

**BAYBURT İLİ HAVA KALİTESİNİN
DEĞERLENDİRİLMESİ**

Ender KILIÇ

Yüksek lisans Tezi

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Doç. Dr. F. Sezer TURALIOĞLU

2008

Her hakkı saklıdır

ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BAYBURT İLİ HAVA KALİTESİNİN
DEĞERLENDİRİLMESİ

Ender KILIÇ

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ERZURUM
2008

Her Hakkı Saklıdır

Doç. Dr. F. Sezer TURALIOĞLU'nun danışmanlığında, Ender KILIÇ tarafından hazırlanan bu çalışma 01/05/2008 tarihinde aşığıdaki jüri tarafından, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Doç. Dr. F.Sezer TURALIOĞLU

İmza :



Üye : Doç. Dr. Osman Nuri ATA

İmza :



Üye : Yrd.Doç. Dr. Hanefi BAYRAKTAR

İmza :



Yukarıdaki sonucu onaylarım

(İmza)

Prof. Dr. Mehmet ERTUĞRUL

Enstitü Müdürü

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BAYBURT İLİ HAVA KALİTESİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Ender KILIÇ

Atatürk Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. F.Sezer TURALIOĞU

Bu çalışma, ülkemizin en az nüfusuna sahip, karasal iklimin yaşandığı, endüstriyel sanayinin gelişmediği buna rağmen, şehrin konumu ve çarpık kentleşme nedeni ile hava kirliliğinin zaman zaman sınır değerleri aştığı Bayburt kent merkezinin hava kalitesinin belirlenebilmesi için yapıldı. Bayburt İl Çevre ve Orman Müdürlüğünden alınan PM_{10} ve SO_2 sonuçları, $PM_{2.5}$ ile birlikte SPSS 11.5 Paket programı yardımı ile incelendi ve konsantrasyon değerleri grafiksel olarak gösterildi. Çeşitli meteorolojik parametrelerin hava kirliliği üzerindeki etkisi araştırıldı. $PM_{2.5} / PM_{10}$ konsantrasyonlarının ortalama değerinin 0,7 olması Bayburt kent atmosferindeki kirliliğe, antropojenik kaynaklı kirleticilerin neden olduğu gözlemlendi. Örneklem sonucunda elde edilen konsantrasyon sonuçları Türkiye ve Dünyanın diğer ülkelerinde yapılan çalışmalar ile karşılaştırıldı. $PM_{2.5}$ için belirlenen standartlara uygunluğu incelendi. Türkiye’de karşılaştırılacak $PM_{2.5}$ standardı bulunmadığından, Avustralya, AB, ve ABD standartlarıyla karşılaştırıldığında Bayburt’ta bulunan ortalama $PM_{2.5}$ değerinin yüksek olduğu gözlemlendi.

2008, 60 sayfa

Anahtar Kelime: Hava Kalitesi, $PM_{2.5}$, PM_{10} , Meteorolojik Parametreler

ABSTRACT

MS Thesis

THE CONSIDERATION OF AIR QUALIFICATION OF BAYBURT CITY

Ender KILIÇ

Atatürk University
Graduate School of Naturel And Applied Sciences
Department of Environmental Engineering

Supervisor: Doç. Dr. F.Sezer TURALIOĞLU

This study has been made to determine the air quality of city center of Bayburt which is a city that has the the smallest population in the cities in Turkey, which has a terrestrial climate and although it has an underdeveloped industry, it has an air pollution commonly exceed limit valves with regard to the city's location and slanting residence.. The PM_{10} , SO_2 , and $PM_{2.5}$ results taken from the Environment and Forestry Directorate of Bayburt have been examined by the programme SPSS 11,5 and also concentration values have been shown grafically. The effect of variety of meteorological parameters on air pollution has been investigated. As the $PM_{2.5} / PM_{10}$ concentration average values have been high from 0,7 , it is observated that antropogenic sourced polluters are the reason fort he pollution of the Bayburt city atmosphere. The sampled concentration results have been compared with other studies in Turkey and in other counties of the world. The appropriation of $PM_{2.5}$ for determined standarts is invastigated. It is observed that average $PM_{2.5}$ valve faund in Bayburt has been higher than Austria, EU,USA standarts because there are no $PM_{2.5}$ standarts to compare with in Turkey.

2008, 60 pages

Keywords: Air Quality, $PM_{2.5}$, PM_{10} , Meteorological Parameters

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam süresince bana her türlü konuda yardımlarını ve desteğini esirgemeyip, daima ilgi, hoşgörü ve sabır gösteren saygıdeğer hocam Sayın Doç.Dr. F.Sezer TURALIOĞLU'na

Görüş ve yorumlarıyla çalışmama büyük katkıda bulunan Sayın Yrd. Doç. Dr. Hanefi BAYRAKTAR'a

Çalışmam esnasında, cihazın yer temininde yardımcı olan ve her türlü maddi ve manevi desteğini esirgemeyen Bayburt İl Çevre ve Orman Müdürü Sayın Alpaslan KATIRCI ve Çevre Yönetim Şube Müdürü Sayın Alaattin KOCA'ya

Öğrenim ve çalışma hayatım boyunca hiçbir zaman yardım ve desteklerini esirgemeyen aileme teşekkür ederim.

Ender KILIÇ

Nisan 2008

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	vii
1.GİRİŞ.....	1
2.KURAMSAL TEMELLER.....	4
2.1. Hava Kalitesi.....	4
2.2. Hava Kirleticiler, Oluşumları, Kaynakları, Etkileri.....	4
2.2.1. Partikül madde tanımı, özellikleri ve oluşumu.....	4
2.2.1.a. Partikül madde kaynakları.....	5
2.2.1.b. Partikül maddenin sağlık üzerine etkileri.....	8
2.2.1.c. Partikül maddenin çevre açısından önemi.....	12
2.2.1.d. Partikül madde sınır değerleri.....	13
2.2.2. Kükürt oksitler (SO _x), oluşumları, kaynakları, etkileri.....	15
2.2.3. Azot oksitler (NO _x), oluşumları, kaynakları, etkileri	20
2.2.4. Karbon monoksit (CO), oluşumları, kaynakları, etkileri	22
2.2.5. Diğer kirleticiler.....	27
2.3. Hava Kirliliğine Etki Eden Faktörler.....	29
2.3.1. Meteorolojik faktörler.....	29
2.3.2. Şehrin konumu ve topografya.....	31
2.3.3.Kullanılan yakıtlar ve yakam sistemleri.....	31
3. METERYAL ve YÖNTEM.....	33
3.1. Bayburt'un Konumu ve Topografik Özellikleri.....	33
3.2. Bayburt'un Meteorolojik Özellikleri.....	34
3.3. Bayburt'ta Hava Kirliliği ve Kaynakları.....	37
3.4. PM _{2,5} Örneklemesi.....	38
3.5. PM _{2,5} Kütlesel Konsantrasyon Belirlenmesi.....	40
3.6. PM ₁₀ ve SO ₂ Ölçüm Yöntemi.....	41

3.7.SPSS Paket Programı.....	42
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA.....	44
4.1. Kütlesel Konsantrasyon Bulguları.....	44
4.1.1. Veri setinin tanımlanması.....	44
4.1.2. Kütlesel konsantrasyonun zamansal değişimi.....	48
4.1.3.Meteorolojik parametrelerin kütlesel konsantrasyona etkisi.....	54
5. SONUÇ.....	57
KAYNAKLAR.....	59
ÖZGEÇMİŞ	

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. PM boyutunun insan sacı ve plaj kumu karşılaştırılması	9
Şekil 2.2. Karbon monoksit konsantrasyonuna ve süreye bağlı olarak kanda oluşan karboksi hemoglobin miktarı.....	24
Şekil 3.1. Bayburt il haritası	33
Şekil 3.2. PM _{2.5} örnekleme için kullanılan yüksek hacimli örnekleme cihazı.....	39
Şekil 4.1. PM _{2.5} konsantrasyonunun değişimi	48
Şekil 4.2. PM _{2.5} konsantrasyonunun aylık değişimi	49
Şekil 4.3. PM _{2.5} konsantrasyonunun mevsimsel değişimi	50
Şekil 4.4. PM _{2.5} konsantrasyonunun hafta içi ve hafta sonu değişimi	51
Şekil 4.5. PM _{2.5} ile PM ₁₀ 'un zamansal değişimi	51
Şekil 4.6. PM _{2.5} ile PM ₁₀ 'un aylık değişimi	52
Şekil 4.7. PM _{2.5} ile PM ₁₀ 'un mevsimsel değişimi	53
Şekil 4.8. PM _{2.5} konsantrasyonunun yağışla olan ilişkisi	55
Şekil 4.9. PM _{2.5} konsantrasyonunun rüzgarla olan ilişkisi.....	55
Şekil 4.10. PM _{2.5} konsantrasyonunun sıcaklıkla olan ilişkisi	56

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Bazı doğal hava kirliliği kaynaklarından atmosfere neşredilen tahmini partikül emisyon miktarları.....	7
Çizelge 2.2. Partikül madde konsantrasyonu ve muhtemel ölüm oranında azalma	10
Çizelge 2.3. Dünya Sağlık Teşkilatı tarafından çeşitli ülkelerde hava kirliliğinden dolayı 0–4 yaş grubu çocuklarda tüm ölümlere göre ölüm sınırı	11
Çizelge 2.4. PM_{10} ve $PM_{2,5}$ sağlık üzerine etkileri.....	12
Çizelge 2.5. Dünyanın çeşitli yerlerinde kullanılan PM_{10} ve $PM_{2,5}$ standartları	13
Çizelge 2.6. Kükürt dioksitin insan sağlığı üzerine etkisi	18
Çizelge 2.7. Kükürt dioksitle ilgili sınır değerleri	18
Çizelge 2.8. Çeşitli ülkelerde uygulanan azot oksitler için sınır değerleri	21
Çizelge 2.9. Azot dioksitin insan sağlığı üzerine etkisi.....	22
Çizelge 2.10. Karbon monoksitin sağlık üzerine etkisi	26
Çizelge 2.11. Karbon monoksit için sınır değerleri.....	26
Çizelge 3.1. Bayburt şehir merkezinde 30 yıllık ölçülen ortalama meteorolojik parametreler	36
Çizelge 4.1. Hava kalitesi ve meteorolojik faktörlerin istatistiksel özellikleri.....	45
Çizelge 4.2. Çeşitli kentsel alanlarda yapılan kütleli PM konsantrasyonları sonuçları	47
Çizelge 4.3. Kütleli konsantrasyonların korelasyon matrisi.....	53
Çizelge 4.4. Kütleli konsantrasyonların, meteorolojik parametrelerle korelasyonu ..	54

1. GİRİŞ

21. yüzyılda dünyada çevre sorunları gün geçtikçe büyümektedir. Endüstriyel devrim ile birlikte, dünya çapında şehirlerin büyümesi, araç kullanımının artması, hızlı endüstrileşme ve buna karşılık planlama ve çevresel düzenlemelerdeki eksiklikler sonucu gittikçe artan hava kirliliği pek çok ülkede sağlık ve çevre sorunlarına yol açmıştır. 1940'lı yıllarda 3 milyar olan dünya nüfusu bugün iki kat artarak 6 milyara yaklaşmıştır. Enerji üretiminin ise bu zaman zarfında dört kat arttığı görülmüştür. Bu durum sınırlı olan doğal kaynakların korunmasının önemini çarpıcı bir şekilde ortaya koymaktadır. Bu gerçeğin ışığında fosil yakıtların sebep olduğu kirlenme şeklinin pek çok ülkenin çevre politikalarında anahtar rol oynadığını bilmekteyiz.

