

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**İSTANBUL'DA 2007-2012 YILLARI
ARASINDA HAVAKİRLİLİĞİNİN ÖLÜMLER ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN
MODELLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Özkan ÇAPRAZ

Meteoroloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Atmosfer Bilimleri Programı

OCAK 2013

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**İSTANBUL'DA 2007-2012 YILLARI
ARASINDA HAVAKİRLİLİĞİNİN ÖLÜMLER ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN
MODELLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Özkan ÇAPRAZ
(511101014)**

Meteoroloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Atmosfer Bilimleri Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Ali DENİZ

OCAK 2013

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 511101014 numaralı Yüksek LisansÖğrencisi **Özkan ÇAPRAZ**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı **“İSTANBUL'DA 2007-2012 YILLARI ARASINDA HAVAKİRLİLİĞİNİN ÖLÜMLER ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN MODELLENMESİ”** başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. Ali DENİZ**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. Ali DENİZ**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Selahattin İNCECİK
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Zafer ASLAN
İstanbul Aydın Üniversitesi

Teslim Tarihi : **16 Aralık 2013**
Savunma Tarihi : **24 Ocak 2013**

Anne ve babama,

ÖNSÖZ

Çalışmanın gerçekleşmesinde katkılarından dolayı başta Doç. Dr. Ali DENİZ olmak üzere, verileri düzenleme işlemlerindeki yardımlarından dolayı Doç. Dr. Hüseyin TOROS ve Meteoroloji Mühendisi Barış ÖZDEMİR'e, hava kirliliği verilerinin temin edilmesini sağlayan Muhammet DOĞAN'a, tezimin yazılmasında desteğini esirgemeyen sevgili arkadaşım Evren ÖZGÜR'e, meteorolojik verilerin temin edilmesini sağlayan Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne, ölüm verilerinin temin edilmesini sağlayan İstanbul İl Sağlık Müdürlüğü çalışanlarına, veri temininde gösterdikleri yardımseverlikten ötürü verilerinden yararlandığım hastane çalışanlarına ve bana her zaman destek olan ve daima yanımda olan sevgili aileme ve arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Aralık 2013

ÖzkanÇAPRAZ
Meteoroloji Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	2
1.2 Literatür Araştırması	3
1.3 Hipotez	6
2. HAVA KİRLİLİĞİ	7
2.1 Hava Kirliliğinin Çeşitleri	7
2.2 Hava Kirliliğine Sebep Olan Parametreler	10
2.2.1 Partikül madde (PM ₁₀ ve PM _{2.5})	10
2.2.2 Kükürtdioksit (SO ₂)	11
2.2.3 Azot oksitler (NO _x)	12
2.2.4 Ozon (O ₃)	13
2.2.5 Karbonmonoksit (CO).....	13
2.2.6 Uçucu organik bileşikler (VOCler).....	14
2.3 Hava Kirliliğini Etkileyen Faktörler.....	14
2.3.1 Rüzgarın etkisi	14
2.3.2 Kararlılık ve enverziyon.....	15
2.3.3 Topografya	17
3. İSTANBUL	19
3.1 İstanbul'un İklimi	19
3.2 İstanbul'un Hava Kalitesi.....	20
3.3 Emisyon Kaynakları	22
3.3.1 Sanayi kaynaklı (endüstriyel) emisyonlar	22
3.3.2 Trafik kaynaklı emisyonlar	24
3.3.3 Isınma kaynaklı emisyonlar	26
3.3.4 Gemi emisyonları	27
3.4 Emisyon Envanteri Çalışmaları.....	28
4. İSTANBUL'UN GÜNÜMÜZDEKİ HAVA KALİTESİ.....	31
5. VERİ VE YÖNTEM	37
5.1 Çalışma Alanı ve Veri	37
5.2 Metodoloji	39
5.2.1 Zaman serisi çalışmaları.....	40
5.2.2 Genelleştirilmiş lineer model (GLM)	42
5.2.3 Veri tabanı.....	43
5.2.4 Geçici zamansal trendlerin düzeltilmesi	44

5.2.5 Mevsimsellik	45
5.2.6 Haftanın günleri ve tatil günleri	46
5.2.7 Kısmi otokorelasyon fonksiyonu	46
5.2.8 Akaike bilgi kriteri (AIC).....	48
5.2.9 Varyans analizi (ANOVA veya F) testi	48
5.2.10 Rölatif risk.....	49
5.2.11 Çalışmada kullanılan program	49
5.2.12 Tanımlayıcı analiz ve modelin oluşturulması	50
6. ANALİZ VE SONUÇLARI.....	55
6.1 Kalp-Damar Hastalıkları Nedeniyle Meydana gelen Ölümmler	55
6.1.1 Partikül maddenin (PM ₁₀) etkisi.....	55
6.1.2 Azot dioksitin (NO ₂) etkisi.....	58
6.1.3 Kükürt dioksitin etkisi (SO ₂).....	60
6.2 Solunum Sistemi Hastalıkları Nedeniyle Meydana Gelen Ölümmler	62
6.2.1 Partikül maddenin (PM ₁₀) etkisi.....	62
6.2.2 Azot dioksitin etkisi	65
6.2.3 Kükürt dioksitin etkisi.....	65
6.3Kaza Dışı Nedenler Sonucu Meydana Gelen Ölümmler.....	67
6.3.1 Partikül maddenin (PM ₁₀) etkisi.....	67
6.3.2 Azot dioksitin etkisi	69
6.3.3 Kükürt dioksitin etkisi.....	70
7. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	73
KAYNAKLAR.....	81
ÖZGEÇMİŞ.....	85

KISALTMALAR

AIC	: Akaike Bilgi Kriteri
GAM	: GenelleştirilmişAditif Model
GLM	: Genelleştirilmiş Lineer Model
İBB	: İstanbul Büyükşehir Belediyesi
İÇDR	: İstanbul Çevre ve Durum Raporu
RR	: Rölatif Risk
VOC	: Uçucu Organik Bileşikler
NMVOC	: Metan İçermeyen Uçucu Organik Bileşikler

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Çeşitli birincil kirletici madde kaynakları, Ahrens (2009)'dan uyarlanmıştır.....	8
Çizelge 2.2 : Türkiye Hava Kalitesi Standartları'nın (HKDY/2013), Avrupa Birliği (Direktif 2008/50/EC) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO) Hava Kalitesi standartları ile karşılaştırılması.....	9
Çizelge 3.1 : 2010 yılı itibariyle İstanbul Sanayi Odası'na bağlı bulunan firmaların sektörlere göre dağılımı, İÇDR (2012)'den uyarlanmıştır.	23
Çizelge 3.2 : Türkiye ve İstanbul'a ait trafik ile ilgili genel bilgiler, TUİK (2012)'den uyarlanmıştır.....	25
Çizelge 3.3 : İstanbul'da sektörel emisyonlar, IBB (2009)'dan uyarlanmıştır.....	29
Çizelge 3.4 : İstanbul'da yıllık antropojenik (insan kaynaklı) emisyonların sektörlere göre dağılımı (%), Markaksis ve diğ. (2009)'dan uyarlanmıştır.	30
Çizelge 5.1 : Çalışmada yararlanılan hava kalitesi istasyonları, meteoroloji istasyonları ve hastaneler.....	39
Çizelge 5.2 : Ekspozansiyel ailesine dahil bazı dağılımların kurallı link fonksiyonları, Tadano ve diğ. (2012)'den uyarlanmıştır.	43
Çizelge 5.3 : 2007-2012 yılları arasında, kirleticilerin (PM ₁₀ , NO ₂ ve SO ₂), meteorolojik değişkenlerin (sıcaklık ve bağıl nem) ve sebeplerine göre ölümlerin (kalp-damar, solunum yolu, kaza dışı tüm ölümler) tanımlayıcı analizi	50
Çizelge 5.4 : Modelin farklı özgürlük derecelerine göre karşılaştırılması	51

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Partikül madde boyutlarının (PM_{10} ve $PM_{2.5}$) karşılaştırılması, EPA (2010)'dan uyarlanmıştır.....	11
Şekil 2.2 : Enverziyon ve Karışım Tabakası, Ahrens (2009)'ten uyarlanmıştır.....	17
Şekil 3.1 : 1988-2010 yılları arası İstanbul geneli yıllık kükürt dioksit konsantrasyonları, İÇDR (2011)'den uyarlanmıştır.....	21
Şekil 3.2 : 1988-2010 yılları arası İstanbul geneli yıllık partikül madde (PM_{10}) konsantrasyonları, İÇDR (2011)'den uyarlanmıştır.....	21
Şekil 3.3 : İstanbul'daki sanayi tesisleri ve organize sanayi bölgeleri, IBB (2009) 'dan uyarlanmıştır.	29
Şekil 3.4 : İstanbul 2007 yılı evsel ısınma kaynaklı fosil yakıt tüketimi, IBB (2009)'dan uyarlanmıştır	29
Şekil 3.4 : Her bir kirlenici kaynağın toplam emisyon miktarına olan katkıları, IBB (2009)'dan uyarlanmıştır.....	29
Şekil 4.1 : 2007-2012 yılları arasında, partikül madde (PM_{10}), azot dioksit (NO_2) ve kükürt dioksit (SO_2) konsantrasyonları aylık ortalama değişim..	32
Şekil 4.2 : Ortalama kirlenici konsantrasyonlarının yıllara göre değişimi.....	33
Şekil 4.3 : 2007-2012 yılları arası istasyonlara ait ortalama PM_{10} konsantrasyonları..	34
Şekil 4.4 : Ortalama PM_{10} konsantrasyonlarının harita üzerinde gösterimi..	34
Şekil 4.5 : 2007-2012 yılları arası istasyonlara ait ortalama NO_2 konsantrasyonları..	35
Şekil 4.6 : Ortalama NO_2 konsantrasyonlarının harita üzerinde gösterimi.....	35
Şekil 4.7 : 2007-2012 yılları arası istasyonlara ait ortalama SO_2 konsantrasyonları..	36
Şekil 4.8 : Ortalama SO_2 konsantrasyonlarının harita üzerinde gösterimi..	36
Şekil 5.1 : Çalışmada kullanılan hava kalitesi istasyonları (mavi renkli), meteoroloji istasyonları (sarı renkli) ve hastaneler (kırmızı renkli)..	38
Şekil 5.2 : Kısmi otokorelasyon fonksiyonunun (Partial PCF), gecikme günlerine göre olan grafiği, Tadano ve diğ. (2012)'den uyarlanmıştır... ..	47
Şekil 5.3 : Modele ait kısmi otokorelasyon fonksiyonunun (Partial PCF), gecikme günlerine göre olan grafiği... ..	52
Şekil 6.1 : PM_{10} miktarındaki $10 \mu g/m^3$ 'lık bir artışın kalp-damar hastalıklarına bağlı ölümler üzerindeki gecikmeli etkisi.	56
Şekil 6.2 : PM_{10} miktarındaki $10 \mu g/m^3$ 'lık bir artışın kalp-damar hastalıklarına bağlı ölümler üzerindeki birikimli etkisi.....	57
Şekil 6.3 : PM_{10} konsantrasyonundaki artışa göre değişen rölatif risk değerleri (noktalı çizgiler %50 güven aralığını göstermektedir).....	57
Şekil 6.4 : NO_2 miktarındaki $10 \mu g/m^3$ 'lık bir artışın kalp-damar hastalıklarına bağlı ölümler üzerindeki gecikmeli etkisi.	59
Şekil 6.5 : NO_2 miktarındaki $10 \mu g/m^3$ 'lık bir artışın kalp-damar hastalıklarına bağlı ölümler üzerindeki birikimli etkisi.....	59
Şekil 6.6 : NO_2 konsantrasyonundaki artışa göre değişen rölatif risk değerleri (noktalı çizgiler %50 güven aralığını göstermektedir)..	60

Şekil 6.7 : SO ₂ miktarındaki 10 µg/m ³ 'lık bir artışın kaza kalp-damar hastalıklarına bağlı ölümler üzerindeki gecikmeli etkisi.	61
Şekil 6.8 : SO ₂ miktarındaki 10 µg/m ³ 'lık bir artışın solunum sistemi hastalıklarına bağlı ölümler üzerindeki birikimli etkisi.	61
Şekil 6.9 : SO ₂ konsantrasyonundaki artışa göre değişen rölatif risk değerleri (noktalı çizgiler %80 güven aralığını göstermektedir)..	62
Şekil 6.10 : PM ₁₀ miktarındaki 10 µg/m ³ 'lık bir artışın solunum sistemi hastalıklarına bağlı ölümler üzerindeki gecikmeli etkisi	63
Şekil 6.11 : PM ₁₀ miktarındaki 10 µg/m ³ 'lık bir artışın solunum sistemi hastalıklarına bağlı ölümler üzerindeki birikimli etkisi.	64
Şekil 6.12 : PM ₁₀ konsantrasyonundaki artışa göre değişen rölatif risk değerleri (noktalı çizgiler %10 güven aralığını göstermektedir)..	64
Şekil 6.13 : SO ₂ miktarındaki 10 µg/m ³ 'lık bir artışın solunum sistemi hastalıklarına bağlı ölümler üzerindeki gecikmeli etkisi..	66
Şekil 6.14 : SO ₂ miktarındaki 10 µg/m ³ 'lık bir artışın solunum sistemi hastalıklarına bağlı ölümler üzerindeki birikimli etkisi..	66
Şekil 6.15 : SO ₂ konsantrasyonundaki artışa göre değişen rölatif risk değerleri (noktalı çizgiler %50 güven aralığını göstermektedir)..	67
Şekil 6.16 : PM ₁₀ miktarındaki 10 µg/m ³ 'lık bir artışın kaza dışı tüm ölümler üzerindeki gecikmeli etkisi..	68
Şekil 6.17 : PM ₁₀ miktarındaki 10 µg/m ³ 'lık bir artışın kaza dışı tüm ölümler üzerindeki birikimli etkisi.	68
Şekil 6.18 : PM ₁₀ konsantrasyonundaki artışa göre değişen rölatif risk değerleri (noktalı çizgiler %50 güven aralığını göstermektedir).	69
Şekil 6.19 : SO ₂ miktarındaki 10 µg/m ³ 'lık bir artışın kaza dışı tüm ölümler üzerindeki gecikmeli etkisi.	70
Şekil 6.20 : SO ₂ miktarındaki 10 µg/m ³ 'lık bir artışın kaza dışı tüm ölümler üzerindeki birikimli etkisi.	71
Şekil 6.21 : SO ₂ konsantrasyonundaki artışa göre değişen rölatif risk değerleri (noktalı çizgiler %80 güven aralığını göstermektedir)..	71

İSTANBUL'DA 2007-2012 YILLARI ARASINDA HAVA KİRLİLİĞİNİN ÖLÜMLERÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN MODELLENMESİ

ÖZET

Hava kirliliğinin insan sağlığı üzerindeki etkileri, günümüzde bütün dünyanın üzerinde durduğu önemli bir sorundur. 1952 yılında, İngiltere'nin başkenti Londra'da meydana gelen ve 5.000 kişinin hayatını kaybetmesine neden olan hava kirliliği felaketi gibi ciddi vakalar, hava kirliliği ile ilişkili sağlık sorunlarının ve konuyla ilgili önlemlerin dünyanın gündemine getirilmesine neden olmuştur. Yapılan pek çok çalışma sonucunda, hava kirliliğinin solunum ve kalp hastalıklarına bağlı ölüm ve hastalık sayılarıyla yakından ilişkili olduğu ortaya konulmuştur. Dünya Sağlık Örgütü'nün verilerine göre, hava kirliliği nedeniyle yılda 1,3 milyon kişi hayatını kaybetmektedir. Ölüm miktarlarının hava kirliliği ile olan ilişkisinin araştırılması son yıllarda dünya çapında önem kazanmaktadır. Araştırmalar, kabul edilmiş olan hava kirliliği sınır değerlerinin çok altındaki kirlilik seviyelerinde dahi ölüm ve hastalık oranlarında artışların olduğunu göstermektedir.

1980'lerden beri kamuoyunun dikkatini çekmekte olan İstanbul'un hava kirliliği problemi, Türkiye'nin çevre sorunları arasında ön sıralarda yer almaktadır. Dünyanın pek çok büyük şehrinde olduğu gibi İstanbul'da da, artan sanayi, araç sayısı ve plansız yapılaşmaya bağlı olarak hava kirliliği problemleri meydana gelmektedir. Günümüzde, gerek sabit nokta kaynaklı (evler, sanayi tesisleri, vb.) ve gerekse motorlu araç kirliliğine bağlı hava kirliliği olaylarında artışlar yaşanmaktadır. Buna bağlı olarak, İstanbul'daki sağlık sorunları ve hava kirliliği arasındaki ilişkilerin belirlenmesi, konuyla ilgili koruyucu önlemlerin alınması açısından önemlidir.

Bu çalışmada, İstanbul'da 2007-2012 yılları arasında ölçülen kirletici değerleri ve bu dönem boyunca meydana gelen ölüm vakaları arasındaki ilişki araştırılmıştır. Çalışmamızda, Aksaray, Alibeyköy, Beşiktaş, Esenler, Kadıköy, Kartal, Saraçhane, Sarıyer, Ümraniye, Üsküdar ve Yenibosna hava kalitesi ölçüm istasyonlarından alınmış olan ve 2007-2012 yılları boyunca ölçülen kirletici (PM10, SO₂, NO₂) değerleri kullanılmıştır. Kirletici miktarları ve meydana gelen ölüm vakaları arasındaki ilişkiyi araştırmak amacıyla, İstanbul Okmeydanı Eğitim ve Araştırma Hastanesi, Ümraniye Eğitim ve Araştırma Hastanesi, Haydarpaşa Numune Eğitim ve Araştırma Hastanesi ve İstanbul Şişli Etfal Eğitim ve Araştırma Hastanelerine ait ölüm verilerden yararlanılmıştır. Hava koşullarının ölümler üzerindeki etkilerini kontrol etmek amacıyla, Meteoroloji Genel Müdürlüğünden İstanbul'daki 3 adet meteoroloji istasyonuna (Sarıyer, Florya ve Göztepe) ait 2007-2012 yılları boyunca ölçülen saatlik ortalama sıcaklık, bağıl nem ve basınç verilerinden de yararlanılmıştır.

Çalışmada, PM10, NO₂ ve SO₂ hava kirliliği ölçüm değerleri ile ölüm sayıları arasındaki ilişki, bir regresyon yöntemi olan genelleştirilmiş lineer model (GLM) ile analiz edilmiştir. Ayrıca, sıcaklık ve bağıl nem verileri de, meteorolojik unsurların karıştırıcı etkisini ortadan kaldırmak amacıyla modelde kullanılmıştır. Diğer taraftan

mevsimlere bağlı olarak ortaya çıkan trendlerin düzeltilmesi amacıyla modelde doğal kübik splayn kullanılmıştır.

Çalışma sonucunda, günümüzde İştambul'da yaşanan hava kirliliğinin, solunum sistemi hastalıklarına bağlı ölümler, kalp-damar hastalıklarına bağlı ölümler ve kaza dış tüm hastalıklar nedeniyle meydana gelen ölümler üzerinde anlamlı bir etkisinin olduğu ortaya çıkmıştır.

MODELLING THE EFFECTS OF AIR POLLUTION ON MORTALITY IN ISTANBUL BETWEEN 2007-2012

SUMMARY

Today, because of increasing numbers of human population and pollutant sources, air pollution problem is a major concern throughout the world. Air pollution includes both gaseous and particle pollutants. Pollutants can originate as primary pollutants (those exhausted directly into the air by pollution sources) or as secondary pollutants, (those formed in the atmosphere, largely from the primary pollutants). The primary pollutants include particulate matter (PM), which includes carbonaceous black soot. Gaseous pollutants include sulfur oxides (such as sulfur dioxide, SO₂), nitrogen oxides (such as nitric oxide, NO, and nitrogen dioxide, NO₂), and carbon oxides (such as carbon monoxide, CO). Gaseous ozone (a major component of photochemical smog) formed from nitrogen oxides and hydrocarbons, and particulate sulfate (e.g., sulfuric acid) and nitrate (e.g., ammonium nitrate) aerosols created in the atmosphere from sulfur and nitrogen oxide gases are considered secondary pollutants, respectively.

According to the results of the epidemiological studies, short-term exposure to outdoor air pollution is linked to increased mortality, increased rates of hospital admissions and emergency department visits. Mortality is the most important health effect of outdoor air pollution. According to World Health Organization, due to the air pollution, 3 million people lost their lives every year. The amount of studies investigating the relationship between air pollution and mortality is gaining importance in recent years. Many epidemiological studies of air pollutions show that, even pollution levels below the limits could increase the rates of mortality.

Air pollution problem in Istanbul has received wide public attention since the 1980s. The city has experienced significant particulate matter and sulfur dioxide episodes due to the fossil fuel burning for domestic heating and industry in the late 1980s and beginning of 1990s. After switching from coal to natural gas, particulate matter concentrations and sulfur dioxide levels were gradually decreased in Istanbul. However, nowadays the city is facing especially particulate matter (PM₁₀ and PM_{2.5}) and NO₂ problems depending on fixed point-source (houses, industrial facilities, etc.) as well as motor vehicle-related air pollution.

To assess air pollution impact on human health, studies often use statistical methods that are very useful tools to summarize and interpret data. According to the health effects (acute or chronic), type of exposure (short or long term), the nature of the response (binary or continuous) and data structure, model to be applied and the effects to be estimated are determined.

The time series studies are the most used as they demand simply data such as the amount of hospital admission or mortality in a given day, being easy to obtain on health government departments. As they are useful tools to assess the relationship between one or more explanatory variables (independent, predictor variables or

covariates) ($x_1, x_2, \dots, x_n$) and a single response variable (dependent or predicted variable) (y), regression models are usually chosen in time series studies.

Because of the non-linearity of the response variable in time series studies of air pollution impacts on human health, the Generalized Linear Models (GLM) with parametric splines (e.g. natural cubic splines) and the Generalized Additive Models (GAM) with non-parametric splines (such as smoothing splines or lowess smoothers) are now widely applied.

In this study, Generalized Linear Model (GLM) is applied and the steps to apply the GLM to air pollution impact on mortality are presented in details. The results have shown that the GLM with Poisson regression fitted well to the database of the case studies considered.

In the study, the relationship between the pollutant concentrations measured from January 1, 2007 to December 31, 2012 in Istanbul and the deaths that occurred during this period was investigated.

Death records of İstanbul Okmeydanı Education and Research Hospital, Ümraniye Education and Research Hospital, Haydarpaşa Numune Education and Research Hospital and İstanbul Şişli Etfal Education and Research Hospital were obtained from Istanbul Provincial Health Directorate from January 1, 2007 to December 31, 2012.

Mortality data were classified into deaths due to total non-accidental causes (ICD-10: A00-R99), cardiovascular diseases (ICD-10: I00-I99), and respiratory diseases (ICD-10: J00-J98).

Air quality indicators in our study include particulate matter with aerodynamic diameter of $\leq 10 \mu\text{m}$ (PM₁₀), sulfur dioxide (SO₂) and nitrogen dioxide (NO₂). We obtained hourly air quality data from Aksaray, Alibeyköy, Beşiktaş, Esenler, Kadıköy, Kartal, Saraçhane, Sarıyer, Ümraniye, Üsküdar and Yenibosna air quality stations of Istanbul Metropolitan Municipality.

To allow adjustment for the effect of weather on mortality, meteorological data (daily mean temperature and humidity) were obtained from Florya, Sarıyer and Göztepe meteorological stations of General Directorate of Meteorology.

In order to generate Generalized Linear Model (GLM) and make calculations, R statistical computing program was used. R was created by Ross Ihaka and Robert Gentleman at the University of Auckland, New Zealand, in 1993 and is currently developed by the R Development Core Team. R is highly extensible through the use of user-submitted packages for specific functions and specific areas of study. In our study `dlm` and `spline` packages were used. After entering data in the appropriate format; R generates GLM, calculates output values and creates graphs.

To apply the GLM with Poisson regression, four main steps were followed: development of the database; adjustment of the temporal trends; choosing best model (Akaike information criterion and ANOVA test) and results analysis. The details of each step are given.

Seasonality is the long-term trend usually included in time series studies of air pollution impact on human health and in this case study it was considered a natural cubic spline, the most used parametric smooth in GLMs.

To apply the natural cubic spline in GLM with Poisson regression, an explanatory variable for the days is added to the model, consisting of values from 1 to 2192, comprising all six years of data.

The short-term trends usually considered in epidemiological studies of air pollution are the day of the week and holiday indicator. The day of the week variable was considered as a qualitative variable, which varies from one to seven, starting at Mondays. The holiday indicator wasn't included, because deaths can also occur at the weekends.

After adjusting the GLM with Poisson regression including all the time trends and explanatory variables and choosing the degrees of freedom that better fits the data; the fitted model was tested using Akaike information criterion and ANOVA test to assure that it is the right one to be applied to the case-study.

In order to estimate the impact of air pollution on human health, making some predictions according to pollutants concentration, the relative risk (called rate ratio by statisticians) is used. It is a measure of the association between an explanatory variable (e.g. air pollutant concentration) and the risk of a given result (e.g. the number of respiratory mortality).

To analyze and estimate the PM₁₀, NO₂ and SO₂ impacts on the health of Istanbul's population, the relative risks for the models considering the effects of ten lag days was calculated.

According to the results, the relative risks per 10 µg/m³ increases in PM₁₀ were 1.022 (1.0, 1.05), 1.004 (0.96, 1.05) and 1.024 (1.01, 1.04) for cardiovascular, respiratory and all-cause mortality, respectively.

The relative risks per 10 µg/m³ increases in NO₂ was 1.033 (1.011, 1.055) for cardiovascular mortality. Because the p values for NO₂ obtained from ANOVA test was $p < 0,05$ for respiratory and total non-accidental deaths, HA hypothesis was rejected. According to this result, NO₂ concentrations do not have significant effects on the respiratory and total non-accidental deaths.

The relative risks per 10 µg/m³ increases in SO₂ were 1.164 (1.028, 1.32), 1.15 (0.94, 1.41) and 1.114 (1.043, 1.2) for cardiovascular, respiratory and all-cause mortality, respectively.

Through the model assessment, it was possible to conclude that air pollution is an important factor affecting the mortality in Istanbul. Considering the results achieved and the proven effects of air pollution on mortality, strategies should be defined to reduce it and consequently protect public health. These strategies could start by reviewing the legislated limits now in force in Turkey, considering those established by the World Health Organization and Europe, and also through the application of measures to reduce industrial, traffic and ship emissions and unplanned construction of buildings.

1. GİRİŞ

Hava, insan hayatının vazgeçilmez olan unsurlarından biridir. Bir insan günde yaklaşık olarak 10,000 litre havayı ciğerlerine çekmektedir; 100m² 'lik bir ciğer yüzeyi ile temas eden bu havanın içerisindeki 350 litrelik oksijen gazı, alveoller yoluyla kanımıza ve böylece dolaşım sistemimize katılmaktadır (Salvi, 2007). Solunum yollarımız, bu şekilde gün içerisinde büyük miktarda havayla ve havanın içerisindeki maddelerle temas kurmaktadır. Buna bağlı olarak, kirletici maddelerin yoğun olarak bulunduğu ortamlar, kirli hava solumamıza ve zamanla hastalık sahibi olmamıza neden olmaktadır.

Canlıların sağlığını olumsuz yönde etkileyen ve maddi zararlar meydana getirebilen yabancı maddelerin, havada normalin üzerinde miktarlara ulaşmasına hava kirliliği denilir. Diğer bir ifadeyle hava kirliliği; havada katı, sıvı ve gaz şeklindeki yabancı maddelerin insan sağlığına, canlı hayatına ve çevrenin dengesine zarar verecek miktar, yoğunluk ve sürede atmosferde bulunmasıdır. Çeşitli üretim ve tüketim faaliyetleri sırasında ortaya çıkan atıklarla hava tabakası kirlenerek, yeryüzündeki canlı hayatı olumsuz yönde etkilenmektedir.

Hava kirliliği son 50 yıl içerisinde, canlı sağlığı ve hayatı üzerindeki olumsuz etkileri nedeniyle dünyanın üzerinde önemle durduğu bir konu haline gelmiştir. Hava kirliliğinin sağlık üzerinde akut (hızlı) ve kronik (uzun vadeli) olmak çeşitli etkileri vardır. Bu etkiler, hastane ve acil servislere başvurularda, hastalıklarda ve en önemlisi de ölüm miktarlarına artışlara sebep olmaktadır. Günümüzde dış ortam kirleticilerine olan maruziyetin önemli bir hastalık ve ölüm nedeni olduğu konusundaki kanıtlar gittikçe artmaktadır.

Hava kirliliği, Türkiye'de özellikle 1950'lerden sonra, hızlı nüfus artışı, hızlı kentleşme ve endüstrileşmeye bağlı olarak artan fosil yakıt kullanımı sonucu bir halk sağlığı sorunu olarak ortaya çıkmıştır. Petrol, kömür (düşük kaliteli linyit) gibi fosil yakıtların aşırı tüketimi nedeniyle özellikle İstanbul, Ankara ve İzmir gibi büyük

şehirlerde hava kirliliği dönem dönem ciddi seviyelere ulaşmıştır (TC Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı). Yetersiz yanma tekniklerinin kullanımı, çarpık kentleşme, motorlu araç sayısındaki artış ve yeşil alanların azaltılması, Türkiye’de hava kirliliğinin artmasına katkıda bulunan diğer etmenlerdir (Özer ve ark., 1997).

İstanbul’da nüfusun hızlı artışı ve kalitesiz yakıt kullanımına bağlı olarak, 1980’lerin ortalarından itibaren ciddi bir hava kirliliği sorunu yaşanmaya başlamıştır. 1980’lerin sonu ve 1990’ların başlarında, evsel ısınma ve sanayi için kullanılan fosil yakıtlar nedeniyle havada asılıpartikül madde ve kükürt dioksit miktarlarının tehdit edici seviyelere çıktığı dönemler olmuştur. Doğalgaz kullanımının yaygınlaşmasıyla birlikte, İstanbul’daki havada asılıpartikül madde ve kükürt dioksit (SO_2) seviyeleri giderek azalmıştır. Ancak günümüzde, kirletici kaynaklarına bağlı olarak özellikle ikincil partikül madde ve NO_x miktarlarına bağlı problemler yaşanmaktadır (Incecik ve İm, 2012).

Hava kirliliğindeki artışlar çeşitli sağlık sorunlarına neden olmaktadır. Örneğin, Türkiye’de hava kirliliğinin sağlık üzerindeki etkileri ile ilgili yapılan araştırmalara göre, yüksek hava kirliliği miktarları ile sağlık kurumlarına başvuran hasta sayıları arasında anlamlı bir ilişki bulunmaktadır (Hapcıoğlu ve diğ., 2006; Tecer ve diğ., 2008). İstanbul’da yapılan bir araştırmaya göre, İstanbul Üniversitesi Hastanesi’ne beş yıl boyunca yapılan ortalama başvuru sayısı ile SO_2 ve PM_{10} kirleticileri arasında yüksek bir ilişki bulunmuştur (Hapcıoğlu ve diğ., 2006).

Bu çalışmada, İstanbul’da 2007-2012 yılları arasında ölçülen kirletici değerleri ve bu dönem boyunca meydana gelenölüm vakaları arasındaki ilişki regresyon analizi yoluyla araştırılmıştır. Bu amaçla, farklı hastalık nedenleri sonucu meydana gelen ölümler ile kirletici konsantrasyonları arasındaki ilişkiler, Poisson regresyonlu Genelleştirilmiş Lineer Model yöntemiyle modellenmiştir. Model yardımıyla, kirleticiler ve ölümler arasındaki kısa vadeli ilişkilerin (10 günlük) sonuçları ortaya konulmuştur.

1.1 Tezin Amacı

Dünya Sağlık Örgütü (WHO)’ne göre, iç ortam hava kirliliği nedeniyle çoğunluğu gelişmekte olan ülkelerde yaklaşık 2 milyon erken ölüm meydana gelirken, dış ortam hava kirliliğinin isedünya genelinde yılda 1,3 milyon ölüme neden olduğu tahmin

edilmektedir.Çalışmada, İstanbul'daki dış ortam hava kirliliği miktarlarının, erken ölümler üzerindeki etkilerinin Poisson Regresyonlu Genelleştirilmiş Lineer Model yöntemiyle ortaya konması ve çalışmanın ilerleyen yıllarda konu ile ilgili yapılacak araştırmalara yol göstermesi amaçlanmaktadır.

1.2 Literatür Araştırması

Hava kirliliğinin insan sağlığı üzerindeki etkilerinin araştırılması, birçok farklı alanda uygulamalara sahip olan bir konudur. Hava kirliliği ve hastane başvuruları arasındaki ilişkiler, hava kirliliği ve acil servis başvuruları, hava kirliliği ve ölümler arasındaki ilişkilerin araştırılması bunlardan bazılarıdır. Dünya genelinde pek çok araştırma bulunmakla birlikte, Türkiye'de hava kirliliği ile ölüm miktarları arasındaki ilişkiye ait araştırma sayısı son derece kısıtlıdır. Bununla birlikte, hava kirliliği ve sağlık sorunları arasındaki ilişkileri araştıran pek çok çalışma mevcuttur. Literatür araştırmasında hava kirliliği ve ölüm sayıları arasındaki ilişkiyi araştıran çalışmalar ile hava kirliliği ve diğer çeşitli sağlık sorunları ile ilgili başlıca çalışmalar incelenmiştir. Konu ile ilgili yapılan çalışmalar aşağıda verildiği gibidir:

Hapçıoğlu ve diğ.(2006) yaptıkları çalışmada, 1997-2001 yılları arasında İstanbul Üniversitesi Hastanesi'nde KOAH (Kronik Obstrüktif Akciğer Hastalığı) nedeniyle acil servise yapılan başvurular ile aynı dönemde ölçülen dış ortam hava kalitesi verileri ve meteorolojik verilerin aylık ortalamalarını incelemişlerdir. Toplam 1586 hasta kayıtları kullanılmıştır. KOAH nedeniyle yapılan başvuru sayısı ile hava sıcaklığı arasında negatif, SO₂ ve PM₁₀ için pozitif korelasyon bulunmuş, diğer kirlleticiler ile ise herhangi bir ilişki tespit edilmemiştir.

İşsever ve diğ. (2005), 1997-2001 yılları arasında İstanbul Üniversitesi Hastanesinde AKS (Akut Koroner Sendrom) nedeniyle acil servise yapılan başvurular ile aynı dönemde ölçülen dış ortam hava kalitesi verileri ve meteorolojik verilerin aylık ortalamaları incelenmişlerdir. Toplam 2889 hasta kayıtları kullanılmıştır. AKS nedeniyle yapılan başvuru sayısı ile sıcaklık arasında negatif, SO₂, CO, NO ve PM₁₀ için pozitif korelasyon bulunmuş, başvuruları artıran en önemli parametrenin SO₂ artışı ve sıcaklık azalması olduğu tespit edilmiştir.

Tomaç ve diğ. (2005)'nin yaptıkları çalışmada, Zonguldak'da 6-16 yaş grubu çocuklarda astım ve allerji sıklığını tespit etmek için 1500 anket yapılmış, eş zamanlı olarak dış ortam SO₂ ve PM kayıtları ile ilişkisi araştırılmıştır. Ankete katılanların %11,2'sinde hırıltı semptomu bulunduğu tespit edilmiş, dış ortam SO₂ ve PM sonuçları ile astım semptomları arasında çok güçlü bir ilişki bulunmuştur.

Yücel ve diğ. (2002)'nin yaptıkları çalışmada, Ankara'nın Altındağ ilçesinde yaşayan 0-24 ay arası bebeklerden ASE (Akut Solunum Sistemi) Enfeksiyonu tanısı konmuş 42 hasta ve kontrol grubu seçilerek, yaşadıkları çevre, ailenin sağlığı, ev özellikleri ve sosyodemografik koşullarını belirlemek amacıyla anket uygulanmıştır. ASE tanısı konmuş hasta grubunun ailesinde burun akıntısı görülme oranı 2,82 kat, evlerinde sigara içilen çocuklarda ASE görülme oranı ise 3,28 kat daha fazla olarak tespit edilmiştir. Bebeklerin doğum kiloları, anne sütü ile beslenmeleri, ailelerin sosyo-demografik karakteristiği ve evlerin özellikleri ile ASE arasında herhangi bir ilişki tespit edilmemiştir.

