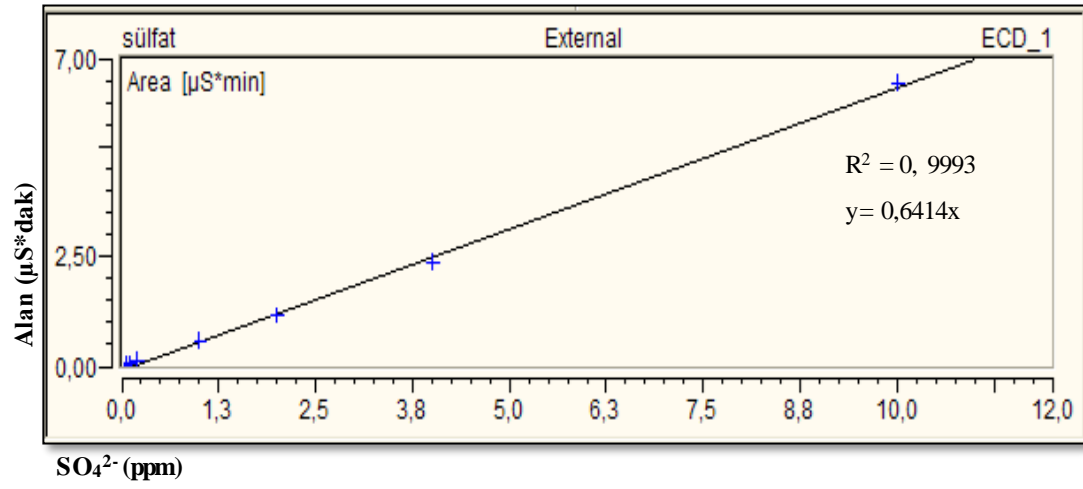
Kalibrasyon çözeltisi no	Nitrit (mg/L)	Nitrat (mg/L)	Sülfat (mg/L)
1	2,5	5	10
2	1	2	4,00
3	0,5	1	2
4	0,25	0,5	1
5	0,05	0,1	0,2
6	0,025	0,05	0,1
7	0,0125	0,025	0,05

Şekil 4.12'de yer alan ve farklı konsantrasyonlarda (a) NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, (b) SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> ve (c) NO<sub>3</sub><sup>-</sup> içeren standart çözeltiler ile hazırlanan kalibrasyon eğrileri kullanılarak, örneklere ait iyon konsantrasyonları belirlenmiştir.

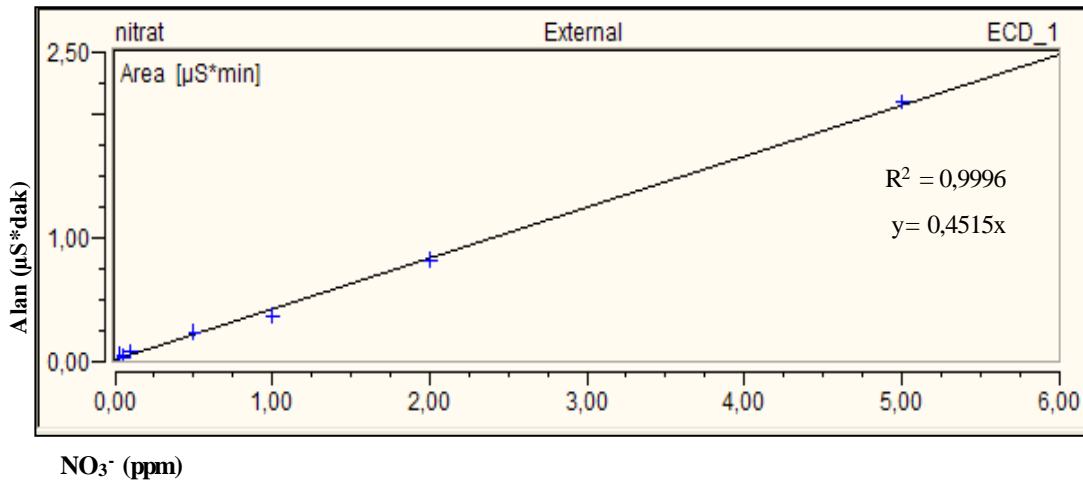




(a)



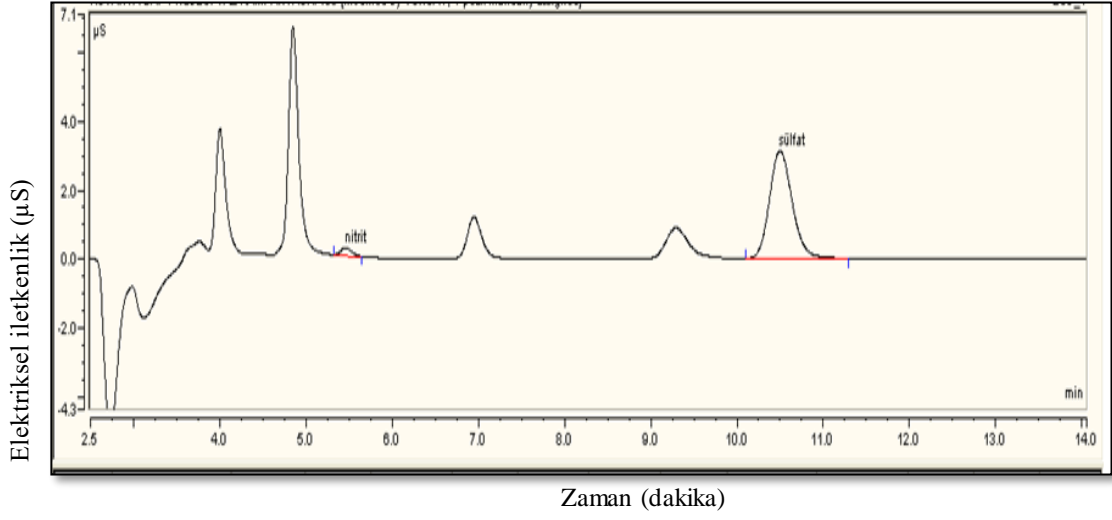
(b)



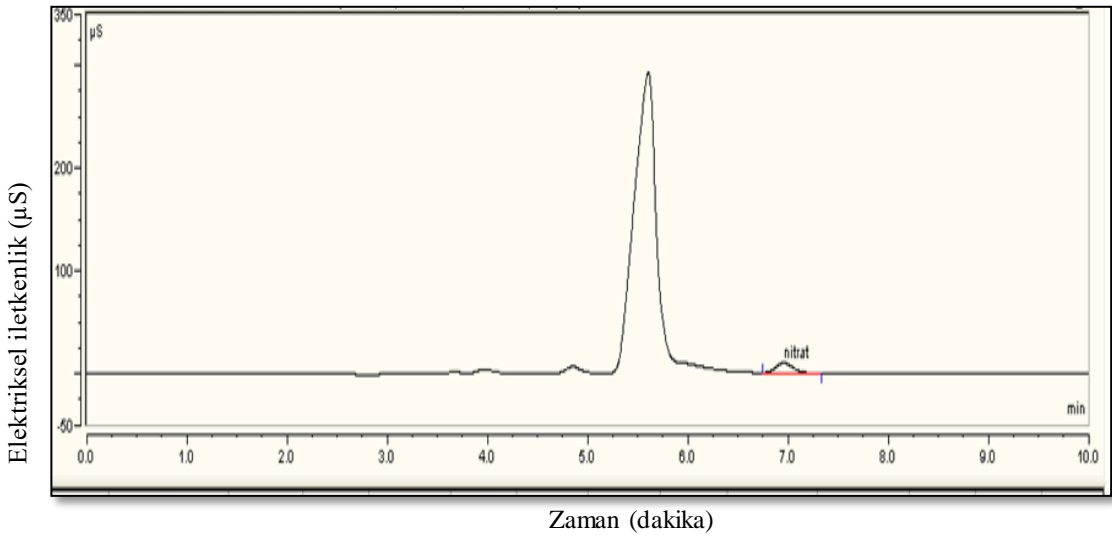
(c)

Şekil 4.12. (a) NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, (b) SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> ve (c) NO<sub>3</sub><sup>-</sup> kalibrasyon eğrileri

İyon kromatografi cihazında gerçekleştirilen  $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_2$  ve  $\text{O}_3$  pasif örneklerin analizi sırasında elde edilen örnek kromatogram Şekil 4.13'de gösterilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 4.13. (a)  $\text{NO}_2$  ve  $\text{SO}_2$  (b) Ozon bileşenleri için örnek kromatogram



## 4.5. Atmosferik Konsantrasyonlarının Hesaplanması

### NO<sub>2</sub>-SO<sub>2</sub> ve ozon konsantrasyonlarının hesaplanması:

Bileşenlerin atmosferik konsantrasyonlarının hesaplanmasında 1. Fick yasası gereğince uygulanan 2.23'deki eşitlik kullanılmıştır. Analiz sonrası cihazdan alınan NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> ve NO<sub>3</sub><sup>-</sup> konsantrasyonları (mg/L), ekstraksiyon hacimleri (mL) ile çarpılarak örnekleme süresi boyunca tutulan iyon miktarları (µg) belirlenmiştir. Daha sonra da, söz konusu iyon miktarları kullanılarak atmosferdeki gaz konsantrasyonlarına geçilmiştir.

## 4.6. Kalite Kontrol Çalışmaları

### 4.6.1. Kalite kontrol kartlarının oluşturulması

Deney laboratuvarlarında kalite kontrol kartları yaygın olarak kullanılmaktadır. Kontrol kartı, kontrol değerlerinin zaman ya da örnek numarasına karşı çizildiği bir veri sunum şeklidir. Kontrol kartlarında merkez çizgisi, üst ve alt uyarı limitleri, üst ve alt faaliyet limitleri bulunur. Kontrol kartlarının kullanılmasının amacı, problemlerin anında görülmesi ve ölçüm kalitesini belirleyen göstergelerin hesaplanmasında yardımcı olmasıdır (UNIDO, 2009,s.16).

Bu çalışma kapsamında kalite kontrol kartlarından X-kart uygulanmıştır. Ortalamayı kontrol etmek için, aynı kontrol numunesinin tekrarlı analizi ve sonuçlarının ya da sonuçlarının ortalamasının zamana karşı çizilmesiyle oluşmaktadır. Deney veri setinin belli standartlarda yapıldığı ve standartlar içerisinde yer alan tekrarların normal dağılıma uyduğu varsayılarak yaptığımız deneylerin normal dağılımın içerisine nasıl girdiğinin bir ölçüsüdür.

Kontrol kartları içerisinde standart sapma değerleri kullanılır. Merkez çizgisi (MÇ) için işaretlenen kontrol değişkeninin seviyesine ilişkin en iyi tahmini değer olarak ifade edilir, bu çalışmada kontrol çizgisi olarak ortalama değer kullanılmıştır. Merkez çizgisinin  $\pm 2$  standart sapması (% 95'lik güven aralığı) uyarı limiti (UL), merkez çizgisinin  $\pm 3$  standart sapması (%99,7'lik güven aralığı) ise faaliyet limiti (FL) olarak ifade edilir. Uyarı limitini 2 kez ardı ardına aşılması durumunda düzenleyici önleyici faaliyet alınması gerekmektedir. Faaliyet limitini

1 kez aşmak düzenleyici önleyici faaliyetin alınması için yeterlidir(ILAC-G8, 1996,s.8).

Bu çalışma kapsamında, yapılan analizlerin doğruluğunu test etmek amacıyla, analizler esnasında belli periyotlarda kalibrasyon konsantrasyon aralığında ara standart çözeltilerinin analizleri gerçekleştirilmiştir. Kalibrasyon aralığı içerisinde yer alan yüksek ve düşük konsantrasyonlarda 2 standart çözelti hazırlanarak X-kart uygulaması yapılmıştır. Çizelge 4.6’da, hazırlanan ara standart çözeltilerin konsantrasyon değerleri yer almaktadır.

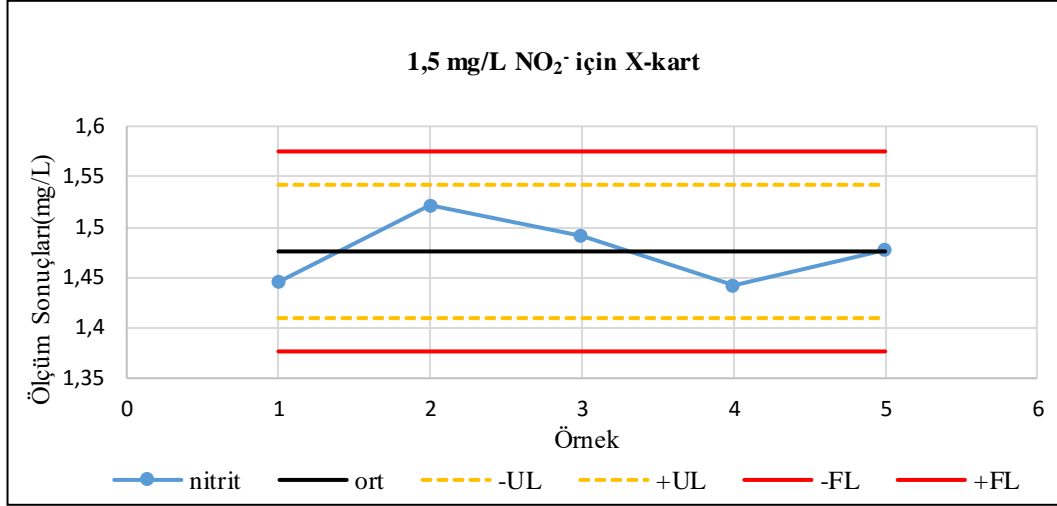
**Çizelge 4.6.** X-kart için hazırlanan ara standart çözeltilerin konsantrasyonları

Kalibrasyon çözeltisi no	Nitrit (mg/L)	Nitrat (mg/L)	Sülfat (mg/L)
1	2,5	5	10
Ara standart 1	<b>1,5</b>	<b>3</b>	<b>6</b>
2	1	2	4,00
3	0,5	1	2
4	0,25	0,5	1
Ara standart 2	<b>0,1</b>	<b>0,2</b>	<b>0,4</b>
5	0,05	0,1	0,2
6	0,025	0,05	0,1
7	0,0125	0,025	0,05

#### 4.6.1.1. Nitrit için X-kart oluşturma

##### **1,5 mg/L NO<sub>2</sub><sup>-</sup> standardı:**

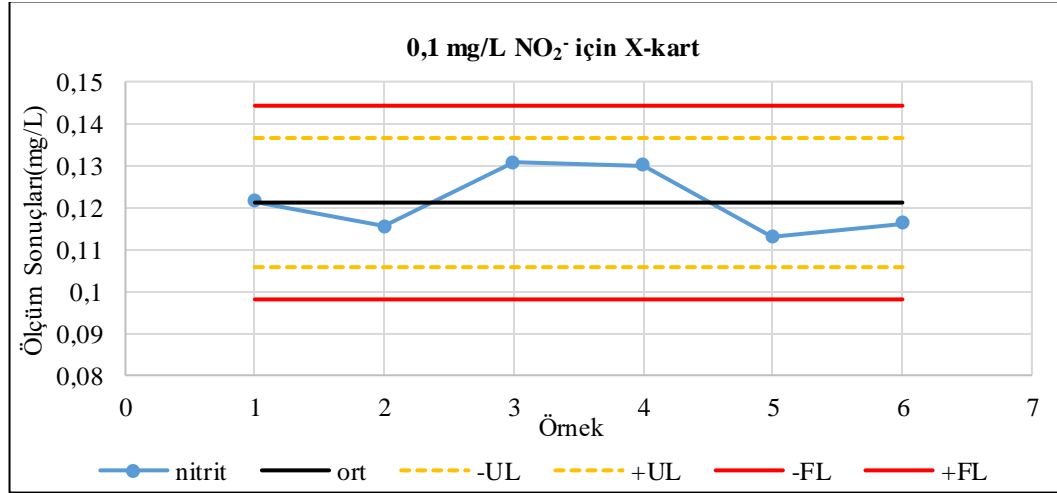
1,5 mg/L olan standart çözeltinin 5 tekrarlı analizi sonucunda elde edilen değerlerin standart sapması 0,0331 olarak hesaplanmıştır. Şekil 4.14’ de NO<sub>2</sub><sup>-</sup> için oluşturulan X-kart gösterilmiştir.



*Şekil 4.14. 1,5 mg/L NO<sub>2</sub><sup>-</sup> için hazırlanan X-kart*

**0,1 mg/L NO<sub>2</sub><sup>-</sup> standardı:**

0,1 mg/L olan standart çözeltinin 6 tekrarlı analizi sonucunda elde edilen değerlerin standart sapması 0,0077 olarak hesaplanmıştır. Şekil 4.15’de, NO<sub>2</sub><sup>-</sup> için oluşturulan X-kart gösterilmiştir.

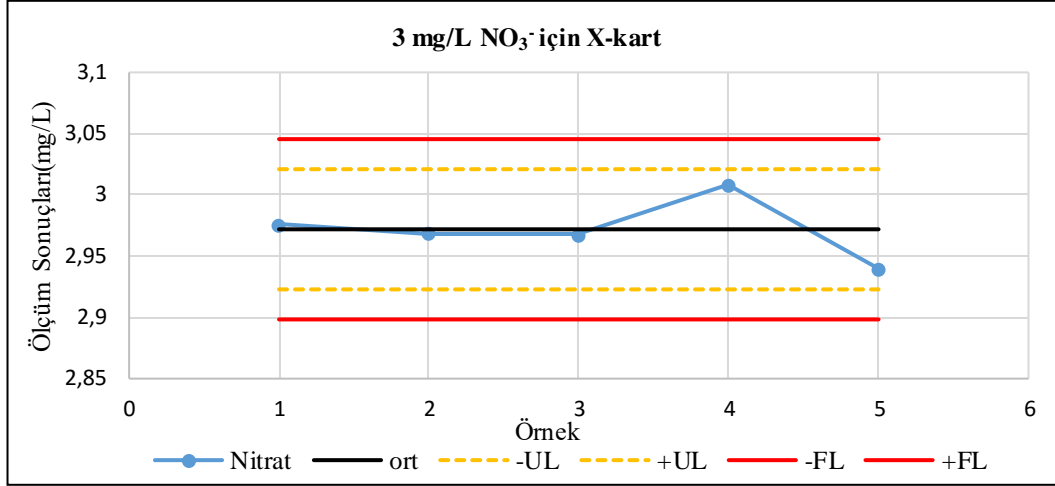


*Şekil 4.15. 0,1 mg/L NO<sub>2</sub><sup>-</sup> için hazırlanan X-kart*

**4.6.1.2. Nitrat için X-kart oluşturma**

**3 mg/L NO<sub>3</sub><sup>-</sup> standardı:**

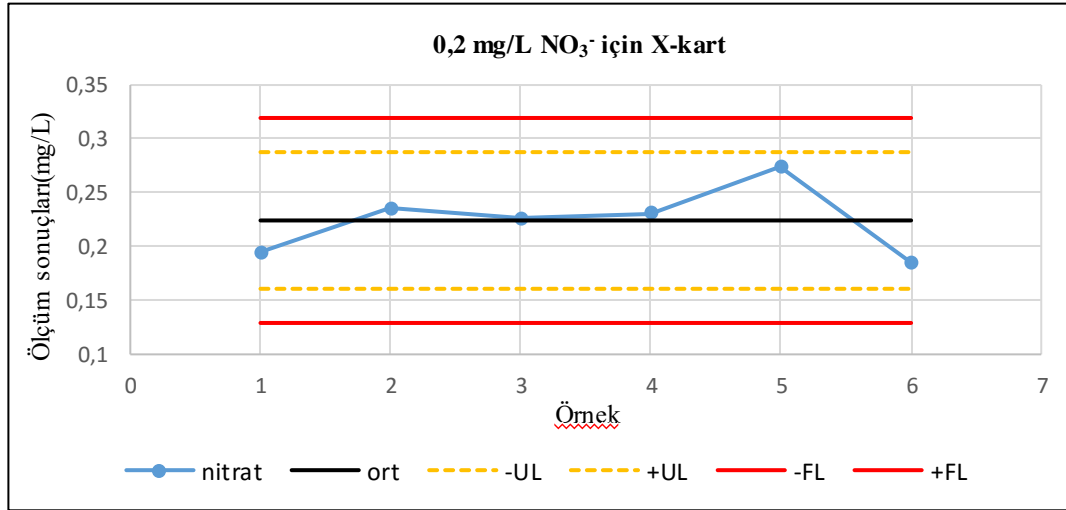
Konsantrasyonu 3 mg/L olan standart çözeltinin 5 tekrarlı analizi sonucunda elde edilen değerlerin standart sapması 0,0245 olarak hesaplanmıştır. Şekil 4.16’da, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> için uygulan X-kart gösterilmiştir.