Yenilenebilir kaynaklar da dâhil olmak üzere dünyamızdaki hiç bir kaynak sınırsız değildir. Tam tersine, en bol olduğu sanılan havanın bile kirlenmesi bize, kaynaklarımızın kıt olduğu ve bilinçli kullanılmamaları durumunda doğabilecek sorunların geleceğimizi ne ölçüde tehdit edebileceğini gösteren anlamlı bir uyarıdır (Yeşilyurt ve Akcan 2001).

Yaşamın gereği aktiviteler için bir ortam olarak hizmet veren yerküre ve üzerindeki atmosferin kompozisyonu, iki milyar yıldan bu yana değişikliğe uğramış ve halen de uğramaktadır. Diğer bir deyişle yerkürenin gaz zarfının kompozisyonunda, insanoğlunun çevresi ile ilişkileri ve yaşayan canlı organizma ile atmosferin girişimleri sonucunda değişiklikler meydana gelmiştir. Hava kirlenmesi kavramı da böylece ortaya çıkmıştır.

Atmosfere dağılarak, onu kirleten kirleticiler katı, sıvı ve gaz halindedirler. Çeşitli kaynaklardan meydana gelen kirlilik maddeleri toz, is, sis, buhar, kül, duman vb. olarak havaya geçerler. Havadaki bu kirleticiler, kirletici kaynaklardan atmosfere doğrudan verilen kirleticiler ve kirleticilerle atmosferik özellikler arasında kimyasal olaylar sonucu oluşan kirleticiler olmak üzere iki şekilde bulunurlar. Atmosfere kirletici

kaynaklardan yayılan kirleticiler, kükürt dioksit, azot oksitler, karbon monoksit, hidrokarbonlar asılı vaziyette bulunan partikül maddelerdir. Günlük yaşamda sürekli karşılaştığımız bu kirleticilere maruz kalmamamız ve sağlıklı bir şekilde yaşamaya devam edebilmemiz için, dünya atmosferini kirleticilerden temizlemek ve korumak amacıyla bütün insanların elinden gelen gayreti göstermeleri gerekmektedir. İnsanın bu amaçla yaptığı bilimsel çalışmalar, kirleticilerin önlenmesi, tekrar oluşmaması için kısa ve uzun vadeli tedbirlerin alınması doğrultusunda yöntemler geliştirmek üzere yoğunlaşmıştır.

1955 yılında ilk yasal düzenlemenin ABD’de Temiz Hava Yasası (Clean Air Act) adıyla yapıldığı, daha sonra ise 1956 yılında İngiltere’de ilk yasal düzenlemelere gidildiği görülmektedir. Dünya ülkeleri günümüzde emisyon indirimine gitmek üzere çeşitli anlaşmalar yapmaktadır.

1992 yılında gerçekleştirilen Birleşmiş Milletler Kalkınma Konferansı (UNCED)’nda; şehirlerdeki çevresel bozunmaya dikkat çekilerek, acil tedbirlerin alınması gerektiği ifade edilmiş ve kentsel hava kirliliğinin önemine işaret edilerek; 21. yüzyıl için sürdürülebilir bir eylem planının oluşturulması, kirletici konsantrasyonları, kaynakları ve etkilerine yönelik güvenilir ve kabul edilebilir verilerin üretilebilmesi konusunda çaba gösterilmesi gereği vurgulanmıştır. Özellikle nüfusu yoğun olan büyük şehirlerde, geniş kapsamlı hava kalitesi yönetim planları ve etkin kontrol tedbirlerinin geliştirilmesi ihtiyacı bulunmaktadır.

Ülkemizde ise Batı ülkelerine göre daha geç başlayan endüstriyel faaliyetlerin çevre boyutu ile birlikte göz önüne alındığını söylemek oldukça zordur. Bunun yanı sıra çarpık şehirleşme, başta büyük şehirlerde olmak üzere çevre sorunlarının yoğunlaşmasına yol açmıştır. Hava kirliliği bugün ülkemizde birinci derecede önemli bir çevre sorunu haline gelmiştir. Birçok şehrimizde hava kalitesi standartlarının birkaç kat aşılması ise artık olağan bir durumdur. Yakıt kullanımına yönelik çalışmaların ne kadar yetersiz olduğu da yaşanan hava kirliliği ile açıkça görülmektedir. Örneğin

İstanbul'da bazı bölgelerde yüksek basıncın da hakim olduğu günlerde, hava kirliliği acil tedbirlerin alınması gereken sınır değerlere ulaşılmaktadır (Çimen 2001).

Ülkemizde 1955 yılından başlayarak özellikle Ankara başta olmak üzere büyük kentlerimiz için hava kirliliği üzerinde durulmaya başlanmıştır. Bu amaçla hava kirliliğinin azaltılması için 1986 yılında Çevre Kanununa dayanarak Hava Kalitesinin Kontrolü Yönetmeliği (HKKY) hazırlanmış daha sonra bu yönetmelikte çeşitli değişiklikler yapılmıştır. Son olarak 24 Haziran 2005 yılında AB hava kalitesi eşleştirme programı kapsamında hava kalitesi değerlendirme ve yönetimi yönetmeliği taslak halinde olup gerekli düzenlemelerden sonra sunulacaktır.

Bu çalışma sosyal ve ekonomik yönden gelişmemiş buna bağlı olarak sürekli göç veren ve nüfus sayısı bakımından ülkemizin en az nüfusuna sahip olan Bayburt ilinde yapılmıştır. Bayburt plansız kentleşme ve ısınma amaçlı kullanılan yakıtların kalitesizliğinden dolayı hava kirliliğinin yüksek olduğu illerimizdendir. İlin meteorolojik şartları gelişmeyi engelleyen faktörlerdendir. Yıllık sıcaklık ortalaması 6,8 olarak ülkemizin soğuk yerleşim merkezleri arasındadır.

İlde hava kirliliği ile ilgili hava kalitesi ölçümleri Ekim 1993 tarihinden itibaren Halk Sağlığı Laboratuvar Müdürlüğü'nce iki ayrı noktada bulunan ölçüm istasyonunda yapılmakla birlikte, Çevre ve Orman Bakanlığı tarafından Şubat 2007'de Sağlık İl Müdürlüğü bahçesine yerleştirilen hava kalitesi ölçüm kabini tarafından yapılmaktadır. Her iki müdürlük tarafından yapılan ölçümler PM_{10} ve SO_2 örneklerini kapsamaktadır. Bu ölçümler dışında literatürde Bayburt il merkezinde hava kalitesi ile ilgili herhangi bir çalışma yapılmamıştır.

Bu çalışmada, Bayburt kent merkezinin $PM_{2.5}$, PM_{10} ve SO_2 yönünden hava kalitesi araştırılmıştır. Elde edilen veriler, SPSS istatistik paket programı yardımı ile $PM_{2.5}$, PM_{10} ve SO_2 kütleli konsantrasyonlarının birbirleri ile ve meteorolojik faktörlerle olan ilişkilerinin araştırılmasında kullanılmıştır. Ayrıca $PM_{2.5}$, PM_{10} ve SO_2 'nin günlük, aylık ve mevsimsel değişimi grafiksel olarak irdelenmiş sonuçlar yorumlanmıştır.

2. KURAMSAL TEMELLER

2.1. Hava Kalitesi

İnsan ve çevresi üzerine etki eden hava kirliliğinin göstergesi olan, çevre havasında mevcut hava kirleticilerin artan miktarıyla azalan kalitelere hava kalitesi denir. Tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de hava kalitesindeki temel unsur insan sağlığını ve çevreyi korumaktır. Atmosfere çeşitli kaynaklardan yayılan is, duman, toz, gaz, buhar ve aerosol halindeki bu emisyonları kontrol altına almak; insanı ve çevresini hava alıcı ortamındaki tehlikelerden korumak; hava kirlenmeleri sebebiyle çevrede ortaya çıkan umuma ve komşuluk münasebetlerine önemli zararlar veren olumsuz etkileri gidermek ve bu etkilerin ortaya çıkmamasını sağlamak gerekir.

2.2. Hava Kirleticiler, Oluşumları, Kaynakları, Etkileri

Kentsel alanlarda, dış ortam havasında bulunan temel hava kirleticiler; karbon monoksit (CO), ozon (O₃), azot oksitleri (NO_x), kükürt dioksit (SO₂), partiküler maddeler (PM) ve diğer kirleticilerdir. Ayrıca aromatik hidrokarbonlar (PAH) ve asit aerosolleri gibi hava toksinlerine de gittikçe artan düzeyde önem verilmektedir. Hangi kirleticilerin hava kalitesi problemlerine sebep olduğu; endüstrileşme ve uygulanan kontrol tedbirleri, ulaşım tipleri, meteorolojik ve topoğrafik karakteristikleri içeren çok sayıda faktöre bağlıdır. İlave olarak; insan maruziyeti düşünüldüğünde, iç ortam hava kirleticilerinin katkısını da dikkate almak gerekir.

2.2.1. Partikül Madde Tanımı, Özellikleri ve Oluşumu

Partiküller, hava kirleticiler içerisinde önemli bir yere sahiptir. Partiküler madde tanım olarak atmosferde standart şartlarda katı yada sıvı olarak bulunan birleşmemiş su dışındaki maddelere denilir. Bunlar, 0,1 ila 100µ arasında değişen boylarda bulunurlar. Büyüklük sıralaması göz önüne alındığında; 0,2µ'den küçük partiküller ultra

mikroskobik, 0,2 ila 10 μ arasındaki partiküller mikroskobik ve 10 μ 'nin üzerindeki ise makroskopik partiküller adını alırlar. 10 μ 'den büyük partiküller genellikle yer çekimi etkisiyle Stokes Yasası uyarınca çökelirler. 10 μ 'nin altındaki parçacıklar ise havada asılı halde uzun süre kalabilmektedir. Bunlardan 0,2 mikrometrenin altında kalanlar Brownian hareket yaparlar (Csanady 1980; Çimen 2001).

Bu özelliklerin dışında hava ortamında askıda duran partikül halindeki maddeler iriliklerine ve yoğunluklarına bağlı olarak ancak belirli bir süre için bu hali sürdürebilirler. Bu sürenin sonunda yere çökelerek atmosferden uzaklaşırlar. Havada yüzer halde bulunan bu tanecikler, tane iriliklerine ve kimyasal yapılarına bağlı olarak toz, buhar, sis, duman, sprej gibi çok çeşitli isimler alırlar. Tozlar katı maddelerdir ve doğrudan endüstri veya ısınma tesislerinin atık gazlarıyla havaya atılan kül, kömür, çimento tozları, kum, talaş, toprak gibi bu sınıfa girer. Buharlar ise kimyasal veya fiziksel reaksiyonlar sonucu havaya bırakılan daha çok metal veya organik madde buharları ile bunların süblime olması sonucu oluşan çok ince sıvı zerrecilerdir. Sis yoğunlaşmış maddelerin oluşturduğu ince sıvı damlalarından meydana gelir ve su buharı etkisiyle doğal sis, diğer buharların etkisiyle smog şeklinde görülür. Duman karbonlu maddelerin tam yanmaması sonucu havaya bırakılan katı taneciklerce zengin atık gazların adıdır. Sprej ise bir sıvının basınçlı bir taşıyıcı gaz ile hava püskürtülmesiyle oluşan atomize sıvı tanecikleridir (Müezzinoğlu 2000).

2.2.1.a. Partikül Madde Kaynakları

Partikül madde kirliliğine yol açan kaynaklar temel özellikleri göz önüne alınarak iki ana grupta değerlendirilmektedir. Bunlar; doğal kaynaklar ve antropojenik kaynaklardır. Bu iki temel kaynak türü içerisinde insan kaynaklı olan antropojenik kaynaklar en etkin olanıdır. Bununla beraber doğal kaynakların da PM emisyon miktarları bakımından dünya genelinde hiç de küçümsenmeyecek bir paya sahip olduğu da bir gerçektir.