Keleş ve Ilıcalı (1998), yaptıkları çalışmada farklı kirlilik seviyelerine sahip alanlarda yaşayan iki grup arasındaki üst solunum yolu hastalıklarının görülme sıklığını değerlendirmişlerdir. Çalışma, SO₂ ve toplam asılı partikül miktarlarının yüksek olduğu Bayrampaşa İlçesi'nde ve kirlenmemiş bir yerleşim alanı olan Beykoz İlçesi'nde yaşayan lise öğrencileri arasında yapılmıştır. Her bir risk faktörünün etkilerini bağımsız olarak tahmin eden çoklu lojistik regresyon modelleri, Bayrampaşa'da ikamet eden lise öğrencileri için nezle ile ilgili önemli bir risk oranı göstermiştir (RO: 2.0; 95% CI: 3.0-1.3). Bu çalışma sonucunda, 90'lı yıllarda İstanbul'da yaşanan dış ortam hava kirliliğinin, üst solunum yolu hastalıkları üzerinde olumsuz etkilerinin olduğu ortaya çıkmıştır.

Mahiyuddin ve diğ. (2013) yaptıkları çalışmada, Malezya'nın başkenti Kuala Lumpur'u içerisine alan Klang Vadisi'ndeki dış ortam hava kirleticilerinin (PM₁₀, SO₂, CO, NO₂, O₃) günlük değişimleri ile ölüm miktarları arasındaki ilişkiyi 2000-2006 yılları arası için zaman serisi analizi yoluyla incelemişlerdir. Tek kirleticili modelde, SO₂ haricindeki diğer kirleticilerin, solunum yolu hastalıklarına bağlı ölümlerle yakından ilişkili olduğu görülmüştür. Kirleticilerin etkileri (gecikme etkileri), Rölatif Risk (RR) olarak, ölümler üzerindeki ilk günlük (lag 0) etki'den yedi gün önceki etkiye (lag 7) kadar ve kirleticilerin ilk iki günlük etkilerinden (lag 01), ilk

sekiz günkü (lag 07) etkilerine kadar hesaplanmıştır.Tek kirleticili modelde, PM10 ve günlük ortalama O3 ile doğal yollardan ölümler arasında ciddi bir ilişki bulunmuştur. Günlük O3 için en yüksek ilişki lag 05'te ortaya çıkmıştır (RR = 1.0215, 95% Güven aralığı (GA) = 1.0013 – 1.0202).

Wong ve diğ. (2013), Tayland'ın Bagkok (1999–2003) ve in'in Hong Kong (1996–2002), Shanghai ve Wuhan (2001–2004) şehirlerine ait hava kirliliği ve ölüm oranları verilerinden yararlanarak, hava kirliliğine kısa dönem maruz kalmanın günlük ölüm oranları üzerindeki etkilerini Genelleştirilmiş Lineer Model (GLM) yöntemi ile incelemişlerdir. Verilerdeki mevsimsel değişimler ve uzun süreli eğilimler,doğal splayn dzgnleştiricileri yöntemi ile filtrelenmiştir.şehirler ayrı ayrı ele alındığında, NO2, SO2, PM10 ve O3 kirleticileri ile tüm doğal nedenler, kardiyovasküler hastalıklar ve solunum hastalıkları ile olan ölümler arasında ilişkiler tespit edilmiştir.

Yu ve diğ. (2012) yaptıkları çalışmada,2006-2009 arası in'in Guangzhou şehrindeki dış ortam hava kirliliğinin günlük ölüm oranları üzerindeki etkisini, günlük ölüm, hava kirliliği ve meteoroloji verileri ile değerlendirmişlerdir.Genelleştirilmiş aditif model (GAM), Poisson regresyonu ile birlikte kullanılarak, kirleticilerin (PM10, SO2 ve NO2), kardiyovasküler hastalıklar,solunum hastalıkları ve toplam kaza dışı nedenler sonucu olan ölümler üzerindeki aşırı riskleri hesaplanmıştır.Toplam kaza dışı nedenler ve kardiyovasküler hastalıklar sonucu meydana gelen ölümler için lag0-1 etkilerinin en yüksek olduğu ortaya konmuştur.SO2, NO2 ve PM10'daki her 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ lk artışın, toplam kaza dışı nedenler sonucu olan ölümler ile sırasıyla 1.54%, 1.42% ve 1.26% ve kardiyovasküler hastalıklar sonucu olan ölümler ile sırasıyla 1.36%, 1.47% ve 0.93% AR (Aşırı Risk) ile ilişkili olduğu gözlenmiştir.

şahin (2000) İstanbul'da 1994-1998 yılları arasında hava kirliliği ile ölüm oranları arasındaki ilişkiyi inceleyen doktora tezinde, günlük SO2 ve TAP (Toplam Asılı Partikül) verileri ile 5 yıllık (1994-1998) lm sayılarından yararlanılmıştır.Meteorolojik etmenler ve diğer karıştırıcı etmenlerin (tatil günleri, mevsimler) de kontrol edilerek incelendiği bu çalışmada, yapılan çoklu regresyon analiziyle TAP ve günlük mortalite verileri arasında anlamlı korelasyonbulunmuştur ($t = 3,16$; $p<0,01$). İzleyen 3 ve 5 günün ortalama ölüm sayıları kullanıldığında, regresyon katsayılarıdaha büyük olmuştur ($t=4,76$; $p<0,001$ and $t=4,57$; $p<0,001$).

Ayrıca, TAP düzeylerinin 5. ve 95. güven aralıkları arasında ölüm sayılarında anlamlı fark bulunmuş ($p<0,001$) ve bu persentillerdeki 5 günlük ölüm sayıları arasındaki artış 1,21 olarak hesaplanmıştır.

Samoli ve diğ. (2008) yaptıkları çalışmada, dış ortamda bulunan partikül madde ile Avrupa ve Kuzey Amerika'daki ölümler arasındaki ilişkiyi araştırmışlardır. Çalışmada iki aşamalı bir analiz yöntemi uygulanmış, ilk olarak doğal ve penalized splaynlar yardımıyla çeşitli özgürlük dereceleri için mevsimsel düzeltmeler yapılmış ve sonrasında ise meta-regresyon yaklaşımı ile farklı şehirlerdeki zaman serisi sonuçları birleştirilmiştir. Böylece çeşitli ekolojik eş değişkenlerin neden olduğu etki modifikasyonları değerlendirilmiştir. Sonuç olarak PM10'un tüm nedenlere bağlı ölümler üzerindeki etkisi, PM10 miktarındaki 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 'lük bir artış için 0.2% ile 0.6% arasında bulunmuştur. Sonuçlar, yüksek işsizlik oranlarının ve yaşlı kimselerin büyük bir kısmının artan hava kirliliği risk ile karşı karşıya olduklarını ortaya çıkarmıştır.

1.3 Hipotez

Hava kirliliğinin sağlık üzerinde olumsuz etkilerinin konu edildiği araştırmalar, belirlenen hava kirliliği sınır değerlerinin çok altındaki kirlilik seviyelerinde dahi ölüm ve hastalık oranlarında artışların meydana geldiğini göstermektedir. Bununla birlikte erken etkinin boyutu, kirletici konsantrasyonu, meteorolojik parametreler, coğrafi ve sosyal koşullar ve diğer çeşitli faktörlere bağlı olarak değişebilmektedir. İstanbul, günümüzde 14 milyonluk nüfusu ve hızla artan kirletici kaynakları ile çok sayıda insanın günlük hayatta yüksek oranda kirleticiye maruz kaldığı bir mega şehir haline gelmiştir. Dolayısıyla yoğun nüfus, artan kirletici kaynakları ve kirleticilerin sağlık üzerindeki olumsuz etkileri göz önünde bulundurulduğu takdirde, bu durumun özellikle ölüm sayılarında artışa neden olması beklenir.

2. HAVA KİRLİLİĞİ

Her derin nefes alışımızda ciğerlerimiz, çoğunluğu nitrojen ve oksijenden oluşan hava ile dolar. Nefes alış verişimizle birlikte, bazıları kirletici olan gazlar ve parçacıklardan da çeşitli miktarlarda ciğerlerimize girebilmektedir. Bu kirleticiler, araba egzozlarından, bacalardan, orman yangınlarından, fabrikalardan, elektrik santrallerinden ve insan aktivitelerine bağlı diğer kaynaklardan çıkmaktadır.

Havanın içerisinde canlı sağlığını tehdit edecek, yapılara zarar verecek ve belirli bir ortamı kirletecek derecede yüksek miktarda bulunan (katı, sıvı veya gaz halindeki) maddelere kirletici denilmektedir.

2.1 Hava Kirliliğinin Çeşitleri

Kirletici maddeler, doğal ve insan kaynaklı kirleticiler olarak ikiye ayrılmaktadır. Doğal kaynaklı kirleticilere örnek olarak, rüzgarın yerden kaldırıp yukarılara taşıdığı toz ve kum parçacıkları, volkanların atmosfere püskürttükleri tonlarca kül ve toz ile orman yangınları sonucu oluşan dumanlar örnek olarak gösterilebilir.

İnsan kaynaklı kirleticiler, atmosfere hem sabit kaynaklardan hem de hareketli kaynaklardan salınırlar. Sabit kaynaklara örnek olarak, endüstriyel tesisler, elektrik santralleri, evler, ofis binaları, vb. yapılar gösterilebilir. Hareketli kaynaklar ise, motorlu taşıtlar, gemiler ve uçakları içermektedir.

Bazı kirleticiler birincil hava kirleticileri olarak adlandırılır. Bunun nedeni, bu kirleticilerin atmosfere, binaların bacalarından ve araçların egzozlarından direkt olarak verilmeleridir. Birincil kirleticiler, gaz halindeki kirleticiler (SO_2 , NO_x , HC, CO, CO_2) ve katı haldeki kirleticiler (PM_{10} ve $PM_{2.5}$) olmak üzere genel olarak iki alt grupta toplanmaktadır. İkincil kirleticiler olarak bilinen diğer kirleticiler ise birincil bir kirleticinin, havada bulunan su buharı veya başka bir kirletici madde ile kimyasal reaksiyona girmesi sonucu oluşur. Ozon (O_3) ve PAN (peroksi asetil nitrat) ve PBN (peroksibenzol nitrat) gibi fotokimyasal oksidantlar ikincil hava kirleticileri

olarak tanımlanır.Çizelge 2.1, çeşitli birincil kirletici madde kaynaklarını göstermektedir.

Çizelge 5.1: Çeşitli birincil kirletici madde kaynakları (Ahrens, 2009).

	Kaynaklar	Kirleticiler
Doğal	Volkan patlamaları Orman yangınları Toz fırtınaları Okyanus dalgaları Bitkiler Sıcak su kaynakları	Partiküller, gazlar (SO ₂ , CO ₂) Duman, CO ₂ , nitrojen oksitler, kül Havada asılı partikül maddeler Tuz parçacıkları Hidrokarbonlar (VOC'lar), polenler Sülfürlü gazlar
İnsan kaynaklı		
<i>Endüstriyel</i>	Kağıt fabrikaları Elektrik Santralleri (Kömür) Elektrik Santralleri (Petrol) Rafineriler Üretim tipine göre (Sülfürik asit) (Fosfat gübresi) (Demir ve çelik imalatı) (Plastikler) (Vernik/boya)	Partikül madde, sülfür oksitler Kül, sülfür oksitler, azot oksitler Sülfür oksitler, azot oksitler, CO Hidrokarbonlar, sülfür oksitler, CO SO ₂ , SO ₃ ve H ₂ SO ₄ Partikül madde, gaz fazında flüorür Metal oksitler, duman, kokulu gaz, Toz, organik ve inorganik gazlar Gaz halinde reçine Akrolein, kükürt bileşikleri
<i>Kişisel</i>	Otomobiller Evsel ısınma Çöplerin açık alanda yakılması	CO, azot oksitler, hidrokarbonlar (VOC'lar), partikül madde SO ₂ , CO, partikül madde CO, partikül madde
VOC'lar, uçucu organik bileşiklerdir ve çoğunluğu hidrokarbonlardan oluşan bir organik bileşikler sınıfıdır. Partikül madde = PM ₁₀ ve PM _{2.5} , Azot Oksitler = NO ve NO ₂ , Sülfür Oksitler = SO _x		

Çizelge 5.2: Türkiye Hava Kalitesi Standartları'nın (HKDY/2013), Avrupa Birliği (Direktif 2008/50/EC) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO) Hava Kalitesi kılavuz değerleri ile karşılaştırılması.

Kirletici	Periyot	Türkiye^a Hava Kalitesi Yönergeleri	AB Direktif 2008/50/EC	WHO^b Hava Kalitesi Kılavuz Değerleri
PM ₁₀	24 saat 1 yıl	100 µg m ⁻³ 60 µg m ⁻³	50 µg m ⁻³ 40 µg m ⁻³	50 µg m ⁻³ 20 µg m ⁻³
PM _{2.5}	24 saat 1 yıl	- -	- µg m ⁻³ 25 µg m ⁻³	25 µg m ⁻³ 10 µg m ⁻³
NO ₂	1 saat 1 yıl	-µg m ⁻³ 60 µg m ⁻³	200 µg m ⁻³ 40 µg m ⁻³	200 µg m ⁻³ 40 µg m ⁻³
SO ₂	10 dakika 1 saat 24 saat 1 yıl	- 500 µg m ⁻³ 250 µg m ⁻³ 20 µg m ⁻³	- 350 µg m ⁻³ 125 µg m ⁻³ -	500 µg m ⁻³ - 20 µg m ⁻³ -
CO	15 dakika 30 dakika 1 saat 8 saat	- - - 16 mg m ⁻³	- - - 10 mg m ⁻³	100 mg m ⁻³ 60 mg m ⁻³ 30 mg m ⁻³ 10 mg m ⁻³
O ₃	1 sa. – alarm eşiği 1 sa. – bilgilendirme eşiği 8 saat – insan sağlığını koruma	- - -	240 µg m ⁻³ 180 µg m ⁻³ 120 µg m ⁻³	- - 100 µg m ⁻³

^aHava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi (HKDY) Yönetmeliği'ne göredir

^b Dünya Sağlık Örgütü'nün 2005, 2000 ve 1997 tarihli yönergelerine göredir.

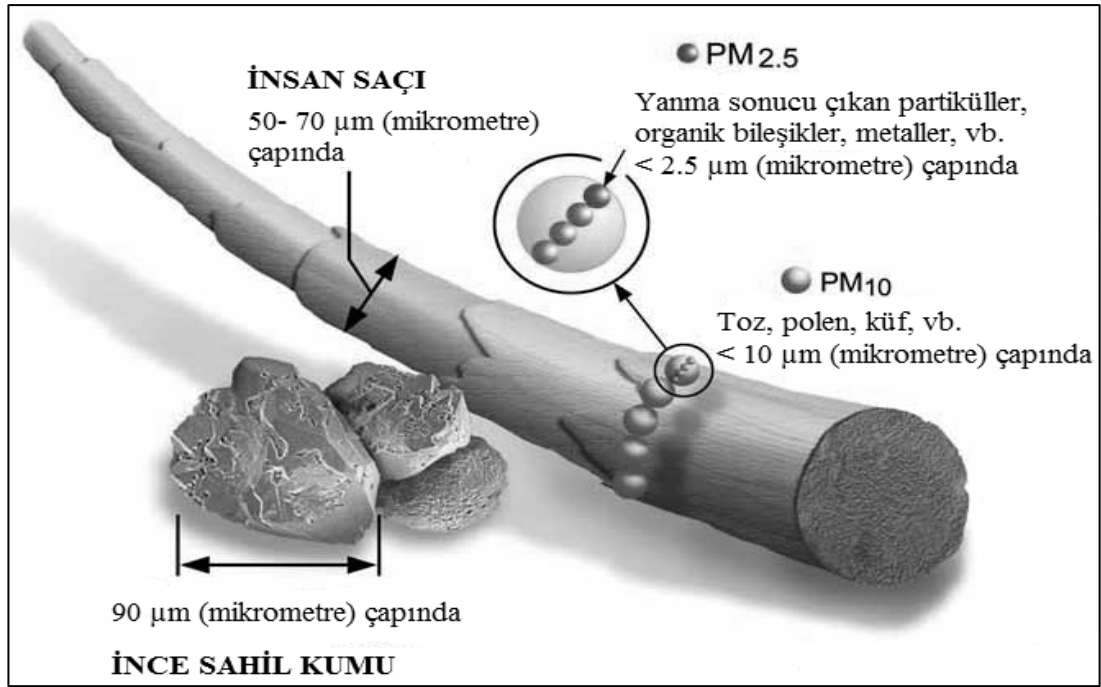
2.2 Hava Kirliliğine Sebep Olan Parametreler

2.2.1 Partikül madde (PM₁₀ ve PM_{2.5})

Havada asılı kalabilecek derecede küçük katı parçacıklara ve sıvı damlacıklarına partikül madde denilmektedir. Toplu olarak aerosol adı verilen, insanları rahatsız edebilen fakat genellikle zehirli olmayan, kurum, toz, duman ve polenlerde bu grubun içerisinde yer alır. Bazı aerosoller, daha tehlikeli maddeler olan, asbest lifleri ve arsenik içerebilmektedir. Bunlara ilave olarak, sıvı haldeki sülfürik asit, PCB (Poliklörlü bifeniller), petrol ve zirai ilaç damlacıkları da partiküller içerisinde yer alırlar (Ahrens, 2009).Partikül boyutu ne kadar küçük olursa, havada asılı kalma süresi de o oranda artmaktadır. PM₁₀ havada dakikalar ve saatler süresince kalabilmekte ve daha büyük olan boyutları nedeniyle nispeten daha kısa mesafeler boyunca taşınabilmektedir. PM_{2.5} ise havada saatler ve hatta haftalar boyunca kalabilmektedir ve daha küçük ve hafif olması nedeniyle çok uzun mesafelere seyahat edebilmektedir (Dylos Corporation, 2014). Şekil 2.1’de partikül maddele (PM₁₀ ve PM_{2.5}) boyutlarının bir karşılaştırılması verilmiştir.

Aerodinamik çapı 2.5 µm ile 10µm arasında olan partiküllere PM₁₀ adı verilir. Bu partiküller, akciğerlerin doğal savunma mekanizmalarını geçebilecek kadar küçük olmaları nedeniyle sağlık için en yüksek riski taşıyan kirleticilerden biridir. Ayrıca PM₁₀ henüz yere inmeden rüzgarlar tarafından çok uzak mesafelere kadar taşınabilmektedirler. Örneğin, Kuzey Kutbu’nda her ilkbahar mevsiminde oluşan ve Arktik Pus(Arctic haze) adı verilen kahverengi bulut tabakasının, Avrupa ve eski Sovyet ülkelerinden çıkan asılı partiküller tarafından meydana getirildiği düşünülmektedir (Ahrens, 2009).

Aerodinamik çapı 2.5 µm’den küçük olan partiküllere PM_{2.5} adı verilir. Yapılan çalışmalar, özellikle çapları 2,5 µm’dan küçük olan ve PM_{2.5} adı verilen partiküllerin sağlık için daha tehlikeli olduğunu ortaya koymuştur. Bunun sebebi, PM_{2.5}’un akciğerlerin derinlerine kadar nüfuz edebilmesidir. Ayrıca bu küçük parçacıklar genellikle zehirli veya kanserojen yanma ürünleri de içermektedirler. Günümüzde dikkat çeken bir durum ise, dizel yakıt dumanında bulunan PM_{2.5}’tur. Bu partiküllere, okul servislerinde, trafiğin rüzgar altı tarafında kalan yerlerinde ve kamyon terminallerinde yüksek miktarda rastlanmıştır (Ahrens, 2009).



Şekil 2.1 : Partikül madde boyutlarının (PM_{10} ve $PM_{2.5}$) karşılaştırılması (EPA, 2013).

2.2.2 Kükürt dioksit (SO_2)

Renksiz bir gaz olan SO_2 , çoğunlukla kükürt içeren fosil yakıtların (kömür, linyit gibi) yanması sonucu ortaya çıkmaktadır. Enerji santralleri, konutlarda ısıtma, dökümhaneler, petrol rafinerileri ve kağıt fabrikaları SO_2 'nin temel kaynaklarıdır. Bununla birlikte, SO_2 gazı atmosfere volkanik patlamalar ve okyanuslardan çıkan sülfat partikülleri gibi doğal yollardan da karışmaktadır. Kükürt dioksit kolayca oksitlenerek, kükürt trioksit (SO_3) ve nemli havalarda da sülfirik asit (H_2SO_4) dönüşmektedir. Kükürt dioksit (SO_2) gazı suda çözünürlüğü yüksek olan ve havadan iki kat ağır olan bir gazdır. Kükürt dioksit havada 2 ila 4 gün arasında asılı kalabilir (Singh ve Yadava, 2003).

SO_2 'nin birincil etkisi, hırıltılı solunum, göğüs sıkışması ve kesik nefes alma gibi belirtilere sebep olan, solunum yollarının daralmasıdır. SO_2 konsantrasyonu ve soluma hızının artışı ile birlikte rahatsızlık bulguları da artar. Kirletici maruziyeti kesildiğinde, akciğer fonksiyonu bir saat içinde normal haline döner. SO_2 çok yüksek konsantrasyonlarda; hırıltılı solunum, görüs sıkışması, astımlı olmayan kişilerde kesik nefes alma gibi belirtilere sebep olabilir. SO_2 'nin sağlık etkilerine karşı en hassas olan gruplar ise, çocuklar, dışarıda aktif olan astımlı yetişkinler ve kronik akciğer

hastalığı veya kalp hastalığı olan kişilerdir. SO₂ ve partikül maddelere uzun süreli maruziyet, solunum hastalıklarına, akciğerlerin savunma mekanizmasında değişikliklere ve mevcut kalp hastalıklarının kötüleşmesine neden olabilir.

2.2.3 Azot oksitler (NO_x)

Azot oksit gazları, yakıtların yüksek sıcaklıkta yanması sırasında havadaki bir miktar azot gazının oksijen gazıyla reaksiyona girmesi sonucu ortaya çıkmaktadır. Azot oksitlerin (NO_x) ana kaynakları, taşıtlar, enerji santralleri ve geri dönüşüm sistemleridir. Başlıca iki azot kirleticisi olan, azot dioksit (NO₂) ve azot oksit (NO) gazları birlikte NO_x (azot oksitler) olarak adlandırılırlar. Kırmızımsı kahverengi renkli bir gaz olan NO₂, azot monoksitin (NO) atmosferde oksijen ile birleşmesinin sonucu oluşmaktadır. NO₂, insan sağlığını en çok etkileyen azot oksit türü olması nedeniyle, kentsel bölgelerdeki en önemli hava kirleticilerinden biridir.

Azot oksit ve azot dioksit gazları, doğal olarak bakteriler tarafından üretilmektedirler. Ancak insan kaynaklı kirlilik nedeniyle şehirlerdeki azot oksit konsantrasyonları kırsal bölgelere oranla 10 ve hatta 100 kata kadar fazla olabilmektedir. Nemli havalarda azot dioksit gazı su buharı ile reaksiyona girerek aşındırıcı bir özelliğe sahip olan nitrik asidi oluşturmaktadır. Nitrik asit, asit yağmurlarına neden olan gazlardan biridir (Ahrens, 2009). Azot oksitler atmosferde yaklaşık olarak bir gün kaldıktan sonra nitrik asite dönüşürler. Bu nedenle azot oksitler, asit yağmuru oluşumuna katkıda bulunan bir faktördürler (Breckland Council, 2014).

NO₂, astım gibi solunum hastalığı olan yetişkinler ve çocuklarda; öksürük, hırıltılı solunum ve kesik nefes alma gibi solunum belirtilerine neden olabilmektedir. NO₂ 'ye kısa süreli maruziyet dahi akciğer fonksiyonunu etkilemektedir. Çocukların kısa süreli maruziyeti solunum hastalığı riskini artırabilmektedir. Hayvan deneyi çalışmaları, NO₂ 'ye uzun süreli maruziyetin solunum enfeksiyonlarına hassasiyeti artırdığını ve akciğerlerde kalıcı yapısal değişikliklere sebep olabildiğini göstermektedir.

2.2.4 Ozon (O₃)

İkincil bir kirletici olan Ozon, 3 oksijen atomundan oluşan kokusuz ve renksiz bir gazdır. Hem yer seviyesinde (troposfer) hem de üst atmosferde (stratosfer) oluşabilen ozon, bulunduğu yere göre faydalı veya zararlı olmaktadır.

Faydalı Ozon: Atmosferdeki stratosfer tabakasında, yer kürenin 10-30 mil üzerinde doğal olarak oluşan ozon, koruyucu bir tabaka görevi görerek atmosferi güneşin zararlı ultraviyole ışınlarından korur.

Zararlı ozon: Yeryüzeyine yakın seviyede; motorlu taşıtlar, termik santraller, endüstriyel kazanlar, rafineriler ve kimyasal fabrikalardan atmosfere verilen NO₂ ve VOC kirleticileri, güneş ışınlarının mevcudiyetinde kimyasal olarak reaksiyona girerek ozonu oluştururlar. Zararlı bir kirletici olan yer seviyesindeki ozon, özellikle yaz mevsiminde güneşli havalarda ve yüksek sıcaklıkta oluşmaktadır.

Ozon maruziyeti için en hassas olan grub, çocuklar, dış ortamda aktif olan yetişkinler, astım gibi solunum hastalığı olan ve ozona karşı çok hassas olan kişilerdir. Özellikle yazın dış ortamda oyun oynayan çocuklar, ozona karşı en büyük risk grubunu oluşturmaktadır. Bununla birlikte tüm yaş grupları ve dışarıda aktif olan kişiler de risk altındadır. Bu durumun nedeni, ozonun fiziksel aktivite sırasında, akciğerlerin derinliklerine kadar nüfuz ederek zararlı etkilerini göstermesidir.

2.2.5 Karbonmonoksit (CO)

Kokusuz ve renksiz bir gaz olan karbonmonoksit, yakıtların yapısındaki karbonun tam yanmaması sonucu oluşur. Yangınlar gibi doğal kaynaklar ve endüstriyel proseslerdeki yakıtların yanması gibi diğer kaynakları da bulunmaktadır. CO konsantrasyonları, tipik olarak, soğuk mevsimde en yüksek değere ulaşır. Zira düşük sıcaklıklar eksik yanmaya neden olur ve kirleticilerin yer seviyesinde çökmesine sebep olur.

CO, akciğerler yolu ile kan dolaşımına girer ve kimyasal olarak hemoglobinle bağlanır. Hemoglobin oksijeni hücrelere taşır. Bu yolla organ ve dokulara ulaşan CO oksijen miktarını azaltır. CO'ya karşı en riskli grup, kalp hastalığı olan kişilerdir. Kalp hastalığı olan kişiler CO'ya maruz kaldıklarında, özellikle egzersiz yaparken göğüs ağrısı ve daha fazla kalp problemleri yaşamaktadırlar. Kalp yetmezliği, beyin

kan damarları ile ilgili, anemi, kronik tıkalıcı akciğer hastalığı gibi hafif ve daha ağır kalp ve solunum sistemi hastalığı olan kişiler ve henüz doğmamış ve yeni doğmuş bebekler, CO kirliliğine karşı en riskli grubu oluşturur. Sağlıklı kişilerde, daha yüksek seviyelerdeki CO'ya maruziyet, algılama ve gözün görme gücünü etkileyebilir.

2.2.6 Uçucu organik bileşikler (VOC'ler)

Uçucu organik bileşikler (VOC'ler), temel olarak hidrokarbonlardan meydana gelen bir organik bileşikler sınıfıdır. Oda sıcaklığında, katı, sıvı ve gaz halinde bulunabilirler. Boyalardan, çözücülerden, ahşap koruyucularından, aerosol spreylerden, otomobil ürünlerinden, printerlerden, kuru temizleme işleminden, temizleyicilerden, benzin istasyonlarından ve bitkilerden gaz halinde yayılırlar (EPA, 2012). Bu bileşiklerin binlercesi bulunmakla birlikte, doğada en çok bulunanı sağlık için bilinen bir zararı bulunmayan metandır. Benzen, formaldehit ve bazı kloroflorokarbonlar, çeşitli uçucu organik bileşik türleridir (Ahrens, 2009).

Uçucu organik bileşikler (VOC'ler), kısa ve uzun vadeli sağlık etkileri olan çeşitli kimyasalları içermektedirler. Bilinen sağlık etkileri, göz, burun ve boğazda tahriş, baş ağrısı, koordinasyon kaybı, bulantı, karaciğer, böbrek ve merkezi sinir sisteminin zarar görmesi şeklinde sıralanabilir (EPA, 2012). Benzen (endüstriyel bir çözücü) ve benzo-a-piren (ahşap ve tütünün yanması sırasında ve mangal yaparken çıkar) gibi çeşitli VOC'lerin kanserojen olduğu bilinmektedir (Ahrens, 2009).

2.3 Hava Kirliliğini Etkileyen Faktörler

2.3.1 Rüzgarın etkisi

Rüzgar hızı dispersiyonu etkileyerek hava kirliliğinin yoğunluğunun azaltılmasında önemli bir rol oynamaktadır. Örneğin, havanın içerisinde bulunan kirlleticilerin hava ile karışma hızını ve kirleticilerin kaynaktan uzaklaşma hızını rüzgar hızı belirlemektedir. Kuvvetli rüzgarlar, kirleticilerin dağılmasına ve kirleticiler konsantrasyonlarının azalmasına neden olurlar. Ayrıca rüzgar şiddeti arttıkça havanın türbülansı da aynı oranda artar. Türbülanslı hava, kirleticiler maddelerin civardaki temiz hava ile karışarak seyrilmesine yol açan dönen hava girdaplarının (eddies) oluşmasına neden olur. Bu nedenle rüzgarların zayıflaması, kirleticilerin yeterince

dağılamayarak birikmesine ve yer seviyesinde yüksek konsantrasyonlara ulaşmasına sebep olmaktadır (Ahrens, 2009).

2.3.2 Kararlılık ve enverziyon

Atmosferik kararlılık, bir hava parselinin düşey olarak yükselebileceği seviyeyi belirler. Kararsız atmosfer düşey hava hareketlerinin oluşumunu destekleyici bir yapıdayken, kararlı atmosfer ise düşey hava hareketlerinin oluşumunu engelleyici bir yapıdadır. Bu nedenle kararlı bir atmosfere salınan kirletici dumanı düşey yerine yatay bir biçimde dağılır (Ahrens, 2009).

Atmosferik kararlılık, hava sıcaklığının düşey değişimi (lapse rate) ile belirlenmektedir. Hava sıcaklığı, atmosferin yukarı seviyelerine doğru çıkıldıkça hızla düşüyorsa, atmosfer kararsız bir yapıda demektir ve bu durum kirleticilerin düşey olarak karışabileceği anlamına gelir. Ancak atmosferin yukarı seviyelerine doğru çıkıldıkça hava sıcaklığı çok düşük miktarda azalıyor veya yükseklikle artıyorsa (enverziyon) atmosfer kararlı bir yapıda demektir. Atmosferin kuvvetli bir şekilde kararlı yapıda olmasına enverziyon denilir. Bu durumda sıcak hava tabakası, soğuk hava tabakasının üzerinde yer alır. Enverziyon tabakasının içerisinde yükselmeye çalışan herhangi bir hava parselinin sıcaklığı kendisini çevreleyen havanın sıcaklığından daha düşük olurken, yoğunluğu ise havanın yoğunluğundan daha fazla olur. Buna bağlı olarak enverziyon tabakası atmosferdeki düşey hava hareketlerini engelleyen bir kapak görevi görmüş olur (Ahrens, 2009).

Radyasyon (veya yüzey) enverziyonu genel olarak gökyüzünün açık ve rüzgarların zayıf olduğu gecelerde ve günün en erken saatlerinde oluşmaktadır. Bununla birlikte radyasyon enverziyonu uzun kış gecelerinde de oluşabilmektedir. Kararlı enverziyon tabakasının altındaki kısa bacalardan yükselen dumanlar çok fazla yükselemeyerek etrafa dağılır ve bölgenin kirlenmesine neden olur. Diğer taraftan, enverziyon tabakasının üzerindeki kararsız tabakanın içerisine uzanan uzun boylu bacalardan salınan kirleticiler ise yükselip dağılılabirler. Radyasyon enverziyonunun genel olarak oldukça sık bir yükseklikte olması nedeniyle, pek çok yerde kısa bacaların yerini uzun boylu bacalar almıştır. Uzun bacalar enverziyon tabakasının olmadığı durumlarda dahi kirletici maddeleri kısa bacalara göre daha iyi dağıtırlar. Bunun nedeni, uzun bacaların kirletici maddeleri daha geniş bir hava hacmi içerisinde

dağıtabilmesidir. Ancak uzun boylu bacalar civarlarındaki bölgenin hava kalitesini arttırmakla birlikte, kirleticilerin rüzgarlarla birlikte uzak mesafelere taşınmasına neden olarak asit yağmurlarının oluşumuna katkıda bulunabilirler (Ahrens, 2009).

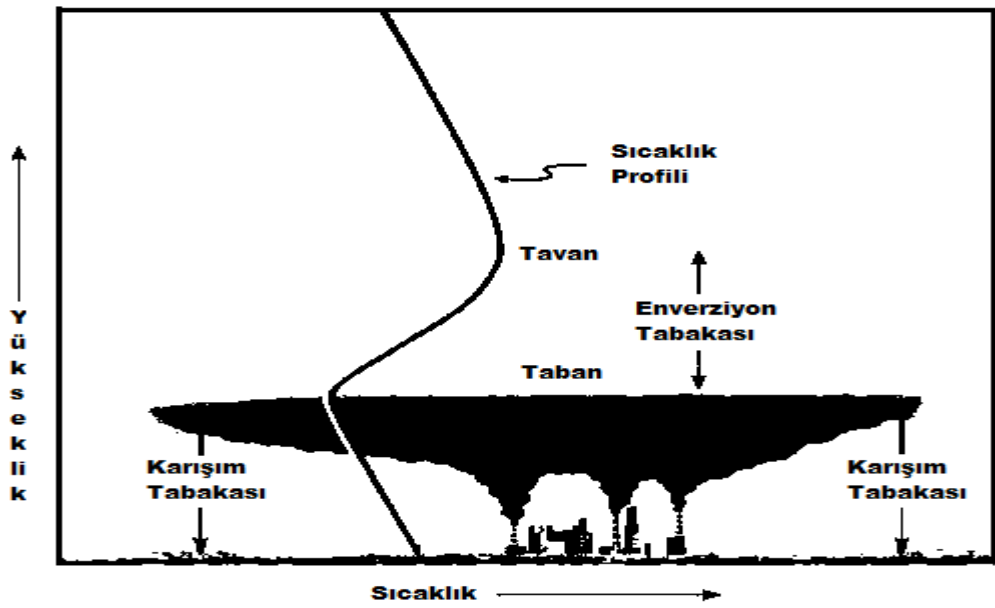
Güneşin yükselmesi ve yeryüzünün ısınmasıyla birlikte giderek zayıflayan radyasyon enverziyonu öğleden önce ortadan kaybolur. Öğleden sonra atmosfer yeterince kararsız bir hale gelir ve yeterli seviyede rüzgarın da olması durumunda kirletici maddeler düşey olarak dağılırlar. Değişen atmosferik kararlılığın (sabah erken saatlerde kararlı, öğleden sonra koşullu kararsız) bazı bölgelerin günlük kirlilik konsantrasyonları üzerinde ciddi bir etkisi olabilmektedir. Örneğin, kalabalık bir sokakta sabahın erken saatlerinde ölçülen kirletici seviyeleri, aynı miktarda araç trafiği olmasına rağmen öğleden sonra ölçülen kirletici seviyelerinden oldukça yüksek çıkabilmektedir. Aynı zamanda, atmosferik kararlılıktaki değişimler bacalardan çıkan gazların da gün içerisinde değişiklikler göstermesine neden olabilmektedir (Ahrens, 2009).

