



**İSTANBUL'UN HAVA KALİTESİNİN
ZAMANSAL VE ALANSAL
DEĞERLENDİRİLMESİ**

Mualla AYDOĞAN

**Yüksek Lisans Tezi
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı
Çevre Bilimleri Bilim Dalı
Prof. Dr. Hanefi BAYRAKTAR
2019
Her hakkı saklıdır**

**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**İSTANBUL'UN HAVA KALİTESİNİN ZAMANSAL VE ALANSAL
DEĞERLENDİRİLMESİ**

Mualla AYDOĞAN

**ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
Çevre Bilimleri Bilim Dalı**

**ERZURUM
2019**

Her hakkı saklıdır



TEZ ONAY FORMU

İSTANBUL'UN HAVA KALİTESİNİN ZAMANSAL VE ALANSAL
DEĞERLENDİRİLMESİ

Prof.Dr. Hanefi BAYRAKTAR danışmanlığında, Mualla AYDOĞAN tarafından hazırlanan bu çalışma, 27/08/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı Çevre Bilimleri Bilim Dalı'nda yüksek lisans tezi olarak **oybirliği** ile kabul edilmiştir.

Başkan: Prof. Dr. Hanefi BAYRAKTAR

İmza :

Üye : Prof. Dr. Yalçın Kemal BAYHAN

İmza :

Üye : Dr. Öğr. Üyesi İbrahim CENGİZ

İmza :

Yukarıdaki sonuç;

Enstitü Yönetim Kurulu'nun **26.09/2019** tarih ve **.38.../106....** nolu kararı ile onaylanmıştır.

Prof. Dr. Mehmet KARAKAN
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildiriş, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

İSTANBUL'UN HAVA KALİTESİNİN ZAMANSAL VE ALANSAL DEĞERLENDİRİLMESİ

Mualla AYDOĞAN

Atatürk Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı
Çevre Bilimleri Bilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Hanefi BAYRAKTAR

Hava kirliliğindeki artışa bağlı olarak dünyadaki hava kalitesi giderek kötüleşmektedir. Bu anlamda bölgesel olarak kirleticilerin kaynağı, atmosferde bulunma yüzdeleri ve süreleri göz önüne alınarak hava kalitesi tayin edilebilir. Bu çalışmada İstanbul ilinde bulunan 9 adet hava izleme istasyonundan elde edilen veriler yardımıyla kirletici parametrelerin (SO₂, PM₁₀, CO ve NO₂) 11 yıllık alansal analizi yapılmış, zamana bağlı olarak konsantrasyon değişimleri izlenmiş ve istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Çalışmada uygulanan yöntem Kriging metodudur. En çok kirliliğe sahip olan Esenyurt, Aksaray ve Göztepe gibi İstanbul'un merkezi kesimlerinde yoğun trafik, kentsel dönüşüm ve yerleşim yerlerinin çoğalmasa gibi nedenler ile kirliliğin arttığı görülmektedir. Diğer bir yandan Sarıyer, Silivri, Şile ve Adalar merkeze uzak ve az nüfusa sahip ilçelerde havanın daha temiz olduğu kabul edilmektedir. Yapılan çalışma 2007 ve 2017 yıllarını kapsamaktadır. Günümüze yaklaştıkça ölçülen kirletici parametrelerde azalma olduğu görülmektedir.

2019, 109 sayfa

Anahtar Kelimeler: Hava kirliliği, kriging, alansal, istatistik, zamansal, mevsimsel konsantrasyon, İstanbul

ABSTRACT

Master of Science Thesis

TEMPORAL AND SPATIAL EVALUATION OF AIR QUALITY IN İSTANBUL

Mualla AYDOĞAN

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

Supervisor: Prof. Dr. Hanefi BAYRAKTAR

Air quality in the world is gradually decreasing due to the increase in air pollution. In this sense, air quality can be determined by taking into account the source of the pollutants, percentages and duration of the atmosphere in the region. In this study, spatial analysis of the pollutant parameters (SO₂, PM₁₀, CO ve NO₂) was carried out with the help of data obtained from 9 air monitoring stations in Istanbul and concentration changes were monitored and statistically evaluated. The method applied in this study is kriging method. In the central parts of Istanbul such as Esenyurt, Aksaray and Göztepe have the most air pollution that caused by urban transformation increased traffic and civil settlement. On the other hand parts like Sarıyer, Silivri, Şile and Adalar are considered that they have relatively less air pollution than the others. The study includes the years 2007 and 2017. As we approach today there is a decrease in the measured pollutant parameters.

2019, 109 pages

Keywords: Air pollution, kriging, areal, statistical, temporally, seasonal, concentration, 1stanbul

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleőtirilmesinde eğitim dönemim boyunca değerli bilgilerini benimle paylaőan ve bana yol gösteren değerli danışman hocam Sayın Prof. Dr. Hanefi BAYRAKTAR'a, çalıőmam boyunca tüm zorluklara benimle göğüs geren ve hayatımın her evresinde de bana destek olan sevgili aileme, her konuda arkamda olduğunu bildiğim ve tez çalıőmamda da yine benden yardımını esirgemeyen amcam Sayın Doç. Dr. Mehmet Nuri AYDOĞAN'a ve yine çalışma sremde sürekli beni motive eden arkadaőlarım Saliha DAL ve Ebru SAĞLAR'a sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Mualla AYDOĞAN

Eylül, 2019

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ ve KURAMSAL TEMELLER.....	3
2.1. Hava Kirliliği.....	3
2.2. Hava Kirliliği Kaynakları	3
2.2.1. Alansal kaynaklar	3
2.2.2. Çizgisel kaynaklar	4
2.2.3. Noktasal kaynaklar	5
2.3. Hava Kirleticiler	6
2.3.1. Karbon monoksit (CO).....	7
2.3.2. Kükürt oksitleri (SO _x)	7
2.3.3. Azot oksitler (NO _x)	8
2.3.4. Hidrokarbonlar (HC)	9
2.3.5. Asılı parçacıklar	9
2.3.6. Diğer önemli hava kirleticiler;	10
2.4. Kentsel Hava Kirliliği	12
2.4.1. Kentlerde şehirleşmenin hava kirliliğine etkisi	13
2.4.2. Kentlerde endüstrileşmenin hava kirliliğine etkisi	14
2.4.3. Kentlerde meteorolojik parametrelerin hava kirliliğine etkisi	15
2.4.4. Kentlerdeki sosyo-ekonomik yapının hava kirliliğine etkisi.....	16
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	18
3.1. Araştırma Bölgesi.....	18
3.1.1. Türkiye	18
3.1.2. İstanbul	19

3.1.3. İstanbul'un hava kirletici kaynakları	22
3.1.4. İstanbul'un hava kirleticileri	26
3.2. Kriging Yöntemi.....	28
3.2.1. Verilerin elde edilmesi	29
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA.....	32
4.1. Hava Kirleticilerinin İstatistiksel Analizi	32
4.1.1. Kükürt dioksit (SO ₂).....	33
4.1.2. Partikül madde (PM ₁₀).....	38
4.1.3. Karbon monoksit (CO).....	42
4.1.4. Azot dioksit (NO ₂).....	47
4.2. Hava Kirleticilerinin Zamansal Analizi	50
4.2.1. Kükürt dioksit (SO ₂).....	51
4.2.4. Partikül Madde (PM ₁₀).....	53
4.2.3. Karbon monoksit (CO).....	57
4.2.4. Azot dioksit (NO ₂).....	58
4.3. Hava Kirleticilerinin Mevsimsel Analizi	59
4.3.1. Kükürt dioksit (SO ₂).....	60
4.3.2. Partikül madde (PM ₁₀).....	61
4.3.3. Karbon monoksit (CO).....	62
4.3.4. Azot dioksit (NO ₂).....	63
4.4. Hava Kirleticilerinin Alansal Analizi	64
4.4.1. Kükürt dioksit (SO ₂).....	64
4.4.2. Partikül madde (PM ₁₀).....	70
4.4.3. Karbon monoksit (CO).....	76
4.4.4. Azot dioksit (NO ₂).....	82
5. SONUÇ	88
KAYNAKLAR.....	97
EKLER	101
EK 1.....	101
ÖZGEÇMİŞ	110

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

%	: Yüzde
μ	: Mikro
μg	: Mikrogram
μm	: Mikrometre
CH_4	: Metan
CO	: Karbon monoksit
CO_2	: Karbon dioksit
H_2S	: Hidrojen sülfür
H_2SO_4	: Sülfürik asit
HC	: Hidrokarbon
HNO_3	: Nitrik asit
m^3	: Metreküp
NO	: Azot monoksit
NO_2	: Azot dioksit
NO_x	: Azot oksit
O_3	: Ozon
PM	: Partikül madde
PM_{10}	: 10 μm ve altındaki partikül madde konsantrasyonu
$\text{PM}_{2.5}$: 2.5 μm ve altındaki partikül madde konsantrasyonu
SO_2	: Kükürt dioksit

Kısaltmalar

APM	: Askıda parikül madde
EPA	: Çevre Koruma Ajansı (A.B.D.)
OECD	: Ekonomik işbirliği teşkilatı

TÜİK : Türkiye İstatistik Kurumu
WHO : Dünya Sağlık Örgütü



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Alansal kaynaklı hava kirliliği.....	4
Şekil 2.2. Çizgisel kaynaklı hava kirliliği.....	5
Şekil 2.3. Noktasal kaynaklı hava kirliliği.....	6
Şekil 3.1. Türkiye haritası.....	18
Şekil 3.2. İstanbul haritası.....	20
Şekil 3.3. İstanbul’da her ilçede kişi başına düşen yeşil alan miktarı	21
Şekil 3.4. İstanbul’da her ilçede kişi başına düşen park bazında yeşil alan miktarı	21
Şekil 3.5. İstanbul hava kalite istasyonları.....	30
Şekil 4.1. İstanbul’un 11 yıllık SO ₂ (µg/m ³) kirliliğinin zamansal eğrisi.....	51
Şekil 4.2. Alibeyköy ve Esenler İstasyonu 11 yıllık SO ₂ (µg/m ³) zamansal eğrisi	52
Şekil 4.3. Kadıköy ve Kartal İstasyonu 11 yıllık SO ₂ (µg/m ³) zamansal eğrisi	53
Şekil 4.4. İstanbul’un 11 yıllık PM ₁₀ (µg/m ³) kirliliğinin zamansal eğrisi.....	53
Şekil 4.5. Aksaray ve Alibeyköy İstasyonu 11 yıllık PM ₁₀ (µg/m ³) zamansal eğrisi	54
Şekil 4.6. Beşiktaş ve Kartal İstasyonu 11 yıllık PM ₁₀ (µg/m ³) zamansal eğrisi.....	55
Şekil 4.7. İstasyonların 11 yıllık PM ₁₀ (µg/m ³) değişim eğrileri (devam).....	55
Şekil 4.7. İstasyonların 11 yıllık PM ₁₀ (µg/m ³) değişim eğrileri	56
Şekil 4.8. İstanbul’un 11 yıllık CO (µg/m ³) kirliliğinin zamansal eğrisi.....	57
Şekil 4.9. Kadıköy ve Esenler İstasyonu 11 yıllık CO (µg/m ³) zamansal eğrisi	58
Şekil 4.10. İstanbul’un 11 yıllık NO ₂ (µg/m ³) kirliliğinin zamansal eğrisi.....	58
Şekil 4.11. Alibeyköy ve Esenler İstasyonu 11 yıllık NO ₂ (µg/m ³) zamansal eğrisi	59
Şekil 4.12. İstanbul İlinin ilkbahar ve yaz mevsiminde SO ₂ (µg/m ³) konsantrasyon eğrisi.....	60
Şekil 4.13. İstanbul İlinin sonbahar ve kış mevsiminde SO ₂ (µg/m ³) konsantrasyon eğrisi.....	60
Şekil 4.14. İstanbul İlinin ilkbahar ve yaz mevsiminde PM ₁₀ (µg/m ³) konsantrasyon eğrisi.....	61

Şekil 4.15. İstanbul İlinin sonbahar ve kış mevsiminde PM ₁₀ (µg/m ³) konsantrasyon eğrisi.....	61
Şekil 4.16. İstanbul İlinin ilkbahar ve yaz mevsiminde CO (µg/m ³) konsantrasyon eğrisi.....	62
Şekil 4.17. İstanbul İlinin sonbahar ve kış mevsiminde CO (µg/m ³) konsantrasyon eğrisi.....	62
Şekil 4.18. İstanbul İlinin ilkbahar ve yaz mevsiminde NO ₂ (µg/m ³) konsantrasyon eğrisi.....	63
Şekil 4.19. İstanbul İlinin sonbahar ve kış mevsiminde NO ₂ (µg/m ³) konsantrasyon eğrisi.....	63
Şekil 4.20. İstanbul İlinin 2007 ve 2008 yılı SO ₂ (µg/m ³) konsantrasyonu.....	64
Şekil 4.21. İstanbul İlinin 2009 ve 2010 yılı SO ₂ (µg/m ³) konsantrasyonu.....	65
Şekil 4.22. İstanbul İlinin 2011 ve 2012 yılı SO ₂ (µg/m ³) konsantrasyonu.....	66
Şekil 4.23. İstanbul İlinin 2013 ve 2014 yılı SO ₂ (µg/m ³) konsantrasyonu.....	67
Şekil 4.24. İstanbul İlinin 2015 ve 2016 yılı SO ₂ (µg/m ³) konsantrasyonu.....	68
Şekil 4.25. İstanbul İlinin 2017 yılı SO ₂ (µg/m ³) konsantrasyonu	69
Şekil 4.26. İstanbul İlinin 2007 ve 2008 yılı PM ₁₀ (µg/m ³) konsantrasyonu.....	70
Şekil 4.27. İstanbul İlinin 2009 ve 2010 yılı PM ₁₀ (µg/m ³) konsantrasyonu.....	71
Şekil 4.28. İstanbul İlinin 2011 ve 2012 yılı PM ₁₀ (µg/m ³) konsantrasyonu.....	72
Şekil 4.29. İstanbul İlinin 2013 ve 2014 yılı PM ₁₀ (µg/m ³) konsantrasyonu.....	73
Şekil 4.30. İstanbul İlinin 2015 ve 2016 yılı PM ₁₀ (µg/m ³) konsantrasyonu.....	74
Şekil 4.31. İstanbul İlinin 2017 yılı PM ₁₀ (µg/m ³) konsantrasyonu	75
Şekil 4.32. İstanbul İlinin 2007 ve 2008 yılı CO (µg/m ³) konsantrasyonu.....	76
Şekil 4.33. İstanbul İlinin 2009 ve 2010 yılı CO (µg/m ³) konsantrasyonu.....	77
Şekil 4.34. İstanbul İlinin 2011 ve 2012 yılı CO (µg/m ³) konsantrasyonu.....	78
Şekil 4.35. İstanbul İlinin 2013 ve 2014 yılı CO (µg/m ³) konsantrasyonu.....	79
Şekil 4.36. İstanbul İlinin 2015 ve 2016 yılı CO (µg/m ³) konsantrasyonu.....	80
Şekil 4.37. İstanbul İlinin 2017 yılı CO (µg/m ³) konsantrasyonu	81
Şekil 4.38. İstanbul İlinin 2007 ve 2008 yılı NO ₂ (µg/m ³) konsantrasyonu	82
Şekil 4.39. İstanbul İlinin 2009 ve 2010 yılı NO ₂ (µg/m ³) konsantrasyonu	83
Şekil 4.40. İstanbul İlinin 2011 ve 2012 yılı NO ₂ (µg/m ³) konsantrasyonu.....	84
Şekil 4.41. İstanbul İlinin 2013 ve 2014 yılı NO ₂ (µg/m ³) konsantrasyonu	85

Şekil 4.42. İstanbul İlinin 2015 ve 2016 yılı NO ₂ (µg/m ³) konsantrasyonu	86
Şekil 4.43. İstanbul İlinin 2017 yılı NO ₂ (µg/m ³) konsantrasyonu.....	87
Şekil 5.1. Aksaray İstasyonu kirletici konsantrasyonlarının zamansal grafiği	91
Şekil 5.2. Alibeyköy İstasyonu kirletici konsantrasyonlarının zamansal grafiği	92
Şekil 5.3. Beşiktaş İstasyonu kirletici konsantrasyonlarının zamansal grafiği.....	92
Şekil 5.4. Esenler İstasyonu kirletici konsantrasyonlarının zamansal grafiği	93
Şekil 5.5. Kadıköy İstasyonu kirletici konsantrasyonlarının zamansal grafiği.....	94
Şekil 5.6. Ümraniye İstasyonu kirletici konsantrasyonlarının zamansal grafiği	94
Şekil 5.7. Kartal İstasyonu kirletici konsantrasyonlarının zamansal grafiği	95
Şekil 5.8. Sarıyer İstasyonu kirletici konsantrasyonlarının zamansal grafiği.....	95
Şekil 5.9. Üsküdar İstasyonu kirletici konsantrasyonlarının zamansal grafiği.....	96

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. kükürt oksit ve azot oksit emisyon oluşum tahminleri	8
Çizelge 2.2. Atmosferde bulunan gaz halindeki bileşiklerin sınıflandırılması.....	10
Çizelge 4.1. Aksaray ve Alibeyköy İstasyonu SO ₂ (µg/m ³) istatistiksel analizi	33
Çizelge 4.2. Beşiktaş ve Esenler İstasyonu SO ₂ (µg/m ³) istatistiksel analizi	34
Çizelge 4.3. Kadıköy ve Ümraniye İstasyonu SO ₂ (µg/m ³) istatistiksel analizi	35
Çizelge 4.4. Kartal ve Sarıyer İstasyonu SO ₂ (µg/m ³) istatistiksel analizi	36
Çizelge 4.5. Üsküdar İstasyonu ve İstanbul'un genel SO ₂ (µg/m ³) istatistiksel analizi.....	37
Çizelge 4.6. Aksaray ve Alibeyköy İstasyonu PM ₁₀ (µg/m ³) istatistiksel analizi	38
Çizelge 4.7. Beşiktaş ve Esenler İstasyonu PM ₁₀ (µg/m ³) istatistiksel analizi	39
Çizelge 4.8. Kadıköy ve Ümraniye İstasyonu PM ₁₀ (µg/m ³) istatistiksel analizi.....	40
Çizelge 4.9. Kartal ve Sarıyer İstasyonu PM ₁₀ (µg/m ³) istatistiksel analizi	41
Çizelge 4.10. Üsküdar İstasyonu ve İstanbul'un genel PM ₁₀ (µg/m ³) istatistiksel analizi.....	42
Çizelge 4.11. Aksaray ve Alibeyköy İstasyonu CO (µg/m ³) istatistiksel analizi	43
Çizelge 4.13. Kadıköy ve Ümraniye İstasyonu CO (µg/m ³) istatistiksel analizi.....	45
Çizelge 4.14. Sarıyer ve Üsküdar İstasyonu CO (µg/m ³) istatistiksel analizi	46
Çizelge 4.15. İstanbul'un genel CO (µg/m ³) istatistiksel analizi.....	46
Çizelge 4.16. Aksaray ve Alibeyköy İstasyonu NO ₂ (µg/m ³) istatistiksel analizi.....	47
Çizelge 4.17. Beşiktaş ve Esenler İstasyonu NO ₂ (µg/m ³) istatistiksel analizi	48
Çizelge 4.18. Kadıköy ve Ümraniye İstasyonu NO ₂ (µg/m ³) istatistiksel analizi	49
Çizelge 4.19. Kartal İstasyonu ve İstanbul'un genel NO ₂ (µg/m ³) istatistiksel analizi.....	50

1. GİRİŞ

Hava kirliliği ülkemizde artık önemli bir sorun. Büyük şehirler bunu daha da belirgin yaşamaktadır, İstanbul'da bunun bir örneği. İstanbul'da hızlı nüfus artışı, gelişen endüstri, ısınma ihtiyacı (kış mevsimlerinde kontrolsüz ve kalitesiz yakıt kullanımı) ve yoğun trafikle birlikte özellikle de 1980'li yıllardan bu yana önemli ölçüde hava kirliliği sorunları meydana gelmiştir. Ayrıca İstanbul'da yoğun nüfus beraberinde gecekondulaşmaya ve daha fazla kalitesiz yakıt tüketimine sebebiyet vermiştir hal böyle olunca İstanbul'un hava kalitesi de istenilen bir seviyede değildir.

2018 yılı nüfus sayımı sonuçlarına göre İstanbul 15 milyonu geçen nüfusuyla bir metropol şehirdir ve bu şehirde yaşanan hava kirliliği ciddi boyutlara ulaşmış durumdadır. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Türkiye'de hava kalitesini izlemek amacıyla istasyonlar oluşturmuş ve yıldan yıla bu istasyonların sayılarını artırmıştır. İstanbul'da istasyon raporlarından alınan hava kirliliği verilerine bakıldığı zaman; Esenyurt, İstanbul'un en yüksek hava kirliliğinin yaşandığı bölgedir. Yılın büyük çoğunluğunda insanlar burada maalesef kirli havayı solumak zorundadır. Yine Şirinevler, Aksaray, Başakşehir ve Göztepe de Esenyurt'u takip ediyor.

Hava kirliliğinin İstanbul'da özellikle 1980'li yılların sonlarından 1990'lı yılların ortalarına doğru birçok kez sınır değerlerin üzerine çıktığı görülmüştür, hatta bazı günlerde alarm seviyelerini bile geçip ciddi bir düzeye çıkmıştır. Örneğin Ocak 1993'te İstanbul'da SO₂ seviyesinin 4000 µg/m³'ü ve APM'nin ise 1400 µg/m³'ü aştığı zamanlar vardır. Önemli olan konu ise bu kirliliğin devam edip etmemesidir.

İstanbul'un hava kirliliği, binlerce ulaşım aracı, on binlerce işyeri (büyük-küçük işletmeler, alışveriş merkezleri vs.), denizden ve karadan oluşan atık gazların varlığı, yükseklik ve meteorolojik parametreler gibi başlıca etkenlere bağlı olabilir. Ayrıca atmosferde meydana gelen hava kirliliği konsantrasyonları, kirleticilerin taşınımı ve bölgesel emisyonlar ile bağlantılıdır. Sonuç olarak İstanbul'da hava kalitesinin iyi bir

şekilde incelenmesi ve gerekli önlemlerin alınması çok önemlidir. Özellikle hava kalitesi yönetmeliğinin devreye sokulması; kısa vadede gerçekçi çözümlerine daha çok öncelik verilmesi, enerji tasarrufu, toplu taşımanın ve raylı sistemin geliştirilmesi; uzun vadede ise kentsel dönüşümün devletin sıkı kontrolü altında yapılması ve temiz teknolojilerin kullanılması şarttır. Bu çalışmada İstanbul'da hava kirliliği seviyelerinin 2007-2017 yılları arasında değişimi incelenmiş ve kriging yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir. Çalışmada, İstanbul'da 2007 yılı itibari ile değişmeye başlayan emisyon paternine bağlı olarak şehirde ortaya çıkan hava kirliliğine değineceğiz.



2. KAYNAK ÖZETLERİ ve KURAMSAL TEMELLER

2.1. Hava Kirliliği

Bir havaya temiz diyebilmemiz için havada azot, oksijen ve diğer önemli gazların belirli düzeyde bulunması gerekir. Eğer bu gazlar yeterli oranlarda bulunmaz ise veya havadaki miktarları değişirse o hava kirli kabul edilir. Bu durumda bileşiklerin belirli oranda canlı ve cansız her şeye zarar verecek sürede atmosferde kalması hava kirliliğidir (Müezzinoğlu 2000). Başka bir şekilde de tanımlarsak eğer; gaz, sıvı ve katı fazında bulunan bileşiklerin canlıların hayatına ve kurulu şekildeki ekolojik dengeye zarar verecek boyutta ve yine sürede atmosferde bulunması durumudur (Tünay ve Alp 1996). o şekilde genel olarak iki alt grupta incelenir.

2.2. Hava Kirliliği Kaynakları

Hava kirliliği birçok kaynaktan oluşabilir ama bu kaynaklar ya doğal kaynaktır ya da insanların faaliyetleri sonucu oluşmuştur. İnsan etkisiyle oluşan hava kirliliği; gaz ve toz halindeki kirleticilerin atmosferde doğrudan ya da dolaylı olarak reaksiyona girmesiyle olur. Eğer doğal yollarla oluşuyorsa; volkanlar, tozlar, orman yangınları gibi durumlarda direkt olarak atmosfere verilmesiyle olur. İnsan faaliyetleri sonucu oluşan kirliliği üç gruba ayırmak mümkündür.

2.2.1. Alansal kaynaklar

Alansal kaynaklar içinde evsel ısınma sonucu oluşan kirlilik çok önemlidir. İstanbul'da 2007, 2008 ve 2009 yıllarına bakıldığında daha çok fosil yakıtların kullanıldığı (yaygın olarak kömür ve petrol gibi) ve doğalgaz kullanımının çok düşük olduğu görülür zamanla doğalgaz kullanımı artmış ve evsel ısınma kaynaklı kirlilik seviyesi azalmıştır. Bu yüzden oluşan alansal kirlilikte evsel ısınmada kullanılan kömürün türü çok çok önemlidir.



Şekil 2.1. Alansal kaynaklı hava kirliliği

2.2.2. Çizgisel kaynaklar

Çizgisel kaynaklar genel olarak bir çizgi boyunca devam eden kirliliklerden bahseder ve ulaştırma kaynaklıdır (kara, deniz vb.). bunlar içerisinde en önemli olanı yolcu ve yük taşıyan araçlardır. Çünkü bu tür araçlar; benzinli, mazotlu ve gaz tribünlü içten yanmalı motorla çalışmaktadır ve oluşturduğu kirlilik ciddi boyuttadır. Çizgisel kaynaklardan yanma sonucu meydana gelen; karbon monoksit (CO), azot oksitler (NO_x), kükürt oksitler (SO_x), hidrokarbonlar (HC) ve partiküler madde (PM) gibi kirletici türleri atmosfere verilir (Şen 1996). Ama bu kirleticiler içerisinde en çok oluşan karbon monoksit, hidrokarbon ve azot oksit kirliliğidir. Örneğin, karbon monoksit üreten başlıca kirletici kaynaklar arasında motorlu araçlar %66 ile birinci sıradadır. Ayrıca motorlu araçlar, %12 ile en yüksek hidrokarbon emisyonunu ve %6 ile de en yüksek azot oksit kirliliğini oluştururlar. Bu kirleticilerin yanı sıra özellikle benzinli otomobillerin neden olduğu; kurşun, arsenik ve aldehit gibi motorlu araç emisyonları da çok önemli bir kısmı oluşturur (İncecik vd 1994).



Şekil 2.2. Çizgisel kaynaklı hava kirliliği

2.2.3. Noktasal kaynaklar

Bu kaynaklar; genellikle sabit bir noktadan çıkan, kirletici konsantrasyonu yüksek ve tehlikeli boyutta olan sanayi ve enerji santralleridir. Bu tür işletim yerleri, üretimi sağlamak için gerekli olan enerjiyi kullandıkları yakıttan (petrol, kömür vb.) elde etmektedir devamında ise harcanan yakıt atmosfere kirletici olarak salınmaktadır. Salınan bu kirleticiler o sanayi bölgesini ciddi boyutta etkiler ve kanserojen alan oluşturur. Çünkü çoğu işletme yerlerinde baca gazı filtre uygulaması yok yine çoğu fabrika hava kalitesi yönetmeliğinden habersiz, durum böyle olunca havaya salınan kirleticilerde yüksek konsantrasyonda olmuştur. Ayrıca katı atık deponi bölgelerinde (sahalarında), fırınlarda ve açık arazide atıkların yakılması sonucu da yine atmosfere kirletici verilir. Doğaya atılan Benzin ve türevleri, boya maddeleri ve kimyasallar, kuru temizleme çözeltileri gibi organik maddelerin buharlaşmasından noktasal olarak kirlilik oluşmaktadır.



Şekil 2.3. Noktasal kaynaklı hava kirliliği

Bu kaynak sınıflandırmasının dışında kalan hava kirleticileri, temel oluşum şekilleri itibariyle de gruplandırılır. Kirleticilerin ne olduğunu anlamaya yönelik daha etkin olan bu tür bir sınıflandırma da motorlu araçlar, endüstriyel tesisler, enerji birimleri ve konut ısıtılması ile meydana gelen kirlilik bu sınıflandırmanın ana elemanları olarak kabul edilir.

2.3. Hava Kirleticiler

Kirleticiler oluşum şekline göre birincil ve ikincil kirletici olarak ikiye ayrılır. Eğer bir kirletici kaynaktan atmosfere doğrudan iletilmişse birincil kirletici durumundadır. Ama atmosferde var olan doğal bileşenler ile birincil kirleticiler atmosferik özellikler yardımıyla kimyasal reaksiyona girip kirletici oluşturuyorsa bu ikincil kirletici olur ((ozon (O_3), PAN (peroksi asetil nitrat) ve PBN (peroksibenzol nitrat)). İkincil kirleticilerin meydana gelmesinde fotokimyasal reaksiyonlar önemlidir. Hava kirliliğinde, önem ve kaynak açısından beş adet birincil kirletici vardır. Bunlar tüm kirleticilerin neredeyse %90'nını oluşturur.

Önemli birincil kirleticiler;

1. Karbon monoksit (CO)
2. Kükürt oksitleri (SO_x)
3. Azot oksitleri (NO_x)
4. Hidrokarbonlar (HC)
5. Asılı parçacıklar (PM)

2.3.1. Karbon monoksit (CO)

Birincil hava kirleticilerin en önemlilerinden biri olan karbonmonoksit üretiminin yaklaşık yüzde 70'i çizgisel (ulaştırma) kaynaklıdır. Bu yüzden motorlu araçların yakıt türü ve bu konudaki kontrol teknolojilerinin geliştirilmesi çok çok önemlidir (İncecik 1994). Doğal kaynakları içerisinde okyanuslar vardır ve ayrıca insan faaliyetleri sonucu oluşan karbonmonoksit gazı yılda neredeyse 250 milyon/ton'dur. Karbonmonoksit kokusuz, renksiz ve tatsız bir gaz olduğu için evsel ısınmalarda eksik yanma sonucu oluştuğunda fark edilmediği için ölümcül olaylarla sonuçlanabilir.

Karbonmonoksit gazı karbonlu yakıtların eksik yanmasıyla, oksijen eksikliğinden veya tutuşma sıcaklığının yeteri kadar olmaması gibi nedenlerle karbondioksit yerine oluşur.

2.3.2. Kükürt oksitleri (SO_x)

Bir diğer önemli birincil kirletici ise kükürt oksitlerdir. Büyük çoğunluğunu petrol ve kömür gibi fosil yakıtlar kullanan sabit kaynaklar oluşturur. Bu fosil yakıtlar %0.5 ila %6 arasında kükürt barındırır. Fosil yakıtların yanmasıyla kükürt genellikle SO₂ şeklinde atmosfere verilir. Kükürt dioksit yanıcı değildir ve renksiz bir gazdır. Yarılanma hızı 24 saat olup atmosferde kalıcılık süresi ise 40 gündür.

Bir yerleşim yerinde kükürt oksit kirletici kaynağı yoksa orada SO₂ değeri 0,01-0,03 µg/m³ arasında değişirken kaynak yakınında (SO₂ oluşturan sanayi çevrelerinde) bu değer 0,3-10µg/m³ çıkar. Kükürt oksitin çoğunluğu insan faaliyetleri ile oluşmaktadır (Çizelge 2.1.). Ayrıca meteorolojik parametrelerinde yine bu kirleticiler üzerinde etkisi vardır. Örneğin; sisli havalarda kükürt oksitin arttığı yağmurlu havalarda azaldığı gözlenmiştir. Geçmişten bugüne fosil yakıt kullanımında azalmaya gidilmesi, doğalgaz kullanımının yükselişe geçmesi bu kirliliğin azalmasında etkili olmuş olabilir. Günümüzde de gelir seviyesi düşük insanların yaşadığı bölgelerde yüksek konsantrasyonda oluşan kirliliktir.

Çizelge 2.1. kükürt oksit ve azot oksit emisyon oluşum tahminleri (milyon ton/yıl) (Graedel *et al.* 1995)

Kaynak	Kükürt oksit	Azot oksit
İnsan kökenli	65	21
Doğal	25	15-20

2.3.3. Azot oksitler (NO_x)

Önemli bir diğer kirletici türü olan azot oksitler doğal olarak topraktaki çürümelerden kaynaklandığı gibi orman yangınları sonucu da oluşabilir. Bunlar dışında kalan kısmı insan faaliyetleri sonucu da oluşur. Mesela; büyük çoğunluğu asit fabrikalarından, sanayi bölgelerinden, enerji üretim istasyonlarından veya motorlu taşıtların atmosfere bıraktığı gazlardan oluşabilir.

Azot oksitlerin atmosferde kalıcılık süresi yaklaşık 1 gündür. Bu kirlilik türü insan sağlığını tehdit edecek toksidite ve malzemeler üzerinde aşındırıcı ve çürütücü etki yapacak türdedir. Hava kirliliği açısından incelediğimiz zaman önemli azot oksit türleri NO ve NO₂'dir. Biz bu çalışmada NO₂ kirliliğinin konsantrasyonlarını inceleyeceğiz.

2.3.4. Hidrokarbonlar (HC)

Bir diğer birincil kirletici türü olan hidrokarbonlar adından da anlaşılacağı gibi hidrojen ve karbon türlerinin bir araya gelmesiyle oluşmuş bir kirletici türüdür. Bunlar petrol ve türevlerinin yanmasından oluşacağı gibi sanayide kullanılan çözücü maddelerden de oluşmaktadır. İnsan faaliyetleri sonucu oluşan hidrokarbon kirliliği dünya üzerinde 100 milyon/ton olarak düşünölmekte ama hidrokarbonların doğal kaynaklar sonucu oluşumu bunun 20 katıdır (Stern 1977). Son derece tehlikeli olan hidrokarbonlar kolay kolay yok olmazlar ve kanserojen etkisi olabilir.

2.3.5. Asılı parçacıklar

Asılı parçacıklar bir diğer ifade ile partiköl maddeler atmosferde normal şartlar altında sıvı veya katı halde bulunan ve çapları 0.1 µm ila 100 µm arasında farklılık gösteren kirletici türüdür. Asılı parçacıklarında diğer birincil kirleticiler gibi birçok kaynağı mevcuttur. Bunlarda birkaçı; çimento fabrikaları, metal ve buna benzer endüstri türleri ve dizel araçlardır. Ayrıca inşaat alanları da partiköl maddelerin bir numaralı oluşum kaynağıdır.

ABD’de yapılan istatistikler; yalnızca sanayi alanlarından atmosfere salınan partiköl madde kirliliğinin yılda yaklaşık 7,5 milyon ton olduğunu, EPA ise orman yangınları ile meydana gelen partiköl madde emisyonunun tüm emisyonlar içerisinde %25 olduğunu söylemiştir. Kömür yanması ise partiköl madde emisyonlarının %29’una denk gelmektedir. ABD’de yapılan bir diğer çalışma ise dizel araçların kirletici salınımında iyileştirmeye gidilmesidir. Buna göre; yılda hava kirliliğine bağlı 12 bin ölümün, 15 bin kalp krizinin ve 8900 hastane başvurusunun azaldığı gözlenmiştir.

Çizelge 2.2’de kirleticilerin sınıflandırılmıştır, kirleticilerin ve kaynakları verilmiştir.

Çizelge 2.2. Atmosferde bulunan gaz halindeki bileşiklerin sınıflandırılması (Seinfeld 1975)

SINIF	Birincil Kirleticiler	İkincil Kirleticiler	Kaynaklar
Kükürt içeren Bileşikler	SO ₂ , H ₂ S	SO ₃ , H ₂ SO ₄ , MSO ₄	Kükürt içeren yakacakların Yanmasından
Azot içeren Bileşikler	NO, NH ₃	NO ₂ , MNO ₃	Yüksek sıcaklıkta yanma Süresince
Karbon içeren Bileşikler	C ₁ -C ₅	Aldehitler, Ketonlar, Asitler	N ₂ ve O ₂ karışımı yakıtların Yanması, petrolün rafinesi, çözücülerin kullanılması
CO ve CO ₂ Bileşikleri	CO, CO ₂		Yanma
Halojen Bileşikler	HF, HCL		Metalürjik işlemler sonucu

2.3.6. Diğer önemli hava kirleticiler;

Karbondioksit (CO₂):

Karbondioksit aslında havada çok yüksek seviyede bulunmaz (yaklaşık olarak %0.015). Fakat değişken bir gaz olması bundan dolayı miktarının aynı kalmaması sebebiyle karbondioksitin yaşamsal önemi yüksektir. Bununla birlikte en başta küresel ısınma olmak üzere olumsuz birçok duruma yol açmaktadır. Çünkü günümüzde küresel ısınmanın bu boyutta olmasının %60'lık kısmı karbondioksite ait, sebebi ise insan faaliyetleridir. Karalar üzerinde karbondioksit miktarı daha fazladır. Karalarda ise

şehirler üzerinde gece saatlerinde çok çok fazladır. Şehirlerin insan yoğunluğu, sanayisi fazladır. Bacalardan atmosfere salınan karbondioksit oranı haliyle en yüksektir. Atmosfere karışan karbondioksitin büyük kısmı; petrol ve türevleri, kömür vb. fosil yakıtların kullanılmasıyla meydana gelerek atmosfere karışır, kalan kısmı ise canlıların solunumundan ve mikroskobik canlıların organik maddeleri ayrıştırmasıyla oluşur ve atmosfere verilir.

Metan (CH₄)

Büyük çoğunluğu insan aktivitelerinden oluşan önemli bir gazdır. Bu gaz, organik atıkların oksijensiz ortamda ayrışması (anaerobik ayrışma) sonucunda oluşur. Başlıca kaynakları arasında; pirinç tarlaları, çiftlik gübreleri, çöp yığınları bataklıklar ve bazı canlılar vardır. Metan gazının ömrü 10 yıl civarındadır (İncecik 1994). Karbondioksit gazına göre daha fazla sera gazı etkisi göstermektedir. Bu durumda metanın ne kadar tehlikeli bir gaz olduğunu bize açıkça gösterir. Yıldan yıla artış gösteren bu gazın küresel iklim değişimindeki etkisi neredeyse %15'tir.