PM'ler için antropojenik kaynaklar; Antropojenik kaynaklar içinde partiküller en çok kömürün yakılmasından gelir. Kömür partikülleri içinde hem organik, hem de inorganik maddeler bulunur. Kömürdeki inorganik maddelerin çok büyük bir kısmı cüruf halindedir (cüruflar başlıca alüminyum silikattır). Ancak, son zamanlarda geliştirilen toz kömür yakma ocaklarında yakılan kömürlerdeki inorganik maddelerin, yaklaşık %80'i baca tozu olarak, atmosfere verilir (Gündüz 1994).

İnsanoğlu tarafından oluşturulan partikül madde kaynakları hareket edip etmediklerine göre çeşitli şekillerde sınıflandırılmaktadır. Kaynaklar hakkında bilgi toplama kolaylıkları bakımından ve kaynakların konumlarına göre yapılan sınıflandırma üç gruptan oluşur. Bunlar;

a. Noktasal kaynaklar; Birim zaman içinde yaptığı kirletici yayın miktarı referans değerinde olan önemli sabit kaynak olarak ifade edilmektedir. Tesisler taşıdıkları kirletme potansiyeline göre noktasal kaynak sınıfında değerlendirilmektedir. Noktasal kaynakların en büyükleri termik santraller, sanayi kuruluşları, toplu konut ısıtması, ticarethanelerdir.

b. Alansal kaynaklar; Noktasal kaynaklar gibi olan ancak bireysel olarak çok küçük yayın merkezlerinin bir arada bulunmasından oluşmaktadır. Belli bir alandaki evler, dükkânlar, atölye ve küçük sanayiler alansal kaynak olarak tanımlanır.

c. Çizgisel kaynaklar; Sürekli olarak bir çizgi boyunca hareket halindeki kirletici kaynaklardır. Otomobil, tren, uçak gibi ulaşım araçlarının havayı kirletmesiyle meydana gelmektedir.

PM'ler için doğal kaynaklar; Doğanın kendisinde bulunan PM kaynakları; başlıca olarak volkanik aktiviteler, tozlar, orman yangınları, okyanus spreyleri dir. Bu dört temel kaynak elemandan oluşan kaynaklardan atmosfere çeşitli miktarlarda gaz ve partikül halinde emisyonlar yayılmaktadır. Çizelge 2.1 doğal hava kirliliği kaynaklarından atmosfere yayılan partikül emisyonların tahmini miktarlarını

vermektedir Aktif yanardağlardan, ormanlarda çıkan yangınlardan, çöllerde rüzgarlarla taşınan tozlardan ve büyük su yüzeylerinden atmosfere her gün milyonlarca ton emisyon neşrolmaktadır (Çimen 2001).

Çizelge 2.1. Bazı doğal hava kirliliği kaynaklarından atmosfere neşredilen tahmini partikül emisyon miktarları

Kaynak	Tahmini Emisyon (Milyon ton/yıl)
Volkanlar	25 – 150
Orman Yangınları	1 – 50
Okyanus Spreyleri	300

Volkanlar; Yer kabuğundaki değişimlerle ortaya çıkan volkanik faaliyetler esnasında meydana gelen gaz ve partiküller atmosferde fon kirliliği denilen seviyeleri oluşturur. Volkanlar, rasgele zamanlarda ya da sürekli bir şekilde önemli miktarlarda partiküler madde neşreden birer kaynak olma özelliğine sahiptirler. Atmosferin radyasyon dengesini olumsuz yönde etkileyebilecek özellikleri nedeniyle volkanlar doğal hava kirliliği kaynakları içerisinde ön planda yer alırlar. Çizelge 2.1 global olarak volkanlardan atmosfere yıllık olarak neşredilen partikül emisyonlarının göstermektedir (Çimen 2001)

Tozlar; En büyük partikül kaynaklarından biri olan çöl bölgelerinde kalın kum tabakaları rüzgarlarla taşınabilmektedir. Kuzey Afrika üzerinde meydana gelen kum fırtınalarının büyük ölçekli hareketlerle Orta Avrupa'ya kadar taşındığı uydu fotoğrafları ile kolaylıkla izlenebilmekte, alıcı bölgelerde yüksek miktarlarda toz konsantrasyonlarının ölçülmesi ile de bu taşınma açık bir şekilde belirlenebilmektedir. Yine sinoptik ölçekli sistemlerle Afrika'dan Karayipler'e kadar taşınan tozların yıllık miktarının 300-400 megaton mertebesinde olduğu tahmin edilmektedir. Bunların yanı sıra toz konsantrasyonlarının yıl içerisindeki değişimleri de ilginç sonuçlar vermektedir. Örneğin, Barbados'un doğu sahillerinde alınan toz örnekleri Haziran ve Ağustos ayları arasında en yüksek konsantrasyonlara ulaşmaktadır. Bunun da sebebinin

kuzeydoğu Alize rüzgarları ile Afrika'dan taşınma olduğu bilinmektedir (WMO 1985). Bu faktörlerin dışında kuru hava esnasında tozların rüzgarlarla savrulmasına toprak erozyonu da neden olmaktadır. Sadece bu şekilde dünya üzerinde üretilen tozların günlük miktarlarının 20.000 ton ile bir milyon ton arasında değişmekte olduğu tahmin edilmektedir (Çimen 2001)

Orman Yangınları; Orman yangınlarının asılı partiküler madde olarak en önemli durağan kaynaklardan olduğu bilinir. Bu yangınlar yoluyla atmosfere büyük miktarlarda duman ve eser gazlar neşrolur. Orman yangınları yoluyla atmosfere neşredilen emisyonların yıllık değeri Çizelge 2.1'de verilmiştir. Bununla beraber ormanların yanması insan kaynaklı olduğu gibi yıldırım gibi doğal etkiler sonucu da olabilmektedir (Çimen 2001).

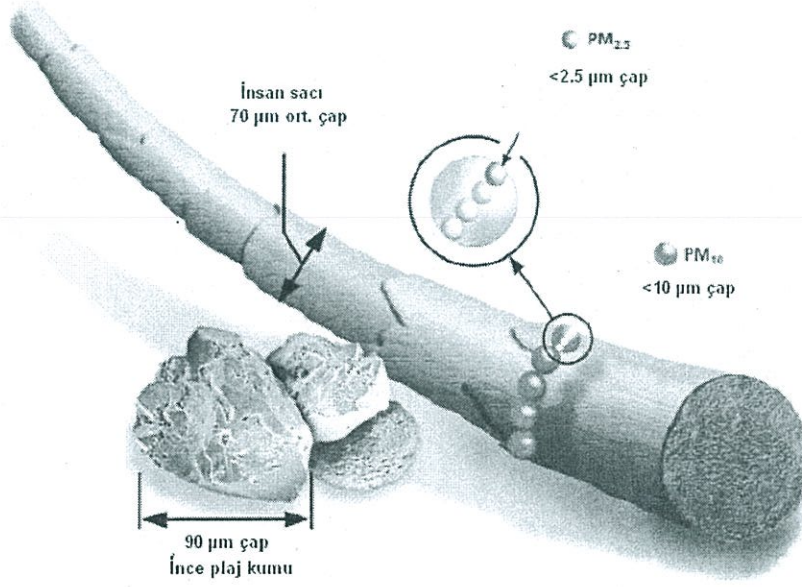
Okyanus Spreyleri; Okyanuslar ve denizler üzerinde tuz spreyleri şeklindeki oluşumlar, buharlaşma ve rüzgârlarla atmosfere transfer edilirler. Hava-deniz etkileşimini sağlayan mekanizma bu spreylere meydana gelişini ve hareketini düzenlemektedir.

2.2.1.b. Partikül Maddenin Sağlık Üzerine Etkileri

Partikül maddeler insan sağlığını etkileyen en önemli hava kirleticilerden biridir. Partikül madde çapı küçüldükçe sağlık üzerindeki olumsuz etkisi o kadar artmaktadır. Küçük partiküller hem atmosferde daha uzun kalırlar hem de akciğere kadar ulaşarak kana karışabilirler. Bunlar sağlık açısından büyük problem oluştururlar. Sağlık açısından zararlı olan partikül madde boyutları PM_{10} ve $PM_{2,5}$ dır. Şekil 2.1 de görüleceği üzere PM_{10} insan saç çapından 5 kat, $PM_{2,5}$ ise 20 kat daha küçüktür.

Çapları $2,5 \mu m$ 'den küçük partiküllere ince partiküller denir. Bu partiküller o kadar küçüktür ki ancak elektronik mikroskop ile tespit edilebilirler. Partikül maddelerin fiziksel yapısı ve kimyasal kompozisyonu sağlık açısından oldukça önemlidir. Cıva, kurşun, kadmiyum gibi ağır metaller oldukça zehirlidir. Kanseri yapıcı organik kimyasallar (PAH, dioksin, furan gibi) içeren partikül maddeler sağlık açısından çok

tehlikelidir. Birçok farklı bileşenden oluşmuş olan partikül maddeler akciğerdeki nemle birleşerek aside dönüşmektedir.



Şekil 2.1. PM Boyutunun İnsan sacı ve Plaj Kumu Karşılaştırılması

Duman bileşenlerinde bulunan çinko amonyum sülfat, akciğerde sülfürik aside dönüşmektedir. Kurum, uçucu kül, benzin ve dizel egzoz partikülleri benzo (a) pyrene gibi kanser yapıcı maddeler içerdiklerinden bunların uzun süre solunması durumunda kanser yaptığı bilinmektedir. PM_{10} akciğere kadar ulaşır, kanın içindeki karbon dioksitin oksijene dönüşümünü yavaşlatmakta buda nefes darlığına neden olmaktadır. Bu durumda oksijen kaybının giderilmesi için kalbin daha fazla çalışması gerektiği için kalp üzerinde ciddi bir baskı oluşturmaktadır. Partikül maddelerin sağlık üzerinde etkileri akuttan çok kroniktir. Uzun süre partikül madde kirliliğine maruz kalındığında akciğerde partikül birikmesi sonucu sağlık problemleri görülmektedir. PM_{10} konsantrasyonuna maruz kalma süresi hem akciğer hem de kalp fonksiyonunu olumsuz etkiler. Astım, kalp ve akciğer hastalıkları partikül madde kirliliğinden daha fazla olumsuz etkilenmektedir. Partikül madde konsantrasyonunda artışın olduğu bölgelerde hastaneye müracaatlarda artışlar olmaktadır. Partikül madde kirliliği bazı kalp ve akciğer hastalarının ölümüne neden

olmaktadır. Kısa süreli olarak PM_{10} kirliliğine maruz kalındığında akciğer hastalıkları kötüleşir. Kalp hastası olan kişilerde kalp atışları hızlanır (Öztürk 2007).

Partikül madde kirliliğinin yüksek olduğu bölgelerde özellikle yaşlıların hastaneye müracaatlarında, kalp ve akciğer hastası yaşlıların ölümlerinde artışlar olmaktadır. Özellikle hava kirliliğinin yoğun olduğu illerde ve trafiğin yoğun olduğu cadde, yol ve meydanlarda dışarıda egzersiz (koşu ve yürüyüş gibi) yapılmamalıdır. Çünkü eksersiz esnasında daha derinden ve daha sık aralıklarla soluk alındığından vücuda daha fazla kirletici girer. Bu kirleticiler kolayca akciğere ulaşır. Günlük partikül madde konsantrasyonundaki her $10 \mu g/m^3$ lük artış günlük ölüm oranında Avrupa ülkelerinde yapılan çalışmaya göre %0,6, ABD de yapılan çalışmaya göre ise %0,5 artış olduğu gözlenmiştir. Hastaneye başvuruda ise Avrupa ülkelerinde %1 lik artış ve A.B.D.'de %1,5 artış gözlenmiştir. A.B.D. partikül madde konsantrasyonunda iki günlük ortalama değerde $10 \mu g/m^3$ lük artış genel ölümlerde %1,2'lik artışa neden olduğu tespit edilmiştir. İtalya'nın sekiz büyük şehrinde yapılan çalışmaya göre partikül madde konsantrasyonu ile ölüm oranının arasındaki ilişki Çizelge 2.2'de verilmiştir Çizelge 2.2 incelendiği zaman atmosferdeki partikül madde konsantrasyonu azaldıkça hava kirliliğinden dolayı ölüm oranında önemli düşüşler olduğu tespit edilmiştir (Öztürk 2007).