Radyasyon enverziyonu normalde yalnızca birkaç saat sürmesine rağmen, çökme (subsidence) enverziyonları birkaç gün veya daha uzun bir süre bulundukları yerde kalabilmektedir. Bu nedenle ciddi hava kirliliği episodları ile ilişkili olan enverziyon tipi genel olarak çökme enverziyonlarıdır. Çökme enverziyonu, derin bir yüksek basınç merkezinin (antisiklon) üzerinde bulunan havanın çökerek ısınması sonucu oluşmaktadır (Ahrens, 2009).

Özellikle kuvvetli enverziyonun beklendiği günlerde, sabah saatlerinde kötü kaliteli yakıt kullanılan yerleşim merkezlerinde kalorifer ve sobaların yakılması, emisyonların artmasına ve hava kirliliğinin ortaya çıkmasına neden olacaktır. Enverziyon tabakasının altındaki kararsız havanın içerisinde bulunan kirleticiler, tabakanın taban seviyesine kadar düşey olarak karışabilmektedir. Diğer taraftan, enverziyon tabakasının kararlı yapısı düşey karışımları engeller ve böylece tabakanın altında kalan kirleticilerin enverziyon tabakasının üzerine yükselmesini engelleyen bir kapak görevi görür. Şekil 2.1, enverziyon ve karışım tabakasını göstermektedir.

Enverziyon tabakası yükseldiği takdirde karışım derinliği artacak ve kirleticiler daha geniş bir hacim içerisinde dağılacaklardır. Bununla birlikte, enverziyon tabakası

alçaldığı takdirde karışım yüksekliği düşecek ve kirleticiler daha fazla yoğunlaşarak sağlığa zararlı seviyelere ulaşabilecektir. Atmosferin en kararsız haline öğleden sonra, en kararlı haline ise sabahleyin ulaşmasına bağlı olarak, en geniş karışım yüksekliğine öğleden sonra, en sık karışım yüksekliğine ise sabahleyin rastlanılmaktadır. Bu nedenle, karışım yüksekliğinin tepe noktası gün içerisinde net bir biçimde görülebilir. Diğer taraftan, geniş yerleşim yerlerinden havalanan uçakların kalkış ve inişleri sırasında da karışım tabakası zaman zaman gözlenebilmektedir (Ahrens, 2009).



Şekil 2.2 : Enverziyon ve karışım tabakası (Ahrens, 2009)

2.3.3 Topografya

Bir bölgenin topografik özellikleri, kirletici maddelerin dağılımında çok önemli bir rol oynamaktadır. Örneğin, gece saatlerinde yukarı seviyelerden aşağı seviyelere inerek alçak havza ve vadilere yerleşen soğuk havanın, hava kirliliği üzerinde önemli etkileri olabilmektedir. Soğuk hava, önceden bulunan bir yüzey enverziyonunu kuvvetlendirebilmekte ve tepe yamaçlarında bulunan kirleticileri aşağı seviyelere taşıyabilmektedir. Yüksek kirlilik seviyelerinin oluşması için en uygun yerler, dağlar ve tepeler ile tamamen çevrelenmiş olan vadilerdir. Vadiyi çevreleyen dağlar, hakim rüzgarların esmesine ve kirleticilerin dağıtılmasına engel olur. Diğer taraftan, zayıf rüzgarlar ve sık bir karışım tabakası nedeniyle iyi havalandırılmayan vadinin içerisinde kirleticiler birikme eğilimine girerler (Ahrens, 2009).

Dağ vadilerindeki en yüksek hava kirliliği konsantrasyonlarına kışın soğuk aylarında rastlanılır. Yazın sıcak aylarda gün içerisindeki ısınmaya bağlı olarak vadi yamaçları ısınmakta ve böylece vadinin aşağısından yukarıya doğru esen vadi rüzgarları oluşmaktadır. Bu rüzgarlar, vadinin içerisindeki kirleticileri yukarıya taşıyarak vadinin temizlenmesini sağlarlar.

3. İSTANBUL

İstanbul, Türkiye'nin nüfusu en yüksek şehri olup, iktisadi ve kültürel açıdan da ülkenin en önemli şehridir. 41 kuzey paralelleri ve 29 doğu meridyenlerinde ve Türkiye'nin kuzeydoğusunda bulunmaktadır. Şehir, Marmara Denizi'ni Karadeniz'e bağlayan İstanbul Boğazı tarafından Asya ve Avrupa yakası olmak üzere ikiye ayrılır. İstanbul'un adını aldığı ve Haliç ile Marmara arasında kalan yarımada üzerinde bulunan asıl İstanbul 253 km², tüm şehir ise 5712 km²'dir. 2012 yılı itibariyle İstanbul'un nüfusu, TÜİK Adrese dayalı Nüfus Kayıt Sistemi verilerine göre 13 854 740'tır (TÜİK, 2012).Şehir, kuzeyde Karadeniz, doğuda Kocaeli; güneyde Yalova, Marmara Denizi ve Bursa, güneybatıda Tekirdağ ve kuzeybatıda Kırklareli illeri ile çevrilidir.

3.1 İstanbul'un İklimi

Akdeniz ikliminin hakim olduğu İstanbul'da dört mevsim rahatlıkla gözlenmektedir. Yaz ayları (Haziran, Temmuz ve Ağustos) nispeten kuru ve sıcak geçerken, kış ayları (Aralık, Ocak ve Şubat) ise ılık ve yağışlı geçmektedir. İstanbul'dahakim rüzgar yönü kuzey olmakla birlikte bu durum yıl içinde hava ve mevsimlere göre değişiklik gösterir. Genel olarak Kuzeydoğudan esen Poyraz rüzgarı İstanbul için hakim rüzgardır. Yatay hava hareketi olan rüzgar, kirleticilerin taşınması, dağılımı ve seyrelmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Rüzgar hızının artmasıyla birlikte kirlilik konsantrasyonu da azalmaktadır. Kirleticilerinrüzgarın estiği yönde taşınması nedeniyle, rüzgar yönü de oldukça önemlidir.İstanbul, yaz mevsiminde gündüzleri Marmara Denizi'nden İstanbul'a esen deniz meltemlerinin, geceleyin ise şehirden denize esen kara meltemlerinin etkisinde kalır.

İstanbul'da evsel ısınma Kasım ayının başlarında başlarken, Mart ayının sonlarında ve Nisan ayının başlarında sona ermektedir. Şehirde yağışlar büyük oranda kış mevsiminde düşmektedir (Incecik ve Im, 2012). Şehrin kuzey kesimleri,Karadeniz'in

soğutucu etkisinden vekuzeyli soğuk hava kütlelerinden etkilenmekte ve bu nedenle güney kesimlere göre daha düşük sıcaklıklara ve yüksek yağış oranlarına sahip olmaktadır. İstanbul'da ortalama hava sıcaklıkları, yazın 28 °C kışın ise 8 °C'dir. Rüzgar hızları ise kışın en yüksek ve yazın ise en düşüktür. Yıllık ortalama rüzgar hızı 17 km/saat'tir. Bağıl nem miktarı her mevsim yüksektir. Yıllık ortalama yağış miktarı ise 700 mm'dir (Ezber ve diğ., 2007).

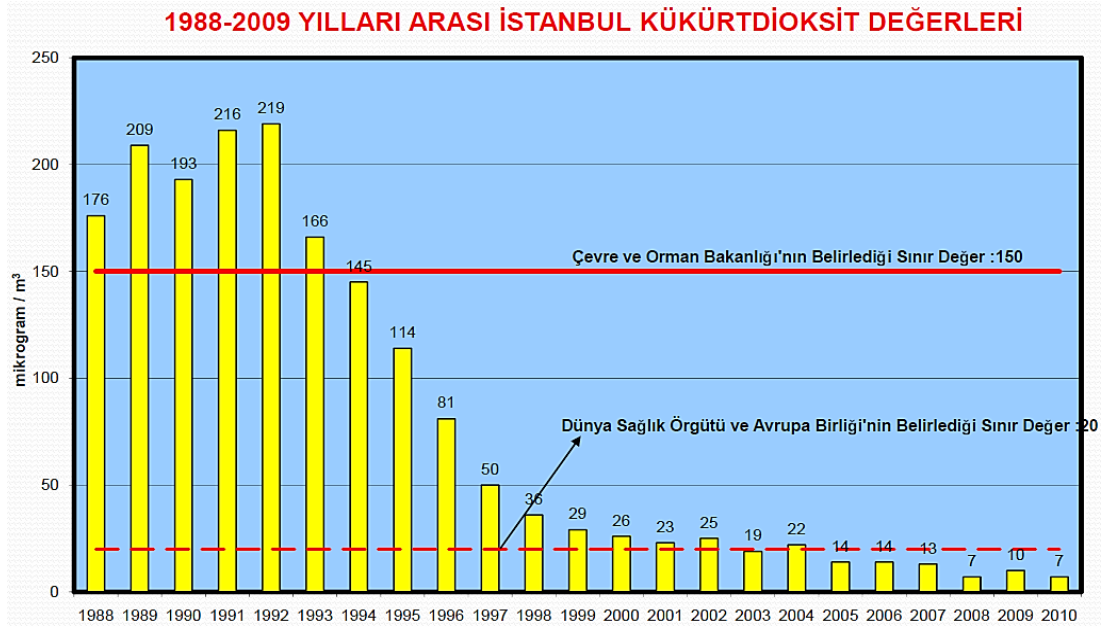
3.2 İstanbul'un Hava Kalitesi

Türkiye'nin 10 milyonu aşan nüfusuyla tek mega şehri olan ve dünyanın da en büyük şehirlerinden biri olan İstanbul, yakın geçmişte ciddi hava kirliliği problemleri ile karşı karşıya kalmıştır. Şehirde, 1980'lerin sonlarında ve 1990'ların başlarında evsel ısınmada ve sanayide yaygın olarak kullanılan kalitesiz yakıtlar nedeniyle kükürt dioksit ve partikül madde kirliliğine bağlı ciddi hava kirliliği episodları meydana gelmiş ve hava kirliliğinin insan sağlığını tehdit edici seviyelere çıktığı dönemler yaşanmıştır (Incecik ve İm, 2012). Hatta o günlerde, gazetelerde hava kirliliği ile ilgili uyarılar yapılmış, insanlar bazı bölgelerde dışarıya maske ile çıkmak durumunda kalmışlardır. Dünya standartlarına göre bir metreküp havada bulunması gereken maksimum kükürt dioksit (SO₂) konsantrasyonu 150 mg iken, İstanbul'da DİE verilerine göre 1994-1995 kış aylarında ortalama 250 mikrograma kadar çıkmıştır (İÇDR, 2011).

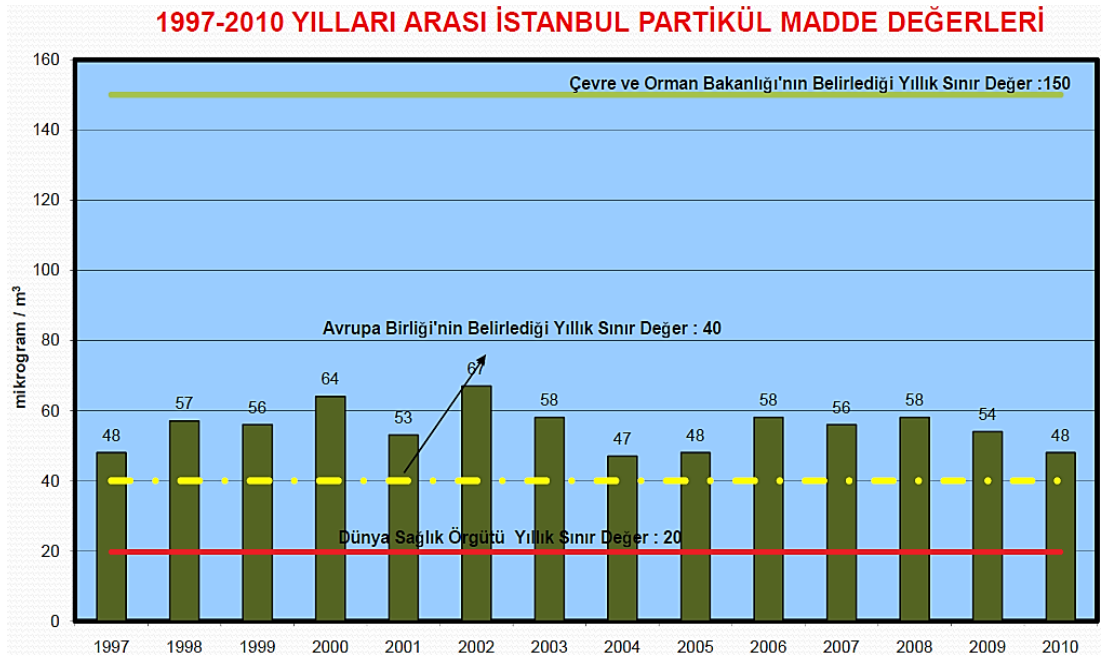
İstanbul'da hava kirliliğinin insan sağlığını tehdit edecek seviyelere ulaşması üzerine, 1994 yılından sonra şehrin hava kalitesini arttırmak amacıyla, kaçak ve kalitesiz kömürün şehre sokulmasını ve kullanılmasını önlemek, 6 No'lu Fuel Oil kullanımını yasaklamak ve temiz bir yakıt olan doğalgazı yaygınlaştırmak amacıyla İMÇK (İl Mahalli Çevre Kurulu) kararları alınmıştır. Alınan bu önlemler sonucunda, 1994-1995 kış aylarında doğalgaz kullanımının yaygınlık kazanması ile SO₂ konsantrasyonu, 115 mg/m³'e kadar inmiştir (İÇDR, 2011). Şekil 3.1, 1988-2009 arası İstanbul kükürtdioksit konsantrasyonlarını, şekil 3.2 ise 1997-2010 arası İstanbul partikül maddede konsantrasyonlarını göstermektedir.

Kükürt dioksitteki (SO₂) düşüşe rağmen, 1990'lardan itibaren araç sayısında meydana gelen büyük artışa bağlı olarak İstanbul'daki trafik kaynaklı emisyonlarda yükselme meydana gelmiştir. Günümüzde İstanbul'daki başlıca kirlilik kaynakları,

kara, deniz ve hava ulaşım araçları, sanayi, evsel ısınma, yollardan kalkan tozlar ve biyolojik kaynaklı emisyonlardan oluşmaktadır. İstanbul'un hava kalitesi ülke sınırları dışından taşınan kirleticiler tarafından da ciddi şekilde etkilenmektedir. Avrupa'dan taşınan insan kaynaklı kirleticiler ile Kuzey Afirka ve Orta Doğu'dan gelen çöl tozları İstanbul'un hava kalitesini etkileyen önemli faktörlerdir.



Şekil 3.1: 1988-2010 arası İstanbul yıllık kükürtdioksit değerleri (İÇDR, 2011)



Şekil 3.2: 1988-2010 arası İstanbul yıllıkPM₁₀ değerleri (İÇDR, 2011)

Günümüzde İstanbul emisyon kaynaklarına bağlı olarak özellikle partikül madde (PM10) ve NO₂ problemleri ile karşı karşıya kalmaktadır. Kış sezonu için PM10 kaynaklı kirletici sektörlerin başında evsel ısınma gelirken ısınmanın olmadığı yaz sezonu için baskın kirletici sektörler endüstri ve trafiktir (IBB, 2009). İstanbul'da hava kirliliğine neden olan etmenlerin yanı sıra kent içi yeşil alanların az olması ve kente yakın olan ormanların yıllar içinde giderek azalması da hava kalitesini olumsuz şekilde etkilemektedir.

3.3 Emisyon Kaynakları

İstanbul, son yıllarda nüfusunun, araç trafiğinin ve sanayileşmenin artmasına neden olan hızlı bir büyüme yaşamıştır. Büyümenin negatif biretkisi olarak atmosfere verilen kirletici miktarları da artmıştır. İstanbul'daki emisyon kaynakları ise zaman içinde büyük bir değişim göstermiştir. 20 yıl önce evsel ısınma ve endüstriyel faaliyetler başlıca kirletici kaynaklarını oluşturmaktayken, günümüzde, trafik, endüstriyel faaliyetler, evsel ısınma, yollardan kalkan tozlar ve biyogenik emisyonlar başlıca kirletici kaynakları durumuna gelmişlerdir. (Incecik ve İm, 2012)

3.3.1 Sanayi kaynaklı (endüstriyel) emisyonlar

Sanayi tesislerinde enerji ihtiyacı için yakılan yakıtlar ve üretim faaliyetleri sonucu oluşan kirleticiler, bacalar vasıtasıyla havaya atılması sonucu oluşan kirliliğe sanayi (endüstriyel) kaynaklı kirlilik adı verilir. Endüstriyel faaliyetler nedeniyle bacalardan kontrolsüz olarak açığa çıkan gaz ve partikül maddeler çok uzak mesafelere kadar taşınarak bitkiler ve toprak üzerinde birikebilmektedir. Endüstriyel kirlilik, temel olarak sanayi tesisleri için yanlış yer seçimi ve atık gazların yeterli teknik tedbir alınmadan havaya bırakılması sonucu meydana gelmektedir. Sanayi tesislerinin bacalarından havaya verilen gazların içerisinde CO, SO₂, NO_x, PM₁₀ ve Hidrokarbonlar gibi kirletici emisyonları bulunur. Bu emisyonların fazlalığı asit yağmurlarına neden olmaktadır.

İstanbul, Türkiye genelinde sanayi kapasitesi en büyük kent olma özelliğini taşımaktadır. Bunun yanı sıra, hızlı nüfus artışı, yerleşim alanlarının giderek artması ve çarpık kentleşme nedeniyle geçmişte konut alanları dışında kalan sanayi tesisleri bugün yoğunlukla yerleşim alanları içinde kalmış durumdadır. Bu nedenle, İstanbul

sakinleri sanayi kaynaklı hava kirliliğine birinci dereceden maruz kalmaktadır. Özellikle Organize sanayi Bölgelerine ait atık su arıtma tesisleri, bölgesel atık su arıtma tesisleri, kimyasal üretimi yapan veya yoğun olarak kullanan tesisler, tozlu malzeme üreten ve işleyen tesisler, hurda ve atık işleyen tesisler, kirletici yükü fazla olan ve koku problemi olan tesislerdir.

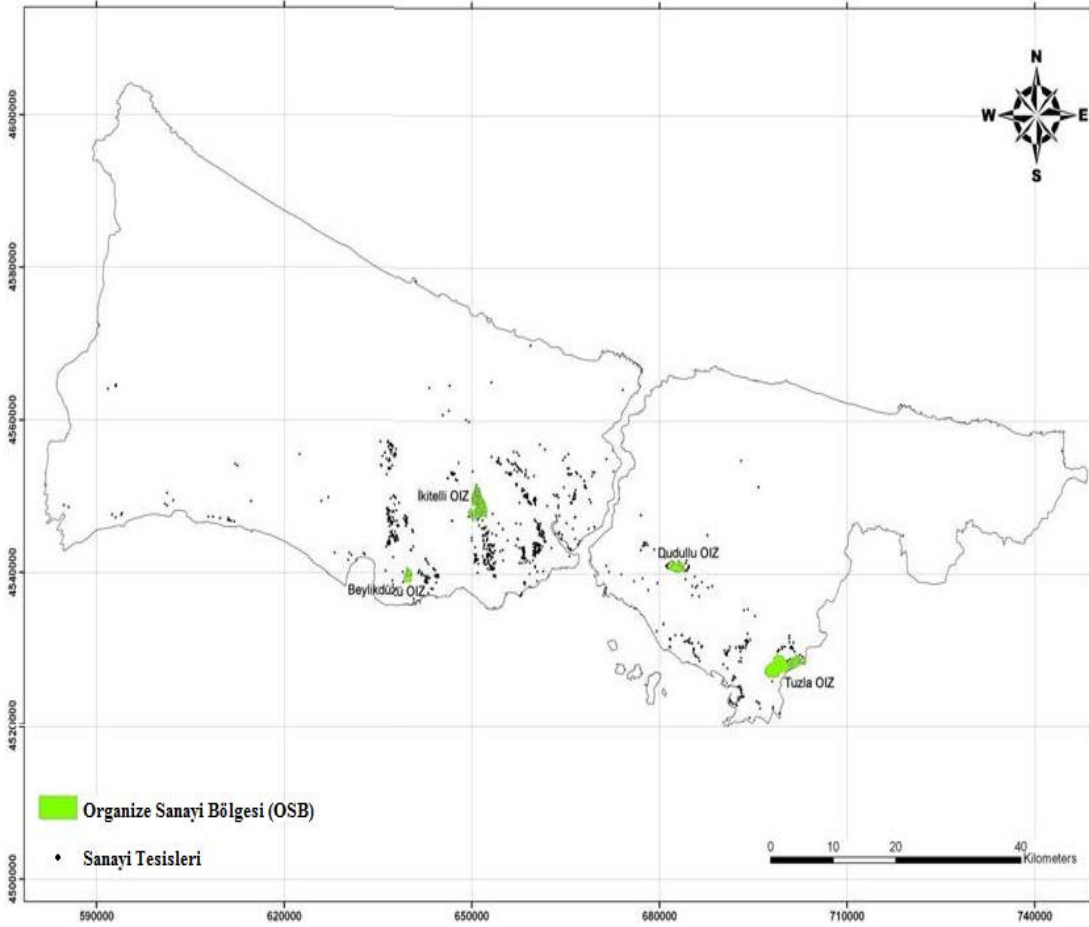
İstanbul, 2010 verilerine göre Türkiye'nin toplam çalışan nüfusunun %32'sine istihdam sağlamakta, toplam ticaretinin %55'ini yürütmekte, Türkiye'deki endüstri tesislerinin %38'ine sahip olmakta ve ülke dış ticaret hacminin % 43'ünü gerçekleştirmektedir (İÇDR, 2012). Çizelge 1, 2010 yılı itibariyle İstanbul Sanayi Odasına bağlı bulunan firmaların sektörlere göre dağılımını göstermektedir.

Çizelge 3.1: 2010 yılı itibariyle İstanbul Sanayi Odası'na bağlı bulunan firmaların sektörlere göre dağılımı (İÇDR, 2012).

SEKTÖR	FİRMA SAYISI	ÇALIŞAN SAYISI
GIDA ÜRÜNLERİ İMALATI	630	41.379
TEKSTİL ÜRÜNLERİ İMALATI	1.306	76.482
GİYİM EŞYASI İMALATI	2.340	125.783
DERİ VE DERİ ÜRÜNLERİ İMALATI	351	14.827
ORMAN VE KAĞIT ÜRÜNLERİ İMALATI VE BASIM SANAYİİ	619	23.775
KİMYASAL ÜRÜNLERİN İMALATI	920	41.155
PLASTİK VE KAÜÇÜK ÜRÜNLERİN İMALATI	662	36.976
MADEN, TAŞ VE TOPRAK ÜRÜNLERİ İMALATI	683	39.602
ANA METALLERİN İMALATI	671	33.241
METAL EŞYA İMALATI	1.178	46.842
ELEKTRİK VE ELEKTRONİK ÜRÜNLERİN İMALATI	708	42.144
MAKİNE VE AKSAMI İMALATI	905	50.908
KARA VE DENİZ TAŞITLARI İMALATI	256	10.252
MOBİLYA İMALATI	337	12.405

Şehirdeki sanayi tesisleri, genellikle küçük sanayi tesisleri ile organize sanayi bölgelerinde toplanmıştır. Bununla birlikte, plansız yapılaşma nedeniyle bir bölümü yerleşim alanları içinde kalmıştır. İstanbul'da sanayinin büyük bir kısmı, Anadolu yakasında Tuzla ve Dudullu, Avrupa yakasında da Küçükçekmece ve İkitelli organize sanayi bölgelerinde toplanmıştır. Bunun dışında küçük sanayi tesisleri de ilçelere göre değişik dağılımlar göstermektedir. Şekil 3.3 Sanayi tesisleri ve organize

sanayi bölgelerinin yerlerini göstermektedir. İstanbul endüstriyel tesislerinde en sık kullanılan yakıt doğal gazdır. Toplamda sekiz farklı fosil yakıt türü enerji kaynağı olarak kullanılmaktadır. Bu yakıtlar, fuel oil-6, fuel oil-4, motorin, linyit, kok kömürü, LPG, odun ve doğal gazdır. İstanbul'da doğalgazın ulaşmadığı bölgelerde kömür ve fuel oil kullanılması nedeniyle hava kirliliği problemi ortaya çıkmaktadır (IBB, 2009).



Şekil 3.3: İstanbul'daki sanayi tesisleri ve organize sanayi bölgeleri (IBB, 2009).

3.3.2 Trafik kaynaklı emisyonlar

Trafik kirliliği, araçlardan kaynaklanan atmosfer, gürültü ve görüntü kirliliğinin tamamına denilmektedir. Araç egzozlarından çıkan başlıca kirleticiler, CO, NOX (NO+NO₂) ve partikül maddedir (PM₁₀ ve PM_{2.5}). Trafik kaynaklı kirlilik, İstanbul'un hava kirliliğinde önemli bir yer tutmaktadır. Trafik kirliliği miktarı, özellikle yoğun trafiğe sahip ana caddelerde, kavşaklarda ve karayollarının çevrelerinde ciddi seviyelere çıkabilmektedir. Ayrıca, yer seviyesinden çıkan bu

emisyolların dağılıp seyremleri de zaman almaktadır. Bununla birlikte, trafiğe katılan araç sayısının her geçen gün artması ve eski model araçların, aşırı yüklü bakımsız ağır vasıtaların ve eski belediye otobüslerinin trafikte yer almaları, trafik kaynaklı hava kirliliği sorununun devam etmesine neden olmaktadır. Türkiye ve İstanbul'a ait trafik ile ilgili bazı büyüklükler Çizelge 3.2'de verilmiştir (TUİK, 2012).

Çizelge 3.2: Türkiye ve İstanbul'a ait trafik ile ilgili genel bilgiler (TUİK, 2012).

Türkiye Araç Sayısı (2012)	17.033.413
İstanbul Kayıtlı Araç Sayısı (2012)	3.065.465
Türkiye Otomobil Sayısı (2012)	8.648.875
İstanbul Kayıtlı Otomobil Sayısı (2012)	2.009.777
Türkiye'de 1000 kişiye düşen otomobil sayısı (2012)	114
İstanbul'da 1000 kişiye düşen otomobil sayısı (2012)	145

Çizelge 3.2'de verilen bilgilere göre, 2012 yılı itibariyle İstanbul'daki kayıtlı araç sayısı, Türkiye'deki toplama araç sayısının %17.99'una, otomobil sayısının ise %23.24'üne sahiptir. Bununla beraber, 1000 kişiye düşen otomobil sayısı, Türkiye'de 1000 kişiye düşen otomobil sayısından %27.19 fazladır. Diğer taraftan, İstanbul'daki araç sayısı 2007 yılında 2.261.356 iken, 2012 yılında 3.065.465'a ulaşarak 6 yılda 804.109 adet artmıştır (TUİK, 2012). İstanbul'un 141 km'lik metro hattı bulunmaktadır. İstanbul'da toplu taşıma hizmeti gören diğer ulaşım aracı ise metrobüstür. 50 km'lik bir hatta sahip olan metrobüs sistemi ile günde 800.000 yolcu taşınmaktadır. 2007 yılından bu yana İstanbul'daki trafik sıkışıklığını azaltmak için kullanılan Metrobüs sistemi, 80.000 aracın trafik toplu taşıma kalitesinin artmasını sağlamıştır.

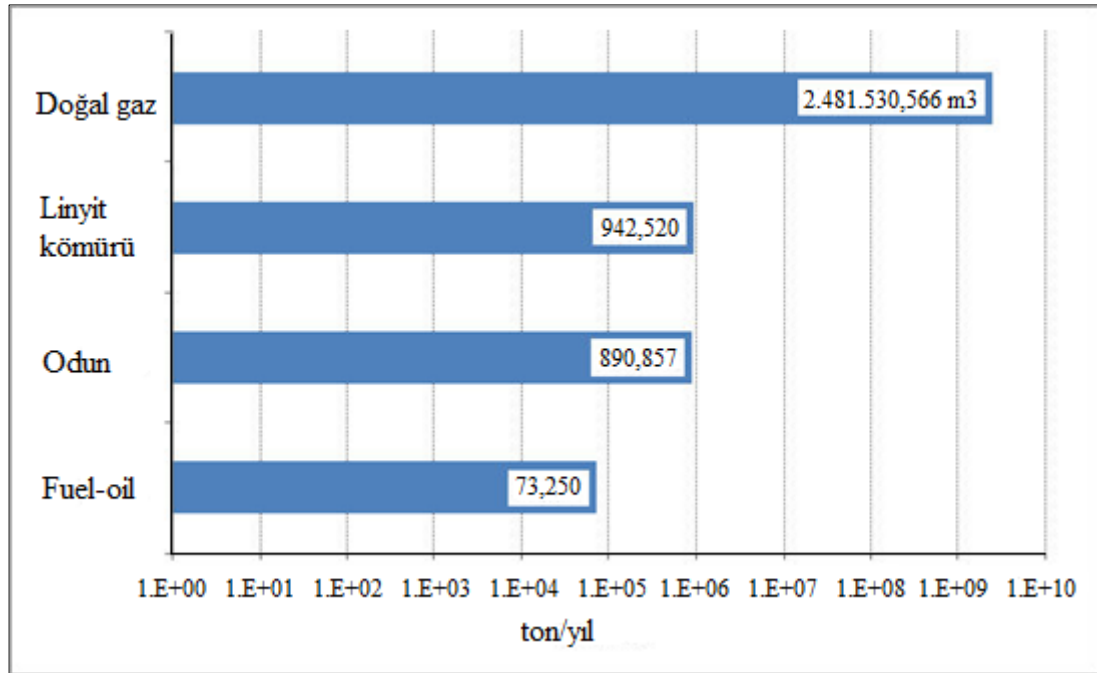
Büyük şehirlerdeki en önemli problemlerden biri olan trafik sıkışıklığı sorunu, trafiğin yeterli hızda akmaması ve bir yere ulaşmanın beklenenden uzun süre alması şeklinde tanımlanabilir. Sıkışık trafik, yolcuların ve yayaların daha uzun süreler boyunca egzoz gazına maruz kalmalarına ve bu nedenle trafik kaynaklı hava kirliliğinden daha çok etkilenmelerine neden olmaktadır. İstanbul'da trafik sıkışıklığı Avrupa'nın diğer şehirleri ile kıyaslandığında çok ciddi boyutlardadır. Tomtom hizmet portalının yapmış olduğu bir araştırmada, İstanbul, Avrupa'nın Moskova'dan sonra trafik sıkışıklığı en fazla olan şehri olarak belirlenmiştir (tomtom, 2013). Tomtom, trafikteki araçlardan gelen gerçek seyahat süresi verilerine dayandığı indekste, İstanbul'da ortalama seyahat sürelerinin, trafiğin rahat aktığı zamanlarda diğer kentlerden % 57, trafiğin en yoğun olduğu sabah saatlerinde % 81 ve trafiğin en yoğun olduğu akşam saatlerinde ise % 127 daha tıkanık olduğunu belirlemiştir. İstanbul, %57'lik endeks değeri ile, Avrupa'daki ikinci en tıkalı trafiğe sahip şehir konumundadır. Moskova % 65 ile en tıkalı trafiğe sahipken, Varşova % 44 ile üçüncü, Palermo % 40 ile dördüncü ve Marsilya % 40 ile beşinci sırada gelmektedir (tomtom, 2013).

3.3.3 Isınma kaynaklı emisyonlar

Evlerde ısınma amacıyla kullanılan fosil yakıtların yanması sonucu ortaya çıkan kirlilik türüne ısınma kaynaklı kirlilik denilmektedir. Isınma kaynaklı başlıca kirleticiler, kükürt dioksit (SO₂), partikül madde (PM₁₀ ve PM_{2.5}) ve karbon monoksittir (CO). İstanbul'daki evsel ısınma kaynaklı emisyonlar zaman içinde büyük bir değişim göstermiştir. Şehirde 1993-1994 kış sezonuna kadar ısınmada yıllık yaklaşık 8-10 milyon ton civarında Kilyos-Karaburun arasındaki ocaklardan çıkarılan kömürler kullanılmıştır (İÇDR, 2012). Bu kömürlerin genellikle yüksek kükürt ve nem içeren düşük kalorili kömürler olması nedeniyle, 80'li yılların sonlarında ve 90'lı yılların başlarında kükürt dioksit ve partikül madde kirliliğine bağlı ciddi hava kirliliği vakaları meydana gelmiştir. Hava kirliliğinin azaltılması amacıyla, 1995 yılından itibaren alınan İl Mahalli Çevre Kurulu Kararlarıyla, İstanbul'da tüketilecek kömürlere kalite sınırlaması getirilmiş ve tüketime sunulacak kömürlerin mutlaka iyileştirme işlemine tabi tutulması sağlanmıştır. Bu önlemlerle beraber, 1994-95 kış aylarından itibaren doğalgaz kullanımının yaygınlaşması ile,

şehirdeki ısınma kaynaklı kükürt dioksit (SO₂) ve partikül madde (PM₁₀) kirliliği önemli ölçüde azalmıştır (İÇDR, 2012).

Günümüzde, kış döneminde (aralık-mart) İstanbul'da evsel ısınma için genellikle doğal gaz, fuel-oil, linyit ve odun başta olmak üzere 4 farklı türde yakıt kullanılmaktadır. En çok tercih edilen yakıt türü ise doğalgazdır. Şekil 3.4, İstanbul'da 2007 yılı için evsel ısınma kaynaklı toplam fosil yakıt tüketimini göstermektedir. 2007 kış sezonu için İstanbul'daki toplam doğal gaz tüketimi Şekil 3.4'den de görülebileceği gibi 2.481.530,566 m³ tür. Yıllık toplam linyit, odun ve fuel-oil tüketim miktarları ise sırasıyla 942,520 ton, 890,850 ton ve 73,250 tondur (IBB, 2009).



Şekil 3.4: İstanbul 2007 yılı evsel ısınma kaynaklı fosil yakıt tüketimi (IBB, 2009).

İstanbul'da doğalgazın yaygın bir şekilde kullanılması nedeniyle, evsel ısınma kaynaklı kirlilik önemli ölçüde azalmıştır. Bununla birlikte, gecekondü yerleşim yerlerinin bulunduğu bölgelerde düşük kaliteli yakıtların kullanılması, evsel ısınma kaynaklı kirliliğe katkı sağlamaya devam etmektedir.

3.3.4 Gemi emisyonları

Gemilerin kullandıkları fosil yakıtların yanması sonucu bacalarından dışarıya verdikleri kirliliğe gemi emisyonları denilmektedir. Genelde dizel motorların kullanıldığı gemilerin bacasından yayılan egzoz gazlarında NOX, SOX, CO, CO₂, HC ve PM gibi kirleticiler (emisyonlar) bulunmaktadır.

Bir gemi başına düşen emisyon miktarı oldukça yüksektir. Örneğin, dünya üzerindeki en büyük 15 konteyner gemisinin yaydığı yıllık emisyon değeri, dünya üzerindeki tüm otomobillerden yayılan emisyon değerine eşittir. İstanbul'da olduğu gibi gemilerin kıyıya çok yakın seyrettiği ve gemi trafiğinin yoğun olduğu yerlerde, gemi kaynaklı emisyonların çevre ve insan sağlığına olan olumsuz etkileri de o derece yüksek olmaktadır. Son on yılda İstanbul Boğaz'ından geçen gemi sayısı 10 kattan fazla artarak yılda yaklaşık 60.000 değerine ulaşmıştır. Yüksek bir nüfus yoğunluğuna sahip olan İstanbul'da, gemilerin insan sağlığına verdiği etkiler de giderek artmaktadır (İTÜ, 2013). Yapılan bir çalışmada, boğazlardan geçen bir tankerin en az 100 aracın egzoz dumanına eşdeğer bir salınım gerçekleştirdiği ve bu durumun toplamda yılda 280 kişinin akciğer kanserine, 4200 kişinin de kardiyovasküler hastalıklara yakalanarak erken ölümüne neden olduğu ortaya çıkmıştır (NTV, 2013).