Şekil 4.16. 3 mg/L NO<sub>3</sub><sup>-</sup> için hazırlanan X-kart

**0,2 mg/L NO<sub>3</sub><sup>-</sup> standardı:**

Konsantrasyonu 0,2 mg/L olan çözeltinin 6 tekrarlı analizi sonucunda elde edilen değerlerin standart sapması 0,0317 olarak hesaplanmıştır. Şekil 4.17’de, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> için uygulan X-kart gösterilmiştir.

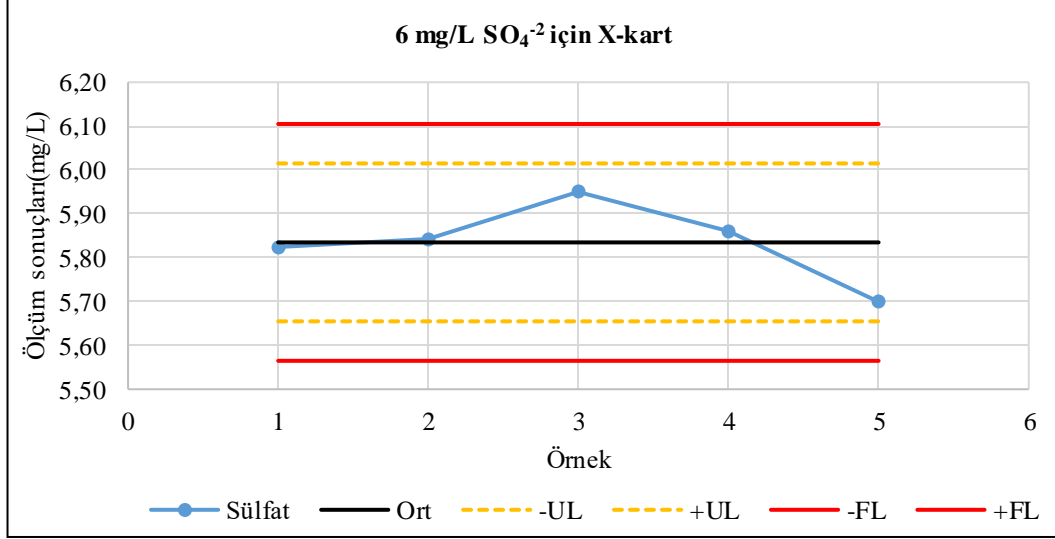


Şekil 4.17. 0,2 mg/L NO<sub>3</sub><sup>-</sup> için hazırlanan X-kart

#### 4.6.1.3. Sülfat için X-kart oluşturma

##### **6 mg/L SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> standardı:**

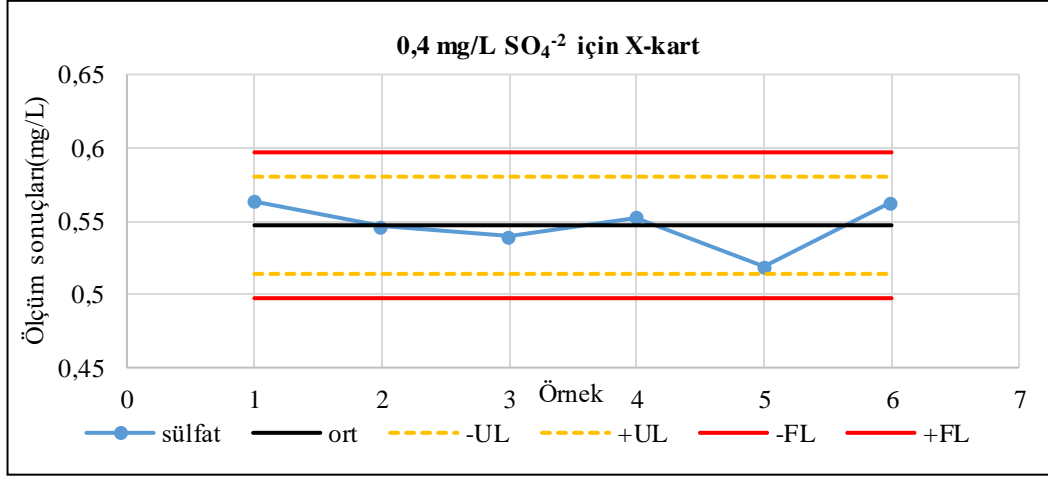
6 mg/L' lik standart çözeltinin 5 tekrarlı analizi sonucunda elde edilen değerlerin standart sapması 0,09 olarak hesaplanmıştır. Şekil 4.18'de, SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> için uygulanan X-kart gösterilmiştir.



Şekil 4.18. 6 mg/L SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> için hazırlanan X-kart

##### **0,4 mg/L SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> standardı:**

0,4 mg/L' lik standart çözeltinin 6 tekrarlı analizi sonucunda elde edilen değerlerin standart sapması 0,0166 olarak hesaplanmıştır. Şekil 4.19'da SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> için oluşturulan X-kart gösterilmiştir.



**Şekil 4.19.** 0,4 mg/L SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> için hazırlanan X-kart

Yapılan X-kart uygulaması sonucunda, uyarı limit değeri ve faaliyet limit değerini aşan bir durum gözlenmemiştir. Fakat düşük konsantrasyonlu çözeltilerin tekrarlı analizinde sonuçların uyarı limit değerine yakın olduğu gözlenmiştir. Bu durumsa cihazın düşük konsantrasyonlarda hassasiyetini az da olsa kaybettiğini göstermektedir. Fakat bu hassasiyet %95' lik güven aralığını aşmadığı için göz ardı edilebilir. Kalibrasyon çalışmalarının tekrarlanması düşük konsantrasyon değerlerini görmek ve yeni kalibrasyon noktalarını oluşturmak açısından önemlidir(ILAC-G8, 1996,s.7).

#### **4.6.2. Cihaza ait metot dedeksiyon limiti**

Cihaza ait metot dedeksiyon limitini (MDL) belirlemek üzere, her bir bileşen için kalibrasyon aralığındaki en düşük ikinci konsantrasyona sahip standardın 10 tekrarlı analizi sonucu elde edilen değerlerin standart sapmasının üç katı alınmıştır. Nitrit, nitrat ve sülfatın sırasıyla LOD değerleri 0,025, 0,020 ve 0,027 mg/L'dir. Tayin sınır değeri (LOQ) ise tekrarlı analizlere ait standart sapmanın on katı alınarak belirlenmiştir. Nitrit, nitrat ve sülfat için elde edilen değerler sırasıyla 0,079, 0,067 ve 0,090 mg/L'dir.

### 4.6.3. Tekrarlanabilirlik

Tekrarlanabilirlik, derişimi bilinen ara standart çözeltilerinin tekrarlı analiz sonuçları arasındaki sapmanın, dolayısıyla örnekleyici sonuçlarının birbiri ile olan tutarlılığın bir göstergesidir. Pasif örnekleyicilere ait tekrarlanabilirlik değeri 4.3 nolu eşitlik ile verilen varyans katsayısı (CV, %) şeklinde hesaplanmıştır (Özden, 2013,s.98).

$$CV = \frac{s}{x_{ort}} \times 100 \quad (4.3)$$

Eşitlikte; s, aynı konsantrasyona sahip çözeltilerin tekrarlı analiz sonuçlarının standart sapmasıdır ve 4.4 nolu eşitlikle belirtilen varyans değerinin karekökü ( $\sqrt{v}$ ) olarak ifade edilmektedir (Özden, 2013,s.98).

$$V = \frac{\sum(x - x_{ort})^2}{n - 1} \quad (4.4)$$

Eşitlikte; n, tekrarlanan analiz sayısı,  $x_{ort}$ , her bir analize ait konsantrasyon sonuçlarının aritmetik ortalamasıdır ve 4.5 nolu eşitlik ile bulunmaktadır (Özden, 2013).

$$x_{ort} = \frac{\sum x_{ort}}{n}$$

Analizler esnasında ölçüm sonuçlarının tutarlılığı görmek için, konsantrasyon değeri bilinen ara standart çözeltilerin analizi yapılmış ve analizler esnasında tekrarlanabilirlik değerleri belirlenmiştir. Ara standart çözeltilerine ait ortalama, s.sapma ve tekrarlanabilirlik (CV,%) değerleri Çizelge 4.7' de verilmiştir. Tekrarlanabilirlik değerlerinin CV,%) kabul edilebilir değer olan %15'in altında olduğu görülmüştür(Özden, 2013,s.98). Fakat düşük konsantrasyonlarda %15'e yakın değerler görülmektedir, aynı durum çalışma için oluşturulan x-kart uygulamasında da görülmüştür. Düşük konsantrasyonlarda hassasiyetin azaldığı, kalibrasyon çalışmasının 7 farklı konsantrasyon yerine 5 farklı konsantrasyon değerinde düşük konsantrasyonları yukarı çekerek uygulanması yoluyla düşük konsantrasyonlarda daha iyi sonuç vereceği düşünülmektedir.

**Çizelge 4.7.** Tekrarlı analizlerin ortalama, s.sapma ve tekrarlanabilirlik (CV,%) değerleri

Numune Adı	Nitrit (mg/L)	Nitrat (mg/L)	Sülfat (mg/L)
<b>Ara standart (n=5)</b>	<b>1,5</b>	<b>3</b>	<b>6</b>
<b>Ortalama</b>	1,48	2,97	5,83
<b>S.Sapma</b>	0,03	0,02	0,09
<b>CV, %</b>	2,24	0,83	1,54
<b>Ara standart (n=6)</b>	<b>0,1</b>	<b>0,2</b>	<b>0,4</b>
<b>Ortalama</b>	0,12	0,22	0,55
<b>S.Sapma</b>	0,01	0,03	0,02
<b>CV, %</b>	6,35	14,14	3,03

#### 4.6.4. Kör örnek değerleri

Pasif örnekleycilerin taşınması ve örneklerin hazırlanması esnasında oluşabilecek kontaminasyon etkisini ortadan kaldırmak amacıyla, örnekleme esnasında örnekleyciler ağız açılmadan, örnekleme süresi boyunca yaklaşık 2-3 gün sahada bu örnekler taşınmıştır ve bu şekilde kör örnekleyciler elde edilmiştir. Bu çalışma kapsamında 3 ekip halinde pasif örnekleme kampanyası gerçekleştirilmiştir ve her bir ekibe 3'er kör örnekleyci verilmiştir. Çizelge 4.8' de kör örneklere ait konsantrasyon değerleri verilmektedir.

**Çizelge 4.8.** Kör örneklere ait (n=9) ortalama miktar ( $\mu\text{g}$ ) ve standart sapma değerleri

	Kış			Yaz		
	NO <sub>3</sub>	NO <sub>2</sub>	SO <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>	NO <sub>2</sub>	SO <sub>4</sub>
<b>Ortalama</b>	0,68	0,10	4,17	1,43	0,0128	1,37
<b>Standart sapma</b>	0,22	0,03	1,03	0,31	0,00084	0,59

Kör örnekleycilerin analizi sonrası elde edilen derişim değerleri düşük çıktığı için kör değerleri ihmal edilerek konsantrasyon değerleri hesaplanmıştır.



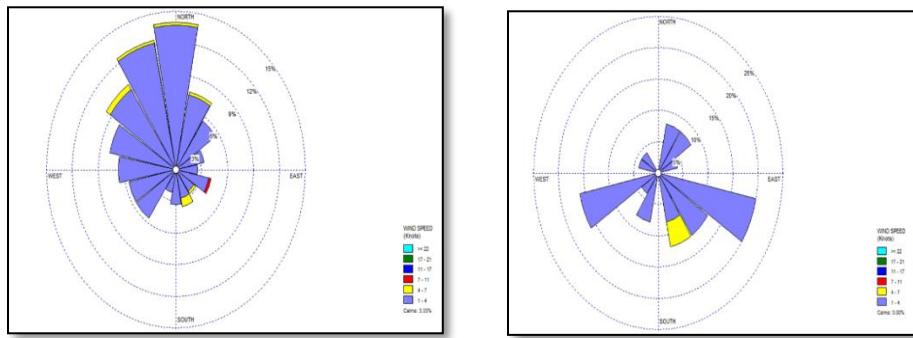
#### 4.7. Meteorolojik Veriler

Örnekleme süresince meteorolojik veriler Kütahya Devlet Meteoroloji İşletmeleri Kurumundan temin edilmiştir. Kış ve yaz örnekleme dönemine ait güneşlenme radyasyonu ( $W/m^2$ ), sıcaklık ( $^{\circ}C$ ), nem (%), toplam yağış (mm), rüzgar hızı (m/s) ve karışma yüksekliği (m) Çizelge 4.9’da verilmiştir.

Çizelge 4.9. Meteorolojik veriler

Parametreler	Kış	Yaz
Güneşlenme Radyasyonu ( $W/m^2$ )	6326,91	16916,67
Sıcaklık ( $^{\circ}C$ )	4,48	17,40
Nem (%)	72,40	69,65
Toplam Yağış (mm)	1,78	4,05
Rüzgar Hızı (m/s)	1,60	1,71
Karışma Yüksekliği (m)	586,5	1510

Bu çalışma kapsamında kış mevsimi örneklemleri 20 Ocak-4 Şubat 2014 tarihleri arasında ve yaz mevsimi örneklemleri 2-16 Haziran 2014 tarihleri arasında iki haftalık periyotlarda gerçekleştirilmiştir. Bu tarihlerdeki rüzgar verileri kullanılarak rüzgar gülleri oluşturulmuştur. Kışın hakim rüzgar yönü kuzey, kuzey-batı, yazın ise güney, güney-doğu olarak belirlenmiştir. Şekil 4.20’de kış ve yaz dönemine ait rüzgar gülleri verilmiştir.



(a)

(b)

Şekil 4.20. (a) Kış mevsimi ve (b) Yaz mevsimine ait rüzgar gülleri

## 5. BULGULAR

Çalışmanın bu kısmında NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> ve O<sub>3</sub> bileşenlerinin pasif örnekleme yöntemiyle elde edilen atmosferik konsantrasyonları belirlenmiş ve kirletici kaynaklarıyla olan ilişkisi detaylı olarak alt başlıklar altında incelenmiştir.

### 5.1. NO<sub>2</sub> Pasif Örnekleme Sonuçları

Bu çalışma kapsamında 20 Ocak- 4 Şubat 2014 tarihinde 108 noktada 15 günlük periyotta kış dönemi NO<sub>2</sub> pasif örnekleme kampanyası gerçekleştirilmiştir. Kış dönemi ölçüm periyodunda elde edilen NO<sub>2</sub> konsantrasyonları 1,77- 56,85 µg/m<sup>3</sup> arasında değişmektedir. Tüm örnekleme noktalarında elde edilen sonuçların ortalaması 12,36±11,4 µg/m<sup>3</sup> olarak tespit edilmiştir.

NO<sub>2</sub>, başlıca trafik kaynaklı bir kirletici bileşen olduğundan dolayı, trafiğin yoğun olduğu şehir merkezinde en yüksek NO<sub>2</sub> konsantrasyonları ölçülürken, şehir merkezinden uzaklaştıkça konsantrasyon seviyeleri gittikçe düşmektedir. NO<sub>2</sub>'nin dağılımı, UOB'ler ile büyük oranda benzerlik göstermektedir. Bu kirleticilerin yüksek seviyelerinin görüldüğü yerler Tunçbilek Termik Santrali, Kütahya il merkezi ve örneklerin şehir içlerinden alındığı ilçe merkezleridir. Tüm bu yerlerde kömür kullanımını ve araç trafiği ana kaynaklar olarak dikkat çekmektedir. Özellikle şehir merkezinde okullardan alınan örneklerde yüksek NO<sub>2</sub> derişimi göze çarpmaktadır .En düşük seviyeler ise Gediz-Aslanpala kırsalında ölçülmüştür.

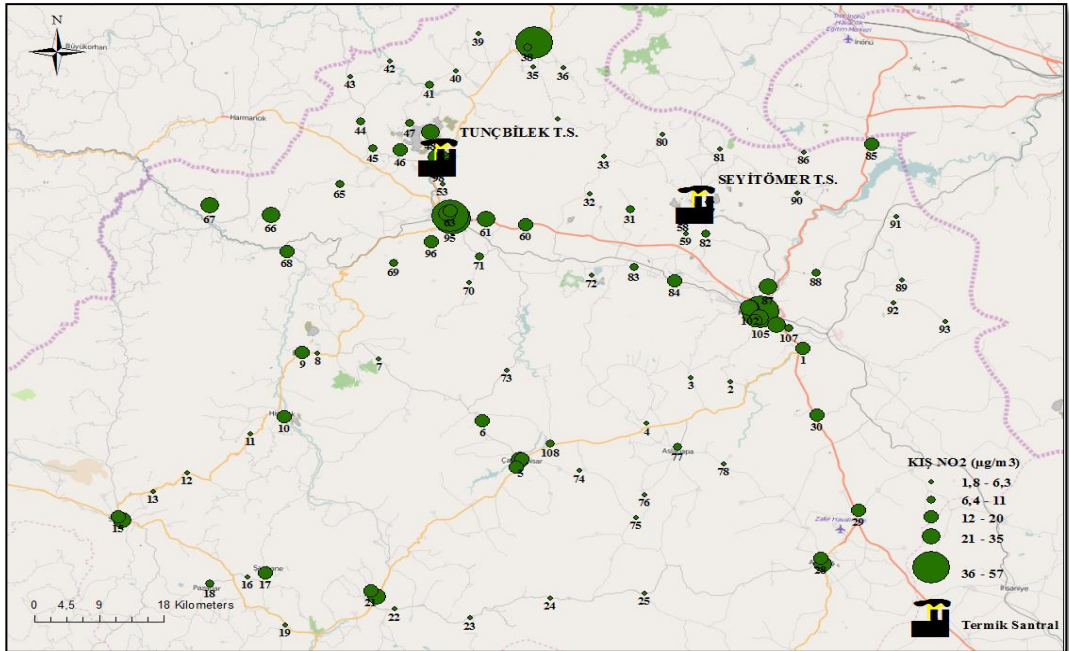
Seyitömer Termik Santralinin civarında NO<sub>2</sub> seviyelerinin belirgin şekilde yüksek olmamasıdır. Bu durum, Tunçbilek Termik Santrali ile karşılaştırıldığında bu santralin yakın çevresinde yüksek nüfuslu yerleşim ve yoğun araç trafiği bulunmamasına bağlanabilir. Tunçbilek Termik Santralinin hem daha yüksek nüfuslu yerleşimlerine (Tunçbilek ve Tavşanlı) yakın olması hem de Kütahya'yı diğer illere bağlayan ana yollara yakın olması nedeniyle Tunçbilek Termik Santrali civarında daha yüksek NO<sub>2</sub> seviyeleri gözlenmiştir(KTHEP, 2014,s.25).