Çizelge 2.2. Partikül madde konsantrasyonu ve muhtemel ölüm oranında azalma

Partikül Madde Konsantrasyonunda Azalma	Muhtemel Ölüm Oranında Azalma
$40 \mu g/m^3$	2000 ölüm/yıl
$30 \mu g/m^3$	3500 ölüm/yıl
$20 \mu g/m^3$	5500 ölüm/yıl

Çocukların akciğerleri gelişmekte olduğu ve günlerin çoğunu dışarıda eksersiz yaparak geçirdikleri için PM_{10} kirliliği bakımından risk altındadır. Çocuklar uzun süre partikül kirliliğine maruz kaldıklarında astım veya solunum sistemi hastası olmaları kuvvetle muhtemeldir. Dünya Sağlık Teşkilatı tarafından yapılan çalışmaya göre Avrupa ve Asya'daki bazı ülkeler alt guruplara bölünmüştür. Çizelge 2.3 de görüleceği üzere bu

ülkelerde her yıl PM kirliliğinden dolayı 0–4 yaş gurubu 13.000 çocuk ölmektedir. Bu ölümlerin 10.000 kişisi EURO B gurubu ülkelerde (Türkiye dahil) olmaktadır. 0–4 yaş gurubu toplam ölümün %7,5 partikül madde kirliliğinden olmaktadır. 3000 kişi ise EURO C gurubu ülkelerde olmaktadır. 0–4 yaş gurubu toplam ölümün %5,8 partikül madde kirliliğinden olmaktadır (Öztürk 2007).

Çizelge 2.3. Dünya Sağlık Teşkilatı tarafından çeşitli ülkelerde hava kirliliğinden dolayı 0–4 yaş grubu çocuklarda tüm ölümlere göre ölüm sınırı

Alt Kategori	Ölüm Sayısı	Tüm Sebeplere Göre Ölüm (%)	10.000 çocuk Başına Ölüm
EURO A	178	0.8	0.1
EURO B	10 617	7.5	5.9
EURO C	3 001	5.8	2.6
Toplam	13 796	6.4	2.7

PM₁₀ konsantrasyonu A.B. belirlediği yıllık ortalama 40 µg/m³ sınır değerinin altına düşürülmüş olsaydı EURO B gurubu ülkelerde 3217 kişinin ölümü önlenecekti. Benzer şekilde EURO C ülkelerinde 1788 kişinin ölmesi önlenecekti.

Dünya Sağlık Teşkilatının yaptığı çalışmaya göre gelişmekte olan ülkelerdeki şehir içi bölgelerde tüm ölümlerin %2-5'i partikül madde kirliliğinden ileri geldiği tespit edilmiştir. Çin Shenyang'da yapılan çalışmaya göre günlük PM₁₀ konsantrasyonunda her 100 (µg/m³) artış genel ölümlerde %1,7'lik artışa neden olmaktadır. Ayrıca kronik akciğer hastalıklarında %2,6 ve kalp rahatsızlıklarında %2,1 artışa neden olduğu gözlenmiştir. Dünya sağlık teşkilatı tarafından yapılan bir çalışmaya göre 24 saatlik ortalama çeşitli partikül madde konsantrasyonunun sağlık üzerine etkileri Çizelge 2.4'de verilmiştir. 24 saatlik ortalama partikül madde konsantrasyonu hedef değer-I aştığı zaman sağlık açısından ciddi sağlık sorunları yaşanmaktadır (Öztürk 2007).

Çizelge 2.4. PM₁₀ ve PM_{2,5} sağlık üzerine etkileri

	PM ₁₀ (µg/m ³)	PM _{2,5} (µg/m ³)	Seçilmiş seviyeler için esaslar
Hedef değer-I	70	35	Bu seviye WHO belirlediği sınır değerleri ilişkili %15 daha fazla uzun vadeli
Hedef değer-II	50	25	Diğer sağlık faydalarına ilaveten bu seviyeler, hedef değer-I göre prematüre ölüm riskini yaklaşık olarak %6 azaltır.
Hedef değer-III	30	15	Diğer sağlık faydalarına ilaveten bu seviyeler, hedef değer-II göre ölüm riskini yaklaşık olarak %6 düşürür.
Hava kalitesi değeri	20	10	Bunlar, kanser ve solunumla ilgili hastalıkların görüldüğü en düşük seviyedir.

2.2.1.c. Partikül Maddenin Çevre Açısından Önemi

Atmosferik partikül maddeler çevre açısından da ciddi tehdit oluşturmaktadır. Özellikle fiziksel ve kimyasal özelliklerine bağlı olarak kaynaktan salınan partikül maddeler, çeşitli süreçlerden (aglomerasyon, koagülasyon, kimyasal transformasyon vb.) sonra kuru ve/veya yağ çökme yolu ile toprak, su yüzeyler, bina, metal vb. yüzeyler üzerine çökmektedir. Çökelen türler kimyasal yapısına bağlı olarak çökelediği ortamlar için ciddi çevresel problemler oluşturmaktadır. Literatürde partikül maddelerin bitki ve ekolojik yapıya olan etkileri son yıllarda tartışılmaktadır. Grantz ve arkadaşlarının (2003) yaptığı çalışmada bitki yaprak ve gövdelerinde bulunabilecek PM'ler boyut ve kimyasal kompozisyonlarına bağlı olarak radyatif ısınmaya ve fotosentetik aktivitelerde azalmalara yol açtığını göstermektedir (Bayraktar 2006)

Diğer yandan büyüklük ve kimyasal içeriğine bağlı olarak partikül maddeler eşyalar üzerine de ciddi tahribata sebebiyet vermektedir. Metal yüzeyler kuru havada partiküllere karşı dayanıklı olmalarına rağmen, nemli havalarda bileşimindeki çeşitli asidik karakterli kimyasallar nedeniyle dayanıklı değildirler ve kısa zamanda korozyona uğrarlar. Yapılan çalışmalar şehirlerde ve endüstri merkezlerinde korozyonun kırsal kesime göre daha fazla olduğunu göstermektedir.

Ayrıca ağır sanayi merkezlerindeki korozyonun daha da büyük olduğu tespit edilmiştir. Atmosferik partiküller, yeryüzüne gelen toplam güneş radyasyonunu azalttığı gibi görüş mesafesini de düşürmektedir. Yapılan çalışmalar yerleşim merkezlerinin kırsal kesimlerden %15–20 daha az güneş ışınları aldığını göstermektedir. Bu oran daha yoğun endüstriyel kirli bölgelerde %30'lara kadar çıkabilmektedir (Sequeira and lai, 1997). Görüş mesafesinin azalmasının başlıca nedeni partiküller tarafından ışığın dağıtılmasıdır. İnsanla cisim arasındaki partiküller güneşten ve atmosferin diğer kısımlarından gelen ışınları dağıtır ve bu nedenle ışıklardan ancak bir kısmı insanla cisim arasını aydınlatır (Gündüz 1994).

2.2.1.d. Partikül Madde Sınır Değerleri

Havadaki partikül madde konsantrasyonun azaltmak için ülkeler standartlar geliştirmiştir. Bu limit değerler belirlenirken insan sağlığı ve çevreye verdiği zarar üzerinde durulmaktadır. Başta Avrupa Birliği ülkeleri (AB) olmak üzere çeşitli ülkelerde havadaki partikül madde konsantrasyonu ile ilgili uygulanan sınır değerler aşağıda Çizelge 2.5'de verilmiştir (Öztürk 2007).

Çizelge 2.5. Dünyanın çeşitli yerlerinde kullanılan PM_{10} ve $PM_{2,5}$ standartları ($\mu g/m^3$)

Ülke	PM_{10} Yıllık	PM_{10} Günlük	$PM_{2,5}$ Yıllık	$PM_{2,5}$ Günlük
Türkiye	150	300	-	-
Türkiye(2016)	40	50	-	-
A.B.D	50	150	15	65
Japonya	-	100	-	-
İngiltere	40	50	-	-
A.B	40	50	20	40
Avustralya	-	50	8	25
Kanada	70	120	-	-
WHO	20	50	-	-

Çizelge 2.5’de görüldüğü üzere partikül madde ile ilgili sınır değerler incelendiği zaman standart değerleri en yüksek olan ülkenin Türkiye olduğu görülmektedir. Türkiye için belirlenen günlük partikül madde sınır değeri, A.B.D.’nin belirlediği sınır değerin 2 kat, Japonya’nın 3 kat, Avustralya ve AB değerinin 6 kat, Kanada’nın 2,5 kat ve Dünya Sağlık Teşkilatı’nın 6 kat üzerinde olduğu anlaşılmaktadır.

Yine Türkiye’nin yıllık sınır derlerini diğer ülkelerin sınır değerleri ile mukayese ettiğimiz zaman A.B.D.’nin belirlediği sınır değerin 3 kat AB değerinin 3,8 kat, Kanada’nın 2,2 kat ve Dünya Sağlık Teşkilatının 7,5 kat üzerinde olduğu görülmektedir

Ülkemizde ve dünyanın birçok ülkesinde $PM_{2,5}$ için henüz sınır değerler belirlenmemiş olup bu konuda çalışmalar sürdürülmektedir. Son yıllarda yapılan çalışmalar, PM’lerin dış hava kalite standartlarında yeni yaklaşımların dikkate alınması gerektiğini göstermektedir. Çünkü PM’ler çok karmaşık yapıya sahip olup birçok parametrenin dikkate alınmasını gerektiren bir kirletici gurubudur. Örneğin PM’lerin;

- Büyüklük dağılımı
- Kütlesi, yüzey alanı
- Uçuculuk özelliği
- Elektriksel yükü
- Kimyasal bileşimi
- Geometrisi
- Oluşumu
- Higroskopik olup, olmayışı
- Toksik türlerin konsantrasyonu
- Akut ve kronik etkileri (özellikle düşük dozlara maruz kalmada)

dikkate alınarak dünyada ve ülkemizde yeni standartların oluşturulması gerekmektedir (Hauck 1998).

2.2.2. Kükürt Oksitler (SO_x), Oluşumları, Kaynakları ve Etkileri

Hava kirliliği çalışmalarında SO_2 ve SO_3 kükürdün en çok ilgilenilen iki oksit'idir. SO_2 , renksiz, keskin kokulu reaktif bir gaz olup kömür, fuel-oil gibi kükürt içeren yakıtların yanması sırasında, metal ergitme işlemleri ve diğer endüstriyel prosesler sonucu oluşur. Ana kaynakları, termik santraller ve endüstriyel kazanlardır. Genel olarak, en yüksek SO_2 konsantrasyonları, büyük endüstriyel kaynakların yakınında bulunur. Gaz halindeki kirleticiler arasında kükürt oksitler en çok bilinen birincil hava kirleticilerdendir. Bunlar çoğunlukla durağan kaynaklarda fosil yakıtların yanması sonucunda meydana gelirler. Antropojenik kükürt oksitlerin %80'inden fazlasının sabit kaynaklardan meydana geldiği bilinmektedir. Bu emisyonların dünya üzerindeki durumuna bakıldığında en büyük payın Avrupa'nın endüstrileşmiş bölümü ile Kuzey Amerika olduğu görülür.