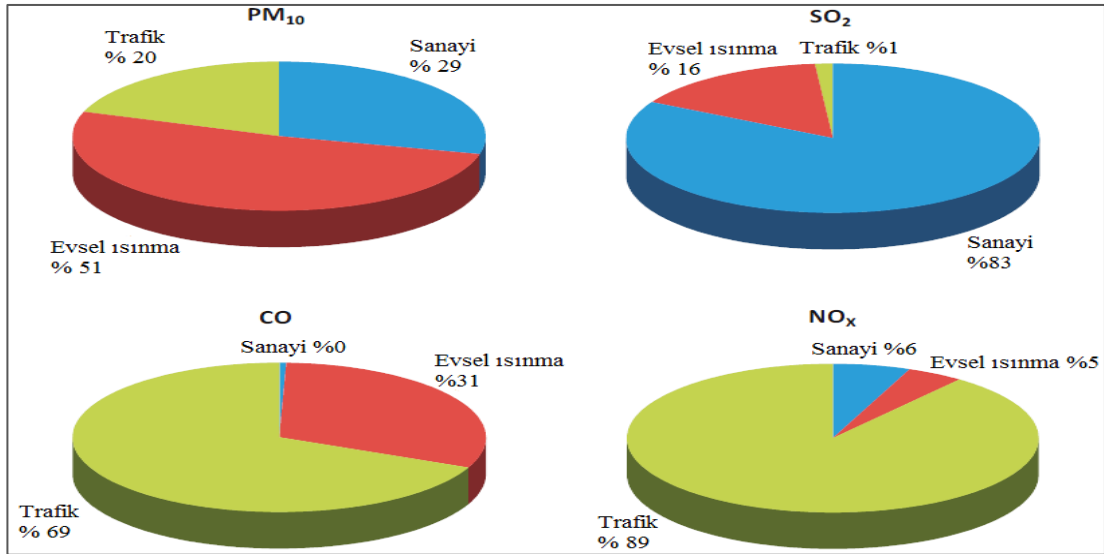
3.4 Emisyon Envanterleri Çalışmaları

2006 yılında EMBARQ (Sürdürülebilir Ulaşım Derneği) ve İstanbul Çevre Koruma Daire Başkanlığı, İstanbul'daki hava kirliliğini azaltmak için bir proje başlatmıştır. Bu proje kapsamında İstanbul Büyükşehir Belediyesi tarafından bir emisyon envanteri oluşturulmuştur. Yerel emisyon envanteri, 170 km'ye 85 km'lik bir alana ve 1 saatlik zamansal ve 1 saatlik mekansal çözünürlüğe sahip olarak ve İstanbul büyükşehir alanı üzerine merkezlenerek hazırlanmıştır. Emisyon kaynakları nokta, çizgi ve alan kaynaklı olarak, sırasıyla sanayi, araç ve evsel ısıtma sektörlerini kapsayacak şekilde genel sınıflandırılmıştır. Belirlenen emisyonlar Çizelge 3.3'de verilmiştir (IBB, 2009).

Çizelge 3.3: İstanbul’da sektörel emisyonlar (IBB, 2009).

	Emisyonlar (t/y)				
	PM ₁₀	SO ₂	NO _x	NMVOC	CO
Endüstri	7,630	58,468	9,394	117	1,714
Evsel ısınma	13,631	10,983	7,014	18,351	123,510
Trafik	5,200	1,016	138,000	38,500	270,000
Toplam	26,461	70,467	154,408	56,968	395,224

Şekil 3.3’te, her bir kirletici kaynağın toplam emisyon miktarına olan katkısı grafiksel olarak gösterilmiştir. Şekil 3.3’ten de görülebileceği gibi, sanayi, toplam emisyonların %83’e denk gelecek şekilde SO₂ kirliliğine en çok katkı sağlayan sektör olurken, evsel ısınma ise toplam emisyonların %51’ne denk gelecek şekilde PM₁₀ kirliliğine en çok katkı sağlayan sektör olmuştur. Trafik ise yaptığı %89 ve %68’lik katkılarla NO_x ve CO emisyonlarına en çok katkı sağlayan sektördür (IBB, 2009).



Şekil 3.5: Her bir kirletici kaynağın toplam emisyon miktarlarına olan katkıları (IBB, 2009).

Yapılan başka bir emisyon envanteri çalışmasında, Markakis ve diğ. (2009), İstanbul için 2 km’lik grid alanına sahip yüksek uzaysal ve zamansal çözünürlüklü bir emisyon envanteri geliştirmişlerdir. Yaptıkları çalışmada, azot oksitler (NO_x = NO + NO₂), karbon monoksit (CO), kükürt oksitler (SO_x), amonyak (NH₃), metan dışı uçucu organik bileşikler (NMVOC’ler), PM₁₀ ve PM_{2.5} kirleticilerini göz önünde bulundurmışlardır. Yapılan hesaplamalara göre, İstanbul için toplam yıllık emisyon

miktarları, CO için 437 kt, NOX için 305 kt, SOX için 91 kt, NMVOC'ler için 77 kt, NH3 için 7 kt, PM10 için 61 kt ve PM2.5 için 37 kt olarak bulunmuştur (Markakis ve diğ., 2009).

Çizelge 3.4’de verilen sonuçlara göre, İstanbul'daki başlıca kirlilik kaynakları, trafik, sanayi, evsel ısınma ve gemi taşımacılığıdır. Sanayi emisyonları, PM10 konsantrasyonlarının %64.9’unu, trafik emisyonları ise PM10 konsantrasyonlarının %17’sini oluşturmaktadır. Özellikle, organik partikül maddenin %76’sı trafik kaynaklıdır. Enerji (%36) ve endüstri (%23) ise ana SOX kaynakları olarak ortaya çıkmaktadır. Azot dioksit (NOx) konsantrasyonları ise temel olarak trafik (% 79.4) ve deniz trafiği (% 9.5) kaynaklıdır. Metan harici uçucu organik bileşikler (NMVOC) ise özellikle trafik (%45), solvent kullanımı (%30) ve atık maddeden (%20) kaynaklanmaktadır (Markakis ve diğ., 2009).

Emisyonların mekansal dağılımı yerleşim yerlerine göre değişmekte ve kirlletici emisyonları en yüksek seviyelere kış mevsiminde çıkmaktadır. Ayrıca, hafta sonu emisyonları hafta içi günlerine göre daha düşüktür ve CO, NOx ve partikül madde konsantrasyonları gün içerisinde trafiğin yoğun olduğu sabah ve akşam saatlerinde maksimum seviyelere ulaşmaktadır (Markakis ve diğ., 2009).

Çizelge 3.4: İstanbul’daki yıllık antropojenik (insan kaynaklı) emisyonların sektörlere göre dağılımı (%) (Markakis ve diğ., 2009).

Kaynak (kton/yıl)	CO	NO _x	SO _x	VOC	NH3	PM ₁₀	PM _{2.5}
Evsel Isınma	47 399	6 513	13 369	2 011		4 286	4 273
Endüstriyel Yakma	1 741	7 123	21 020	88		29 796	8 709
Endüstriyel Prosesler	14 352	211		273		9 605	7 354
Fosil Yakıt Dağıtımı			2 121				
Kömür Çıkarma						38	4
Çözücü Kullanımı				23 000	3 256		
Trafik	363 252	241 895	2 124	34 661		10 533	10 533
Yol Dışı Trafik	51	1 233	1 273	301		2 268	2 148
Havalimanı	2 792	1 600	85	541			
Yerel Yolcu Gemileri	174	2 009	273	32		79	79
Kargo Gemileri	1 199	27 050	15 686	464	9	1 822	1 822
Atık Arıtımı	3 173			15 764		1 047	1 047
Enerji	3 187	9 880	32 316	154		1 088	809
Tarım	34	7 195	2 415	8	3 249	100	22
Toplam	437 354	304 709	90 682	77 297	6 514	60 662	36 800

4. İSTANBUL'UN GÜNÜMÜZDEKİ HAVA KALİTESİ

Günümüzde İstanbul'un hava kalitesi üzerinde etkisi olan başlıca kaynaklar, trafik, endüstriyel faaliyetler, evsel ısınma, yollardan kalkan tozlar, deniz trafiği, biyogenik emisyonlar ve diğer ülkelerden rüzgarlarla taşınan kirleticilerdir. İstanbul'da günden güne artan araç sayısı ve sanayi tesisleri ile artan nüfus sonucu meydana gelen çarpık yapılaşma, partikül madde (PM10) ve azot dioksit (NO₂) konsantrasyonlarının yüksek seviyelere çıkmasına neden olmaktadır. İstanbul'a diğer ülkelerden taşınan doğal ve insan kaynaklı kirleticiler ile İstanbul boğazından geçen gemiler ise kirliliği etkileyen diğer faktörlerdir.

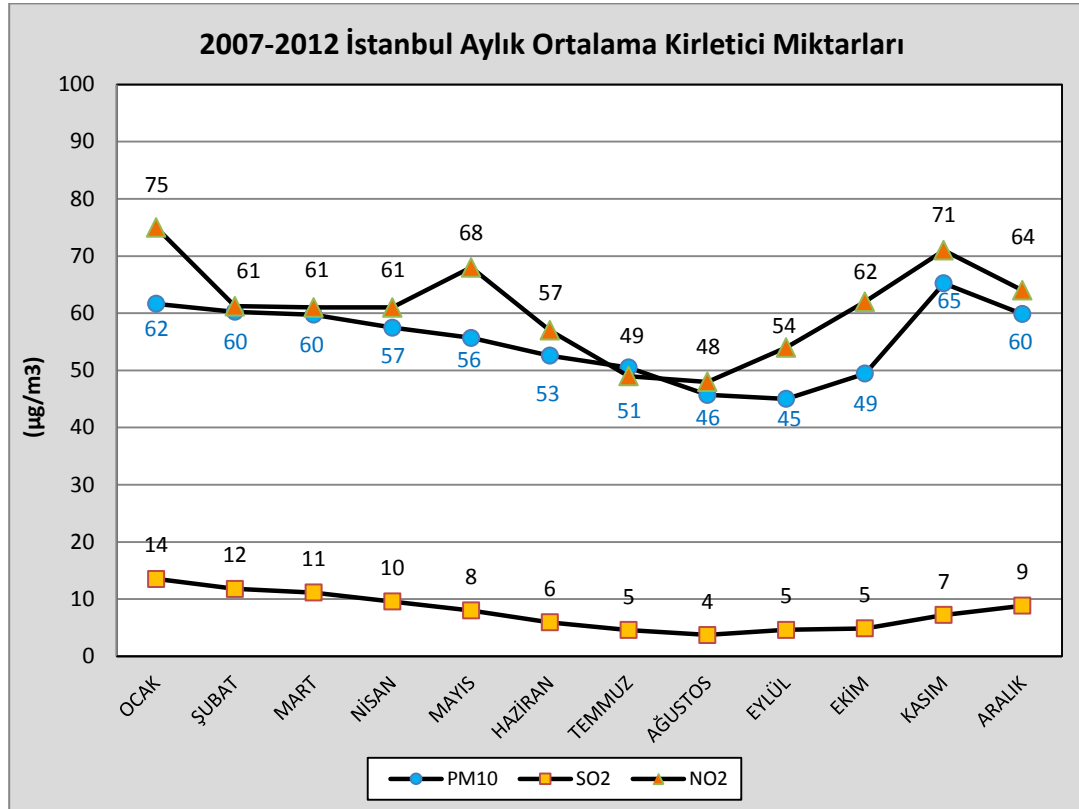
İstanbul'da bulunan on adet hava kalitesi ölçüm istasyonu tarafından 01.01.2007 - 31.12.2012 tarihleri arasındayapılan ölçümlerin sonuçlarının incelenmesi sonucunda; İstanbul'da meydana gelen partikül madde (PM10) ve azot dioksit (NO₂) kirliliği, özellikle hava sıcaklıklarının düşük, kirleticilerin düşey karışımlarının az ve evsel ısınmanın yoğun olduğu sonbahar mevsiminin sonlarında ve kış aylarında yüksek seviyelere çıkmaktadır. Yüksek PM10 ve NO₂ değerlerine bahar aylarında da rastlanmaktadır. Kükürt dioksit (SO₂) konsantrasyonları ise genel olarak düşük seviyelerde kalmıştır. Şekil 4.1, 2007-2012 yılları arasında, partikül madde (PM10), azot dioksit (NO₂) ve kükürt dioksit (SO₂) konsantrasyonlarındaki aylık ortalama değişimleri göstermektedir.

2007-2012 yılları arasındaki döneme ait altı yıllık PM10 konsantrasyonlarının ortalaması 55 µg/m³'tür. Şekil 4.1'e göre, 2007-2012 yıllarına ait en yüksek aylık ortalama PM10 konsantrasyonu Kasım ayında 65 µg/m³ olarak gözlenirken, en düşük ortalama PM10 konsantrasyonu ise Eylül ayında 45 µg/m³ olarak ortaya çıkmıştır.

Temel olarak araç egzozlarından kaynaklanan bir kirletici olan azot dioksitin (NO₂) altı yıllık ortalaması ise 60 µg/m³'tür. Şekil 4.1'e göre, NO₂ konsantrasyonları Ocak ayında ortalama 75 µg/m³ ile en yüksek, Ağustos ayında ise 48 µg/m³ ile en düşük değerlere ulaşmıştır. Şekle göre, NO₂ konsantrasyonları özellikle sonbaharın

sonlarında ve kış aylarında en yüksek seviyelere çıkarken, yaz aylarında ise en düşük seviyelere inmektedir. Bununla birlikte Mayıs ayında da yüksek bir ortalama değeri gözükmektedir.

SO₂ konsantrasyonlarının altı yıllık ortalaması ise 8 µg/m³'tür. Şekil 4.1'e göre, en yüksek SO₂ konsantrasyonu 14 µg/m³ ile Ocak ayına aitken, en düşük ortalama ise 4 µg/m³ ile Ağustos ayına aittir.



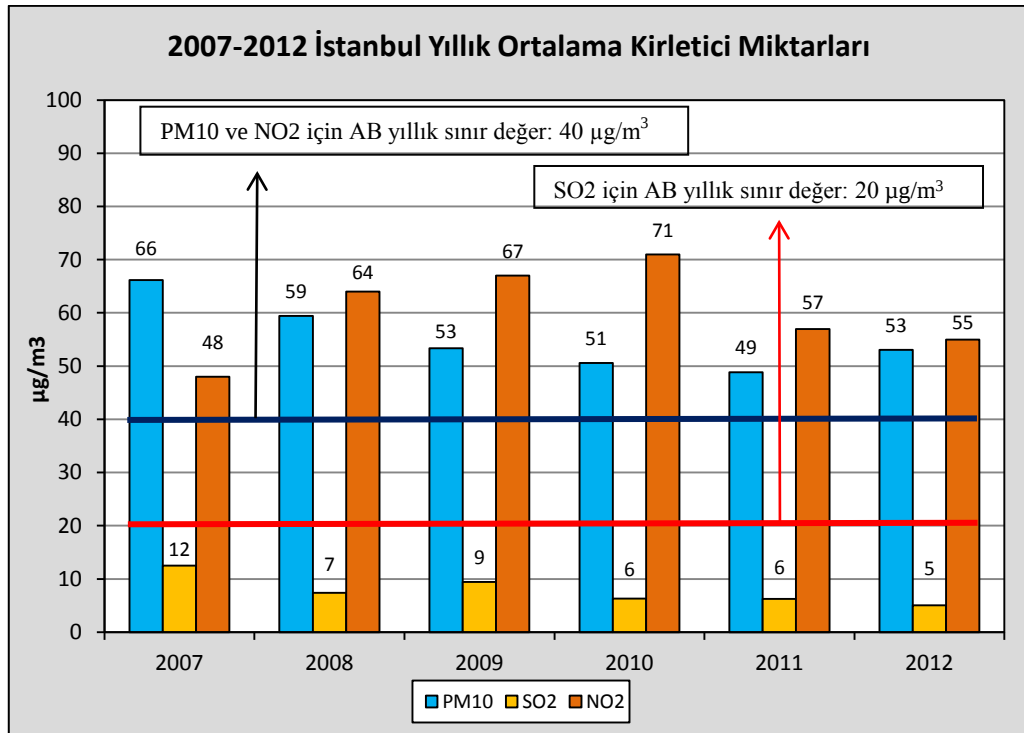
Şekil 4.1: Ortalama kirletici konsantrasyonlarının aylara göre değişimi.

Şekil 4.2, İstanbul'da 2007-2012 yılları arasındaki yıllık ortalama kirletici konsantrasyonlarının değişimini ve Avrupa Birliği sınır değerlerini göstermektedir. Şekil 4.2'ye göre, 2007 yılında 66 µg/m³ olan ortalama PM₁₀ konsantrasyonları, kademeli olarak düşerek 2011 yılında 49 µg/m³'e inmiştir. Bununla birlikte, ortalama değeri 2012 yılında tekrar hafif bir yükselme yaşanmış ve 53 µg/m³ olmuştur. Şekle göre, ortalama partikül madde değerleri 2007-2012 yılları arasında Avrupa Birliği sınır değeri olan 40 µg/m³'ün daima üzerinde seyretmiştir.

2007 yılında 48 µg/m³ olan kükürt dioksit (NO₂) ortalaması, daha sonra yükselişe geçerek 2010 yılında 71 µg/m³'a ulaşmıştır. Ancak daha sonra inişe geçmiştir ve 2012

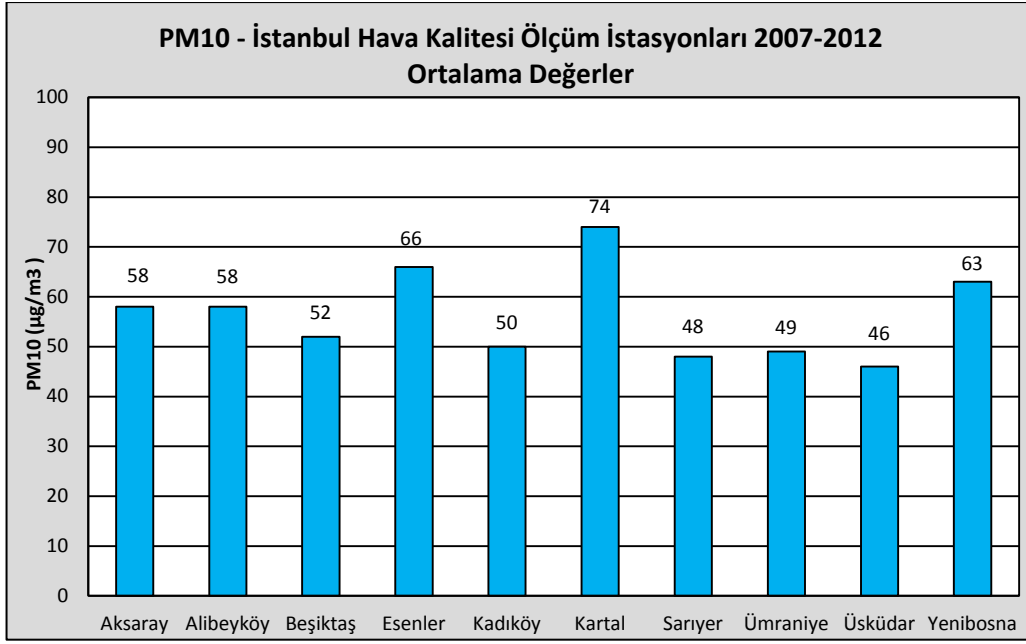
yılında $55\mu\text{g}/\text{m}^3$ 'a inmiştir. NO_2 konsantrasyonları, PM_{10} konsantrasyonlarına benzer bir şekilde, altı yıl boyunca azot dioksit için AB limit değeri olan $40\mu\text{g}/\text{m}^3$ 'ün daima üzerinde seyretmiştir.

Kömür ve fuel-oil gibi kükürt içeren yakıtların yanması sırasında ortaya çıkan kükürt dioksit (SO_2) gazının ortalama değeri 2007 yılında $12\mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak ölçülmüştür. 2007 yılından itibaren düşüşe geçen SO_2 konsantrasyonları, $5\mu\text{g}/\text{m}^3$ ile 2012 yılında en düşük seviyesine inmiştir. Kükürt dioksit konsantrasyonları, altı yıl boyunca SO_2 için AB limit değeri olan $20\mu\text{g}/\text{m}^3$ 'ün daima altında seyretmiştir.

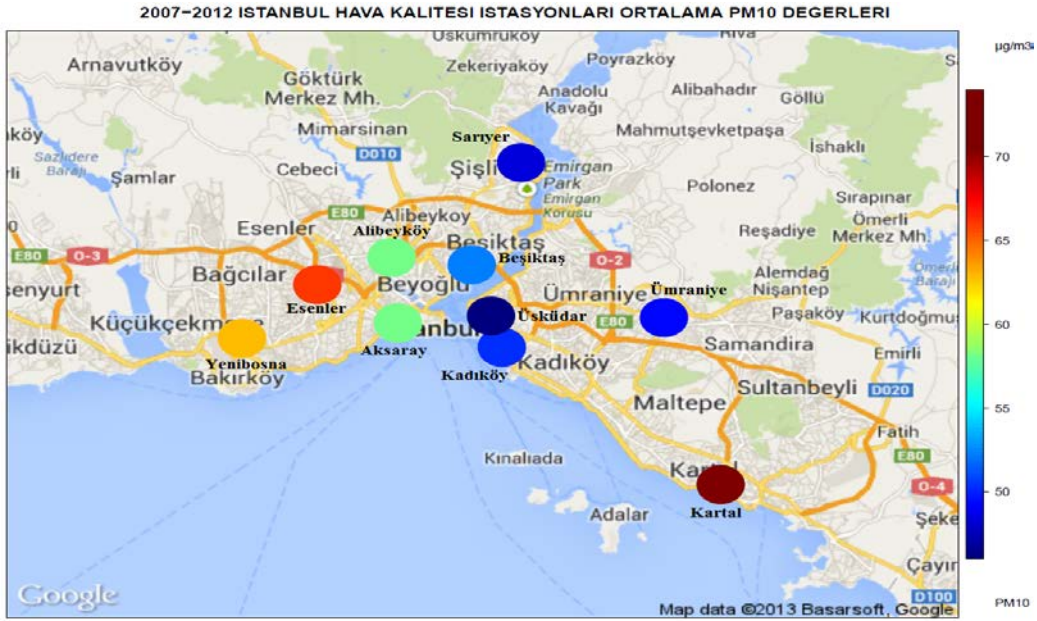


Şekil 4.2: Ortalama kirletici konsantrasyonlarının yıllara göre değişimi.

Şekil 4.3, 2007-2012 yılları arasındaki İstanbul hava kalitesi ölçüm istasyonlarına ait altı yıllık ortalama partikül madde (PM_{10}) konsantrasyonlarını göstermektedir. Şekle göre en yüksek ortalama değer $74\mu\text{g}/\text{m}^3$ ile Kartal istasyonuna aittir. Üsküdar istasyonu ise $47\mu\text{g}/\text{m}^3$ ile en düşük ortalama partikül madde değerine sahip olan istasyondur. Şekil 4.4, İstanbul hava kalitesi ölçüm istasyonlarına ait, 2007-2012 yılları arasındaki altı yıllık ortalama PM_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) konsantrasyonlarını harita üzerinde göstermektedir.



Şekil 4.3: 2007-2012 yılları arası istasyonlara ait ortalama PM₁₀ konsantrasyonları.



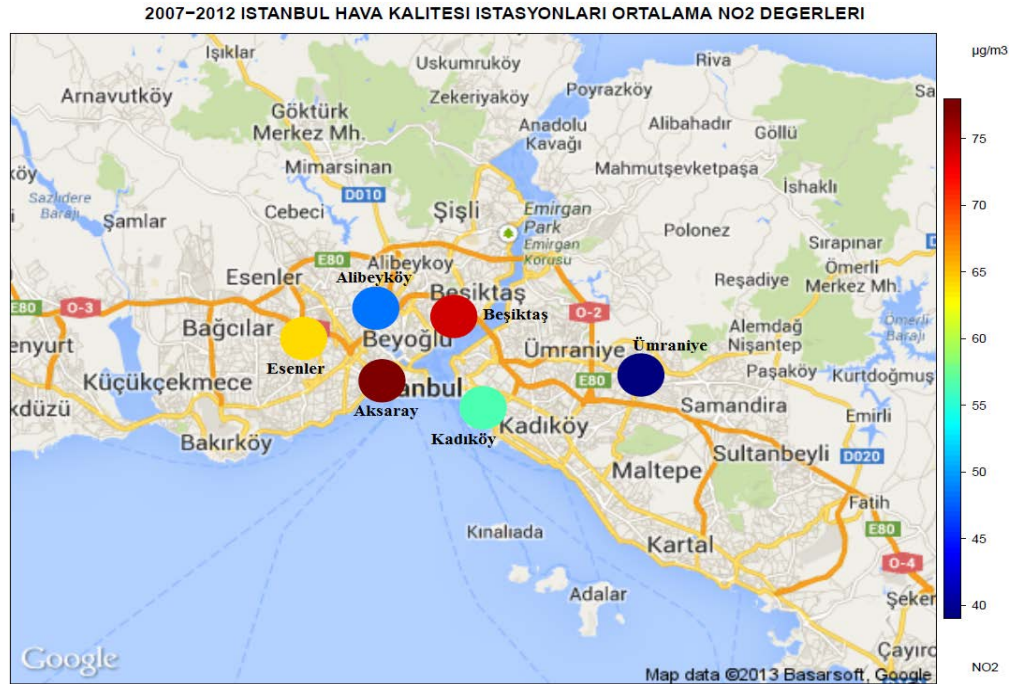
Şekil 4.4: Ortalama PM10 konsantrasyonlarının harita üzerinde gösterimi.

Şekil 4.5, İstanbul hava kalitesi ölçüm istasyonlarına ait, 2007-2012 yılları arasındaki altı yıllık ortalama azot dioksit (NO₂) konsantrasyonlarını göstermektedir. En yüksek ortalama değer 78 µg/m³ ile Aksaray istasyonuna aittir. Ümraniye istasyonu ise 39 µg/m³ ile en düşük değere sahip olan istasyondur. Şekil 4.6, İstanbul hava kalitesi

ölçüm istasyonlarına ait, 2007-2012 yılları arasındaki altı yıllık ortalama NO₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) konsantrasyonlarını harita üzerinde göstermektedir.

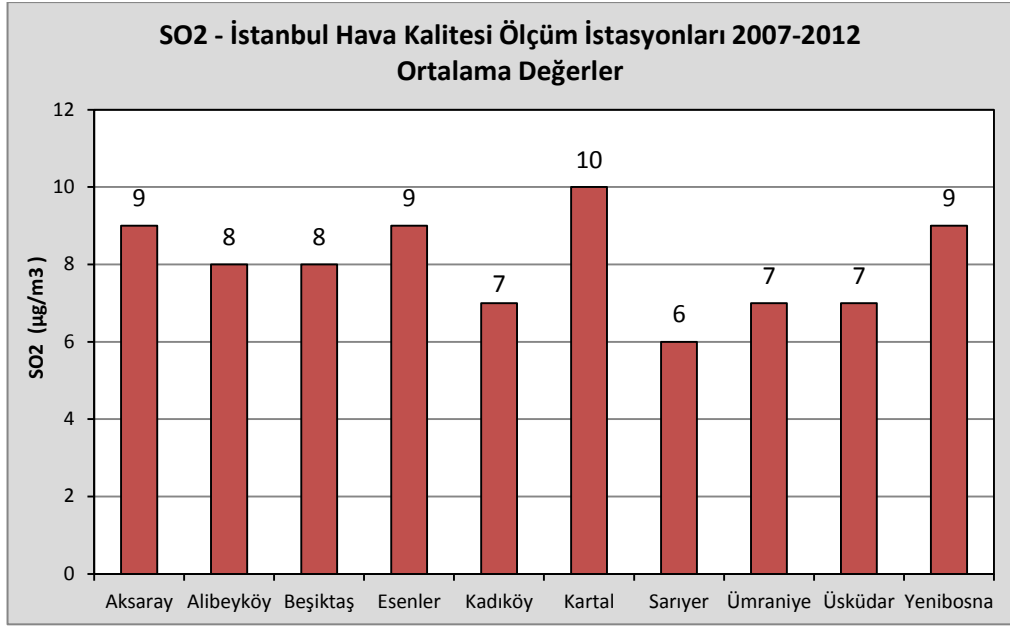


Şekil 4.5: 2007-2012 yılları arası istasyonlara ait ortalama NO₂ konsantrasyonları.



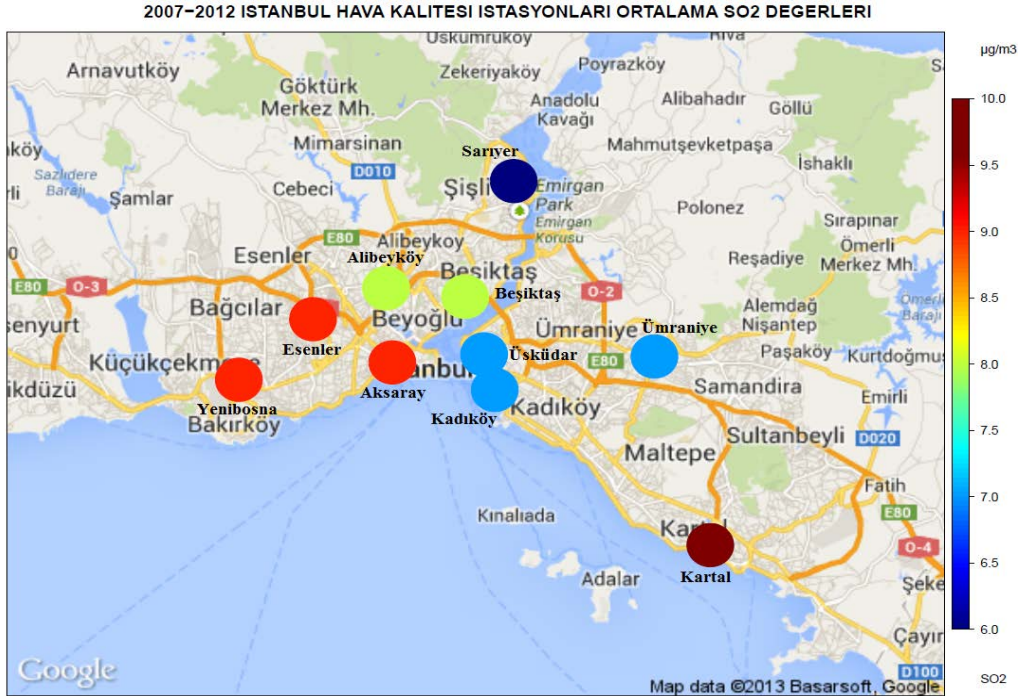
Şekil 4.6: Ortalama NO₂ konsantrasyonlarının harita üzerinde gösterimi.

Şekil 4.7, İstanbul hava kalitesi ölçüm istasyonlarına ait, 2007-2012 yılları arasındaki altı yıllık ortalama kükürt dioksit (SO₂) konsantrasyonlarını göstermektedir. En yüksek ortalama değer 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ile Kartal istasyonuna aittir. Sarıyer istasyonu ise 6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ile en düşük ortalama SO₂ konsantrasyonuna sahip olan istasyondur.



Şekil 4.7: 2007-2012 yılları arası istasyonlara ait ortalama SO₂ konsantrasyonları.

Şekil 4.8, İstanbul hava kalitesi ölçüm istasyonlarına ait, 2007-2012 yılları arasındaki altı yıllık ortalama SO₂ (µg/m³) konsantrasyonlarını harita üzerinde göstermektedir.



Şekil 4.8: Ortalama SO₂ konsantrasyonlarının harita üzerinde gösterimi.

5. VERİ VE YÖNTEM

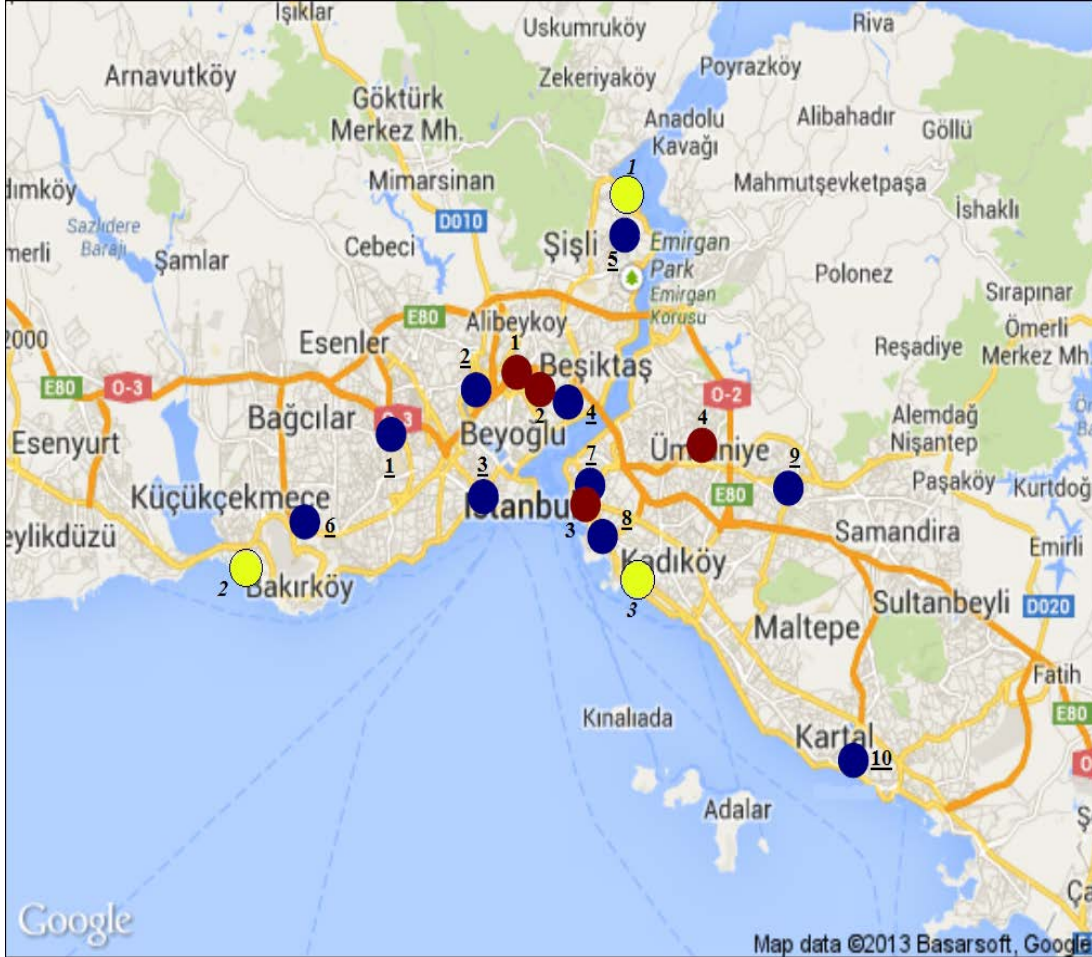
5.1 Çalışma Alanı ve Veri

Bu çalışmada, İstanbul Büyükşehir Belediyesi'ne ait on adet hava kalitesi ölçüm istasyonu tarafından, 1 Ocak 2007 ve 31 Aralık 2012 tarihleri arasında ölçülen saatlik hava kirliliği (PM10, NO2 ve SO2) verileri kullanılmıştır. Bu istasyonların altı tanesi Avrupa Yakası'nda (Aksaray, Alibeyköy, Beşiktaş, Esenler, Sarıyer ve Yenibosna), dört tanesi ise Anadolu Yakası'nda (Kadıköy, Kartal, Üsküdar ve Ümraniye) bulunmaktadır. Aksaray ve Beşiktaş istasyonları trafik, Alibeyköy, Sarıyer, Üsküdar ve Yenibosna istasyonları kentsel, Esenler ve Kadıköy istasyonları kentsel ve trafik, Ümraniye istasyonu ise kentsel arka plan istasyonlarıdır. Kirletici verileri saatlik olarak ölçülmektedir. PM10 ve SO2 tüm istasyonlar da ölçülürken, NO2 Aksaray, Alibeyköy, Beşiktaş, Esenler, Kadıköy ve Ümraniye istasyonlarında ölçülmektedir. Çalışmada kullanılan günlük ortalama kirlilik değerleri, her gün için, gün içerisinde kirletici maddeye ait en az 18 saatlik ölçüm yapıldığı takdirde hesaplanmıştır.