Kloroflorokarbon Gazları (CFC-H)

Önemi fazlaca bilinen kloroflorokarbon türleri CFC-11 ve CFC-12'dir. Bu gazlar için doğal kaynak yoktur, doğada kendiliğinden meydana gelmezler. Atmosferde bu gazların miktarını azaltan hiçbir etken yoktur. Atmosferde kalıcılıkları ise CFC-11 için 65 yıl, CFC-12 için 130 yıl civarında olduğu düşünülmektedir. Bu durum göz önüne alındığında ne kadar tehlikeli bir boyutta olduğu açıkça söylenebilir. Bu gazların en önemli yapay kaynakları; sprelerdeki püskürtücü gazlar, soğutucu aletlerde kullanılan gazlar, bilgisayar temizleyicilerdir. Küresel iklim değişikliğinde payı ise %22 oranındadır.

Ozon (O₃)

Dünyadaki biyolojik dengeyi koruması adına çok önemi olan ama aynı zamanda sera etkisinin oluşumunda payı da yüksek olan atmosferik ozonun neredeyse yüzde 10'u

troposferde bulunmaktadır. 1m^3 havada 8mm^3 kadar ozon vardır. Yüzeğe yakın bölgelerde ozonun temel oluşum sebebi, azot oksitlerin ultraviyole ışınları ile fizikoşimik tepkimeye girmesidir. Fotokimyasal smog'un en etkili bileşeni olduğu için, bu seviyedeki en önemli hava kirleticilerinden biridir.

Su buharı

Su buharının hava içindeki miktarı bulunduğu yere ve zamana göre değişir. Atmosferde yükseldikçe su buharı miktarı hızla azalım gösterir. 6500 metrede yeryüzündeki su buharı miktarının ancak 10 da 1'i bulunmaktadır. Buna duruma göre su buharının büyük çoğunluğu atmosferin alt tabakalarında 3–4 kilometrelik bölümünde toplanmıştır.

Ağır metaller

Ağır metaller sağlık açısından çok tehlikeli olan toksik maddelerdir (kurşun, kadmiyum, nikel ve cıva gibi). Bu toksik maddeler; fosil yakıtların yanması sonucu ve endüstriyel işlemlerde metal içerikli ürünlerin yanmasıyla meydana gelir.

2.4. Kentsel Hava Kirliliği

Kentsel alanlarda hava kirliliği karmaşık ve çok boyutlu bir problem haline gelmiştir. Çünkü Dünya'da 160'dan fazla şehrin nüfusu 1 milyonu aşmıştır bu durum beraberinde alt yapı problemlerini getiriyor ve şehirler ulaşım tesisleri, enerji tesisleri, fosil yakıt istasyonları vb. yapılarla daha çok işgal ediliyor. Doğal olarak şehirlerde yeşil alan adına bir şey kalmıyor ve hava kirliliği kaçınılmaz oluyor. Bunlar dışında kentsel hava kirliliğinin meydana gelmesinde daha pek çok faktör etkilidir (Tünay ve Alp 1996).

Türkiye'de hava kirliliğinin en önemli nedenlerinden birisi kentleşmedir. Çünkü Türkiye'de düzensiz bir kentleşme mevcut. Hızla artan nüfus, büyük şehirlerde nüfus yoğunlaşması paralelinde bozuk alt yapıyı getirir. Kişilere ayrılan park ve yeşil alanların

azalması, konutların hava akımlarına izin verilmemesi ve baca gazlarının yoğunlaşmasına sebebiyet verecek şekilde yerleştirilmesi bunun dışında endüstrilerinde yer seçiminin yine topoğrafyaya uygunsuz konumlandırılması kirliliği son derece hızlandırmıştır. Devamında halkında hava kirliliği hakkında bilgi eksikliği ve daha da önemlisi bu sorunu önemsemeyişi bu güncel sorunun kentlerde giderek büyümesine neden olmuştur.

Kentsel alanlarda gözlenen hava kirliliği ve fiziksel mekândaki etkileri konusunda literatürde farklı çalışmalar bulunuyor. Mesela bazı araştırmacılar kısa vadede orta ölçekli bir yerleşim yerinde tek kirletici türünün hava kirliliği üzerinde oluşturduğu etkileri incelerken; bazı araştırmacılar orta ve uzun vadede daha büyük ölçekte ve birden fazla kirleticinin hava kirliliği üzerindeki etkilerini incelemeye çalışmıştır. Bu çalışma kapsamında, incelenen veriler; kirletici türüne ve kaynağına, alanın türüne ve ölçeğine, ölçüm yapılan döneme göre gruplandırmaya çalışılmıştır.

2.4.1. Kentlerde şehirleşmenin hava kirliliğine etkisi

Hava kirliliğine; neden olarak plansız şehirleşme ve sanayileşme, hızlı nüfus artışı ve nüfusun beraberinde getirdiği ısınma ihtiyacı ve trafik, sanayi tesislerinin çeşidi, üretimi ve kuruluş yerlerinin seçimi ve yanlış arazi kullanımı gibi faktörleri sayabiliriz. Ülkemizdeki hava kirliliği, şehirleşme ve onun paralelinde gelişen endüstrileşme hareketleriyle yakından ilişkilendirilebilir. Çünkü neredeyse son 25 yıldır oluşan şehirleşme tahminlerin çok yukarısında doğal olarak kirlilikte öyle. Kalkınma hareketleri ile birlikte hızlı ve plansız bir şekilde büyüyen kentler, bir yandan sanayi tesislerini kendisine çekerken, diğer yandan da nüfusu büyük oranda arttırmıştır. Zamanla ülkemiz genelinde şehirlerde yükselen nüfus bununla büyüyen ısınma ihtiyacı ve yanlış yakma tekniği, topografik ve klimatik özellikler de eklenince kirliliği artırmıştır (Garipağaoğlu 2003).

2.4.2. Kentlerde endüstrileşmenin hava kirliliğine etkisi

Endüstrileşmede ise endüstri kuruluşlarının yanlış yerlerde konumlandırılması ve yanma sonucu atık gazların yeterli teknik önlemler alınmadan (baca filtresi, arıtma tesisi olmaması vb.) havaya salınması hava kirliliğine etki eden bir diğer önemli faktör olarak karşımıza çıkmaktadır. Uygun teknolojiler kullanılmadığı için aynı zamanda enerji üreten yakma ünitelerinde vasıfsız ve yüksek kükürt barındıran yakıtların kullanılması hava kirliliğine neden olur. Günümüzde ortaya çıkan tablo ise; gelişmiş ülkelerin bu tür kirlilik oluşturan endüstrileri kendi ülkeleri yerine, gelişmekte olan ülkelere kurarak kendilerini korudukları ve bu arada gelişmekte olan ülkelere ise endüstri kaynaklı hava kirliliğinin giderek artan bir sorun teşkil ettiği. Türkiye bu sorunu yaşayan ülkelere en iyi örnektir.

Endüstrilerin hava kalitesini olumsuz yönde etkilediği bilinmektedir. Bu endüstriler her yerde aynı kirlilik miktarını oluşturmaz. Çünkü her ülke endüstride aynı teknolojiyi aynı kalitede hammaddeyi kullanmaz. Hava kirliliği, endüstri dallarına göre aşağıdaki gibi sıralanmıştır.

1. Demir çelik ve metal endüstrisi: Bu endüstride kirliliğe sebebiyet veren kaynaklar yüksek fırınlar, çelik fırınları, tasfiye fırınları ile metal kaplama ve ocaklardır. Bunlardan; CO, SO₂, kurşun, toz, kül, metal oksit ve dumanlar havaya salınır.
2. Maden endüstrisi: madenin yapısına ve türüne göre toz, SO₂ veya CO gazı oluşabilir.
3. Kimya endüstrisi: en önemli kaynağı kimyasal termik işlemlerdir. Son derece tehlikelidir.
4. Petrol endüstrisi: Rafinerilerde yapılan buharlaşma, parçalanma vb. işlemler bu endüstrideki emisyon kaynaklarını meydana getirir.
5. Kağıt endüstrisi: kullanılan kağıt hamurunun işlenmesi sırasında çok yüksek miktarlarda buhara ihtiyaç vardır. Bu buharı elde etmek için fosil yakıtlar kullanılır, böylece SO₂ kirliliği söz oluşur.
6. Tekstil endüstrisi: oluşan kirleticiler çoğunlukla kumaş üzerindeki işlemler esnasında çıkmaktadır. Yapılan bu işlemlerde ise tozlar, SO₂, organik buharlar ve mistler oluşur.

7.Çimento endüstrisi: oluşan en önemli kirletici partikül maddedir. bunun dışında yakıt kullanıldığı için kükürt, azot ve karbon oksitler de oluşabilir (İncecik 1994).

Günümüzde elektrik enerjisinin üretiminde kullanılan yakıtlar içerisinde en başta kömür ve petrol gibi fosil yakıtlar gelmektedir. Bu yakıtlar içerisinde bulunan ana elemanın kükürt olması sebebiyle enerji santralleri, yüksek miktarlarda yakıt harcamaları nedeniyle en çok SO₂ kirlenmesine neden olan kirletici kaynaklar olmaktadır. Bunun sonucu olarak, kükürt dioksit ve azot oksitler toprak ve suyun asitleşmesine sebep olan gazlardır. Bu sebeple enerji santralleri hava kirleticilerinin uzun menzil taşınımına yol açtığı için günümüzün en kritik hava kirliliği oluşturan kaynaklarıdır ve öyle olmaya da devam etmektedir.

2.4.3. Kentlerde meteorolojik parametrelerin hava kirliliğine etkisi

Hava kirliliği, sadece bulunduğu bölgede çeşitli kaynaklardan atmosfere salınan hava kirleticilerden meydana gelmez. Hava kirliliği meteorolojik faktörlerin ve yüzey topoğrafya özelliklerinin de etkisiyle oluşabilir. Rüzgâr hızı, yönü, sıcaklık, basınç, nem gibi meteorolojik faktörlerle birlikte, yüzey pürüzlülük özellikleri de hava kirleticilerin dağılımı için çok önemlidir. Meteorolojik koşullar kirleticilerin taşınmasına ve kirli havanın temiz havayla karışmasına neden olur (Zhang *et al.* 2015; Seo *et al.* 2017).

Hava kirliliğinde meteorolojik parametrelerin en önemli işlevi; dağılım, taşınım ve atmosferden ayrılmasında etkili olmasıdır. Örneğin; İstanbul'daki hakim rüzgar yönü kuzey olmakla birlikte bu durum yıl içinde hava ve mevsimlere göre değişiklik gösterebilir. Mesela kışın ağırlıklı olarak kuzeybatılı (karayel) ve güneybatılı (lodos), yazın ise kuzeyli (poyraz) olarak orta şiddette eser (Ünal vd 2000). Genelde kuzeydoğudan esen Poyraz rüzgarı İstanbul için hakim rüzgardır. Rüzgar hızı arttıkça kirlilik konsantrasyonu azalır. Kirlilik rüzgarın estiği yönde hareket ettiği için rüzgar yönü önemlidir. İstanbul yaz mevsiminde gündüzleri Marmara denizinden İstanbul'a esen deniz meltemi, geceleyin ise şehirden denize esen kara meltemi etkisindedir. Bazı kentler, sanayi bölgelerinin içinde olması ve yoğun trafiğe rağmen kirliliği tahminlerden daha az

çıkartarak bunun nedeni kirliliğin taşınmıyor olmasıdır. Sabit ve hareketli kaynaklardan oluşan kirleticilerin alıcıya hangi oranda ulaştığını anlamak için meteorolojik ölçümlerin yapılması önemlidir. Atmosferdeki kirlilik birikimi sıcaklık artışıyla doğru orantılıdır ya da rüzgar hızı ne kadar yüksekse türbülans o kadar büyük olur ve kirleticilerin atmosferde dağılımı daha kolay olur. Havadaki nem için aynı şeyi söyleyemeyiz çünkü bazı veriler göre artan nem bazı kirletici konsantrasyonlarını artırırken bazı kirletici oranlarında bir miktar azalma görülmüştür.

2.4.4. Kentlerdeki sosyo-ekonomik yapının hava kirliliğine etkisi

Hava kirliliği günümüzde artık daha önemli bir sorun. Kentlerdeki sosyo-ekonomik yapı hava kirliliğinin daha büyük bir sorun haline gelmesini durdurabilir ya da daha da artırabilir. Bir bölgedeki ekonomik yapı hava kirliliğini ne derece etkiliyorsa hava kirliliği o bölgedeki ekonomiyi o derece etkileyebilir. Bu ilişki düzeyi ülkelerin gelişmişlik düzeylerine ve sosyal yaşamlarına göre değişkenlik göstermektedir. Gelişmiş ülkeler hava kirliliğini daha iyi inceleyip üzerinde iyileştirici politikalar uygulayabilir ve halk bu konuda daha bilinçlidir. Gelişmiş ülkeler, ihtiyaç duyulan maliyetlere katlanabilir ve kamu yönetimleri, üretici ve tüketicilerden gerekli maddi özveriyi kolaylıkla talep edebilir ama aynı durum geri kalmış (ekonomisi kötü) ülkelere yoktur çünkü sosyal yaşam buna fırsat vermez (Berberoğlu 1982).

Bir bölgede sosyal hayat ve halkın ekonomik durumu hava kirliliğini etkiler demiştik peki ama nasıl etkiler? Bu farklılık gösterebilir örneğin; bir kentin gelişmişlik açısından geri kalmış, halkın ekonomik durumu kötü, eğitim seviyesi düşük ve sağlık hizmetlerinin yetersiz olduğunu düşünürsek tüm bu kötü koşulların da kötü sonuçlar doğuracağını kestirebiliriz, doğal olarak hava kirliliğini de olumsuz etkiler. Gecekondulaşmanın fazlalığı buna bağlı kış aylarında yetersiz ve düşük yanma enerjili yakıtların kullanılması ve gereğinden fazla hava kirliliği oluşturması. Kent düzeninin olmaması var olan fabrikaların ya da işyerlerinin halka açık alanlarda kurulması ve hiçbir şekilde baca fitresi vs. kullanılmadan havaya emisyon salınımı ve yine araçlardan meydana gelen hava

kirliliğini de eklersek ekonomik açıdan geri kalmış bir kent için sosyal anlamda eğitimsiz bir halkın hava kirliliğini durdurmak için bir uğraşının olmayacağı söylenebilir.

Diğer taraftan gelişmeye açık ekonomik durumu ve alt yapısı iyi olan bir kenti düşünelim. Yukarıda saydığımız durumlar tam tersine dönmez mi? Öncelikle ısınmak için doğalgaz daha yaygın kullanılıyor bu tür yerleşkelerde ve kirlilik diğer yakıtlara göre daha az oluyor. Isınma dışında sanayi türü yerlerden de kullanılıyor ve zaten gelişmiş olan bu kentlerde işyerlerinin baca emisyon kontrolleri sürekli yapılıyor ve takip ediliyor. Bunun dışında bilinçli bir toplum yapılan yatırımlara uygun ortamı sağlamaktadır, hava kirliliği kontrolüne daha çok duyarlıdır. Tüm bunları karşılaştırdığımızda sosyo-ekonomik durumun aslında hava kirliliği açısından ne derece önemli olduğunu da vurgulamış oluyoruz.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Araştırma Bölgesi

3.1.1. Türkiye



Şekil 3.1. Türkiye haritası

Ülkemizde hava kirliliği birçok faktöre bağlı olarak günden güne tehlikeli bir hal almaya başladı. Bu durumun bir sonucu olarak ülkemizde neredeyse her yıl 55-60 milyon insan kirli hava solumaktadır. Ulusal mevzuat sınır değerlerine göre ülkemizde 81 ilin 53'ünde hava kirliliği yüksek orandadır. Bu durumda doğal olarak Türkiye'deki yaşam kalitesini olumsuz etkilemektedir. Türkiye hava kirliliği raporu kapsamında incelenen uydu gözlemleri ülkemiz atmosferindeki partikül maddelerin son 15 yılda Avrupa'ya göre hep yüksek seviyede ölçüldüğünü gösteriyor. Buna neden olan durumlar içinde en önemli etken kentsel dönüşüm çalışmaları olabilir. Türkiye Avrupa'ya göre yüzde 33,4 daha kirlidir. Avrupa'da partikül maddeler son 15 yılda yüzde 14,2 oranında azalma gösterirken ülkemizde yüzde 8,4 oranında artan bir eğilim oluşturmuştur. Çünkü Avrupa ülkeleri gerekli olan sanayi mallarını Türkiye gibi gelişmekte olan ve sürekli sanayileşmeye giden ülkelere ithal ettikleri için sanayileşmenin oluşturduğu kirletici konsantrasyonu Avrupa ülkelerinde azdır.

Ülkemizin bazı büyük şehirlerinde hava kirleticilerin maksimum sınır değeri aştığı gözlenmiştir. Başlıca nedenleri yoğun nüfus, sanayi, trafik ve ısınma kaynaklı olan bu kirleticilerin oluşturduğu kirlilik; İstanbul, Ankara, İzmir, Adana, Bursa, Mersin, Kocaeli, Edirne ve Erzurum'da fazladır. Dünya Sağlık Örgütü'nün belirlediği limite göre ise sadece bir ilimiz temiz havaya sahiptir (yeşil alanlarının çok olması, engebeli olduğu için sanayi kuruluşlarının olmaması, az nüfus ve az trafik olduğundan dolayı Rize'dir.). Ülkemizde yılda neredeyse 30 bin insan hava kirliliğine bağlı nedenlerden dolayı hayatını kaybediyor ve bu durum trafik kazasında ölen insan sayısının yaklaşık olarak 6-7 katına tekabül ediyor (Anonim 2019a).

Türkiye'de hava kirliliğinin iki önemli nedeni; kentleşme ve sanayileşmedir. Çünkü Ülkemizde hava kirliliğinin arttığı dönemler incelendiğinde kentleşme düzeyinde bir artış ve sanayileşme atımlarının yoğunlaştığı görülmüştür. Endüstrilerin yer seçiminin rastgele olması, kentleşme düzeyinin giderek artması ile birlikte konutlarda ısınmak için kullanılan yakıtlardan meydana gelen ve sanayi bacalarından kontrolsüz olarak atmosfere salınan kirleticiler kentlerde yeterli önlemlerin de alınmamasından dolayı önemli düzeyde hava kirliliğine sebep olmuştur ve canlı yaşamını olumsuz etkilemiştir.

3.1.2. İstanbul

Türkiye'nin en gelişmiş ve en yoğun nüfusa sahip ili İstanbul, 41° K, 29° D koordinatlarında yer almaktadır. 39 ilçesi ve TÜİK verilerine göre 15 milyonu geçkin nüfusu sahiptir. İstanbul'un en çok nüfusa sahip ilçesi Esenyurt iken en az nüfuslu ilçesi Adalar'dır.



Şekil 3.2. İstanbul haritası

Ülkemizin en yoğun nüfusuna sahip olan İstanbul; endüstri, sanayi, ve ticaret merkezidir. Gelişmiş ulaşım ağı ve aynı zamanda dünya ticareti, coğrafya ve siyaseti açısından da çok çok önemli bir konumdadır. Durum böyle olunca İstanbul atmosferi için hava kirliliği sorunsalı kaçınılmaz bir hal alır. Türkiye ekonomisine katkısı çok çok yüksek olan İstanbul'un hava kirliliği nedenlerinin araştırılması ve kontrol altına alınması çok önemlidir. Yoğun nüfusu buna bağlı artan kentleşmesi göz önüne alındığında ana kirlilik kaynağının kentsel dönüşümden olduğunu söylenebilir. Çünkü nüfus arttıkça yeni inşaat alanları açılmakta ve yeşil alanlar azalmaktadır. Kentsel dönüşüm, çevre sorunlarının çözümü için çok iyi planlanması gereken bir süreç. Kentlerin planlanmasında hava koridorlarının açılması, az enerji tüketen, kirliliği az olan yeşil binaların yapılması önemli ama ne yazık ki biz bu fırsatı kaçırmak üzereyiz. Belediyelerin tozumu önlemek için gerekli yerlerde ıslatma çalışması yapması, bariyerler kullanması çok önemlidir. Aksi durumda kentsel dönüşüm bölgelerinde kanser tehlikesi ortaya çıkması kaçınılmaz olur.

İstanbul'da kişi başına düşen yeşil alan miktarı çok azdır. Hatta İBB ve Çevre ve Şehircilik Bakanlığına göre kişi başı yeşil alan standartların (15 m²) çok altındadır. İstanbul ilçelerine baktığımız zaman 21'i 8 m²'nin bile altındadır. Ortalama olarak kişi başına 4.9 m² düşmektedir.



Şekil 3.3. İstanbul’da her ilçede kişi başına düşen yeşil alan miktarı (m²)

İstanbul’da park bazında baktığımız zaman kişi başına düşen yeşil alan miktarı diğerinden daha kötü durumdadır. Çünkü metrekare bazında en yüksek oran 3.2 ile Maltepe’de, Başakşehir ve Beykoz 2.6, Üsküdar 2.5, Eyüpsultan 2.4 ile takip ediyor. En düşük değer ise 0.4 ile Gaziosmanpaşa’dadır (Anonim 2019b).



Şekil 3.4. İstanbul’da her ilçede kişi başına düşen park bazında yeşil alan miktarı (m²)

İstanbul geçmişten bu yana yoğun nüfusu ile hem büyük bir tüketim pazarı hem de iş gücünün kolay sağlandığı bir merkez olmuştur. Gelişmiş ulaşım ağı ile sanayinin ihtiyacı

olan hammaddenin de buraya getirilmesi oldukça kolaydır. Ayrıca kapitalinde burada toplanması ve kentin Türkiye'de birinci ticaret merkezi oluşu bunda etkili olmuştur.

İstanbul'da yüksek nüfusuna bağlı olarak gelişen ve büyüyen, sanayi ve ulaşım ağı ayrıca yüksek enerji tüketimi, fosil yakıtların da yoğun olarak kullanılması gibi nedenler hava kirliliğini çok yüksek değerlere taşımıştır. Dahası kentleşmeden dolayı birçok ilçesinin şantiye alanına dönmesi, doğal gaza gelen yüksek zamlar neticesinde ısınmada bazı kesimlerde odun kömüre dönüş yapılması (yardım amaçlı dağıtılan kalitesiz kömür kullanımı) gibi bir yığın etken kirliliği yüksek miktarda artırmıştır.

3.1.3. İstanbul'un hava kirletici kaynakları

İstanbul'da hava kirliliğinin artmasına ve kentsel hava kalitesinin dolayısıyla yaşam kalitesinin düşmesine neden onlarca faktör vardır. Bunlardan önemli olan bazıları; İstanbul'daki yaşayan nüfusun ve nüfus yoğunluğunun sürekli artıyor olması, trafiğe çıkan motorlu taşıt sayısının çok olması ve trafik sorunun İstanbul için çözülmesi zor bir durum haline gelmesi, plansız kentleşme ve sanayileşme (sanayilerin yerleşim yeri içinde kalması), evsel ısınmada ve endüstriyel üretim süreçlerinde fosil yakıtların kullanılması buralardan kontrolsüz olarak salınan atık gazların varlığı, tozlar ve aerosoller, atmosferde gerçekleşen kimyasal reaksiyonlar, eksik veya yanlış yakma tekniklerinin kullanılması, kentsel alanlardaki meteorolojik ve topografik koşullardır. Havadaki kirletici konsantrasyonu zaman içerisinde bu nedenlerden ötürü sınır değerlerin üstüne çıkmaktadır ve çıktığında da acilen kontrol altına alınması gereklidir (İncecik 1994; Colls 2002; Fenger 2002; Tuncel vd 2008).

Ulaşımdan kaynaklı;

Ulaşım araçlarının günlük yaşantımız içinde önemli bir yeri vardır. Ne yazık ki gündelik olarak bu kadar önemli olması hava kirliliği seviyesini artırdığı gerçeğini de değiştirmiyor. İstanbul'da 2018 yılında trafiğe kayıtlı araç sayısı 3 milyon 571 bindir. Kentte 2000 yılında 1 milyon 217 bin olan toplam araç sayısı sekiz yılda neredeyse üç

katı artmış durumda. Her gün değişik şekilde yararlandığımız bu motorlu karayolu taşıtları havaya verdikleri kirletici gaz ve taneciklerle çevremizi ve soluduğumuz havayı kirletmektedir. Hava kirliliğinin yarısı motorlu taşıtlarından kaynaklanmaktadır ve bu çok önemli bir kısımdır. İstanbul'un ana cadde ve kavşaklarında, karayolları çevrelerinde havayı kirleten madde emisyonları (atmosfere atılan gaz, toz, is vs.) önemli boyuttadır. İstanbul'da sabah saatlerinde; Altunizade D-100 bölgeleri genellikle 35-40 dakikayı bulan trafik sıklığı yaşanan bir bölgedir. 15 Temmuz köprüsü ve o yönde Ortaköy'de araç kuyrukları, Harem çevresi, Eminönü Bölgesi, Fatih Sultan Mehmet Köprüsü, yine 15 Temmuz Şehitler köprüsü Metrobüs Durağı Bölgesi ve Mecidiyeköy gibi noktalar hava kirliliğinin de çok olduğu noktalar olabilir. Akşam saatlerinde ise; 15 Temmuz Şehitler Köprüsü, Fatih Sultan Mehmet Köprüsü ve girişi, Kennedy Caddesi, Eminönü Feribot İskelesi Bölgesi, Ortaköy tarafı ve Zincirlikuyu çevresi trafiğin ve doğal olarak kirliliğin çok olduğu bölgeler olarak izlenmiştir.

Bir insanın günlük ihtiyacı olan 15 m^3 temiz havayı bir tek taşıtın sadece 10 dakikalık bir süre içerisinde tehlikeli hale dönüştürmesi, İstanbul'daki yüz binlerce taşıtın neden olduğu hava kirliliğinin boyutu hakkında bizlere bir fikir verebilir. Şehir trafiğindeki araçlar; teknik bakımlarının yeterince yapılmaması, bilinçsiz kullanımı ve bir kısmının çok eski oluşları nedeniyle kirletici özellikleri bir kat daha artarak, önemli kirletici kaynak durumuna gelir. Araçlarda hava kirliliği oluşturan kirletici kaynakları, motor cinsine göre değişiklik gösterebilir.

Yalnızca kara yolundaki trafiğe bağlı değil bu kirlilik tabiki. İstanbul'dan günde binlerce deniz taşıtı (gemi, vapur vs.) geçiyor. Bunların İstanbul'un atmosferine bıraktıkları kirletici konsantrasyonları da yok sayılamaz.

Isınmadan kaynaklı;

Türkiye'deki birçok şehirde olduğu gibi İstanbul'da da ısınmadan kaynaklanan hava kirliliği özellikle kış mevsimi ile birlikte artış göstermektedir. Çünkü ısınmadan kaynaklanan hava kirliliğinin temel nedeni genellikle; ısınmada kalitesiz yakıtların

(kükürt, kül ve nem oranı yüksek kalori değeri düşük kömürler) iyileştirilme işlemine tabi tutulmadan kullanılması, yanlış yakma tekniklerinin uygulanması ve kullanılan kazanların bakımlarının düzenli olarak yapılmamasıdır. Bunların yanı sıra hızlı nüfus artışı ve kentteki nüfus yoğunlaşmasına bağlı olarak kentin yanlış yerleşmesi ve dolayısıyla çarpık kentleşme topoğrafik ve meteorolojik şartlara göre rüzgar yönüne dikkat edilmemesi ve ısınmadan kaynaklanan emisyonun rüzgarla şehir içine salınması, İstanbul'da hava kirliliğini artırmaktadır.

Sanayi kaynaklı;

İstanbul yıldan yıla gelişip büyümekte ve bunun bir sonucu olarak yeni yeni sanayi kolları oluşturulmaktadır. Sanayinin üçte biri, ithalatın üçte biri, ihracatın beşte biri İstanbul'da yapılıyor. Türkiye'de enerji üretiminin %15 ini tüketen İstanbul 36,8 milyar kilovatsaat tüketim ile sekiz ekonomik işbirliği örgütü ülkesini (OECD) geride bırakmış durumda (TEİAŞ 2014).

İstanbul'da Organize Sanayi Bölgeleri;

İstanbul Tuzla Kimya Sanayicileri Organize Sanayi Bölgesi; 2001 yılında kurulmuş, 74 ha alana sahip ve 155 işletme barındırıyor. %51 kimyasal ürünler, %9 kauçuk ve plastik, %5 metal ürünler, %33 diğer üretilir.

İstanbul Tuzla Organize Sanayi Bölgesi; 2000 yılında kurulmuş, 60 ha alana sahip ve 100 işletmesi var. %35 metal, %20 makine, 512 plastik ve %33 diğer üretir.

İstanbul İkitelli Organize Sanayi Bölgesi; 2001 yılında kurulmuş, 700 ha alana sahip ve bünyesinde 22416 işletme barındırıyor. %39 plastik, %11 otomotiv, %9 ahşap ve %41 diğer üretilir.

İstanbul Dudullu Organize Sanayi Bölgesi; 1983 yılında kurulmuş, 265 ha alana sahip ve 2640 işletme barındırıyor. %30 makine, %24 metal, %26 elektrik teçhizat ve %30 diğer üretilir.

İstanbul Deri Organize Sanayi Bölgesi; 1982 yılında kurulmuş, 740 ha alana sahip ve 800 işletmesi var. %53 deri, %11 kimya, %5 tekstil ve %31 diğer üretilir.

İstanbul Birlik Organize Sanayi Bölgesi; 2001 yılında kurulmuştur, 51 ha alana sahip ve 80 işletmesi var. %30 metal, %20 makine, %25 kimya ve %25 diğer üretilir.

İstanbul Beylikdüzü Organize Sanayi Bölgesi; 2002 yılında kurulmuş, 160 ha alana sahip ve 950 işletme barındırıyor. %14 plastik, %12 makine, %11 tekstil ve %63 diğer üretilir.

İstanbul Anadolu Yakası Organize Sanayi Bölgesi; 2000 yılında kurulmuş, 79 ha alana sahip ve 140 işletmesi var bünyesinde. %36 metal, %11 otomotiv, %8 makine ve %45 diğer üretilmektedir (Anonim 2019c).

Hepimiz biliyoruz ki bir şehrin hava kalitesi oradaki sanayileşmeyle yakından ilişkilidir. İstanbul'daki sanayisi göz önüne alındığında fabrikaların bacalarından çıkan kimyasal gazlar, tozlar ve dumanlar havayı kirletmektedir. Fabrikalarda enerji ihtiyacı için kullanılan yakıtlar ve kimyasal işlemlerle oluşan kirleticiler büyük oranda kirliliğe sebep olmaktadır.

İnsan yaşamı için gerekli olan ihtiyaçların karşılanması, ülkenin kalkınması, yeni iş sahalarının önemli ve şarttır. Burada mühim olan konu hem kalkınmayı devam ettirmek hem de hava kalitesini koruyabilmektir. İşyerleri ve fabrikalar hava kalitesini korumak ve kirliliği önlemek için gerekli olan tüm önlemleri almalıdır. Örneğin, temiz enerji kaynakları kullanılmalı, filtre sistemleri kurulmalı, geri dönüşümü mümkün olan hammaddeler kullanılmalı, personel çevre konusunda eğitilmeli, yeşillendirme çalışmaları yapılmalı, teknolojik yenilikler takip edilmeli ve uygulanmalıdır. Sanayileşmenin yer seçimi ise çok çok önemlidir (meteorolojik koşullar, rüzgar yönü

dikkate alınmalıdır.) ve en önemlisi yetkili kurumlardan gerekli izinler, mutlaka alınmalıdır.

3.1.4. İstanbul'un hava kirleticileri

İstanbul'da hava kirliliğini oluşturan başlıca kirleticiler; kükürt dioksit (SO₂), azot oksitler (NO_x), karbon monoksit (CO), karbon dioksit (CO₂), ozon (O₃) ve partikül madde (PM) olarak söylenebilir (İncecik 1994; Godish 1997; Tuncel vd 2008).

Geçmiş dönemlerde yapılan gözlem ve çalışmalar kirletici türü bakımından incelendiğinde, İstanbul'da hava kirliliğine sebep olan kirletici türlerinin oluşmasında çok çeşitli kaynakların etkili olduğu söylenebilir.

Hava kirliliğinin en önemli kirletici türlerinden biri olan kükürt dioksit (SO₂) konsantrasyonu; endüstriyel üretim süreçleri, nüfus ve taşıt yoğunluğunun çok olması, özellikle kış aylarında evsel ısınmada ve endüstriyel üretim süreçlerinde fosil yakıtların daha çok kullanılması ve meteorolojik koşulların da etkisiyle İstanbul'da bir hayli yüksektir (Pinto *et al.* 1998; Daylan ve İncecik 2002; Tuncel vd 2008; Kocaman 2010; Staelens *et al.* 2012; Fan *et al.* 2012). Bunların yanında, tozlar ve aerosoller, atmosferde meydana gelen kimyasal reaksiyonlar ve eksik veya yanlış yakma tekniklerinin kullanılması gibi faktörler kükürt dioksit (SO₂) konsantrasyonlarını arttıran diğer etkenler arasında yerini almaktadır (Karapınar 2012; Ahmad vd 2015). İstanbul'da doğalgaz kullanımı lüks binaların ve işletmelerin yapılmasıyla daha da yaygınlaşması, yaz aylarında evsel ısınmaya bağlı yakıt tüketiminin azalması ve kent merkezlerinde nüfus ve taşıt yoğunluğunun azalması gibi durumlar kükürt dioksit (SO₂) seviyesinin azalmasına yardımcı olmuştur (Coşkun 2008; Özaslan 2008; Evcı 2009; Karapınar 2012; Lin *et al.* 2013).

Diğer bir kirletici türü olan ve İstanbul'da da fazlaca ölçülen partikül madde (PM_{2.5}, PM₁₀) konsantrasyonunun ise kentsel çalışma alanlarının (inşaat alanı vb.) yoğun olduğu merkezlerde, ana ulaşım bağlantılarına yakın bölgelerde (köprü veya otogar yolu trafiği

gibi buralara yakın bölgelerde) yer alan yerleşmelerde ve evsel ısınmaya bağlı olarak yakıt tüketiminin fazla olmasından dolayı özellikle kış aylarında kalitesiz, yanma özelliği düşük fosil yakıtların yanmasıyla partikül maddelerin İstanbul'da daha yüksek çıktığı gözlenmiştir (Shi *et al.* 2003). Buna ek olarak, İstanbul'un nüfusu arttıkça hem kirlilik oluşturan faktörlerin sayısının arttığı, hem de hava kalitesinin iyice düştüğü saptanmıştır (Harrison *et al.* 1997; Jorquera *et al.* 2000; Hoek *et al.* 2002; Brauer *et al.* 2003; Mönkkönen *et al.* 2004; Salvador *et al.* 2004; Smargiassi *et al.* 2005; Beelen *et al.* 2013). Ayrıca İstanbul'da, yaz aylarında trafiğe çıkan taşıt sayısının artışına paralel olarak kirlenici düzeyinin artmakta olduğu saptanmıştır (Querola 2001).

İstanbul'un sürekli göç alan ve gelişen bir şehir olmasına bağlı olarak nüfusun fazla olması yine trafik yoğunluğu, endüstriyel üretim yapan tesislerin çok olması ve enerji üretimi için yürütülen faaliyetler de partikül madde (PM) konsantrasyonlarını arttıran diğer önemli etkenlerdir (Vallius *et al.* 2004; Nerriere *et al.* 2005; Moore *et al.* 2007; Rossa *et al.* 2007; Koutrakis 2012). Bunların yanında, meteorolojik ve topografik koşullar, tozlar ve aerosoller, atmosferde meydana gelen kimyasal reaksiyonlar ve eksik veya yanlış yakma tekniklerinin yapılması gibi sebepler de İstanbul'da partikül madde (PM) konsantrasyonlarını önemli ölçüde arttırmaktadır (Vardoulakis and Kassomenos 2008; Pits *et al.* 2008; Zhu *et al.* 2011; Karapınar 2012; Mansha *et al.* 2012; Shendell *et al.* 2012).

Bir diğer kirlenici türü olan azot oksit (NO, NO₂) konsantrasyonlarının; İstanbul'daki taşıt yoğunluğunun yani trafiğe çıkan taşıt sayısının çok yoğun olması, özellikle nüfusun fazla olmasına bağlı olarak yerleşim yerlerinin ana ulaşım bağlantılarına yakın bölgelerde konumlanması ile burada oluşan kirleniciler meteorolojik koşullarında etkisiyle şehir atmosferinde yoğunlaşır (Briggs *et al.* 1997; Briggs *et al.* 2000; Evcı 2009; Fan *et al.* 2012; Mukerjee *et al.* 2012; Staelens *et al.* 2012; Zbieranowski *et al.* 2012; Bootdee *et al.* 2012; Lee *et al.* 2013; Estarlich *et al.* 2013; Ahmad *et al.* 2015; Behera *et al.* 2015). Endüstriyel üretim süreçlerinin şehir içinde yerleşim yerlerine yakın olarak konumlandırılması ve enerji üretimi için yürütülen faaliyetler de İstanbul'da azot

oksitlerin konsantrasyonunu arttıran diğer önemli faktörler arasındadır (Maye, 1999; Nerriere *et al.* 2005; Özaslan 2008).