Petrol ve kömür gibi fosil yakıtlar kabaca %0.5 ila %6 arasında kükürt içerirler. Dolayısıyla bu yakıtların yanması sonucunda kükürt çoğunlukla SO_2 şeklinde atmosfere atılır. Atmosferde kükürdün yoğunlaşma fazındaki şekli ise SO_4^{-2} dir. Kükürt dioksit yanıcı olmayan renksiz bir gazdır. 0,3 ppm – 1 ppm derişimlerinde ağızda karakteristik bir tat bırakmakta, 3 ppm'n üstünde ise boğucu bir hisse yol açmaktadır. Atmosferde kalıcılık süresi 40 günü bulmaktadır. SO_2 nin sayısal değerleri incelendiğinde bütün dünyada her yıl atılan global emisyonların 132 milyon tonu, antropojenik emisyonların ise 50–75 milyon tonu bulduğu tahmin edilmektedir. Avrupa'da ise her yıl yaklaşık 20 milyon tonun üzerinde kükürt'ün deşarj edildiği bilinmektedir.

Hava kirliliğine yol açan SO_2 kaynakları temel özellikler göz önüne alınarak iki grupta değerlendirilmektedir.

- 1- Doğal kaynaklar
- 2- Antropojenik kaynaklar (insan yapımı)
 - 1) Doğal kaynaklar:

- Volkanlar: Rast gele zamanlarda ya da sürekli bir şekilde önemli miktarlarda kükürt dioksit yayan birer kaynak olma özelliğine sahiptir.

2) Antropojenik kaynaklar:

- Endüstri:
 - Demir ve Çelik İzabesi
 - Maden Endüstrisi
 - Petrol endüstrisi
 - Kağıt Endüstrisi
 - Tekstil Endüstrisi
 - Çimento Endüstrisi
- Termik Santral
- Konutların Isıtılması

Kükürt dioksit atmosfere atıldıktan sonra bir dizi reaksiyona uğramaktadır. Bunlardan biri de $\text{OH}^\cdot$ serbest radikali ile olanıdır. Burada;



meydana gelir. SO_3 aşağıda görüldüğü gibi havadaki su buharı ile reaksiyona girerek asit yağmurlarının temel sebebi olan H_2SO_4 'e dönüşür. Böylece;



Reaksiyon sonunda açığa çıkan ürünlerden bir diğeri ise sülfattır. Oluşan sülfatlar ise çoğunluğu 0.2-0.9 mm çapa sahip katı tanecikler şeklinde olup, görünür ışığın 0.4–0.8 mm olan dalga boyları ile girişim yaparak görüş uzaklığını azaltırlar. Kent atmosferinde SO_2 'nin tipik derişimlerinde, bağıl nemin de %50'den fazla olduğu günlerde önemli görüş kayıpları olur. Örneğin; $265\mu\text{g}/\text{m}^3$ SO_2 ve %50 bağıl nem içeren atmosferde görüş mesafesi 8 km'nin altına düşer ki bu da büyük uçakların kalkış ve inişine engel

olan bir durumdur. Kirli ve temiz hava örneklerinde SO₂ değerlerini kıyaslarsak; Temiz havada; 2×10^{-4} ppm SO₂, kirli havada; 0.2 ppm SO₂ bulunmaktadır. Bu rakamları birbirine oranlayacak olursak kirli havada 1000 kat daha fazla SO₂ bulunduğunu görürüz (İncecik 1994).

İnsan sağlığı üzerinde yaptığı olumsuz etkilerden biri, brokokonstriksiyon olarak bilinen solunum yollarında direncin artmasıdır. Yapılan araştırmalar SO₂ ve SO₃'ün fizyolojik etkilerinin daha ziyade üst solunum yollarında keskin, boğucu ve tahriş edici bir özellik göstermesi şeklinde görüldüğünü ortaya çıkarmıştır.

SO₂'nin sağlık etkilerine karşı en hassas grup, çocuklar ile dışarıda aktif olan astımlı yetişkinlerdir. Birincil etkisi, hırıltılı solunum, göğüs sıkışması ve kesik nefes alma gibi belirtilere sebep olan, solunum yollarının daralmasıdır. SO₂ konsantrasyonu ve soluma hızı artarken rahatsızlık bulguları da artar. Maruziyet kesildiğinde, akciğer fonksiyonu bir saat içinde normal haline döner.

Çok yüksek konsantrasyonlardaki SO₂; hırıltılı solunum, göğüs sıkışması, astımlı olmayan kişilerde kesik nefes alma gibi belirtilere sebep olabilir. SO₂ ve ince partiküllere uzun süreli maruziyet, solunum hastalıklarına, akciğerlerin savunma mekanizmasında değişikliklere ve mevcut kalp hastalıklarının kötüleşmesine sebep olabilir. Bu etkilere karşı en hassas grup, çocuklar, yaşlılar ve kronik akciğer hastalığı veya kalp hastalığı olan kişilerdir. Özellikle kan dolaşımı ve kalp rahatsızlıklarında büyük bir artış olmuştur. Kükürt dioksitin insan sağlığı üzerine yaptığı olumsuz etkiler. Kükürt dioksitin insan sağlığı üzerine yaptığı olumsuz etkiler Çizelge 2.6'da verilmiştir (Öztürk 2005).

Çizelge 2.6. Kükürt dioksitin insan sağlığı üzerine etkisi

SO ₂ (ppm)	Maruz Kalma Süresi	Etkileri
0.037- 0.092	Yıllık ortalama	185 µg/m ³ duman konsantrasyonu ile birlikte, solunum yolları ve akciğer hastalıklarında artışlar.
0.007	Yıllık ortalama	Yüksek partikül konsantrasyonu ile birlikte, çocuklarda solunum yolları hastalıklarında ilerleme.
0.11- 0.19	24 saat	Düşük partikül konsantrasyonunda, yaşlı kimselerde solunum yolları hastalıklarında artış.
0.19	24 saat	Büyüklerde kronik solunum yolları hastalıklarında ilerleme.
0.19	24 saat	Düşük partikül konsantrasyonunda, ölüm oranlarında artış görülebilir.
0.25	24 saat	750 µg/m ³ duman konsantrasyonu ile birlikte, günlük ölüm oranlarında artış görülebilir Hastalanmalarda ani artış.
0.5	10 dakika	Astım hastalarında egzersiz (hareket) halinde solunum direncinin artması.
5	24 saat	Sağlıklı kimselerde solunum direncinin artması.
10	10 dakika	Bronkospasm.
20		Göz tahrişi, öksürme.

Türkiye, Dünya Sağlık Teşkilatı ve A.B.'nin kükürt dioksit için koyduğu sınır değerler Çizelge 2.7.'de verilmiştir.

Çizelge 2.7. Kükürt dioksitle ilgili sınır değerler

Ülkeler	Koruma Gerekçesi	Ortalama Süre	Limit Değer	Marjinal Tolerans
Türkiye		Yıllık 24 saat	150 µg/m ³ 400 µg/m ³	
Avrupa Topluluğu (A.B.)	İnsan Sağlığını Korumak	1 saat	350 µg/m ³	Bir yıl içinde 24 defadan fazla olamaz
	Halk sağlığını Korumak	24 saat	125 µg/m ³	Bir yıl içinde üç defadan fazla bu değer aşılabilir
	Ekosistem	Yıllık Kış ayı	20 µg/m ³	
Dünya Sağlık Teşkilatı		10 dakika 24 saat yıllık	500 µg/m ³ 125 µg/m ³ 50 µg/m ³	
A.B.D. EPA		Yıllık 24 saat	80 µg/m ³ 365 µg/m ³	

Yapılan gözlemler, SO_2 'nin 1-2 ppm konsantrasyon arasında boya filmlerinin kuruma sürelerini %50-100 arttırdığını göstermiştir. 7-10 ppm arasında ise bu süre 3 güne kadar çıkmaktadır. Bu ortamlarda kuruyan yüzeylerin ise daha az dayanıklı oldukları belirlenmiştir. Kükürt oksitler, atmosferde veya metal yüzeylerinde H_2SO_4 oluşturmak suretiyle, metallerin korozyon hızlarının da artmasına neden olmaktadır. Bu etki hem metal cinsine hem de SO_2 'nin atmosferdeki konsantrasyon ve etkili olduğu süreye bağlıdır. Çeşitli SO_2 konsantrasyonlarında ve sürelerde metal korozyonun 1,5 ile 5 kat arttığı gözlenmiştir. ABD'nin "Pittsburgh" kentinde, SO_2 konsantrasyonunun 1926–1960 periyodu arasında 0.15 ppm'den 0.05 ppm'e düşerek 3 kat azalması neticesinde, çinkonun korozyon hızında da 4 kat bir azalma olduğu görülmüştür (www.forumturka.net/forum/archive/index.php/t-40305.html).

SO_2 'nin yapılar üzerindeki etkisi, kireçtaşı (CaCO_3) ile reaksiyona girerek suda çözünebilir, dolayısıyla yapıların zamanla yıpranmasına yol açan CaSO_4 ve $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ meydana getirmesidir. Bu yıpranma mermer yapılar da meydana gelmektedir. Genellikle hava kirleticilerinin tekstil, kumaş ve dokumalar üzerinde yapısal bağları zayıflatıcı ve germe kuvvetini düşürücü etkileri vardır. SO_2 'nin selüloz elyaflar, naylon ve pamuk üzerinde zarar verici etkileri bulunmaktadır (İncecik 1994).

SO_2 'nin deri ve kâğıt malzemeler üzerinde de yıpratıcı etkileri vardır. SO_2 deri tarafından absorbe edilerek H_2SO_4 'e dönüşür ve bu da derinin yapısını bozar. Bu bilhassa kütüphanelerdeki kitap ciltlerinin çatlamasına yol açar. Kâğıttaki selüloz elyaf, SO_2 'nin etkisi ile zayıflar. Bunda kâğıt üretiminde kullanılan kimyasal maddelerin içinde bulunan eser miktardaki metallerin SO_2 'nin H_2SO_4 'e dönüşümünü kataliz edici etkisinde önemli bir rolü bulunmaktadır (İncecik 1994).

Hava kirleticileri bitkileri doğrudan veya dolaylı olmak üzere iki yoldan etkiler. Doğrudan etki, bitki yaprağının yüzeylerinde bulunan ve stomata adı verilen deliklerden girmeleri neticesinde meydana gelir. Hava kirleticilerinin dolaylı etkisi ise, toprak ve su kanalı ile bitki köklerini etkileme suretiyle belirir. SO_2 , kloroplastların sayısında azalma nedeniyle renk solması veya sararması (klorosis) ve yüzeyde benekleşme (filecking)

şeklinde fiziksel etkiler veya mekanizmalarında aksaklıklar, verimde düşmeler gibi fizyolojik ve biyokimyasal etkiler şeklinde belirir (www.forumturka.net/forum/archive/index.php/t-40305.html).

2.2.3. Azot Oksitler (NO_x), Oluşumları, Kaynakları, Etkileri

Azot bileşikleri diazot oksit (N_2O) azot monoksit (NO) ve azot dioksitten (NO_2) ibaret olmasına rağmen atmosferdeki en önemli bileşikler NO ve NO_2 dir. Bu nedenle NO_x denince akla NO ve NO_2 gelmektedir. ($\text{NO}_x = \text{NO} + \text{NO}_2$).

Azotun elementel halde bulunduğu yer havadır, azot havanın arz yüzeyine yakın olan yerlerinde hacmen %78,09 oranında bulunur. Kimyasal şekilde bağlı azot bütün canlı cisimlerin, hayvan ve bitkisel hücrelerin iskelet maddesi olan proteinlerin esas kısımlarından biridir ve bunları teşkil eden amino asitlerini kimyasal bileşik halinde %14 oranında azot bulunur. Özellikle yüksek sıcaklıkta (1200°C ve üzerinde) azot molekülünün radikal oksijenle okside olması ile zincirleme reaksiyon başlar ve azot monoksit oluşur. 1700°C 'nin üzerinde azot monoksit daha hızlı oluşur. Yanma sonucu genelde azot monoksit, daha az miktarda da azot dioksit oluşur. Azot monoksitin atmosferde oksidasyonu sonucu azot dioksit oluşur. Azot dioksit, nitrat asidi oluşturmak için reaksiyona giren güçlü oksidanttır.