Meteorolojik parametrelerin ölümler üzerindeki olası etkilerinin ortadan kaldırılması ve yalnızca kirletici maddelere ait etkinin ortaya çıkarılması amacıyla, saatlik ortalama sıcaklık ve saatlik ortalama bağıl nem gibi günlük meteorolojik değişkenler de çalışmada kullanılmıştır. Çalışma dönemine ait saatlik ortalama sıcaklık ve saatlik ortalama bağıl nem verileri, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nden elde edilmiştir. Çalışmada, Florya, Göztepe ve Sarıyer meteoroloji istasyonlarına ait saatlik verilerden yararlanılmıştır. Modelde kullanılan günlük ortalama değerler, her gün için, gün içerisinde meteorolojik parametreye ait en az 18 saatlik ölçüm yapıldığı takdirde hesaplanmıştır.

Hava kirletici maddeler ve meydana gelen ölüm vakaları arasındaki ilişkiyi belirlemek amacıyla, Okmeydanı Eğitim ve Araştırma Hastanesi, Haydarpaşa Numune Eğitim ve Araştırma Hastanesi, Şişli Etfal Eğitim ve Araştırma Hastanesi ve Ümraniye Eğitim ve Araştırma Hastanesi'ne ait günlük ölüm verilerinden

yararlanılmıştır. Çalışmada kullanılan tüm istasyonlar ve hastaneler Şekil 5.1'de verilmiştir. Hava kalitesi istasyonları mavi renkle ve altı çizili rakamlarla gösterilmiştir. Meteoroloji istasyonları sarı renkle ve italik rakamlarla gösterilmiştir. Hastaneler kırmızı renkle ve normal rakamlarla gösterilmiştir.



Şekil 5.1: Çalışmada kullanılan hava kalitesi istasyonları (mavi renkli), meteoroloji istasyonları (sarı renkli) ve hastaneler (kırmızı renkli).

Çizelge 5.1, çalışmada yararlanılan hava kalitesi istasyonlarını, meteoroloji istasyonlarını ve hastaneleri numaraları ile göstermektedir.

Çalışmada, 2007-2012 yılları boyunca ölçülmüş olan PM₁₀, SO₂ ve NO₂ kirleticileri ile aynı dönem boyunca meydana gelmiş olan ölüm vakaları arasındaki ilişki Genelleştirilmiş Lineer Model (GLM) yöntemi kullanılarak araştırılmıştır.

Çizelge 5.1: Çalışmada yararlanılan hava kalitesi istasyonları, meteoroloji istasyonları ve hastaneler.

Tipi	No	Adı	Konumu
Hava Kalitesi	1	Esenler	Avrupa
Hava Kalitesi	2	Alibeyköy	Avrupa
Hava Kalitesi	3	Aksaray	Avrupa
Hava Kalitesi	4	Beşiktaş	Avrupa
Hava Kalitesi	5	Sarıyer	Avrupa
Hava Kalitesi	6	Yenibosna	Avrupa
Hava Kalitesi	7	Üsküdar	Anadolu
Hava Kalitesi	8	Kadıköy	Anadolu
Hava Kalitesi	9	Ümraniye	Anadolu
Hava Kalitesi	10	Kartal	Anadolu
Meteoroloji	1	Sarıyer	Avrupa
Meteoroloji	2	Florya	Avrupa
Meteoroloji	3	Göztepe	Anadolu
Hastane	1	Okmeydanı	Avrupa
Hastane	2	Şişli Etfal	Avrupa
Hastane	3	Numune	Anadolu
Hastane	4	Ümraniye	Anadolu

5.2 Metodoloji

Hava kirliliğinin insan sağlığı üzerindeki etkilerini ortaya çıkarmak amacıyla yapılan araştırmalar, çeşitli istatistiksel yöntemler kullanılarak verilerin incelendiği ve değerlendirildiği çalışmalardır (Tadano ve diğ., 2012).

Kirleticilerin sağlık üzerindeki etkileri (akut veya kronik), hava kirliliğine maruz kalma durumu (kısa veya uzun süre), vücudun gösterdiği tepkinin çeşidi (binary veya

devamlı) ve veri yapısı, yapılan çalışmalardaki istatistiksel yöntemlerin seçiminde ve kirleticilerin etkilerinin araştırılmasında göz önünde bulundurulacak başlıca faktörlerdir. Bu tip çalışmalarda genel olarak tercih edilen yöntem ise Regresyon modelleridir(Tadano ve diğ., 2012).

İnsanların kirliliğe maruz kalmaları, kirleticilerin zamansal ve mekansal dağılımına göre değişmektedir. Pek çok hava kirliliği çalışması, hava kirliliğine kişisel maruz kalma durumu yerine, ölçümü yapılan havadaki kirletici miktarlarından yararlanılarak gerçekleştirilmiştir. Bunun nedeni, her bir bireyin hava kirliliğine kişisel maruz kalma derecesinin hesaplanmasındaki zorluktur(Tadano ve diğ., 2012).

Hava kirliliğinin sağlık üzerindeki etkileri üzerine yapılan çalışmalar 4 gruba ayrılmaktadır: zaman serileri, case-crossover çalışmaları, panel çalışmaları ve grup çalışmaları. Zaman serileri, case-crossover ve panel çalışmaları kirliliğin akut etkilerinin araştırılmasında daha uygun iken, grup çalışmaları ise akut ve kronik etkilerin birlikte değerlendirildiği çalışmalardır(Tadano ve diğ., 2012).

5.2.1 Zaman serisi yöntemi

Hava kirliliğinin sağlık üzerindeki etkilerinin araştırıldığı çalışmalarda genel olarak tercih edilen yöntem zaman serisi yöntemidir. Bu yöntemin tercih edilmesinin başlıca sebebi, çalışma için gerekli olan sağlık verilerinin elde edilmesindeki kolaylıktır. Zaman serilerinin bir diğer avantajı ise, bu tip çalışmalarda günlük verilerin kullanılması ve yaşlılık ve sigara kullanımı gibi çeşitli faktörlerin neden olduğu etkilerin belirli tarihlere göre değişiklik göstermemesidir (Tadano ve diğ., 2012).

Genel olarak zaman serisi çalışmalarında, bir veya daha fazla sayıdaki bağımsız değişken (bağımsız, tahmini değişkenler veya eş değişkenler)($x_1, x_2, \dots, x_n$) ile bir adet bağımlı değişken (veya öngörülen değişken) arasındaki ilişkiyi değerlendirme açısından oldukça kullanışlı bir yöntem olması nedeniyle regresyon modelleri tercih edilmektedir. Hava kirliliğinin insan sağlığı üzerindeki etkilerinin araştırıldığı zaman serisi çalışmalarında kullanılan bağımlı değişkenler, Lineer olmayan değişkenlerdir (nonlineerlik). Bu nedenle, bu tip çalışmalarda genel olarak, parametrik spline'ların (ör. doğal kübik splinelar) kullandığı Genelleştirilmiş Lineer Modeller (GLM) ve parametrik olmayan spline'ların (smoothing splines veya lowess smoothers)

kullanıldığı Genelleştirilmiş aditif modeller (GAM) tercih edilmektedir (Tadano ve diğ., 2012).

Son on yılda yapılmış olan çalışmalarda en çok tercih edilen yöntem GAM modelleri olmuştur. Bunun nedeni, GAM modellerinin mevsimsellik, kısa vadeli trendler ve meteorolojik parametreler gibi regresyon modellerini etkileyen karıştırıcı faktörlerde parametrik olmayan ayarlamalar yapılabilmesine imkan vermeleridir. Ayrıca GAM'lar, GLM gibi parametrik splaynlara sahip olan tam parametrik modellere göre daha esnek bir yaklaşım sunmaktadır. Bununla birlikte, son zamanlarda S-Plus gibi istatistiksel yazılımlarda kullanılmakta olan GAM uygulamaları ile ilgili çeşitli soru işaretleri ortaya çıkmıştır (Tadano ve diğ., 2012).

Dominici ve diğ.,'nin 2000 yılında GAM modelini kullanarak gerçekleştirdikleri Ulusal Hastalık, Ölüm ve Hava Kirliliği Çalışması (NMMAPS) isimli araştırmalarının sonuçlarını tekrar değerlendirmek amacıyla yaptıkları 2002 tarihli araştırma, bu açıdan önemlidir. Gerçekleştirilen bu yeni çalışmada üç farklı regresyon yöntemi kullanılarak önceki araştırmada kullanılan verilerin yeni bir değerlendirilmesi yapılmıştır. Karşılaştırılan yöntemler şunlardır: Doğal kübik splaynlara sahip Genelleştirilmiş Lineer Model (GLM), düzgünleştirme splaynlarına ve varsayılan yakınsama parametrelerine sahip Genelleştirilmiş Toplamsal Model (GAM) ve düzgünleştirme splaynlarına ve varsayılan ayarlardan daha sıkı yakınsama parametrelerine sahip Genelleştirilmiş Toplamsal Model (GAM) (Tadano ve diğ., 2012).

Araştırmacıların üç farklı yöntemden elde ettikleri sonuçlara göre, doğal kübik splaynlara sahip GLM yöntemi ile elde edilen tahminler, düzgünleştirme splaynlarına ve varsayılan yakınsama parametrelerine sahip GAM yöntemi ile elde edilen tahminlere göre gerçek bağıl oranları daha iyi tespit etmiştir. Diğer taraftan araştırmacılar parametrik olmayan düzgünleştiricilere sahip GAM yönteminin daha esnek bir yapıya sahip olmakla birlikte, modelin uygulanması esnasında son derece dikkatli olunması gerektiğini belirtmişlerdir (Tadano ve diğ., 2012).

Bu sonuçlar göz önünde bulundurularak bu araştırmada Poission regresyonlu GLM yöntemi kullanılmış ve bir zaman serisi çalışması oluşturmak için takip edilmesi gereken tüm adımlar sırasıyla açıklanmaya çalışılmıştır.

5.2.2 Genelleştirilmiş lineer model (GLM)

İstatistiksel analiz yöntemleri, Lineer regresyon modellerinde bağımlı değişkenin normal dağıldığı varsayımına dayanır. Bağımlı değişkenin sürekli olmadığı durumları analiz etmek için ise genelleştirilmiş modeller kullanılmaktadır. Bu gibi durumlarda bağımlı değişken sürekli değildir. Bununla birlikte, değişkenleri sürekli olup da normal dağılım göstermeyen verilerde olabilmektedir. Genelleştirilmiş Lineer Modeller (GLM), bu tip verilerin analiz edilmesini sağlayan modellerdir. Genelleştirilmiş Lineer Model, bağımlı değişkenin kategorik olduğu durumlarda bağlantı fonksiyonu üzerinden ilişkileri 0-1 aralığına dönüştürerek risk değerlemede daha gerçekçi bir analizin yapılabilmesine olanak sağlar. Bu yaklaşımda, model parametrelerinin Maksimum Olabilirlik (maximum likelihood) tahmini için, iteratif ağırlıklandırılmış en küçük kareler yöntemini kullanılır (Merih, 2010).

GLM modeli temel olarak üç bileşenden meydana gelir:

1. Üstel yapıda bir olasılık dağılımı
2. Bir $\eta = X\beta$ lineer kestirimcisi
3. Bir g link fonksiyonu. $E(Y) = \mu = g^{-1}(\eta)$ koşulu ile.

Burada önemli olan bileşen, 3 numaralı link fonksiyonudur. Bu fonksiyonun yardımı ile kestirimci ile bağımsız değişkenin beklenen değeri arasında standart bir ilişki oluşturulmaktadır. Bu görevi yapacak çeşitli link fonksiyonu çeşitleri söz konusudur. Bunların seçimi modelin yapısı ile uyumlu olmalıdır (Merih, 2010). Her dağılımın $\eta = \theta_i$ olduğu durumlarda sahip olduğu özel bir link fonksiyonu bulunmaktadır. Burada θ_i , lokal veya kurallı parametredir. Çizelge 5.2, eksponansiyel ailesine ait bazı dağılımlar için olan kurallı fonksiyonları göstermektedir (Tadano, 2012).

Hava kirliliğinin insan sağlığı üzerindeki etkilerini inceleyen pek çok çalışmada Poisson regresyonlu GLM yöntemleri tercih edilmiştir. Poisson regresyonlu GLM yöntemi, yalnızca negatif olmayan bir tamsayı olan açıklayıcı değişken "y" (ölüm veya hastalık) ile "x1, x2, ..., xn" (kirlenici konsantrasyonu, meteorolojik değişkenler, vb.) gibi açıklayıcı değişkenlerinden meydana gelir.

Çizelge 5.2: Ekspansiyel ailesine dahil bazı dağılımların kurallı link fonksiyonları (Tadano, 2012).

Dağılım	Kurallı Link Fonksiyonu(η)
Normal	μ
Poisson	$\ln(\mu)$
Binom	$\ln\{\mu/(1-\mu)\}$
Gama	μ^{-1}
Ters Gausyan	μ^{-2}

Poisson Regresyonlu Genelleştirilmiş Lineer Modelin uygulanabilmesi için aşağıda belirtilen dört adımın takip edilmesi gerekmektedir:

- 1) Veritabanının oluşturulması,
- 2) Zamansal trendlerin düzeltilmesi,
- 3) Uygun modelin belirlenmesi,
- 4) Sonuçların analizi.

Her adımın detayları aşağıda sırasıyla açıklanmıştır.

5.2.3 Veri tabanı

Hava kirliliğinin insan sağlığı üzerindeki etkilerinin Poission regresyonlu GLM yöntemi ile araştırıldığı zaman serisi çalışmaları, çeşitli verilerden yararlanılarak hazırlanmaktadır. Genel olarak tercih edilen veriler şu şekilde sıralanabilir: hava kirliliği verileri, meteorolojik veriler, sağlık problemiverileri ve değişimlerde etkisi olan çeşitli faktörlere ait veriler. Çalışmada kullanılan verilerin günlük olması ve mevsimsel trendlerin yakalanabilmesi için verilerin en az iki yıllık olması gerekmektedir (Tadano ve diğ., 2012).

Kirletici madde konsantrasyonları, genel olarak sabit hava kirliliği gözlem istasyonlarından elde edilir. Genelde tercih edilen meteorolojik ölçüm verileri ise sıcaklık (veya çiğ noktası sıcaklığı) ve bağıl nemdir(Tadano ve diğ., 2012).

Araştırmada kullanılan sağlık sorunun çeşidi araştırmanın amacına göre değişmektedir. Örneğin, bazı çalışmalarda hasta sayısı (morbidite) kullanılırken, bazı çalışmalarda ise ölen hasta sayısından (mortalite) yararlanılmaktadır. Sağlık sorunu, hastalık tipine (solunum veya kalp-damar hastalıkları), yaşa (çocuk, genç ve yaşlı) veya ilgili başka bir faktöre göre çeşitli sınıflara ayrılabilir. Değişimlerde etkisi olan faktörler ise uzun dönemli (örn. mevsimsellik) veya kısa dönemli (haftanın günü, tatil günü, vb.) faktörler olabilmektedir (Tadano ve diğ., 2012).

5.2.4 Geçici (zamansal) trendlerin düzeltilmesi

Epidemiyolojik çalışmaların ortak bir özelliği, karıştırıcı faktörler ve ortak değişkenler arasındaki korelasyonlar nedeniyle ortaya çıkan sapmalardır. Bu tip sapmaların verilerin içerisinden tamamıyla ayıklanması ise mümkün değildir (Tadano ve diğ., 2012).

Epidemiyolojik çalışmalar, çeşitli risk faktörlerine bağlı olarak ortaya çıkan bir hastalığın nedenlerini araştıran çalışmalardır. Çalışmada incelenen hastalığın ortaya çıkış nedenleri haricinde, o hastalığın ortaya çıkmasına neden olabilecek başka faktörler de hastanın bulunduğu ortamda bulunabilmektedir. Bu faktörlerin yeterince çok olması durumunda, çalışma sonucunda ortaya çıkarılan hastalık nedenleri ve hastalık arasındaki ilişki gerçeği yansıtmayabilir. Sapmaya neden olan bu faktörlere karıştırıcı faktörler denilir (Tadano ve diğ., 2012).

Örneğin, kahve içiciliği ve akciğer kanseri arasındaki ilişkiyi inceleyen bir çalışmada, kahve içen kişiler aynı zamanda sigara da içmekteyse ve hastaların sigara içme durumu göz önünde bulundurulmuyorsa, bu durumda akciğer kanseri ile sigara içiciliği arasındaki ilişki göz ardı edilmiş olacaktır. Sonuç olarak, akciğer kanseri ile kahve içiciliği arasında bulunan anlamlı bir ilişki yanıltıcı olabilir. Ancak böyle bir çalışmada sigara içiciliği karıştırıcı faktör olarak tanımlandığı takdirde, karıştırıcı faktörün çalışma sonucunu etkilemesinin önüne geçilebilir.

Hava kirliliğinin insan sağlığı üzerindeki etkilerini araştıran çalışmalarda bulunan karıştırıcı faktörler, ortaya çıktıkları kaynağa göre genellikle ölçülen ve ölçülmeyen faktörler olarak ikiye ayrılmaktadır. Ölçümü yapılan karıştırıcı faktörlerden olan meteorolojik parametreler (sıcaklık, çiğ noktası sıcaklığı, nem, vb.), bu tür çalışmalar içinde ayrı bir önem taşımaktadır. Bunun nedeni, sıcaklık ve ölümler arasında mevsimlere göre değişen pozitif veya negatif bir ilişkinin bulunabilmesidir.

Ölçülmeyen karıştırıcı faktörler ise, sağlık sorunu üzerinde etkileri olan ve havada bulunan kirleticilere benzer bir zamansal değişkenliğe sahip olan faktörlerdir. Grip ve solunum yolu enfeksiyonları bu tarz karıştırıcı faktörlerdir (Peng ve diğ., 2006).

5.2.5 Mevsimsellik

Zaman serisi çalışmalarındaki öncelikle dikkat edilmesi gereken nokta, kirlilik ve sağlık verilerine benzer bir biçimde zaman içinde değişim gösteren faktörler nedeniyle ortaya çıkabilen karışıklıklardır. Bu faktörlere genel olarak mevsimsellik adı verilmektedir. Mevsimlere bağlı olarak ortaya çıkan trendlerin düzeltilmesi için genellikle tercih edilen yaklaşım, zamanın düzgün fonksiyonunu (smooth function) içeren semiparametrik modellerdir. Günümüzde kullanılan çeşitli trend düzeltme yöntemleri şu şekilde sıralanabilir: Düzeltme splaynları, penalize splaynlar, parametrik (doğal kübik) splaynlar ve daha az tercih edilen LOESS düzelticileri veya harmonik fonksiyonlar. Splayn fonksiyonları, lokal ve ani değişikliklere sahip olan fonksiyonların davranışları için bir yaklaşım sağlayan fonksiyonlardır. GLM yönteminde eğrileri düzgünleştirmek için en çok tercih edilen splayn türü doğal kübik splaynlardır, diğer türler ise genellikle GAM yönteminde tercih edilmektedir (Tadano ve diğ., 2012).

Splaynların kullanılması, tüm veritabanı için tek bir polinom olması yerine, polinom fonksiyonlarının tanımlanan her bir aralık için temin edilmesini sağlamaktadır. Doğal kübik splaynlar, veri aralığı boyunca bulunan sabit yerlerde iki düğüm noktası arasındaki her aralık için elde edilen üçüncü dereceden polinomlara dayanmaktadır. Düğüm (knots) noktalarının seçimi, elde edilen düzgün (smooth) üzerinde önemli bir etkiye neden olabilmektedir. Doğal splaynlar için yıl başına 1 ila 4 değerleri arasında bir özgürlük derecesi tercih edildiği takdirde, sapmanın düştüğünü ve 4'ten sonra ise düzgün bir hale geldiğini ortaya konmuştur. Bu nedenle, yapılan çalışmalarda yıl başına en az 4 özgürlük derecesinin kullanılması önerilmektedir. Benzer bir şekilde, hava kirliliği ile ölümler (mortalite) (veya hastalıklar (morbidity)) arasındaki ilişkileri araştıran zaman serisi çalışmalarında genellikle tercih edilen düğüm sayısı yıl başına 4 ila 6'dır. Bunun sebebi, değişkenlerin mevsimlere göre gösterdikleri farklı davranışlar nedeniyle ortaya çıkan mevsimsel trendlerdir. Araştırma sonuçları, hem tam parametrik hem de parametrik olmayan yöntemlerin iyi bir performans gösterdiklerini ve her iki yöntemin de tercih edilebileceğini ortaya koymuştur.

Yapılan bir simülasyon çalışmasından alınan duyarlılık analizinin sonuçlarına göre, hem doğal splayn yaklaşımının, hem de penalize splayn yaklaşımının log bağlı oranının tahmininde herhangi bir sistematik sapma üretmediği ortaya çıkmıştır. Zamanın düzgün fonksiyonları (smooth functions), yalnızca mevsimsellik gibi zamanla düzgün bir şekilde değişim gösteren potansiyel karıştırıcı faktörleri açıklamaktadır. Diğer taraftan, haftanın günü ve tatil günleri gibi kısa zaman dilimlerinde değişim gösteren bazı potansiyel karıştırıcılar da hava kirliliği ve sağlık sorunları arasındaki ilişkilerde karışıklık yaratmaları nedeniyle önem taşımaktadır (Tadano ve diğ., 2012).

5.2.6 Haftanın günleri ve tatil günleri

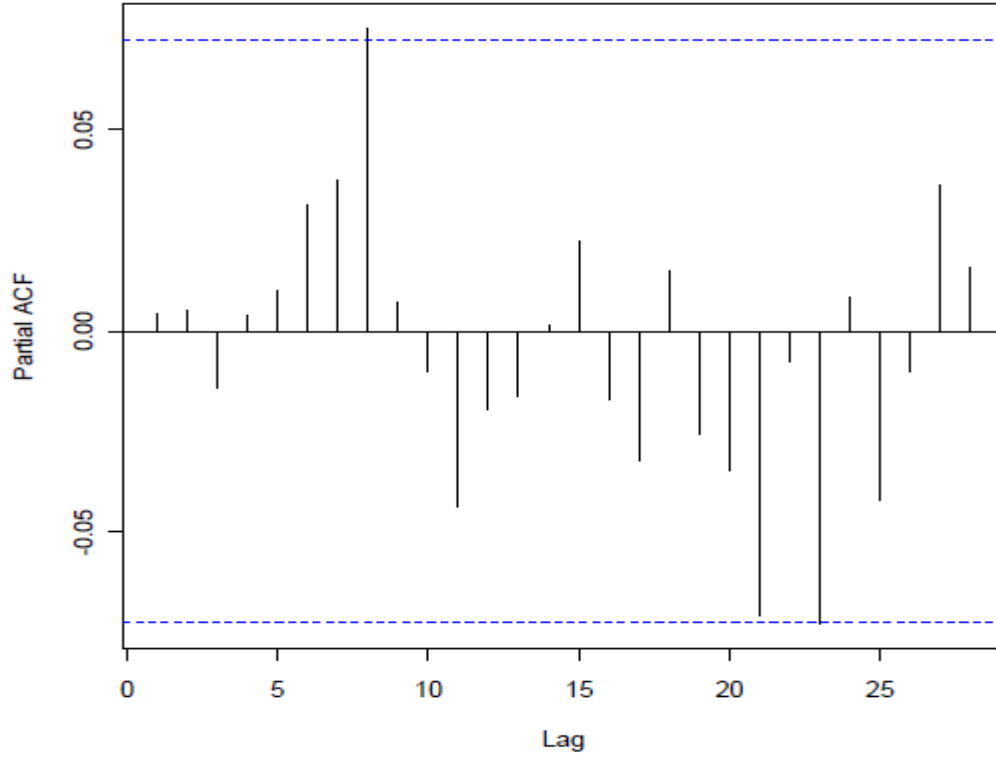
Hava kirliliği ve ölümler (mortalite) (veya hastalıklar (morbidity)) arasındaki ilişkileri inceleyen zaman serisi çalışmalarında, sapmalara neden olabilen önemli potansiyel karıştırıcı faktörlerden birisi de kısa zaman aralıklarına sahip olan haftanın günleri ve tatil günleri gibi faktörlerdir. Bu trendlerin zaman serisi içerisinde çok önemli bir yeri olmamakla birlikte, sık ortaya çıkmaları nedeniyle kontrol edilmeleri gerekmektedir. Örneğin, hafta sonları ve tatil günlerinde hastanelere yapılan başvuru sayıları hafta içi yapılan başvuru sayılarından az olmaktadır.

Haftanın günlerine ait trende göre bir düzeltme yapılabilmesi için uygulanabilecek yöntemlerden birisi, oluşturulan modele haftanın her gününe ait (1'den 7'ye giden) nitel açıklayıcı bir değişkenin eklenilmesidir. Tatil günleri için yapılabilecek ayarlama ise, modele tatil günlerini belirtecek bir binom açıklayıcı değişken eklenilmesidir. Bu durumda, 1 rakamı tatil günlerini belirtirken, 0 rakamı ise iş günlerini belirtecektir. Bazı kısa vadeli trendler, ilk gün ile önceki gün verileri arasında otokorelasyona yol açabilmektedir. Bu durumda kısmi otokorelasyon fonksiyonları kullanılmaktadır (Tadano ve diğ., 2012).

5.2.7 Kısmi otokorelasyon fonksiyonları

Haftanın günleri ve tatil günleri gibi bazı kısa vadeli trendler, yapılan düzeltmelere rağmen ilk gün ile önceki gün verileri arasında otokorelasyona yol açabilmektedirler. Bu tip bir zaman trendini analiz etmenin yöntemlerinden birisi de, kısmi otokorelasyon fonksiyonunun (Partial ACF), gecikme günlerine (lag) göre grafiğini çizdirmektir (Tadano ve diğ., 2012).

Şekil 5.2'de olduğu gibi, kısmi otokorelasyon fonksiyonuna ait grafikte, artık değerlerin $-2n^{-1/2}$ ile $2n^{-1/2}$ (kesikli çizgiler) arasında değerler alacak şekilde, mümkün olduğunca küçük olması gerekmektedir(Tadano ve diğ., 2012).Şekle göre, veri içerisinde 5. günden daha erken bir tarihte otokorelasyona rastlanmamaktadır(Tadano ve diğ., 2012).



Şekil 5.2: Kısmi otokorelasyon fonksiyonunun (Partial PCF), gecikme günlerine göre olan grafiği (Tadano ve diğ., 2012).

Hava kirliliği ile ilgili olan epidemiyolojik çalışmalarda önem taşıyan otokorelasyonlar, ilk beş gün içerisinde meydana gelen otokorelasyonlardır. Bunun nedeni, sağlık problemlerinin sayısının haftasonları ve tatil günlerinde azalmasıdır. Veritabanı otokorelasyonlar içerdiği takdirde, oluşturulan modelin artık değerleri de içerecek şekilde otokorelasyonları göz önünde bulundurması gerekir (Tadano ve diğ., 2009).

R veya S-Plus dillerinde, modelin içerisine dahil edilmesi gereken artık değerler çalışan artık değerlerdir (working residuals). Bu artık değerler, glm komutu ile elde edilebilmektedir(Tadano ve diğ., 2012).

5.2.8 Akaike bilgi kriteri (AIC)

Poission regresyonlu Genelleştirilmiş Lineer Modeli, tüm zaman trendlerini ve açıklayıcı değişkenleri de dahil ederek düzenledikten sonra, ortaya çıkan modelin, elimizdeki veritabanına uygulanacak en iyi model olduğundan emin olmak için test edilmesi gerekmektedir(Tadano ve diğ., 2012).

Hava kirliliği ile ilgili epidemiyolojik çalışmalarda, ilk günkü hava kirliliği konsantrasyonları ile bir gün, iki gün ve hatta on gün sonra ortaya çıkan sağlık sorunları arasında bir ilişki bulunabilmektedir. Bu nedenle araştırmacılar kullandıkları modeli aynı veritabanına ait olmak üzere farklı düzenlemelerle çeşitli özgürlük dereceleri (degrees of freedom) için uygularlar. Daha sonra yapılan uygulamalar arasında veritabanına en uygun olan model seçilir. En uygun seçeneği belirlemek için kullanılan kriterlerden birisi de Akaike Bilgi Kriteridir (AIC). Uygulanan modeller arasında AIC değeri en küçük olan model uygun model olarak seçilir(Tadano ve diğ., 2012).

5.2.9 Varyans analizi (ANOVA veya F) testi

Veritabanına en uygun olan ve hava kirliliği ile sağlık problemi arasındaki ilişkiyi en iyi yansıtan modeli belirledikten sonra, sıra bu ilişkinin derecesini gösteren bir testin uygulanmasına gelir. Bu teste, varyans analizi (ANOVA) veya F testi denilmektedir. ANOVA bağımsız değişkenlerin kendi aralarında nasıl etkileşime girdiklerini ve bu etkileşimlerin bağımlı değişken üzerindeki etkilerini analiz etmek için kullanılan bir yöntemdir. ANOVA Çizelgesi içerisindeki F istatistiği ile, model parametrelerinin (katsayıların) anlamlı olup olmadığı test edilmektedir. Anlamlılığı test eden F testinin hipotezi aşağıdaki gibidir(Tadano ve diğ., 2012).

$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots = \mu_N$: Yani katsayılar arasında fark yoktur.

H_A : Katsayılardan en az ikisi arasında anlamlı fark vardır.

F testi sonucunda elde edilen p değeri, $p < 0,05$ olduğu takdirde, H_A hipotezi kabul edilir. Bu durumda, kirlenici parametrenin sağlık problemi üzerinde anlamlı bir etkisi olduğu kabul edilir(Tadano ve diğ., 2012).

5.2.10 Rölatif risk

Yapılan çalışma sonucunda, hava kirliliği konsantrasyonu ile sağlık problemi arasında anlamlı bir ilişki bulunduğu takdirde sıra rölatif risk yardımı ile çeşitli analizlerin yapılmasına ve çıktıların elde edilmesine gelir. Rölatif risk (RR) (istatistikçiler tarafından bir oran olarak adlandırılır) hava kirliliğinin insan sağlığı üzerindeki etkisini hesaplamak için kullanılan bir ölçüttür (Tadano ve diğ., 2012).

Rölatif Risk, 1'den büyük olduğu takdirde sağlık problemi ile sebep arasında bir ilişki bulunmaktadır. Rölatif Risk, 1'den yükseldikçe sağlık problemi ile sebep arasındaki ilişkinin gücü yükselir. Relatif Risk, 1'den küçük olduğu takdirde sağlık problemi ile sebep arasında bir ilişki bulunmamaktadır (Tadano ve diğ., 2012).

Örneğin, (x) miktarında PM10 konsantrasyonuna maruz kalan bir kimsenin kalp-damar hastalıkları nedeniyle ölme ihtimali, bu kirliliğe maruz kalmamış olan bir kişiye göre $RR(x)$ kat daha yüksektir denilebilir. Örneğe devam edecek olursak, 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 'lük PM10 konsantrasyonuna ait $RR(x) = 2$ değeri, PM10 konsantrasyonuna maruz kalan bir kişinin kalp-damar hastalıkları nedeniyle ölme ihtimalinin, maruz kalmamış bir kişiye göre iki kat daha fazla olduğunu göstermektedir (Tadano ve diğ., 2012).

5.2.11 Çalışmada kullanılan program

Çalışmada, uygulanan Genelleştirilmiş Lineer Modelin (GLM) oluşturulması ve hesaplamalarının yapılması amacıyla, Yeni Zelanda Auckland Üniversitesi'nden Ross Ihaka ve Robert Gentleman tarafından 1993 yılında geliştirilmiş olan R istatistiksel hesaplama programı kullanılmıştır. R'nin yetenekleri kullanıcılar tarafından eklenen paketlerle geliştirilmektedir. Bu paketler belli uzmanlık alanlarıyla ilgili teknikler, gelişmiş grafik özellikleri, birçok harici dosya biçimini okuma ve yazma yeteneği gibi birçok özelliği R'ye kazandırmaktadır. Bu çalışmada, Genelleştirilmiş Lineer modelin (GLM) oluşturulması ve hesaplamalarının yapılması amacıyla R'in splines ve dlnm paketleri kullanılmıştır. Uygun formatta veri girildikten sonra çalıştırılan R programı; GLM modelini oluşturmakta, çıktı değerlerini hesaplamakta ve grafikleri oluşturmaktadır.

5.3 Tanımlayıcı Analiz ve Modelin Oluşturulması

Hava kirliliğinin insan sağlığı üzerindeki etkilerinin incelendiği zaman serisi çalışmalarında genel olarak var olan uzun vadeli trend, mevsimler nedeniyle ortaya çıkan trendtir. Çalışmamızda var olan mevsimsellik trendi, GLM yönteminde en çok tercih edilen parametrik düzgün tipi olandoğal kübik splayn olarak kabul edilmiştir.

Bu çalışmada kullanılan değişkenlerin tanımlayıcı analizi Çizelge 5.3'te verilmiştir. Çalışmada günlük veriler kullanılmıştır.

Çizelge 5.3: 2007-2012 yılları arasında,kirleticilerin (PM₁₀, NO₂ ve SO₂), meteorolojik değişkenlerin (sıcaklık ve bağıl nem) ve sebeplerine göre ölümlerin (kalp-damar, solunum yolları ve kaza dışı tüm ölümler) tanımlayıcı analizi.

Değişken	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
PM10	54.9	24.7	13.8	229.3
NO2	60.4	26.3	12.3	290.4
SO2	7.9	6	1.4	48.5
Sıcaklık	15.3	7.2	-1.6	28.6
Nem	74.8	9.5	44.6	98.2
Kalp-Damar	1.7	1.5	0	8
Solunum yolları	0.6	0.8	0	4
Kaza dışı tüm ölümler	6.1	2.7	0	17

Doğal kübik splaynın Poisson regresyonlu GLM'de uygulanması amacıyla, altı yıllık verideki günler adedince 1'den 2192'ye kadar uzanan bir açıklayıcı değişken modele eklenmiştir.Epidemiyolojik çalışmalarda genel olarak göz önünde bulundurulanan kısa vadeli trendler, haftanın günleri ve tatil günleri trendleridir. Bu çalışmada

bulunan haftanın günü değişkeni, pazartesi günü başlayan ve 1'den 7'ye kadar uzanan rakamsal bir değişken olarak kabul edilmiştir. Çalışmamızda incelenen sağlık sorunu çeşidinin ölümler olması nedeniyle, modelimize tatil günü değişkeni ilave edilmemiştir. Bunun sebebi, ölüm olaylarının hastanelerde haftasonu veya hafta içi günleri farketmeyecek şekilde meydana gelebilme ihtimalidir. Veritabanının hazırlanmasından sonra, R yazılımı yardımıyla oluşturulan Poisson regresyonlu GLM, 5.1 denkleminde verilmiştir. Verilen denklem ve bundan sonra yapılacak olan işlemler örnek olması amacıyla PM10 kirleticisi ile yapılmıştır. Bu denklemde, *modelim* = analize verilen isim, *ns* = doğal kübik splayn, *df* = özgürlük derecesi, *model_verisi* = veritabanı dosyasına verilen isim, *hg* = haftanın günü, *S* = sıcaklık, *BN* = bağıl nem ve *PM10* = kirletici türünün isimidir.

$$\begin{aligned} \text{modelim} &= \text{glm}(\text{kalp} \sim \text{ns}(\text{day}, \text{df}) + \text{as.factor}(\text{hg}) + S + BN + PM10, \\ &\text{data} = \text{model_verisi}, \text{family} = \text{poisson}, \text{na.action} = \text{na.omit}) \end{aligned} \quad (5.1)$$

Oluşturulan modelin uygulanması sırasında verilemesi gereken önemli bir karar ise, çalışmadaki günlere ait doğal kübik splaynların sahip olacağı özgürlük derecesi (*df*) miktarıdır. Hava kirliliği ile ilgili olan epidemiyolojik çalışmalarda genellikle tercih edilen değerler dört, beş veya altı özgürlük derecesidir. Hangi özgürlük derecesinin tercih edileceğini belirlemek amacıyla, 5.1 numaralı denklem sırasıyla dört, beş ve altı özgürlük dereceleri ile denenmiştir. Çıkan sonuçların karşılaştırması, Çizelge 5.4'te gösterildiği gibi Akaike Bilgi Kriteri (AIC) yöntemi kullanılarak yapılmıştır.