İstanbul'da hava kirliliğini oluşturan karbon monoksit (CO), karbon dioksit (CO₂) ve ozon (O₃) gibi kirletici konsantrasyonlarını; nüfus ve taşıt yoğunluğunun artması, meteorolojik koşullar ve trafiğe çıkan taşıt sayısının çoğalması gibi faktörlerin etkilediği görülmüştür (Evcı 2009; Fan *et al.* 2012; Mukerjee *et al.* 2012; Reche *et al.* 2012; Shendell *et al.* 2012; Staelens *et al.* 2012; Ahmad *et al.* 2015). Bunların yanında da, evsel ısınmada ve endüstriyel üretim süreçlerinde fosil yakıtların kullanılması, tozlar ve aerosoller, atmosferde meydana gelen kimyasal reaksiyonlar ve eksik veya yanlış yakma tekniklerinin kullanılması gibi etkenler de bu kirletici konsantrasyonlarını daha da arttırmaktadır (Mayer 1999; Özaslan 2008; Kocaman 2010; Ahmad *et al.* 2015).

3.2. Kriging Yöntemi

Günümüzde hava kirliliğinin önemini göstermek için birçok çalışma yapılmış ve hava kalitesi üzerine dikkat çekmek için hava kirliliği seviyeleri saptanmıştır. Bu maksatla yapılan çok sayıda çalışmanın en önemli amacı, hava kalitesi standartlarını aşmayacak şekilde kirletici kaynaklardan salınan emisyonlara müdahale etmektir. Hava kirliliğinin insan ve diğer canlılar üzerindeki olumsuz etkileri herkes tarafından biliniyor. Emisyonların seviyesini tespit etmek ve kontrol altına alınması bu yüzden son derece önemlidir. Hava kalitesinin tanımlanabilmesi için belirli sıklıkta hava kalitesi örnekleme dataları toplanmalıdır. Kriging yöntemi, alansal kestirim için kullanılan geoistatistik bir enterpolasyon yöntemidir.

Ölçüm yapılan noktaların konumları ve elde edilen datalar arası korelasyon değerleri beraberinde kullanarak ağırlıklı ortalama yöntemine benzer bir biçimde yakındaki noktalardan daha fazla etkilenmeyi sağlayan bir ağırlık modeli kullanır.

Kriging yönteminin genel denklemi aşağıdaki şekildedir;

$$Z_p = \sum_{i=1}^n W_i * Z_i$$

Burada;

Z_p : p noktasının aranan değeri

W_i : Z_p nin hesabında kullanılan her bir Z_i ye karşılık ağırlık değeri

Z_i : Z_p nin hesabında kullanılan noktaların değerleri

n : Z_p nin hesabında kullanılan nokta sayısı

XYZ verisinden doğruluk payı yüksek bir grid alanı elde etmek için gerekli olan parametreler, kriging yönteminde önceden tanımlandığı için, Surfer yazılımının default (temel) gridleme tekniğidir. Hiçbir değişikliğin yapılmasına gerek olmadan direkt olarak verinin gridlenmesi işlemi başlatılabilir. Ama isteğe bağlı olarak kullanıcının kontrolünde de yapılabilir.

Zaman serileri yardımıyla seçilen tarihler için istasyonlardan temin edilen değerler kullanılarak tüm İstanbul üzerinde bu değerlerin ne olabileceği kriging yöntemi kullanılarak belirlenmiş ve elde edilen sonuçlar tartışılmıştır. Ocak 2007-Aralık 2017 tarihleri arasında maximum ve minimum veriler karşılaştırılmış elde edilen değerlerle kriging yöntemi kullanılarak zamansal ve alansal grafikler oluşturulmuştur.

3.2.1. Verilerin elde edilmesi

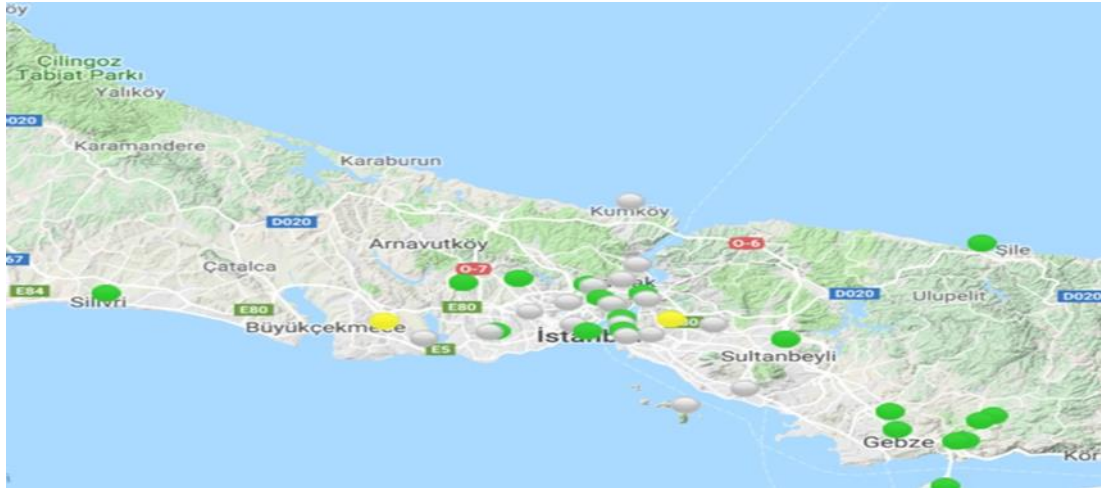
Hava kirliliğinin doğru biçimde ölçülmesi, tüm illerde hava kirliliği politikalarının oluşturulması ve bu politikalar bütününde illerin hava kalitesinin bir önceki yılın değerlerinden daha iyi durumlara getirilebilmesi amacıyla, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından 2005-2007 yılları arasında 81 ilde 125 adet (3 mobil) hava kalitesi ölçüm istasyonları kurulmuş ve Türkiye genelinde Ulusal Hava Kalitesi İzleme Ağı oluşturulmuştur.

Kurulan bu hava kirliliği ölçüm istasyonlarının hemen hepsinde Kükürt dioksit (SO_2) ve Partikül Madde (PM_{10}) parametreleri, bazılarında ek olarak Azotoksitler (NO , NO_2 ,

NO_x), Karbon monoksit (CO) ve Ozon (O₃) da tam otomatik olarak ölçülebilmektedir. Ölçüm istasyonlarında alınan veriler Çevre ve Şehircilik Bakanlığına ait özel bir ağ (VPN) üzerinden GSM Modemler aracılığıyla Bakanlığın Çevre Referans Laboratuvarı Veri İşletim Merkezine aktarılarak izlenmekte ve www.havaizleme.gov.tr adresinde eş zamanlı olarak yayınlanmaktadır. Saatlik ortalamalar halinde istasyonlardan elde edilen bu veriler incelenip doğrulama çalışmaları yapılarak söz konusu verilerle aylık ve yıllık raporlar hazırlanıp yayınlanmaktadır.

Bu çalışma İstanbul sınırları içerisinde 9 adet istasyon (Aksaray, Alibeyköy, Beşiktaş, Esenler, Kadıköy, Ümraniye, Kartal, Sarıyer, Üsküdar) seçilerek hava kirliliği örneklerinin analizi yapılmış bu konudaki araştırmalara katkıda bulunulmuştur.

İstanbul için istasyonlar seçilirken buldukları konumlara dikkat edilmiş her iki yakadan da örnekler alınmıştır. Online cihazlarla yapılan ölçümlerden elde edilen datalardan ocak 2007- aralık 2017 tarihleri arasında zaman serileri oluşturularak CO, SO₂, NO₂ ve partikül madde (PM₁₀) parametrelerinin zamana bağlı davranışları ve periyodiklikleri analiz edilmiştir.



Şekil 3.5. İstanbul hava kalite istasyonları

Kirlilik parametreleri için belirlenen maksimum sınır değerler Őyledir;

SO₂: 125 µg/m³

PM₁₀: 50 µg/m³

CO: 10000 µg/m³

NO₂: 300 µg/m³

İstasyon ölçümleri raporlarında 2007-2017 yılları arasında bu sınır değerlerin bazı günler geçildiği gözlenmiştir. Gözlenen veriler **EK 1**'de verilmiştir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

4.1. Hava Kirleticilerinin İstatistiksel Analizi

Son yirmi yılda hava kirliliği nüfusun ve sanayileşmenin artmasıyla birlikte artış göstermiş ve günümüzde büyük bir sorun olarak karşımıza çıkmıştır. Bilindiği gibi bizim için hava kirliliği sadece insan sağlığını ciddi Şekilde tehdit etmiyor aynı zamanda sürdürülebilir kalkınma üzerinde de olumsuz etkileri vardır. Ekonomik işbirliği teşkilatına (OECD) göre; hava kirliliği 2060'a kadar yılda 2,6 trilyon dolar küresel ekonomiye mal olacak.

Düşük nüfus yoğunluğuna sahip yerlere kıyasla yüksek nüfus yoğunluğu olan yerler daha çok hava kirliliğine maruz kalıyor. Tesisi olan bölgeler tesisi olmayan bölgelere göre daha kirli. Trafik yoğunluğu araba sayısının fazla oluşu, endüstriyel faaliyetler, fosil yakıtlı tesislerin varlığı vs. kirliliği artırıcı durumlardır.

4.1.1. Kükürt dioksit (SO₂)

Çizelge 4.1. Aksaray ve Alibeyköy İstasyonu SO₂ (µg/m³) istatistiksel analizi

Aksaray		Alibeyköy	
Aritmetik Ortalama	9,94	Aritmetik Ortalama	6,43
Geometrik Ortalama	7,51	Geometrik Ortalama	4,38
Standart Sapma	8,39	Standart Sapma	6,89
Minimum	1,00	Minimum	1,00
Maksimum	176,00	Maksimum	90,00
MSD	125,00	MSD	125,00
Medyan	8,00	Medyan	4,00
Mod	6,00	Mod	3,00
Çarpıklık	4,71	Çarpıklık	3,60

Aksaray'ın 11 yıllık SO₂ ortalaması 9,94 Alibeyköy'ün ise 6,43 olarak hesaplanmıştır. Aksaray'ın standart sapması 8,39 Alibeyköy'ün 6,89'dur. Standart sapmaların ortalamalara yakın olması verilerin homojen dağıldığını gösterir. İki istasyonda da minimum veri 1 µg/m³, maksimum veri Aksaray da 176 µg/m³, Alibeyköy de 90 µg/m³'tür. 2007-2017 yılları arasında sıralanan dataların modu Aksaray için 6 µg/m³, Alibeyköy için 3 µg/m³. Aksaray'ın medyanı 8 µg/m³, Alibeyköy'ün ise 4 µg/m³'tür. Değerlerin dağılımına bakacak olursak; Aksaray'ın çarpıklık değeri 4,71 Alibeyköy için çarpıklık 3,60 olarak hesaplandı. İki istasyon verileriyle de oluşan eğri sağa çarpık olur. Çizelge 4.1'de Aksaray ve Alibeyköy istasyonu SO₂ kirliliğinin 11 yıla dağılmış ortalaması irdelendi ve kirliliğin sınır değeri genellikle aşmadığı kontrol edilebilir seviyede, risk oluşturmadığı gözlenmiştir. Günümüze yaklaştıkça azalan konsantrasyonlar vardır.

Çizelge 4.2. Beşiktaş ve Esenler İstasyonu SO₂ (µg/m³) istatistiksel analizi

Beşiktaş		Esenler	
Aritmetik Ortalama	7,13	Aritmetik Ortalama	7,99
Geometrik Ortalama	5,04	Geometrik Ortalama	5,40
Standart Sapma	6,38	Standart Sapma	7,88
Minimum	1,00	Minimum	1,00
Maksimum	52,00	Maksimum	133,00
MSD	125,00	MSD	125,00
Medyan	5,00	Medyan	5,00
Mod	4,00	Mod	3,00
Çarpıklık	2,31	Çarpıklık	3,55

2007-2017 yılları arasında Beşiktaş'ın aritmetik ortalaması 7,13 Esenler'in aritmetik ortalaması 7,99'dur. Standart sapmalar ise Beşiktaş'ın 6,13 Esenler'in 7,88'dir. Alınan veriler hesaplanan aritmetik ortalamaya yakındır. Homojen dağılım göstermiştir. İki istasyon içinde minimum veri 1 µg/m³. Beşiktaş'ın maksimum değeri 52 µg/m³, Esenler'in maksimum değeri 133 µg/m³ olarak ölçülmüş bu 2008 döneminin ocak ayına ait bir ölçümdür. O dönemde mazotla çalışan taşıtlardan, kalitesiz yakıtların fazlalığından oluştuğu söylenebilir. Çünkü günümüze doğru Esenler'in genelinde kirlilik olarak azalma vardır. Beşiktaş için mod değeri 4 µg/m³, medyan değeri 5 µg/m³'tür. Esenler'in modu 3 µg/m³, medyanı 5 µg/m³. Verilerin dağılımına baktığımız zaman Beşiktaş'ın çarpıklığı 2,31 Esenler'in ise 3,55'tir. Çizilen eğri sağa çarpıktır. Çizelge 4.2'de Beşiktaş ve Esenler için yapılan analizde SO₂ nin günümüze yaklaştıkça azaldığı ve risk oluşturmadığı izlenmiştir.

Çizelge 4.3. Kadıköy ve Ümraniye İstasyonu SO₂ (µg/m³) istatistiksel analizi

Kadıköy		Ümraniye	
Aritmetik Ortalama	7,46	Aritmetik Ortalama	7,25
Geometrik Ortalama	5,38	Geometrik Ortalama	5,71
Standart Sapma	8,34	Standart Sapma	5,35
Minimum	1,00	Minimum	1,00
Maksimum	156,00	Maksimum	60,00
MSD	125,00	MSD	125,00
Medyan	5,00	Medyan	6,00
Mod	3,00	Mod	4,00
Çarpıklık	7,18	Çarpıklık	2,39

Kadıköy ve Ümraniye istasyonlarından alınan 11 yıllık verilerin aritmetik ortalaması sırasıyla; 7,46 ve 7,25 olarak hesaplanmıştır. Kadıköy'ün standart sapması 8,34 Ümraniye'nin ise 5,35'tir. Kadıköy istasyonundan alınan minimum veri 1 µg/m³, maksimum veri 156 µg/m³ olarak ölçülmüş. Kadıköy'deki bu aşım 2007 yılının ocak ayına aittir. O dönemde kullanılan kalitesiz yakıtların fazla oluşu, Anadolu yakasında ulaşım için merkezi bir konumda olması sürekli özel araçların kullanılması ve beraberinde kuzeyden gelen rüzgar etkisiyle Kadıköy'de kirlilik pik yapmış olabilir. Ümraniye istasyonunda ise minimum 1 µg/m³, maksimum 60 µg/m³ ölçülmüştür. Kadıköy için mod değeri 3 µg/m³ medyan 5 µg/m³'tür. Ümraniye istasyonu SO₂ verilerinin modu 4 µg/m³, medyanı 6 µg/m³'tür. Dağılımın çarpıklığına bakarsak; Kadıköy'ün 7,18 Ümraniye'nin 2,39'dur. Çizilen eğri sağa çarpık olur. Çizelge 4.3'de Kadıköy ve Ümraniye istasyonlarından alınan verilerin günümüze doğru geldikçe kirlilik konsantrasyonunun azaldığı gözlenmiştir. Veriler ortalamaya yakın dağılmış, homojendir.

Çizelge 4.4. Kartal ve Sarıyer İstasyonu SO₂ (µg/m³) istatistiksel analizi

Kartal		Sarıyer	
Aritmetik Ortalama	8,34	Aritmetik Ortalama	7,63
Geometrik Ortalama	5,40	Geometrik Ortalama	5,92
Standart Sapma	8,33	Standart Sapma	6,21
Minimum	1,00	Minimum	1,00
Maksimum	105,00	Maksimum	140,00
MSD	125,00	MSD	125,00
Medyan	6,00	Medyan	6,00
Mod	4,00	Mod	4,00
Çarpıklık	3,33	Çarpıklık	4,53

Kartal ve Sarıyer istasyonunun yaptığı SO₂ ölçümlerinin aritmetik ortalaması sırasıyla 8,34 ve 7,63'tir. Kartal için standart sapma 8,33 Sarıyer için ise 6,21 olarak hesaplanmıştır. Ölçülen veriler ortalamaya yakın demektir. Her iki istasyonda da ölçülen minimum SO₂ 1 µg/m³tür. Kartal istasyonunun maksimum verisi 105 µg/m³ Sarıyer'in ise 140 µg/m³tür. Her iki istasyon içinde mod değeri 4 µg/m³, medyanı ise 6 µg/m³tür. Kartal verilerinin çarpıklığı 3,33 Sarıyer'in ise 4,53'tür. Eğrisi sağa çarpık çizilmiş olur. Çizelge 4.4'de Kartal ve Sarıyer istasyonlarına ait verilerin genel olarak sınır değerleri çok aşmadığı ve günümüze doğru yaklaştıkça azalan konsantrasyonların insanlar için risk oluşturmadığı gözlenmiştir. Sarıyer'de pik yapan dönem 2016 yılına aittir. Bu dönemde Sarıyer yakınlarında yapılan kentsel dönüşüm çalışmaları hafriyat atıkları iş makinalarıyla taşıyordu ve sürekli araç giriş çıkışı mevcuttur Bu durum o dönemde Sarıyer üzerine hakim rüzgarların etkisiyle kirliliğin taşınmasına neden olmuş olabilir. Genel olarak istatistiksel analize bakıldığında verilerin homojen dağılım gösterdiği söylenebilir.

Çizelge 4.5. Üsküdar İstasyonu ve İstanbul'un genel SO₂ (µg/m³) istatistiksel analizi

Üsküdar		İstanbul	
Aritmetik Ortalama	7,35	Aritmetik Ortalama	7,71
Geometrik Ortalama	4,93	Geometrik Ortalama	5,46
Standart Sapma	8,28	Standart Sapma	7,45
Minimum	1,00	Minimum	1,00
Maksimum	188,00	Maksimum	188,00
MSD	125,00	MSD	125,00
Medyan	5,00	Medyan	6,00
Mod	2,00	Mod	3,00
Çarpıklık	7,28	Çarpıklık	4,81

Üsküdar istasyonunun 2007-2017 yılları arasındaki ölçümlerinin ortalaması 7,35 standart sapması 8,28 olarak hesaplandı. Minimum ölçülen veri 1 µg/m³ maksimum ölçülen veri 188 µg/m³'tür. Pik yaptığı dönem 2007 yılıdır. Günümüze yaklaştıkça azalan kirlilik konsantrasyonuna sahiptir. Sıralı değişkenlerin modu 2 µg/m³ medyanı 5 µg/m³'tür. Dağılımın çarpıklığı 7,28 hesaplanmıştır.

İstanbul'un 11 yıllık SO₂ ölçümünün aritmetik ortalaması 7,71 standart sapması 7,45 hesaplanmıştır. Minimum ölçüm 1 µg/m³ maksimum ölçüm 188 µg/m³'tür. Ölçülen değişkenlerin modu 3 µg/m³ medyanı 6 µg/m³ bulunmuştur. Veriler homojen dağılmıştır. Hesaplanan çarpıklık 4,81'dir. 11 yıl süresince SO₂ azalım göstermiştir ve çizilen eğri sağa çarpıktır.

Çizelge 4.5'de Üsküdar istasyonu ve İstanbul'un genel SO₂ konsantrasyon analizi verilmiştir. Genel olarak irdelendiğinde İstanbul için SO₂ kirlilik parametresinin birkaç aşım dışında sınır değeri aşmadığı o aşımalarında genel olarak ilk yıllardaki evsel ısınmada kullanılan kalitesiz fosil yakıtlar, trafik yoğunluğu ve meteorolojik faktörlerden kaynaklandığı bilgisi edinilmiştir.

4.1.2. Partikül madde (PM₁₀)

Hava kalitesinde önemli etkisi olan PM kıtalar arası taşınabilir (Park *et al.* 2006; Liu *et al.* 2009). Meteorolojik parametrelerin bunun üzerinde etkisi vardır. İstanbul'da partikül madde yoğunluğu sürekli dalgalanmalar gösterdiği görülür. Bunun nedeni olarak kentsel dönüşüm çalışmalarına bağlı olarak oluşan inşaat çalışmaları, ayrıca filtresiz olarak atmosfere salınan sanayi ve ısınmadan kaynaklı partikül maddeler olabilir.

Çizelge 4.6. Aksaray ve Alibeyköy İstasyonu PM₁₀ (µg/m³) istatistiksel analizi

Aksaray		Alibeyköy	
Aritmetik Ortalama	58,75	Aritmetik Ortalama	55,18
Geometrik Ortalama	52,20	Geometrik Ortalama	47,42
Standart Sapma	37,68	Standart Sapma	34,45
Minimum	1,00	Minimum	3,00
Maksimum	814,00	Maksimum	523,00
MSD	50,00	MSD	50,00
Medyan	52,00	Medyan	46,00
Mod	34,00	Mod	43,00
Çarpıklık	6,78	Çarpıklık	2,72

Aksaray'ın 11 yıllık PM₁₀ ölçümlerinin ortalaması 58,75 standart sapması 37,68'dir. Alibeyköy istasyonu PM₁₀ ölçümlerinin aritmetik ortalaması 55,18 standart sapması ise 34,45 olarak hesaplanmıştır. Aksaray istasyonunun minimum PM₁₀ ölçümü 1 µg/m³ maksimum ölçümü 817 µg/m³'tür. Aksaray ve Alibeyköy istasyonundaki bu pik değerler 2007 yılına aittir ve o dönemde doğalgazın yaygın kullanılmaması, kalitesiz yakıt tüketimi, yoğun insan nüfusuna sahip olan bu bölgelerin PM₁₀ yükünü artırmıştır. Alibeyköy'ün yaptığı minimum ölçüm 3 µg/m³ maksimum ölçüm 523 µg/m³'tür. Aksaray ölçümlerinin modu 34 µg/m³ medyanı 52 µg/m³, Alibeyköy ölçümlerinin modu 43 µg/m³ medyanı 46 µg/m³. Dağılımın çarpıklığı sırasıyla 6,78 ve 2,72 olarak hesaplanmış iki istasyonunda PM₁₀ eğrisi sağa çarpık olur. Çizelge 4.6'da Aksaray ve Alibeyköy istasyonlarına ait istatistiksel analiz verilmiştir. En çok tekrar eden veri Aksaray istasyonunda 34 µg/m³, Alibeyköy istasyonunda ise 43 µg/m³'tür. Ölçülen veriler

hesaplanan ortalamadan uzak değildir yani homojen dağılım göstermiştir. PM₁₀ konsantrasyonu günümüze doğru azalım göstermiştir.

Çizelge 4.7. Beşiktaş ve Esenler İstasyonu PM₁₀ (µg/m³) istatistiksel analizi

Beşiktaş		Esenler	
Aritmetik Ortalama	48,00	Aritmetik Ortalama	61,03
Geometrik Ortalama	42,64	Geometrik Ortalama	52,29
Standart Sapma	31,89	Standart Sapma	45,90
Minimum	1,00	Minimum	2,00
Maksimum	890,00	Maksimum	989,00
MSD	50,00	MSD	50,00
Medyan	43,00	Medyan	51,00
Mod	30,00	Mod	38,00
Çarpıklık	12,62	Çarpıklık	7,05

2007-2017 yılları arasında ölçülen PM₁₀ değerlerinin Beşiktaş istasyonu için aritmetik ortalaması 48 standart sapması 31,89 hesaplandı. Esenler istasyonu için ortalama 61,03 standart sapma 45,89'dur. Veriler ortalamaya yakın dağılmış dolayısıyla homojendir. Beşiktaş'ın minimum ölçülen verisi 1 µg/m³ maksimum veri 890 µg/m³'tür. Beşiktaş en fazla 2014 ve 2016 yıllarında pik değere ulaşmıştır. Alçakta olması nedeniyle o dönemlerde kuzeyden esen hakim rüzgar kirliliği Beşiktaş ve çevresinde toplamış olabilir. Esenler istasyonunun minimum ölçümü 2 µg/m³ maksimum ölçümü 989 µg/m³'tür. Esenler ise en yüksek limite ilk yıllarda 2007 ve 2008 dönemlerinde ulaşmıştır. O dönemde Esenler çok yoğun nüfusa sahiptir kalitesiz yakıt kullanımı, artan araç satışı ve kullanılan dizel yakıtlar Esenler'de PM₁₀ kirliliğini artırmış olabilir. Beşiktaş ve Esenler istasyonlarının sırasıyla mod değerleri; 30 µg/m³ ve 38 µg/m³, ortanca değerleri sırasıyla; 43 µg/m³ ve 51 µg/m³'tür. Verilerin dağılımına bakacak olursak; Beşiktaş ölçümlerinin çarpıklığı 12,62 Esenler ise 7,05 olarak hesaplanmıştır. Ölçülen değerlerin eğrisi sağa çarpık olur.

Çizelge 4.8. Kadıköy ve Ümraniye İstasyonu PM₁₀ (µg/m³) istatistiksel analizi

Kadıköy		Ümraniye	
Aritmetik Ortalama	47,89	Aritmetik Ortalama	46,14
Geometrik Ortalama	37,91	Geometrik Ortalama	39,59
Standart Sapma	36,66	Standart Sapma	28,00
Minimum	1,00	Minimum	4,00
Maksimum	417,00	Maksimum	433,00
MSD	50,00	MSD	50,00
Medyan	37,00	Medyan	40,00
Mod	24,00	Mod	35,00
Çarpıklık	2,59	Çarpıklık	2,61

Çizelge 4.8’de 11 yıllık PM₁₀ ölçümleri sonucu Kadıköy istasyonunun aritmetik ortalaması 47,89 standart sapması 36,66 olarak hesaplandı. Ümraniye istasyonunun ölçümleri sonucu aritmetik ortalama 46,14 standart sapması 28 olarak hesaplandı. Bu hesaplamalardan verilerin ortalamaya yakın olduğunu yani homojen bir dağılım gösterdiği anlaşılmaktadır. Ölçülen veriler sonucu Kadıköy’de minimum veri 1 µg/m³ maksimum veri 17 µg/m³’tür. Ümraniye’de ise minimum veri 4 µg/m³ maksimum veri 433 µg/m³’tür. Kadıköy istasyonu ölçümlerinin modu 24 µg/m³, medyanı 37 µg/m³’tür. Ümraniye istasyonu ölçümlerinin ise modu 35 µg/m³, medyanı ise 40 µg/m³’tür. Dağılımına baktığımız zaman Kadıköy için çarpıklık 2,59 Ümraniye için 2,61’dir. Dağılım sağa çarpıktır. Günümüze yaklaştıkça her iki bölgede de PM₁₀ konsantrasyonlarında azalma olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.9. Kartal ve Sarıyer İstasyonu PM₁₀ (µg/m³) istatistiksel analizi

Kartal		Sarıyer	
Aritmetik Ortalama	64,60	Aritmetik Ortalama	41,02
Geometrik Ortalama	54,65	Geometrik Ortalama	33,14
Standart Sapma	40,57	Standart Sapma	28,99
Minimum	1,00	Minimum	3,00
Maksimum	520,00	Maksimum	473,00
MSD	50,00	MSD	50,00
Medyan	54,00	Medyan	33,00
Mod	42,00	Mod	20,00
Çarpıklık	2,15	Çarpıklık	2,67

Çizelge 4.9’da Kartal istasyonunun 11 yıllık PM₁₀ ölçümlerinin aritmetik ortalaması 64,60 standart sapması 40,57 olarak hesaplanmıştır. Sarıyer istasyonunun ise aritmetik ortalaması 41,02 standart sapması ise 28,99 olarak hesaplandı. Ölçülen verilerin ortalamaya yakın olduğu yani homojen dağıldığı gözlenmiştir. 11 yıllık ölçümler sonucunda Kartal istasyonunun minimum ölçümü 1 µg/m³ maksimum ölçümü 520 µg/m³ Sarıyer istasyonunda minimum ölçülen veri 3 µg/m³ maksimum ölçülen veri 473 µg/m³ olmuştur. Ölçülen maksimum değerler daha çok ilk yıllardadır. Kartalın organize sanayi bölgelerine olan yakınlığı Sarıyer’in ise çukurda olması hakim rüzgarın kirli havayı buralara taşımasına ve PM10 yükünün fazla çıkmasına neden olmuştur. Değişken sıralamasında Kartal istasyonun mod değeri 42 µg/m³ medyanı ise 54 µg/m³’tür. Sarıyer istasyonun modu 20 µg/m³ medyanı ise 33 µg/m³’tür. Kartal istasyonu verilerinin dağılımı 2,15 Sarıyer istasyonu verilerinin çarpıklık dağılımı 2,67 olarak hesaplandı. Oluşan grafik sağa çarpıktır.

Çizelge 4.10. Üsküdar İstasyonu ve İstanbul'un genel PM₁₀ (µg/m³) istatistiksel analizi

Üsküdar		İstanbul	
Aritmetik Ortalama	40,73	Aritmetik Ortalama	51,67
Geometrik Ortalama	35,24	Geometrik Ortalama	43,24
Standart Sapma	23,94	Standart Sapma	36,31
Minimum	2,00	Minimum	1,00
Maksimum	433,00	Maksimum	989,00
MSD	50,00	MSD	50,00
Medyan	35,00	Medyan	44,00
Mod	30,00	Mod	30,00
Çarpıklık	27,14	Çarpıklık	5,39

Çizelge 4.10'da gösterilen 2007-2017 yılları arasında ölçülen PM₁₀ verilerinin Üsküdar istasyonu için aritmetik ortalaması 40,73 standart sapması 23,94'tür. Verilerin dağılımı ortalamaya yakın olduğu için homojendir. Ölçülen minimum veri 2 µg/m³ maksimum veri 433 µg/m³'tür. İlk yıllarda çok yüksek çıkabilen PM₁₀ konsantrasyonu günümüze yaklaştıkça azalmıştır. Değişkenlerin modu 30 µg/m³ ortanca değeri 35 µg/m³'tür. Verilerin dağılımına bakarsak; çarpıklığı 27,14'tür. Oluşacak eğri sağa çarpıktır.

İstanbul'un 11 yıllık PM₁₀ ölçümü yapılmış ve elde edilen verilerin aritmetik ortalaması 51,67 standart sapması ise 36,31 olarak hesaplanmıştır. Homojen bir dağılım olmuştur. Ölçülen minimum veri 1 µg/m³ maksimum veri 989 µg/m³ olmuştur. Ölçümlerin mod değeri 30 µg/m³ medyan değeri 44 µg/m³'tür. İstanbul için tüm ölçümlerin dağılımına baktığımız zaman çarpıklık 5,39 olarak hesaplandı. Yani oluşan eğri sağa çarpıktır. PM₁₀ kirliliği günümüze gelirken 11 yıllık süre içerisinde azalım göstermiştir.

4.1.3. Karbon monoksit (CO)

Kentleşme oranı her bölgede farklı olduğu için karbon emisyonları üzerindeki etkisi de farklı olur.

Çizelge 4.11. Aksaray ve Alibeyköy İstasyonu CO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) istatistiksel analizi

Aksaray		Alibeyköy	
Aritmetik Ortalama	777,03	Aritmetik Ortalama	569,41
Geometrik Ortalama	682,38	Geometrik Ortalama	471,49
Standart Sapma	428,03	Standart Sapma	368,48
Minimum	10,00	Minimum	7,00
Maksimum	4.800,00	Maksimum	2.749,00
MSD	10.000,00	MSD	10.000,00
Medyan	670,00	Medyan	468,00
Mod	550,00	Mod	506,00
Çarpıklık	2,33	Çarpıklık	1,81

Çizelge 4.11’de 11 yıllık CO ölçümleri sonucu Aksaray istasyonunun aritmetik ortalaması 777,03 Alibeyköy istasyonunun ise 569,41 olarak hesaplanmıştır. Veriler ortalamaya yakın ölçülmüş homojen dağılmıştır. Standart sapmaları ise sırasıyla 428,03 ve 368,48 hesaplandı. Aksaray’ın minimum ölçülen verisi $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ maksimum ölçülen verisi ise $4800 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ’tür. Alibeyköy için yapılan ölçümde minimum değer $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ maksimum değer ise $2749 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ’tür Aksaray istasyonunda yapılan ölçümlerde medyan $670 \mu\text{g}/\text{m}^3$ mod $550 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak ölçüldü. Alibeyköy istasyonundaki ölçümlerde ise medyan $468 \mu\text{g}/\text{m}^3$ mod $506 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ’tür. Son olarak Aksaray istasyonu ölçümlerindeki çarpıklık 2,33 Alibeyköy ölçümlerinin çarpıklığı 1,81’dir. İki istasyonda da yıllar içinde bir aşım gözlenmemiş ve günümüze yaklaştıkça azalma izlenmiştir.

Çizelge 4.12. Beşiktaş ve Esenler İstasyonu CO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) istatistiksel analizi

Beşiktaş		Esenler	
Aritmetik Ortalama	715,63	Aritmetik Ortalama	596,14
Geometrik Ortalama	612,19	Geometrik Ortalama	479,22
Standart Sapma	469,46	Standart Sapma	390,57
Minimum	15,00	Minimum	16,00
Maksimum	13.943,00	Maksimum	5.227,00
MSD	10.000,00	MSD	10.000,00
Medyan	649,00	Medyan	498,00
Mod	655,00	Mod	332,00
Çarpıklık	7,67	Çarpıklık	2,26

Çizelge 4.12’de 2007-2017 yılları arasında Beşiktaş ve Esenler istasyonlarında yapılan ölçümlerin aritmetik ortalaması sırasıyla 715,63 ve 596,14 olarak hesaplanmış standart sapmaları ise sırasıyla 469,46 ve 390,57’dir. Veriler ortalamaya yakın, dağılım homojendir. Beşiktaş istasyonunda yapılan minimum ölçüm $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ maksimum ölçüm $13943 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ’tür. Beşiktaş’ın Avrupa yakasında ki en gözde ulaşım merkezi olması, otobüs, minibüs gibi sürekli hareket halindeki araçların durak yerlerinin burada olması, ayrıca vapur kirliliğinin daha çok olduğu alan olmasından dolayı yüksek çıkmıştır. Rakımının düşük olması hakim rüzgarın çevre alanlarda oluşan kirliliği yine buraya taşımaya neden olmuş olabilir. Esenler istasyonunda yapılan minimum ölçüm $16 \mu\text{g}/\text{m}^3$ maksimum ölçüm $5227 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ’tür. Beşiktaş ölçümlerinin mod değeri $655 \mu\text{g}/\text{m}^3$ medyan değeri $649 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ’tür. Esenler ölçümlerinin ise medyan değeri $498 \mu\text{g}/\text{m}^3$ modu ise $332 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ’tür. Bu iki istasyonun çarpıklığına bakacak olursak sırasıyla 7,67 ve 2,26’dır. Günümüze geldikçe azalan bir CO konsantrasyonu mevcuttur.

Çizelge 4.13. Kadıköy ve Ümraniye İstasyonu CO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) istatistiksel analizi

Kadıköy		Ümraniye	
Aritmetik Ortalama	727,49	Aritmetik Ortalama	722,99
Geometrik Ortalama	625,15	Geometrik Ortalama	535,90
Standart Sapma	500,82	Standart Sapma	978,06
Minimum	14,00	Minimum	9,00
Maksimum	6.996,00	Maksimum	17.533,00
MSD	10.000,00	MSD	10.000,00
Medyan	567,00	Medyan	553,00
Mod	442,00	Mod	526,00
Çarpıklık	2,23	Çarpıklık	10,51

Çizelge 4.13’de 2007-2017 yılları arasında yapılan ölçümlerde Kadıköy istasyonunun aritmetik ortalaması 727,49 Ümraniye istasyonunun aritmetik ortalaması 722,99’dur. Standart sapmaları ise sırasıyla 500,82 ve 978,06 olarak hesaplandı. Kadıköy ölçümlerinin minimum verisi $14 \mu\text{g}/\text{m}^3$ maksimum verisi $6996 \mu\text{g}/\text{m}^3$ Ümraniye ölçümlerinin minimum verisi $9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ maksimum verisi $17533 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak ölçüldü. Ümraniye’deki bu yüksek değer 2010 yılında ölçülmüştür o dönemde mevcut kirletici kaynakların yanı sıra yoğun nüfusun getirdiği olumsuz etkileri de vardı. O dönemde bir yığın aracın benzin dökülerek yakılması, iş yerlerinin yakılması zaten araç trafiğinden var olan karbon monoksit konsantrasyonunun iyice yükselmesine neden olmuştur. Kadıköy istasyonu ölçümlerinin medyan değeri $567 \mu\text{g}/\text{m}^3$ mod değeri $442 \mu\text{g}/\text{m}^3$, Ümraniye ölçümlerinin medyanı $553 \mu\text{g}/\text{m}^3$ modu $526 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak bulundu. Çarpıklık durumları ise sırasıyla 2,23 ve 10,51’dir. Günümüze yaklaştıkça azalan bir CO konsantrasyonu gözlenir.

Çizelge 4.14. Sarıyer ve Üsküdar İstasyonu CO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) istatistiksel analizi

Sarıyer		Üsküdar	
Aritmetik Ortalama	453,17	Aritmetik Ortalama	633,41
Geometrik Ortalama	358,38	Geometrik Ortalama	513,30
Standart Sapma	397,60	Standart Sapma	357,37
Minimum	19,00	Minimum	5,00
Maksimum	8.504,00	Maksimum	2.903,00
MSD	10.000,00	MSD	10.000,00
Medyan	349,00	Medyan	583,00
Mod	268,00	Mod	270,00
Çarpıklık	7,36	Çarpıklık	1,09

Çizelge 4.14’de 10 yıllık ölçümler sonucu Sarıyer ve Üsküdar istasyonları için hesaplanan aritmetik ortalama sırasıyla 453,17 ve 633,41’dir. Ayrıca ölçümlerin standart sapması ise yine sırasıyla 397,60 ve 357,37 olarak hesaplanmıştır. veriler ortalamaya yakındır dolayısıyla dağılım homojendir. Sarıyer için ölçümlerin minimum değeri 19 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ maksimum değeri 8504 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, Üsküdar ölçümlerinin minimum değeri 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ maksimum değeri 2903 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak ölçülmüştür. Ölçümler sınır değeri aşmamıştır. Sarıyer istasyonu ölçümlerinin mod değeri 268 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ medyan değeri ise 349 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Üsküdar istasyonu ölçümlerinin modu 270 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ medyanı ise 583 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ’tür. Ölçümlerin çarpıklığına bakarsak sırasıyla 7,36 ve 1,09 olarak hesaplanmıştır. Günümüze gelirken yine azalan bir karbon moksit konsantrasyonu gözlenir.