Azot oksitlerin iki önemli kaynağı vardır. Bunlardan birincisi; katı, sıvı veya gaz yakıt kullanan termik santraller, ikincisi ulaşımdır.

Taşıt sayısı arttıkça atmosferde azot oksit konsantrasyonu artar. Katalitik konvektörlü araçlar kullanılması halinde NO_x artmaz. Motorlu taşıtların haricinde termik santraller ve fosil yakıt kullanan sanayi tesisleri önemli azot oksit kaynağıdır. Azot dioksit, bina içinde, bazen bina dışındaki değerden çok yüksek olabilir. Çünkü bina içinde ısınma ve pişirme amacı ile kullanılan yakıtların yanması sonucu oluşan kirleticiler oda içinde birikebilir.

Azot oksitler yer seviyesinde duman oluşumunda anahtar rol oynar. Havadan ağır olan azot dioksit, suda kolayca çözünür ve nitrat ve nitrit asidine dönüşür. Azot oksitler, nitrat partikülleri ve asit aerosolleri oluşturmak üzere reaksiyona girerler. Asit yağmuru oluşumuna katkıda bulunurlar. Gelişmekte olan ülkelerde genel olarak kükürt dioksit ve partikül madde emisyonu azalırken azot oksit emisyonu artmaktadır. Çünkü bu tür ülkelerde taşıt sayısı ve sanayi artmaktadır. Asit oksit gazlar asidik karakterli gazlardır. Azot oksit gazları rüzgâr yardımı ile atmosferde çok uzun mesafelere taşınabilir. Azot dioksit konsantrasyonu 150 ppm ($285 \mu\text{g}/\text{m}^3$) veya üzerinde olduğunda insan sağlığı üzerinde öldürücü etkiye sahiptir. Azot dioksit akciğeri tahriş eder ve solunum enfeksiyonuna neden olur. 0.01 ppm'in altındaki azot dioksit konsantrasyonlarında 2-3 yaş arası çocuklarda bronşit vakalarında artış gözlenmiştir.

Yaz aylarında şehir içi bölgelerde yer seviyesinde ozon oluşumunun habercisi azot dioksittir. Azot oksitler ayrıca, göz tahrişine, üst solunum sisteminde enfeksiyona (özellikle çocuklarda), astımın şiddetlenmesine, bronşitin artmasına neden olur. Azot oksitler, boğaz ve akciğeri olumsuz etkiler. Birçok azot oksit bileşiği vardır. Ama genel olanı azot monoksit (NO) ve azot dioksittir (NO_2). Azot monoksit ile azot dioksit (NO_x) diyebiliriz. Avrupa Birliği ülkelerinde bir saatlik azot dioksit konsantrasyonu $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ aştığında alarm verilmektedir. Özellikle motorlu taşıt kullanımında kısıtlamalar yapılmaktadır. Türkiye'de ve çeşitli ülkelerde uygulanan azot oksitler için sınır değerleri Çizelge 2.8'de verilmiştir.

Çizelge 2.8. Çeşitli ülkelerde uygulanan azot oksitler için sınır değerleri

Ülke	Temas Süresi	Sınır Değeri ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Türkiye	24 saat	300
	Yıllık	100
Dünya Sağlık Teşkilatı (WHO)	1 saat	200
	Yıllık	40
AB	1 saat	200
	Yıllık	30
A.B.D. EPA	Yıllık	100

Çizelge 2.8’de de görüldüğü gibi Türkiye’nin sınır değerleri çok yüksektir. Kademeli olarak bir geçişin yapılmasında yarar vardır.

Azot dioksitin insan sağlığı üzerine yaptığı olumsuz etki Çizelge 2.9’da verilmiştir. Çizelge 2.9’da da görüldüğü gibi azot dioksitin konsantrasyonu yanında temas süresinin de oldukça etkili olduğu anlaşılmaktadır (Öztürk 2005).

Çizelge 2.9. Azot dioksitin insan sağlığı üzerine etkisi

NO ₂ (ppm)	Süre	Etkiler
0.12	-	Koku algılama sınırı
0.3	3.75 saat	FVC ve FEV de küçük artışlar (%5-9)
1.5-2	2-3 saat	Sağlıklı yetişkinlerde havayla artan solunum yolu şikâyetleri
1	15 dakika	Bronşitli kişilerin solunum yollarında direncin artması
2.5	2 saat	Sağlıklı kişilerde solunum yollarında direncin artması
5	15 dakika	Akciğerde gaz alış-verişinin engellenmesi
10	-	Koku algılanmasının engellenmesi
50	-	Geri dönüşümlü bronşiyolitis
150	-	2-3 hafta içinde bronşiyolitis fibrosa obliterans sonunda ölüm
≥2	1-3 saat	Akciğer fonksiyonlarında değişme

2.2.4. Karbon Monoksit (CO) Oluşumları, Kaynakları, Etkileri

Karbon monoksit, renksiz kokusuz, zehirli tatsız ve aşındırıcı olmayan bir gazdır. Karbon monoksit suda az çözünen ve normal şartlarda havadan daha az yoğun olan bir gazdır. Genellikle tamam olmayan yanma sonucunda atmosfere verilen en yaygın kirleticilerden biridir. Aynı zamanda, atmosferdeki hidrokarbonların oksidasyonu ile kimyasal olarak da oluşmaktadır. Organik hava kirleticilerden CO oluşumu atmosferin her yerinde mümkün olması nedeniyle, CO’nun 0,06 ve 0,17 µg/m³ arasında değişen bir atmosferik fon seviyesi vardır (Müezzinoğlu 2000).

Atmosferdeki karbon monoksit konsantrasyonu genel olarak yaz aylarında daha düşük, kış aylarında ise daha yüksektir. Çünkü kış aylarında ilaveten ısınma amacı ile yakıt kullanılmaktadır. Şehir içi bölgelerde karbon monoksitin birincil ana kaynağı motorlu taşıtlar ve ısınma tesisleri, ikincil önemli kaynağı ise; katı atık depolama tesisleridir. Depolama tesislerinde oluşan metan gazları atmosferde okside olarak karbon monoksite dönüşürler. Karbon monoksitin atmosferde bozunma süresi takriben 2,5 aydır.

Isınma amacı ile oda içinde soba gibi ısıtıcıların kullanıldığı yerleşimlerde karbon monoksit detektörü kullanılmalıdır. Karbon monoksit konsantrasyonu, insan sağlığı için zararlı seviyeye ulaşmadan CO detektörü insanları uyarmalıdır. Özellikle ısıtıcının (sobanın) kurulu olduğu odada yatılıyorsa CO detektörü kullanılması zorunlu hale getirilmelidir.

Karbon monoksit, özellikle 0–18 yaş arası astımlı çocuklar üzerinde etkilidir. Karbon monoksitin sağlık üzerindeki en önemli etkisi; kalp ve beyin gibi canlı organizmalara oksijen verme kapasitesini azaltmasıdır. Kalp hastası kişiler, karbon monoksit kirliliğine özellikle hassastırlar. Karbon monoksit çok zehirli bir gazdır. Karbon monoksitle zehirlenmenin ilk belirtisi, gribe benzer. Baş ağrısı, uyuklama, yorgunluk, nefes kesilmesi, bulantı ve baş dönmesi şeklinde de etkisini gösterebilir. Karbon monoksitten zehirlenen çoğu kişi grip olduğunu zannederek yanılır. Takip eden etkisi bilinçsizlik, solunum hastalığı ve ölümdür.

Havada bulunan karbon monoksit konsantrasyonunun sağlık üzerine etkisi çok önemlidir. Solunum yolu ile alınan karbon monoksit, akciğer tarafından kolayca absorbe edilir. Akciğer tarafından absorbe edilen karbon monoksit kandaki hemoglobinle (Hb) tersinir reaksiyona girer.



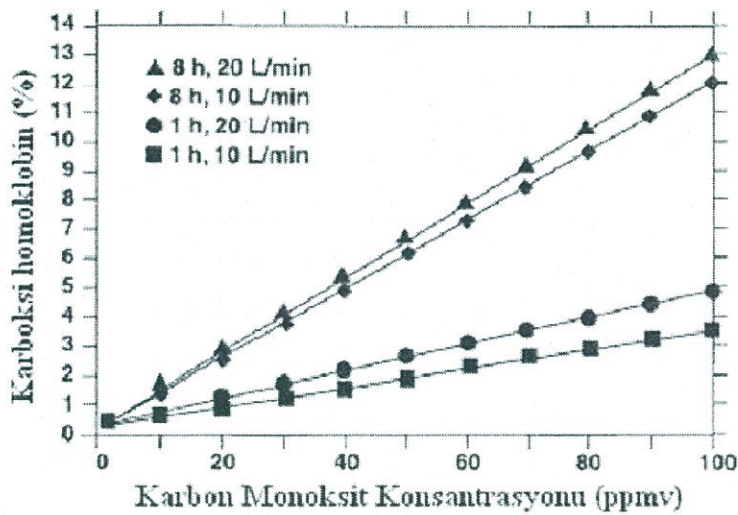
Hemoglobin oksijene göre CO ile 240 kat daha fazla birleşme kabiliyetine sahiptir. Hemoglobini, karbon monoksit ile doygun hale getirmek için gerekli karbon monoksitin

kısmi basıncı, oksijenle doygun hale getirmek için gerekli oksijenin kısmi basıncının sadece 1/240 dır. Kanda COHb oluşması sağlık açısından ciddi problem olur. Karboksi hemoglobin, kanın oksijen taşıma kapasitesini düşürür. COHb, geriye kalan hemoglobinin oksijeni serbest bırakmasını engeller. Bu etkili olarak oksijen dağıtım kapasitesini azaltır.

Kandaki COHb seviyesi;

1. CO'e maruz kalma süresine,
2. Solunan havadaki CO konsantrasyonuna,
3. Hava basıncına,
4. Karbon monoksit maruz kalanın metabolizmasına ve sağlık durumuna bağlı olarak değişmektedir.

COHb'nin kanda bozunma süresi 2–6,5 saat arasında değişmektedir. Dolayısıyla karboksi hemoglobinin bozunma süresi oldukça uzun olduğundan dolayı eğer CO'e maruz kalma devam ederse; kanda COHb miktarı artmaya devam eder. CO kümülatif bir zehir değildir. Kandaki karboksi hemoglobin miktarının CO konsantrasyonuna ve süreye bağlı olarak değişim Şekil 2.2'de verilmiştir. Normalde insan kanında %0,4 oranında COHb bulunur.



Şekil 2.2. Karbon monoksit konsantrasyonuna ve süreye bağlı olarak kanda oluşan karboksi hemoglobin miktarı

Şekil 2.2’de de görüldüğü gibi kanda karboksi hemoglobin oluşumu hem solunan havadaki karbon monoksit konsantrasyonuna hem de maruz kalma süresine bağlıdır. Karbon monoksitle kirlenmiş havaya uzun süre maruz kalındığında kanda daha fazla COHb oluşmaktadır.

Bazı iş yerlerinde ve havalandırmanın yeterli olmadığı, hatalı ısınmanın yapıldığı evlerde karbon monoksit konsantrasyonu yüksek olabilir. Bazı işyerlerinde CO konsantrasyonu 100 ppm’e kadar çıkabilir. 100 ppm karbon monoksit 1 saat gibi kısa süre maruz kalma sonucu; kandaki karboksi hemoglobin miktarı %4-5’e çıkabilir. 8 saat gibi uzun süreli maruz kalındığında bu değer %12-13 çıkar. Karbon monoksit kansızlığa neden olur.

Karbon monoksit hamile kadınlarda;

- Çocuk düşürmeye,
- Ölü çocuk doğurmaya
- Düşük ağırlıklı çocuk doğurmaya,
- Erken çocuk ölümüne

sebepe olabilir. Karbon monoksitin sağlık üzerine etkisi Çizelge 2.10’da verilmiştir (Öztürk 2005).