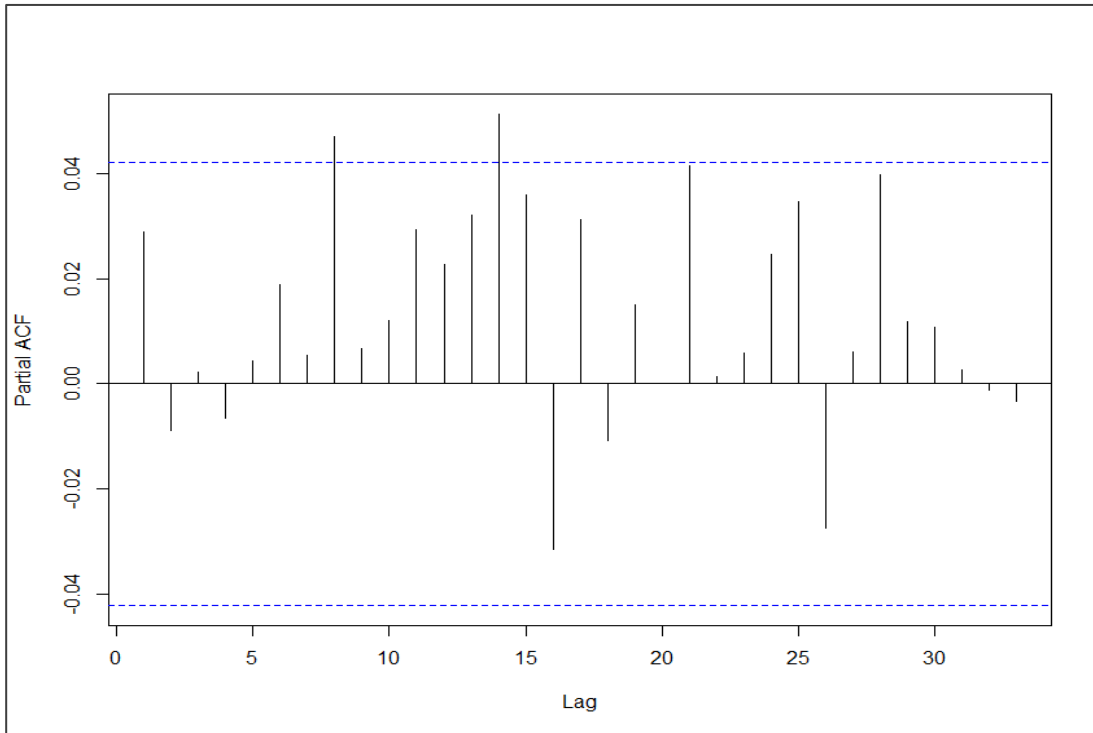
Çizelge 5.4: Modelin farklı özgürlük dereceleri ile karşılaştırılması.

Yıl başına düşen df miktarı	AIC
4	6986
5	6973
6	6979

Çizelge 5.2'de verilen sonuçlara göre, yıl başına 5 özgürlük derecesine sahip olan model en düşük AIC değerine sahip olan ve dolayısıyla veriye en uygun olan modeldir. Bu nedenle, yapılacak olan analizlerde 5 değeri kullanılacaktır.

Bu çalışmada göz önünde bulundurulan kısa vadeli trendin (haftanın günleri), ilk günlük veri ile önceki günler arasında otokorelasyona neden olabilme ihtimali vardır. Bu nedenle kısmi otokorelasyon fonksiyonunun (Partial ACF), gecikme günlerine (lag) göre grafiğini çizdirmek ve analiz etmek gerekmektedir. Çizdirilen grafikte, gecikme günlerine ait çizgilerin, beşinci gecikme gününe kadar $-2n^{-1/2}$ ve $2n^{-1/2}$ sınırları arasında kalması gerekir.

5 özgürlük derecesine sahip olan modele ait kısmi otokorelasyon grafiği şekil 5.3'te verilmiştir. Şekle göre, gecikme günlerine ait çizgiler ilk beş gün boyunca sınır çizgilerinin altında kalmışlardır. Dolayısıyla modelimizde otokorelasyon bulunmamaktadır.



Şekil 5.3: Modele ait kısmi otokorelasyon fonksiyonunun (Partial PCF), gecikme günlerine göre olan grafiği.

Poisson regresyonlu GLM'yi, tüm zaman trendlerini ve açıklayıcı değişkenleri içerecek şekilde ayarladıktan ve veriye en uygun olan özgürlük derecesini belirledikten sonra, oluşturulan model ANOVA testi ile test edilmiştir. Bu testin

amacı, modelin yapılacak olan vaka çalışması için doğru model olduğundan emin olmaktır. ANOVA (F) testinin sonuçlarına göre, PM10 için anlamlılık $p = 0,0254 < 0,05$ bulunmuştur. F testi sonucunda PM10 için elde edilen p değeri, $p < 0,05$ olduğundan, HA hipotezi kabul edilir. Bu sonuca göre, PM10 konsantrasyonlarının kalp-damar hastalıkları nedeni ile meydana gelen ölümler üzerinde anlamlı bir etkisi bulunmaktadır.

Bu aşamadan sonra, oluşturulan Poisson regresyonlu genelleştirilmiş Lineer modelin (GLM), farklı kirleticiler ve farklı ölüm nedenleri ile uygulamaları yapılacaktır. Bu uygulamalarda, İstanbul'da 2007-2012 yılları arasında ölçülen hava kirliliği konsantrasyonlarını (PM_{10} , NO_2 ve SO_2) ile aynı dönem içerisinde meydana gelen ölümler arasındaki ilişki araştırılacaktır.

6. ANALİZ SONUÇLARI

Bu bölümde, İstanbul'da 2007-2012 yılları arasında meydana gelen ölümler üzerindeki PM₁₀, NO₂ ve SO₂ kirleticilerinin etkisini ortaya çıkarmak ve analiz etmek amacıyla, model yardımıyla 10 günlük gecikmeli etki süresini (lag) dikkate alarak rölatif risk (RR) değerleri hesaplanmıştır. Çalışmamızdaki ölüm verileri, kaza sonucu meydana gelen ölümler hariç tutularak hastalık nedenlerine göre üç kategoriye ayrılmıştır: kalp-damar (kardiyovasküler) hastalıkları (ICD-10: I00-I99), solunum sistemi hastalıkları (ICD-10: J00-J98) ve kaza dışı tüm ölümler (ICD-10: A00-R99). Rölatif Risk, 1'den büyük olduğu takdirde sağlık problemi ile sebep arasında bir ilişki bulunmaktadır. Rölatif Risk, 1'den yükseldikçe sağlık problemi ile sebep arasındaki ilişkinin gücü yükselir. Relatif Risk, 1'den küçük olduğu takdirde sağlık problemi ile sebep arasında bir ilişki bulunmamaktadır.

İlk olarak, PM₁₀ konsantrasyonunda meydana gelen 10 µg/m³'lük bir artışa denk gelen rölatif risk değerleri hesaplanmış ve grafiksel olarak gösterilmiştir. Daha sonra aynı işlemler sırasıyla NO₂ ve SO₂ kirleticileri için yapılmıştır.

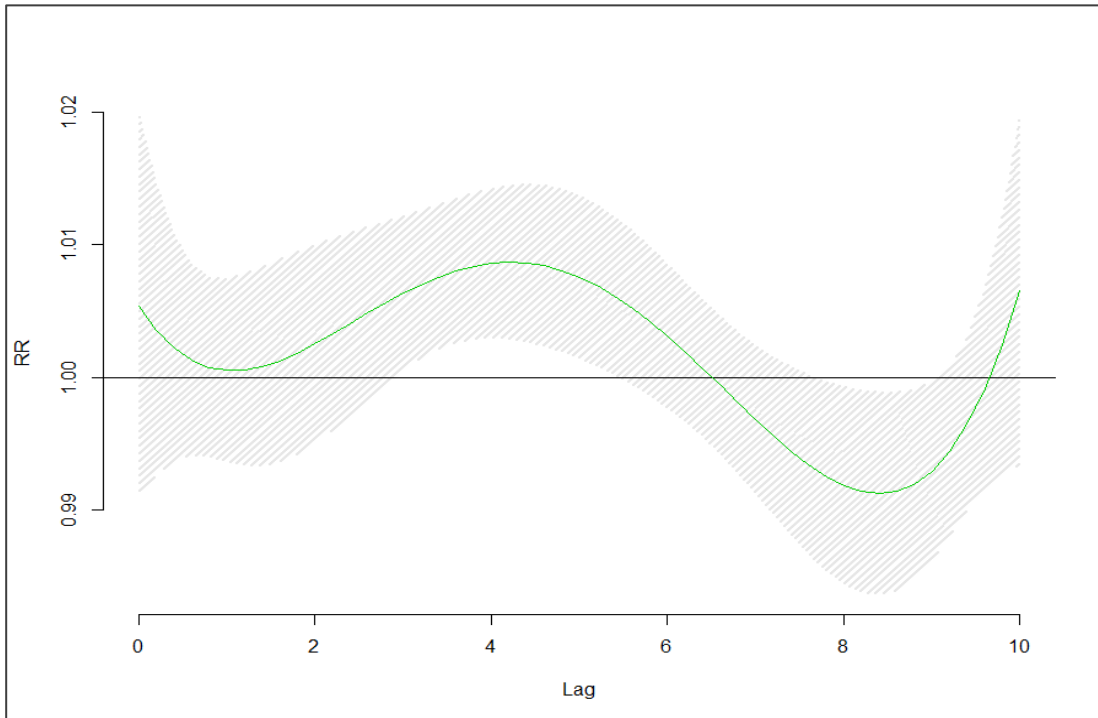
6.1 Kalp-Damar Hastalıkları Nedeniyle Meydana Gelen Ölümler

6.1.1 Partikül maddenin (PM₁₀) etkisi

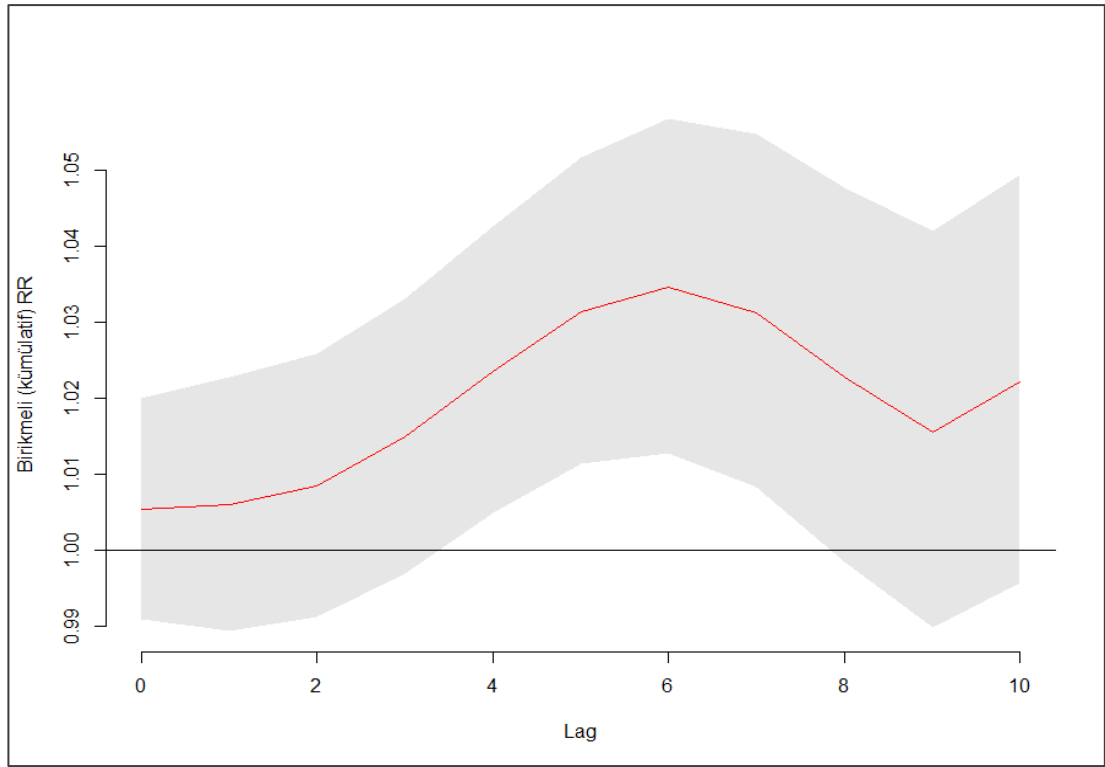
Şekil 6.1'de verilen on günlük gecikme (lag) eğrisi, belirli bir gündeki 10 µg/m³ 'lık PM₁₀ artışına maruz kalan bir kimsenin sahip olacağı kalp-damar hastalıklarına bağlı ölüm riskini, rölatif risk (RR) olarak %80 güven aralığında göstermektedir. Bu şekle göre, kirliliğe ilk maruz kalınan güne (lag 0) ait yüksek ölüm riski, ertesi gün (lag 1) düşmekte, daha sonra risk artarak dördüncü günde (lag 4) maksimuma ulaşmaktadır. Şekle göre dördüncü güne ait RR değeri 1.0086 'dır. Yani dördüncü güne ait ölüm riski %0,86'dır. Altıncı günden sonra sıfırın altına düşen ölüm riski, onuncu güne doğru tekrar artarak pozitif bir değer almaktadır.

Şekil 6.2, her gün aynı miktarda artan PM_{10} konsantrasyonuna maruz kalan bir kişinin, belirli bir günde sahip olacağı ölüm riskini göstermektedir. Diğer bir ifadeyle, on gün boyunca PM_{10} konsantrasyonunda meydana gelen 10 birimlik artışın belirli bir günde neden olacağı birikimli etkiyi göstermektedir. Model sonuçlarına göre, her gün $10 \mu g/m^3$ 'lık PM_{10} artışına maruz kalan bir kimsenin onuncu gün sonunda sahip olacağı kalp-damar hastalıklarına bağlı ölüm riski $RR=1.022$, yani %2,2 'dir.

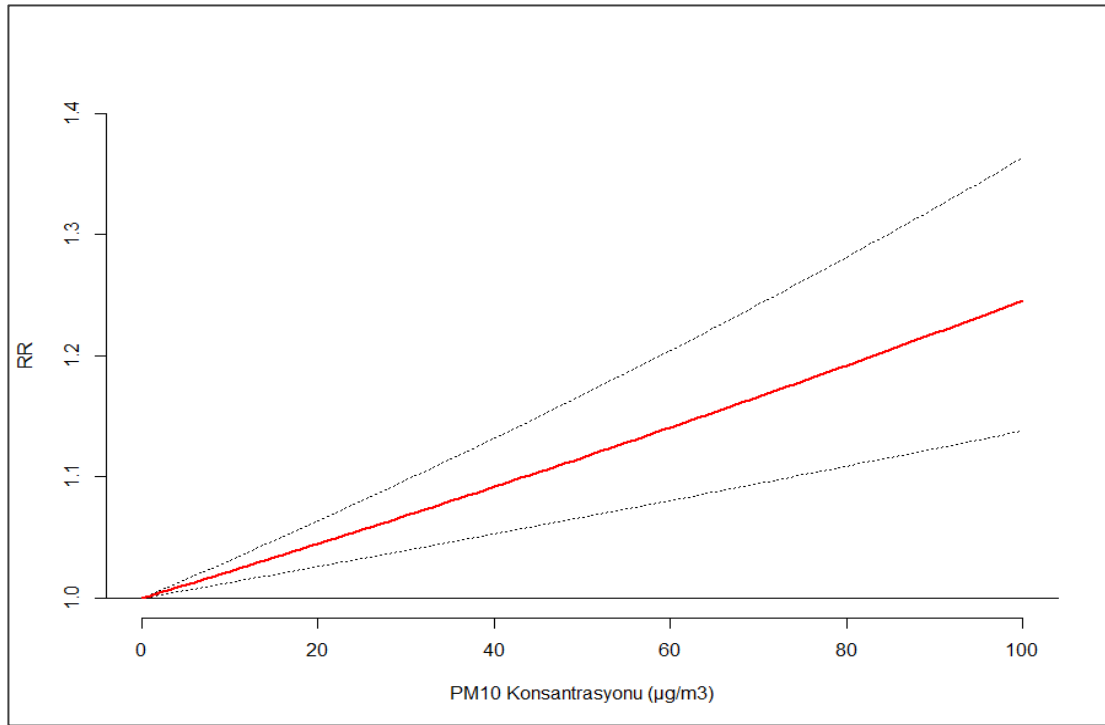
Şekil 6.3, model tarafından on günlük gecikmeli etkiyi göz önünde bulundurarak hesaplanan, artan PM_{10} konsantrasyonlarına bağlı olarak değişen rölatif risk değerlerini göstermektedir. Şekilden görülebileceği gibi, rölatif risk (RR) ile PM_{10} konsantrasyonu arasında Lineer (lineer) bir ilişki bulunmaktadır. Bu durum, PM_{10} miktarı yükseldikçe RR değerinin de arttığını göstermektedir. Örneğin, PM_{10} konsantrasyonu $10 \mu g/m^3$ 'dan $100 \mu g/m^3$ 'a yükseldiği takdirde, rölatif risk de %22 artacaktır. Buna göre, normal seviyeden on kat yüksek PM_{10} konsantrasyonuna maruz kalan bir kimsenin, onuncu gün sonunda sahip olacağı kalp-damar hastalıklarına bağlı ölüm riski seviyesi normalden %22 daha yüksek olacaktır.



Şekil 6.1: PM_{10} miktarındaki $10 \mu g/m^3$ 'lık bir artışın kalp-damar hastalıklarına bağlı ölümler üzerindeki gecikmeli etkisi.



Şekil 6.2: PM₁₀ miktarındaki 10 µg/m³ ‘lık bir artışın kalp-damar hastalıklarına bağlı ölümler üzerindeki birikimli etkisi.



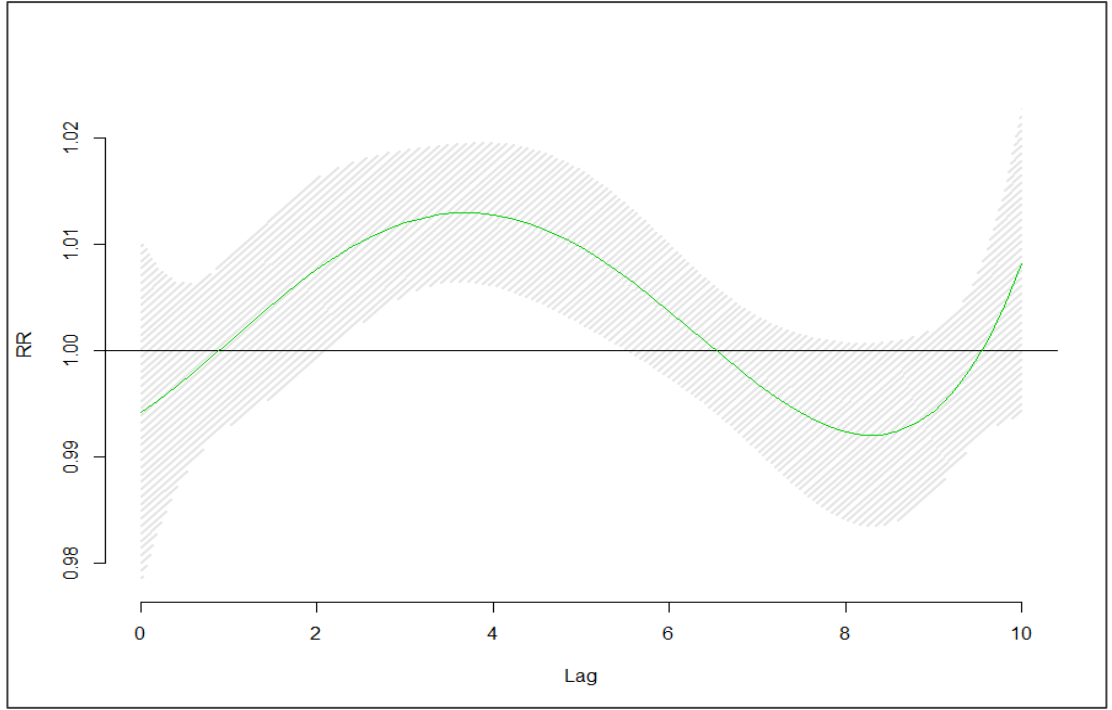
Şekil 6.3: PM₁₀ konsantrasyonundaki artışa göre değişen rölatif risk değerleri (noktalı çizgiler %50 güven aralığını göstermektedir).

6.1.2 Azot dioksitin (NO₂) etkisi

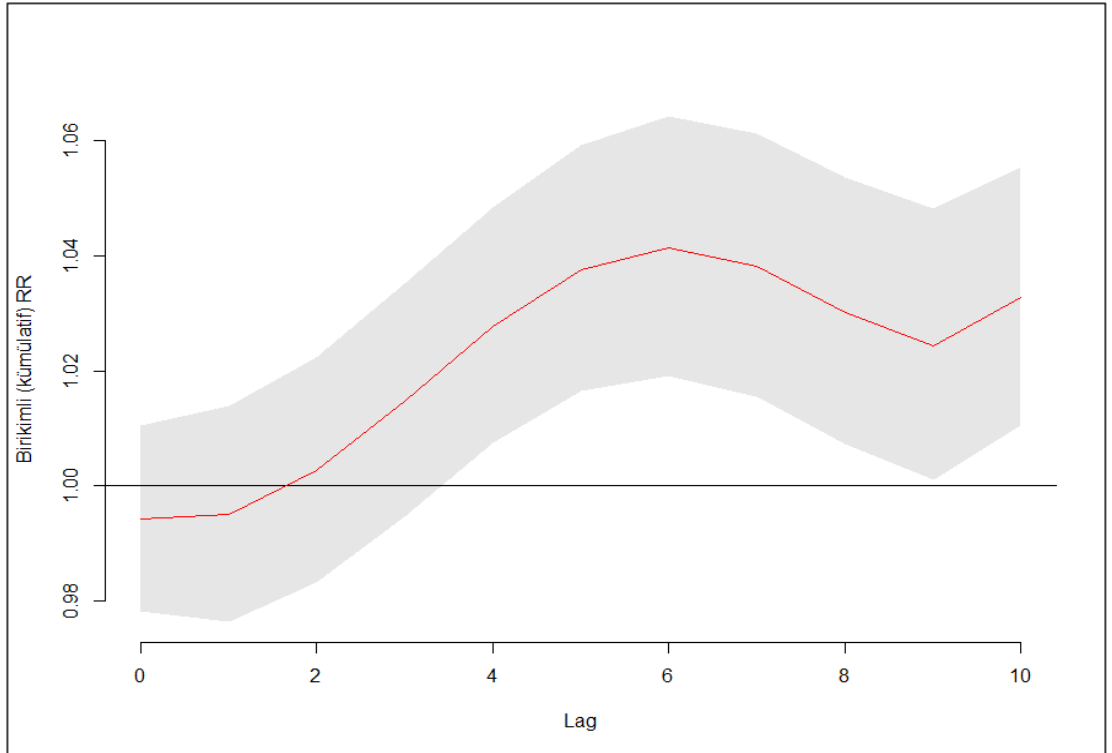
Şekil 6.4’de verilen on günlük gecikme (lag) eğrisi, belirli bir gündeki 10 µg/m³ ‘lık NO₂ artışına maruz kalan bir kişinin sahip olacağı kalp-damar hastalıklarına bağlı ölüm riskini, rölatif risk (RR) olarak %80 güven aralığında göstermektedir. Şekle göre, kirliliğe ilk maruz kalınan güne (lag 0) ait RR değeri sıfırın altındadır. Dolayısıyla ölüm riski bulunmamaktadır. Rölatif risk ertesi gün (lag 1) yükselmekte, daha sonra artarak dördüncü günde (lag 4) maksimuma ulaşmaktadır. Şekle göre dördüncü güne ait RR değeri 1.0127 ‘dir. Yani ölüm riski %1,27’dir. Altıncı günden (lag 6) sonra sıfırın altına düşen ölüm riski, onuncu güne doğru tekrar artarak pozitif bir değer almaktadır.

Şekil 6.5, her gün aynı miktarda (10 µg/m³) artan NO₂ konsantrasyonuna maruz kalan bir kişinin, belirli bir günde sahip olacağı ölüm riskini göstermektedir. Diğer bir ifadeyle, on gün boyunca NO₂ miktarında meydana gelen 10 birimlik artışın belirli bir günde neden olacağı birikimli etkiyi göstermektedir. Şekle göre, her gün 10 µg/m³ ‘lık NO₂ artışına maruz kalan bir kimsenin onuncu gün sonunda sahip olacağı kalp-damar hastalıklarına bağlı ölüm riski RR = 1.033, yani %3,3’tür.

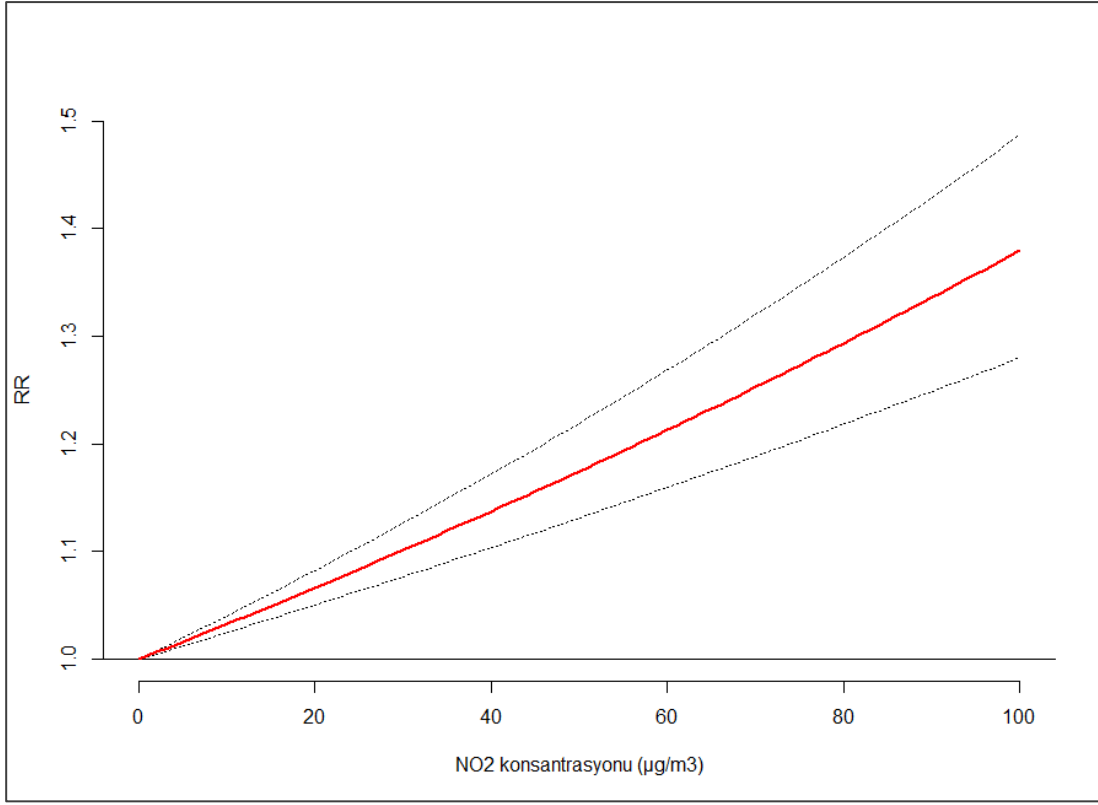
Şekil 6.6, model tarafından on günlük gecikmeli etkiyi göz önünde bulundurarak hesaplanan, artan NO₂ konsantrasyonlarına bağlı olarak değişen rölatif risk değerlerini göstermektedir. Şekilden görülebileceği gibi, rölatif risk (RR) ile NO₂ konsantrasyonu arasında Lineer (lineer) bir ilişki bulunmaktadır. Bu durum, NO₂ miktarı yükseldikçe RR değerinin de arttığını göstermektedir. Dolayısıyla, NO₂ konsantrasyonu 10 ug/m³ ‘dan 100 ug/m³ ‘a yükseldiği takdirde, rölatif risk de %35 artacaktır. Buna göre, normal seviyeden on kat yüksek NO₂ konsantrasyonuna maruz kalan bir kimsenin, onuncu gün sonunda sahip olacağı kalp-damar hastalıklarına bağlı ölüm riski seviyesi normalden %35 daha yüksek olacaktır.



Şekil 6.4: NO₂ miktarındaki 10 µg/m³ ‘lık bir artışın kalp-damar hastalıklarına bağlı ölümler üzerindeki gecikmeli etkisi.



Şekil 6.5: NO₂ miktarındaki 10 µg/m³ ‘lık bir artışın kalp-damar hastalıklarına bağlı ölümler üzerindeki birikimli etkisi.

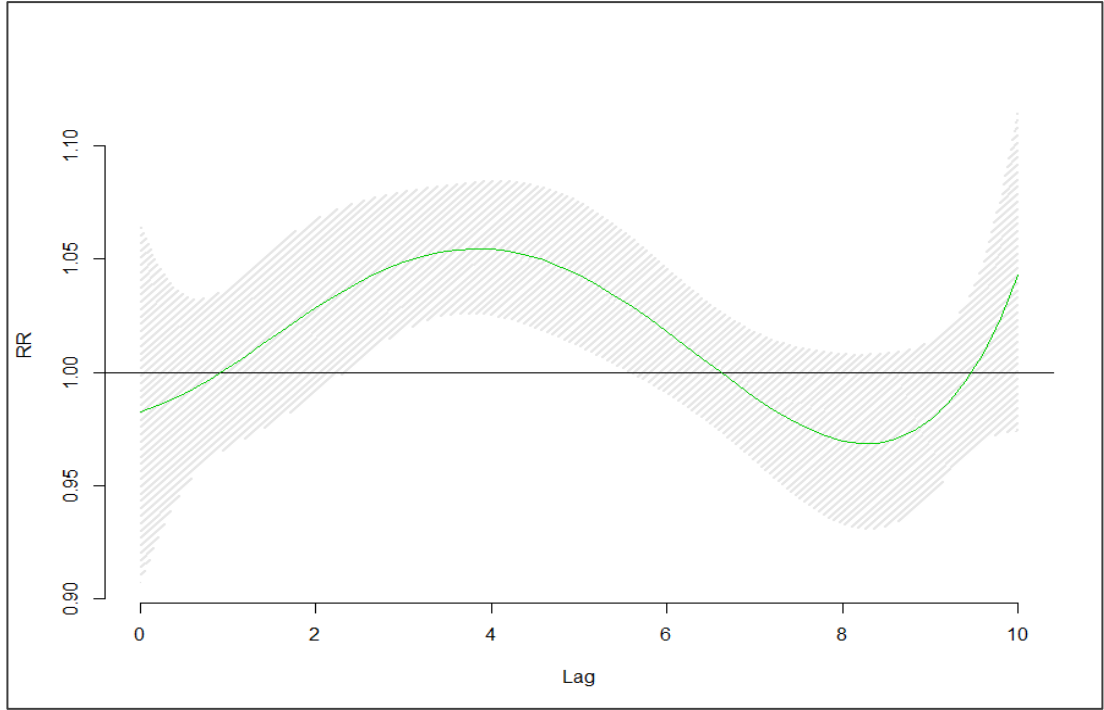


Şekil 6.6: NO₂ konsantrasyonundaki artışa göre değişen rölatif risk değerleri (noktalı çizgiler %50 güven aralığını göstermektedir).

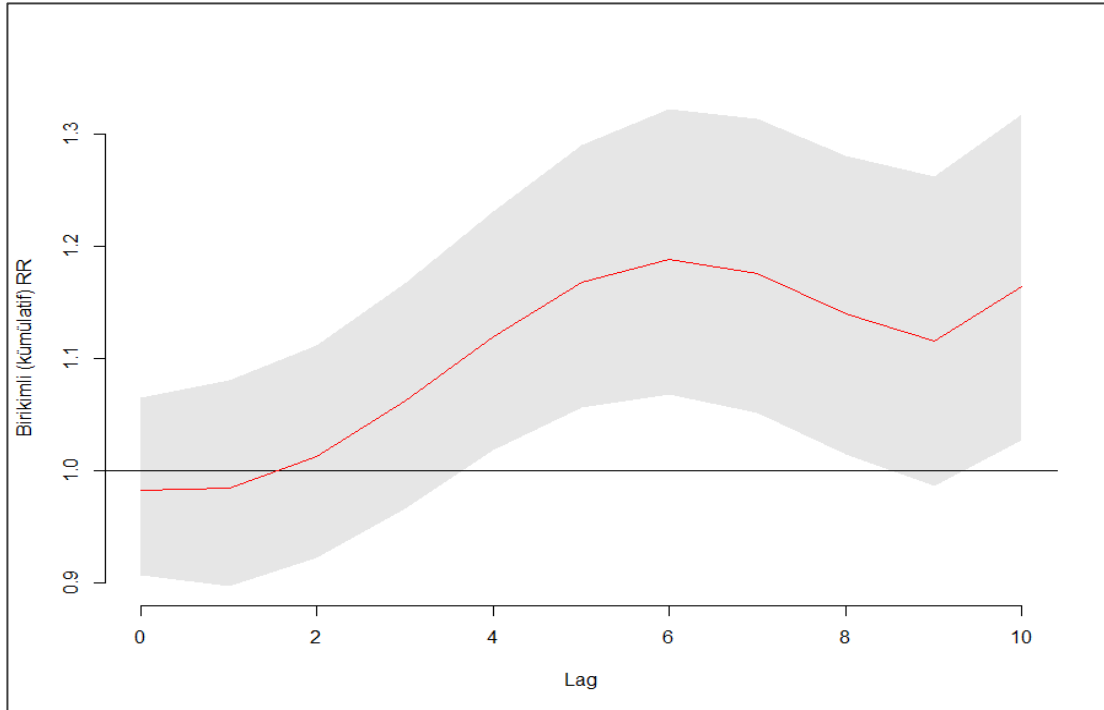
6.1.3 Kükürt dioksit (SO₂) etkisi

Şekil 6.7’de verilen on günlük gecikme (lag) eğrisi, belirli bir gündeki 10 µg/m³ ‘lık SO₂ artışına maruz kalan bir kişinin sahip olacağı kalp-damar hastalıklarına bağlı ölüm riskini, rölatif risk (RR) olarak %80 güven aralığında göstermektedir. Şekle göre, kirliliğe ilk maruz kalınan güne (lag 0) ait RR değeri sıfırın altındadır. Bu nedenle ölüm riski bulunmamaktadır. Rölatif daha sonrayükselerek dördüncü günde (lag 4) maksimuma ulaşmaktadır. Şekle göre dördüncü güne ait RR değeri 1.053 ’tür. Yani ölüm riski %5,3’dir. Altıncı günden (lag 6) sonra sıfırın altına düşen ölüm riski, onuncu güne doğru tekrar artarak pozitif bir değer almaktadır.

Şekil 6.8, her gün aynı miktarda (10 µg/m³) artan SO₂ konsantrasyonuna maruz kalan bir kişinin, belirli bir günde sahip olacağı ölüm riskini göstermektedir. Diğer bir ifadeyle, on gün boyunca SO₂ miktarında meydana gelen 10 birimlik artışın belirli bir günde neden olacağı birikimli etkiyi gösterir. Şekle göre, her gün 10 µg/m³ ‘lık SO₂ artışına maruz kalan bir kimsenin onuncu gün sonunda sahip olacağı kalp-damar hastalıklarına bağlı ölüm riski RR = 1.164, yani %16,4’tür.