Çizelge 4.15. İstanbul’un genel CO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) istatistiksel analizi

Aritmetik Ortalama	657,06
Geometrik ortalama	525,52
standart sapma	463,23
Minimum	5,00
Maksimum	17.533,00
MSD	10.000,00
Medyan	564,00
Mod	412,00
Çarpıklık	6,56

Çizelge 4.15’de İstanbul’un 11 yıllık hava kalitesi ölçümü sonucu hesaplanan karbon monoksit ortalaması 657’dir. Verilerin standart sapması 463,23, minimum CO değeri 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ve maksimum değer 17533 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak ölçülmüştür. En yüksek değer 2007 yılında Ümraniye istasyonunda ölçülmüştür (trafiğe çıkan araç sayısının fazla olması, insan yoğunluğu, kalitesiz yakıt ve eksik yanma sonucu oluşmuştur.), kontrol çalışmalarından sonra azaltılmıştır. Ölçümlerin modu 412 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ortanca değeri 564 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ çarpıklığı ise 6,56’dır. Ölçülen veriler genel olarak homojendir. Günümüze doğru yaklaştıkça İstanbul genelinde karbon monoksit değerinde azalma olduğu söylenebilir.

4.1.4. Azot dioksit (NO₂)

Çizelge 4.16. Aksaray ve Alibeyköy İstasyonu NO₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) istatistiksel analizi

Aksaray		Alibeyköy	
Aritmetik Ortalama	78,04	Aritmetik Ortalama	51,73
Geometrik Ortalama	70,45	Geometrik Ortalama	45,25
Standart Sapma	35,32	Standart Sapma	32,00
Minimum	1,00	Minimum	1,00
Maksimum	593,00	Maksimum	706,00
MSD	300,00	MSD	300,00
Medyan	74,00	Medyan	45,00
Mod	69,00	Mod	36,00
Çarpıklık	2,85	Çarpıklık	6,49

Çizelge 4.16’da 2007-2017 yılları arasında yapılan NO₂ ölçümlerde Aksaray’ın aritmetik ortalaması 78, Alibeyköy’ün ise 51,73 standart sapmaları ise sırasıyla 35,32 ve 32 olarak hesaplanmıştır. Veriler ortalamaya yakın yani homojen dağılmıştır. Aksaray istasyonun ölçtüğü minimum NO₂ 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ maksimum NO₂ 593 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, Alibeyköy’ün minimum verisi 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ maksimum verisi ise 706 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ’tür. 2008 ve 2009 yıllarında bu istasyonlarda sınır değer aşımı görülmüştür. Nedeni ise çok fazla insan ve taşıt yoğunluğunun olması, adım başı otel ve ticari araçların hareket halinde olması olabilir. Ayrıca kuzey rüzgarının etkisiyle de kirliliğin bu alana taşınımı NO₂ yükünü artırmıştır. Ölçümlerin medyanı Aksaray istasyonu için 74 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ modu ise 69 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Alibeyköy

istasyonu için ise modu $36 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ortanca değeri $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 'tür. Çarpıklığı ise sırasıyla 2,85 ve 6,49 olarak hesaplandı. Günümüze doğru azalım göstermiştir.

Çizelge 4.17. Beşiktaş ve Esenler İstasyonu NO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) istatistiksel analizi

Beşiktaş		Esenler	
Aritmetik Ortalama	83,23	Aritmetik Ortalama	64,98
Geometrik Ortalama	75,45	Geometrik Ortalama	58,12
Standart Sapma	34,01	Standart Sapma	29,41
Minimum	2,00	Minimum	2,00
Maksimum	410,00	Maksimum	339,00
MSD	300,00	MSD	300,00
Medyan	81,00	Medyan	60,00
Mod	73,00	Mod	54,00
Çarpıklık	0,97	Çarpıklık	1,51

Çizelge 4.17'de 2007-2017 yılları arasında yapılan ölçümlerde Beşiktaş istasyonunun aritmetik ortalaması 83,23 standart sapması ise 34,01 Esenler istasyonunun yaptığı ölçümlerin aritmetik ortalaması ise 64,98 standart sapması 29,41 olarak hesaplanmıştır. Ölçümler ortalamaya yakındır. Ölçülen verilerin Beşiktaş istasyonundaki minimum değeri $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ maksimum değeri $410 \mu\text{g}/\text{m}^3$ Esenler istasyonunun minimum verisi $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ maksimum verisi $339 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 'tür. Beşiktaş ve Esenlerin çok fazla merkezi yerler olması insan yoğunluğunu fazla olması buna bağlı olarak ısınmadan kaynaklı yanma olaylarını yüksek olması kirliliği artırmıştır. Çünkü genel olarak ilk yıllarda ve kış aylarında yüksek çıkmıştır. 2013 yılında Beşiktaş'ta NO_2 'nin yüksek çıkması hakim rüzgarın etkisiyledir. Beşiktaş ölçümlerinin medyan değeri $81 \mu\text{g}/\text{m}^3$ mod değeri $73 \mu\text{g}/\text{m}^3$, Esenler ölçümlerinin ise modu $54 \mu\text{g}/\text{m}^3$ medyanı $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 'tür. Çarpıklıkları sırasıyla 0,97 ve 1,51 olarak hesaplandı. Yine günümüze yaklaştıkça iki bölgede de azalan azot dioksit konsantrasyonu mevcuttur.

Çizelge 4.18. Kadıköy ve Ümraniye İstasyonu NO₂ (µg/m³) istatistiksel analizi

Kadıköy		Ümraniye	
Aritmetik Ortalama	59,41	Aritmetik Ortalama	45,41
Geometrik Ortalama	51,05	Geometrik Ortalama	38,60
Standart Sapma	38,92	Standart Sapma	31,51
Minimum	1,00	Minimum	1,00
Maksimum	427,00	Maksimum	552,00
MSD	300,00	MSD	300,00
Medyan	50,00	Medyan	39,00
Mod	34,00	Mod	30,00
Çarpıklık	3,04	Çarpıklık	4,07

Çizelge 4.18’de 11 yıllık NO₂ ölçümleri sonucu Kadıköy istasyonunun aritmetik ortalaması 59,41 standart sapması 38,92 Ümraniye istasyonunun ise aritmetik ortalaması 45,41 standart sapması ise 31,51 olarak hesaplandı. Ölçülen veriler ortalamaya yakındır. Kadıköy istasyonu ölçümlerinde minimum değer 1 µg/m³ maksimum değer 427 µg/m³’tür. Kadıköy’ün yine çok yoğun bir bölge olması işlek trafik alanlarının içinde kalması, yeşil alanının az olması (kişi başına 2,8 m²) Kadıköy’de kirliliğin artmasına neden olmuş olabilir. Ümraniye istasyonunun ise ölçtüğü minimum NO₂ 1 µg/m³ maksimum NO₂ ise 552 µg/m³’tür. Ümraniye ise bulundurduğu organize sanayisi ile bunun sebep olduğu trafik yoğunluğu azot dioksit konsantrasyonunu artırmış olabilir. Ölçümlerin mod değeri Kadıköy istasyonu için 34 µg/m³ medyan değeri 50 µg/m³ Ümraniye istasyonu için mod 30 µg/m³ medyan ise 39 µg/m³’tür. Çarpıklığa bakarsak Kadıköy istasyonu ölçümlerinin çarpıklığı 3,04 Ümraniye istasyonu ölçümlerinin çarpıklığı ise 4,07 olarak hesaplanmıştır. 2017 yılına yaklaştıkça azalan kirlilik konsantrasyonu vardır.

Çizelge 4.19. Kartal İstasyonu ve İstanbul'un genel NO₂ (µg/m³) istatistiksel analizi

Kartal		İstanbul	
Aritmetik Ortalama	69,37	Aritmetik Ortalama	64,08
Geometrik Ortalama	68,41	Geometrik ortalama	58,19
Standart Sapma	11,15	standart sapma	36,02
Minimum	33,00	Minimum	1,00
Maksimum	96,00	Maksimum	706,00
MSD	300,00	MSD	300,00
Medyan	70,00	Medyan	64,08
Mod	72,00	Mod	36,00
Çarpıklık	- 0,32	Çarpıklık	2,52

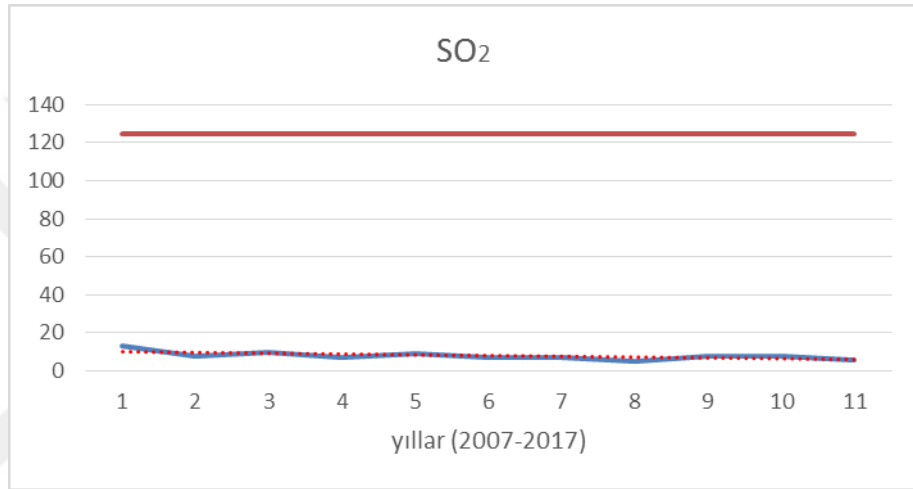
Çizelge 4.19'da Kartal istasyonunun 2016 ve 2017 yılı NO₂ ölçümlerinin aritmetik ortalaması 69,37 standart sapması 11,15'tir. İstanbul'un geneline bakarsak NO₂ kirliliğinin 11 yıllık aritmetik ortalaması 64,08 standart sapması 36,02 olarak hesaplanmıştır. Kartal istasyonunda ölçülen minimum NO₂ 33 µg/m³ maksimum ise 96 µg/m³ İstanbul için genel baktığımızda ölçülen minimum veri 1 µg/m³ maksimum veri ise 706 µg/m³'tür. Kartal istasyonu ölçümlerinin medyanı 70 µg/m³ mod değeri 72 µg/m³ İstanbul için bakarsak medyanı 64 µg/m³ mod değeri 36 µg/m³ olarak bulundu. Son olarak ölçümlerin çarpıklığı şu şekildedir; Kartal istasyonunun çarpıklık ölçümü -0,32 yani NO₂ günümüze yaklaştıkça artış göstermiş demektir çünkü ölçümler eksiktir. İstanbul'un geneline bakarsak çarpıklık 2,52'dir. İstanbul'da 2017 yılına yaklaştıkça azalan bir kirlilik izlenmiştir.

4.2. Hava Kirleticilerinin Zamansal Analizi

2007'den 2017 yılına kadar ölçülen verilerin İstanbul ili için zamansal eğrilerinden bazıları aşağıda verilmiştir.

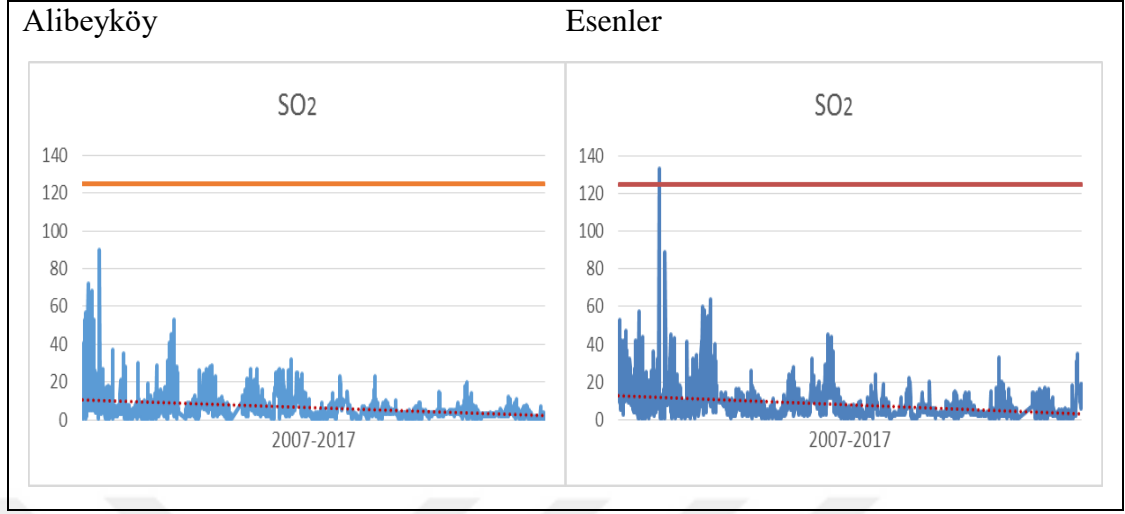
4.2.1. Kükürt dioksit (SO₂)

Bir yerde yakıt tüketimi eğilimi enerji üretimi ulaştırma faaliyetleri fazla ise burada endüstriyel yoğunlaşma vardır buna bağlı olarak hava kirliliği salınımı fazladır. Bununla birlikte çevresel tahribat ve halk sağlığı risklerini oluşturur. Kirlilik bir alanda ne kadar fazla ise orada ekonomik bozulma çok olur kaçınılmaz olur (Kahuthu 2006).



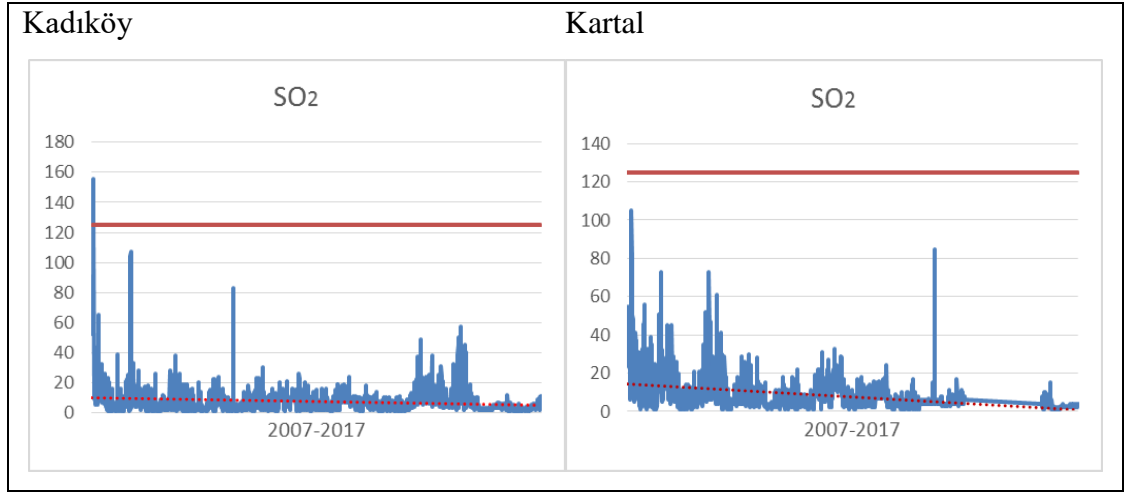
Şekil 4.1. İstanbul'un 11 yıllık SO₂ (µg/m³) kirliliğinin zamansal eğrisi

İstanbul'da 11 yılda SO₂ maksimum sınır değerini (125µg/m³) altında seyretmiş ve eğilim çizgisine baktığımız zaman azalım gösterdiği saptanmıştır.



Şekil 4.2. Alibeyköy ve Esenler İstasyonu 11 yıllık SO₂ (µg/m³) zamansal eğrisi

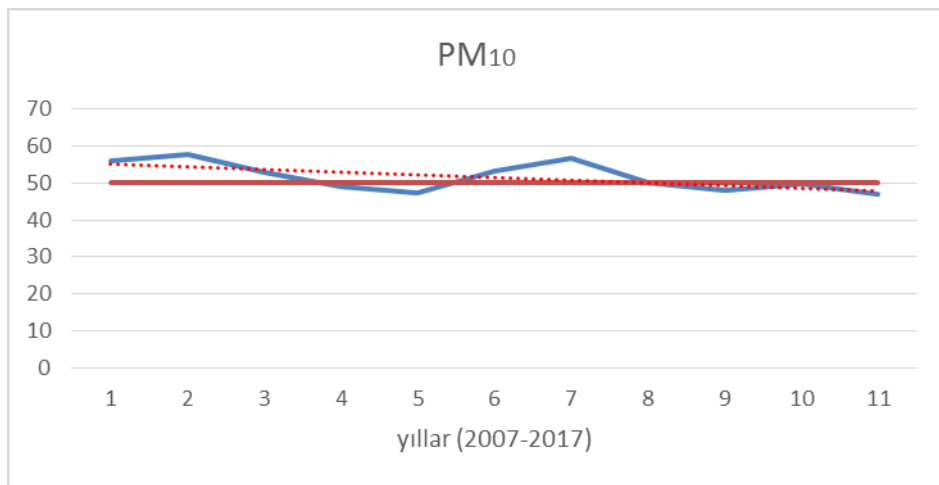
Alibeyköy ve Esenler istasyonlarına baktığımız zaman 11 yıllık zamansal değişimi grafik üzerinde görebiliyoruz. 2007-2008-2009 yıllarında yoğun olarak SO₂ kirliliği varken günümüze yaklaştıkça azalma eğilimi göstermiştir. Bu dönemlerde İstanbul genel olarak göç alan bir bölge olduğu için buna bağlı olarak da özellikle petrol ve kömür gibi fosil yakıtların yanması sonucu yine trafikteki araç sayısının fazla olması gibi nedenlerle SO₂'ler oluşmuştur. Bunlar üzerindeki iyileşmeyi grafik üzerinden kolayca görebiliriz. Günümüze yaklaştıkça doğalgaz kullanımı artmış, halk daha bilinçli hale gelmiş ve hava kirliliği kontrol yönetmelikleri uygulanmış olduğundan bu kirletici türünde azalma meydana gelmiş olabilir.



Şekil 4.3. Kadıköy ve Kartal İstasyonu 11 yıllık SO₂ (µg/m³) zamansal eğrisi

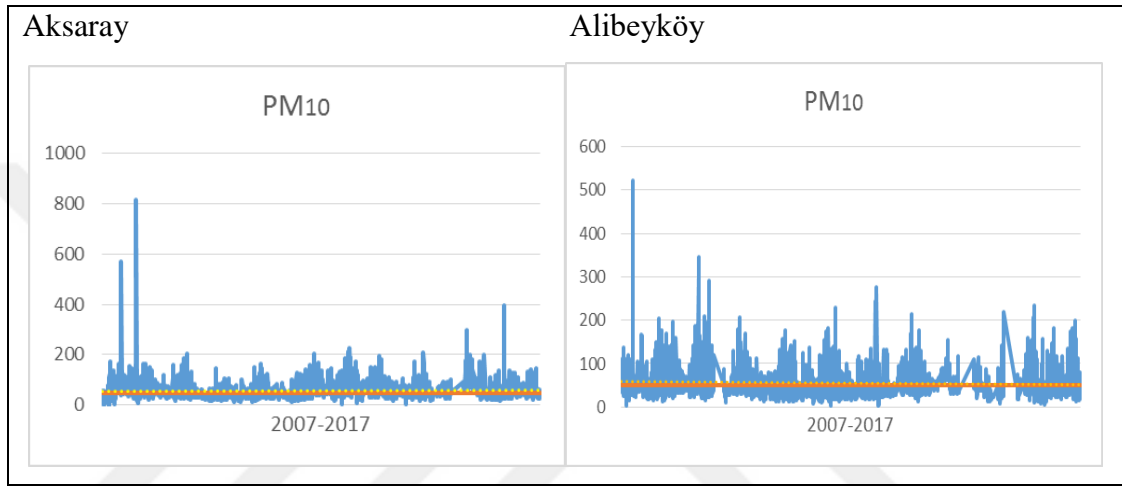
Kadıköy ve Kartal istasyonlarına bakacak olursak SO₂ kirliliğinin yine günümüze doğru azalım gösterdiğini ama ara ara pik olduğu dönemleri görürüz. Bu durumu İstanbul'un hızla artan nüfusuna ve gecekondulaşmanın artmasına bağlayabiliriz. Kentsel dönüşüm faaliyetleri, çarpık kentleşme ve hakim rüzgarın bu bölgelerin üzerine kirlenici taşınması dönem dönem SO₂ konsantrasyonunun yükselmesine neden olmuş olabilir.

4.2.4. Partikül Madde (PM₁₀)



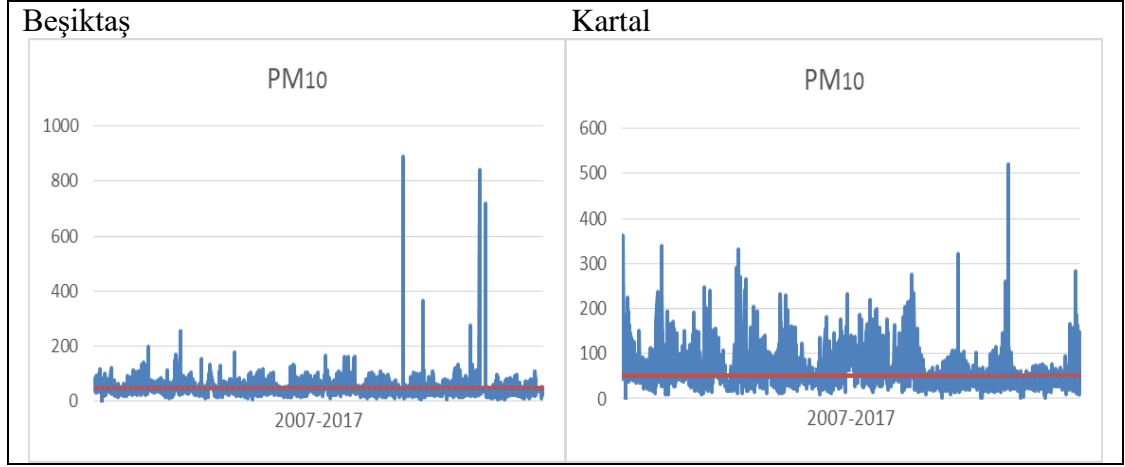
Şekil 4.4. İstanbul'un 11 yıllık PM₁₀ (µg/m³) kirliliğinin zamansal eğrisi

İstanbul'da 11 yıllık kirlilik 2007, 2008 ve 2013 yılında belirgin şekilde maksimum sınır değeri ($50\mu\text{g}/\text{m}^3$) aştığı izlenmiştir. Günümüze yaklaştıkça konsantrasyonunda azalma olduğu da görülmüştür. Partikül madde konsantrasyonu diğer kirletici türlerine göre daha fazla sınır değeri aştığı için tüm istasyonlar için nasıl bir eğri oluşturduğunu görebileceğimiz grafikler Şekil 4.7'de verilmiştir.



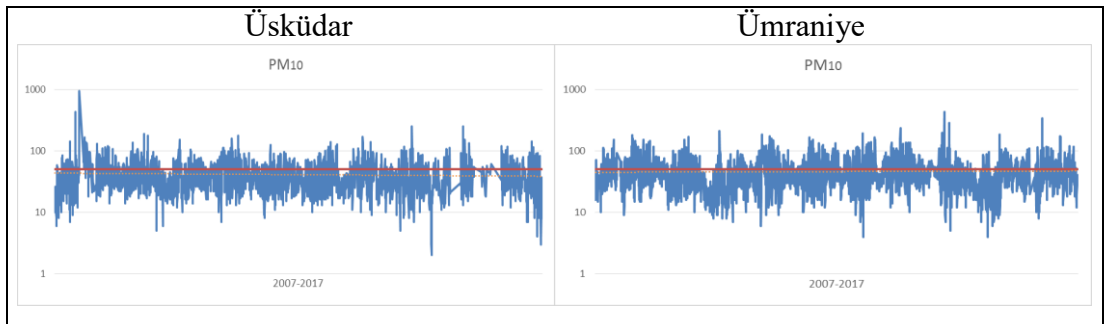
Şekil 4.5. Aksaray ve Alibeyköy İstasyonu 11 yıllık PM_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) zamansal eğrisi

Aksaray ve Alibeyköy istasyonlarında yapılan 11 yıllık PM_{10} ölçümlerinin değişimi grafikte gösterilmiştir. Günümüze yaklaştıkça azalma eğilimi gösterse de sınır değer üzerinde seyretmiştir. İstanbul, sürekli göç alan ve sürekli gelişen, kentsel dönüşüm yapılan bir şehirdir ve bu yüzden inşaat alanları fazladır. Doğal olarak toz, toprak gibi partikül maddelerin atmosfere çıkması da kaçınılmaz olduğu söylenebilir. Aksaray ve Alibeyköy'de insan yoğunluğunu çok olduğu ve trafiğin her an canlı olduğu bölgeler olduğu için kirlilik yüksektir.

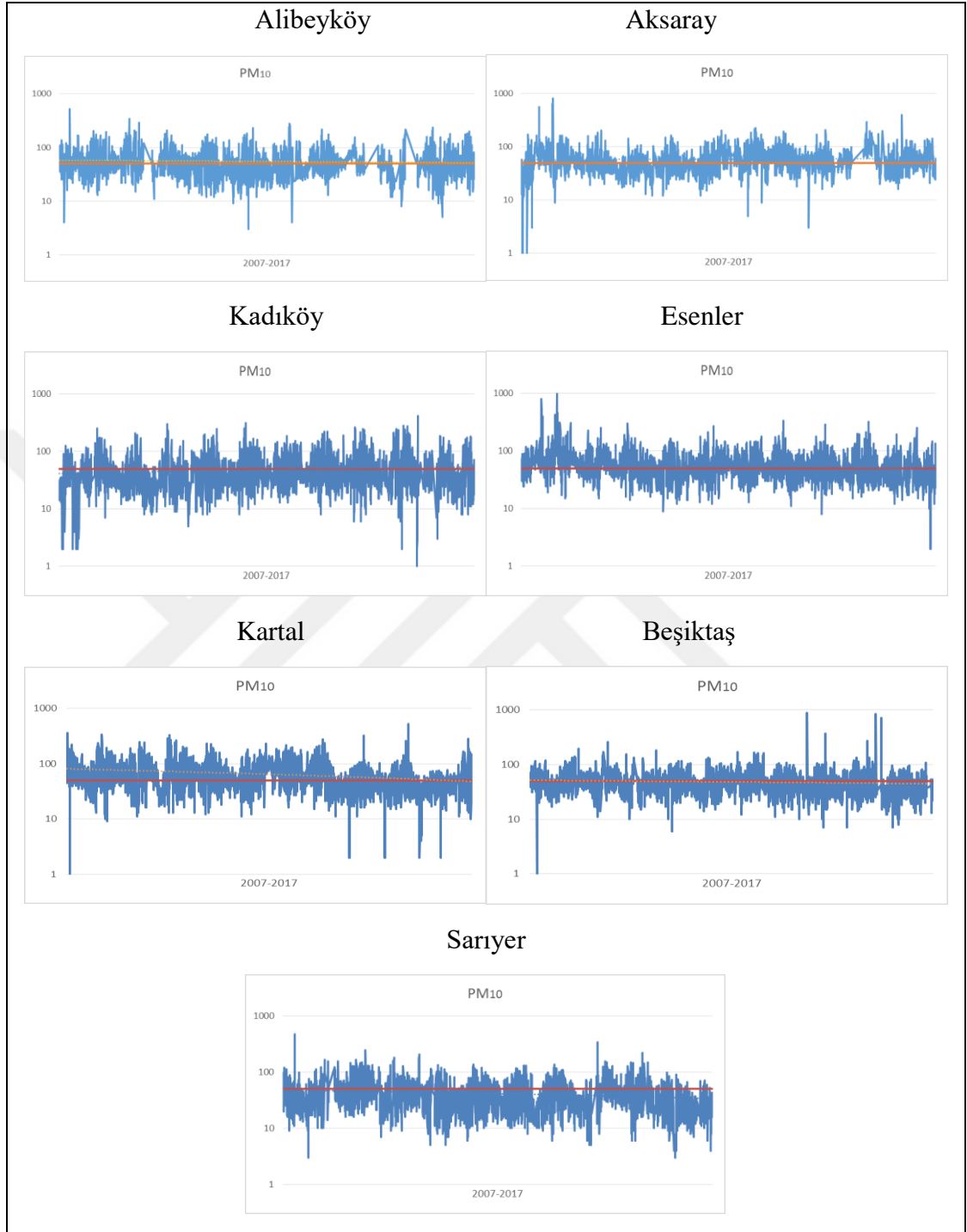


Şekil 4.6. Beşiktaş ve Kartal İstasyonu 11 yıllık PM₁₀ (µg/m³) zamansal eğrisi

Beşiktaş ve Kartal istasyonlarında PM₁₀ parametresinin pik yaptığı dönemleri görüyoruz grafikte. Bu iki bölgede yoğun nüfusa bağlı olarak gün yüzüne çıkan hava kirliliği yüksek seviyededir. Kartal Bölgesine yakın olan organize sanayilerin bacalarından çıkan partikül maddeler çevresine göre çukurda olan Kartal'ın hakim rüzgarında etkisiyle üzerinde birikmiş olabilir. Yine Beşiktaş Bölgesi trafik yoğunluğunun çok olduğu bir bölge ve dizel araçlardan çıkan partikül maddeler hava kirliliği oluşturabilir. Ama en çok da Beşiktaş'ın pik yaptığı dönemlerde çok fazla gemi kirliliği mevcuttur. Normal dönemden 3 katı fazla gemi vapur geçmiştir boğazdan, bu durumda meydana gelen kirlilik Beşiktaş'ı denize yakın ve çukura olmasından dolayı daha çok etkilemiş olabilir.



Şekil 4.7. İstasyonların 11 yıllık PM₁₀ (µg/m³) değişim eğrileri (devam)

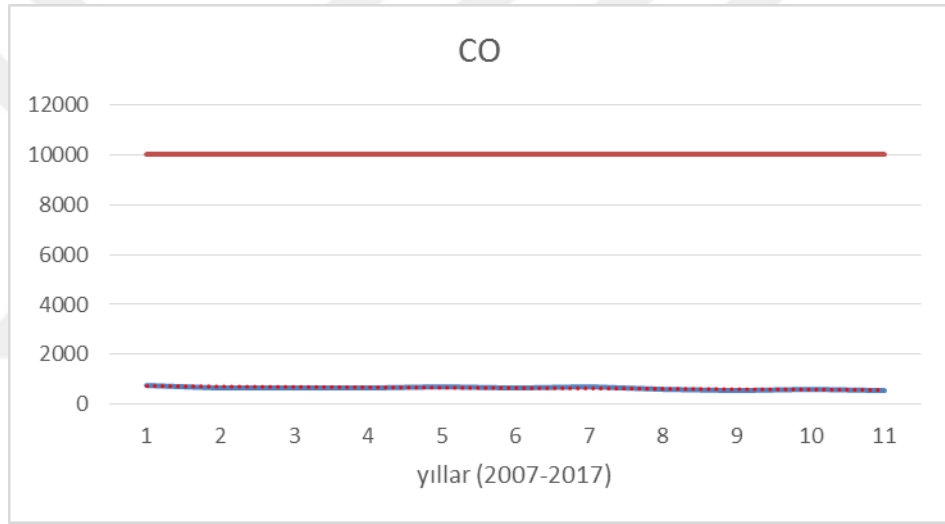


Şekil 4.7. İstasyonların 11 yıllık PM_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) değişim eğrileri

Şekil 4.7’de tüm istasyonların PM_{10} değişimleri verilmiştir. Sürekli sınır değerini aştığı izlenmiştir. Bazı bölgelerde günümüze yaklaştıkça azalma var ama bu çok da fark edilecek bir seviyede değildir. Çünkü meteorolojik faktörler partikül maddenin

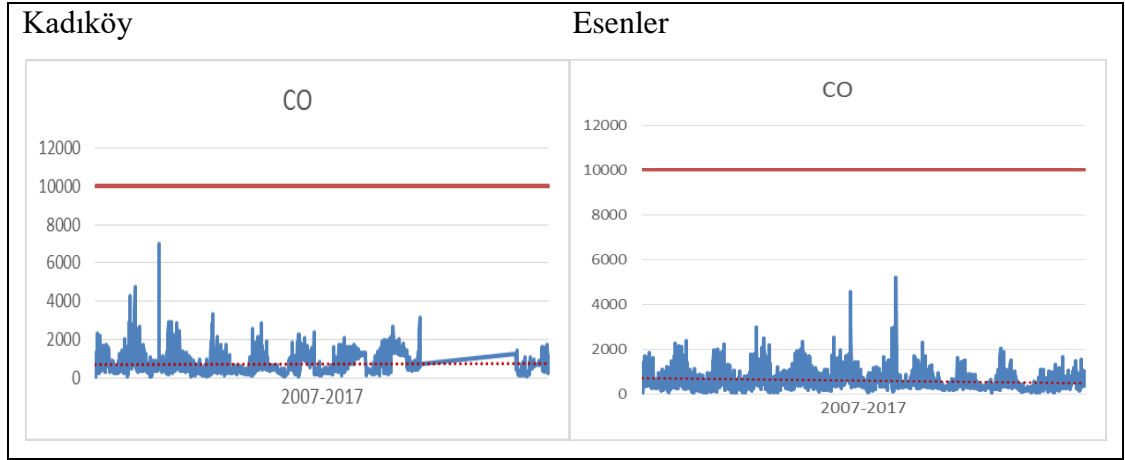
taşınmasına neden olmuş yoğunluğu fazla olan bölgeden az olan bölgeye, yüksekte olan alandan alçakta olan alana taşınmıştır. Yaz aylarında azalma gösteren partikül madde konsantrasyonu kış aylarında evsel ısınmanın da etkisiyle daha da yükselmiştir. Kentsel dönüşüm çalışmaları partikül madde oluşumunun en önemli kaynağıdır. Esenyurt, Esenler, Göztepe gibi son dönemlerde yoğun göz alan bu bölgeler doğal olarak partikül maddenin de en yoğun olduğu bölgelerdir.

4.2.3. Karbon monoksit (CO)



Şekil 4.8. İstanbul'un 11 yıllık CO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) kirliliğinin zamansal eğrisi

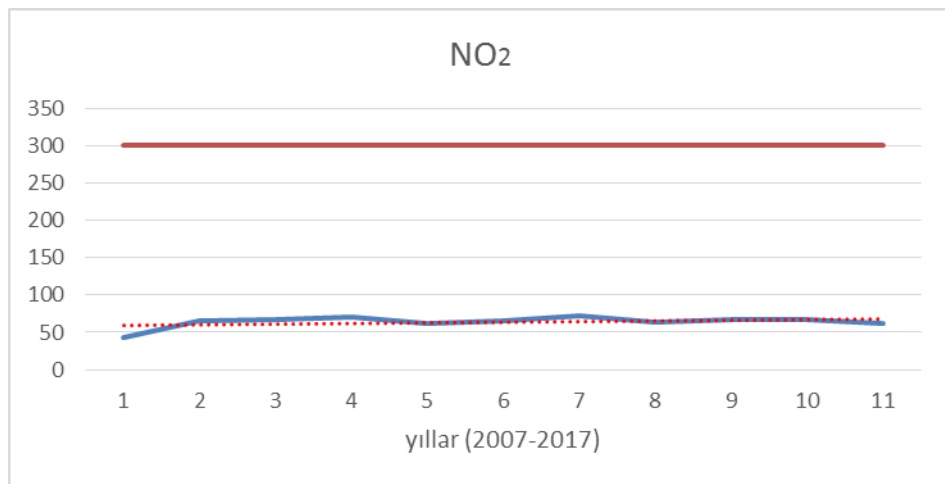
İstanbul'da 11 yıllık karbonmonoksit kirliliği ortalaması maksimum sınır değerinin altında seyretmiştir. Günümüze yaklaştıkça da azalma eğilimi göstermiştir. Araç muayene istasyonlarının oluşturulması, kirliliği fazla olan dizel araçların trafikten alınması ve daha kontrollü yaklaşılması kirliliğin azalmasına yardımcı olmuş olabilir.