Çizelge 2.10. Karbon monoksitin sağlık üzerine etkisi

Karbon Monoksit (ppm)	Süre (saat)	COHb (%)	Etkisi
40	2	2	
200	2-3	5	Orta şiddetli baş ağrısı, yorgunluk, bulantı ve baş dönmesi
400	1-2		Ciddi baş ağrısı,
10 – 15	≥8	≈2,5	Sinir sisteminde aksaklık
30	≥8	5	Piskomotor sisteminde aksamalar.
100	8	≈10	Baş ağrısı, baş dönmesi, kardiak, ve pulmoner fonksiyonlarda aksaklıklar.
		20	Kardiyovasküler sistemde arızalar elektrokardiyografik anormallikler.
		40	Hareket halindeyken düşmeler.
		60	Baygınlık, geri dönüşümün meydana gelmesi halinde ölüm
		80	Ölüm
3200	5-10 dakika		Baş ağrısı, baş dönmesi, bulantı ve maruz kalma bir saat devam ederse ölüm
6400	1-2 dakika		Baş ağrısı, baş dönmesi, bulantı ve maruz kalma 20–30 dakika devam ederse ölüm
12 800	1-3 dakika		Ölüm

Türkiye’de ve çeşitli ülkelerde uygulanan karbon monoksit için uygulanan sınır değerleri Çizelge 2.11’de verilmiştir (Öztürk 2005).

Çizelge 2.11. Karbon monoksit için sınır değerleri

Ülke	Süre	Sınır Değer (µg/m ³)
Türkiye	24 saat	30.000
	Yıllık	10.000
AB	8 saat	10.000
Dünya Sağlık Teşkilatı	15 dakika	100.000
	30 dakika	60.000
	1 saat	30.000
	8 saat	10.000
A.B.D. EPA	1 saat	40.000
	8 saat	10.000

Karbon monoksit için Türkiye'ye ait sınır değerleri A.B. standartlarına göre çok yüksektir. Bu değerlerin kademeli olarak yeniden düzenlenmesi gereklidir (ztrk 2005).

2.2.5. Diğer Kirleticiler

Yukarda bahsedilen kirleticilerden başka atmosfere atılan ve / veya atmosferde oluşan diğer kirleticiler olarak, ozon, ağır metaller ve çeşitli hidro karbonlar gelmektedir.

Ozon, atmosferin alt tabakalarında, bir takım karmaşık seri kimyasal reaksiyonların güneş ışığıyla başlatılması sonucu oluşmaktadır. Azot oksitlerin ($\text{NO}_x = \text{NO} + \text{NO}_2$) ve Uçucu Organik Bileşiklerin (VOC) reaksiyona girerek ozon oluşturdukları bu reaksiyonlar, VOC miktarına ve türüne bağlı olarak saatler veya günler sürebilir. Ozon bir kez oluştuktan sonra birkaç gün süreyle ortamda kalabilir. Bu nedenle, belli bir noktada ölçülen ozon, yüzler hatta binlerce kilometre ötedeki VOC ve NO_x emisyonlarından kaynaklanabilir. Emisyon kaynaklarının yakınında, azot monoksit (NO) emisyonları ozon ile reaksiyona girerek azot dioksit (NO_2) meydana getirebilir. Bu da, ozon konsantrasyonlarının lokal olarak azalmasına yol açabilir. Bu nedenle, en yüksek konsantrasyonlar, genellikle kirletici emisyon kaynaklarından uzakta hakim rüzgar yönünde oluşur.

Ozon kuvvetli oksidandır. Bu nedenle de, birçok biyolojik maddeyle reaksiyona girebilir. Solunun sisteminin tamamı; ozon seviyesine, maruz kalınan süreye, maruz kalama şekline ve havalandırmaya bağlı olarak değişik oranlarda zarar görebilir. Solunum yollarında gözlenen etkiler morfolojik, biyokimyasal ve fonksiyonel değişiklikler ve vücut savunma fonksiyonlarında azalma olarak belirtilebilir. Genellikle, ozona aralıklı maruziyet sürekli maruziyete göre daha belirgin etkiler yapmaktadır. Akciğer hastalığı olanlar ve sigara içenler ozondan kaynaklanan akciğer problemlerinde daha fazla risk altındadır. Ozonun bitki örtüsü üzerindeki potansiyel zararları otuz yıldan fazla süredir bilinmekle birlikte, etkileri son on yılda dikkat çeker hale gelmiştir.

Avrupa'da ki ozon seviyeleri, yapraklarda görünen hasara, büyümelere ve verim azalmasına ve biyotik ve abiyotik streslere duyarlılık gibi etkiler meydana getirmektedir. Ayrıca ozon, geniş alanlara yayılabilen ikincil bir kirletici olduğundan, etkisi kırsal alanlarda da görülebilir.

Gaz haldeki hidrokarbonların (HC) yerel boyuttaki doğrudan sağlık etkilerinin yanında, atmosferdeki fotokimyasal reaksiyonlar sonunda oluşturdukları ürünler büyük önem taşır. Metan ile başlayan bu gruptaki organik maddelerin metan eşdeğeri ile ifade edildiği hafif alkanlardan meydana gelen bir alt grubu mevcuttur. Metan daha çok sera gazı etkisiyle tanınır. Çünkü metan molekülünün de karbon dioksit gibi güneş radyasyonunu yutarak ısıya dönüştürmektedir.

Havadaki hidrokarbon gaz ve buharları genelde uçucu organik karbon (VOC) bileşikleri olarak tanınır. VOC'larda zincir yapısında düz karbon iskeletleri taşıyan (alkil) veya benzen halkaları taşıyan (aril) kökler içeren, doymuş veya doymamış haldeki maddeler ile aldehit, keton veya asit gurupları taşıyabilen organik maddeler yer almaktadır. Bunlardan bir bölümü örneğin benzen, formaldehit gibi çok yaygın türler havada yüksek derişimler de bulunduğundan kanser yapar. Daha büyük moleküller halinde bulunan ve katran, zift gibi sıvı veya katı fazlarda olabilen hidrokarbonlar ise, kanser yapıcı oldukları kuşkusuyla üzerinde çok sayıda araştırma yapılan hava kirleticilerdir (Wark 1997).

Ağır metallerden kurşun, yüksek yoğunluklu, yumuşak, bükülebilir ve dövülebilir bir elementtir. Korozyona oldukça dayanıklıdır. Kurşunun doğal ve antropojenik kaynaklardan çevrede taşınımı ve dağılımı hava yoluyla olmaktadır. Doğal döngüde kurşun, kayaçların aşınması, volkanik hareketler ve bitkilerin alması bırakması gibi bir takım prosesler sonucu yeryüzüne bırakılır. Kurşunun diğer doğal kaynakları, polenler, rüzgârla taşınan tozlar ve orman yangınlarıdır. Kurşunun havadaki fonksiyonları $0,005-01 \mu\text{g}/\text{m}^3$ arasındadır. İnsan aktiviteleri sonucu, kurşun yer kabuğundan çıkarılıp, insanın ve ekosistemin maruziyetinin arttığı çevreye aktarılır. Kurşun, kurşun cevherlerinin madenlerde çıkarılması ve daha sonra eritilmesi sırasında; kurşun içeren

ürünlerin üretiminde, kullanımında, geri dönüşümünde ve imhasında ve fosil yakıtların yanması sırasında çevreye salınır. Solunan kurşunun sağlığa etkileri partikül madde boyutuna bağlıdır. Solunan küçük partiküllerin (çapı $2,5\mu\text{m}$ 'den küçük olan) büyük miktarı solunun sisteminde, kurşunun neredeyse tamamının kana geçtiği iç alveolar bölümde birikir. Çocuklar, yüksek emilimden ve kurşun birikimine daha uzun süreler maruz kaldıklarından dolayı "risk altındaki guruplardan" en önemlisidir.

2.3. Hava Kirliliğine Etki Eden Faktörler

Şehirlerde görünen hava kirliliğini etkileyen faktörler arasında şehrin yanlış yerleşmesi, yeşil alanların azlığı, taşıt sayısının artması, şehre yakın bilinçsiz sanayileşme ve kentleşme sırasında yer seçimi yapılırken meteorolojik faktörlerin ihmalı, yapılan tesislerde ekonomik faktörlerden dolayı kontrol sistemlerini göz ardı etme ve proseslerde modernizasyon yapılmaması gibi sebepler önemli rol oynamaktadır. Bu faktörlerden bir kısmı aşağıda kısaca anlatılmaktadır.

2.3.1. Meteorolojik Faktörler

a) Rüzgâr ve Basınç şartları

Atmosferde bulunan kirleticiler, hava hareketleriyle başka bölgelere de taşınabilirler. Karşılaştıkları hava hacminin büyüklüğüne bağlı olarak seyrelirler. Kirleticilerin atmosferde yatay olarak taşınmasına sebep olan hava hareketi rüzgâr olarak adlandırılır. Rüzgârın varlığı, kirli havanın taşınması ve bir yerlere sürüklenmesi demektir. Rüzgârın sakın veya hafif olması ise, kirli havanın olduğu yerde kalması demektir. Bu nedenle, rüzgâra kapalı alanlar, kirliliğin en yoğun olduğu alanlar olarak karşımıza çıkarlar. Rüzgâr hızı ne kadar fazla olursa, SO_2 ve PM atmosferde o derece seyrelir

Yüksek basınç merkezlerinde hava hareketi kuzey yarımküre için saat yönündedir ve yer seviyesinde rüzgârlar izobardan saparak alçak basınca doğru yönelirler, bu da yukarı seviyedeki havanın çökmesine sebep olur. Böyle bir basınç sisteminde, atmosfere

verilen kirleticiler aşağı doğru iniçi hareketlerinden dolayı çevreden uzaklaşamazlar. Dolayısıyla yüksek basınç şartlarının olduğu bir alada hava, devamlı çökme eğilimi gösterir. Bu nedenle kirli hava, yükselme ve dağılma şansı bulunmaz.

Alçak basınç alanlarında ise yataydaki havanın hareketi kuzey yarım küre için saat yönünün tersinedir. Basınç değeri yüksek olan havanın, alçak basınç alanlarına doğru olan hareketinden dolayı yer seviyesinde bir sıkışma ve bunu sonucunda da yükselici yukarıya doğru hareketler meydana gelir. Bu durum kirli havayı Atmosferin üst katlarına taşıyarak, yükseklerdeki rüzgârlarla dağılmasına neden olur (Stoker 1996).

b) Nem

Atmosferde bulunan nem, sıcaklığın düşmesi ve/veya havadaki yoğunlaşma çekirdekleri sebebi ile sis meydana getirir. Oluşan sis hava kirliliğinin etkisini artırır. Ayrıca bazı çalışmalarda havadaki nemin, SO_2 'nin SO_3 ve H_2SO_4 'e dönüşmesine yardımcı olduğu anlaşılmaktadır (Wight 1994).

c) Sıcaklık ve İnversion

Atmosferin normal seyri olarak, dikey yönde yerden yukarıya doğru gidildikçe sıcaklık sürekli olarak azalmaktadır. Bazı zamanlarda bunun aksine durum görülebilir. İşte bu gibi durumlarda sıcaklık bir yerde artıp tekrar azalma gösteriyorsa bu olaya “Sıcaklık Terselmesi” (İnversion) denilmektedir. Hava kirliliği yönünden en tehlikeli olanı, sıcaklık terselmesinin olduğu günlerdir. İnsanlar ve diğer canlılar, bu kararlı durumun bozulmasına kadar çökmüş olan kirli havaya mahkûm olurlar.

Atmosferin normal seyri olan yükseklikle sıcaklığın azalması olayına “Lapse-rate” denir. Kuvvetli adyabatik lapse-rate olayında havada dikine olarak kuvvetli hareketler vardır. Bu kuvvetli hareket sayesinde havadaki kirleticiler de dağılma şansı bulur ki, temiz hava için en uygun ortam da bu gibi olayların olduğu zamana rastlamaktadır.