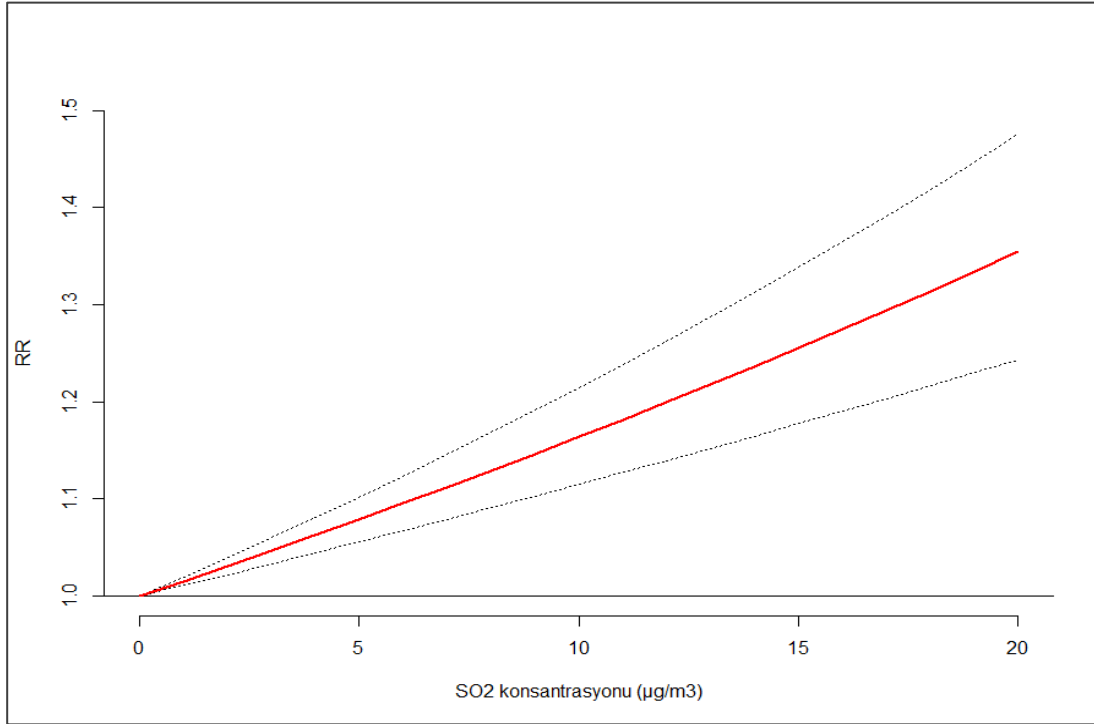
Şekil 6.7: SO₂ miktarındaki 10 µg/m³ 'lık bir artışın kalp-damar hastalıklarına bağlı ölümler üzerindeki gecikmeli etkisi.



Şekil 6.8: SO₂ miktarındaki 10 µg/m³ 'lık bir artışın kalp-damar hastalıklarına bağlı ölümler üzerindeki birikimli etkisi.

Şekil 6.9, model tarafından on günlük gecikmeli etkiyi göz önünde bulundurarak hesaplanan, artan SO₂ konsantrasyonlarına bağlı olarak değişen rölatif risk

değerlerini göstermektedir. Şekilden görülebileceği gibi, rölatif risk (RR) ile SO₂konsantrasyonu arasında Lineer (lineer) bir ilişki bulunmaktadır. Bu durum, SO₂ miktarı yükseldikçe RR değerinin de arttığını göstermektedir. Örneğin, SO₂konsantrasyonu 10 ug/m³ ‘dan 20 ug/m³’a yükseldiği takdirde, rölatif risk de %19,1 artacaktır. Bu durumda, iki kat yüksek SO₂konsantrasyonuna maruz kalan bir kimsenin onuncu gün sonunda sahip olacağı kalp-damar hastalıklarına bağlı ölüm riski seviyesi normalden %16,4 daha yüksek olacaktır.



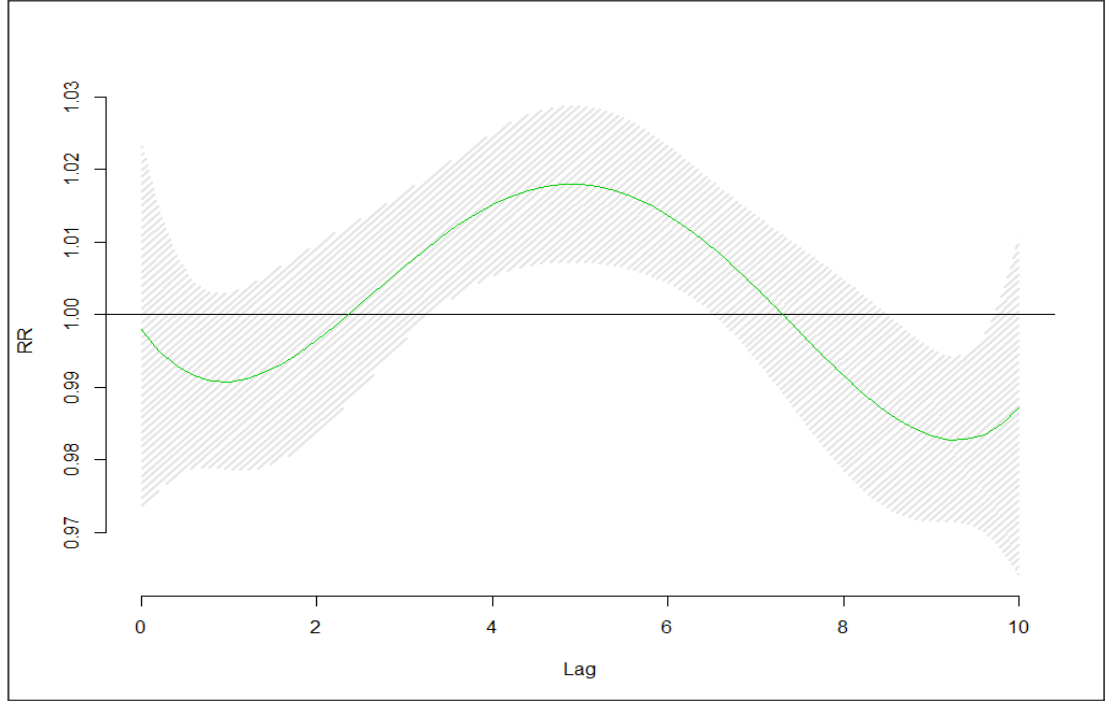
Şekil 6.9: SO₂konsantrasyonundaki artışa göre değişen rölatif risk değerleri (noktalı çizgiler %10 güven aralığını göstermektedir).

6.2 Solunum Sistemi Hastalıkları Nedeniyle Meydana Gelen Ölüm

6.2.1 Partikül maddenin (PM₁₀) etkisi

Şekil 6.10’da verilen on günlük gecikme (lag) eğrisi, belirli bir gündeki 10 µg/m³’lık PM₁₀ artışına maruz kalan bir kişinin sahip olacağı solunum sistemi hastalıklarına bağlı ölüm riskini, rölatif risk (RR) olarak %80 güven aralığında göstermektedir. Şekle göre, kirliliğe ilk maruz kalınan güne (lag 0) ait RR değeri sıfırın altındadır. Dolayısıyla ölüm riski bulunmamaktadır. Rölatif risk birinci günden sonra (lag 1) yükselerek beşinci günde (lag 5) maksimuma ulaşmaktadır. Model sonuçlarına göre

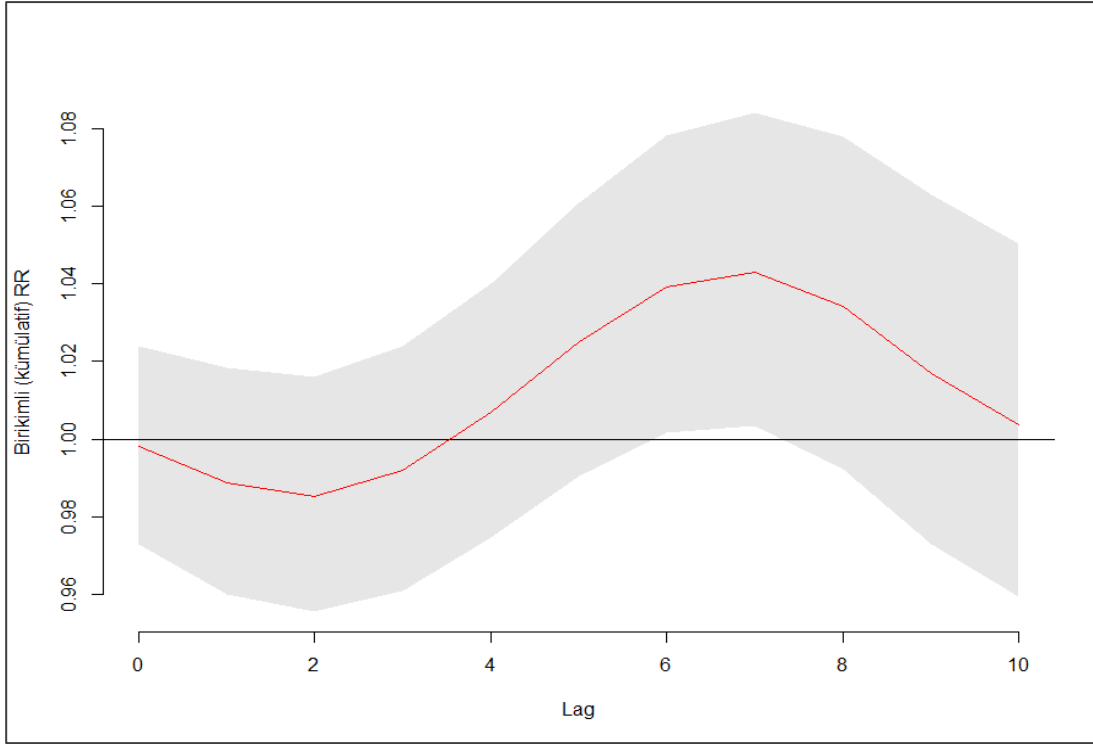
beşinci güne ait RR değeri 1.018 'dir. Yanibeşinci güne ait ölüm riski %1,8'dir. Ölüm riski yedinci günden itibaren sıfırın altına düşerek negatif değerler almaktadır.



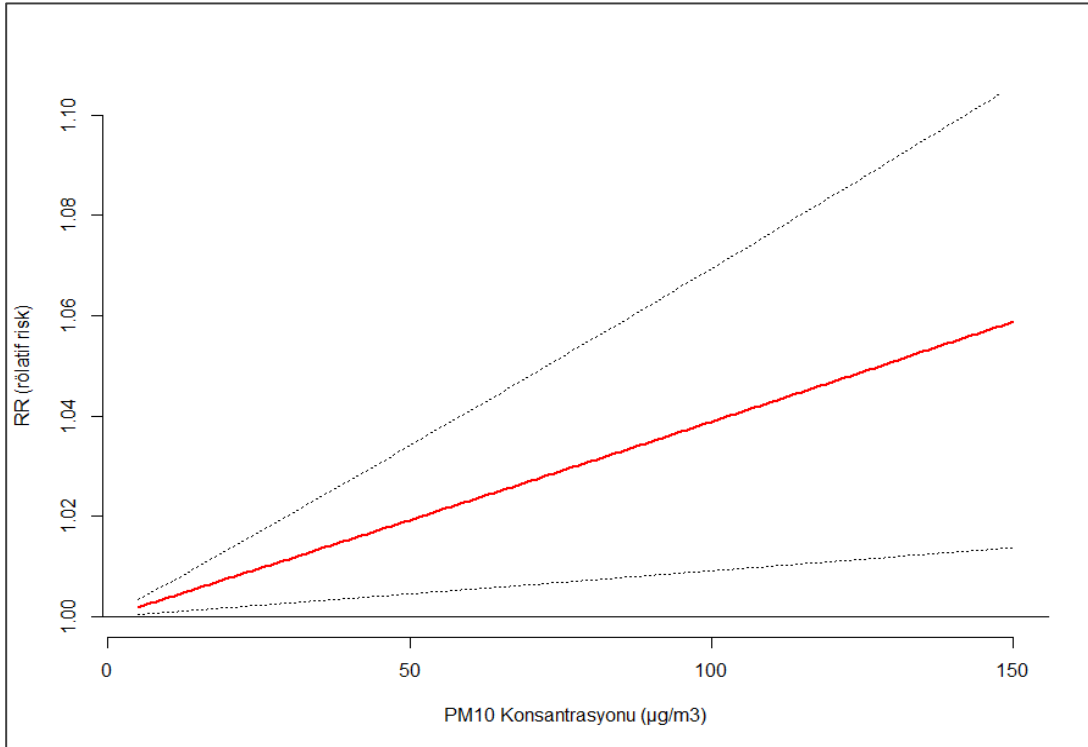
Şekil 6.10: PM₁₀ miktarındaki 10 µg/m³ 'lık bir artışın solunum sistemi hastalıklarına bağlı ölümler üzerindeki gecikmeli etkisi.

Şekil 6.11, her gün aynı miktarda (10 µg/m³) artan PM₁₀ konsantrasyonuna maruz kalan bir kişinin, belirli bir günde sahip olacağı ölüm riskini göstermektedir. Diğer bir ifadeyle, on gün boyunca PM₁₀ miktarında meydana gelen 10 birimlik artışın belirli bir günde neden olacağı birikimli etkiyi gösterir. Şekle göre, her gün 10 µg/m³ 'lık PM₁₀ artışına maruz kalan bir kimsenin onuncu gün sonunda sahip olacağı solunum sistemi hastalıklarına bağlı ölüm riski, %0,04'tür (RR = 1.004).

Şekil 6.12, model tarafından on günlük gecikmeli etkiyi göz önünde bulundurarak hesaplanan, artan PM₁₀ konsantrasyonlarına bağlı olarak değişen rölatif risk değerlerini göstermektedir. Şekilden görülebileceği gibi, rölatif risk (RR) ile PM₁₀ konsantrasyonu arasında Lineer (lineer) bir ilişki bulunmaktadır. Bu durum, PM₁₀ miktarı yükseldikçe RR değerinin de arttığını göstermektedir. Örneğin, PM₁₀ konsantrasyonu 10 ug/m³ 'dan 100 ug/m³ 'a yükseldiği takdirde, rölatif risk de %3,5 artacaktır. Bu durumda, on kat yüksek PM₁₀ konsantrasyonuna maruz kalan bir kimsenin onuncu gün sonunda sahip olacağı solunum sistemi hastalıklarına bağlı ölüm riski seviyesi normalden %3,5 daha yüksek olacaktır.



Şekil 6.11: PM₁₀ miktarındaki 10 µg/m³ 'lık bir artışın solunum sistemi hastalıklarına bağlı ölümler üzerindeki birikimli etkisi.



Şekil 6.12: PM₁₀ konsantrasyonundaki artışa göre değişen rölatif risk değerleri (noktalı çizgiler %10 güven aralığını göstermektedir).

6.2.2 Azot dioksit (NO₂) etkisi

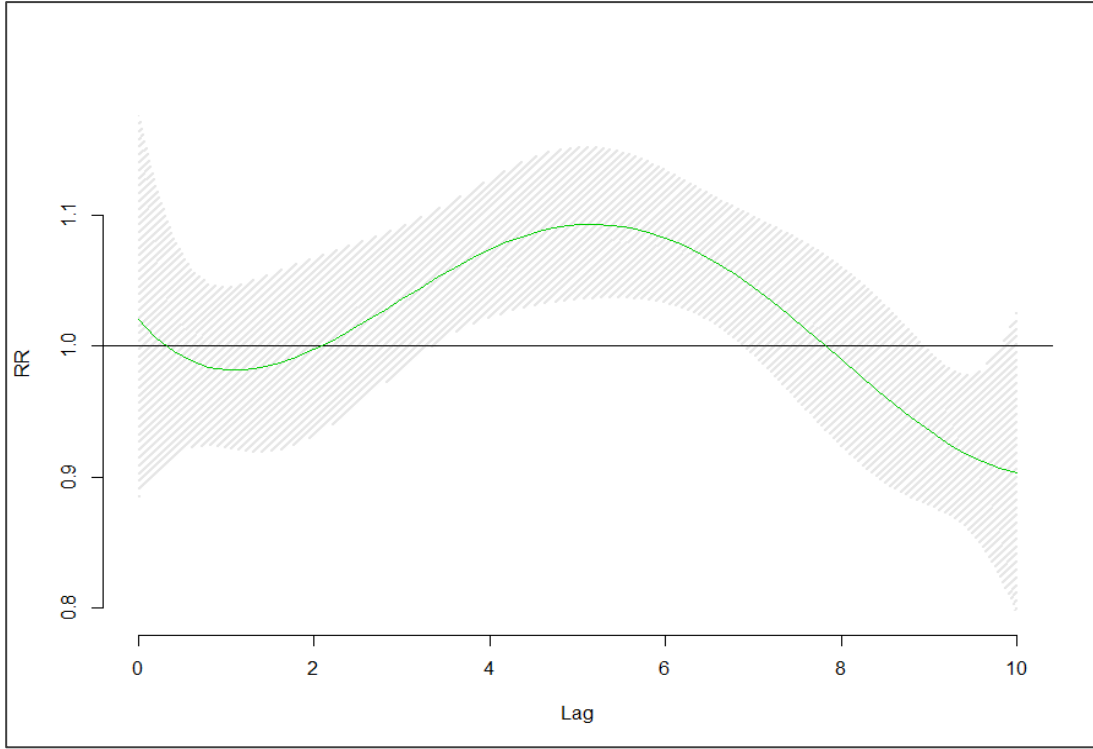
ANOVA testi sonucunda NO₂ için elde edilen p değeri, $p < 0,05$ olduğundan, HA hipotezi red edilmiştir. Bu sonuca göre, NO₂ konsantrasyonlarının solunum sistemi hastalıkları nedeni ile meydana gelen ölümler üzerinde anlamlı bir etkisi bulunmamaktadır. Bu nedenle NO₂ için model uygulanmamıştır.

6.2.3 Kükürt dioksit (SO₂) etkisi

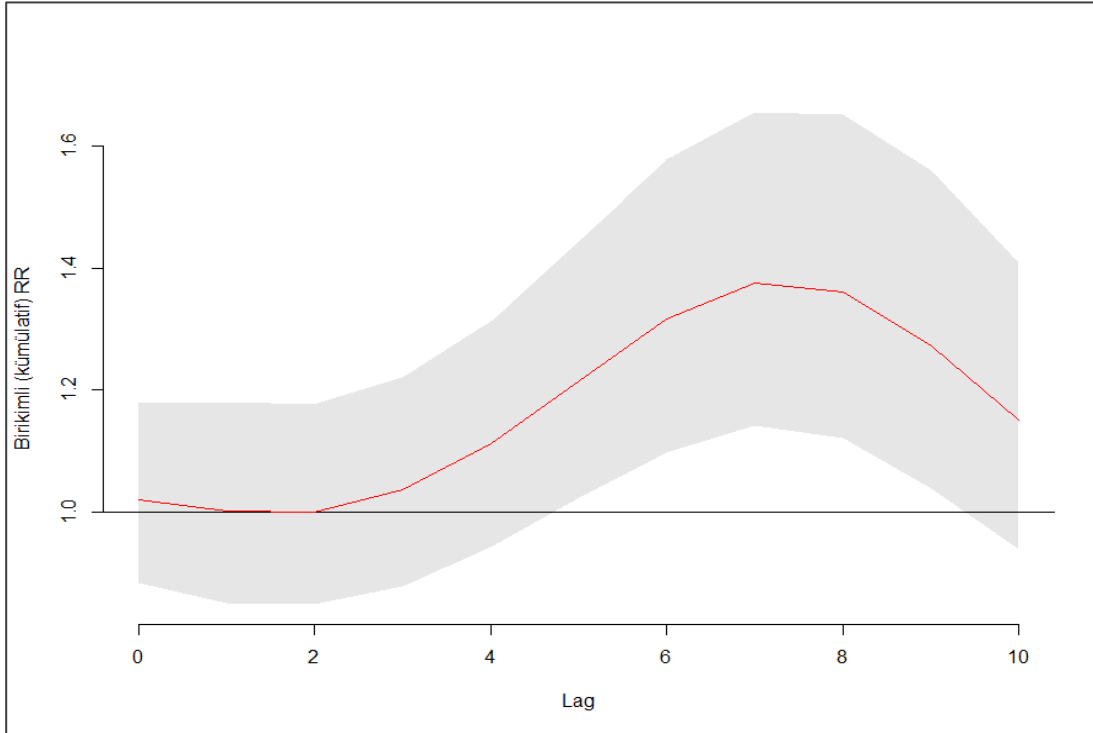
Şekil 6.13'te verilen on günlük gecikme (lag) eğrisi, belirli bir günde 10 µg/m³ 'lık SO₂ artışına maruz kalan bir kimsenin sahip olacağı solunum sistemi hastalıklarına bağlı ölüm riskini, rölatif risk (RR) olarak %80 güven aralığında göstermektedir. Şekle göre, kirliliğe ilk maruz kalınan güne (lag 0) ait RR değeri pozitif bir değerdir. Bu nedenle maruz kalınan ilk gün ölüm riski bulunmaktadır. Rölatif risk testi gün (lag 1) negatif bir değer almakta, daha sonra artarak beşinci günde (lag 5) maksimuma ulaşmaktadır. Model sonuçlarına göre beşinci güne ait RR değeri 1.089 'dur. Yani beşinci güne ait ölüm riski %8,9'dur. Ölüm riski yedinci günden sonra sıfırın altına düşerek negatif değerler almaktadır.

Şekil 6.14, her gün aynı miktarda (10 µg/m³) artan SO₂ konsantrasyonuna maruz kalan bir kişinin, belirli bir günde sahip olacağı ölüm riskini göstermektedir. Diğer bir ifadeyle, on gün boyunca SO₂ miktarında meydana gelen 10 birimlik artışın belirli bir günde neden olacağı birikimli etkiyi gösterir. Şekle göre, her gün 10 µg/m³ 'lık SO₂ artışına maruz kalan bir kimsenin onuncu gün sonunda sahip olacağı solunum sistemi hastalıklarına bağlı ölüm riski $RR = 1.151$, yani %15,1'tür.

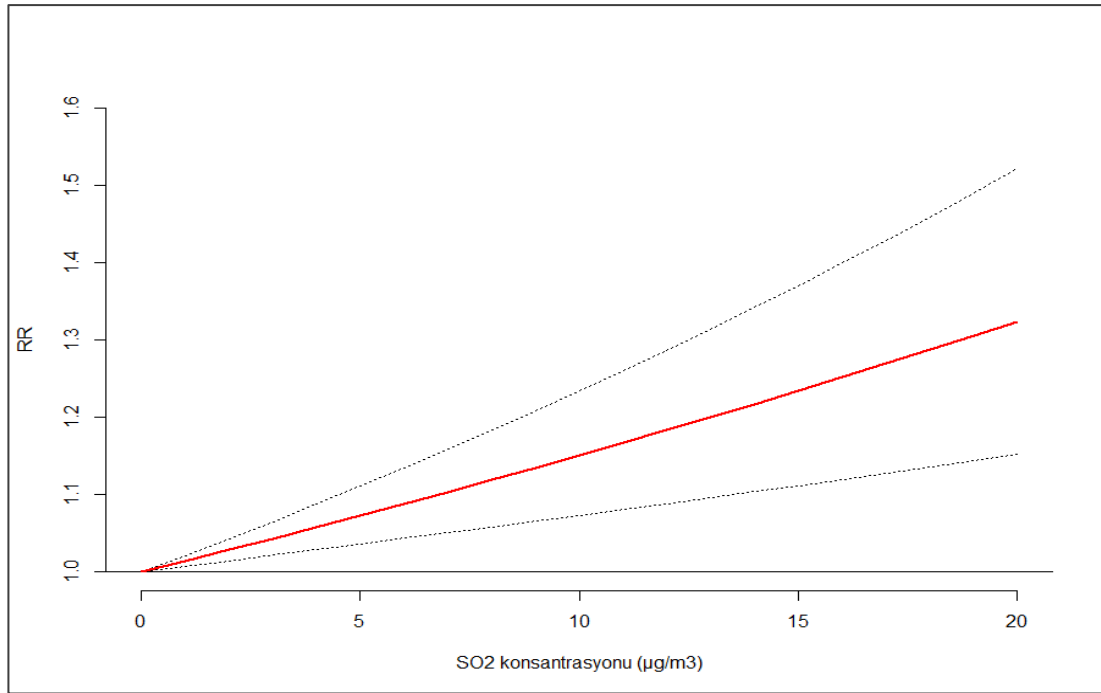
Şekil 6.15, model tarafından on günlük gecikmeli etkiyi göz önünde bulundurarak hesaplanan, artan SO₂ konsantrasyonlarına bağlı olarak değişen rölatif risk değerlerini göstermektedir. Şekilden görülebileceği gibi, rölatif risk (RR) ile SO₂ konsantrasyonu arasında Lineer (lineer) bir ilişki bulunmaktadır. Bu durum, SO₂ miktarı yükseldikçe RR değerinin de arttığını göstermektedir. Örneğin, SO₂ konsantrasyonu 10 µg/m³ 'dan 20 µg/m³ 'a yükseldiği takdirde, rölatif risk de %17,3 artacaktır. Bu durum, iki kat yüksek SO₂ konsantrasyonuna maruz kalan bir kimsenin onuncu gün sonunda sahip olacağı solunum sistemi hastalıklarına bağlı ölüm riski seviyesinin normalden %17,3 daha yüksek olacağı anlamına gelmektedir.



Şekil 6.13: SO₂ miktarındaki 10 µg/m³’lık bir artışın solunum sistemi hastalıklarına bağlı ölümler üzerindeki gecikmeli etkisi.



Şekil 6.14: SO₂ miktarındaki 10 µg/m³ ‘lık bir artışın solunum sistemi hastalıklarına bağlı ölümler üzerindeki birikimli etkisi.



Şekil 6.15: SO₂ konsantrasyonundaki artışa göre değişen rölatif risk değerleri (noktalı çizgiler %50 güven aralığını göstermektedir).

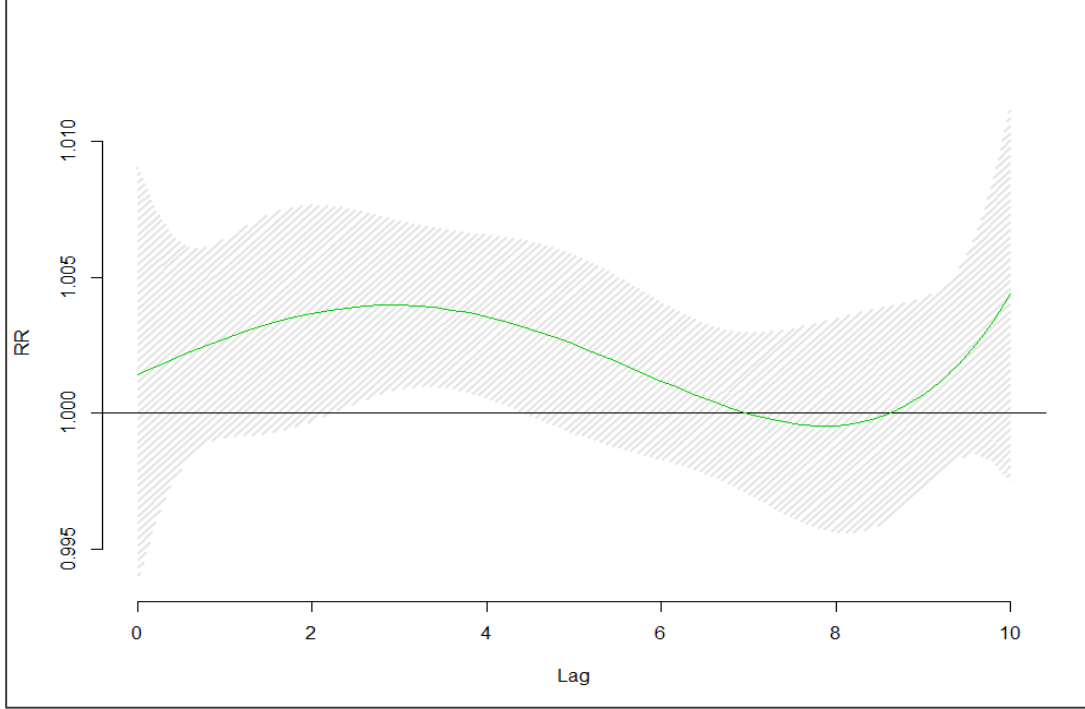
6.3 Kaza Dışı Nedenler Sonucu Meydana Gelen Ölüm

6.3.1 Partikül maddenin (PM₁₀) etkisi

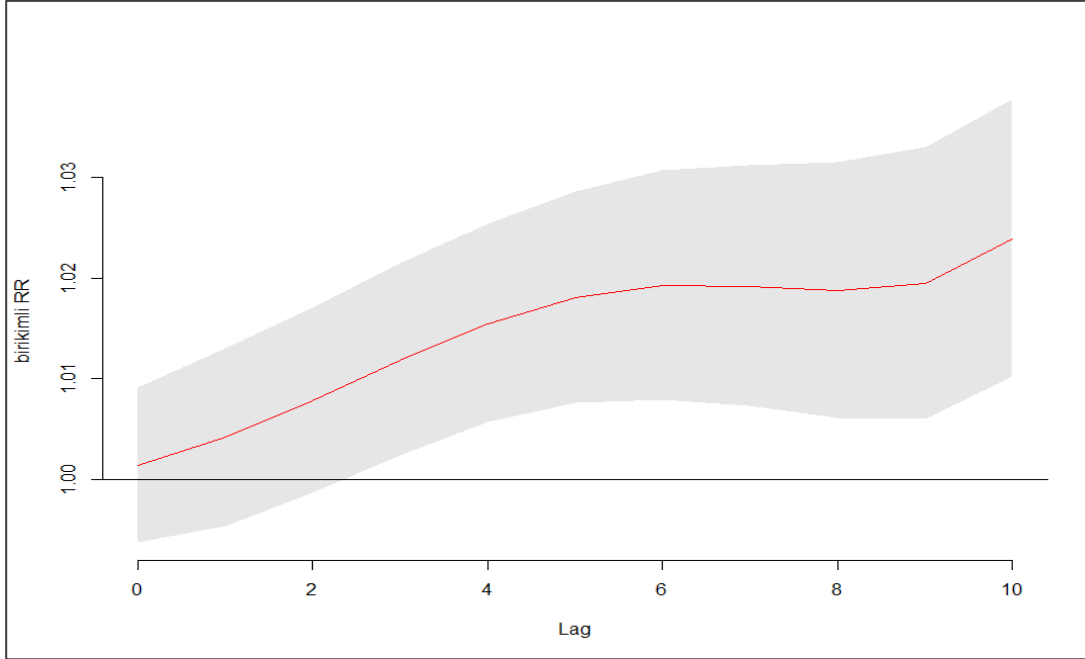
Şekil 6.16’te verilen on günlük gecikme (lag) eğrisi, belirli bir günde 10 µg/m³’lık PM₁₀ artışına maruz kalan bir kimsenin sahip olacağı kaza dışı tüm nedenlere bağlı ölüm riskini, rölatif risk (RR) olarak %80 güven aralığında göstermektedir. Şekle göre, kirliliğe ilk maruz kalınan güne (lag 0) ait RR değeri pozitif bir değerdir. Dolayısıyla PM₁₀’a maruz kalınan ilk gün ölüm riski bulunmaktadır. Rölatif risk daha sonra artmaktadır ve üçüncü günde (lag 3) 1.004 değerine ulaşmaktadır. Yani ölüm riski %0,4’dir. Ölüm riski yedinci gün sıfırın altına düşmekte, daha sonra tekrar yükselerek onuncu günde (lag 10) maksimum değere ulaşmaktadır. Onuncu günde rölatif risk değeri ise 1,0044’tür.

Şekil 6.17, her gün aynı miktarda (10 µg/m³) artan PM₁₀ konsantrasyonuna maruz kalan bir kişinin, belirli bir günde sahip olacağı ölüm riskini göstermektedir. Diğer bir ifadeyle, on gün boyunca PM₁₀ miktarında meydana gelen 10 birimlik artışın belirli bir günde neden olacağı birikimli etkiyi gösterir. Şekle göre, her gün 10

$\mu\text{g}/\text{m}^3$ 'lık PM_{10} artışına maruz kalan bir kimsenin onuncu gün sonunda sahip olacağı kaza dışı hastalıklara bağlı ölüm riski $\text{RR} = 1.024$, yani %2,4'tür.

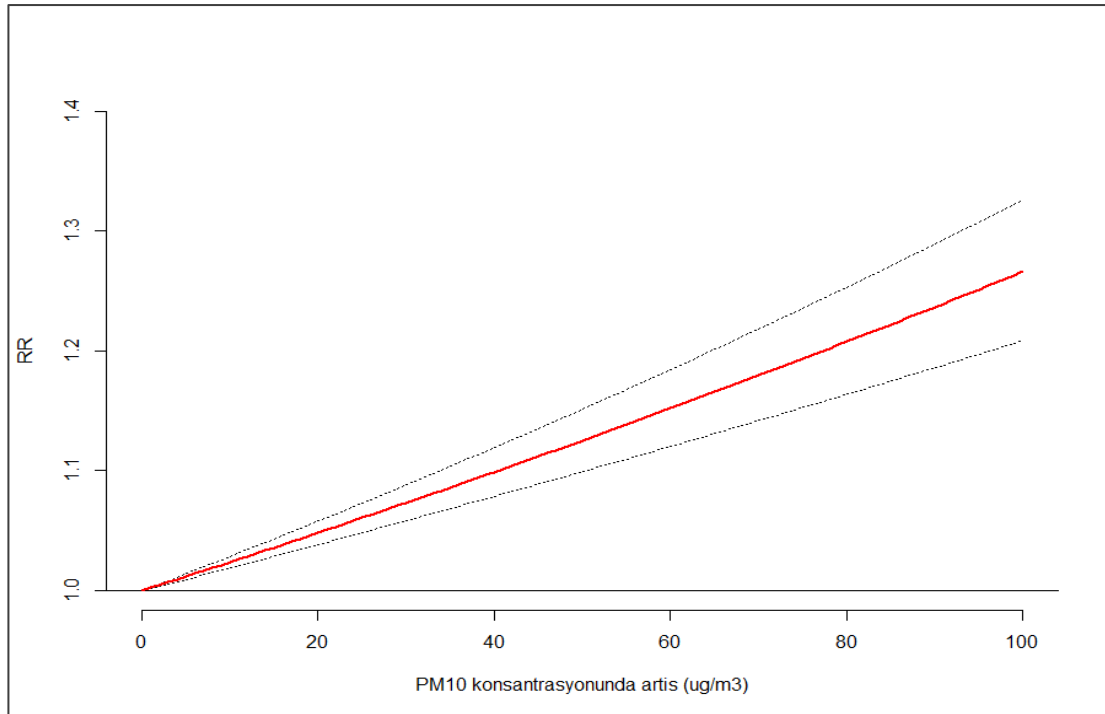


Şekil 6.16: PM_{10} miktarındaki $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 'lık bir artışın kaza dışı tüm ölümler üzerindeki gecikmeli etkisi.



Şekil 6.17: PM_{10} miktarındaki $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 'lık bir artışın kaza dışı tüm ölümler üzerindeki birikimli etkisi.

Şekil 6.18, model tarafından on günlük gecikmeli etkiyi göz önünde bulundurarak hesaplanan, artan PM_{10} konsantrasyonlarına bağlı olarak değişen rölatif risk değerlerini göstermektedir. Şekilden görülebileceği gibi, rölatif risk (RR) ile PM_{10} konsantrasyonu arasında Lineer (lineer) bir ilişki bulunmaktadır. Bu durum, PM_{10} miktarı yükseldikçe RR değerinin de arttığını göstermektedir. Örneğin, PM_{10} konsantrasyonu $10 \mu g/m^3$ 'dan $100 \mu g/m^3$ 'a yükseldiği takdirde, rölatif risk de %24,2 artacaktır. Bunun anlamı, on kat yüksek PM_{10} konsantrasyonuna maruz kalan bir kimsenin onuncu gün sonunda sahip olacağı kaza dışı tüm nedenlere bağlı ölüm riski seviyesi normalden %24,2 daha yüksek olacaktır.