Şekil 4.9. Kadıköy ve Esenler İstasyonu 11 yıllık CO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) zamansal eğrisi

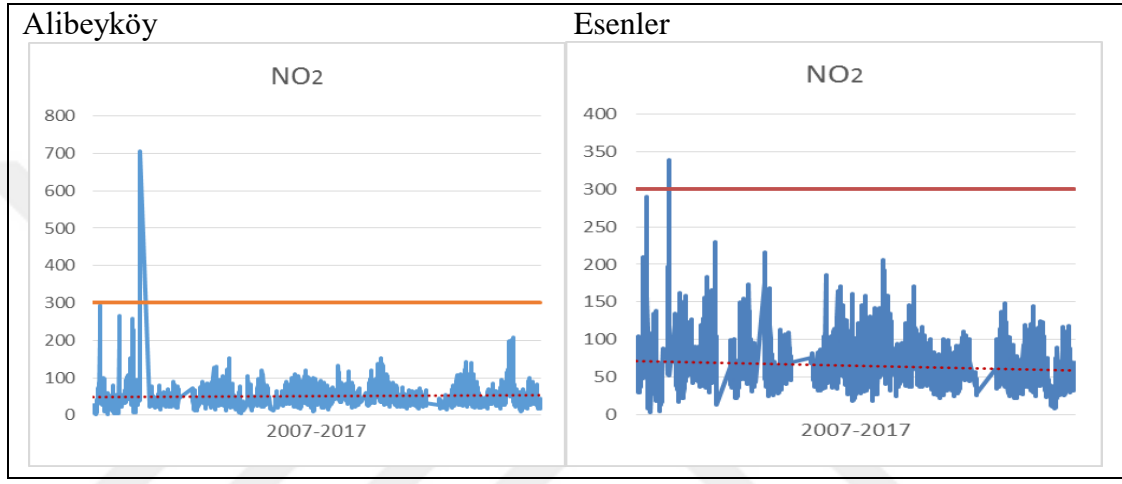
Kadıköy ve Esenler istasyonlarının yaptığı ölçümlerde günümüze doğru azalma eğilimi vardır. Pik yaptığı dönemler de genel olarak trafik kaynaklı olduğu düşünülebilir. Çünkü özellikle Kadıköy ve Esenler, insan ve trafik yoğunluğu fazla olan önemli bir noktada olduğu için neredeyse her zaman hava kirletici konsantrasyonunun yoğunlukla rastlandığı bir bölgedir

4.2.4. Azot dioksit (NO_2)



Şekil 4.10. İstanbul'un 11 yıllık NO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) kirliliğinin zamansal eğrisi

İstanbul'un 11 yıllık azot dioksit zamansal analizinde hava kirleticinin genel ortalamasının maksimum sınır değerinin ($300 \mu\text{g}/\text{m}^3$) altında seyrettiği izlenmiştir. Eğilim çizgisine baktığımız zamanda sabit olarak gittiğini görebiliriz. Günümüze yaklaştıkça çok fazla azalım göstermemesi giderek büyüyen sanayisi ve buna bağlı oluşan kirleticiler olarak yorumlanabilir.



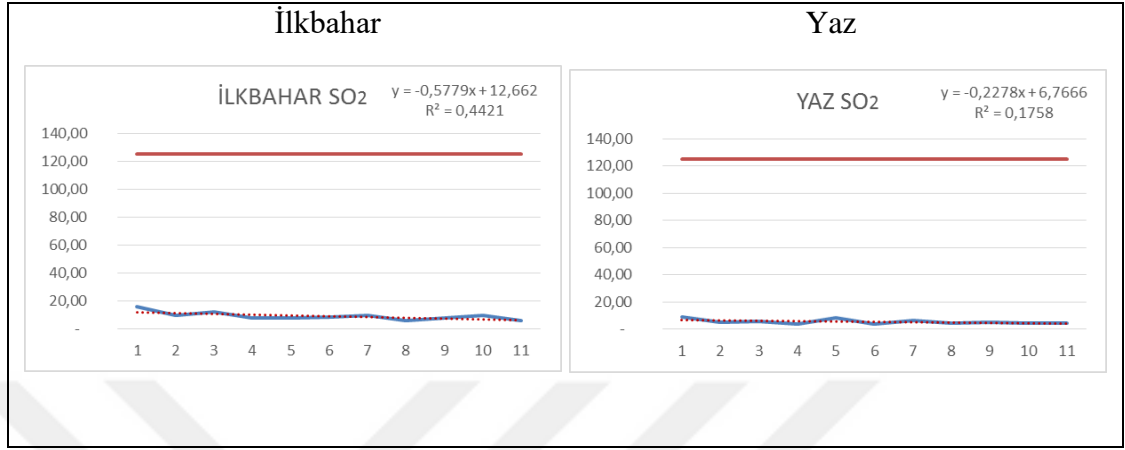
Şekil 4.11. Alibeyköy ve Esenler İstasyonu 11 yıllık NO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) zamansal eğrisi

Alibeyköy ve Esenler istasyonlarında ki ölçümlerde NO_2 kirliliğinin 2017 yılına doğru azalım gösterdiği ilk yıllarda sınır değerlerini aştığı dönemler olduğu görülmektedir. Özellikle iki bölgede de küçük ölçekli metal eşya üreten fabrika ve iş yerlerinin olması kirliliğe neden olmuş olabilir. Özellikle Esenler'de mahalle aralarında bulunan konfeksiyon atölyeleri yine kirletici kaynağı olabilir.

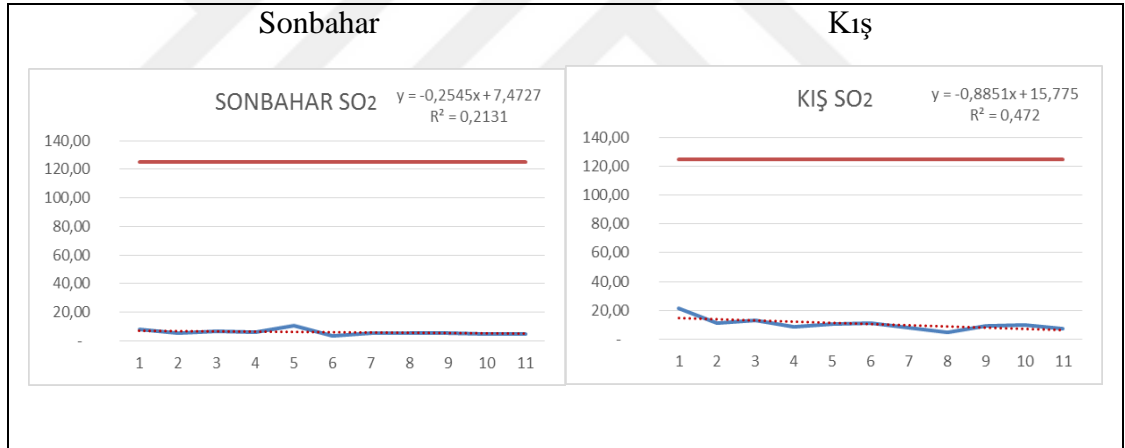
4.3. Hava Kirleticilerinin Mevsimsel Analizi

Avrupa'da yapılan çalışmalarda kış dönemi hava kirliliğinin kaynağı ısınma ve enerji için kömür ve odun kullanılması, olumsuz kış koşullarından dolayı artan trafik emisyonlarının olduğu gözlenmiştir (Cracow *et al.* 2006; Houthuijs *et al.* 2001). Meteorolojik koşullar şehir hava kalitesinde; hem kendi mevsimsellik değişimlerinde hem de kısa ve uzun vadede hava kalitesinde değişikliğe neden olur (Seo *et al.* 2017). İstanbul da yazın poyraz kışın ise karayel ve lodos rüzgarları kirliliğin taşınmasına neden olur.

4.3.1. Kükürt dioksit (SO₂)



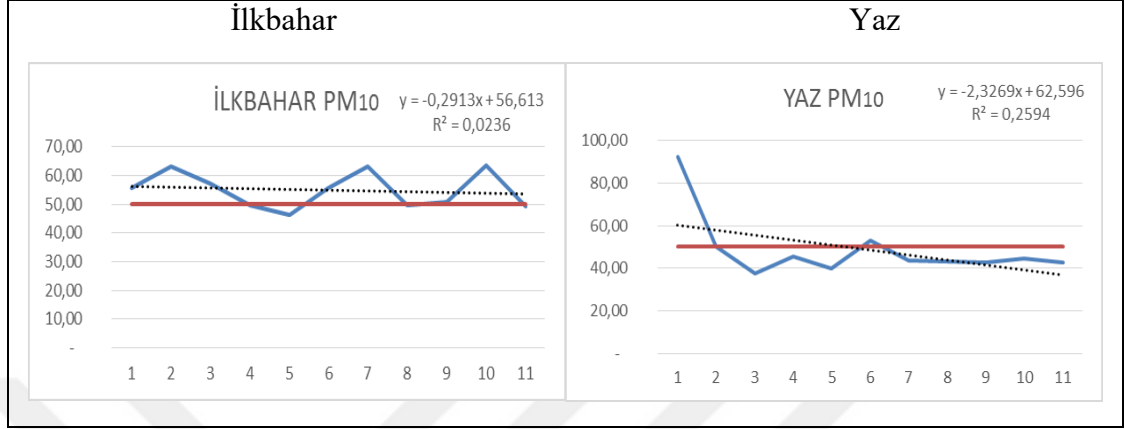
Şekil 4.12. İstanbul İlının ilkbahar ve yaz mevsiminde SO₂ (µg/m³) konsantrasyon eğrisi



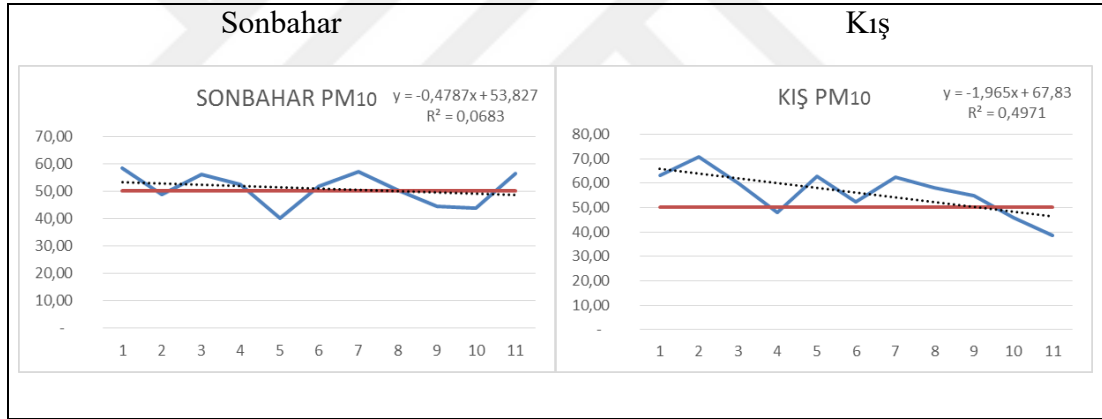
Şekil 4.13. İstanbul İlının sonbahar ve kış mevsiminde SO₂ (µg/m³) konsantrasyon eğrisi

SO₂ parametresinin 11 yıllık mevsimsel dağılımına baktığımız zaman verilerin sınır değerinin altında seyrettiğini görürüz. Ortalamaları ilkbahar mevsimi için 9,20 yaz için 5,40 sonbahar mevsimi için 5,95 son olarak kış mevsimi için 10,46 olarak hesaplanmıştır.

4.3.2. Partikül madde (PM₁₀)



Şekil 4.14. İstanbul İlının ilkbahar ve yaz mevsiminde PM₁₀ (µg/m³) konsantrasyon eğrisi



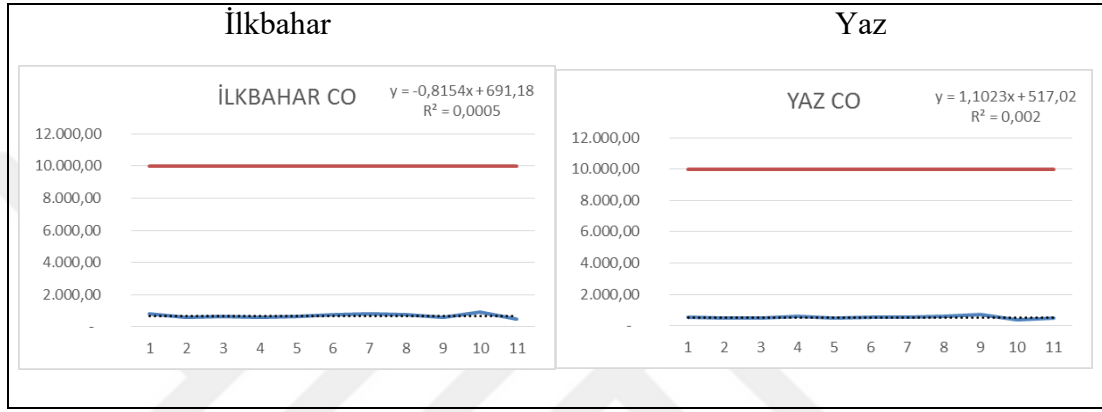
Şekil 4.15. İstanbul İlının sonbahar ve kış mevsiminde PM₁₀ (µg/m³) konsantrasyon eğrisi

PM₁₀ kirliliğinin mevsimsel dağılımını grafiklerde görüyoruz. MSD'i çoğu zaman aştığını gözlemleyebiliriz. Ortalamalarına bakacak olursak; ilkbahar için 54,87 yaz mevsimi için 48,63 sonbahar için 50,95 kış mevsimi için ise 56,04 olarak hesaplanmıştır.

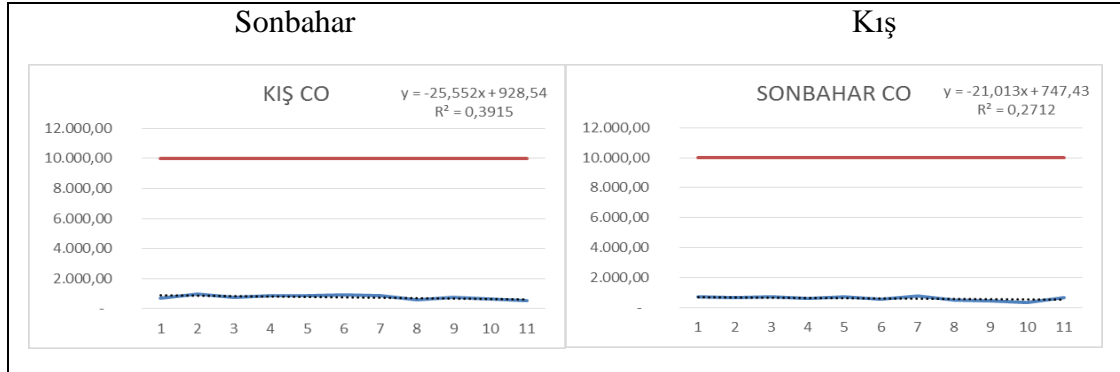
İlkbahar ve sonbahar mevsiminde rüzgar ve yağışın etkisiyle senelik farklılıklar yaşanmıştır. Sürekli artış ve azalmalar vardır bunun nedeni endüstrinin sürekli yaygınlaşması şehrin endüstri alanı içinde kalması meteorolojik faktörlerinde bazı dönemler kirliliği taşıması bazı dönemler kirlilik getirmesi eğrilerin bu şekilde olmasına neden olmuş olabilir.

Yaz ve kış dönemlerinde de aynı etkiden söz edebiliriz ama aynı zamanda kış aylarında azalma gösterdiği dönemlerde yakıt kontrollerini yapıldığı ve iyileşmeye gidildiğini ekleyebiliriz.

4.3.3. Karbon monoksit (CO)



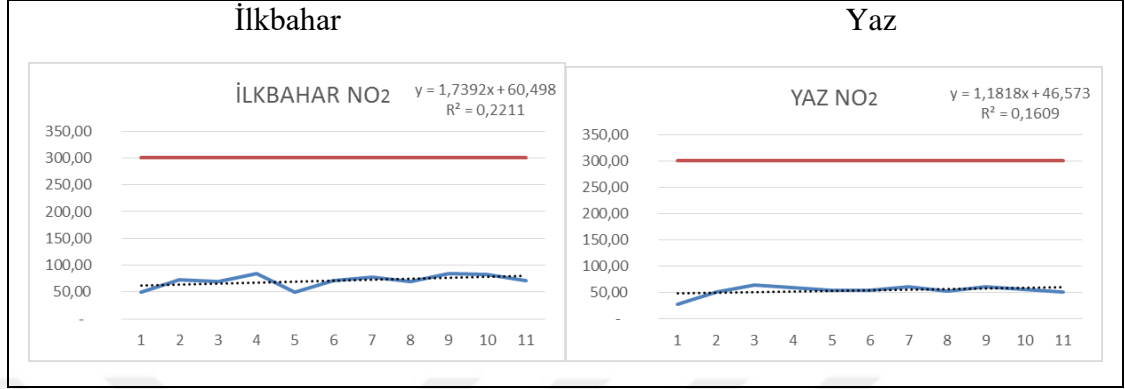
Şekil 4.16. İstanbul İlinin ilkbahar ve yaz mevsiminde CO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) konsantrasyon eğrisi



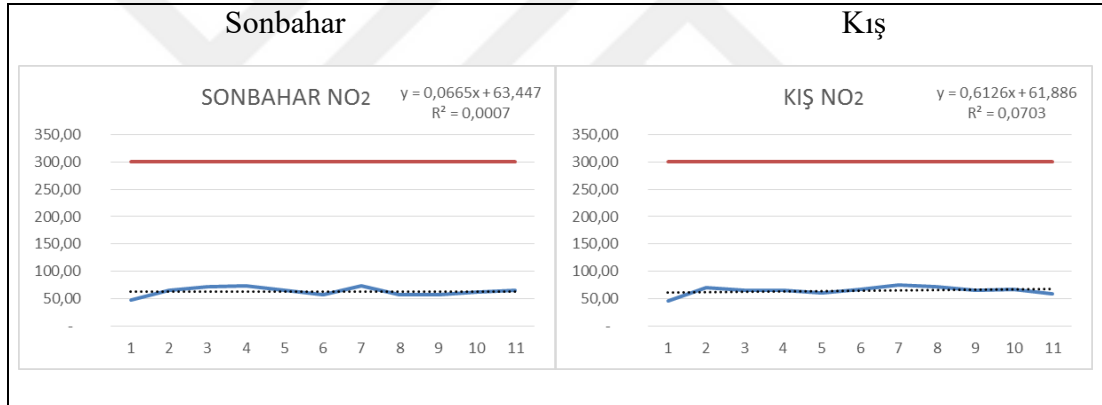
Şekil 4.17. İstanbul İlinin sonbahar ve kış mevsiminde CO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) konsantrasyon eğrisi

Karbon monoksit için 11 yıllık mevsimsel analiz belirlenen $10000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ lük sınır değerini sürekli altında olmuştur. Ortalamaları sırasıyla ilkbahar için $686,29$ yaz mevsimi için $523,64$ sonbahar için $621,35$ kış için ise $775,23$ hesaplanmıştır.

4.3.4. Azot dioksit (NO₂)



Şekil 4.18. İstanbul İlının ilkbahar ve yaz mevsiminde NO₂ (µg/m³) konsantrasyon eğrisi



Şekil 4.19. İstanbul İlının sonbahar ve kış mevsiminde NO₂ (µg/m³) konsantrasyon eğrisi

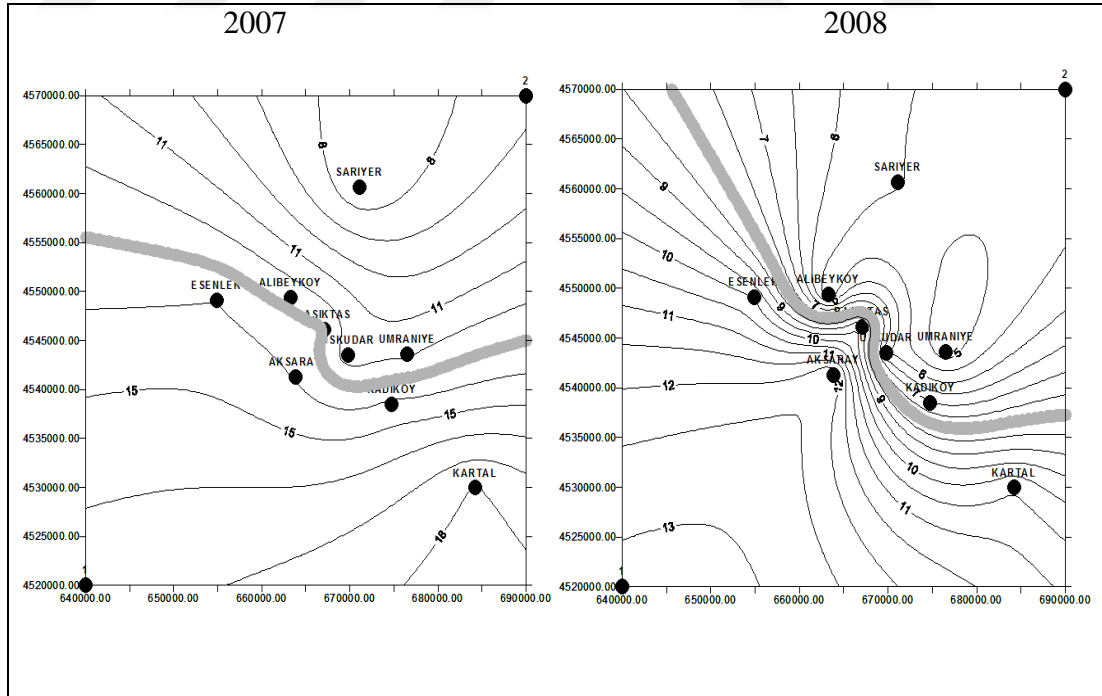
NO₂ nin yıllar içindeki mevsimsel değişimini yukarıdaki grafiklerde görüyoruz. Yine belirlenen sınır değerinin altında seyreden bir parametredir NO₂. Ortalamalarına bakacak olursak ilkbahar için 70,93 yaz için 53,66 sonbahar için 63,85 ve kış mevsimi için ise 65,56 olarak hesaplanmıştır.

4.4. Hava Kirleticilerinin Alansal Analizi

Hava kirliliğinin uzun vadede eğilimi; büyük ölçüde insan faaliyetleri, kısa süreli dalgalanmaları ise büyük ölçüde meteorolojik koşullar tarafından olur (Wang *et al.* 2014; Zhang *et al.* 2014).

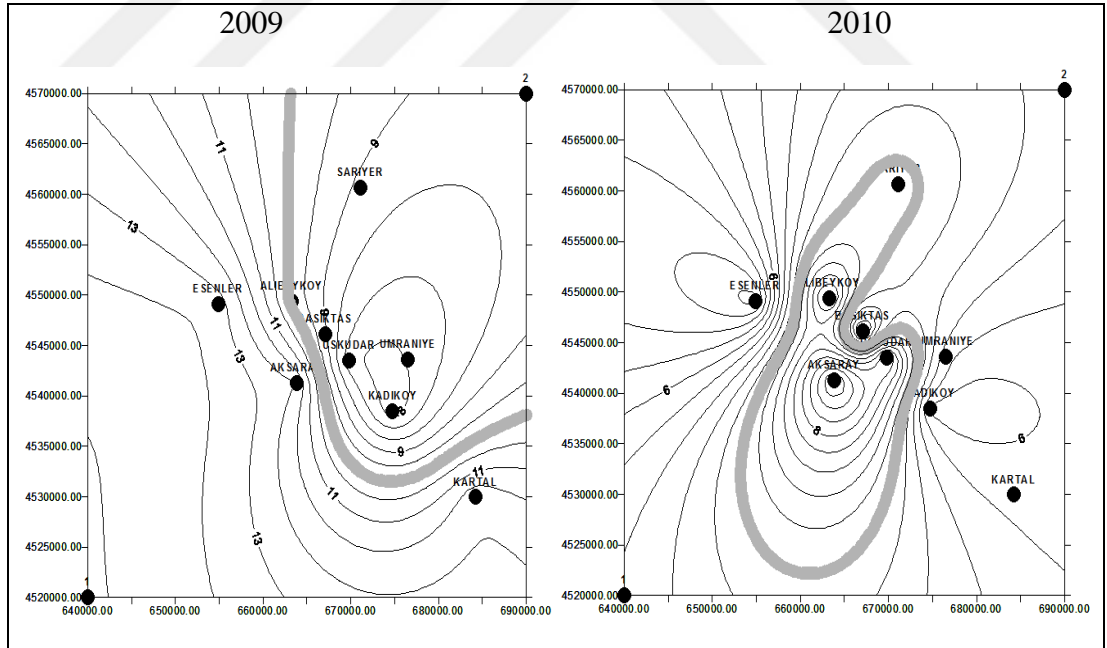
Hava kalitesi hem mekânsal hem de kentsel nüfus için önemli olup kirliliğe uzun ve geçici olarak maruz kalmada farklı etkileri gözlenmiştir (Taubes1995). Hava kirliliği riskinin değerlendirilmesine ilişkin atmosferik önlemleri analiz etmek ve uygun stratejileri değerlendirmek için ölçüm yapmaya ihtiyaç vardır. Çeşitli kirleticilerin örneklenmesinde örneklenme alanının yeri önemlidir. Çok noktalı ölçümler bilimsel çalışmalar için daha doğru sonuçlar doğurur.

4.4.1. Kükürt dioksit (SO₂)



Şekil 4.20. İstanbul İlının 2007 ve 2008 yılı SO₂ (µg/m³) konsantrasyonu

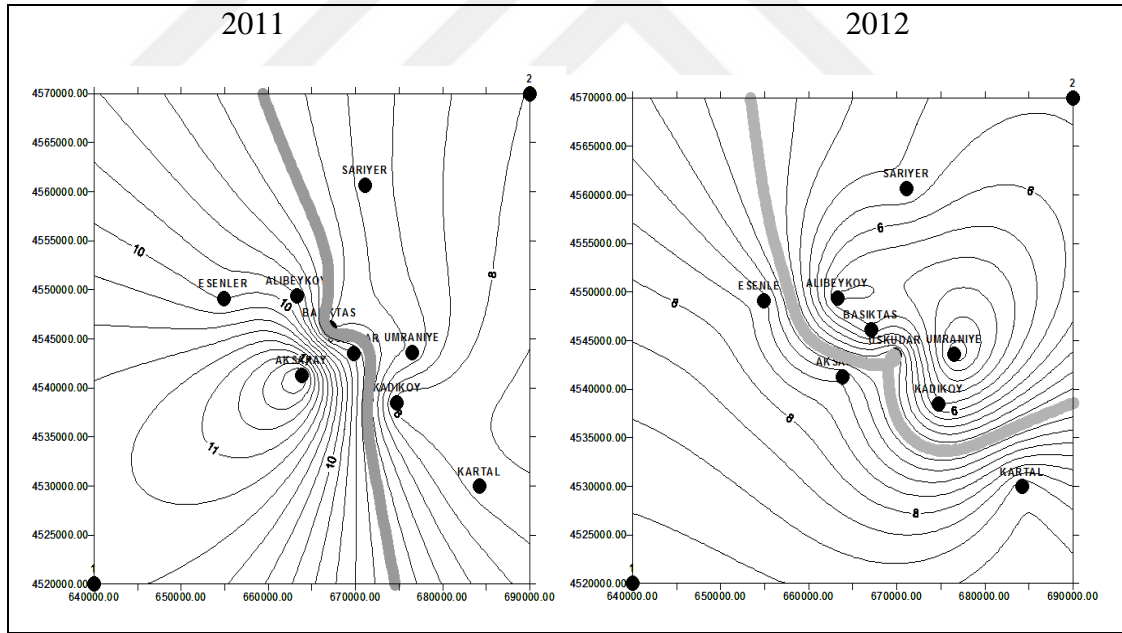
SO₂ kirliliği 2007 yılında İstanbul'un geneli için ortalama 13 µg/m³ diyebiliriz. 2008 yılında bu değer 8 µg/m³'e düşmüştür. 2007'den 2008'e gelirken ortalama emisyon konsantrasyonu kuzey yöne kaymıştır. Gösterilen ortalama kirlilik hattı, Anadolu-Avrupa yakası otoyol geçiş hattıdır. Mevcut olan trafik yoğunluğu (köprü trafiği) ve insan yoğunluğu bu hat boyunca SO₂ yükünü artırmıştır. Ayrıca 2007'den 2008'e geçişte lodos ve karayel rüzgarlarının etkisiyle de kuzeye kayma söz konusudur. 2007 yılında en yüksek ortalama SO₂ emisyonu Kartal istasyonunda ölçülmüştür bunun nedeni olarak Kartal'ın düşük rakımda çukurda olduğunu bu yüzden kirlleticilerin burada birikiminin kolay olduğunu söyleyebiliriz. 2008 yılında ise Aksaray istasyonunda yüksek ölçülmüştür. Buna neden olarak gün içinde ki insan ve trafik yoğunluğunun fazla olması, o dönemde yerleşim yerinde çok sayıda otel olması ayrıca bu otellerde mazot yakan jeneratörlerinin kullanılması denilebilir (1 saatlik elektrik kesintisinde bile oluşacak hava kirliliği çok fazladır).



Şekil 4.21. İstanbul İlinin 2009 ve 2010 yılı SO₂ (µg/m³) konsantrasyonu

2009 yılında İstanbul'un ortalama SO₂ değeri 10 µg/m³ 2010 yılında ise bu değer 7 µg/m³ olmuştur. Ortalama emisyon konsantrasyonu güney yöne kayma gösterdiğini söyleyebiliriz. 2008 yılına göre bakarsak 2009 yılında kuzey doğuya kayan bir hat

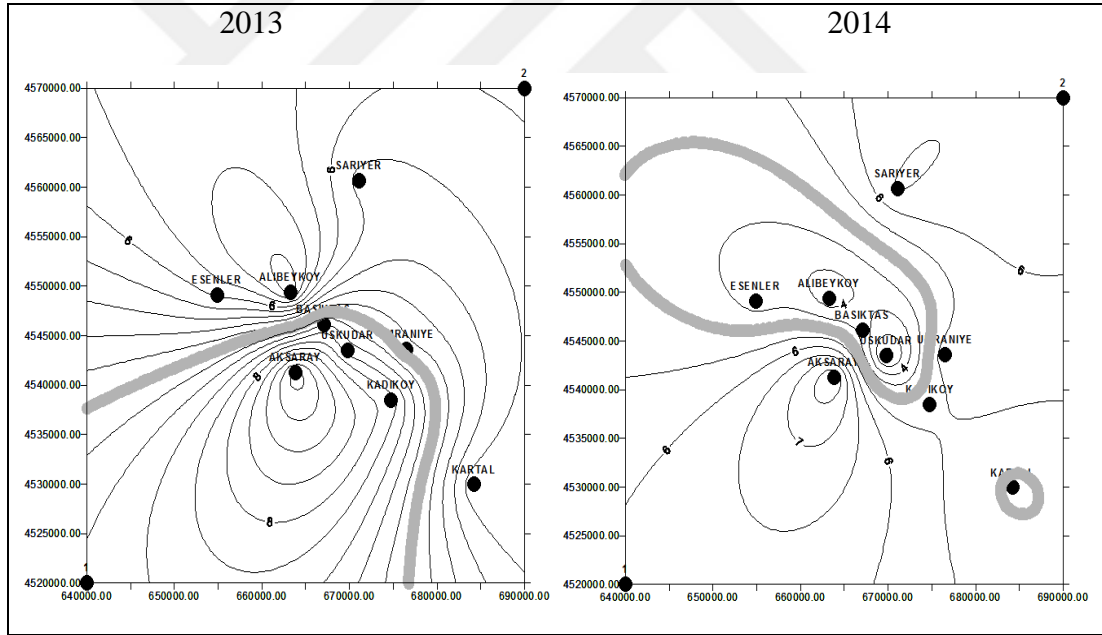
görürüz. O dönemde insan yoğunluğunun sahil yolu civarlarında artış gösterdiği aynı zamanda trafiğin arttığı ve yine lodosla birlikte kirliliğin 2009 da yukarıdaki hat boyunca ilerlediğini söyleyebiliriz. 2010 yılına gelindiğinde bu hattın çukurda kalan bölümleri çevrelediğini görmekteyiz. Hakim kuzey rüzgarının da etkisiyle kirlilik yükünün boğaz ve çevresi üzerinde yoğunlaştığı hat yukarıda gösterilmiştir. Yeni yerleşim alanlarının oluştuğu, sürekli göç alan ve insan ve trafik yükünün hızlıca arttığı İstanbul'da meteorolojik etkilerle kirlilik rakımı düşük alanlara toplanmıştır. En yüksek ortalama SO₂ ölçümünü 2009 da Esenler istasyonunda 2010 yılında ise Aksaray'da yapılmıştır. Yine insan ve trafik yoğunluğunun buradaki kirliliği artıran iki unsur olduğunu söylenebilir. Ayrıca şehirler arası otobüs terminalinin (otogar) Esenler'de olması 24 saat faaliyet göstermesi binlerce otobüsün oluşturduğu kirlilik dışında otogara gelip giden ticari ve özel araçlarında oluşturduğu kirlilik göz ardı edilemez.



Şekil 4.22. İstanbul İlinin 2011 ve 2012 yılı SO₂ (µg/m³) konsantrasyonu

İstanbul'un ortalama SO₂ değeri 2011 yılında 9 µg/m³ 2012 yılında 7 µg/m³ olarak ölçülmüştür. Kirliliğin 2011'e göre doğuya doğru eğilim çizdiği söylenebilir. Ama 2010 yılında boğaz çevresinde oluşan kirlilik hattı köprü ve boğaz boyunca kuzey-güney yön boyunca uzanmış durumdadır. Yine hakim rüzgarın etkisi ile kirlilik çevresine göre daha

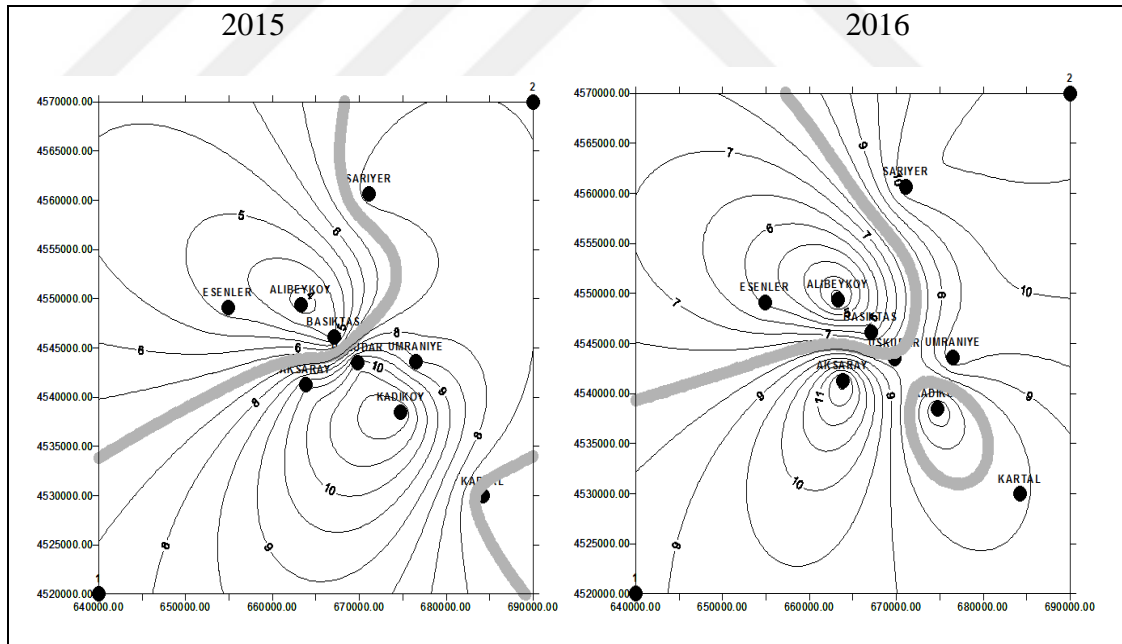
alçak olan alanlara taşımıştır. 2012 yılında Avrupa yakasında oluşturulan yeni yerleşim alanları kirlilik hattını Esenler-Alibeyköy-Aksaray civarına çekmiştir. Diğer taraftan güney doğu kısmından meteorolojik etkilerle organize sanayi atık gazlarının Kartal ve çevresine taşınması hattın o yönde uzamasına neden olmuş olabilir. Kirliliği en yüksek ortalama değer ise 2011 yılında Aksaray istasyonda ölçülmüştür gün içindeki insan ve trafik yoğunluğu en büyük sebebi olabilir. 2012 yılında ise Kartal istasyonundadır. Çevresine göre çukur olması ve yine o dönemlerde Kartal'da bulunan küçük ölçekli fabrikalar, Dilovası'ndaki kimyasal fabrikalar, Gebze'deki organize sanayi, Tuzladaki organize sanayi, İzmit Limanına yaklaşan gemilerin Kartaldan geçiyor olması ayrıca petrol gemilerinin Kartal Sahilini kullanıyor olması Kartal'daki kirliliğin diğer nedenleri olarak söylenebilir.