Modelleme çalışmasında Kütahya merkezde kurulan izleme istasyonu tek bir nokta düşünülerek yıllık ortalama veriler ışığında kentsel bölgede kirletici kaynakların katkı yüzdesi hesaplanmıştır ve model sonuçları doğrultusunda şehir içi trafiğin (% 9,8) ve şehirlerarası trafiğin (% 38,7) katkısı bulunmuştur. NO<sub>2</sub> kirliliğine en büyük katkının trafik olduğu sonuçlar doğrultusunda gözlenmiştir.

Kırsal bölgede Göbel'de kurulan izleme istasyonundaki modelleme sonuçlarına göre şehir içi trafiğin katkısı (% 0,3) iken devlet yollarının yaptığı katkı (% 41,6) olarak hesaplanmıştır(TÜBİTAK 112Y305, 2016,s.311). Kırsal bölgede karayollarının NO<sub>2</sub> kirliliğine olan katkısı dikkati çekmektedir.

Şekil 5.1'de kış mevsimi NO<sub>2</sub> seviyelerinin dağılım haritası oluşturulmuştur. Kent merkezinde kömürden doğal gaz geçişin yaygın olmasına rağmen kömür kullanım seviyesi ihmal edilebilir seviye olmadığı, modelleme çalışmasında açıkça görülmektedir. Kent merkezinde kirliliğe katkı yüzdesinin 1.sırada trafik olmasıyla birlikte 2.sırada en yüksek katkıyı kent merkezinde evsel ısınma (%28,3) olduğu görülmektedir. Göbel istasyonundaki modelleme sonuçlarına bakıldığında %23,6'lık katkıyı ilçelerdeki evsel ısınmadan kaynaklandığı gözlenmiştir (TÜBİTAK-112Y305, 2016,s.311).

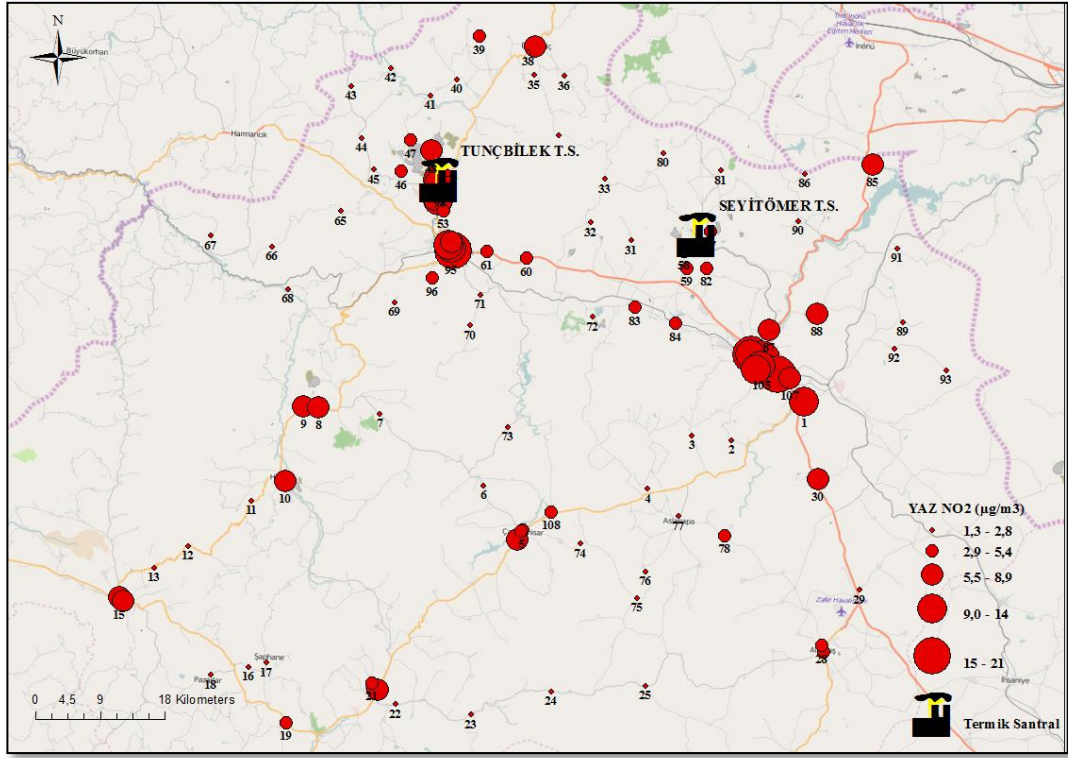
NO<sub>2</sub> seviyesinin yüksek gözlemlendiği bir diğer bölge ise şehir merkezinde bulunan sanayi bölgesi ve termik santraller civarındadır. Benzer şekilde modelleme çalışmaları kent merkezinde 3.sırada en yüksek katkıyı termik santraller (%13,6) ve sanayi tesislerinin (%8,1) yaptığını göstermektedir. Göbel'de ise termik santrallerin katkısı % 23,0'dür (TÜBİTAK-112Y305, 2016,s.312).



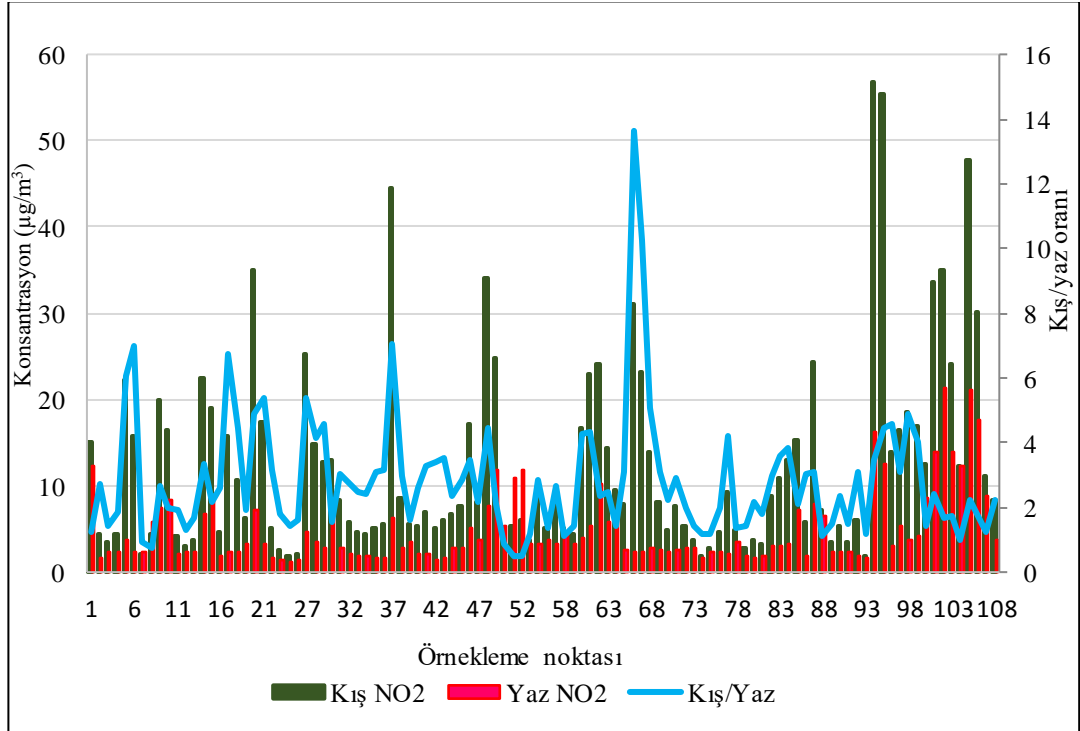
Şekil 5.1. Kış mevsimi NO<sub>2</sub> için elde edilen kirlenici seviyesi dağılım haritası

Yaz mevsiminde ölçülen NO<sub>2</sub> konsantrasyonları 1,26- 21,36 µg/m<sup>3</sup> arasında değişmektedir. Tüm örnekleme noktalarında elde edilen sonuçların ortalaması ise 4,84±4,2 µg/m<sup>3</sup> olarak tespit edilmiştir. Şekil 5.2'de elde edilen yaz mevsimi NO<sub>2</sub> seviyelerinin dağılım haritası oluşturulmuştur. Yaz mevsiminde kış mevsimine kıyasla şehrin boşalmasıyla birlikte trafik yoğunluğunun azalması ve atmosferde gerçekleşen fotokimyasal reaksiyonlara bağlı olarak NO<sub>2</sub> seviyelerinde düşüş yaşandığı gözlenmektedir. Kış mevsiminde örnekleme dönemindeki karışma yüksekliğinin (586,5 m) ve yaz mevsimindeki örnekleme döneminden (1510 m) düşük olması, kirleticilerin konsantrasyonlarının artmasında neden olmaktadır. Dolayısıyla kış mevsimindeki artış sadece emisyonların artması ile ilgili değildir.

Dağılım haritası incelendiğinde, şehir merkezinde, termik santralinin civarında ve sanayi tesislerinin çevresinde yüksek NO<sub>2</sub> konsantrasyonları gözlenmiştir. Şekil 5.3'de kış ve yaz mevsimine ait NO<sub>2</sub> kirletici seviyeleri gösterilmektedir. Kış mevsimi NO<sub>2</sub> seviyelerinin yaz mevsimine oranla daha yüksek olduğu görülmüştür. Fakat 4 noktada yapılan ölçümler sonucunda yazın ölçülen NO<sub>2</sub> konsantrasyonu kışın yapılan ölçümden daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Bu noktalardan 1'i Emet Bor İşletmesinin yakınlardaki bir noktada diğer 3'ü ise Tunçbilek Termik Santralinin civarında ölçülmüştür.



Şekil 5.2. Yaz NO<sub>2</sub> için elde edilen kirletici seviyesi dağılım haritası



Şekil 5.3. NO<sub>2</sub> kış ve yaz mevsimi kirlilik seviyeleri

## 5.2. SO<sub>2</sub> Pasif Örnekleme Sonuçları

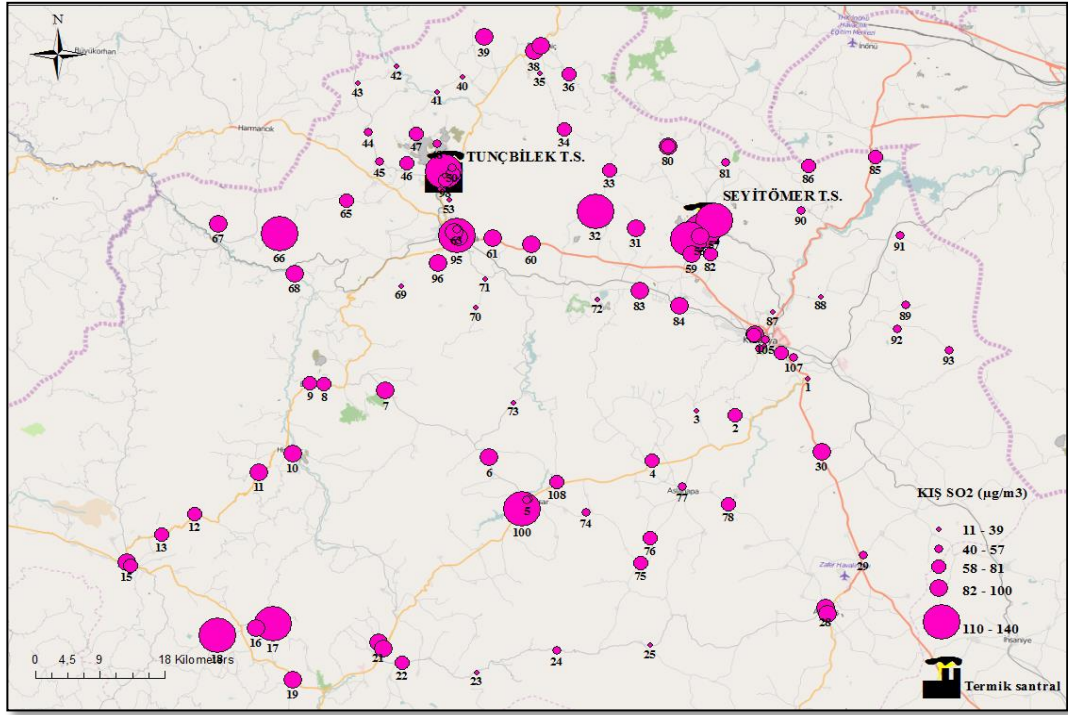
Kış dönemi ölçüm periyodunda elde edilen SO<sub>2</sub> konsantrasyonları 10,96-139,07 µg/m<sup>3</sup> arasında değişmektedir. Tüm örnekleme noktalarından elde edilen sonuçların ortalaması ise 69,28±28,6 µg/m<sup>3</sup> olarak tespit edilmiştir.

Şekil 5.4'de kış mevsimi için SO<sub>2</sub> seviyelerinin dağılımı gösterilmektedir. Sonuçlarda ilgi çekici bir başka nokta ise, çok daha fazla nüfusa sahip olmasına rağmen, Kütahya il merkezindeki SO<sub>2</sub> seviyelerinin ilçelere göre daha düşük olmasıdır. Kütahya il merkezinde son yıllarda evsel ısınma için kömürden doğalgaza geçişin bu durumu yarattığı düşünülmektedir.(KTHEP,2014,s.25). İlçelerde ısınma amaçlı kömür kullanılması ve kışın atmosferin kararlı yapıda olması SO<sub>2</sub> kirliliğinin artmasına neden olmaktadır. Kütahya'nın topografik yapısı nedeniyle Tunçbilek Termik Santralının güney kısmında modelleme haritasıyla desteklenen boğaz şeklinde bir yapı göze çarpmaktadır. Bu boğaz sayesinde kirliliğin dağılımı sağlanamamakta ve Tunçbilek Termik Santralının güney kısmında kirliliğin oluşmasına neden olmaktadır. Kışın kuzey-kuzey batıdan esen rüzgarlar kirlilik dağılımını etkileyen bir diğer parametredir ve dolayısıyla Tunçbilek Termik Santralin güneyinde kalan bölgede Tavşanlı' da ve Seyitömer Termik Santralının batısında yüksek SO<sub>2</sub> seviyeleri gözlenmiştir. Bölgede görülen yüksek SO<sub>2</sub> konsantrasyonlarının temel nedeni santrallerin SO<sub>2</sub> için herhangi bir kontrol tedbiri almamasından kaynaklanmaktadır(TÜBİTAK-112Y305, 2016,s.314).

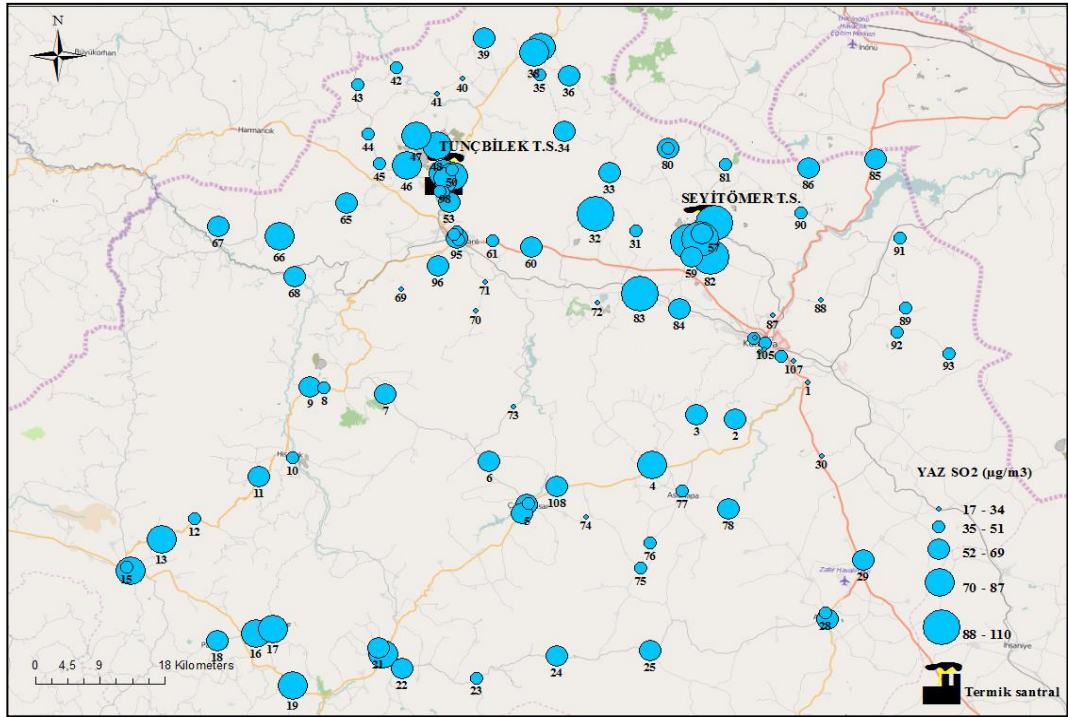
Modelleme sonuçları ışığında kentsel bölgede SO<sub>2</sub> kirliliğine en büyük katkı evsel ısınma (%62,2), sonrasında termik santraller (%20,7) ve %3,6 oranı ile şehiriçi trafiği sağlamaktadır. Göbel' de ise köylerdeki evsel ısınma (%42,5), sonrasında %36,0 ile termik santraller ve ilçelerdeki evsel ısınma %13,5 ile katkı sağlamaktadır (TÜBİTAK 112Y305, 2016,s.312).

Yaz mevsimi için elde edilen SO<sub>2</sub> konsantrasyonları 17,37-111,11 µg/m<sup>3</sup> arasında değişmektedir. Tüm örnekleme noktalarında elde edilen sonuçların ortalaması ise 55,59±19,3 µg/m<sup>3</sup> olarak tespit edilmiştir. Yaz dönemine ait SO<sub>2</sub> pasif örnekleme sonuçları Şekil 5.5'de yaz mevsimi SO<sub>2</sub> seviyelerinin dağılımı gösterilmektedir.