Şekil 6.18: PM_{10} konsantrasyonundaki artışa göre değişen rölatif risk değerleri (noktalı çizgiler %80 güven aralığını göstermektedir).

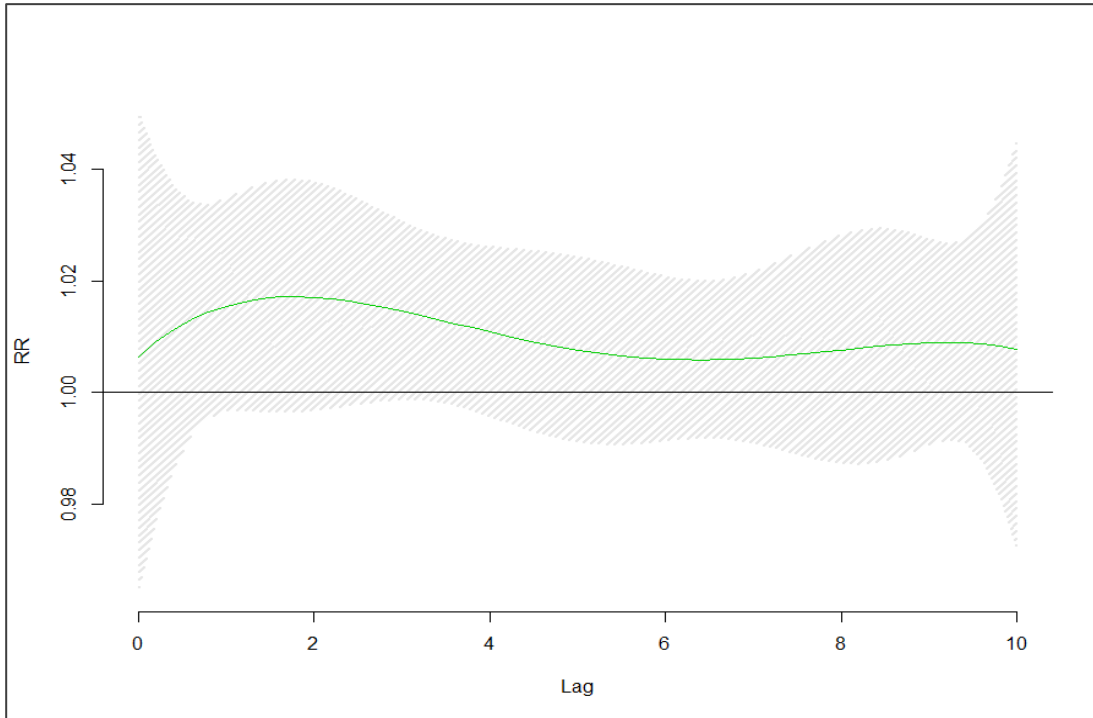
6.3.2 Azot dioksitin (NO_2) etkisi

ANOVA testi sonucunda NO_2 için elde edilen p değeri, $p < 0,05$ olduğundan, H_A hipotezi red edilmiştir. Bu sonuca göre, NO_2 konsantrasyonlarının kaza dışı hastalıklar nedeni ile meydana gelen ölümler üzerinde anlamlı bir etkisi bulunmamaktadır. Bu nedenle NO_2 için model uygulanmamıştır.

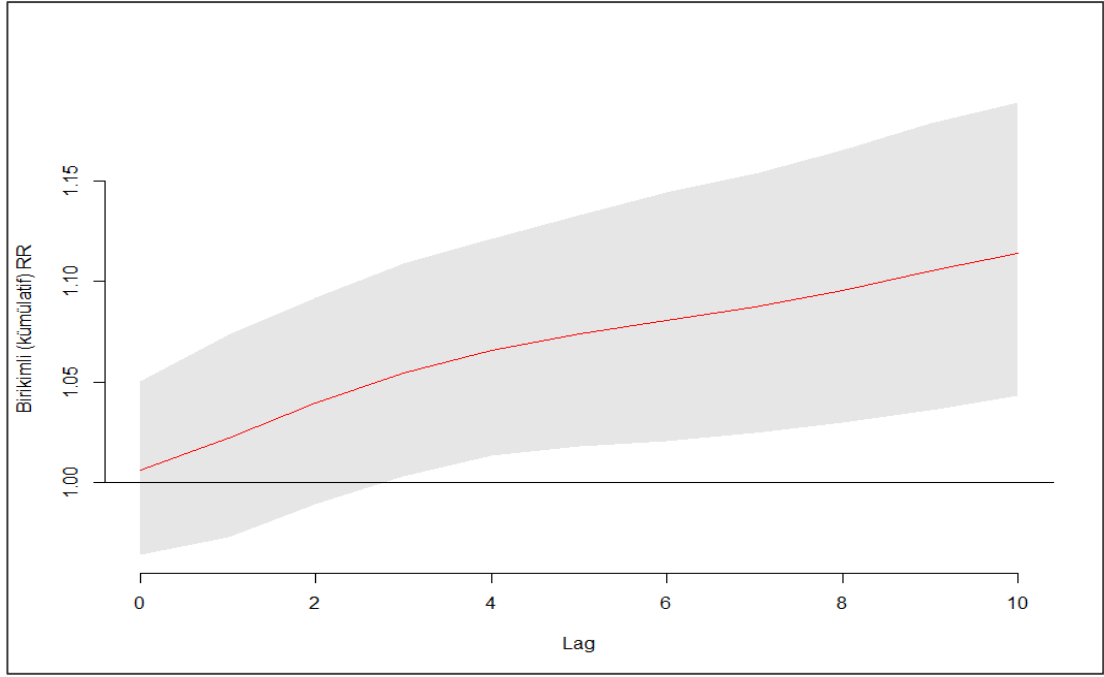
6.3.3 Kükürt dioksitin (SO₂) etkisi

Şekil 6.19’da verilen on günlük gecikme (lag) eğrisi, belirli bir gündeki 10 µg/m³’lık SO₂ artışına maruz kalan bir kimsenin sahip olacağı kaza dışı hastalıklara bağlı ölüm riskini, rölatif risk (RR) olarak %80 güven aralığında göstermektedir. Şekle göre, kirliliğe ilk maruz kalınan güne (lag 0) ait RR değeri pozitif bir değerdir. Dolayısıyla SO₂’ye maruz kalınan ilk gün ölüm riski bulunmaktadır. Rölatif risk daha sonra artmakta ve ikinci günde (lag 2) maksimuma çıkarak 1.017 değerine ulaşmaktadır. Kirliliğe maruz kaldıktan sonraki ikinci güne ait ölüm riski %0,17.

Şekil 6.20, her gün aynı miktarda (10 µg/m³) artan SO₂ konsantrasyonuna maruz kalan bir kişinin, belirli bir günde sahip olacağı ölüm riskini göstermektedir. Diğer bir ifadeyle, on gün boyunca SO₂ miktarında meydana gelen 10 birimlik artışın belirli bir günde neden olacağı birikimli etkiyi gösterir. Şekle göre, her gün 10 µg/m³’lık SO₂ artışına maruz kalan bir kimsenin onuncu gün sonunda sahip olacağı kaza dışı hastalıklara bağlı ölüm riski RR = 1.114, yani %11,4’tür.

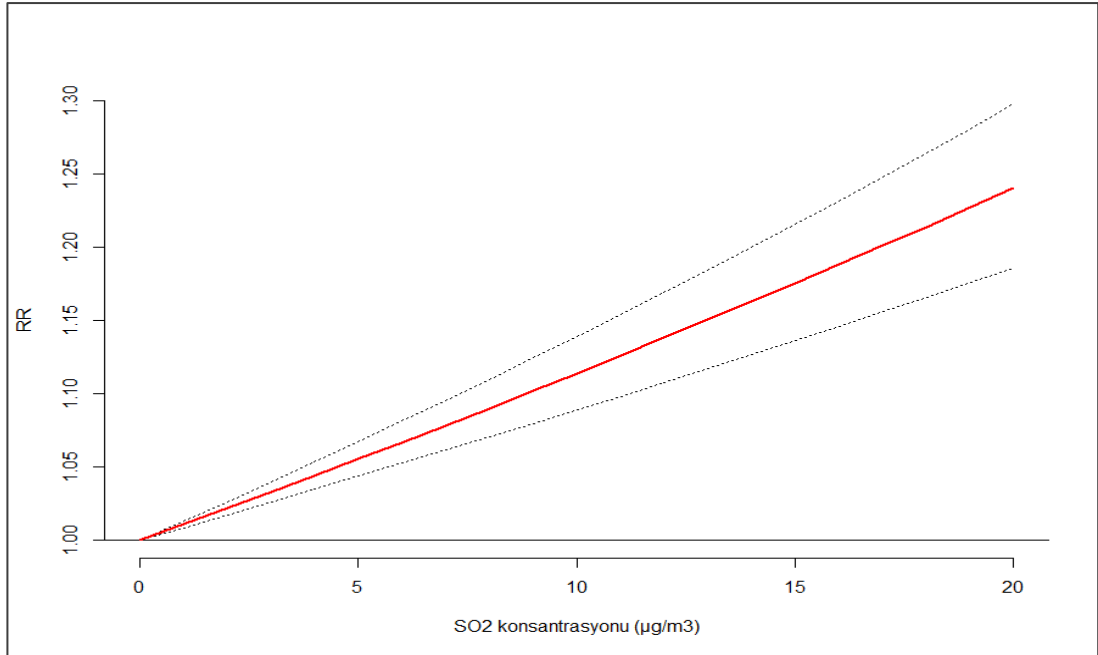


Şekil 6.19: SO₂ miktarındaki 10 µg/m³’lık bir artışın kaza dışı tüm ölümler üzerindeki gecikmeli etkisi.



Şekil 6.20: SO₂ miktarındaki 10 µg/m³'lık bir artışın kaza dışı tüm ölümler üzerindeki birikimli etkisi.

Şekil 6.21, model tarafından on günlük gecikmeli etkiyi göz önünde bulundurarak hesaplanan, artan SO₂ konsantrasyonlarına bağlı olarak değişen rölatif risk değerlerini göstermektedir. Şekilden görülebileceği gibi, rölatif risk (RR) ile SO₂



Şekil 6.21: SO₂ konsantrasyonundaki artışa göre değişen rölatif risk değerleri (noktalı çizgiler %50 güven aralığını göstermektedir).

konsantrasyonu arasında Lineer (lineer) bir ilişki bulunmaktadır. Bu durum, SO₂ miktarı yükseldikçe RR değerinin de arttığını göstermektedir. Örneğin, SO₂ konsantrasyonu 10 ug/m³ 'dan 20 ug/m³'a yükseldiği takdirde, rölatif risk de %12,7 artacaktır. Buna göre, iki kat yüksek SO₂ konsantrasyonuna maruz kalan bir kimsenin onuncu gün sonunda sahip olacağı kaza dışı nedenlere bağlı ölüm riski seviyesi normalden %12,7 daha yüksek olacaktır.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışmada, İstanbul Büyükşehir Belediyesi'ne ait 10 adet hava kalitesi istasyonunun, PM₁₀, NO₂ ve SO₂ hava kirliliği ölçüm değerleri ile İstanbul'daki 4 adet eğitim ve araştırma hastanesine ait (Okmeydanı, Şişli Etfal, Haydarpaşa Numune ve Ümraniye) ölüm sayıları arasındaki ilişki, genelleştirilmiş Lineer model (GLM) yöntemi ile analiz edilmiştir. Ayrıca, Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden alınan, İstanbul'daki 3 adet meteoroloji istasyonuna (Sarıyer, Florya ve Göztepe) ait sıcaklık ve bağıl nem verileri de, meteorolojik unsurların karıştırıcı etkisini ortadan kaldırmak amacıyla modelde kullanılmıştır. Çalışmamızdaki ölüm verileri, kaza sonucu meydana gelen ölümler hariç tutularak hastalık nedenlerine göre üç kategoriye ayrılmıştır: kalp-damar (kardiyovasküler) hastalıkları (ICD-10: I00-I99), solunum sistemi hastalıkları (ICD-10: J00-J98) ve kaza dışı tüm ölümler (ICD-10: A00-R99). Daha sonra, İstanbul'da 2007-2012 yılları arasında meydana gelen ölümler üzerindeki PM₁₀, NO₂ ve SO₂ kirleticilerinin etkisini ortaya çıkarmak ve analiz etmek amacıyla, model yardımıyla 10 günlük gecikmeli etki süresini (lag) dikkate alarak rölatif risk (RR) değerleri hesaplanmıştır. Uygulanan yöntem sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir:

- Kalp-damar hastalıkları sonucu meydana gelen ölümler ile ilgili model sonuçlarına göre, 10 µg/m³ 'lık PM₁₀ artışına ilk maruz kalınan güne (lag 0) ait yüksek ölüm riski, ertesi gün (lag 1) düşmekte, daha sonra risk artarak dördüncü günde (lag 4) maksimuma ulaşmaktadır. Dördüncü güne ait RR (rölatif risk) değeri 1.0086 'dır. Yani dördüncü güne ait ölüm riski %0,86'dır. Altıncı günden (lag 6) sonra sıfırın altına düşen ölüm riski, onuncu güne (lag 10) doğru tekrar artarak pozitif bir değer almaktadır.
- Model sonuçlarına göre, her gün 10 µg/m³ 'lık PM₁₀ artışına maruz kalan bir kimsenin onuncu gün sonunda sahip olacağı kalp-damar hastalıklarına bağlı ölüm riski RR=1.022, yani %2,2 'dır.

- Model sonuçlarına göre PM₁₀konsantrasyonu 10 ug/m³ ‘dan 100 ug/m³’a yükseldiği takdirde, rölatif risk de %22 artacaktır. Buna göre, belirli bir günde normal seviyeden on kat yüksek PM₁₀konsantrasyonuna maruz kalan bir kimsenin, onuncu gün sonunda sahip olacağı kalp-damar hastalıklarına bağlı ölüm riski seviyesi normalden %22 daha yüksek olacaktır.
- Model sonuçlarına göre, 10 µg/m³ ‘lık NO₂ artışına ilk maruz kalınan güne (lag 0) ait RR değeri sıfırın altındadır. Dolayısıyla ölüm riski bulunmamaktadır. Rölatif risk ertesi gün (lag 1) yükselmekte, daha sonra artarak dördüncü günde (lag 4) maksimuma ulaşmaktadır. Sonuçlara göre, dördüncü güne ait ölüm riski, RR = 1.0127, yani %1,27’dir. Altıncı günden (lag 6) sonra sıfırın altına düşen ölüm riski, onuncu güne doğru tekrar artarak pozitif bir değer almaktadır.
- Model sonuçlarına göre, her gün 10 µg/m³‘lık NO₂ artışına maruz kalan bir kimsenin onuncu gün sonunda sahip olacağı kalp-damar hastalıklarına bağlı ölüm riski, RR = 1.033, yani %3,3’tür.
- Sonuçlara göre, NO₂konsantrasyonu 10 ug/m³ ‘dan 100 ug/m³’a yükseldiği takdirde, rölatif risk de %35 artacaktır. Bu durumda, normal seviyeden on kat yüksek NO₂konsantrasyonuna maruz kalan bir kimsenin, onuncu gün sonunda sahip olacağı kalp-damar hastalıklarına bağlı ölüm riski seviyesi normalden %35 daha yüksek olacaktır.
- Model sonuçlarına göre, 10 µg/m³ ‘lık SO₂ artışına ilk maruz kalınan güne (lag 0) ait RR değeri sıfırın altındadır. Rölatif risk ertesi gün (lag 1) yükselmekte, daha sonra artarak dördüncü günde (lag 4) maksimuma ulaşmaktadır. Model sonucuna göre, dördüncü güne ait RR değeri 1.053 ‘tür. Yani dördüncü güne ait ölüm riski %5,3’tür. Altıncı günden sonra sıfırın altına düşen ölüm riski, onuncu güne doğru tekrar artarak pozitif bir değer almaktadır.
- Sonuçlara göre, her gün 10 µg/m³‘lık SO₂ artışına maruz kalan bir kimsenin onuncu gün sonunda sahip olacağı kalp-damar hastalıklarına bağlı ölüm riski, RR = 1.164, yani %16,4’tür.

- Model sonuçlarına göre, SO₂ konsantrasyonu 10 µg/m³ 'dan 20 µg/m³'a yükseldiği takdirde, rölatif risk de %19,1 artacaktır. Bu durumda, iki kat yüksek SO₂konsantrasyonuna maruz kalan bir kimsenin onuncu gün sonunda sahip olacağı kalp-damar hastalıklarına bağlı ölüm riski seviyesi normalden %19,1 daha yüksek olacaktır.
- Solunum sistemi hastalıkları sonucu meydana gelen ölümler ile ilgili model sonuçlarına göre, 10 µg/m³ 'lık PM₁₀ artışına ilk maruz kalınan güne (lag 0) ait RR değeri sıfırın altındadır. Dolayısıyla ölüm riski bulunmamaktadır. Rölatif risk birinci günden sonra (lag 1) yükselerek beşinci günde (lag 5) maksimuma ulaşmaktadır. Model sonuçlarına göre beşinci güne ait RR değeri 1.018 'dir. Yani beşinci güne ait ölüm riski %1,8'dir. Ölüm riski yedinci günden itibaren sıfırın altına düşerek negatif değerler almaktadır.
- Model sonuçlarına göre, her gün 10 µg/m³'lık PM₁₀ artışına maruz kalan bir kimsenin onuncu gün sonunda sahip olacağı solunum sistemi hastalıklarına bağlı ölüm riski, %0,4'tür (RR = 1.004).
- Sonuçlara göre, PM₁₀konsantrasyonu 10 µg/m³ 'dan 100 µg/m³'a yükseldiği takdirde, rölatif risk de %3,5 artacaktır. Bu durumda, on kat yüksek PM₁₀konsantrasyonuna maruz kalan bir kimsenin onuncu gün sonunda sahip olacağı solunum sistemi hastalıklarına bağlı ölüm riski seviyesi normalden %3,5 daha yüksek olacaktır.
- ANOVA testi sonucunda NO₂ için elde edilen p değeri, $p < 0,05$ olduğundan, H_A hipotezi red edilmiştir. Bu sonuca göre, NO₂konsantrasyonlarının solunum sistemi hastalıkları nedeni ile meydana gelen ölümler üzerinde anlamlı bir etkisi bulunmamaktadır. Bu nedenle NO₂ için model uygulanmamıştır.
- Model sonuçlarına göre, belirli bir gündeki 10 µg/m³ 'lık SO₂ kirliliğe ilk maruz kalınan güne (lag 0) ait RR değeri pozitif bir değerdir. Bu nedenle maruz kalınan ilk gün ölüm riski bulunmaktadır. Rölatif risk ertesi gün (lag 1) negatif bir değer almakta, daha sonra artarak beşinci günde (lag 5) maksimuma ulaşmaktadır. Model sonuçlarına göre beşinci güne ait RR değeri 1.089 'dur. Yani beşinci güne ait ölüm riski %8,9'dur. Ölüm riski yedinci günden sonra sıfırın altına düşerek negatif değerler almaktadır.

- Sonuçlara göre, her gün $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ’lık SO_2 artışına maruz kalan bir kimsenin onuncu gün sonunda sahip olacağı solunum sistemi hastalıklarına bağlı ölüm riski $\text{RR} = 1.151$, yani %15,1’tür.
- SO_2 konsantrasyonu $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ‘dan $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ’a yükseldiği takdirde, rölatif risk de %17,3 artacaktır. Bu durum, iki kat yüksek SO_2 konsantrasyonuna maruz kalan bir kimsenin onuncu gün sonunda sahip olacağı solunum sistemi hastalıklarına bağlı ölüm riski seviyesinin normalden %17,3 daha yüksek olacağı anlamına gelmektedir.
- Kaza dışı nedenler haricinde meydana gelen tüm ölümler ile ilgili model sonuçlarına göre, $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ‘lık PM_{10} artışına ilk maruzkalınan güne (lag 0) ait RR değeri pozitif bir değerdir. Dolayısıyla PM_{10} ’a maruz kalınan ilk gün ölüm riski bulunmaktadır. Rölatif risk daha sonra artmakta ve üçüncü günde (lag 3) 1.004 değerine ulaşmaktadır. Yani ölüm riski %0,41’dir. Ölüm riski yedinci gün sıfırın altına düşmekte, daha sonra tekrar yükselerek onuncu günde (lag 10) maksimum değere ulaşmaktadır. Onuncu gündeki ölüm riski ise %4,4’tür ($\text{RR} = 1,0044$).
- Sonuçlara göre, her gün $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ’lık PM_{10} artışına maruz kalan bir kimsenin onuncu gün sonunda sahip olacağı kaza dışı hastalıklara bağlı ölüm riski $\text{RR} = 1.024$, yani %2,4’tür.
- PM_{10} konsantrasyonu $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ‘dan $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ’a yükseldiği takdirde, kaza dışı hastalıklara bağlı rölatif risk de %24,2 artacaktır. Bunun anlamı, on kat yüksek PM_{10} konsantrasyonuna maruz kalan bir kimsenin onuncu gün sonunda sahip olacağı kaza dışı hastalıklara bağlı ölüm riski seviyesi normalden %24,2 daha yüksek olacaktır.
- ANOVA testi sonucunda NO_2 için elde edilen p değeri, $p < 0,05$ olduğundan, H_A hipotezi red edilmiştir. Bu sonuca göre, NO_2 konsantrasyonlarının kaza dışı tüm hastalıklardan dolayı meydana gelen ölümler üzerinde anlamlı bir etkisi bulunmamaktadır. Bu nedenle NO_2 için model uygulanmamıştır.
- Kaza dışı nedenler haricinde meydana gelen tüm ölümler ile ilgili model sonuçlarına göre, $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ‘lık SO_2 artışına ilk maruzkalınan güne (lag 0) ait RR değeri pozitif bir değerdir. Dolayısıyla SO_2 ’ye maruz kalınan ilk gün

ölüm riski bulunmaktadır. Rölatif risk daha sonra artmakta ve ikinci günde (lag 2) 1.017 değerine ulaşmaktadır. Yani ölüm riski %0,17'dir.

- Model sonuçlarına göre, her gün $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 'lık SO_2 artışına maruz kalan bir kimsenin onuncu gün sonunda sahip olacağı kaza dışı hastalıklara bağlı ölüm riski $\text{RR} = 1.114$, yani %11,4'tür.
- SO_2 konsantrasyonu $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 'dan $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 'a yükseldiği takdirde, rölatif risk de %12,7 artacaktır. Bunun anlamı, iki kat yüksek SO_2 konsantrasyonuna maruz kalan bir kimsenin onuncu gün sonunda sahip olacağı kaza dışı hastalıklara bağlı ölüm riski seviyesi normalden %12,7 daha yüksek olacaktır.

Hava kirliliğinin ölüm oranları üzerindeki etkileri, farklı ülkelerde yapılmış olan çalışmalarla da araştırılmıştır. Örneğin, Peters ve diğ.'leri (2000) yaptıkları çalışmada, Çek Cumhuriyeti'ndeki son derce kirli bir kömür havzası ile Almanya'da bulunan kırsal bir bölgeye ait verilerden yararlanarak, bu bölgelerdeki hava kirliliğinin meydana gelen ölümler üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Poisson regresyonu yöntemiyle gerçekleştirilen analizde, trend, mevsim, meteoroloji ve grip salgınları karıştırıcı faktörler olarak kabul edilmiş ve parametrik ve parametrik olmayan yaklaşımlar içerisinde kullanılmışlardır.

Çalışma sonuçlarına göre, Çek Cumhuriyeti'nde 1982-1994 yılları arasında, $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 'lük toplam asılı partiküler madde artışına maruz kaldıktan sonraki 3 günlük gecikme etkisi (lag 3) sonucu kalp-damar hastalıkları nedeniyle meydana gelen ölümlerde, rölatif risk (RR) = 1.004 olarak bulunmuştur. Solunum sistemi hastalıkları sonucu meydana gelen ölümlerde ise rölatif risk (RR) = 1.033 olarak bulunmuştur. Almanya'daki kırsal bölgede ise partikül madde ve ölümler arasında bir bağlantı bulunmamıştır.

Fransa'da yapılmış olan Psas (2008) araştırmasında, hava kirliliği ile günlük ölüm miktarları arasındaki ilişki Poisson regresyonlu zaman serisi yoluyla incelenmiştir. Yöntem olarak genelleştirilmiş aditif model (GAM) tercih edilmiştir. Uzun vadeli trendler, mevsimsellik, haftanın günü, grip salgınları, günlük minimum sıcaklıklar ve bir önceki güne ait maksimum sıcaklıklar gibi karıştırıcı faktörler de modelde göz önünde bulundurulmuştur. Mevsimsellik, penlize splayn olarak dikkate alınmıştır.

Psas araştırmasının sonuçlarına göre, NO₂ konsantrasyonundaki 10 µg/m³'lük bir artış, kirleticiye maruz kalınan ilk gün ve sonraki güne (lag 0-1) ait kaza dışı nedenler sonucu meydana gelen ölümlerde %95'lik güven aralıkları ile birlikte 1.3 (0.6-1.9) 'lük bir birleşik aşırı rölatif risk (RR) artışına neden olmaktadır. PM₁₀ konsantrasyonundaki 10 µg/m³'lük bir artış ise, kirleticiye maruz kalınan ilk gün ve sonraki güne (lag 0-1) ait kaza dışı nedenler sonucu meydana gelen ölümlerde %95'lik güven aralıkları ile birlikte, 1.4 (0.7-2.0) 'lük bir birleşik aşırı rölatif risk (RR) artışına neden olmaktadır.

Yine aynı araştırmanın sonuçlarına göre, NO₂ konsantrasyonundaki 10 µg/m³'lük bir artış, kirleticiye maruz kalınan ilk gün ve sonraki güne (lag 0-1) ait kalp-damar hastalıkları sonucu meydana gelen ölümlerde %95'lik güven aralıkları ile birlikte 2.0 (0.7-3.3) 'lük bir birleşik aşırı rölatif risk (RR) artışına neden olmaktadır. PM₁₀ konsantrasyonundaki 10 µg/m³'lük bir artış ise, kirleticiye maruz kalınan ilk gün ve sonraki güne (lag 0-1) ait kalp-damar hastalıkları sonucu meydana gelen ölümlerde %95'lik güven aralıkları ile birlikte, 2.4 (0.9-3.9) 'lük bir birleşik aşırı rölatif risk (RR) artışına neden olmaktadır.

Samoli ve diğ.'lerinin APHENA (Air Pollution and Health: A Combined European and North American Approach) projesi kapsamında, doğal ve penalized splaynli Poisson regresyonlu modeller kullanarak yaptıkları çalışmada, PM₁₀ miktarındaki 10 µg/m³'lük bir artışa maruz kalındıktan sonraki güne (lag1) ait günlük ölüm miktarlarında, Kanada şehirleri için %0.84, Avrupa Şehirleri için %0.33 ve Amerika şehirleri için %0.29'luk artışla olarak bulunmuştur (Samoli, 2008).

Çalışmamızın sonuçlarına bakıldığında, kirletici konsantrasyonlarındaki artış ile ölümler arasında pozitif bir ilişki bulunduğu görülmektedir. Kalp-damar hastalıkları nedeniyle meydana gelen ölümler için en büyük risk, genel olarak kirliliğe maruz kaldıktan dört gün sonra (lag 4) ortaya çıkmaktadır. Solunum hastalıkları nedeniyle meydana gelen ölümler için en büyük risk ise, genel olarak kirliliğe maruz kaldıktan beş gün sonra (lag 5) ortaya çıkmaktadır. Kaza dışı nedenler sonucu gelen ölümler için en büyük risk ise, PM₁₀ için kirliliğe maruz kaldıktan on gün sonra (lag 10), SO₂ için ise iki gün sonra (lag2) ortaya çıkmaktadır. Asıl ciddi risk ise, kirletici konsantrasyonlarının normal seviyelerin çok üzerine çıktığı zamanlarda yaşanmaktadır. Bu gibi durumlarda ölüm riski katlanarak artmaktadır.

İstanbul’da günümüz şartlarında ortaya çıkan hava kirliliği, özellikle çocuklar, yaşlılar ile solunum ve kalp rahatsızlığı bulunan kişiler için dikkat edilmesi gereken önemli bir problemdir. Çalışma sonucunda ortaya çıkan kirlilik ile ölüm oranları arasındaki Lineer ilişki, İstanbul’da hava kirliliği ile ilgili daha ciddi yaptırımların uygulanması gerektiğini göstermektedir. Bunun yanı sıra, Türkiye’nin diğer şehirlerinde bu konuda yapılacak çalışmalar, şehirlerimizdeki kirlilik ve ölümler arasındaki ilişkilerin ortaya çıkarılması ve gerekli önlemlerin alınması açısından faydalı olacaktır.

KAYNAKLAR

- Abrahart, R. J. ve See, L.**(1998).Neural Network vs. ARMA Modelling: Constructing Benchmark Case Studies of River Flow Prediction.In GeoComputation '98.Proceedings of the Third International Conference on GeoComputation, University of Bristol, United Kingdom, 17–19 Eylül (CD-ROM).
- Ezber, Y., Sen, O. L., Kindap, T., & Karaca, M.** (2007).Climatic Effects of Urbanization in Istanbul: A Statistical and Modeling Analysis, *International Journal of Climatology*,27, 667–679,doi: 0.1002/joc.1420
- Hapçioğlu, B., Issever, H., Kocyigit, E., Disci, R., Vatansever, S. ve Özdilli, K.**(2006). The effect of air pollution and meteorological parameters on chronic obstructive pulmonary disease at an Istanbul Hospital,*Indoor and Built Environment*, 15, 147-153, doi: 10.1177/1420326X06063221
- IBB.**(2009). Büyükşehir Belediyesi Raporu, İstanbul, Türkiye
- Incecik, S., Ulas, I.**(2012). Air Pollution in Mega Cities: A Case Study of Istanbul,*Air Pollution - Monitoring, Modelling and Health*,77-116,doi: 10.5772/33385
- Institut de veille sanitaire.**(2008). Programme de surveillance air et santé Analyse des liens à court terme entre pollution atmosphérique urbaine et mortalité dans neuf villes françaises.*Institut de veille sanitaire Saint Maurice 2008*,21-23.
- İssever, H., Disci, R., ve Hapcioglu B.**(2005). The effect of air pollution and meteorological parameters in Istanbul on hospital admissions for acute coronary syndrome. *Indoor and Built Environment*,14(2),157-64.
- Keles, N. ve Ilicali, C.** (1998). The impact of outdoor pollution on upper respiratory diseases. *Rhinology*, 36, 24-27.
- Mahiyuddin, W. R. W, Sahani, M., Aripin, R., Latif, M.T., Thach, T-Q., Wong, C-M.** (2013). Short-term effects of daily air pollution on mortality, *Atmospheric Environment*, 65, 69-79.
- Markakis, K., Im, U., Unal, A., Melas, D., Yenigun, O., Incecik, S.**(2009).Compilation of a GIS Based High Spatially and Temporally Resolved Emission Inventory for the Greater Istanbul Area, *Atmospheric Pollution Research*, 3, 112-115, doi: 10.5094/APR.2012.011.

- Özer, U., Aydın, R., ve Akçay H.** (1997). Air pollution profile of Turkey, *Chemistry International*, **19**, 190-1.
- Peters, A., Skorkovsky, J., Kotesovec, F., Brynda, J., Spix, C., Wichmann, H. E., Heinrich, J.** (2000). Associations between Mortality and Air Pollution in Central Europe, *Environmental Health Perspectives*, **108**, 283-287.
- Samoli, E., Peng, R., Ramsay, T., Pipikou, M., Touloumi, G., Dominici, F., Burnett, R., Cohen, A., Krewski, D., Samet, J., Katsouyanni, K.** (2008). Acute Effects of Ambient Particulate Matter on Mortality in Europe and North America: Results from the APHENA Study, **116**, 1480–1486doi:10.1289/ehp.11345.
- Salvi, S.** (2007). Health Effects of Ambient Air Pollution in Children, *Paediatric Respiratory Reviews*, **8**, 275–280, doi: 10.1016/j.prrv.2007.08.008
- Singh, V. P., Yadava, R. N.** (2003). Environmental Pollution, Sf. 168, Yeni Delhi, Hindistan.
- Şahin, Ü.** (2000). İstanbul'da 1994-1998 Hava Kirliliği Düzeyleri ile Mortalite Arasındaki İlişki, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Tadano, Y. S., Ugaya, C. M. L., Franco, A. T.** (2012). Methodology to Assess Air Pollution Impact on Human Health Using the Generalized Linear Model with Poisson Regression, *Air Pollution - Monitoring, Modelling and Health*, 281-304, doi: 10.5772/33385
- TC Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı (DPT).** (1997). Enerji sektöründen kaynaklanan hava kirliliği, *Ulusal Çevre Eylem Planı*. Ankara, Türkiye.
- T.C. İstanbul Valiliği Çevre ve Şehircilik Müdürlüğü.** (2011). İstanbul Çevre Durum Raporu, İstanbul, Türkiye.
- Tecer, L.H., Alagha, O., Karaca, F., Tuncel, G. ve Eldes, N.** (2008). Particulate matter (PM_{2.5}, PM_{102.5}, and PM₁₀) and Children's Hospital Admissions for Asthma and Respiratory Diseases: A Bidirectional Case-Crossover Study. *Journal of Toxicology and Environmental Health*, **71**, 512-520.
- Tomaç, N., Demirel, F., Acun, C. ve Ayoğlu, F.** (2005). Prevalence and risk factors for childhood asthma in Zonguldak, Turkey. *Allergy Asthma Proc*, **26**(5), 397-402.
- TomTom European Traffic Index.** (2013). *TomTom*.
- Wong, C-M., Vichit-Vadakan, N., Kan, H., Qian, Z., PAPA Project Team.** (2008). Public Health and Air Pollution in Asia (PAPA): A Multicity Study of Short-Term Effects of Air Pollution on Mortality, *Environmental Health Perspectives*, **116**, 1195–1202doi:10.1289/ehp.11257.

Yu, I. T. S., Zhang, Y. h., Tam, W. W. S., Yan, Q. H., Xu, Y. j., Xun, X. j., Wu, W., Ma, W. J., Tian, L. W., Tse, L. A., Lao, X. Q. (2012). Effect of ambient air pollution on daily mortality rates in Guangzhou, China, *Atmospheric Environment*, **46**, 528-535.

Yücel, A., Cakir, B. ve Tezcan, S.(2002).Association of acute respiratory infections and indoor air pollution among children aged 0-24 months, in a semi-urban area, Ankara, Turkey. *Epidemiology*,**13(4)**, 356.

Url-1 <<http://www.epa.gov/pm/basic.html>> , alındığı tarih: 14.02.2014.

Url-2 <<http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=13425>> , alındığı tarih: 15.12.2013.

Url-3 < <http://www.riskonomi.com/wp/?p=642>> , alındığı tarih: 14.12.2013.

Url-4 <<http://www2.itu.edu.tr/tr/haber/?15ccee51-7c90-4525-b163-02f82209ee2b>> , alındığı tarih: 15.02.2014

Url-4 < <http://www.ntvmsnbc.com/id/25417844/>> , alındığı tarih: 15.02.2014

Url-5 <<http://www.dylosproducts.com/whispama.html>> , alındığı tarih: 13.02.2014

Url-6 <<http://www.breckland.gov.uk/content/air-pollution>> , alındığı tarih: 13.02.2014

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: ÖZKAN ÇAPRAZ

Doğum Yeri ve Tarihi: KOCAELİ – 31.01.1986

Adres: Huzur Mah., Cumhuriyet Cad. Oyak Sit., 4. Blok, No:6, Şişli, İstanbul

E-Posta: caprazozkan@gmail.com

Lisans: METEOROLOJİ MÜHENDİSİ

Yayın ve Patent Listesi:

- Toros, H., Erdun, H., **Çapraz, Ö.**, Özer, B., Daylan, E. B., Öztürk, A. İ., 2013: Air Pollution and Quality Level in Metropolitan Turkey for Sustainable life. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 12-18.

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR/SUNUMLAR