Şekil 4.23. İstanbul İlinin 2013 ve 2014 yılı SO₂ (µg/m³) konsantrasyonu

İstanbul'un SO₂ ortalaması 2013 yılı için 7 µg/m³ 2014 yılı için ise 5 µg/m³ ölçülmüştür. 2013 ve 2014 yılı arasında emisyon hattı neredeyse tamamen kuzey batı yönüne kaymıştır. 2013 yılı kirlilik hattı 2012 yılına göre güney batıya kaymış. İstanbul Esenyurt bölgesindeki aşırı insan yoğunluğu, oraya göç eden nüfus ve bu yüzden oluşan alt yapı sorunları, kalitesiz yakıt kullanımı, çok fazla aracın trafiğe çıkması gibi nedenler kirliliği

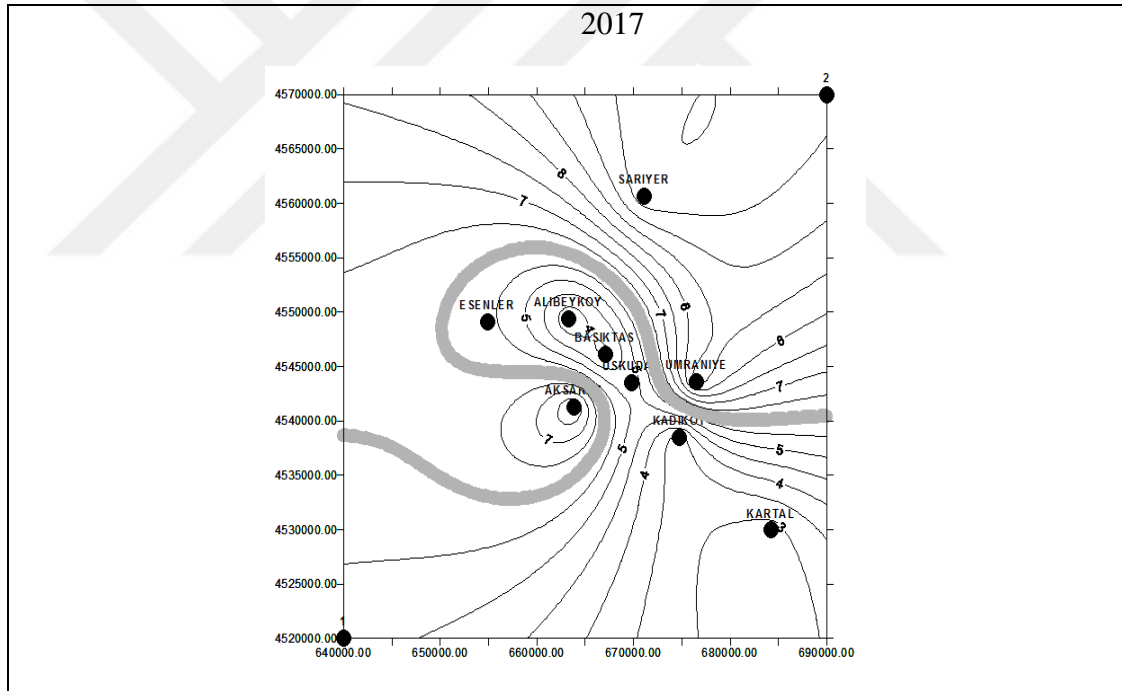
artırmıştır. Yine köprü trafiği kirlilik hattının üzerindedir. Ayrıca 2012'den bu yana meydana gelen hakim rüzgar etkisi de (poyraz) kirliliğin güney batıya kaymasında etkili olmuş olabilir. 2014 yılında kirlilik hattındaki değişim Avrupa yakasında yoğunlaşmıştır. Bu bölgedeki aşırı insan yoğunluğu, ısınma ihtiyacı, araç trafiğinin fazla olması anayollarda kirlilik hattının yoğunlaşmasına sebep olmuştur. Yine köprü trafiğinin üzerinde belirgin bir kirlilik yükü oluşmuştur. En sonda Kartal üzerinde bir yoğunlaşma vardır. Kartal'ın organize sanayi bölgelerine yakınlığı, yeşil alanın az olması ve çevresine göre çukurda olması kirliliğin o bölgede yoğunlaşmasına sebebiyet vermiştir. En yüksek SO₂ ortalaması 2013 ve 2014 de Aksaray istasyonunda ölçülmüştür. Trafik yoğunluğu ve merkezi bölge olması gün içindeki insan yoğunluğu en önemli nedeni olduğu söylenebilir. Aksaray'da adım başı rastlanan taksiler ve bunların oluşturduğu emisyonlar, yine adım başı rastlanan oteller, restoranlar buralardan atmosfere salınan hava kirleticilerin konsantrasyonu oldukça fazladır.



Şekil 4.24. İstanbul İlinin 2015 ve 2016 yılı SO₂ (µg/m³) konsantrasyonu

İstanbul'un genel ortalamasına baktığımız zaman SO₂ nin 2015 yılında 7 µg/m³ 2016 yılında 8 µg/m³ olduğunu görüyoruz. 2014 yılına göre ortalama kirlilik hattı lodos ve karayelin etkisiyle değişime uğramıştır. Boğaz çevresi, köprü ve Kartal çevresi yine hattın

içindedir çok fazla bir değişime uğramamıştır. 2016 yılına gelindiğinde Kartal bölgesindeki yoğun kirlilik Kadıköy'e doğru kaymıştır. Kadıköy'ün çok merkezi bir alan olması trafiğin çok yoğun ve ulaşım için çok tercih edilen bir bölge olması, insan yoğunluğunun son dönemlerde ki artışı ve yeşil alan azlığı bunda çok etkili olmuştur. Köprü hattı üzerinde kirlilik yine Avrupa yakasına doğru devam etmektedir. En yüksek SO₂ ortalaması 2015 yılında Kadıköy'de ölçülmüştür. Kadıköy'ün çukurda olduğu bu yüzden kirleticilerin burada biriktiği söylenebilir ayrıca trafik yoğunluğunun çok olduğu, tren istasyonu bu güzergahta yer alması, Kadıköy'deki insan yoğunluğu da göz önüne alınırsa yüksek kirlilik olduğu söylenebilir. 2016 yılında ise Aksaray istasyonunda ölçülmüştür.

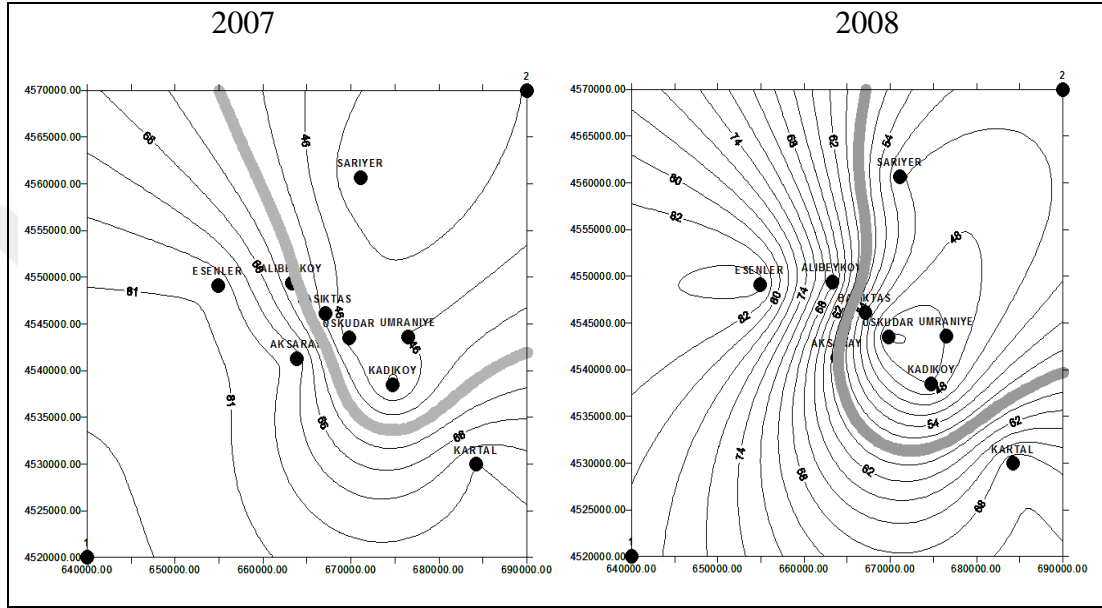


Şekil 4.25. İstanbul İlinin 2017 yılı SO₂ (µg/m³) konsantrasyonu

İstanbul'un 2017 yılında SO₂ ortalaması 6 µg/m³ olarak ölçülmüştür. 2007 yılında düz bir şekilde seyreden ortama 2017 yılında dağılım gösterdiği daha çok yeri işgal ettiği izlenmiştir. Avrupa yakasında oluşturulan yeni yerleşim alanları Anadolu ve Avrupa otoyollarını daha da canlandırmış ve kirliliği artırıcı bir etken olmuştur. 2017'de en yüksek ortalama değer ise Sarıyer istasyonuna aittir. Çünkü Sarıyer kirletici birikiminin kolay

olduğu bir bölgededir. Son zamanlarda inşaat alanlarının fazlaşması ve kamyon trafiğinin arttığı bölgelere yakın olması hava kalitesini etkilemiş olabilir.

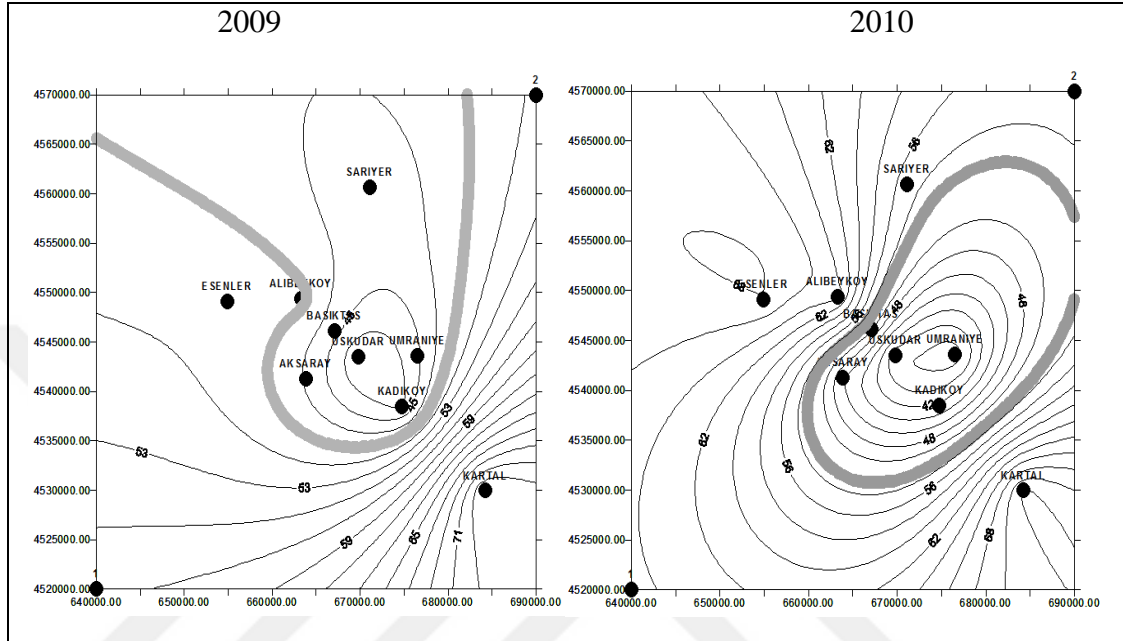
4.4.2. Partikül madde (PM₁₀)



Şekil 4.26. İstanbul İlinin 2007 ve 2008 yılı PM₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) konsantrasyonu

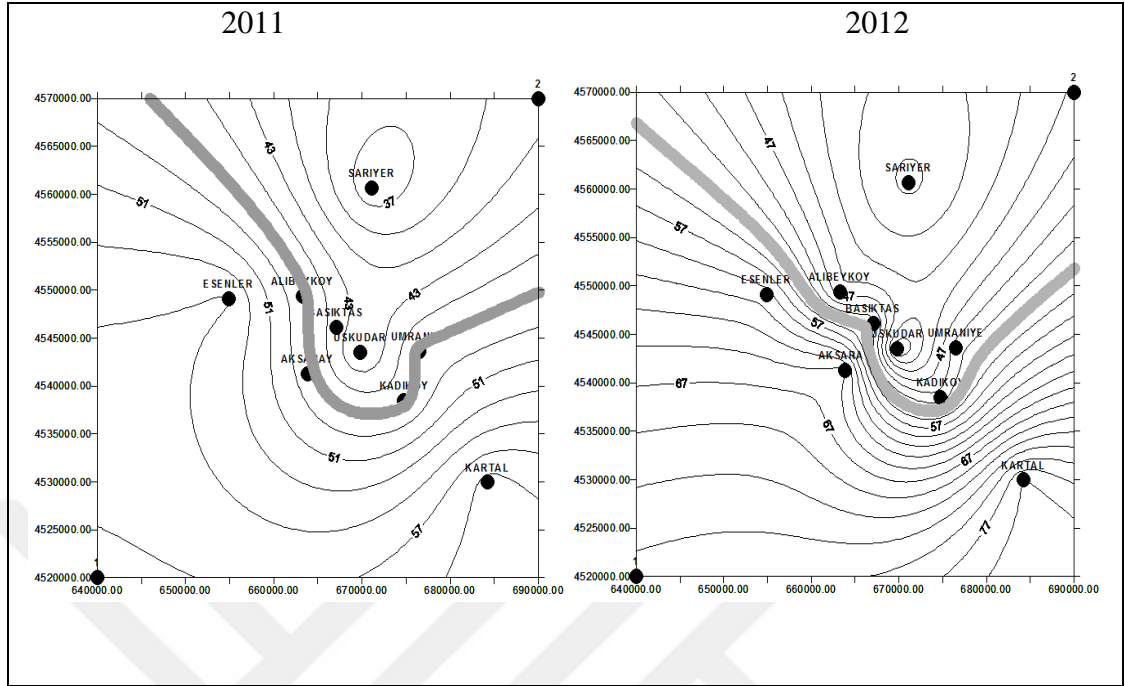
İstanbul'da PM₁₀ 2007 yılında ortalama $56 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 2008 yılında ise $58 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak ölçülmüştür. Emisyonun bu iki yılda kuzeydoğuya doğru kaydığı görünüyor. 2007 yılında Beşiktaş, Aksaray ve Alibeyköy civarındaki insan yoğunluğu ve trafik ve ısınma ihtiyacından kaynaklanan kalitesiz yakıt kullanımı kirliliğin o hat üzerinde oluşmasına neden olmuştur. Yüne boğazın çukurda olması nedeniyle hakim rüzgarın taşıdığı kirlilik yükü mevcut. Aynı zamanda yine Anadolu otoyolu üzerinde dizel araçlardan oluşan PM₁₀ kirliliği yüksektir. 2008 yılına gelirken lodosun etkisiyle daha kuzeydoğuya kaymış bir hat gözlenir. 2007 ve 2008 yılında en yüksek PM₁₀ değeri Esenler'de ölçülmüştür. Esenlerde nüfus artışı ile birlikte büyüyen inşaat çalışmaları ve salınan inşaat tozları PM₁₀ konsantrasyonunun artışına sebebiyet verebilir. Ayrıca o dönemde çok sayıda konfeksiyon atölyeleri ve plastik fabrikalar vardı daha sonra şehir dışına taşınmış ama 2007-2008 döneminde bu işyerlerinin oluşturduğu kirlilik Esenler için fazla emisyon oluşturmuş

olabilir. Her yere doğalgazın gelmemesi ve sobaların yakılması bacalardan salınan PM₁₀ konsantrasyonunun diğer bir kaynağı olabilir.



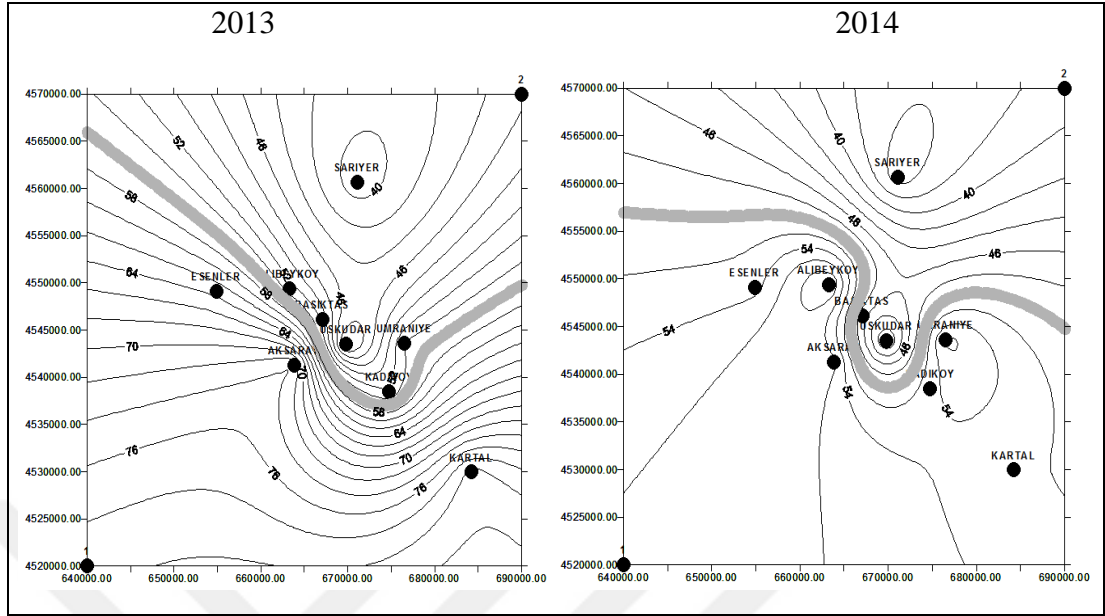
Şekil 4.27. İstanbul İlinin 2009 ve 2010 yılı PM₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) konsantrasyonu

İstanbul'da PM₁₀ ortalama değeri 2009 yılı için $53 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 2010 yılı için $49 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak ölçülmüştür. 2009 yılında hakim rüzgar (lodos ve karayel) ortalama kirlilik hattını kuzey doğuya kaydırmıştır ve boğazı da içine alan bir alan oluşturmuştur. Anadolu yakasındaki kentsel dönüşüm çalışmaları, doğalgaz kullanımının yaygın olmaması ve organize sanayi bölgelerine olan yakınlık kirliliği burada yoğunlaştırmıştır. 2010 yılına gelindiğinde yeni yerleşim yerlerinin Anadolu yakasına kaymış olması aynı zamanda bu kez hakim rüzgarın kuzeyden esmesi kirliliğin taşınması neden olmuş olabilir. Emisyonun 2009 ve 2010 yılına bakınca kuzey yöne kaydığı görülmüştür. En yüksek ortalama değer 2009 ve 2010 yılında da Kartal istasyonuna aittir. Yine Kartal istasyonu çevresinde yapılan kentsel dönüşüm çalışmaları oluşan PM₁₀ konsantrasyonunun başlıca kaynağıdır. Kartal kalabalık bir nüfusa sahip buna bağlı olarak trafik yoğunluğu da fazladır. Organize sanayi bölgelerine çok yakın bir konumdadır. Organize sanayi bölgelerinde (Tuzla, Gebze, Çayırova organize sanayi bölgeleri) oluşan kirlilik etrafındaki yerlere göre daha çukurda olan Kartal üzerinde birikebilir.



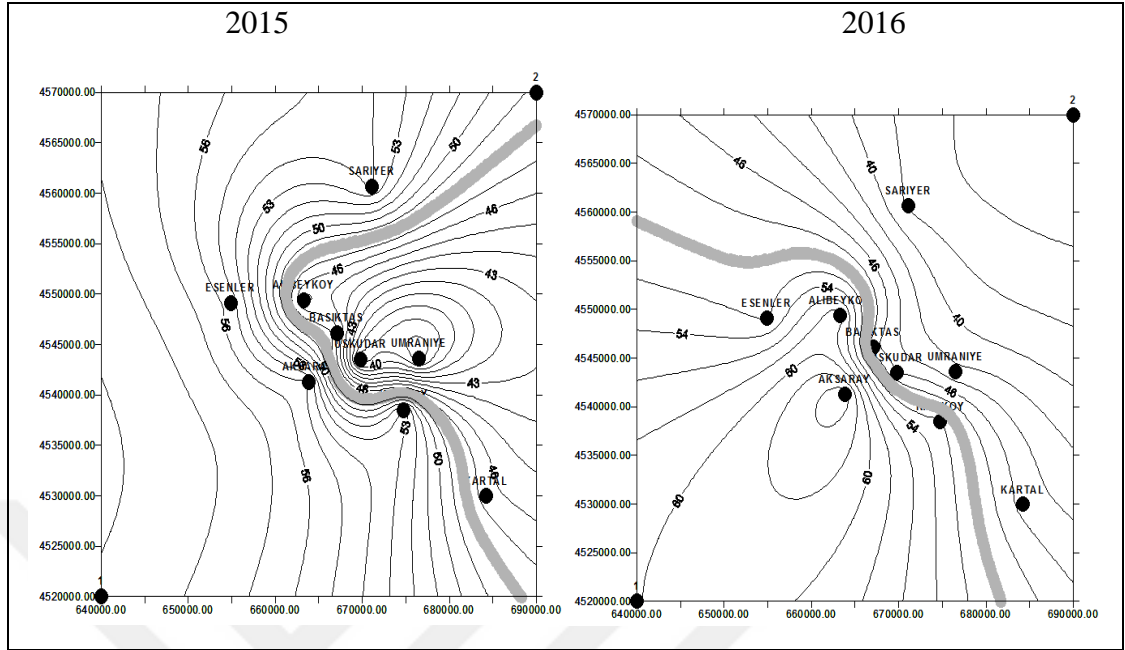
Şekil 4.28. İstanbul İlinin 2011 ve 2012 yılı PM_{10} ($\mu g/m^3$) konsantrasyonu

Şekil 4.28’de PM_{10} ortalaması 2011 yılı için $47 \mu g/m^3$ 2012 yılında $53 \mu g/m^3$ olmuştur. Kirlilik biraz daha batı yönüne kaydığı görülmüştür. 2011 yılında insan yoğunluğu beraberinde ısınma ihtiyacını da artırdığı için nüfusun yoğun olduğu yerleşmelerde PM_{10} yükünün arttığını gözlemleyebiliriz. Ümraniye tarafında bulunan küçük çaplı fabrikalardan salınan partikül madde o bölgeyi de bu hattın içine almasına neden olmuş olabilir. 2012 yılında ise Esenler’e doğru bir genişleme vardır kirlilik hattında orada yeni yerleşim alanlarının oluşması insan yoğunluğunu artması beraberinde ısınma ihtiyacının fazlaşması PM_{10} konsantrasyonunu artırmıştır. İstanbul’da en yüksek PM_{10} ortalaması 2011 ve 2012 yıllarında Kartal istasyonuna aittir. Trafik oldukça yoğundur dizel araçlardan çıkan partiküller hava kalitesini olumsuz etkileyebilir. Bu dönemde küçük ölçekli fabrikaların Kartal bölgesinde de bulunuyor olması Kocaeli tarafında bulunana organize sanayilerden meydana gelen atık gazların hakim rüzgarla Kartal üzerine taşınması, yeşil alanı kişi başına $1.2 m^2$ düşen bu bölgede ayrıca bir kirlilik oluşturabilir.



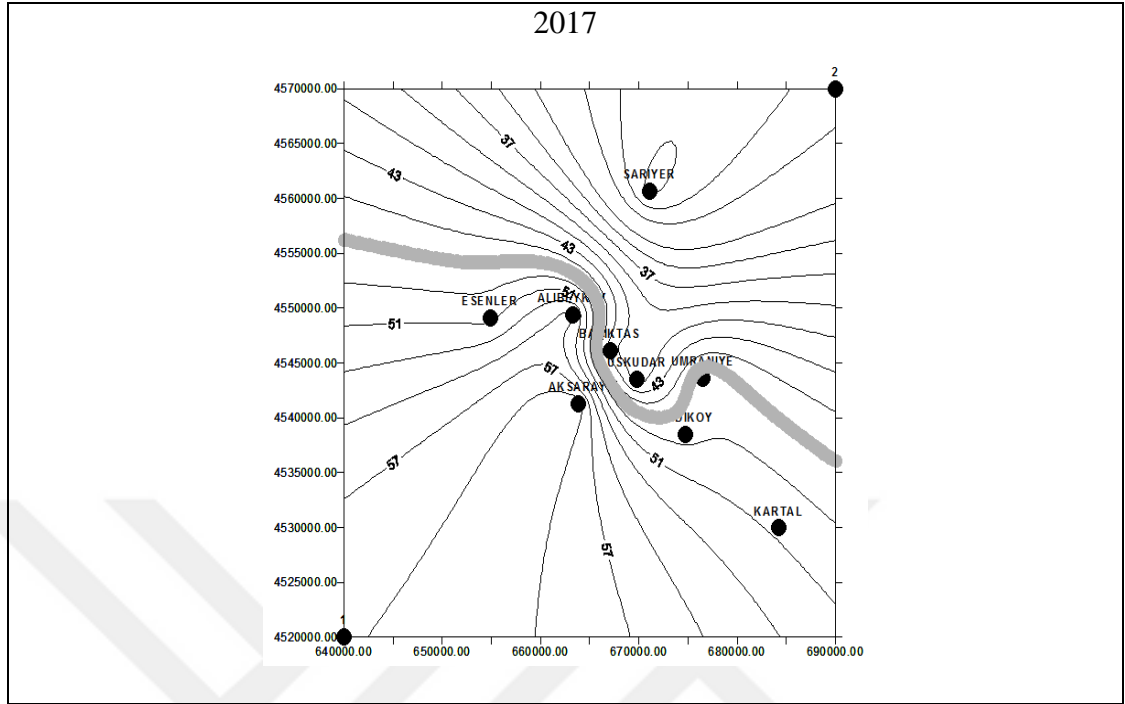
Şekil 4.29. İstanbul İlinin 2013 ve 2014 yılı PM₁₀ (µg/m³) konsantrasyonu

Şekil 4.29’da İstanbul’un PM₁₀ ortalaması 2013 için 56 µg/m³ 2014 için 50 µg/m³ olarak ölçülmüştür. 2012 yılının haritasına göre fazla bir değişime uğramamıştır. Anadolu-Avrupa otoyolu üzerinde biriken bir PM₁₀ konsantrasyonu gözlenmiştir. 2014’e gelindiğinde hakim rüzgarın etkisi gözlenmiştir. Ortalama kirliliğin güneye kaydığı görülüyor. En yüksek ortalama 2013 yılında Kartal istasyonunda 2014 yılında ise Alibeyköy istasyonunda ölçülmüştür. Kartal bölgesi yukarıda bahsedilen nedenlerden dolayı kirliliği devam etmiştir. Alibeyköy’de yeşil ve boş alanların inşaat alanı olması buralarda partikül madde kaynağı olabilir.



Şekil 4.30. İstanbul İlinin 2015 ve 2016 yılı PM₁₀ (µg/m³) konsantrasyonu

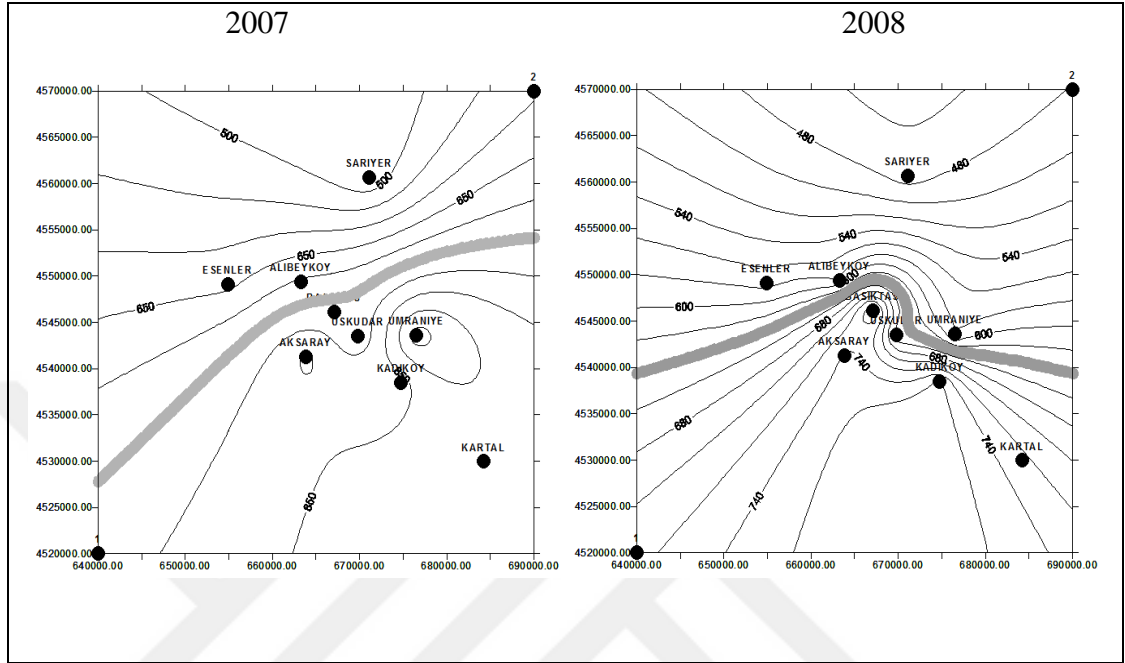
Şekil 4.30'da İstanbul'un genel PM₁₀ ortalamasına baktığımızda 2015 yılı için 48 µg/m³ 2016 yılı için ise 50 µg/m³ olduğunu görüyoruz. 2015 yılında ortalama kirlilik çizgisi 2014 yılına göre doğuya doğru kaymıştır. Boğazdaki PM₁₀ konsantrasyon birikimi, karayel ve lodos rüzgarlarının da etkisiyle Anadolu yakasına doğru bir hat çizmiştir. 2016 yılına baktığımız zaman ise emisyon ortalamasının tamamen ters yöne gittiği görülmüştür yani güney batıya eğilim olmuştur. Bu durumun nedenleri arasında en başta hakim rüzgarın yön değiştirmesi var diyebiliriz. Ayrıca Avrupa yakasında yeni yerleşim alanlarının oluşturulması, kentsel dönüşüm faaliyetleri ve trafik hattı PM₁₀ kirliliğinin yoğunlaştığı noktalardır. En yüksek PM₁₀ ortalaması 2015 yılında Esenler, 2016 yılında Aksaray istasyonunda ölçülmüştür. Esenler'de 2015 yılında mahalle aralarında yeniden konfeksiyon atölyeleri kısmen de olsa faaliyet göstermiştir ve kirlilik oluşturmuştur. Aksaray ise İstanbul'un insan yoğunluğunun en fazla olduğu bölgelerinden birisi, yabancı turistlerin çok olduğu buna bağlı olarak alt yapı problemlerinin de olduğu bir bölgedir. Bir tarafı denize yakın olduğu için gemilerden oluşan partikül maddeler olabilir.



Şekil 4.31. İstanbul İlinin 2017 yılı PM₁₀ (µg/m³) konsantrasyonu

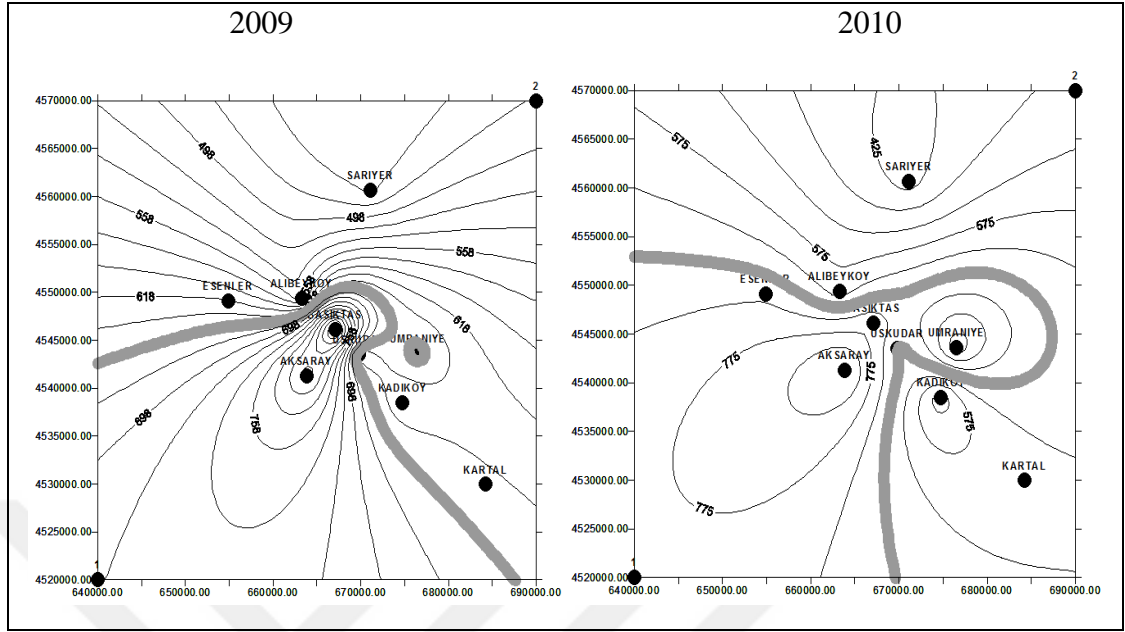
İstanbul'un genel PM₁₀ ortalaması 2017 yılı için 47 µg/m³'tür. En yüksek ölçüm ise Aksaray istasyonuna aittir. Sınır değerinin altındadır. 2016 yılına bakılırsa ortalama biraz daha kuzeye çekilmiştir. 2007 yılına göre ise kirlilik hattı Avrupa Yakasında Esenler bölgesine doğru kaydığı gözlenmiştir. Kadıköy'ün altından geçen kirlilik hattı 2017'de Kadıköy bölgesini de içine almıştır. İnsan yoğunluğunun fazla olması, kalitesiz yakıt kullanımının artması, trafik kirliliğinin sürekli devam etmesi, organize sanayi bölgelerinin şehir içinde kalması bu bölgelerde PM₁₀ konsantrasyonunu artırmıştır. Yine insan yoğunluğunun artması, yeni yerleşim alanlarının oluşması ayrıca Anadolu-Avrupa otoyol hattının sürekli hareket halinde olması PM₁₀ kirliliğini o hat boyunca artırmıştır.

4.4.3. Karbon monoksit (CO)



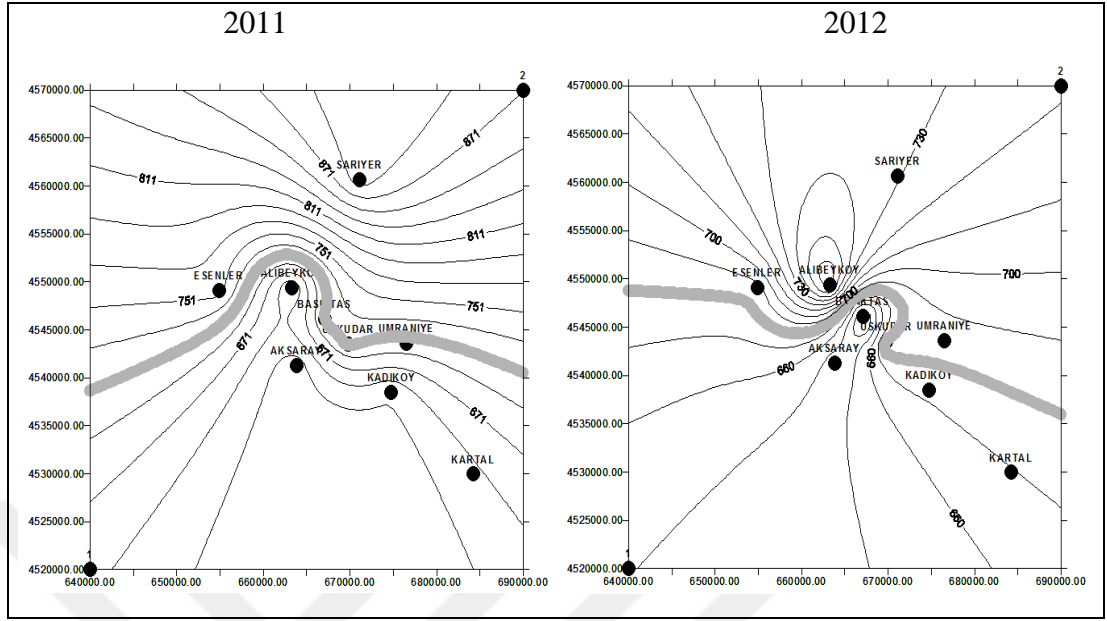
Şekil 4.32. İstanbul İlinin 2007 ve 2008 yılı CO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) konsantrasyonu

Şekil 4.32’de İstanbul ortalamasına göre 2007 yılında CO $750 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 2008 yılında ise $640 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak ölçülmüştür. Kirlilik hattı İstanbul trafik ana arterleri boyunca uzanmış, yoğun nüfuslu olan Esenyurt Avrupa Yakasında, Avrupa yakasında ise Ümraniye çevresinde şehir içinde kalan organize sanayi bölgesinde oluşan CO kirliliği emisyon çizgisini oluşturmuştur. 2008 yılında ortalama emisyon çizgisinin biraz güneye kaydığını söyleyebiliriz. Bunun nedeni olarak ise Kocaeli tarafından gelen organize sanayi atık gazları kuzeyli rüzgarla kirliliği güney yöne çekmiştir. 2007 yılında en yüksek ortalama ölçümü Ümraniye istasyonu 2008 de ise Kadıköy istasyonu yapmıştır. Bu istasyonların o dönemdeki trafik yoğunluğu, motorlu araçların çok olması CO oluşumunu artırmıştır. Ayrıca araç muayene istasyonları olmadığı için kirlilik oluşturan araçlar çok fazlaydı. Ayrıca bu dönemde çöp transfer istasyonu bir taneydi ve oda Ümraniye sınırları içerindeydi. Çöp araçlarının sürekli Ümraniye’ye geliş gidiş yapması oluşan egzoz gazları hava kirliliği için etken olabilir. Daha sonra başka bölgelerde de istasyonlar açılmıştır.