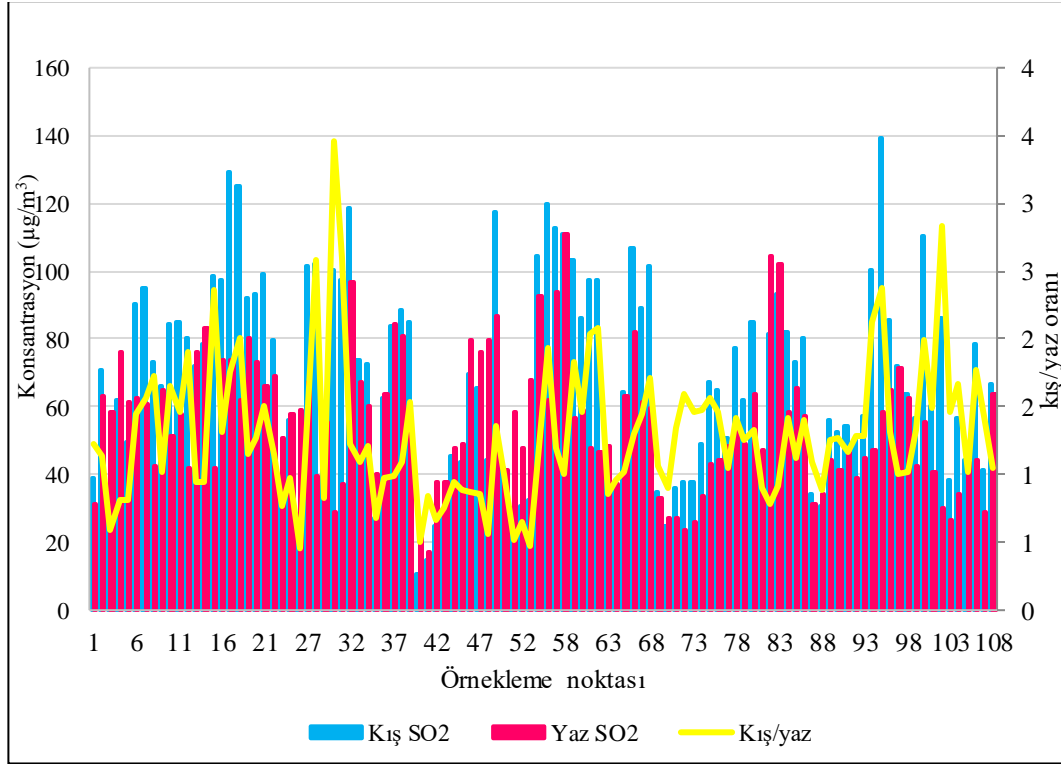
Şekil 5.4. Kış mevsimi SO<sub>2</sub> için elde edilen kirlenici seviyesi dağılım haritası



Şekil 5.5. Yaz mevsimi SO<sub>2</sub> için elde edilen kirlenici seviyesi dağılım haritası

Şekil 5.6'da kış ve yaz mevsimi SO<sub>2</sub> sonuçlarını verilmiştir, sonuçlara bakıldığında kışın ve yazın SO<sub>2</sub> miktarının yüksek olduğu gözlenmiştir, özellikle

yazın yüksek olan SO<sub>2</sub> konsantrasyonları termik santrallerden ve diğer endüstriyel kuruluşlardan kaynaklandığı modellenme çalışmasıyla da desteklenmiştir.



Şekil 5.6. SO<sub>2</sub> kış ve yaz mevsimi kirlilik seviyeleri

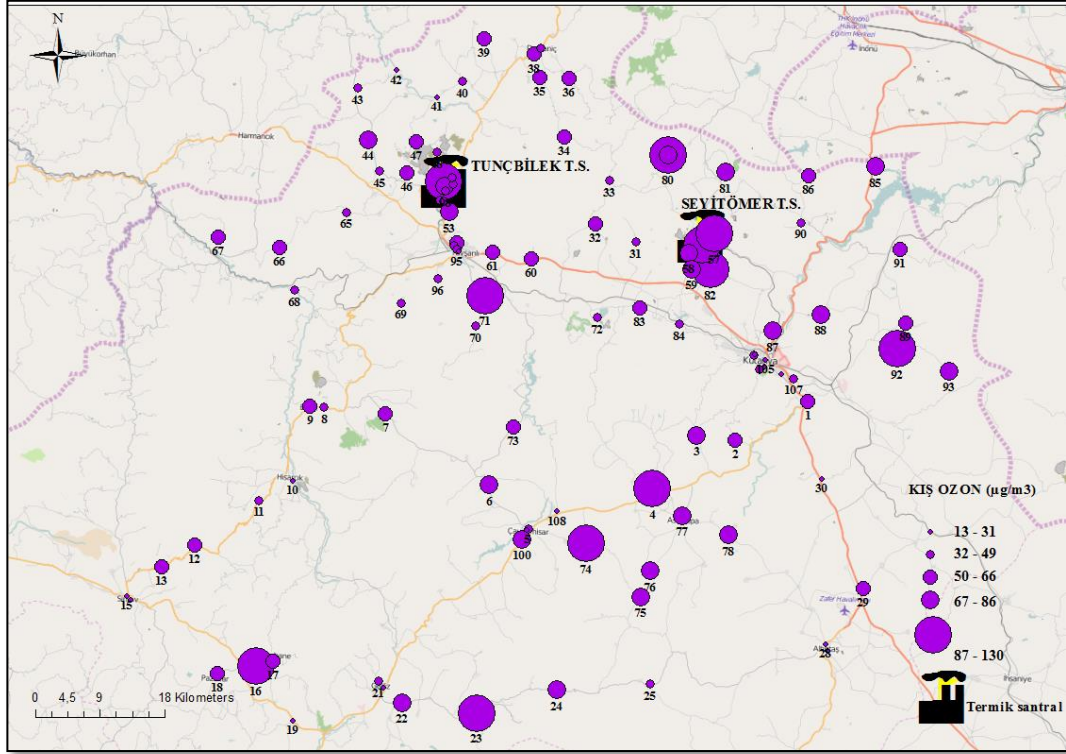
### 5.3. O<sub>3</sub> Pasif Örnekleme Sonuçları

Kış mevsimi ölçüm periyodunda elde edilen O<sub>3</sub> konsantrasyonları 12,59-133,83 µg/m<sup>3</sup> arasında değişmektedir. Tüm örnekleme noktalarında elde edilen sonuçların ortalaması ise 55,96±24,6 µg/m<sup>3</sup> olarak tespit edilmiştir.

Şekil 5.7'de kış mevsimi O<sub>3</sub> seviyelerinin dağılımı gösterilmektedir. Şehir merkezinde gözlenen düşük ozon seviyeleri, bu noktalardaki yüksek NO<sub>2</sub> seviyeleri ile ilişkilidir. Ayrıca, atmosferde ozon oluşumu için belli bir süre gerektiğinden özellikle şehir merkezinde trafik v.b kaynaktan ortaya çıkan öncül bileşenlerin şehrin dış bölgelerine taşınımı esnasında ozon oluşumu gerçekleşmekte ve bu durum şehirden uzak noktalarda daha yüksek ozon seviyelerinin gözlenmesine neden olmaktadır. Ozon dağılımı incelendiğinde ise, literatürle de uyumlu şekilde, NO<sub>2</sub>'nin düşük olduğu yerlerde (Seyitömer Termik Santralının kuzeyi, Aslanapa kırsalı) ozon seviyelerinin daha yüksek olduğu görülmektedir. Örnekleme gerçeğiği günlerin Kütahya'nın kış ayları için güneşli sayılabilecek günler

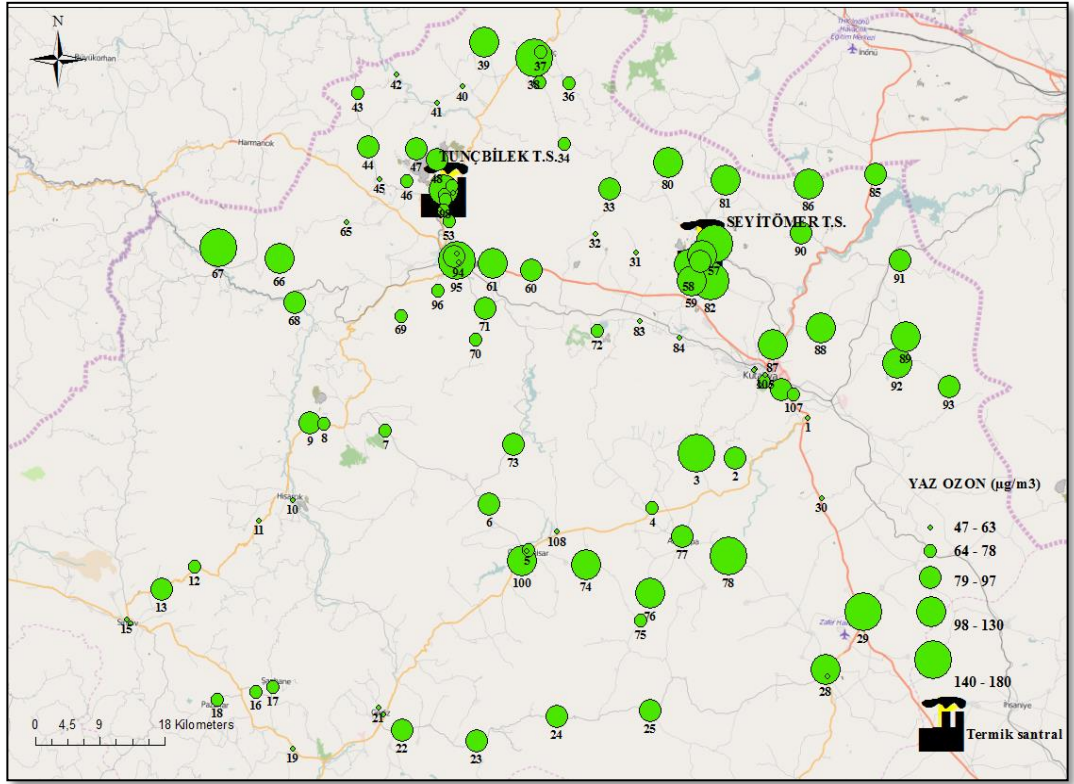


olması nedeniyle, kış ayları için yüksek sayılabilecek seviyelerde ozona rastlandığı söylenebilir. Seyitömer Santrali civarında, ozonu titre edecek trafik kaynaklı yoğun NO<sub>2</sub> emisyonları bulunmadığından, bu santralin emisyonlarından kaynaklı ozon oluşumu santrale daha yakın bölgelerde gözleniyorken, Tunçbilek Termik Santralinde benzeri bir durum söz konusu değildir.

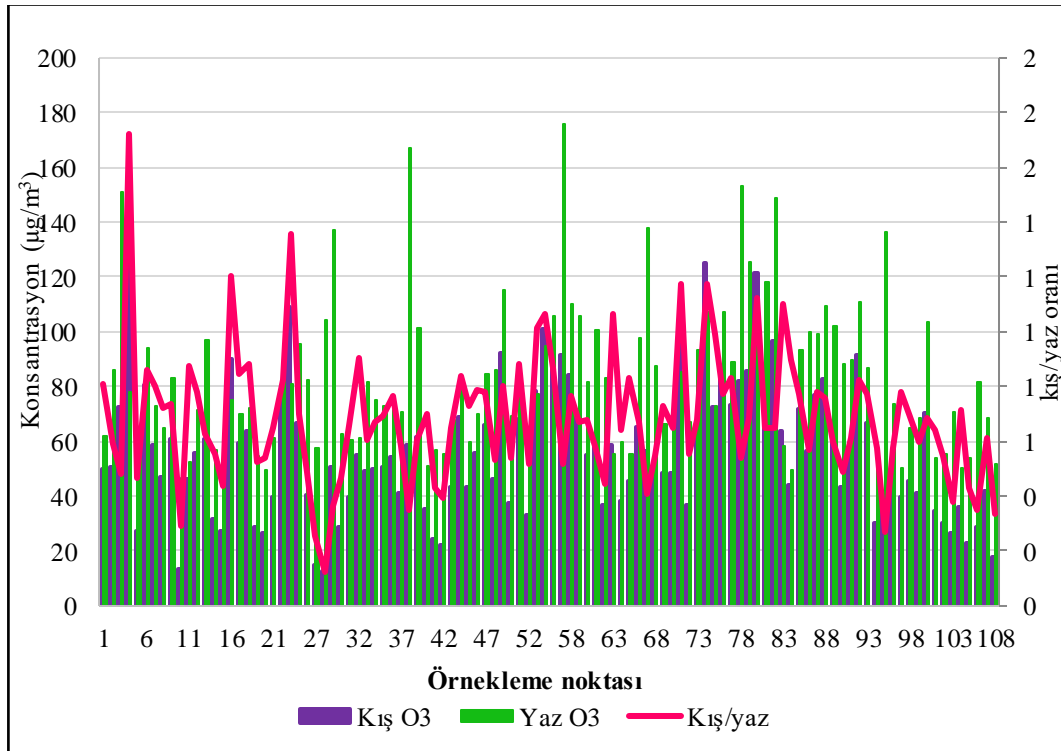


Şekil 5.7. Kış mevsimi O<sub>3</sub> için elde edilen kirletici seviyesi dağılım haritası

Yaz dönemi ölçüm periyodunda elde edilen O<sub>3</sub> konsantrasyonları 46,56-176,07 µg/m<sup>3</sup> arasında değişmektedir. Tüm örnekleme noktalarından elde edilen sonuçların ortalaması ise 83,02±27,2 µg/m<sup>3</sup> olarak tespit edilmiştir. Şekil 5.8'de yaz mevsimi O<sub>3</sub> seviyelerinin dağılımı gösterilmektedir. Güneş ışığı ozonun oluşumunda önemli bir faktör olduğundan, sıcaklıkların ve güneşlenme durumunun artmasına bağlı olarak yaz mevsiminde yüksek ozon konsantrasyonları ölçülmüştür. Çalışma kapsamında bir yıl süresince otomatik analizörlerle gerçekleştirilen ozon konsantrasyonlarında aynı eğilim gözlenmiştir (Hacıoğlu,2016,s122.). Yazın yüksek karışım yüksekliğinde yüksek ozon seviyeleri gözlenirken, kış mevsiminde ozon seviyeleri azalmıştır. Şekil 5.9'da kış ve yaz mevsimine ait O<sub>3</sub> seviyeleri verilmiştir.



Şekil 5.8. Yaz O<sub>3</sub> için elde edilen kirletici seviyesi dağılım haritası



Şekil 5.9. O<sub>3</sub> kış ve yaz mevsimi kirlilik seviyeleri

#### 5.4. NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> ve O<sub>3</sub> Bileşenlerinin Kendi Arasında ve İstatistiksel Olarak Değerlendirilmesi

Kış ve yaz mevsiminde 15 günlük pasif örnekleme kampanyasıyla NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> ve O<sub>3</sub> konsantrasyonları ölçülmüştür. Ek-3 ve Ek-4' de kış ve yaz mevsimine ait tüm örnekleme noktalarının NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> ve O<sub>3</sub> konsantrasyon değerleri µg/m<sup>3</sup> cinsinden verilmiştir. Çizelge 5.1'de ölçülen konsantrasyonların en küçük, en büyük, ortalama ve standart sapma gibi istatistiksel değerleri verilmiştir.

Çizelge 5.1. NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> ve O<sub>3</sub> bileşenlerinin istatistiksel olarak değerlendirilmesi

Parametre	NO <sub>2</sub>		SO <sub>2</sub>		O <sub>3</sub>	
	Kış	Yaz	Kış	Yaz	Kış	Yaz
N	108	108	108	108	108	108
En Küçük (µg/m <sup>3</sup> )	1,77	1,26	10,96	17,37	12,59	46,56
En Büyük (µg/m <sup>3</sup> )	56,85	21,36	139,07	111,11	133,83	176,07
Ortalama (µg/m <sup>3</sup> )	12,46	4,84	69,48	55,59	56,35	83,02
S.Sapma (µg/m <sup>3</sup> )	11,31	4,20	28,45	19,18	24,44	27,07

Ölçüm sonuçları arasında karşılaştırma yapabilmek ve arasındaki ilişkiyi görebilmek için Spearman korelasyon metodu kullanılmıştır. Spearman korelasyon katsayıları -1 ile +1 arasında değişmekte ve parametreler arasındaki ilişkiyi vermektedir. Anlamlılık değeri (p) ise, iki parametre arasında karşılaştırma yapılacak anlamlılık olup olmamasının göstergesidir. p değeri, 0,05'den küçükse istatistiksel açıdan anlamlı olduğunu göstermektedir.

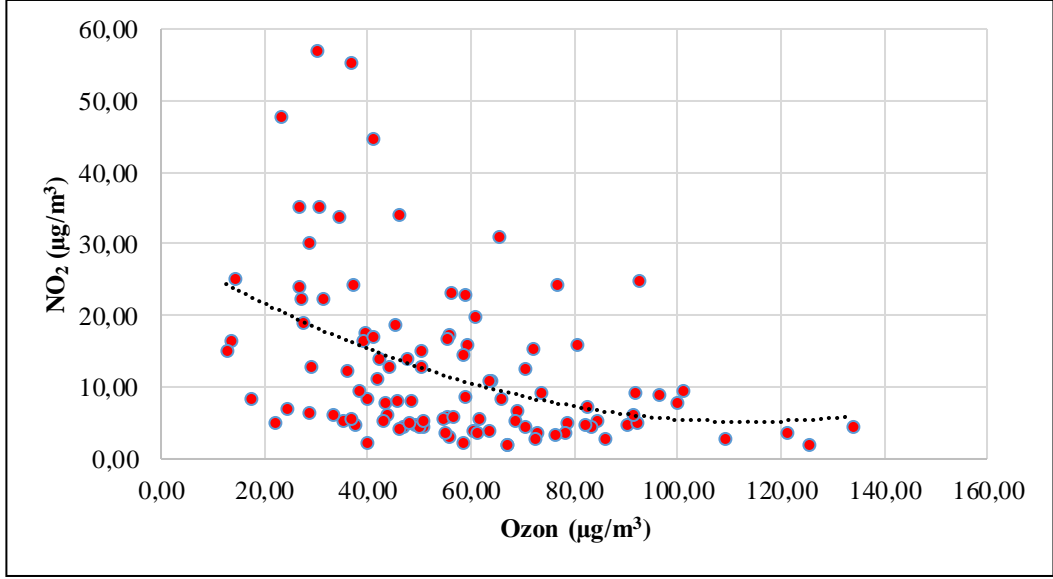
NO<sub>2</sub> ve O<sub>3</sub> konsantrasyonları arasında negatif bir korelasyon gözlenirken, NO<sub>2</sub> ve SO<sub>2</sub> arasında pozitif bir korelasyon gözlenmektedir. Bu ilişki, atmosferde O<sub>3</sub> ve NO<sub>2</sub>'nin oluşum ve yokolma mekanizmalarının ters olduğunun göstergesidir.