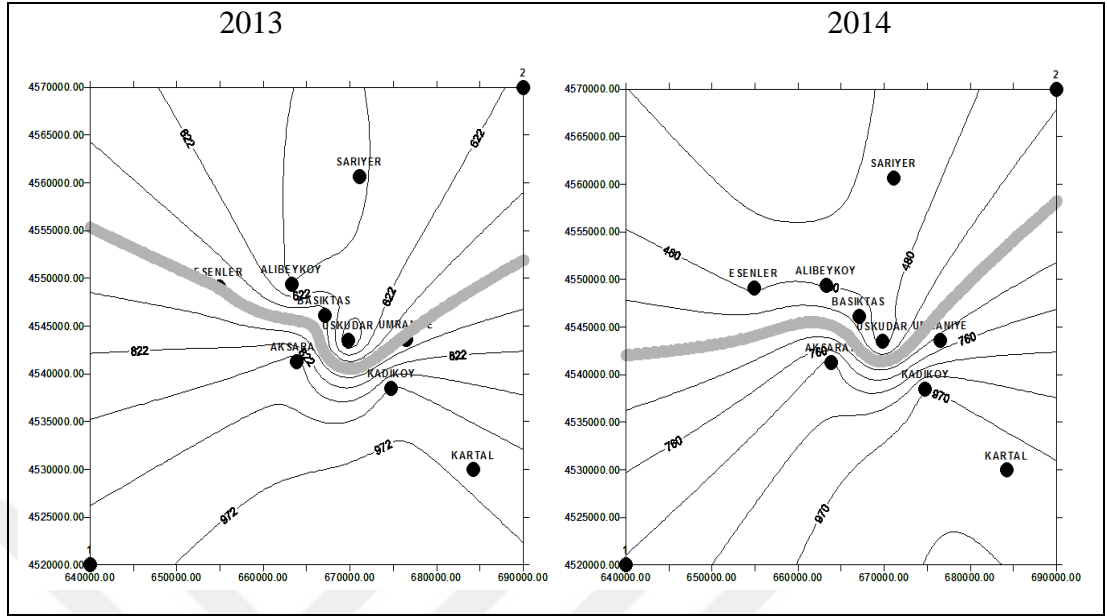
Şekil 4.33. İstanbul İlinin 2009 ve 2010 yılı CO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) konsantrasyonu

Şekil 4.33’de 2009 yılında İstanbul için ortalama CO $658 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 2010 yılı içinse ortalama $675 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak ölçülmüştür. 2009 yılında emisyon çizgisi hem köprü trafiğinin olduğu noktalarda hep de trafiğin sık olduğu sahil yolu merkezi alanlarda yoğunlaşmıştır. Ayrıca zaten diğer bölgelerde de var olan kirlenici konsantrasyonları kuzeyli rüzgarlarla güneybatıya kaymıştır. 2010 yılına gelindiğinde emisyon ortalaması 2009’a göre belirgin şekilde doğuya doğru kaymıştır. Çünkü Ümraniye ve çevresindeki insan yoğunluğunun artması, şehir içinde kalan organize sanayi bölgesi ve ayrıca Anadolu Otoyolunun çok hareketli olması yine köprü trafiği vs. burada kirlilik yükünü artırmıştır. Aynı zamanda karayel rüzgarı da kirlilik hattının değişiminde etkili olmuştur. En yüksek CO ortalaması 2009 da Beşiktaş istasyonundayken 2010 yılında Aksaray istasyonu tarafından ölçülmüştür. Nüfus yoğunluğu buna bağlı olarak artan motorlu taşıt sayısı Aksaray ve Beşiktaş çevresinde karbon monoksit konsantrasyonunu artırıcı etken oluşturmuştur. Ayrıca Beşiktaş bölgesi Anadolu Yakasına geçişte önemli bir yerde bu yüzden trafik çok yoğun bir hal almıştır bu durumda kirliliği önemli derecede artırmış olabilir.



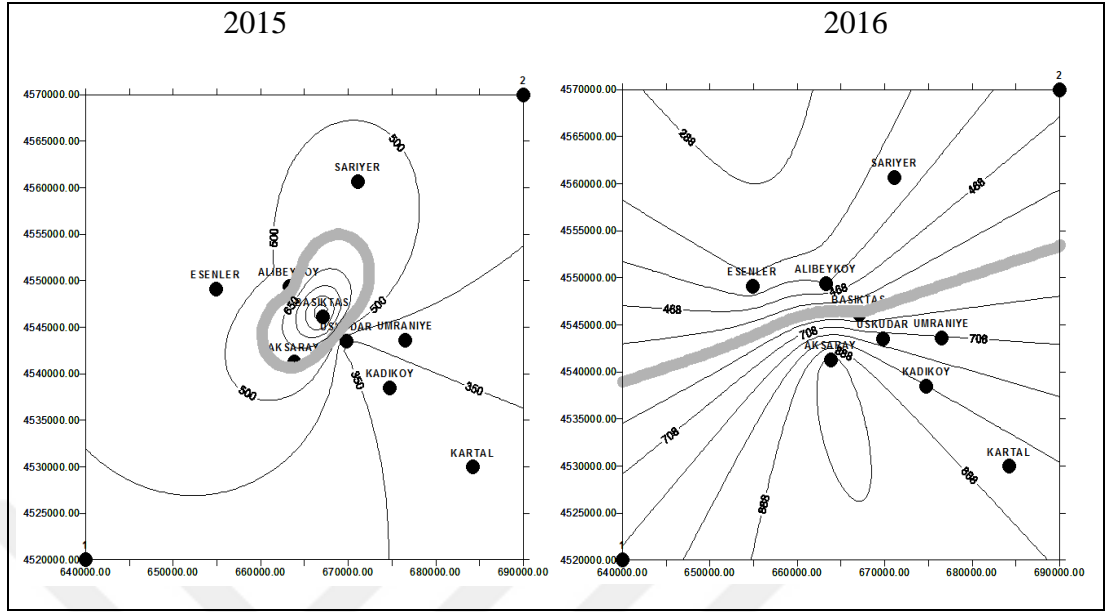
Şekil 4.34. İstanbul İlinin 2011 ve 2012 yılı CO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) konsantrasyonu

Şekil 4.34'de İstanbul'un genelinde CO ortalaması 2011 yılı için 711, 2012 yılı için ise 680 olarak ölçülmüştür. 2011 yılında emisyon çizgisi kuzeye doğru açılmıştır. Bunun lodos rüzgarlarıyla bağlantısı olabilir. Ayrıca emisyon çizgisi İstanbul'un ana trafik kavşaklarında yoğunlaşmıştır. Esenyurt bölgesine doğru kayma vardır o bölgenin yoğun nüfusu, yoğun ısınma ihtiyacı ve trafiğe çıkan taşıt sayısının fazla olması emisyon çizgisinin o yöne kaymasına neden olmuş olabilir. 2012 yılında ise ortalama emisyon çizgisinde iki yıl arasında büyük bir değişim gözlenmemiştir. En yüksek CO ortalaması 2011 de Sarıyer 2012 de ise Alibeyköy'de ölçülmüştür. Aslında Sarıyer hava kirliliğinin az olması gereken bir yer ama yazın daha çok Kilyosa plaja gidenler bu güzergahı kullandığı için trafik yoğunluğu artış göstermiş ve kirlilik oluşturmuş olabilir. Alibeyköy ise boş alanların inşaat alanı olması ve sürekli hafriyat araçlarının kullanılması büyük araçlardan çıkan emisyonlar hava kirliliği oluşturmuş olabilir.



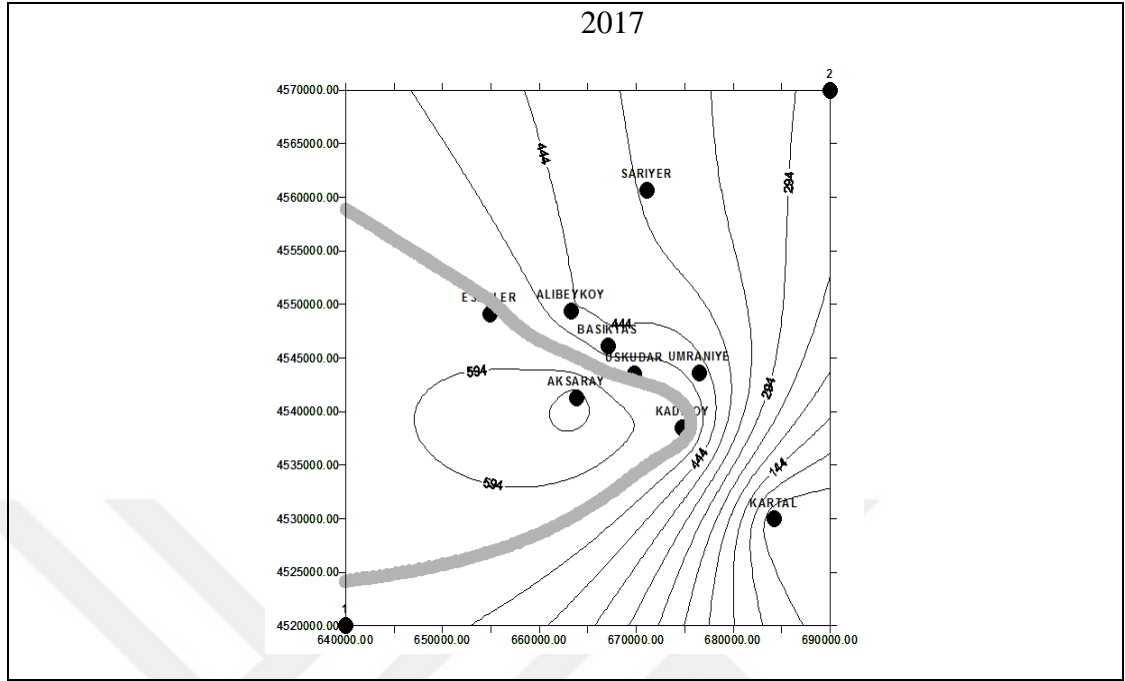
Şekil 4.35. İstanbul İlinin 2013 ve 2014 yılı CO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) konsantrasyonu

Şekil 4.35’de İstanbul’un CO ortalaması 2013 yılı için $722 \mu\text{g}/\text{m}^3$ iken 2014 yılında $620 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olmuştur. 2013 yılında emisyon çizgisi 2012’den farklı olarak boğazdaki esintiyle güneye yönelmiştir. Bunun dışında yine ana trafik arterleri üstünde kirlilik yoğunlaşmıştır. 2014 yılına gelindiğinde ise ortalama emisyonun batı tarafı güneye kaymıştır. Yine burada Esenyurt bölgesindeki yoğun insan yükü ve bununla birlikte gelen diğer kirlenici faktörler etki etmiştir. En yüksek ortalama 2013 ve 2014 yılında Kadıköy istasyonunda ölçülmüştür. Yükselen özel araç kullanımı emisyonu önemli derecede artırmıştır. Merkezi bir yer olması, bu yüzden trafik yoğunluğunu da fazla olması, yeşil alanın çok az olması Kadıköy istasyonu için tehlike oluşturan etmenler olabilir. Ayrıca Kadıköy Fikirtepe Mahallesi gecekondu bölgesiydi. Kentsel dönüşüm olup gecekondular yıkılınca hem partikül madde (toz, toprak vs.) hem de hafriyat taşınması için birçok araç giriş çıkışı olunca karbonmonoksit artışı meydana gelmiş olabilir.



Şekil 4.36. İstanbul İlinin 2015 ve 2016 yılı CO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) konsantrasyonu

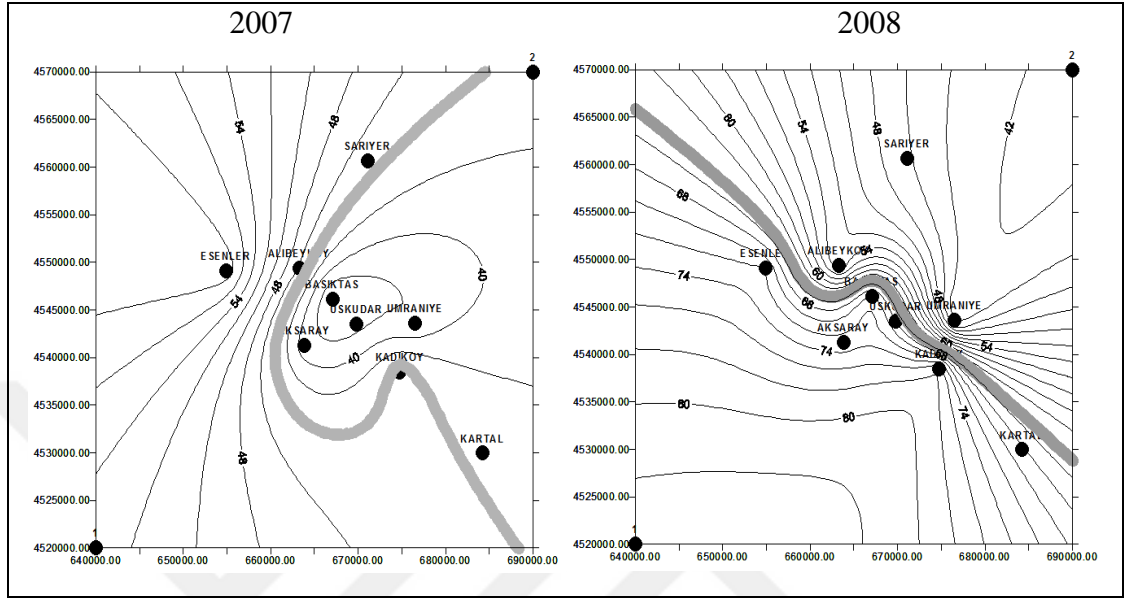
Şekil 4.36'da İstanbul'un 2015 yılındaki CO ortalaması $575 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 2016 yılındaki ortalaması ise $588 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak ölçülmüştür. 2015 yılında emisyon hattı İstanbul Boğazı'nı içine alan bir çember oluşturmuş. Bunun nedeni o dönemde meteorolojik parametrelerin kirleticileri çevresine göre daha alçakta olan boğaz etrafında toplamış olması olabilir. Ayrıca bazı istasyon verilerinin eksik olması da yine bu sonucu doğurmuş olabilir. 2016 yılına gelindiğinde ise ortalama emisyon çizgisi doğu-batı yönlü uzanmıştır. Bu hat boyunca İstanbul'un Boğaz köprüsü dahil Anadolu-Avrupa Otoyolu vardır ve kirlilik bu hat boyunca uzanmıştır. Yine organize sanayi bölgelerinden gelen kirlenici yükü ve ısınmadan kaynaklı karbon monoksit gazı da bu hattın şekillenmesinde önemlidir. En yüksek ortalama ise 2015 yılında Beşiktaş, 2016 yılında ise Aksaray istasyonunda ölçülmüştür. Köprü trafiğinin yoğun olduğu Beşiktaş istasyonu çevresi karbon monoksit konsantrasyonunun fazla olduğu bir bölgedir. Aksaray bölgesi içinde yine araç trafiği, insan yoğunluğu ve dizel araçların çok olması söylenebilir.



Şekil 4.37. İstanbul İlinin 2017 yılı CO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) konsantrasyonu

Şekil 4.37’de İstanbul’un 2017 yılındaki CO ortalaması $544 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ’tür. 2007 yılına göre Kuzeyli hakim rüzgarla güney batıya kayan emisyon çizgisi oluşmuştur. Çünkü Anadolu yakasındaki kirlilik yükünü taşımıştır. Avrupa otoyolu yine kirlilik hattı üzerindedir. Çünkü yoğun trafik kirliliği mevcuttur. Alt kısma baktığımız zaman Esenyurt’ta oluşan kirlilik yine çukurda olan alanlara taşınmıştır. Emisyon ortalama çizgisi 2016 yılına göre de yine yılın batı yöne kaymıştır. En yüksek ortalama yine Aksaray istasyonunda ölçülmüştür.

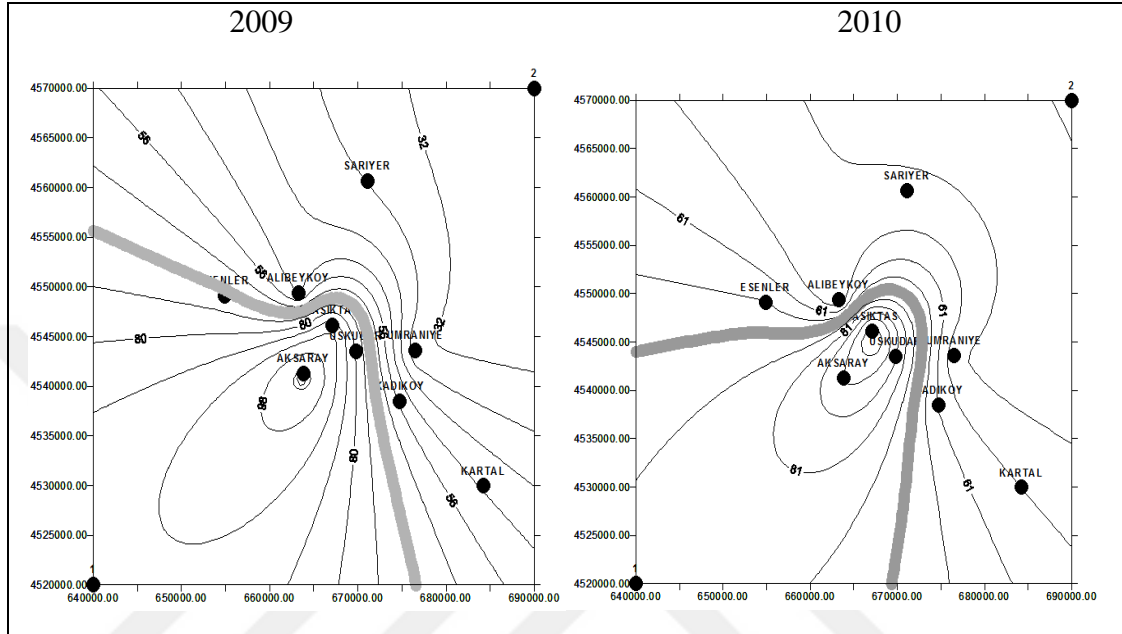
4.4.4. Azot dioksit (NO₂)



Şekil 4.38. İstanbul İlinin 2007 ve 2008 yılı NO₂ (µg/m³) konsantrasyonu

Şekil 4.38’de NO₂ ölçümlerinin İstanbul için ortalamasına baktığımız zaman 2007 yılında 44 µg/m³ olan değer 2008 de 65 µg/m³ olmuştur. 2007 yılında boğaz boyunca uzanan kirlilik hattı göze çarpmaktadır. Çevresine göre çukurda kalan bu alan meteorolojik faktörlerinde etkisiyle kirliliğin yoğunlaştığı alan olmuştur. Diğer yandan Kartal ve çevresinde oluşan hat organize sanayi bölgelerinden gelen atık gazların taşınımı ile yoğunlaşmış olabilir. 2008 yılına gelindiğinde kuzeyli hakim rüzgarın etkisi görülmektedir. Emisyon ortalama çizgisi kuzeybatı güneydoğu yönünde uzanmıştır. Güneydoğu kısmında Bostancı D100 çevresinden Anadolu Otoyoluna taşınmış bir kirlilik mevcuttur. Burada trafiğin daha çok yoğunlaştığını görebiliriz. 2007 yılında Esenler istasyonu 2008 yılında ise Kadıköy istasyonu en yüksek ortalama Azot dioksit ulaşmıştır. Esenler’de bu dönemde küçük ölçekli birçok fabrika vardı ayrıca tencere, çatal-kaşık üreten işyerleri vardı buralardan oluşan kirleticiler hava kirliliği için önemli bir kaynak oluşturmuş olabilir. Bir başka neden ise Esenler’e çok yakın bir konumda olan Bayrampaşa sebze hali neredeyse tüm Avrupa yakasının sebze ihtiyacını gideren bu hal için hava kirletici cenneti denilebilir. Çünkü zaten sürekli sebze alışverişi olduğu için gün içinde binlerce dizel aracın gelip gittiği ve onlardan oluşan bir kirlilik var bunun dışında

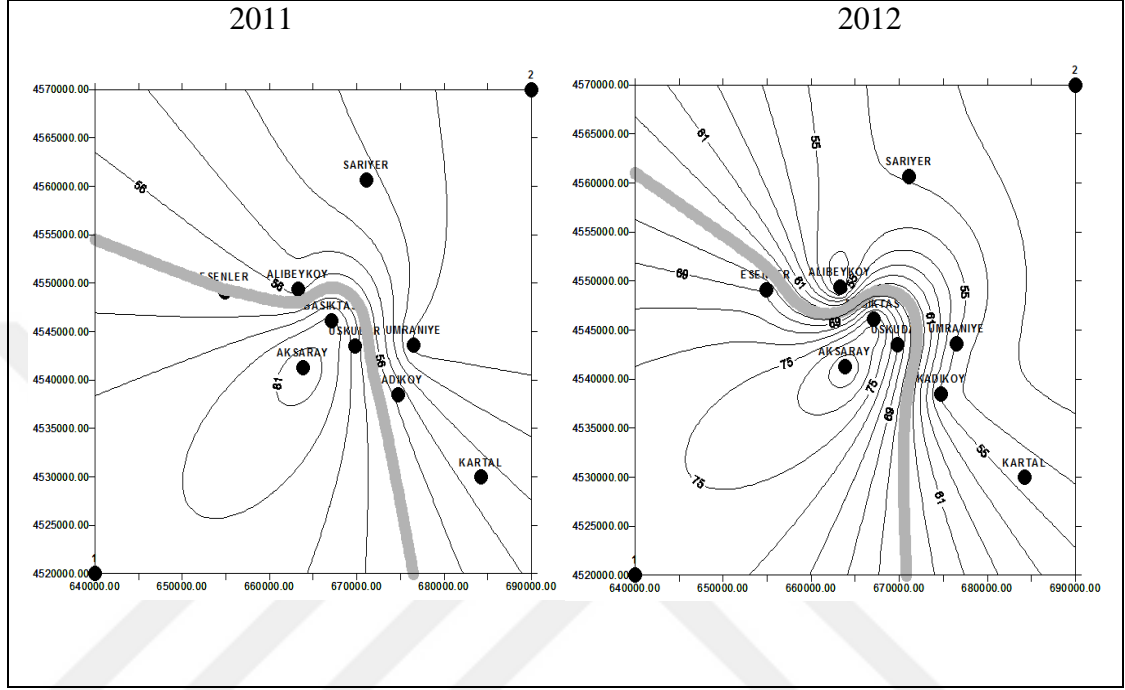
sebzelelerin çürümesi ve atılması bunlardan oluşan gaz çıkışı hava kirliliği için etken olabilir.



Şekil 4.39. İstanbul İlinin 2009 ve 2010 yılı NO₂ (µg/m³) konsantrasyonu

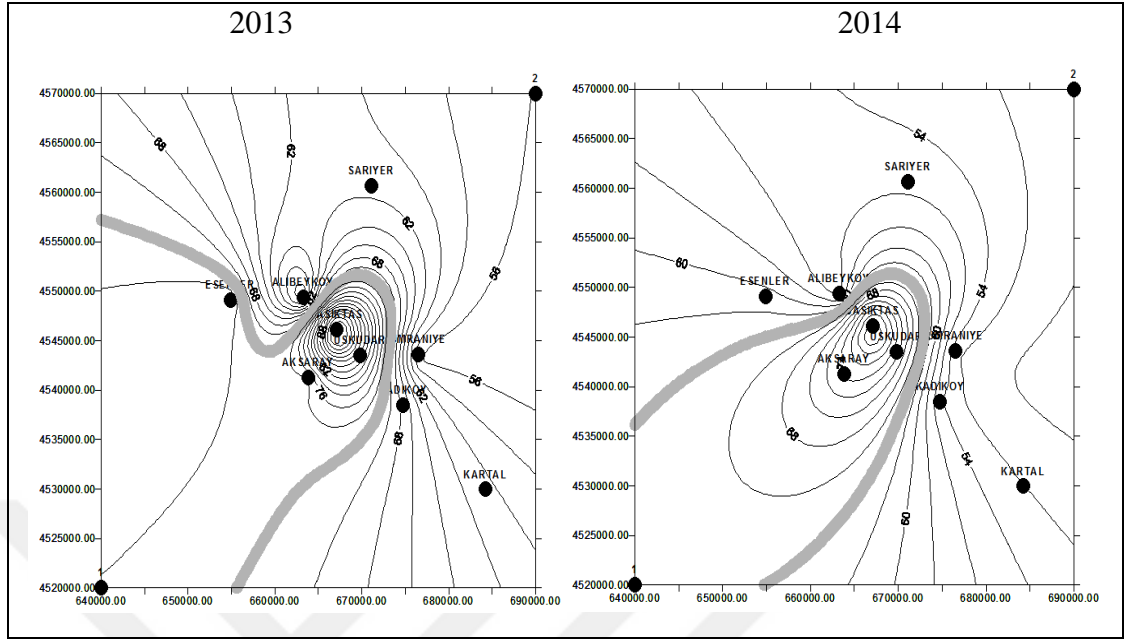
Şekil 4.39'da İstanbul ortalamasına göre NO₂ 2009 yılında 68 µg/m³ 2010 yılında ise 71 µg/m³ olarak ölçülmüştür. 2009 yılındaki ortalama kirlilik hattı 2008 yılına göre güneybatı yönüne kaymıştır. 2009 yılında Esenler bölgesine doğru bir kayma meydana gelmiştir bu kayma insan yoğunluğunun fazla olduğu alanlarda meydana gelen kalitesiz yakıt, trafiğe çıkan araç sayısının fazla olması, meteorolojik faktörlerde eklenince artış göstermiştir. Ayrıca yeni yerleşim alanlarının oluşması, kentsel dönüşüm çalışmaları kirliliğin yönünü değiştirmiş ya da kaymasına neden olmuş olabilir. Bunun yanı sıra boğazdaki köprü trafiği hali hazırda kirlitici konsantrasyonunu koruduğu görünmektedir. 2010 yılında ise kirlilik ortalaması güney batıya yönelmiştir. Yine köprü yolları üzerindeki hat durmaktadır. Hattın Esenler tarafı, Güngören Yolu üzerine kaymış, Esenyurt ve Esenler arasında yoğunlaşmıştır. En yüksek ortalama NO₂ değeri 2009 yılında Aksaray 2010 yılında ise Beşiktaş ölçmüştür. Aksaray'daki insan yoğunluğu ve binlerce otel kirliliği kaçınılmaz kılabilir. Beşiktaş'ta ise mesela Ayazağa yöresinde

birçok küçük ölçekli fabrikalar vardı bu dönemde bunlardan çıkan kirleticiler hava kirliliğine sebebiyet vermiş olabilir.



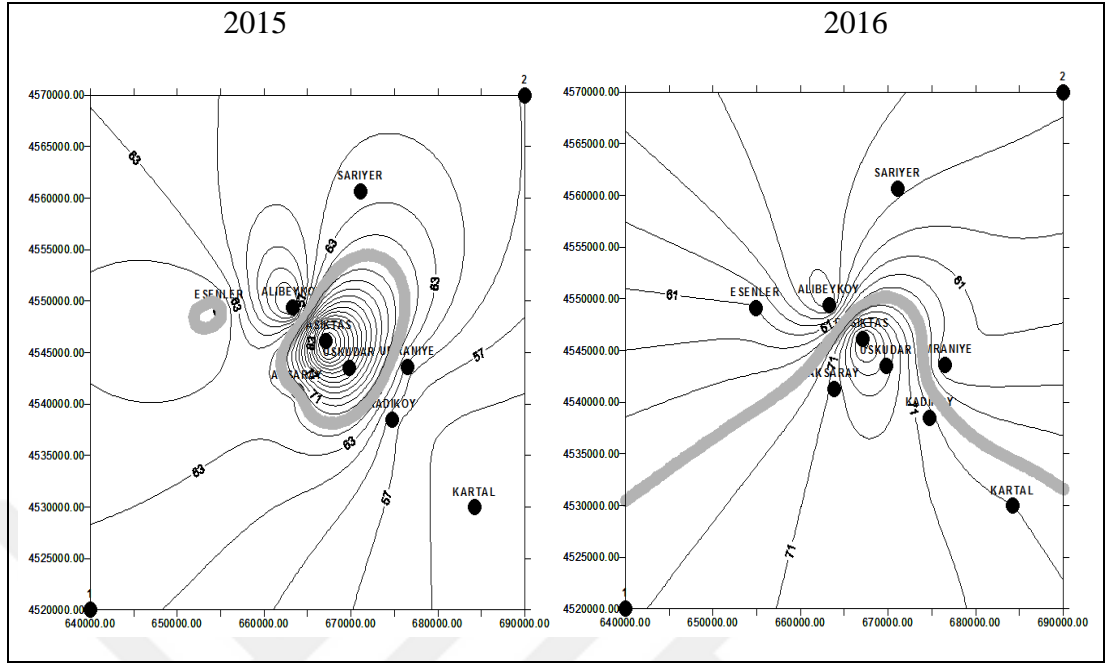
Şekil 4.40. İstanbul İlinin 2011 ve 2012 yılı NO₂ (µg/m³) konsantrasyonu

Şekil 4.40'da NO₂ için İstanbul'un geneline baktığımızda 2011 yılında ortalama değer 61 µg/m³ 2012 yılı için ise 65 µg/m³ olarak ölçülmüştür. 2011 yılında emisyon hattına baktığımız zaman hakim rüzgar yönünün güneybatı olduğunu görebiliriz. 2012 yılında emisyon ortalamasında çok fazla bir değişiklik görülmemiştir. Kirlilik batı tarafta Avrupa otoyolunu takip ederek ilerlemiş diğer yanda ise boğazdan geçerek kıyı şeridiyle güneye inmiştir. Bu durum kirliliğin çukur alanlara taşındığını gösterir. En yüksek ortalama NO₂ 2011 ve 2012 de Aksaray istasyonuna aittir. Aksaray'da farklı olarak Yenikapı tarafının denize sahili var ve buradan geçen gemi ve vapurların oluşturduğu kirlilikte Aksaray'ın çukurda olması nedeniyle havasını kirletebilir.



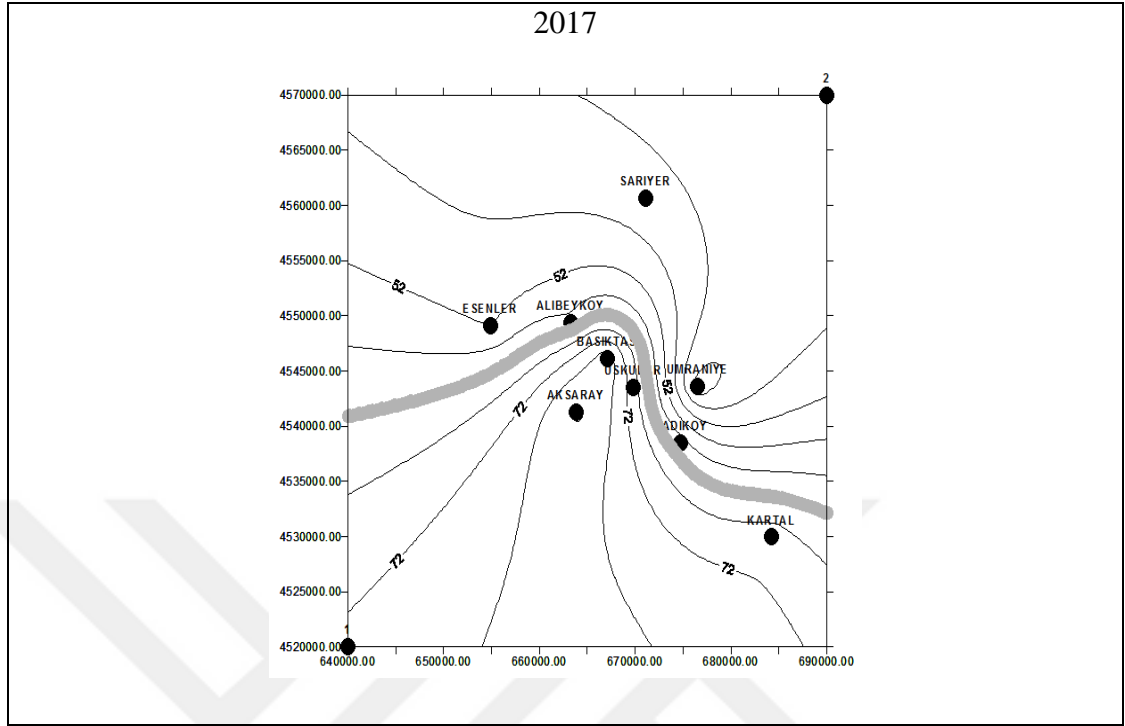
Şekil 4.41. İstanbul İlinin 2013 ve 2014 yılı NO₂ (µg/m³) konsantrasyonu

Şekil 4.41'de İstanbul'un NO₂ ortalaması 2013 yılında 72 µg/m³ iken 2014 yılında 64 µg/m³ olmuştur. Kirlilik hattı yine batıda Avrupa otoyolunu takip ederken bir yandan da ortalama kirliliğin boğaz çevresinde yoğunlaştığını görebiliriz. 2012 yılına göre ortalama kirlilik çizgisi güneybatıya kaymıştır bunda hakim rüzgarın etkisi vardır çünkü çukur alanda birikmesine neden olmuştur. 2014 yılına gelindiğinde de ortalama bu kez daha çok güneybatı yönüne kaymıştır. Esenler üstünde yoğunlaşan ortalama kirlilik hattı Esenyurt tarafına yönelmiş görünüyor. Bu durumda o bölgede aniden artan nüfus aniden artan kalitesiz yakıt kullanımı ve taşıt sayısı kirliliği artırmış olabilir. Yine hakim rüzgarın etkisiyle kirlilik güneye inmiştir. En yüksek NO₂ ortalama 2013 ve 2014 yılında Beşiktaş istasyonunda ölçülmüştür. Beşiktaş'ın işlek bir geçiş yolu üzerinde olduğunu söylemiştik. Bu durum deniz yolu içinde böyledir çünkü gün içinde yüzlerce gemi ve vapur (mazotla çalışıyor ve petrol vs. gibi madde taşıyan) geçiyor. Beşiktaş'ın yakınından geçtiği içinde ister istemez bir kirlilik meydana getirebilir.



Şekil 4.42. İstanbul İlinin 2015 ve 2016 yılı NO₂ (µg/m³) konsantrasyonu

Şekil 4.42’de İstanbul’un NO₂ ortalaması 2015 ve 2016 yılları için 67 µg/m³’tür. 2014 yılına göre ortalama emisyon hattı tamamen değişmiş güneyden gelen hakim rüzgarın etkisiyle kirlilik yoğunluğu boğaz ve çevresinde bir alan oluşturmuştur. Aslında İstanbul’un genelinde yaşanan azot dioksit kirliliği çevresine göre daha çukurda kalan alanda birikim yapmıştır. 2016 yılına gelindiğinde ise emisyon ortalaması güney yöne kaydığı görülür. Bu durumda hakim rüzgarın değiştiği kuzeyden gelen rüzgarın etkisi belirginleştiği izlenir. Yine köprü hattı, organize sanayi bölgesinden gelen kirlilik yükü daha belirgin olmakla birlikte oluşan ortalama emisyon hattı bu şekilde gözlenmiştir. En yüksek NO₂ ortalaması 2015 ve 2016 yılları içinde yine Beşiktaş istasyonuna aittir.



Şekil 4.43. İstanbul İlinin 2017 yılı NO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) konsantrasyonu

Şekil 4.43'de İstanbul'un 2017 yılı NO_2 ortalaması $62 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 'tür. 2016 yılına göre ortalama emisyon hattında fazla bir değişim gözlenmemiştir. Yine belirtilen sebeplerle bu hat oluşmuştur. Fakat 2007 yılına dönecek olursak ortalama çizgisindeki değişim tamamen trafik ana arterlerine yönelmiş diyebiliriz. 2007 yılında boğaz hattı boyunca ilerleyen çizginin şimdi doğu-batı yönlü ana trafik kavşakları üzerinde yoğunlaştığını söyleyebiliriz. En yüksek ortalama ise Aksaray istasyonuna aittir. Aksaray'ın kirliliğinin fazla olmasının bir nedeni de yukarıda saydıklarımızdan farklı olarak hiç yeşil alanının olmaması her yerin iş yeri ve otel olması denilebilir.

5. SONUÇ

İstanbul ilinin yıllara göre hava kalitesi değişimini bu çalışmada kriging yöntemini kullanarak incelendi ve hava kirliliğine neden olan kirletici konsantrasyonlarının ölçüldüğü dönemlerde zamansal ve alansal olarak nasıl farklılık gösterdiği saptanmıştır.

Çalışmanın birinci aşamasında hava kirliliği ve kirletici kaynakları incelenmiş kentsel alandaki kirleticiler hakkında bilgi verilmiştir. İkinci aşamada araştırma bölgesi hakkında bilgi verilmiş ve İstanbul için kirlilik oluşturan durumlar incelenmiştir. Kirlilik kaynaklarının nedenlerine değinilmiştir. Çalışmanın devamında İstanbul'un hava kalitesi için yapılan alansal ve zamansal araştırmalar analiz edilmiş ve yorumlanmıştır.

Zamansal Analiz sonucunda; 2007-2017 yılları arasında yapılan ölçümlerden elde edilen kirletici konsantrasyonlarının günümüze yaklaştıkça azalma eğilimi gösterdiği saptanmıştır. Bazı konsantrasyonların belirli dönemlerde pik yaptığı izlenmiş ama bu durum o dönem içinde şehir içinde yapılan kentsel dönüşüm işlemleri veya trafik yoğunluğundan meydana gelen durumlar olarak tahmin edilmektedir. Bunun dışında oluşan kirleticilerdeki azalma eğiliminin nedenleri olarak halkın bilinçlenmesi, hava kirliliği kontrolü yönetmeliğinin amacına uygun şekilde uygulanması ve bu konuda yapılan iyileştirme çalışmaları devamında temiz enerji kaynaklarının kullanılması ve endüstrilerin baca gazı salınımında daha dikkatli ve bilinçli olduğu söylenebilir.

Mevsimsel Analiz sonucunda; SO₂ konsantrasyonunun İstanbul'da her mevsim sınır değerinin altında seyrettiği gözlenmiştir. SO₂ konsantrasyonunun en fazla olduğu mevsim kışdır ve en çok fosil yakıtların yanması sonucu oluştuğu düşünülmektedir. PM₁₀ konsantrasyonunun dönem dönem sınır değeri aştığı saptanmıştır, en yoğun ulaştığı değerler analize göre kış aylarıdır. Evsel ısınma sonucu bacalardan salınan PM₁₀ bunun en önemli kaynağı olabilir ya da kentsel dönüşüm çalışmaları inşaat alanlarından yayılan tozlar vs. partikül madde kirliliği yapabilir. Karbon monoksit için ortalama olarak sınır değeri geçen bir ölçüme rastlanmamıştır yine de en yoğun olduğu mevsim kış mevsimidir.

Bunun içinde yoğun trafik ve eksik yanma olayları en önemli faktör olduğu düşünülmektedir. Son olarak Azot dioksit konsantrasyonunda sınır değerinin altında olduğu en yoğun olduğu mevsiminde ilkbahar olduğu görülmüştür.

Alansal Analiz sonucunda; İstanbul'un 11 yıllık verilerine bakıldığında;

SO₂ için; ortalama kirlilik çizgilerinin genel olarak doğu-batı yönlü yani İstanbul'un ana ulaşım arterlerinden geçtiği gözlenmiştir. 15 Temmuz Şehitler Köprüsü, Anadolu ve Avrupa Otoyolları bunun yanında insan yoğunluğu fazla olan merkezi alanlarda sürekli ulaşımın sağlandığı alanlarda eğri oluşturduğu gözlenmiştir. Bunun dışında istasyon olarak incelersek Aksaray'ın SO₂ konsantrasyonunun en yüksek olduğu saptanmıştır. Aksaray'ı takiben Kartal ve Esenler gelmektedir. Aksaray'ın insan yoğunluğunun fazla olması adım başı ticari araçların bulunması Aksaray ve çevresinin hava kalitesini olumsuz etkilemiştir. Yine Esenler, Esenyurt, Göztepe gibi bölgelerde insan yoğunluğunun, kalitesiz yakıt kullanımının en fazla olduğu alanlar burasıda kirlilik yükünün çok olduğu bölgedir. Kartal ve çevresi genellikle organize sanayi atık gazlarının hakim rüzgarlarla taşınması sonucu çok fazla kirlilik barındıran bir bölge olmuştur.

PM₁₀ için; ortalama kirlilik çizgilerine bakıldığında zaman kirliliğinin daha çok hakim rüzgar etkisiyle yön değiştirdiği gözlemlendi. Değişmeyen noktalar yine boğazın olduğu çukurda kalan kısımlardır. Genel olarak doğu-batı yönlü uzansa da kirlilik hattı bazı dönemler batı kanadının kuzeye kaydığı da gözlenmiştir. Çünkü yeni yerleşim alanları oluşturulmuştur ve buralarda oluşan partikül madde miktarı çok fazladır bu da kirliliğinin çok fazla yön değiştirmesine neden olmuş olabilir. Öte yandan Anadolu yakasında partikül madde kirliliği için çok fazla bir değişim olmamış genel olarak işlek trafik alanlarında organize sanayi bölgelerine giden çukur alanlarda çok fazla birikme olmuştur. Konsantrasyonuna baktığımız zaman ise en fazla PM₁₀ konsantrasyonu Kartal'da ölçülmüştür çünkü organize sanayi bölgelerinden gelen partikül madde hakim rüzgar etkisiyle çukurda kalan Kartal üzerine birikmiştir. Yine Aksaray ve Esenler takip etmektedir. Çünkü çok fazla insan yoğunluğu vardır ve oluşan kirlilik yükü ve araç trafiği fazladır.

CO için; Ortalama kirlilik çizgilerinin genel olarak doğu-batı yönlü uzandığı izlendi. Köprüler, insan yoğunluğunun (yakıt tüketiminin fazla olduğu örneğin; Esenler, Esenyurt, Göztepe ve Aksaray gibi) ve trafiğin fazla olduğu ana arterler genellikle karbon monoksitinde yoğunlaştığı alanlar olarak gözlemlendi. Meteorolojik parametreler ortalama çizgisi üzerinde değişimler oluştursa da genel olarak diğer iki kirlenici analizinde olduğu gibi en fazla trafik yolları üzerinde biriktiği gözlemlenmiştir. Karbon monoksit için yapılan ölçümlerde yine Aksaray en kirli bölgedir.

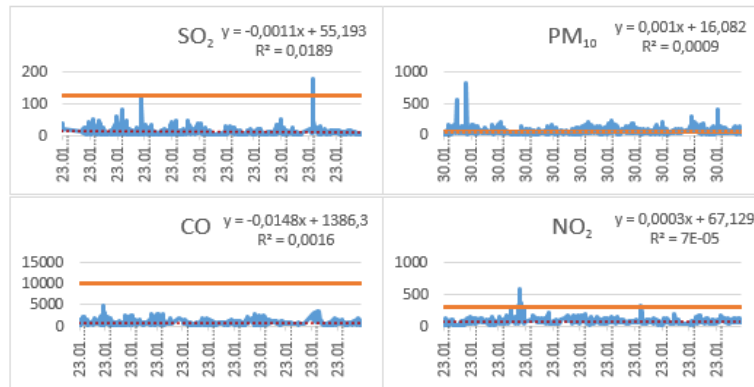
NO₂ için; ortalama çizgiler genel olarak güneydoğu-kuzeybatı şeklinde uzanmıştır. Çünkü azot dioksit kirliliği yanmanın yanında organize sanayi atık gazlarının da içine alan bir kirlilik türü olduğu için Kartal ve çevresi yine boğazlar ve çevresi, karşıda ise Esenler –Alibeyköy arasında bir hat oluşturmuştur. Meteorolojik parametreler yönünün seneler içinde değişimine neden olsa bile çok fazla bir değişim yaşanmamıştır. Konsantrasyonunda da Aksaray, Beşiktaş ve Esenler gibi trafik yoğunluğunun çok olduğu bölgeler ön sıradadır.

Kirlenicilerin hepsinde Aksaray'ın çok yoğun kirlilik içinde olduğunu görüyoruz devamında ise Esenler ve Beşiktaş istasyonlarının takip ettiği saptanmıştır. Bu durumun nedenleri olarak özellikle bu bölgelerde nüfusun çok fazla olması (insan yoğunluğu), merkezi yerler olması bu yüzden trafik yoğunluğunun çok olması, kentsel dönüşüm faaliyetleri, boş alanların inşaat alanına dönüştürülmesi (asbest ölçümü ve hava kirliliği kontrollerinin yeterince yapılmaması), sanayi veya evsel ısınmadan kaynaklı atık gazların bu bölgeler üzerinde toplanması gibi etkenler söylenebilir. Ayrıca denize yakın olan bölgeler için de deniz araçlarından oluşan hava kirlenicilerinin bölgeye yayılması bir diğer faktör olarak düşünülmektedir.

Alansal grafiklere ve verilere bakıldığı zaman en az hava kirliliğinin Üsküdar ve Sarıyer istasyonunda ölçüldüğü saptanmıştır. Bunun sebepleri arasında Üsküdar ve Sarıyer için insan yoğunluğunun daha az olduğu söylenebilir ayrıca yeşil alanının fazla olduğu bu duruma bağlı olarak trafiğin fazla olmadığı, sanayi ve işyerlerinin diğer bölgelere göre çok az olması kirliliği azaltan faktörler olabilir.

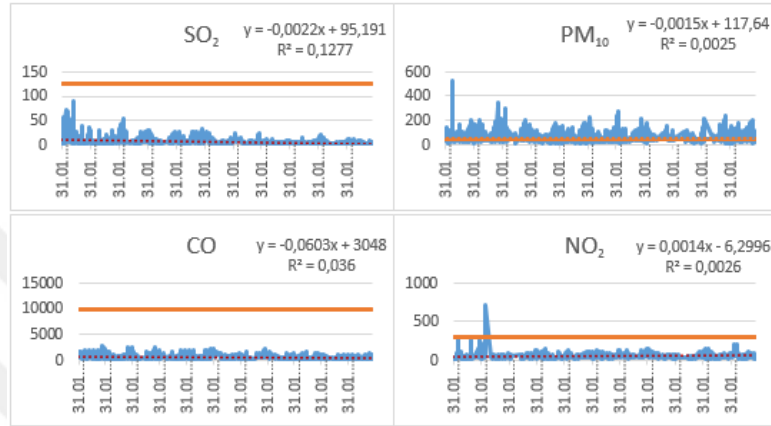
Bu çalışma da hava kalitesi analizleri kriging yöntemiyle yapıldı, elde edilen veriler ile; İstanbul'da hava kalitesinin yıllara göre düzeldiğini iyileşme olduğunu ama yine de hava kirliliğinin bazı bölgelerde çok fazla hissedildiğini saptamıştır. İstanbul'un trafik yoğunluğu zaten bilinen bir sorundur ama bu sorun tek taraflı bir sorun değildir çünkü aslında var olan trafik hattı aynı zamanda hava kirleticilerinde yoğun olarak biriktiği bir hat haline gelmiştir. Yapılan araştırmalar gösteriyor ki İstanbul'daki ana ulaşım arterleri, trafiğin çok yoğun olduğu merkezi bölgeler aynı zamanda hava kirliliğinin de yüksek çıktığı noktalar. Yine Avrupa yakasında insan yoğunluğunun fazla olduğu trafiğin kilit olduğu noktalar hava kirliliğinin arttığı bölgelerdir. Anadolu yakasında genellikle organize sanayi bölgelerine yakın (Kartal ve çevresi gibi) ve çukurda kalan bölgeler hava kirliliğinin yüksek olduğu yerlerdir. Bu alanlarda çok yönlü iyileştirme çalışmaları yapılabilir, yerleşim alanları daha sakin olan bölgelere taşınabilir (meteorolojik parametreler dikkate alınarak) böylece çarpık kentleşmenin önüne geçilmiş olur. Trafikteki araç sayısını düşürmeye yönelik daha çok hizmet verilebilir, organize sanayi bölgeleri biraz daha şehir dışına alınabilir ayrıca çok göç alan bölgelerde (Esenyurt ve çevresi gibi) yakıt kontrolleri yapılabilir. Halk daha fazla bilgilendirilebilir.

Aksaray istasyonu; Kirliliği yüksektir. Zamana göre (2007-2017) kirleticilerde azalma meydana geldiği görülmüştür. insan yoğunluğunun çok fazla olması, yeşil alanın hiç olmaması, 24 saat durmadan çalışan oteller, iş yerleri, adım başı hareket halindeki ticari araçlar ve bunların havaya saldıkları kirleticiler nedeniyle yüksek olduğu düşünülmektedir.



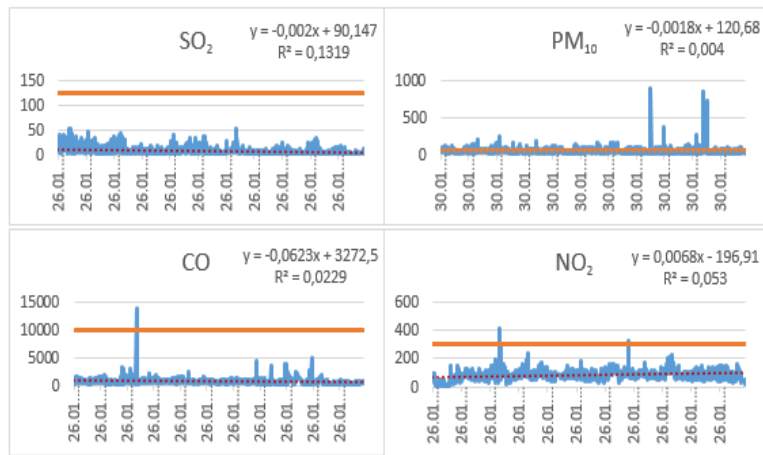
Şekil 5.1. Aksaray İstasyonu kirletici konsantrasyonlarının zamansal grafiği

Alibeyköy istasyonu; kirliliği orta seviyedir. Zamana göre izlendiğinde azalma olduğu görülmüştür. ilk dönemlerde bölge içinde küçük ölçekli fabrikaların olması kirlilik oluşturmuş olabilir günümüze yaklaştıkça azalan bir hava kirletici konsantrasyonu görülmüştür.



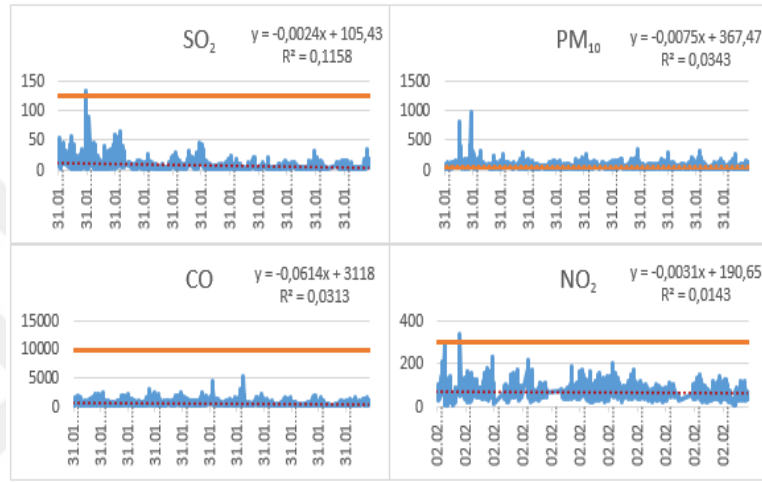
Şekil 5.2. Alibeyköy İstasyonu kirletici konsantrasyonlarının zamansal grafiği

Beşiktaş istasyonu; Kirliliği yüksektir. Beşiktaş bölgesi çok merkezi bir konumdadır bu yüzden işlek geçiş yolu sebebiyle yoğun araç trafiği, nüfusunun fazla olması, denizden meydana gelen vapur gemi vb. araçların kirliliği (atık gazları) Beşiktaş kirliliğini oluşturduğu tahmin edilmektedir.



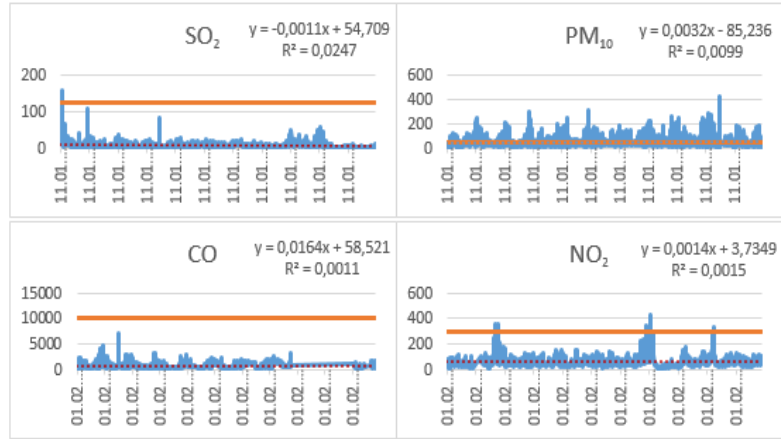
Şekil 5.3. Beşiktaş İstasyonu kirletici konsantrasyonlarının zamansal grafiği

Esenler istasyonu; Kirliliği yüksektir. Bu bölge yüksek nüfusu, trafik yoğunluğu, kentsel dönüşüm çalışmaları sebebiyle oluşan inşaat alanlarından çıkan toz, kil ve toprak atıkları, küçük ölçekli fabrika ve işyerleri (konfeksiyon) barındırması, yeşil alanın olmaması ayrıca insanların ihtiyacı olan sebze-meyva gibi ürünlerin merkezi satışının yapıldığı alanlara çok yakın olması yoğun kirlilik oluşumuna sebebiyet verebilir.



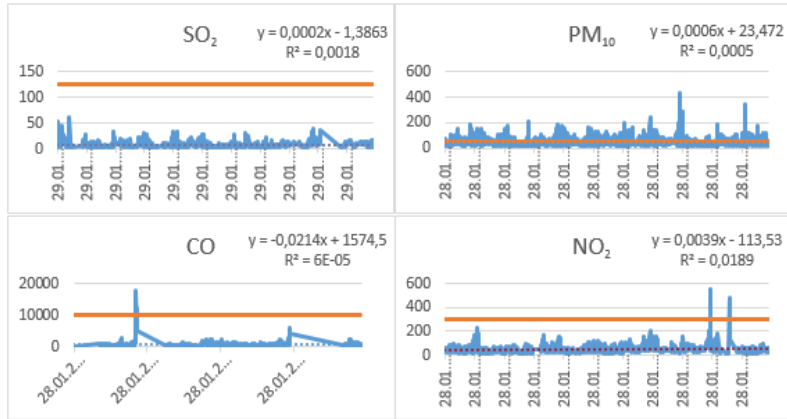
Şekil 5.4. Esenler İstasyonu kirletici konsantrasyonlarının zamansal grafiği

Kadıköy istasyonu; Kirliliği yüksektir. Bu bölgede yine zamanla kirliliğin azaldığı bir bölgedir. Araç trafiğinin çok fazla olması, sahil kenarı bir yer olduğu için insan yoğunluğunun fazla olması, denize yakın olması dolayısıyla çukurda olduğu için yakınlarda oluşan kirliliğin meteorolojik parametrelerinde etkisiyle buraya toplanması ayrıca yine denizde oluşan ulaşım araçlarının da etkisiyle hava kirletici konsantrasyonu fazla olabilir.



Şekil 5.5. Kadıköy İstasyonu kirletici konsantrasyonlarının zamansal grafiği

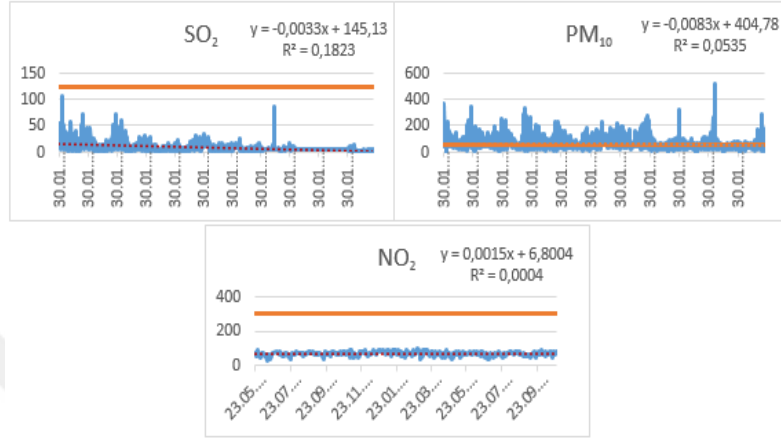
Ümraniye istasyonu; Kirliliği yüksektir. Günümüze yaklaştıkça kirlilik azalmıştır fakat Ümraniye geçmişten bugüne ciddi anlamda kentleşmenin yaşandığı da bir bölge bu yüzden inşaat alanlarından oluşan kirletici faktörü yüksek olabilir. Yine inşaat araçlarının oluşturduğu kirlilik ve organize sanayi bölgesi barındırdığı için salınan kirletici konsantrasyonu yüksek olabilir.



Şekil 5.6. Ümraniye İstasyonu kirletici konsantrasyonlarının zamansal grafiği

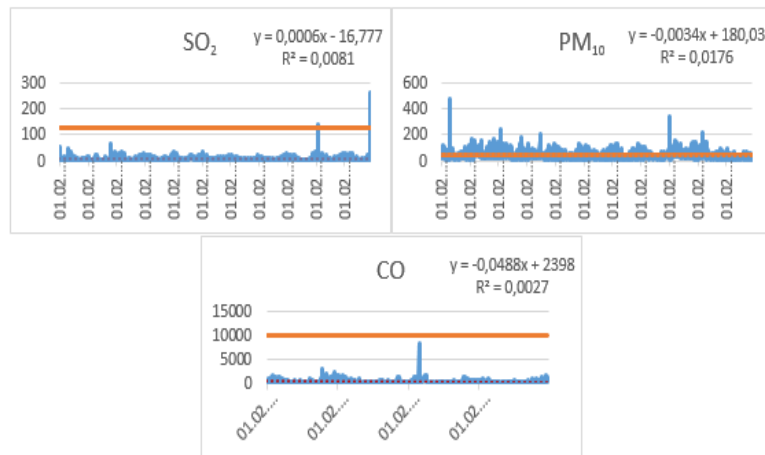
Kartal istasyonu; Kirliliği yüksektir. Bu bölge yine geçmişten günümüze kirletici konsantrasyonun azaldığı bir bölgedir. Oluşan kirlilik ise nüfusunun çok fazla olması, merkezi bir alan olması araç trafiğinin yoğun olması, çevresinde bulunan organize sanayi bölgelerinden salınan kirletici konsantrasyonunun Kartal bölgesine taşınması (yükseltisi)

az olduğu için), yine küçük ölçekli fabrikaların bulunması gibi nedenlerle olduğu düşünülmektedir.



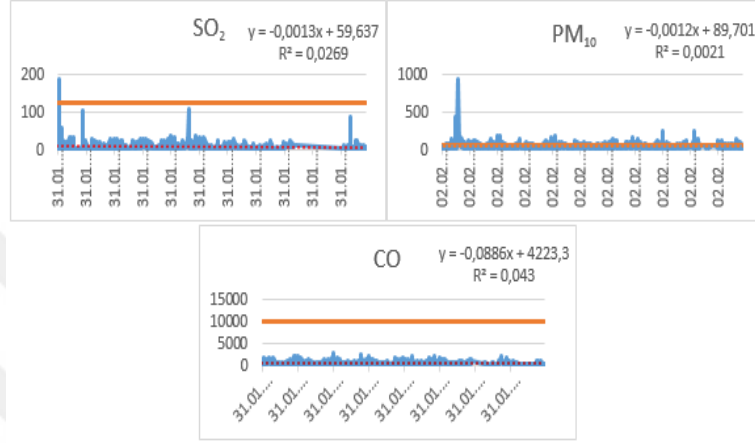
Şekil 5.7. Kartal İstasyonu kirletici konsantrasyonlarının zamansal grafiği

Sarıyer istasyonu; Kirliliği orta seviyedir. Burası normalde hava kirliliğinin az olması gereken bir yer ama pik yaptığı dönemler; insanların daha çok uğrak yeri olan bölgelere giden geçiş yolu üzerinde olduğu için araç trafiğinden oluşan bir kirlilik söz konusu olabilir. Ayrıca inşaat alanları olduğu içinde gece saatlerinde kamyon trafiği kirliliğe neden olabilir. Bunun dışında sanayi bölgelerinden uzak, yeşil alanları olan bir bölgedir.



Şekil 5.8. Sarıyer İstasyonu kirletici konsantrasyonlarının zamansal grafiği

Üsküdar istasyonu; Kirliliği orta seviyedir. Günümüze yaklaştıkça kirlilik azalmıştır. Üsküdar diğer bölgelere göre trafiğin az olduğu, iş yeri ve sanayi gibi yapıların çok bulunmadığı, insan yoğunluğunun yine az olduğu bir bölge olduğu için kirletici konsantrasyonu fazla olmayabilir.



Şekil 5.9. Üsküdar İstasyonu kirletici konsantrasyonlarının zamansal grafiği

KAYNAKLAR

- Abece Çevre, 2019. Türkiye'nin hava kirliliği haritası açıklandı. İşte en temiz ve en kirli şehirler. İnternet, <http://www.abccevre.com/hava-kirliligi-haritasi-aciklandi.html> (26.06.2019)
- Ahmad, E., Kim, K.H., Shon, Z.H. ve Song, S.K. 2015. Long-term trend of airborne particulate matter in Seoul, Korea from 2004 to 2013, *Atmospheric Environment*, 101, 125-133.
- Aras, O.N. 2001. Çevre kirliliğinin makro-ekonomik analizi ve yönetimi. İnsan ve Felaketler Uluslararası Konferansı. Azerbaycan.
- Bayraktar, H. ve Turalioğlu, F.S. 2005. A Kriging-based approach for locating a sampling site in the assessment of air quality. *Stoch Environ Res Risk Assess*, 19, 301–305.
- Beelen, R., Hoek, G., Vienneau, D., Eeftens, M., Dimakopoulou, K., Pedeli, X. 2013. Development of NO₂ and NO_x land use regression models for estimating air pollution exposure in 36 study areas in Europe – The ESCAPE Project. *Atmospheric Environment*, 72, 10–23.
- Behera, S.N., Sharma, M., Mishra, P.K., Nayak, P., Damez-Fontaine, B. ve Tahon, R. 2015. Passive measurement of NO₂ and application of GIS to generate spatially-distributed air monitoring network in urban environment, *Urban Climate*, 14 (3), 396–413.
- Bootdee, S., Chalemrom, P. ve Chantara, S. 2012. Validation and field application of tailor-made nitrogen dioxide passive samplers. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 9 (3), 515-526.
- Brauer, M., Hoek, G., Meliefste, K., Fischer, P., Gehring, U., Heinrich, J. 2003. Estimating Long-Term Average Particulate Air Pollution Concentrations: Application of Traffic Indicators and Geographic Information Systems. *Epidemiology: GIS Estimation of Particle Concentrations*, 14 (2).
- Briggs, D.J., Collins, S., Elliot, P., Fischer, P., Kingham, S., Lebre, E. 1997. Mapping urban air pollution using GIS: A regression based approach. *International Journal of Geographical Information Science*, 11 (7), 699 - 718.
- Briggs, D.J., Hoogh, C., Gulluvier, J., Wills, J., Elliot, P., Simon, K. 2000. A regression-based method for mapping traffic-related air pollution: Application and testing in four contrasting urban environments. *The Science of the Total Environment*, 253 (1-3), 151-167.
- Colls, J. (2nd ed.) 2002. Air pollution. Spon Press, Londra.
- Coşkun, A. 2008. Şehir atmosferinde taşıt emisyonlarından kaynaklanan hava kirliliğinin belirlenmesi. Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Çelikoğlu, M. 1999. Kocaeli ilinde hava kirliliği ve meteorolojik faktörlerin astım bronşiale üzerindeki etkileri. Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli.
- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ulusal Hava kalitesi izleme Ağı. İnternet, <http://mobil.havaizleme.gov.tr/default.ltr.aspx>
- Daylan, E. ve İncecik, S. 2002. İstanbul'da coğrafi bilgi sistemleri ile hava kalitesinin incelenmesi. *İTÜ Dergisi, Mühendislik*, 1 (2), 51-62.

- Estarlich, M., Iniguez, C., Esplugues, A., Mantilla E, Zurriaga O, Nolasco A. 2013. The spatial distribution of population exposure to outdoor air pollution in Valencia (Spain) and its association with a privation index. *Gaceta Sanitaria*, 27 (2), 143-148.
- Evcı, M. 2009. Determination of ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide pollution around Aliğa by passive sampling. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir.
- Fan, X., Lam, K. ve Yu, Q. 2012. Differential exposure of the urban population to vehicular air pollution in Hong Kong. *Science of the Total Environment*, 426, 211–219.
- Fenger, J. 2002. Air pollution science for 21. century: Urban air quality. National Environmental Research Institute, Department of Atmospheric Environment, Danimarka.
- Godish, T. 1997. Air quality. Chemical Rubber Company (CRC) Press LLC, Florida.
- Haber Türk, 2019. Hangi ilçe ne kadar yeşil. İnternet, <https://www.haberturk.com/hangi-ilce-ne-kadar-yesil-2294962> (16.09.2019)
- Harrison,R., Smith,D.J.T, Piou, C.A. ve Castro, L.M. 1997. Comparative receptor modeling study of airborne particulate pollutants in Birmingham (United Kingdom), Coimbra (Portugal) and Lahore (Pakistan). *Atmospheric Environment*, 31 (20), 3309-3321.
- Hoek,G., Meliefste, K., Cyrusb, J., Lewné, M., Bellander, T., Brauer, M. 2002. Spatial variability of fine particle concentrations in three European areas. *Atmospheric Environment*, 36 (25), 4077–4088.
- İbrahimova, İ. 2013. Bakü hava kirlenmesinde SO₂'nin rolü ve meteorolojik olaylarla ilişkisinin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- İncecik, S. 1994. Hava kirliliği. İstanbul Teknik Üniversite Matbaası, İstanbul.
- incelenmesi: Keçiören İlçesi örneği. 7. Uluslararası Katılımlı Atmosfer Bilimleri empozumu. Ankara.
- Jorquera,H., Palma,W. ve Tapia,J. 2000. An intervention analysis of air quality data at Santiago, Chile. *Atmospheric Environment*, 34 (24), 4073-4084.
- Juda-Rezler, K., Reizer, M., ve Oudinet, J.P. 2011. Determination and analysis of PM10 source apportionment during episodes of air pollution in Central Eastern European urban areas: The case of wintertime 2006. *Atmospheric Environment*, 45, 6557-6566.
- Karapınar, Ç. 2012. Kahramanmaraş'ta doğalgaz kullanımının hava kalitesi üzerindeki etkisinin araştırılması. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş.
- Kocaman, Ö. 2010. Erzurum'da pasif örnekleme yöntemiyle alansal hava kalitesinin tahmini. Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Erzurum.
- Koutrakis,P., Sax,S.N., Sarnat, J.A., Coull, B., Demokritou, P., Oyola, P. 2012. Analysis of PM10, PM2.5, and PM2.5–10 concentrations in Santiago, Chile, from 1989 to 2001. *Journal of the Air and Waste Management Association*, 55 (3), 342–351.
- KRT, 2019. Türkiye'de hava kirliliğinden ölenlerin sayısı trafik kazalarında hayatını kaybedenlerin 7 katı. İnternet, <http://www.krttv.com.tr/gundem/turkiyede-hava-kirliliginden-olenlerin-sayisi-trafik-kazalarinda-h5205.html> (14.09.2019)

- Lee, K., Yeom, J., Yoon, C., Yang, W., Son, B.S., Jeon, J.M. 2013. Seasonal and geographic effects on predicting personal exposure to nitrogen dioxide by time-weighted microenvironmental model. *Atmospheric Environment*, 67, 143–148.
- Lin, W., Xu, X., Yu, X., Zhang, X. ve Huang, J. 2013. Observed levels and trends of gaseous SO₂ and HNO₃ at Mt. Waliguan, China: Results from 1997 to 2009. *Journal of Environmental Sciences*, 25 (4), 726–734.
- Mansha, M., Ghauri, B., Rahman, S. ve Amman, A. 2012. Characterization and source apportionment of ambient air particulate matter (PM_{2.5}) in Karachi. *Science of the Total Environment*, 425, 176–183.
- Mayer, H. 1999. Air pollution in cities. *Atmospheric Environment*, 33 (24), 3029- 4037.
- Moore, D.K., Jerrett, M., Mack, W.J. ve Künzli, N. 2007. A land use regression model for predicting ambient fine particulate matter across Los Angeles, CA. *Journal of Environmental Monitoring*, 9 (3), 246–252.
- Mönkkönen, R.U., Srinivasan, D., Koponen, I.K., Lehtinen, K.E.J. ve Hämeri, K. 2004. Relationship and variations of aerosol number and PM₁₀ mass concentrations in a highly polluted urban environment-New Delhi, India. *Atmospheric Environment*, 38 (3), 425–433.
- Mukerjee, S., Willis, R.D., Walker, J.T., Hammond, D., Norris, G.A., Smith, L.A. 2012. Seasonal effects in land use regression models for nitrogen dioxide, coarse particulate matter, and gaseous ammonia in Cleveland, Ohio. *Atmospheric Pollution Research*, 3 (3), 352.
- Müezzinoğlu, A. 2000. Hava kirliliği ve kontrolünün esasları. Dokuz Eylül Yayınları, İzmir.
- Nerriere, E., Navier, D.Z., Blanchard, O., Momas, I., Ladner, J., Le Moullec, Y. 2005. Can we use fixed ambient air monitors to estimate population long-term exposure to air pollutants? The case of spatial variability in the Genotox ER study. *Environmental Research*, 97 (1), 32–42.
- OECD, 2001, Sustainable Development: Critical Issues, Paris
- Özaslan, Ü. 2008. Kocaeli kentinde hava kirliliğine neden olan inorganik gaz kirleticilerin düzeylerinin, dağılımlarının ve kaynaklarının belirlenmesi. Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli.
- Özden, Ö. 2005. Hava kalitesinin monitorlanmasında pasif örnekleyicilerin kullanılması. Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir.
- Partigöç, N.S., ve Çubukçu, K.M. 2017. Hava kirliliği ve Kent ilişkisine ampirik bakış: Ekolojik sürdürülebilirlik ekseninde bir değerlendirme. *Akademia Disiplinlerarası Bilimsel Araştırmalar Dergisi*, 3 (2), 28-45
- Pekin, M.A. ve Oğuz, K. 2015. Meteorolojik koşulların hava kirliliği üzerine etkilerinin
- Pinto, J. P., Stevens, R.K., Willis, R.D., Kellogg, R., Mamane, Y., Novak, J. 1998. Czech Air Quality Monitoring and Receptor Modeling Study. *Environmental Science and Technology*, 32 (7), 843-854.
- Pits, M., Schmid, O., Heinrich, J., Birmili, W., Maguhn, J., Zimmermann, R. 2008. Seasonal and diurnal variation of PM_{2.5} apparent particle density in urban air in Augsburg, Germany. *Environmental Science and Technology*, 42 (14), 5087–5093.
- Querola, X., Alastuey, A., Rodriguez, S., Plana, F., Ruiz, C.R. 2001. PM₁₀ and PM_{2.5} source apportionment in the Barcelona Metropolitan area, Catalonia, Spain. *Atmospheric Environment*, 35 (36), 6407-6419.

- Reche, C., Viana, M., Pandolfi, M., Alastuey, A., Moreno, T., Amato, F. 2012. Urban NH₃ levels and sources in a Mediterranean environment. *Atmospheric Environment*, 57, 153–164.
- Rossa, Z., Jerrett, M., Kazuhiko, I., Barbara, T. ve Thurston, G.D. 2007. A land use regression for predicting fine particulate matter concentrations in the New York City region. *Atmospheric Environment*, 41 (11), 2255–2269.
- Salvador, P., Artinano, B., Alonso, D.G., Querol, X. ve Alastuey, A. 2004. Identification and characterization of sources of PM₁₀ in Madrid (Spain) by statistical methods. *Atmospheric Environment*, 38 (3), 435–447.
- Sanayi Portalı, 2019. İstanbul Sanayi Haritası. İnternet, <http://portal.sanayigazetesi.com.tr/index.html> (14.09.2019)
- Shendell, D.G., Therkorn, J., Yamamoto, N., Meng, Q., Kelly, S.W. ve Foster, C. 2012. Outdoor near-roadway, community and residential pollen, carbon dioxide and particulate matter measurements in the urban core of an agricultural region in central CA. *Atmospheric Environment*, 50 (4), 103-111.
- Shi, Z., Shao, L., Jones, T.P., Whittaker, A.G., Lu, S., Bérubé, K.A. 2003. Characterization of airborne individual particles collected in an urban area, a satellite city and a clean air area in Beijing. *Atmospheric Environment*, 37 (29), 4097–4108.
- Smargiassi, A., Baldwin, M., Pilger, C., Dugandzic, R. ve Brauer, M. 2005. Small-scale spatial variability of particle concentrations and traffic levels in Montreal: a pilot study. *Science of the Total Environment* 338 (3), 243– 251.
- Sol Haber Merkezi, 2019. Hava kirliliği İstanbul'a geri geldi: Solunabilir bir hava değil. İnternet, <http://haber.sol.org.tr/toplum/hava-kirliligi-istanbula-geri-geldi-solunabilir-bir-hava-degil-255583> (26.06.2019).
- Staelens, J., Wuyts, K., Adriaenssens, S., Avermaet, P.V., Buysse, H., Von den Bril, B. 2012. Trends in atmospheric nitrogen and sulphur deposition in northern Belgium. *Atmospheric Environment*, 49, 186–196.
- Tuncel, G. v.d., 1995, Türkiye'nin Çevre Sorunları, Türkiye Çevre Vakfı Yayını, Ankara.
- Tuncel, G., Müezzinoğlu, A., Tuncel, S., Bayram., Odabaşı, M., Sofuoğlu, S.C. 2008. İzmir Aliğa endüstri bölgesinde hava kirliliğine neden olan organik ve inorganik kirleticilerin düzeylerinin, kaynaklarının ve sağlık etkilerinin belirlenmesi, TÜBİTAK 104Y276 Nolu Proje Raporu, İzmir.
- Tünay, O. ve Alp, K. 1996. Hava kirlenmesi kontrolü. Yayın No: 1996 – 36. İstanbul Ticaret Odası, İstanbul.
- Vallius, M., Janssen, N.A.H., Heinrich, J., Hoek, G., Ruuskanen, J., Cyrys, J. 2004. Sources and elemental composition of ambient PM_{2.5} in three European cities. *Science of the Total Environment*, 337 (1-3), 147– 162.
- Vardoulakis, S. ve Kassomenos, P. 2008. Sources and factors affecting PM₁₀ levels in two European cities: Implications for local air quality management. *Atmospheric Environmen*, 42 (17), 3949–3963.
- Zbieranowski, A.L. ve Aherne, J. 2012. Ambient concentrations of atmospheric ammonia, nitrogen dioxide and nitric acid across a rural–urban–agricultural transect in southern Ontario, Canada. *Atmospheric Environment*, 62, 481–491.
- Zhu, Y., Hinds, W.C., Kim, S. ve Sioutas, C. 2011. Concentration and size distribution of ultrafine particles near a major highway. *Journal of the Air and Waste Management Association* 52 (9), 1032-1042.

Ek 1.3. Beşiktaş istasyonu verilerinin sınır değeri aştığı gün sayısı

YILLAR	SINIR DEĞERİ AŞAN GÜN SAYISI			
	SO ₂	PM ₁₀	CO	NO ₂
2007	SO ₂	PM ₁₀	CO	NO ₂
	0	127	0	0
2008	SO ₂	PM ₁₀	CO	NO ₂
	0	150	0	0
2009	SO ₂	PM ₁₀	CO	NO ₂
	0	121	1	3
2010	SO ₂	PM ₁₀	CO	NO ₂
	0	123	0	0
2011	SO ₂	PM ₁₀	CO	NO ₂
	0	97	0	0
2012	SO ₂	PM ₁₀	CO	NO ₂
	0	175	0	0
2013	SO ₂	PM ₁₀	CO	NO ₂
	0	156	0	1
2014	SO ₂	PM ₁₀	CO	NO ₂
	0	113	0	0
2015	SO ₂	PM ₁₀	CO	NO ₂
	0	126	0	0
2016	SO ₂	PM ₁₀	CO	NO ₂
	0	87	0	0
2017	SO ₂	PM ₁₀	CO	NO ₂
	0	93	0	0
TOPLAM	0	1368	1	4

ÖZGEÇMİŞ

1993 yılında Erzurum'un Uzundere ilçesinde doğdu. Lise eğitimini Uzundere Çok Programlı Anadolu Lisesi'nde tamamladı. 2011 yılında Erzurum Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Programına yerleşip 2015 yılında Çevre Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. 2016 yılında yine Erzurum Atatürk Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisansa başladı.