Çizelge 5.2. Kış ve yaz mevsimine ait spearman korelasyon matrisi

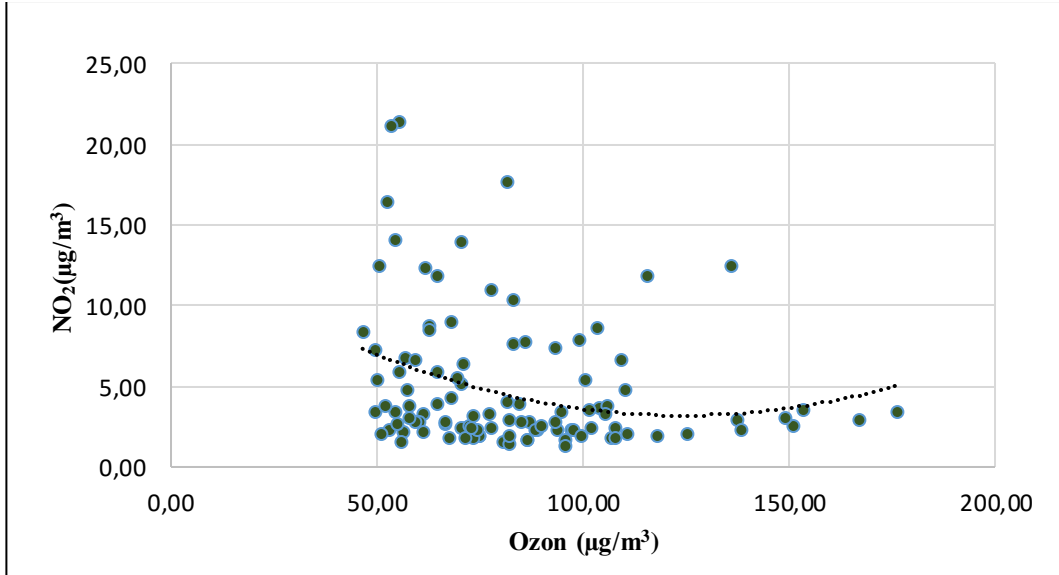
Spearman Korelasyon Matrisi	Kış			Yaz		
	O <sub>3</sub>	NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>
O <sub>3</sub>	1,000	-0,448**	0,060	1,000	-0,256**	0,158
NO <sub>2</sub>	-0,448**	1,000	0,317**	-0,256**	1,000	-0,054
SO <sub>2</sub>	0,060	0,317**	1,000	0,158	-0,054	1,000

\*\* p < 0,01, diğerleri p < 0,05

Tüm örnekleme noktaları için NO<sub>2</sub> ve ozon değerleri karşılaştırıldığında yüksek NO<sub>2</sub> seviyeleri düşük ozon seviyelerine eşlik etmektedir. Araç egzozlarından çıkan NO havada bulunan ozon ile reaksiyona girip ozonu tüketirken, reaksiyon sonucunda NO<sub>2</sub> oluşumuna neden olmaktadır. NO<sub>2</sub> ve ozon arasındaki ters ilişkiyi gösteren kış ve yaz mevsimine ait ortalama ozon ve NO<sub>2</sub> konsantrasyonları Şekil 5.10 ve Şekil 5.11’de verilmiştir.



Şekil 5.10. Kış mevsimi O<sub>3</sub> ve NO<sub>2</sub> arasındaki ilişki



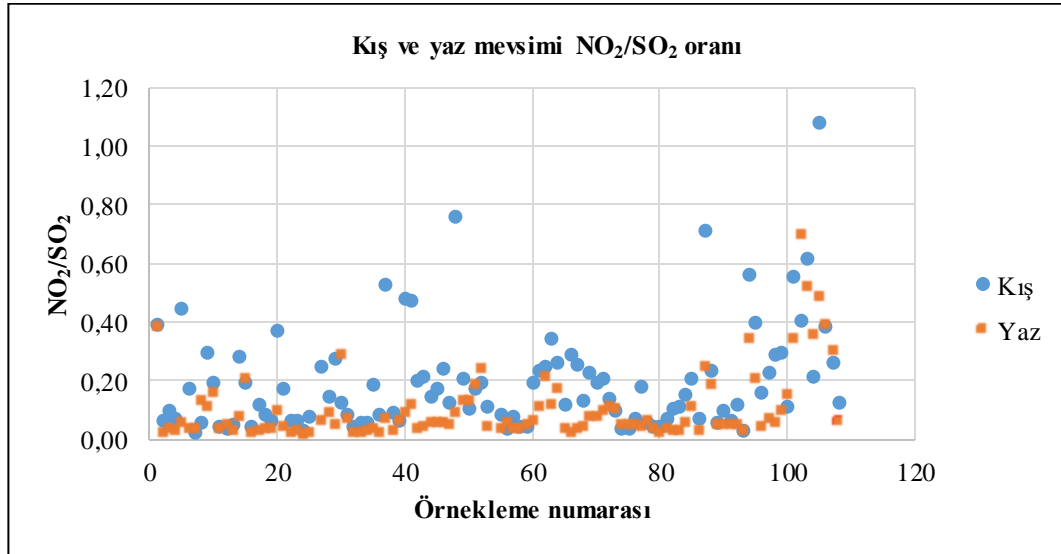
Şekil 5.11. Yaz mevsimi O<sub>3</sub> ve NO<sub>2</sub> arasındaki ilişki

NO<sub>x</sub> ve SO<sub>2</sub> kirlenmelerinin, trafik ve evsel ısınmadan kaynaklandığı bilinmektedir. Kirlenici seviyelerinde, kış aylarında konut ısıtması ve trafığa bağlı

olarak artışlar görüldüğünden dolayı, basit bir indeks olan  $NO_2/SO_2$  oranı ile kirletici kaynakların belirlenmesine çalışılmıştır (Ocak ve Turahoğlu, 2008; Hacıoğlu, 2015,s.119).

$NO_2/SO_2$  oranı genellikle meteorolojik şartlara bağlı değildir.  $NO_2/SO_2$  oranı sıcaklık değişimine karşı kaynakların değişimini göstermekte olup düşük  $NO_2/SO_2$  oranı yüksek kükürt içeriğine sahip kömürlerin yakıldığı noktasal kaynakları tanımlamaktadır (Aneja ve ark., 2000; Ocak ve Turahoğlu, 2008; Hacıoğlu, 2015,s.120).

Bu çalışmada kışın  $NO_2/SO_2$  oranı 0,02-1,08 arasında, yazın  $NO_2/SO_2$  oranı 0,02-0,70 arasında değişmektedir. Kışın  $NO_2/SO_2$  oranının en yüksek değeri şehir merkezinde yer alan bir noktayı göstermektedir. En düşük değeri de endüstriyel bölgede ve kırsal alanda olduğu gözlenmiştir. Yazın en düşük değeri değişme mesisi bölgede yazın da yüksek miktarda  $SO_2$  kirliliği olduğunu ve bölgedeki sanayi tesislerinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Kış ve yaz mevsiminde elde edilen  $NO_2/SO_2$  değerleri Şekil 5.12’ de gösterilmiştir.

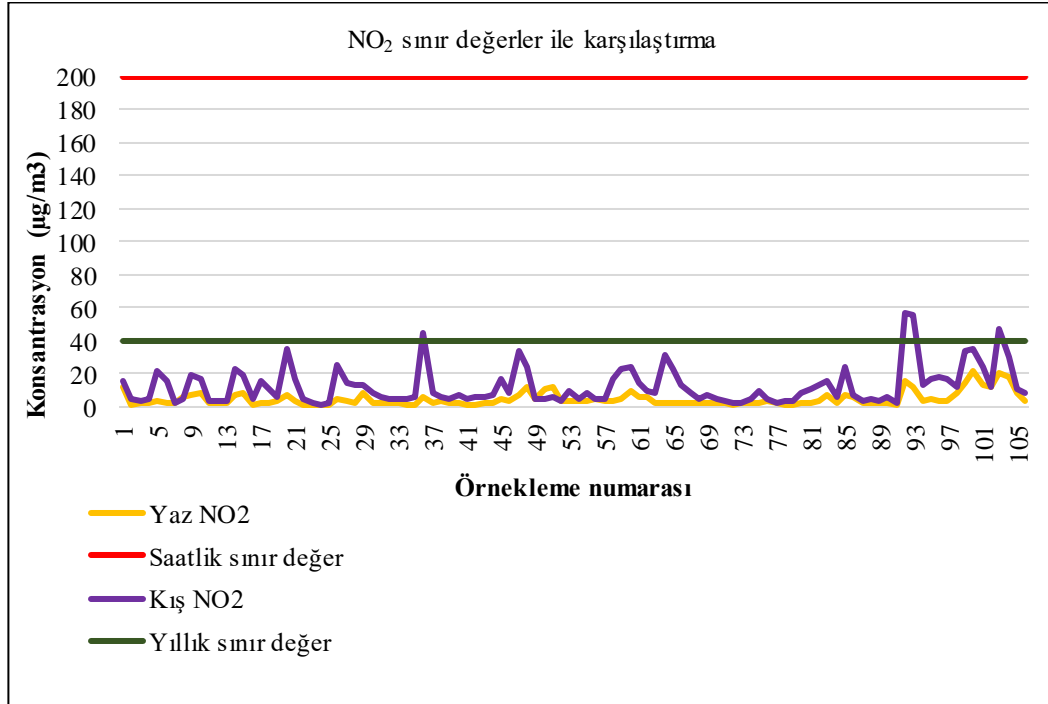


Şekil 5.12. Kış ve yaz mevsimi  $NO_2/SO_2$  oranı

## 5.5. Ölçüm Sonuçlarının Ulusal Sınır Değerler ile Karşılaştırılması

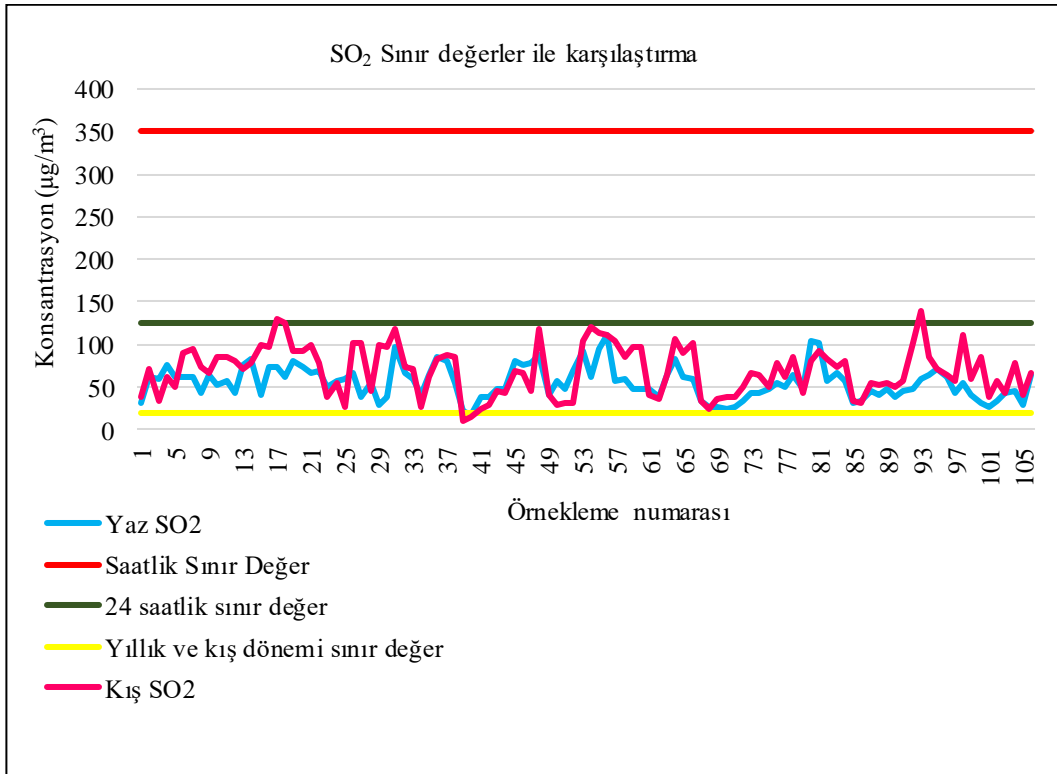
Kütahya bölgesinde 130×120 km<sup>2</sup>'lik alanda 15 günlük pasif örnekleme sonunda NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> ve O<sub>3</sub> bileşenlerinin atmosferik konsantrasyonları hesaplanmıştır. Bu konsantrasyonların HKDYY (Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği)'deki sınır değerler ile karşılaştırılması ve sınır değeri aşan noktalardaki kirlenici kaynağını bulmaya yönelik çalışmalar yapılmıştır. HKDYY'de NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> ve O<sub>3</sub> bileşenlerine ait bilgiler Ek-5, Ek-6 ve Ek-7'de verilmiştir.

HKDYY'de NO<sub>2</sub> için sınır değerler saatlik ve yıllık değer olarak verilmiştir. Bu çalışmada örnekleme süresi 15 gündür fakat sınır değerler ile yapılan bu karşılaştırma kirlilik seviyesi hakkında bize az da olsa bilgi vermektedir. Yazın 15 günlük pasif örnekleme sonunda elde edilen NO<sub>2</sub> değerlerinin saatlik ve yıllık sınır değerini aşmadığı gözlenmiştir. Kışın yapılan pasif örnekleme sonunda 4 noktada yıllık sınır değerin aşıldığı gözlenmiştir. Bu noktaların Kütahya şehir merkezinde ve Tavşanlı ilçe merkezinde yüksek olduğu gözlenmiştir. Şekil 5.13'de NO<sub>2</sub> bileşeninin kış ve yaz pasif örnekleme sonuçları ile saatlik ve yıllık sınır değerlerin karşılaştırılması verilmiştir.



Şekil 5.13. Kış ve yaz mevsimi NO<sub>2</sub> sonuçlarının ulusal limit değerler ile karşılaştırılması

HKDYY’de SO<sub>2</sub> için sınır değerler saatlik, 24 saatlik, yıllık ve kış mevsimi olarak verilmiştir. Kış ve yaz mevsimi yapılan örnekleme döneminde oldukça yüksek SO<sub>2</sub> konsantrasyonlarına ulaşılmıştır. Saatlik 350 µg/m<sup>3</sup>’lük (insan sağlığının korunması için) sınır değer her iki örnekleme döneminde aşılmadığı gözlenmiştir. Yıllık ve kış mevsimi limit değeri olan 20 µg/m<sup>3</sup>’ün (ekosistemin korunması için) altında Tunçbilek Termik Santralının kuzeyinde 2 nokta dikkat çekmektedir, diğer tüm noktalarda kış ve yaz mevsiminde yapılan ölçüm sonuçları sınır değerinin üstündedir. 24 saatlik sınır değeri 125 µg/m<sup>3</sup>’in (insan sağlığının korunması için) üstünde 3 nokta bulunmuştur. Noktalardan 2’ si Kütahya’nın güney-batı kısmında yer alan Şaphane ve Pazarlar bölgesinde, diğer 1 nokta ise Tavşanlı bölgesinde gözlenmiştir. Şekil 5.14’de SO<sub>2</sub> bileşeninin kış ve yaz mevsimi pasif örnekleme sonuçları ile saatlik, 24 saatlik, yıllık ve kış dönemi sınır değerlerin karşılaştırılması verilmiştir.



Şekil 5.14. Kış ve yaz mevsimi SO<sub>2</sub> sonuçlarının sınır değerler ile karşılaştırılması

HKDYY’ de O<sub>3</sub> için uzun vadeli hedefler, hedef değerler, bilgilendirme ve uyarı eşikleri yer almaktadır. Ozonun insan sağlığına etkisinin yanında belki daha da önemli sayılabilecek etkisi bitkiler üzerindedir. Bitkilerin ozona maruziyet karşısında dayanıklılıkları daha düşüktür. Bitkilerin ozona maruziyetinin ölçüsü

olarak en yaygın kullanılan terim AOT40'dır (Accumulated Exposure Over a Threshold of 40 ppb). Ozon konsantrasyonunun 40 ppb değerini aştığı her saat için, konsantrasyon değeri ile 40 ppb arasındaki farkların toplamı olarak tanımlanır. Dış ortam havasındaki ozon konsantrasyonları için uzun vadeli hedeflere, kademeli önlemler alınarak uzun vadede ulaşılır. Bu çalışma kapsamında 15 günlük örnekleme periyodunda elimizde saatlik O<sub>3</sub> verisi olmadığından dolayı bir yılda maksimum günlük 8 saatlik ortalama değer ile alakalı bir karşılaştırma yapmak mümkün değildir.

### 5.6. Ölçülen kirletici konsantrasyonlarının Kentsel, Kırsal ve Endüstriyel Bölge Bazında Değerlendirilmesi

Kütahya bölgesinde antropojenik kaynakların etkisini daha iyi görebilmek için çalışma alanı kentsel, kırsal ve endüstriyel olmak üzere 3 gruba ayrılmıştır. Kentsel bölgede 35 nokta, kırsal bölgede 64 nokta ve endüstriyel bölgede de 9 nokta yer almaktadır. Ayrılan bu bölgelerdeki NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> ve ozon konsantrasyonları değerlendirilmek istenmiştir. Kentsel, kırsal ve endüstriyel bölgedeki ortalama konsantrasyonlar Çizelge 5.3'de verilmiştir.

**Çizelge 5.3.** Kentsel, kırsal ve endüstriyel bölgeye ait NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> ve ozon konsantrasyonları ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

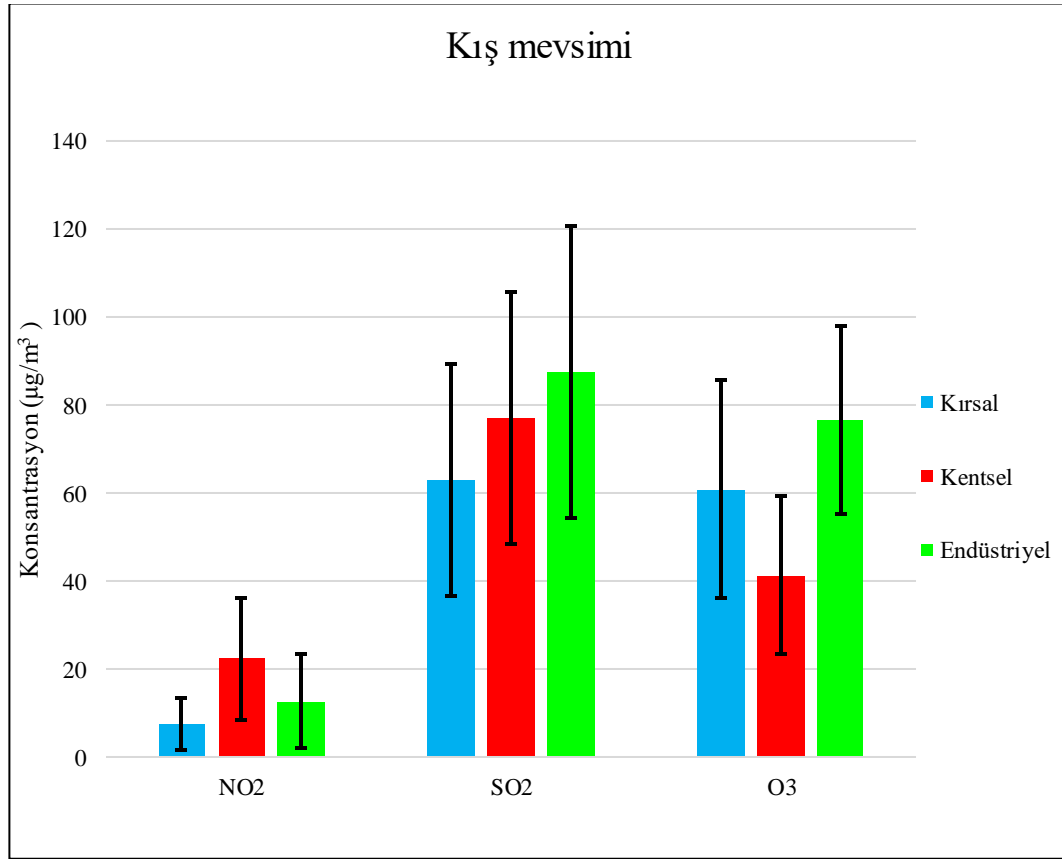
		NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>
<b>Kış</b>	Kırsal	7,64±5,95	63,02±26,31	60,79±24,71
	Kentsel	22,22±13,97	77±28,5	41,14±17,9
	Endüstriyel	12,53±10,66	87,24±33,09	76,38±21,32
<b>Yaz</b>	Kırsal	2,86±1,86	52,25±19,17	87,63±27,13
	Kentsel	8,36±5,27	54,5±14,83	69,97±20,04
	Endüstriyel	5,4±2,81	79,56±20,13	100,04±33,62

Örnekleme döneminde kışın sıcak ve güneşli günler yaşandığı için tüm noktalarda yüksek ozon konsantrasyonları gözlenmiştir. En yüksek ozon konsantrasyonları kırsala yakın endüstriyel bölgede ve kırsal bölgede ölçülmüştür.

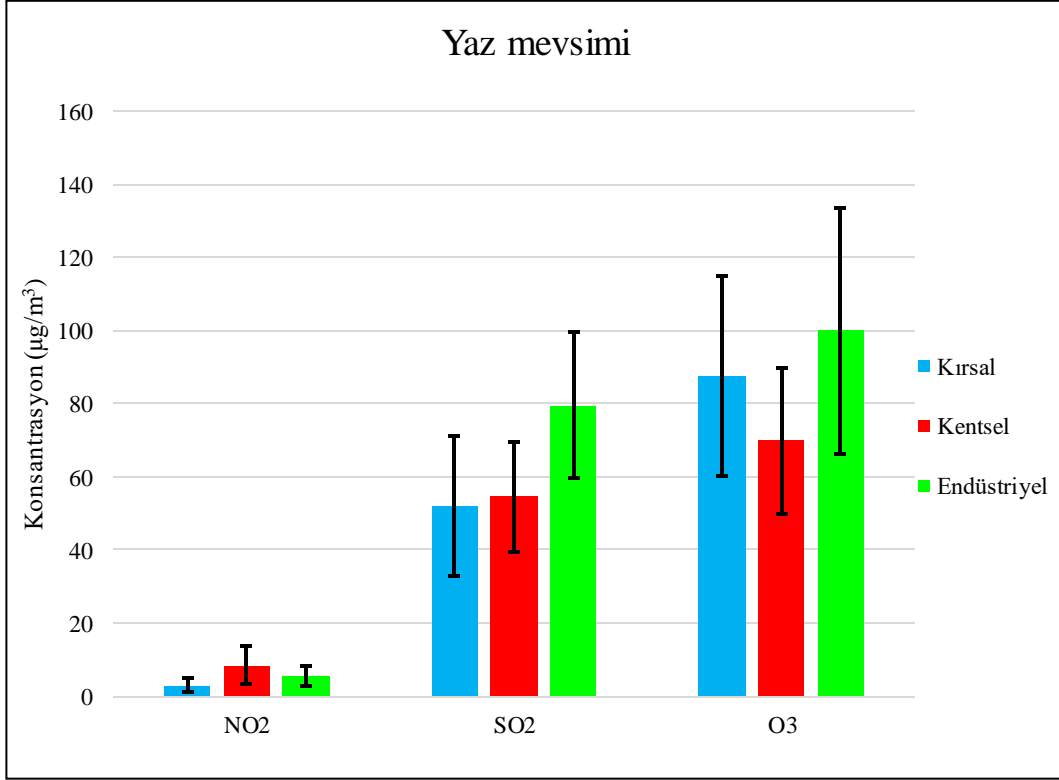
NO<sub>2</sub> konsantrasyonlarına bakıldığında, en yüksek değerin kentsel ve endüstriyel bölgede ölçüldüğü görülmektedir. NO<sub>2</sub> trafik ve yanma kaynaklı bir kirletici olduğu için kentsel ve endüstriyel bölgede yüksek olması beklenen bir durumdur.



SO<sub>2</sub> konsantrasyonları en yüksek endüstriyel bölgede ölçülmüştür. Termik santrallerin ve endüstriyel tesislerin katkısı büyüktür. Ayrıca, kentsel bölgede yüksek SO<sub>2</sub> konsantrasyonları gözlenmiştir, bu durumun şehir merkezinde yer alan endüstriyel kuruluşlardan geldiği düşünülmektedir. Kış ve yaz dönemine ait kentsel, kırsal ve endüstriyel bölgeye ait NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> ve O<sub>3</sub> konsantrasyonları Şekil 5.15 ve Şekil 5.16'da verilmiştir. Kışın yapılan ölçümlere kıyasla yazın daha düşük NO<sub>2</sub> ve SO<sub>2</sub> konsantrasyonları gözlenmiştir. Yaz dönemine ait konsantrasyonlarda en yüksek ozon kırsala yakın endüstriyel bölgede, en yüksek NO<sub>2</sub> kentsel bölgede ve en yüksek SO<sub>2</sub> endüstriyel bölgede gözlenmiştir.



**Şekil 5.15.** Kış mevsiminde kentsel, kırsal ve endüstriyel bölgeye ait NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> ve O<sub>3</sub> konsantrasyonları



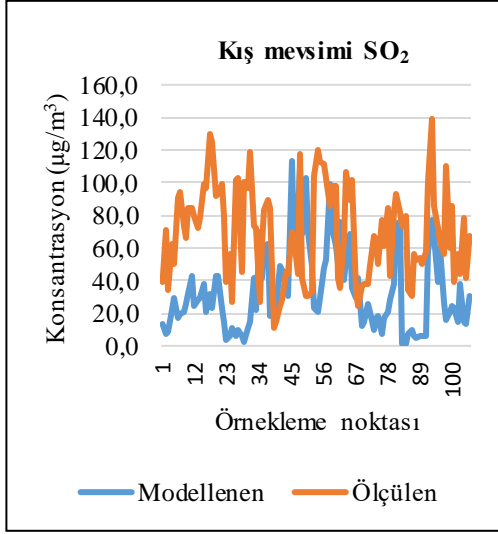
**Şekil 5.16.** Yaz döneminde kentsel, kırsal ve endüstriyel bölgeye ait NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> ve O<sub>3</sub> konsantrasyonları

### 5.7. Ölçüm Sonuçlarının Model Sonuçlarıyla Karşılaştırılması

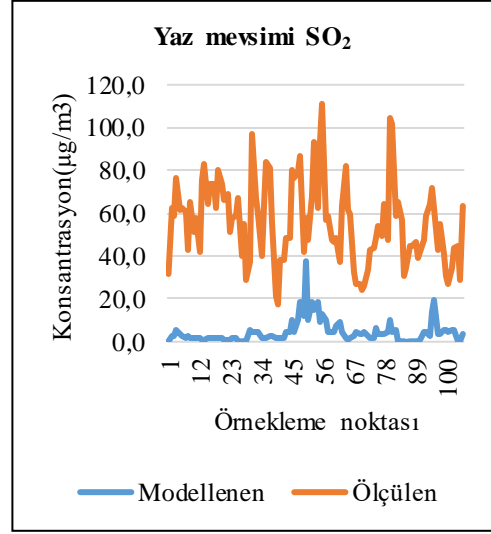
Pasif örnekleme sonucunda elde edilen NO<sub>2</sub> ve SO<sub>2</sub> konsantrasyonları projenin bir diğer iş paketinde kapsamında gerçekleştirilen modelleme sonuçlarıyla kıyaslanmıştır.

SO<sub>2</sub> pasif ölçüm sonuçları genel olarak model sonuçlarından yüksek çıkmıştır fakat bir uyum içerisindedir. Özellikle yazın pasif SO<sub>2</sub> sonuçları model sonuçlarından oldukça yüksektir. Çalışma alanı içerisinde yer alan endüstriyel kuruluşlar yazın yüksek SO<sub>2</sub> sonuçlarına neden olduğu düşünülmektedir.

Kış ve yaz mevsiminde elde edilen ölçüm ve model SO<sub>2</sub> sonuçları Şekil 5.23 ve Şekil 5.24' de verilmiştir. NO<sub>2</sub> pasif ölçüm sonuçları model sonuçlarıyla uyum içerisindedir. Şekil 5.17 ve Şekil 5.18'dde kış ve yaz mevsiminde elde edilen ölçüm ve model sonuçları verilmiştir.

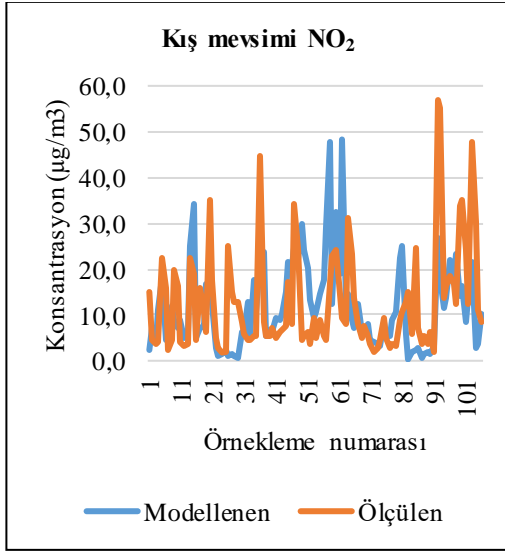


(a)

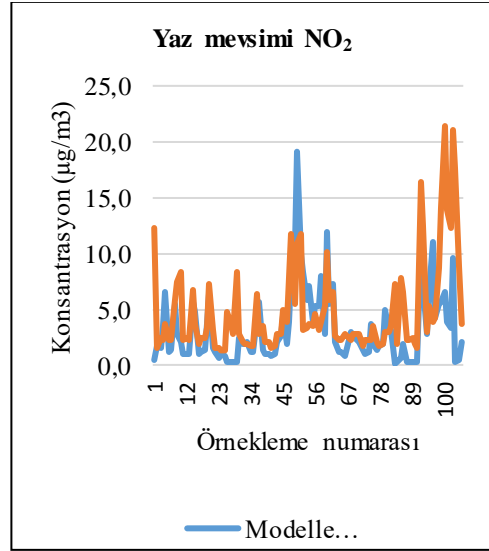


(b)

Şekil 5.17. (a) Kış ve (b) yaz mevsimi SO<sub>2</sub> model ve ölçüm sonuçları



(a)



(b)

Şekil 5.18. (a) Kış ve (b) yaz mevsimi NO<sub>2</sub> model ve ölçüm sonuçları

## 6. SONUÇ, TARTIŞMA ve ÖNERİLER

Bu çalışma, hava kirliliğinin yüksek olduğu Kütahya ilinde gerçekleştirilmiştir. Kentin hava kalitesini belirlemek için temel hava kirleticileri arasında yer alan azot dioksit (NO<sub>2</sub>), kükürt dioksit (SO<sub>2</sub>) ve ozon (O<sub>3</sub>) gibi inorganik bileşenlerin pasif örnekleme yöntemi kullanılarak atmosferik konsantrasyonları belirlenmesi çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Pasif örnekleme çalışmaları, Kütahya ili sınırlarını kapsayacak şekilde 130 km×120 km'lik bir alan içerisinde 108 örnekleme noktasında yapılmıştır. Örnekleme çalışmaları kış ve yaz olmak üzere iki ayrı mevsimde gerçekleştirilmiştir. Coğrafi Bilgi Sistemleri kullanılarak hazırlanan dağılım haritaları yardımıyla kirletici bileşenlerin alansal ve mevsimsel dağılımları incelenmiştir.

Pasif örnekleme sonuçlarına göre, NO<sub>2</sub> bileşeni kışın 1,77-56,85 µg/m<sup>3</sup> yazın 1,26-21,36 µg/m<sup>3</sup> arasında ölçülmüştür. Kışın ve yazın en yüksek NO<sub>2</sub> konsantrasyonu Kütahya şehir merkezinde ve Tavşanlı ilçesinde ölçülmüştür. En düşük NO<sub>2</sub> derişimi ise Gediz-Aslanpala kırsalında ölçülmüştür. Yazın bazı noktalarda kışa kıyasla daha yüksek NO<sub>2</sub> konsantrasyonları gözlenmiştir. Özellikle Emet Bor Tesisinin ve Tunçbilek Termik Santralinin olduğu bölgede yazın NO<sub>2</sub> konsantrasyonu daha yüksek ölçülmüştür.

SO<sub>2</sub> bileşeni için kışın 10,96-139,07 µg/m<sup>3</sup> yazın 17,37-111,11 µg/m<sup>3</sup> arasında ölçülmüştür. Kışın en yüksek SO<sub>2</sub> konsantrasyonu Tunçbilek Termik santralin altında kalan bölgede Tavşanlı' da ve Seyitömer Termik santralinin kuzeyinde ve en düşük Domaniç bölgesinde ölçülmüştür. Yazın en yüksek SO<sub>2</sub> konsantrasyonu Tunbilek ve Seyitömer Termik Santralinin etrafında ölçülmüştür. Yazın kışa kıyasla daha yüksek SO<sub>2</sub> konsantrasyonlarının gözlenmesi ısınma amaçlı SO<sub>2</sub> kirliliğinden çok bölgedeki endüstriyel kuruluşların SO<sub>2</sub> kirliliğine neden olduğu düşünülmektedir. Yazın Tavşanlı, Gediz, Simav ve Emet bölgesinde yüksek SO<sub>2</sub> konsantrasyonları ölçülmüştür.

Ozon bileşeni için kışın 12,59-133,83 µg/m<sup>3</sup> yazın 46,56-176,07 µg/m<sup>3</sup> arasında ölçülmüştür. Kışın en yüksek ozon konsantrasyonları Çavdarhisar, Aslanpala, Şaphane, Gediz gibi kırsal bölgeler ve Seyitömer Termik Santralinin etrafında ölçülmüştür. Örnekleme dönemi içerisinde kışın sıcak ve güneşli günlerin olmasından dolayı kışın beklenmediği bir şekilde ozon konsantrasyonları yüksek

gözlenmiştir. Yazın ozon konsantrasyonları fotokimyasal reaksiyonlardan dolayı yüksek ölçülmüştür ve yazın en yüksek ozon konsantrasyonu Seyitömer Termik Santarlinin çevresi, Tavşanlı, Domaniç ve Aslanapa kırsalında ölçülmüştür.

Hava Kirliliği ve Kontrolü Yönetimi Yönetmeliğindeki NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> ve ozon için verilen sınır değerler ile karşılaştırma yapılmıştır. 15 günlük pasif örnekleme sonuçları baz alınarak değerlendirme yapılmıştır. NO<sub>2</sub> için kışın yapılan pasif örnekleme sonunda 4 noktada yıllık limit değerini aştığı gözlenmiştir. Bu noktalar Kütahya şehir merkezinde ve Tavşanlı ilçe merkezinde bulunmaktadır.

SO<sub>2</sub> için yıllık ve kış dönemi limit değeri olan 20 µg/m<sup>3</sup>' ün tüm noktalarda kış ve yazın yapılan ölçümlerde aştığı gözlenmiştir. 24 saatlik limit değeri 125 µg/m<sup>3</sup>' in üstünde 3 nokta bulunmuştur, noktalardan 2' si Kütahya' nın güney-batı kısmında yer alan Şaphane ve Pazarlar bölgesinde, diğer 1 nokta ise Tavşanlı bölgesinde gözlenmiştir.

Ozon için günlük örnekleme periyodunda elimiz de saatlik O<sub>3</sub> verisi olmadığından dolayı bir yılda maksimum günlük 8 saatlik ortalama değer ile alakalı bir karşılaştırma yapmak mümkün değildir.

Bileşenleri kendi arasında değerlendirdiğimiz de, tüm örnekleme noktaları için NO<sub>2</sub> ve ozon değerleri karşılaştırıldığında yüksek NO<sub>2</sub> seviyeleri düşük ozon seviyelerine eşlik etmektedir. NO<sub>x</sub>/SO<sub>2</sub> oranı sıcaklık değişimine karşı kaynakların değişimini göstermekte olup düşük NO<sub>x</sub>/SO<sub>2</sub> oranı yüksek kükürt içeriğine sahip kömürlerin yakıldığı noktasal kaynakları yahut endüstriyel kaynaklı kirliliği göstermektedir. Kış ve yaz birbirine yakın NO<sub>x</sub>/SO<sub>2</sub> oranlarının çıkması bölgede bulunan endüstriyel kaynakların SO<sub>2</sub> kirliliğine katkı sağladığı düşünülmektedir.

Pasif ölçüm sonuçları model sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. SO<sub>2</sub> pasif ölçüm sonuçları genel olarak model sonuçlarından yüksek çıkmıştır. Sonuçlar birbiri ile uyum içerisindedir fakat yazın ölçüm sonuçları ile model sonuçları arasında bariz bir fark vardır. Bu farkın bölgede bulunan lokal bir kirlilik ile ilgili olabileceği düşünülmektedir. NO<sub>2</sub> pasif ölçüm sonuçları model sonuçlarıyla yüksek şekilde korelasyon sağlamıştır.

Endüstriyel kuruluşların hava kalitesine etkisi incelendiğinde, SO<sub>2</sub> ve NO<sub>2</sub> emisyonlarına en çok katkının bölgede yer alan Tunçbilek Termik Santrali ve Seyitömer Termik Santralinden geldiği görülmektedir. Endüstriyel tesislerin şehir

merkezine yakın kurulması ve Kütahya' nın topografik özelliklerinden dolayı endüstriyel tesisler Kütahya hava kalitesini oldukça etkilemektedir. Bunun yanında bölgede bulunan diğer endüstriyel kuruluşlar özellikle Kütahya Şeker Fabrikası, Kümaş Manyezit Sanayi bölgenin SO<sub>2</sub> ve NO<sub>2</sub> emisyonlarına katkı sağlamaktadır.

Örnekleme noktalarını kentsel, kırsal ve endüstriyel olarak ayırdığımızda, SO<sub>2</sub> konsantrasyonlarının endüstriyel ve kentsel bölgede yüksek olduğu gözlenmiştir. Kentsel bölgedeki yüksek konsantrasyonların bazı endüstriyel kuruluşların şehir merkezine yakın olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. NO<sub>2</sub> konsantrasyonları kentsel ve endüstriyel bölgede yüksek ölçülmüştür. En yüksek ozon konsantrasyonların ise kırsala yakın endüstriyel bölgede ve kırsal bölgede ölçüldüğü gözlenmiştir.

Bu tez çalışmasında 112Y305 no'lu TÜBİTAK ve no'lu BAP projesinin bir iş paketine ait sonuçlar değerlendirilmiştir.

## KAYNAKLAR

- Acar, S., Aşıcı, A.A., Bal, P., Karababa, A.O., Kurnaz, L., Şahin, Ü., (2015), Kömür Raporu: İklim Değişikliği, Ekonomi ve Sağlık Açısından Türkiye'nin Kömür Politikaları.
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR), (2006), *Public Health Assessment: Loudon County Hazardous Air Pollutants*, Atlanta, Georgia.
- Alejo, D., Morales, M.C., Nunez, V., Bencs, L., Grieken, R.V., Espen, P.V., (2011), Monitoring of tropospheric ozone in the ambient air with passive samplers, *Microchemical Journal*, 99,383-387.
- Anonim, (2008), Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği. link: <http://mevzuat.basbakanlik.gov.tr/Metin.Aspx?MevzuatKod=7.5.12188&MevzuatIiski=0&sourceXmlSearch=>
- Bari, M.A., Curran, R.L.T., Kindzierski, W.B., (2015), Field performance evaluation of Maxxam passive samplers for regional monitoring of ambient SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> and O<sub>3</sub> concentrations in Alberta, Canada, *Atmospheric Environment*, 114, 39-47.
- Bayındır, E., Tuncel, S.G., Tuncel, G., (2008), Atmosferdeki NO<sub>2</sub> ve O<sub>3</sub>'ün Pasif Örnekleyicilerle Ölçümlerinin İncelenmesi ve Meteorolojik Parametrelerin Tutunma Sabitine Etkisinin Belirlenmesi, *Hava Kirliliği ve Kontrolü Sempozyumu-2008*, Hatay, 115-120.
- Behera, S.N., Sharma, M., Mishra, P.K., Nayak, P., Fontaine, B.D., Tahon, R., (2015), Passive measurement of NO<sub>2</sub> and application of GIS to generate spatially-distributed air monitoring network in urban environment, *Urban Climate*, 14, 396-413.
- Boubel R.W., Fox, D.L., Turner, D.B., Stern, A.C., (2008), *Fundamentals of Air Pollution*, Elsevier Inc.
- Bozkurt, Z., Küçükacı, G., Polat, N., Üzmez, Ö., Döğeroğlu, T., Gaga, E., (2015), Düzce ilinde bazı inorganik ve uçucu organik bileşik konsantrasyonlarının mevsimsel ve alansal dağılımlarının belirlenmesi, *6. Ulusal Hava Kirliliği ve Kontrolü Sempozyumu-2015*, İzmir, 42-54.

- Campos, V.P., Cruz, L.P.S., Godoi, R.H.M., Godoi, A.F.L., Tavares, T.M., (2010), Development and validation of passive samplers for atmospheric monitoring of SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> and H<sub>2</sub>S in tropical areas, *Microchemical Journal*, 96, 132-138.
- Cavkaytar, Ö., Soyer, U.Ö., Şekereç, B.E., (2013), ‘Türkiye’ de Hava Kirliliğinden Kaynaklanan Sağlık Sorunları, *Hava Kirliliği Araştırmaları Dergisi* 2, 105-111.
- Colls, J., (2002), *Air Pollution (Second Edition)*, Spon Press, New York.
- Cooper, D.C., Alley, F.C., (2002), *Air Pollution Control (3rd edition)*, Waveland Press.
- Cox, R.M., (2003), The use of passive sampling to monitor forest exposure to O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub> and SO<sub>2</sub>: a review and some case studies, *Environmental Pollution*, 126, 301-311.
- Cruz, L.P.S., Campos, V.P., Silva, A.M.C., Tavares, T.M., (2004), A field evaluation of a SO<sub>2</sub> passive sampler in tropical industrial and urban air, *Atmospheric Environment*, 38, 6425-6429.
- Çotuker, O., (2014), *Çanakkale İlinin Hava Kalitesinin İnorganik Kirleticiler Ve Meteorolojik Parametreler Açısından Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Çanakkale 18 Mart Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Çanakkale.
- Doorn, W.V., Arpacioğlu, C.B., Kaybal, G., Elbir, M., Kılıçlar, L., Akcan, N., Yeşilyurt, C., (2005), ‘Preliminary assessment of ambient air quality in the cities of Ankara and Kütahya’, Third international symposium on air quality management at urban, regional and global scales, 101-110, İstanbul.
- Dölek, E., Atımtay, A., (2008), ISCST3 ve AERMOD atmosferik dağılım modellerinin karşılaştırılması örnek çalışma: Çayırhan termik santrali, *Hava Kirliliği ve Kontrolü Ulusal Sempozyumu*, Hatay, 274- 285.
- Dumanoğlu, Y., Bayram, A., (2013), İzmir’ de Kent Merkezi ve Yakın Çevresinde Ölçülen Ozon ve Azot Dioksit Seviyelerinin Zamansal Değişiminin İncelenmesi, *Hava Kirliliği ve Araştırma Dergisi*, 2, 65-73.
- EPA, 2016a. U.S. Environmental Protection Agency, Six Common Air Pollutants. Digital data set <http://www3.epa.gov/airquality/urbanair/>



- EPA, 2016b. U.S. Environmental Protection Agency, Hazardous Air Pollutants. Digital data set <http://www.epa.gov/haps/initial-list-hazardous-air-pollutants-modifications>
- Erbaşlar, T., Taşdemir, Y., (2006), Temporal fluctuation of sulfur dioxide (SO<sub>2</sub>) and particulate matter (PM) levels measured in Bursa, Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, 1, 46-55.
- Evcı, M., (2009), *Aliğa Çevresinde Ozon, Azot Dioksit Ve Sülfür Dioksit Kirliliğinin Pasif Örnekleme İle Tespiti*, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, İzmir.
- Gao, H.O., (2007), Day of week effects on diurnal ozone/NO<sub>x</sub> cycles and transportation emissions in Southern California, Transport Research Part D, 12, 292-305.
- Goncaloğlu, B.İ., Ertürk, F., Erdal, A., (2000), Termik Santrallerle Nükleer Santrallerin Çevresel Etki Değerlendirmesi Açısından Karşılaştırılması, Ekoloji Çevre Dergisi, 34.
- Gorecki, T., Namiesnik, J., (2002), Passive Sampling, Trends in Analytical Chemistry, 21 (4), 276-290.
- Hacıoğlu, H.İ., (2015), *Kütahya bölgesinde hava kalitesi izleme istasyonları için yer seçimi ve istasyonlarda ölçülen kirleticilerin zamansal değişimleri*, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Eskişehir.
- Han, X., Naeher, L.P., (2006), A review of traffic- related air pollution exposure assessment studies in the developing world, Environment International, 32, 106-120.
- HEAL, (2015), *Ödenmeyen Sağlık Faturası: Türkiye’ de Kömürlü Termik Santraller Bizi Nasıl Hasta Ediyor?* , Sağlık ve Çevre Birliği (HEAL) yayını.
- Henschel, S., Tertre, A.L., Atkinson, R.W., Querol, X., Pandolfi, M., Zeka, A., Haluza, D., Analitis, A., Katsouyanni, K., Bouland, C., Pascal, M., Medina, S., Goodman, P.G., (2015), Trends of nitrogen oxides in ambient air in nine European cities between 1999 and 2010, Atmospheric Environment, 117, 234-241.

- Hien, P.D., Hangartner, M., Fabian, S., Tan, P.M., (2014), Concentrations of NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> and benzene across Hanoi measured by passive diffusion samplers, *Atmospheric Environment*, 88, 66-73.
- Hsu, Y., (2013), Trends in Passively –Measured Ozone, Nitrogen Dioxide and Sulfur Dioxide Concentrations in the Athabasca Oil Sands Region of Alberta, Canada, *Aerosol and Air Quality Research*, 13, 1448-1463.
- Http-1, <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc188.htm>, erişim tarihi 4 Şubat 2016.
- Http-2, [http://cografyaharita.com/turkiye\\_mulki\\_idare\\_haritalari3.html](http://cografyaharita.com/turkiye_mulki_idare_haritalari3.html), erişim tarihi, 23 Mayıs 2016.
- ILAC-G8, (1996), Guidelines on Assessment and Reporting of Compliance with Specification, Working Group of ILAC Committee 3, Netherland, 10.
- Kara, G., Bloemen, H., Öztürk, E.D, (2013), Konya İlinde Hava Kalitesinin Belirlenmesinde Pasif Örnekleme Metodunun Kullanılması, *Uluslararası Katılımlı Hava Kirliliği ve Kontrolü Sempozyumu-2013*, 609-618, 18-20 Eylül 2013, Eskişehir.
- Karaca, A., Türkmen, C., Arcak, S., Haktanır, K., (2009), Çayırhan Termik Santrali Emisyonlarının Yöre Topraklarının Bazı Ağır Metal ve Kükürt Kapsamlarına Etkilerinin Belirlenmesi, *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, 1 (1), 25-41.
- KTHEP, (2014), Kütahya Çevre Şehircilik İl Müdürlüğü, Kütahya İli Temiz Hava Eylem Planı,63 sayfa.
- KÇŞİM, (2015), Kütahya Çevre Şehircilik İl Müdürlüğü, İl Çevre Durum Raporu 2014, Kütahya, 184 sayfa.
- Keser, N., (2002), Kütahya’ da hava kirliliğine etki eden topografik ve iklimik faktörler, *Marmara Coğrafya Dergi*, 5, 69-100.
- Kırımhan, S., (2006), *Hava Kirliliği ve Kontrolü*, 1. Basım, Ankara.
- Kocaman, Ö., (2010), *Erzurum’da Pasif Örnekleme Yöntemiyle Alansal Hava Kalitesinin Tahmini*, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Erzurum.

- Lazono, A., Usero, J., Vanderlinden, E., Raez, J., Contreras, J., Navarrete, B., (2009), Air quality monitoring network design to control nitrogen dioxide and ozone, applied in Malaga, Spain, 93, 164-172.
- Lewne, M., Cyrus, J., Meliefste, K., Hoek, G., Brauer, M., Fischer, P., Gehring, U., Heinrich, J., Brunekreef, B., Bellander, T., (2004), Spatial variation in nitrogen dioxide in three European areas, *Science of the Total Environment*, 332, 217-230.
- Lin, C., Becker, S., Timmis, R., Jones, K.C., (2011), A new flow-through directional passive air sampler: design, performance and laboratory testing for monitoring ambient nitrogen dioxide, *Atmos. Pollut. Res*, 2, 1-8.
- Lozano, A., Usero, J., Vanderlinden, E., Raez, J., Contreras, J., Navarrete, B., (2009), Air quality monitoring network design to control nitrogen dioxide and ozone, applied in Malaga, Spain, *Microchemical Journal*, 93, 164-172.
- Makineci, E., Sevgi, O., (2005), Seyitömer termik santralının kuruma alanlarındaki karaçam yıllık halkalarına etkisinin araştırılması, *Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 2, 11-22.
- Manahan, S.E., (2000), *Environmental Science, Technology and Chemistry*, CRC Press LLC.
- Masters, G.M., (1991), *Introduction to Environmental Engineering and Science*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, N.J.
- Melkonyan, A., Kuttler, W., (2012), Long-term analysis of NO, NO<sub>2</sub> and O<sub>3</sub> concentrations in North Rhine-Westphalia, Germany, *Atmospheric Environment*, 60, 316-326.
- Meng, Q., Williams, R., Pinto, J.P., (2012), Determinants of the associations between ambient concentrations and personal exposure to ambient PM<sub>2.5</sub>, NO<sub>2</sub> and O<sub>3</sub> during DEARS, *Atmospheric Environment*, 63, 109-116.
- Moodley, K.G., Singh, S., Govender, S., (2011), Passive monitoring of nitrogen dioxide in urban air: A case study of Durban metropolis, South Africa, *Journal of Environmental Management*, 92, 2145-2150.
- Müezzinoğlu, A., (2000), 'Hava Kirliliği ve Kontrolünün Esasları', İzmir, Dokuz Eylül Üniversitesi Yayınları.

- Ozkurt, N., Sarı, D., Akalin, N., Hilmioğlu, B., (2013), Evaluation of the impact of SO<sub>2</sub> and NO<sub>2</sub> emissions on the ambient air- quality in the Çan-Bayramiç region of the northwest Turkey during 2007-2008, Science of the Total Environment, 456, 254-266.
- Özaslan, Ü., (2008), *Kocaeli Kentinde Hava Kirliliğine Neden Olan İnorganik Gaz Kirleticilerin Düzeylerinin, Dağılımlarının ve Kaynakların Belirlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Kocaeli.
- Özcan, H.K., Şahin, Ü., Bayat, C., Uçan, O.N., (2006), İstanbul İli Troposferik Ozon (O<sub>3</sub>) konsantrasyonlarının hücresele yapay sınır ağ yöntemiyle modellenmesi, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Dergisi, 21(2), 239-245.
- Özden, Ö., (2005) *Hava kalitesinin monitorlanmasında pasif örnekleyicilerin kullanılması*, Yüksek lisans tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Eskişehir.
- Özden, Ö., (2013), *Atmosferik Uçucu Organik Bileşiklerin Ölçümü için Pasif Örnekleyici Geliştirilmesi ve Kullanımı*, Doktora Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Eskişehir.
- Özden, Ö., Yay, O.D., Altuğ, H., Gaga, E., Demirel, G., Döğeroğlu, T., Örnektekin, S., Meliefste, K., Doorn, W., (2008), Eskişehir’ de Hava Kirliliği Ön Değerlendirme Çalışmalarının Pasif Örneklemeye Yöntemiyle Gerçekleştirilmesi, Hava Kirliliği ve Kontrolü Sempozyumu-2008, Hatay, 631-642.
- Özkan, M., Tuna, G., Altuğ, H., Elbir, T. ve Gaga, E. O., (2013), *Kütahya Bölgesindeki Termik Santrallerin Hava Kalitesine Katkılarının Belirlenmesi*, V. Hava Kirliliği ve Kontrolü Sempozyumu (HKK2013), Eskişehir, 725-734.
- Pekey, B., Özaslan, Ü., (2013), 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.
- Polat, N., Özden, Ö., Arı, A., Altuğ, H., Yay, O.D., Döğeroğlu, T., Gaga, E., (2015), ‘Kütahya’ da bazı inorganik bileşenlerin (NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> ve O<sub>3</sub>)

- mevsimsel ve alansal değişimlerinin incelenmesi, 6. Ulusal Hava Kirliliği ve Kontrolü Sempozyumu, Bildiriler Kitabı, İzmir, 397- 405.
- Russo, A., Trigo, R.M., Martins, H., Mendes, A.T., (2014), NO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub> and O<sub>3</sub> urban concentrations and its association with circulation weather types in Portugal, *Atmospheric Environment*, 89, 768-785.
- Saharma, S.K., Datta, A., Saud, T., Saxena, M., Mandal, T.K., Ahammed, Y.N., Arya, B.C., (2010), Seasonal variability of ambient NH<sub>3</sub>, NO, NO<sub>2</sub> and SO<sub>2</sub> over Delhi, *Journal of Environmental Sciences*, 22 (7), 1023-1028.
- Salem, A.A., Soliman, A.A., El-Haty, I.A., (2009), Determination of nitrogen dioxide, sülfür dioxide, ozone, and ammonia in ambient air using the passive sampling method associated with ion chromatographic and potentiometric analyses, *Air Quality Atmospheric Health*, 2, 133-145.
- Sanz, M.J., Calatayud, V., Pena, G.S., (2007), Measures of ozone concentrations using passive sampling in forests of South Western Europe, *Environmental Pollution*, 145, 620-628.
- SBTSHGM, (2010), Sağlık Bakanlığı Temel Sağlık Hizmetleri Genel Müdürlüğü, ‘Türkiye’ nin Hava Kirliliği ve İklim Değişikliği Sorunlarına Sağlık Açısından Yaklaşım’, 811.
- Schnelle, K.B., Brown, C.A., (2002), *Air Pollution Control Technology Handbook*, CRC Press, Boca Raton, Florida.
- Seinfeld, J.H., Pandis, S.N., (1998), *Atmospheric chemistry and physics: from air pollution to climate change*, J. Wiley, New York.
- TEMA, (2013), Türkiye Erozyonla Mücadele, Ağaçlandırma ve Doğal Varlıkları Koruma Vakfı, Termik Santral Etkileri Uzman Raporu: Konya-Karapınar Kapalı Havzası.
- Tırıs, M., Kalafatoğlu, E., Okutan, H., (1993), ‘ Hava Kirliliği Kaynakları ve Kontrolü’, Gebze, MAM, Kocaeli, 1-14, 256.
- TKİK (Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu), 2014, Kömür Sektör Raporu (Linyit), Ankara, 60 sayfa.
- TTKGM, (2015). Türkiye Taşkömürü Kurumu Genel Müdürlüğü, Taşkömürü Sektör Raporu, Mayıs-2015.

- Tuna, G., Altuğ, H., Elbir, T., Gaga, E., (2015), Kütahya' da hava kalitesi belirleme çalışmaları: emisyon envanteri ve hava kalitesi modelleme,6. Ulusal Hava Kirliliği ve Kontrolü Sempozyumu-2015, İzmir, 924-936.
- TÜBİTAK-112Y305, 2016, 'Kütahya'da Hava Kalitesi Belirleme Çalışmaları: Kaynakların Tespiti, Ölçümler ve Sağlık Riski Analizi, Proje Sonuç Raporu, 404 sayfa.
- UNIDO, (2009), United Nations Industrial Development Organization, Complying with ISO 17025, A practical guidebook for meeting the requirements of laboratory accreditation schemes based on ISO 17025: 2005 or equivalent national standards, Vienna.
- Vardoulakis, S., Lumberras, J., Solazzo, E., (2009), Comparative evaluation of nitrogen oxides and ozone passive diffusion tubes for wxposure studies, Atmospheric Environment, 43, 2509-2517.
- Vardoulakis, S., Solazzo, E., Lumberras, J., (2011), Intra-urban and Street scale variability of BTEX, NO<sub>2</sub> and O<sub>3</sub> in Birmingham, UK: Implications for exposure assessment, Atmospheric Environment, 45, 5069-5078.
- Yay, O.D., (2006), *Eskişehir ve Yakın Çevresinde Yüzey Ozon Dağılımının MM5-CAMx Modelleri Kullanılarak Belirlenmesi*, Doktora Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Eskişehir.
- Zeydan, Ö., Yıldırım, Y., (2013), Çatalağzı Enerji Havzasındaki Termik Santrallerden Kaynaklanan Emisyonların Belirlenmesi, Uluslararası Katılımlı V.Hava Kirliliği ve Kontrolü Sempozyumu, Eskişehir, 322- 330.
- Zhao, Y., Wang, S., Duan, L., Lei, Y., Cao, P., Hao, J., (2008), Primary air pollutant emissions of coal-fired power plants in China: Current status and future prediction, Atmospheric Environment, 42, 8442-8452.

## EKLER

### Ek-1. Kamu ve endüstriyel kuruluşlarına ait bilgiler

KOD	Numara	Sanayi	SO <sub>2</sub> (kg/sa)	NO <sub>2</sub> (kg/sa)	Yakıt
A	1	ETİ GÜMÜŞ A.Ş	0,001	0,380	Doğal gaz
E	2	KÜTAHYA ŞEKER FABRİKASI A.Ş	37,514	39,684	Linyit
F	3	MUTLU AKÜ VE MALZEMELERİ SAN. A.Ş	8,512	4,894	Petrokok+doğal gaz
H	4	AKDEMİR TOPRAK SAN. A.Ş	85,300	10,578	Linyit
I	5	AKYÜZ SÜT ÜRÜNLERİ GIDA SAN. VE TİC. LTD. ŞTİ. HİSARCIK ŞUBESİ	6,667	0,827	Linyit
L	6	AYDIN İNŞAAT TAAHHÜT TİC. A.Ş	0,018	5,815	Doğalgaz
N	7	DOĞUŞ ET VE SÜT MAMULLERİ SAN.	5,472	0,679	Linyit
O	8	EMET BOR İŞLETME MÜDÜRLÜĞÜ BORİK ASİT ÜRETİM TESİSİ	0,055	17,425	Doğal gaz
P	9	GENAXOİL PETROL ENERJİ MADENCİLİK DOĞALGAZ TAŞIMACILIK ALKOL SAN. VE TİC.LTD.ŞTİ.	4,453	1,277	Fuel-oil
S	10	H.G. ENERJİ ELEKTRİK ÜRETİMİ SAN. TİC. A.Ş. GEDİZ ŞUBESİ	0,096	30,252	Doğal gaz
U	11	KORKMAZLAR GIDA VE TAŞIMACILIK SAN. VE TİC.A.Ş	28,151	3,491	Linyit
DT	12	KÜMAŞ MANYEZİT SAN.A.Ş.TAVŞANLI İŞLETMESİ	0,015	4,611	Doğal gaz
AB	13	YAŞAR NİĞDELİOĞLU ÖZ ALTİNOVA GERİ DÖNÜŞÜM	0,500	0,062	Linyit
AC	14	ÖZÇINARLAR PETROL ÜRÜNLERİ GAZ KİM.TEM.TAŞ.İNŞ.TURZ.MAD.GIDA HAY.DAY.TÜK.MAL.TEKS.OTOMOTİV SAN.VE TİC.ŞTİ	0,507	0,146	Fuel-oil
AD	15	ÖZÜM GIDA SAN.VE TİC. A.Ş	1,250	0,155	Linyit
AJ	16	YÜNİSAN YÜN İPLİK İNŞAAT MALZ.SAN.VE TİC.LTD.ŞTİ.	25,000	3,100	Linyit
B	17	GÜRALLAR YAPI MALZ. ve KİMYA SAN. A.Ş	0,016	5,134	Doğal gaz
C	18	GÜROK TURİZM VE MADENCİLİK A.Ş	0,039	12,446	Doğal gaz
D	19	KÜMAŞ MANYEZİT SAN. A.Ş	1,251	41,433	Petrokok+Doğal gaz
G	20	YILDIZ ENTEGRE AĞAÇ SAN. VE TİC. A.Ş. KÜTAHYA ŞUBESİ	0,025	7,801	Doğal gaz
J	21	ALTIN ÇİNİ VE SERAMİK SAN. A.Ş	0,014	4,409	Doğal gaz
K	22	ASMAŞ AĞIR SANAYİ MALZEMELERİ İMALAT VE TİC. A.Ş	0,001	0,281	Doğal gaz

### Ek-1 (Devam). Kamu ve endüstriyel kuruluşlarına ait bilgiler

<b>KOD</b>	<b>Numara</b>	<b>Sanayi</b>	<b>SO<sub>2</sub> (kg/sa)</b>	<b>NO<sub>2</sub> (kg/sa)</b>	<b>Yakıt</b>
M	23	CEYLAN TEKSTİL APRE VE BOYA SAN.	0,014	4,445	Doğal gaz
R	24	GENPER MADENCİLİK SAN. VE TİC. LTD. ŞTİ	0,003	1,106	Doğal gaz
T	25	İSTANBUL MADEN VE KİMYASAL ÜRÜNLER TUR. SAN. VE TİC. LTD.ŞTİ	0,005	1,622	Doğal gaz
V	26	KROS OTOMOTİV SAN.VE TİC.A.Ş	0,002	0,747	Doğal gaz
Y	27	KÜTAHYA SERAMİK PORSELEN TURİZM A.Ş.	0,004	1,385	Doğal gaz
Z	28	MALTAŞ MADEN,KİMYA,MAKİNE,NAKLİYE,İNŞAAT,TAAHHÜT,AKARYAKIT SAN. VE TİC.LTD.ŞTİ.	0,031	9,693	Doğal gaz
AF	29	POLMAR OTOMOTİV SAN.VE TİC.A.Ş.	0,003	0,998	Doğal gaz
AG	30	ÜNSA MADENCİLİK TURİZM ENERJİ SERAMİK ORMAN ÜR. ELK.ÜRE.SAN.VE TİC.A.Ş.	0,002	0,770	Doğal gaz
AH	31	VİG METAL SAN.TİCLTD.ŞTİ.	0,003	1,092	Doğal gaz



Ek-2. Saha çalışması bilgi formu

GRUP NO:									
Örn. noktası no	Örn. noktası koordinatlar		Pasif örnekleyci no	Kör örnekleyci no	Örn. başlama tarih ve saati	Örn. bitiş ve saati	Örnekleme noktasının özellikleri (ağaç, direk, okul v.b.)	Bölgede önemli kaynak teşkil edebilecek faktörler	Açıklama
	x	y							
	Önceki:	Önceki:	NO <sub>2</sub> :	NO <sub>2</sub> :					
			O <sub>3</sub> :	O <sub>3</sub> :					
			Tenax: 62	Tenax:					
	Sonraki:	Sonraki:	A.K.:	A.K.:					
			POP:	POP:					
	Önceki:	Önceki:	NO <sub>2</sub> :	NO <sub>2</sub> :					
			O <sub>3</sub> :	O <sub>3</sub> :					
			Tenax:	Tenax:					
	Sonraki:	Sonraki:	A.K.:	A.K.:					
			POP:	POP:					

Ek-3. Kış mevsimi ölçüm sonuçları

<b>KIŞ KAMPANYASI- 20.01.14/04.02.14</b>							
Numara	Konsantrasyon( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )			Numara	Konsantrasyon( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )		
	O <sub>3</sub>	NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>		O <sub>3</sub>	NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>
1	50,15	15,16	38,75	56	92,03	5,04	119,68
2	50,84	4,50	71,14	57	91,56	9,04	112,51
3	72,84	3,49	34,43	58	84,21	5,22	110,95
4	133,83	4,34	61,94	59	70,45	4,43	103,02
5	27,08	22,30	49,59	60	55,31	16,76	86,04
6	80,41	15,79	90,42	61	58,92	22,87	97,51
7	58,50	2,16	94,87	62	36,97	24,12	97,37
8	46,73	4,37	73,41	63	58,63	14,48	41,92
9	60,95	19,91	66,11	64	38,21	9,52	35,77
10	13,64	16,50	84,66	65	45,76	8,00	64,43
11	46,08	4,16	84,99	66	65,53	30,98	107,04
12	55,59	3,13	80,06	67	56,26	23,08	88,99
13	60,58	3,75	72,03	68	47,43	13,81	101,74
14	31,49	22,42	78,46	69	48,51	8,03	34,79
15	27,33	19,03	98,58	70	48,04	4,89	24,72
16	90,29	4,66	97,22	71	99,78	7,68	36,19
17	59,31	15,89	129,50	72	36,90	5,42	37,81
18	63,88	10,78	125,16	73	63,31	3,81	37,89
19	28,62	6,30	91,98	74	125,41	1,95	49,29
20	26,73	35,04	93,47	75	72,58	2,72	67,45
21	39,52	17,48	99,31	76	83,13	4,55	64,82
22	78,45	5,06	79,44	77	73,53	9,20	50,70
23	109,32	2,62	38,72	78	82,25	4,81	77,35
24	66,88	1,77	56,00	79	85,89	2,80	61,82
25	39,98	2,11	26,80	80	121,10	3,64	84,88
27	14,41	25,22	101,49	81	76,24	3,19	42,76
28	12,59	14,95	102,40	82	96,54	8,89	81,49
29	50,38	12,76	45,77	83	63,66	10,84	93,30
30	28,98	12,89	100,29	84	44,13	12,93	82,30
31	39,70	8,34	97,31	85	71,83	15,24	73,33
32	55,30	5,78	118,62	86	56,47	5,72	80,04
33	49,29	4,58	74,04	87	76,78	24,39	34,19

*Ek -3(Devam). Kış mevsimi ölçüm sonuçları*

Numara	Konsantrasyon( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )			Numara	Konsantrasyon( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )		
	O <sub>3</sub>	NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>		O <sub>3</sub>	NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>
34	50,06	4,47	72,36	88	82,50	7,16	30,50
35	50,69	5,21	27,12	89	61,22	3,48	55,82
36	54,53	5,55	62,30	90	43,12	5,27	52,73
37	41,14	44,54	83,69	91	55,03	3,60	54,28
38	58,66	8,48	88,77	92	91,27	6,07	50,33
39	61,43	5,59	84,94	93	66,98	1,89	57,32
40	35,41	5,27	10,96	94	30,35	56,85	100,62
41	24,21	7,01	14,66	95	36,89	55,34	139,07
42	22,01	5,08	25,04	96	42,29	13,86	85,32
43	43,61	6,12	28,59	97	39,25	16,40	72,07
44	69,07	6,64	45,28	98	45,41	18,59	63,78
45	43,28	7,71	43,47	99	40,89	16,87	56,56
46	55,55	17,20	69,66	100	70,52	12,50	110,42
47	65,96	8,19	65,47	101	34,61	33,65	60,46
48	45,97	34,04	44,56	102	30,46	35,12	86,09
49	92,38	24,75	117,17	103	26,64	24,07	38,68
50	37,44	4,62	41,77	104	35,87	12,36	56,81
51	68,36	5,30	30,17	105	23,09	47,70	44,10
52	33,32	6,07	30,84	106	28,47	30,16	78,61
53	78,07	3,72	32,58	107	41,89	11,10	41,59
55	100,92	9,40	104,64	108	17,34	8,33	66,85

Ek -4. Yaz mevsimi ölçüm sonuçları

<b>YAZ KAMPANYASI- 02.06.14/16.06.14</b>							
Numara	Konsantrasyon( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )			Numara	Konsantrasyon( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )		
	O <sub>3</sub>	NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>		O <sub>3</sub>	NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>
1	61,86	12,30	31,57	56	105,70	3,74	62,00
2	86,20	1,65	62,92	57	176,07	3,37	93,74
3	150,84	2,41	58,71	58	110,35	4,64	111,11
4	77,66	2,33	76,25	59	105,38	3,15	56,41
5	58,04	3,68	61,31	60	81,58	3,93	58,81
6	93,73	2,26	62,69	61	100,58	5,31	47,83
7	72,77	2,29	60,86	62	83,24	10,24	46,72
8	64,60	5,80	42,43	63	55,20	5,82	48,64
9	83,21	7,50	64,97	64	59,44	6,54	37,34
10	46,56	8,32	51,41	65	55,12	2,59	63,13
11	52,75	2,17	57,89	66	97,75	2,27	82,06
12	71,40	2,35	42,03	67	138,10	2,25	61,61
13	96,92	2,25	75,90	68	87,11	2,71	59,44
14	56,91	6,66	83,11	69	66,43	2,57	32,86
15	62,59	8,66	41,75	70	74,09	2,22	27,41
16	74,87	1,78	73,74	71	85,21	2,66	27,01
17	70,21	2,36	73,60	72	66,72	2,74	23,67
18	72,31	2,41	62,19	73	93,35	2,70	25,89
19	54,57	3,30	80,18	74	106,84	1,69	33,55
20	49,38	7,20	73,29	75	73,01	2,35	43,03
21	61,17	3,23	66,27	76	107,55	2,28	44,19
22	95,69	1,62	69,02	77	88,62	2,18	48,69
23	80,70	1,47	50,77	78	153,40	3,45	54,44
24	95,65	1,26	57,73	79	125,29	1,98	49,09
25	82,12	1,33	58,78	80	107,55	1,69	64,06
27	57,44	4,68	67,21	81	117,90	1,80	47,25
28	104,04	3,61	39,56	82	148,76	3,02	104,36
29	137,48	2,78	55,35	83	57,94	3,00	102,06
30	62,69	8,38	29,00	84	49,41	3,38	58,31
31	60,34	2,76	37,39	85	93,06	7,28	65,47
32	61,33	2,12	96,87	86	99,63	1,89	57,09

*Ek -4(Devam). Yaz mevsimi ölçüm sonuçları*

Numara	Konsantrasyon( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )			Numara	Konsantrasyon( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )		
	O <sub>3</sub>	NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>		O <sub>3</sub>	NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>
33	81,92	1,86	67,37	87	98,80	7,85	31,09
34	74,88	1,84	59,95	88	109,13	6,53	34,29
35	73,12	1,69	40,02	89	102,10	2,31	44,49
36	71,44	1,74	63,47	90	88,46	2,23	41,41
37	70,72	6,33	84,33	91	89,88	2,43	46,76
38	167,13	2,83	80,92	92	110,67	1,95	39,06
39	101,58	3,50	55,56	93	86,65	1,57	44,65
40	50,89	2,01	21,61	94	52,48	16,32	47,41
41	56,57	2,14	17,37	95	136,12	12,43	58,40
42	55,66	1,50	37,84	96	73,23	3,03	64,73
43	67,59	1,73	37,90	97	50,20	5,25	71,44
44	82,23	2,85	48,00	98	64,73	3,82	62,36
45	59,51	2,73	48,78	99	68,10	4,20	42,63
46	70,29	5,01	79,78	100	103,45	8,60	55,44
47	84,72	3,79	76,33	101	54,19	13,99	40,65
48	86,02	7,67	79,43	102	55,53	21,36	30,38
49	115,41	11,81	86,56	103	70,43	13,87	26,51
50	69,48	5,44	41,48	104	50,41	12,33	34,05
51	77,53	10,84	58,17	105	53,60	21,12	43,45
52	64,64	11,73	47,81	106	81,77	17,58	44,50
53	77,17	3,21	68,14	107	68,16	8,90	29,00
55	94,79	3,34	92,89	108	51,90	3,71	63,72

**Ek- 5. Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği taslağında SO<sub>2</sub> için belirlenen hedef değerler (Anonim, 2008)**

Kirletici	Ortalama süre	Limit değer	Tolerans payı	Üst değerlendirme eşiği	Alt değerlendirme eşiği	Limit değere ulaşılacak tarih	Uyarı eşiği
SO <sub>2</sub>	saatlik  -insan sağlığının korunması için-	<b>350 µg/m<sup>3</sup></b>  (bir yılda 24 defadan fazla aşılmaz)	1.1.2014 tarihinde <b>150 µg/m<sup>3</sup></b> (limit değerinin %43'ü) ve 1.1.2019 tarihine kadar tolerans payı sıfırlanacak şekilde her 12 ayda bir eşit miktarda yıllık olarak azaltılır			1.Ocak 2019	<b>500 µg/m<sup>3</sup></b> (hava kalitesinin temsili bölgelerinde bütün bir “bölge” veya “alt bölgede” veya en azından 100 km <sup>2</sup> 'de- hangisi küçük ise - üç ardışık saatte ölçülür)
	<b>24 saatlik</b>  -insan sağlığının korunması için-	<b>125 µg/m<sup>3</sup></b>  (bir yılda 3 defadan fazla aşılmaz)	1.1.2014 tarihinde <b>125µg/m<sup>3</sup></b> (%100) ve 1.1.2019 tarihine kadar tolerans payı sıfırlanacak şekilde her 12 ayda bir eşit miktarda yıllık olarak azaltılır	24-saatlik limit değerinin %60'ı  ( <b>75 µg/m<sup>3</sup></b> bir yılda 3 defadan fazla aşılmaz)	24-saatlik limit değerinin %40 'ı  ( <b>50 µg/m<sup>3</sup></b> bir yılda 3 defadan fazla aşılmaz)		
	<b>yıllık ve kış dönemi</b> (1 Ekim den 31 Marta kadar)	<b>20 µg/m<sup>3</sup></b>		Kış dönemi limit değerinin %60'ı  ( <b>12 µg/m<sup>3</sup></b> )	Kış dönemi limit değerinin %40'ı  ( <b>8 µg/m<sup>3</sup></b> )	1 Ocak 2014	

**Ek-6. Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği taslağında NO<sub>x</sub> için belirlenen hedefdeğerler (Anonim, 2008)**

Kirletici	Ortalama süre	Limit değer	Tolerans payı	Üst değerlendirme eşiği	Alt değerlendirme eşiği	Limit değere ulaşılacak tarih	Uyarı eşiği
NO <sub>2</sub>	saatlik -insan sağlığının korunması için-	<b>200 µg/m<sup>3</sup></b> (bir yılda 18 defadan fazla aşılmaz)	1.1.2014 tarihinde <b>100 µg/m<sup>3</sup></b> (% 50) ve 1.1.2024 tarihine kadar tolerans payı sıfırlanacak şekilde her 12 ayda bir eşit miktarda yıllık olarak azaltılır	limit değerinin %70'i <b>(140 µg/m<sup>3</sup></b> bir yılda 18 defadan fazla aşılmaz)	limit değerinin %50'si <b>(100 µg/m<sup>3</sup></b> bir yılda 18 defadan fazla aşılmaz)	1.Ocak 2024	<b>500 µg/m<sup>3</sup></b> (hava kalitesinin temsili bölgelerinde bütün bir "bölge" veya "alt bölgede" veya en azından 100 km <sup>2</sup> 'de hangisi küçük ise - üç ardışık saatte ölçülür)
	yıllık -insan sağlığının korunması için-	<b>40µg/m<sup>3</sup></b>	1.1.2014 tarihinde <b>20 µg/m<sup>3</sup></b> (% 50) ve 1.1.2024 tarihine kadar tolerans payı sıfırlanacak şekilde her 12 ayda bir eşit miktarda yıllık olarak azaltılır	limit değerinin %80'i <b>(32 µg/m<sup>3</sup>)</b>	limit değerinin %65'i <b>(26 µg/m<sup>3</sup>)</b>	1.Ocak 2024	
NO <sub>x</sub>	yıllık -vejetasyonun korunması için-	<b>30 µg/m<sup>3</sup></b>	-	limit değerinin %80'i <b>(24 µg/m<sup>3</sup>)</b>	limit değerinin %65'i <b>(19,5 µg/m<sup>3</sup>)</b>	1 Ocak 2014	

**Ek-7. Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği taslağında O<sub>3</sub> için belirlenen hedefdeğerler (Anonim, 2008)**

<b>Hedef</b>	<b>Ortalama Süre</b>	<b>2022 için Hedef değer <sup>1</sup></b>	<b>Uzun Vadeli hedef</b>
İnsan sağlığının korunması	Bir yılda maksimum günlük 8 saatlik ortalama	<b>120 µg/m<sup>3</sup></b> değeri üç yıllık ortalama alındığında bir yılda 25 günden daha fazla süre boyunca aşılmayacaktır <sup>2</sup> (b)	<b>120 µg/m<sup>3</sup></b>
Vejetasyonun korunması	Mayıs ayından Temmuz ayna kadar 1 saatlik değerlerden hesaplanacak AOT40	Beş yıllık ortalaması <b>18 000 µg/m<sup>3</sup>·saat</b> (b)	<b>6 000 µg/m<sup>3</sup>·saat</b>

(a) Hedef değerler ile uyumluluk bu yıldan itibaren değerlendirilecektir. Bir başka ifade ile verilerin, takip eden üç veya beş yıl sonunda uyumluluğun hesaplamasında kullanılacağı ilk yıl 2022'dir.

(b) Eğer üç veya beş yıllık ortalamalar belirlenemiyorsa yıllık verilerin ardışık ve tam seti bazında, hedef değerler ile uyumluluğu kontrol etmek için gerekli minimum yıllık veriler aşağıdaki gibidir;

- insan sağlığının korunmasında hedef değer için bir yıllık geçerli veri
- vejetasyonun korunmasında hedef değer için üç yıllık geçerli veri

<sup>1</sup> Hedef değerler ile uyumluluk bu yıldan itibaren değerlendirilecektir. Bir başka ifade ile verilerin, takip eden üç veya beş yıl sonunda uyumluluğun hesaplamasında kullanılacağı ilk yıl 2022'dir.

<sup>2</sup> Eğer üç veya beş yıllık ortalamalar belirlenemiyorsa yıllık verilerin ardışık ve tam seti bazında, hedef değerler ile uyumluluğu kontrol etmek için gerekli minimum yıllık veriler aşağıdaki gibidir;