Ayrıca sıcaklığın artması ya da azalması ısınma ihtiyacını etkiler. Bu da atmosferdeki kirletici konsantrasyonunu artırır veya azaltır.

d) Yağış

Yağış, kirleticilerin çökmesinde etkilidir. İnceleme bölgesinde meydana gelebilecek bir yağış, kirleticilerin çökmesine yardımcı olacaktır. Yağış bu özelliği ile atmosferin temizlikçisi olarak nitelendirilir. Ancak kükürt ve azot oksitlerin sulu çözeltilerinde hidrojen iyonlarının artışına neden olan kirleticiler böylelikle asit yağışına sebep olurlar. Bu da yeryüzündeki ormanlar, göller, nehirler, bitki örtüsü ve topraklar ile buralarda yaşayan canlılar için bir tehdittir.

2.3.2. Şehrin Konumu ve Topografya

Hâkim rüzgârlara açık olmayan alanlar üzerinde yeterli hava hareketleri olmayacağından, hava kirlenmesinin artması söz konusu olacaktır. Ayrıca kırsal kesimlerden kentlere aşırı göçün getirdiği plansız yerleşiminde bir sonucu olarak, yeşil alanların zaman içinde önemli ölçüde azalması, şehir yerleşim planlarında meteorolojik faktörlerin özellikle rüzgâr durumunun göz önünde bulundurulmaması hava kirliliğinin artmasına neden olmaktadır. Ayrıca, şehirde bulunan binaların çok katlı olması ve rüzgâr yönüne dik yapılması rüzgârın engelle karşılaşmasına neden olmaktadır. Bu da hava akımlarının sağlıklı gerçekleşmeyerek atmosferdeki dengesini engellemektedir (Amil 2005).

2.3.3. Kullanılan Yakıtlar ve Yakma Sistemleri

Hava kirliliğini etkileyen faktörlerin en önemlisini ısınma veya ulaşım amacı ile kullanılan yakıtların kalitesi teşkil eder. Kalitesiz yakıtların (kükürt içeriği yüksek, ısıl değeri düşük) şehre girişi, merkezi ısıtma sistemlerinin yaygın olmaması, kent içinde ve

şehirlerarası yollarda seyreden teknik koşulları elverişsiz, eski model, bakımsız ve günümüz teknolojisinin sunduğu yakıt ekonomisi özelliğinin çok üzerinde yakıt tüketen araçların kullanılması kirliliği artırmaktadır.

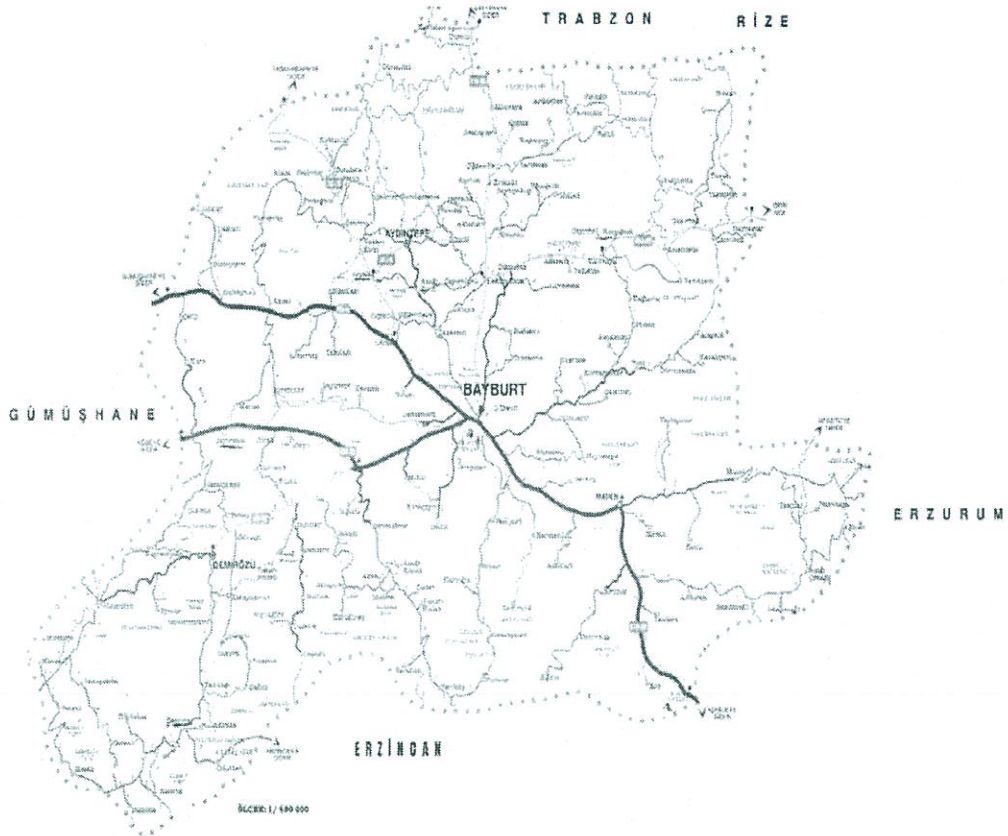
Kullanılan yakıt ve proseslere yönelik uygun teknolojilerin seçilmemesi, atıkların uygun olmayan tesislerde yakılarak bertaraf edilmesi de hava kirliliğinin artmasına neden olmaktadır. Kalitesi düşük (ısııl değeri az, nemli ve yabancı maddelerden özellikle kükürtten arındırılmamış) linyit ve fuel-oil türü yakıtların, uygun olmayan soba veya kazanlarda, bilgisiz kimselerce yakılması, gerek kazan gerekse baca tasarımlarının usulüne uygun olmayan yöntemlerle gelişi güzel yapılması, yıllık bakımının yapılmaması ve atmosferde boşaltılacak kirleticilerin dağılma özelliklerine dikkat edilmemesi, açıkta depolanan çöplerin bilinçsiz bir şekilde yakılması kirliliği artırmaktadır. Yakma sistemlerinin tasarımı yapılırken kullanılacak yakıtların türüne ve özelliklerine bağlı olarak dizayn edilmelidir. Sıvı ve katı yakacak sistemler özel olarak dizayn edilmelidir (Amil 2005).

3. METERYAL ve YÖNTEM

3.1. Bayburt'un Konum, Topografik Özellikleri

Bayburt, Doğu karedeniz sıradağlarının hemen güneyinde ki Çoruh vadisinde denizden 1550 m yükseklikte kurulmuş 3652 Km² (göller ve akarsular hariç) yüz ölçüme sahip bir ildir. Bayburt ili, ülkemizin kuzeydoğusunda, Doğu Karadeniz Bölgesi'nin iç kesimlerinde 40⁰ 45' - 39⁰ 37' doğu batı boylamları ile 40⁰ 37' - 39⁰ 52' kuzey -güney enlemleri arasında yer almaktadır. İl doğusundan Erzurum, batısından Gümüşhane, kuzeyinden Trabzon ve Rize, güneyinden Erzincan illeri ile çevrilmiştir. Bayburt ve çevresini yeryüzü şekilleri bakımından genel olarak üç bölümde inceleyebiliriz.

BAYBURT İL HARİTASI



Şekil 3.1. Bayburt il haritası

Birinci bölüm; alanın batı yarısını oluşturan Bayburt ovası, ikinci bölüm; akarsuların oluşturduğu vadiler, üçüncü bölüm; bölgenin etrafını çevreleyen ve özellikle kuzey ve güneydoğu kesiminde yer alan dağlık alanlardır. Toplam alanının %45'i dağlardan oluşur. Dağlarla çevrelenen ve ortasından akan Çoruh ırmağının kolları ile parçalanan Bayburt ovası yaklaşık 900 km² dir. Ovanın güneydoğu bölümünü Keçevi düzü, batı bölümünü Mormuş ovası; eğimin azlığı nedeniyle daha önceleri bu düzlüğün ortasında Mormuş bataklığı yer almaktaydı. Bugün için bu bataklık, DSİ tarafından yapılan drene çalışmaları sonucunda kurutulmuştur. Kuzey bölümünü Aydıntepe ovası ve kuzeydoğu bölümünü; yüzölçümü bakımından en küçüğü olan, Düzekar ovası meydana getirir. Bu ovalar 1500–1700 m.arası yüksekliklere sahiptir. Ülkemizin önemli akarsularından biri olan Çoruh nehrinin ana kollarından biri olan Masat deresinin kaynağı Mescit dağlarıdır. Bu önemli kol, il sınırlarına güneydoğudan, Masat vadisinden girer. Masat vadisinden ismini alan bu kol kop dağlarından gelen kop deresi ile Maden köyü yakınlarında birleşir. Şehri ikiye bölen nehir; Bayburt kalesi ile Duduzar tepesi arasında ki derin boğazdan geçerek Kaleardı mevkiine ulaşır. Kaleardı mevkiinde çeşitli yaylar çizerek kuzeye iner ve Düzekar ovasına ulaşır. Burada diğer önemli kolu olan Değirmencik deresi ile birleşir. Bu birleşmeden sonra dirsek yaparak doğuya yönelen Çoruh nehri, daha sonra derin Çoruh vadisine girer (Bayburt İl Çevre Durum Raporu 2005).

3.2. Bayburt'un Meteorolojik Özellikleri

Bayburt'ta doğu Karadeniz iklimi ile doğu Anadolu iklimi arasında, karasal özellikleri ağır basan bir geçiş iklimi hüküm sürmektedir. Bu nedenle yazları sıcak ve kurak, kışları ise soğuk ve yağışlı geçmektedir. Ancak, gerek ortalama yüksekliğin azlığı, gerekse vadiler sisteminin oluşturduğu "Mikroklima" sayesinde Doğu Anadolu' ya göre iklim yumuşaktır. Yaz günleri genellikle Mayıs–Eylül ayları arasında kendini göstermektedir. Ortalama yıllık yağış miktarı 426,2 mm'dir. Buna göre aylara ve mevsimlere göre dağılışı incelendiğinde, en çok yağış mayıs ayında (67,6 mm) ve en az yağış ise ağustos ayında (14,6 mm) düşmektedir. Bayburt ve çevresinde kar yağışları da

önemlidir. 30 yıllık verilere göre (1975–2005) yıllık ortalama kar yağışlı günler sayısı 49 gün dolayındadır. Yıllık ortalama karla örtülü günler sayısı, 96,6 güne yaklaşır. Yıllık en yüksek kar örtüsü 110 cm’yi bulmuştur. En fazla kar yağışına Ocak ve Şubat ayında rastlanmaktadır. En yüksek sıcaklık 2000 yılı temmuz ayında ($36,2^{\circ}\text{C}$) ölçülmüştür ve en soğuk ay aralık ayıdır ($-29,0^{\circ}\text{C}$). Bayburt şehir merkezinde en yüksek frekanslı rüzgârın güneydoğudan (SE) estiği ($23,4\text{m/s}$), bundan sonra batı (W) rüzgârları hâkimiyeti görülmektedir. Daha sonra sırasıyla kuzey (N), güney batı (SW) rüzgârları etkili olmaktadır. Çizelge 3.1 de Bayburt şehir merkezinde 30 yıllık ortalama meteorolojik parametreler verilmiştir.

Çizelge 3.1. Bayburt şehir merkezinde ölçülen 30 yıllık ortalama meteorolojik parametreler

Parametre	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Ort. Sıcaklık (°C)	-1.3	0.2	5	12.8	17.6	22.1	26.6	27	23.2	16.2	8.2	1.2
Ort. Basınç (mb)	841.2	840	839.4	839	840.3	839.9	839.1	840	842.5	844.2	843.8	842.3
Ort. Bağıl nem (%)	72	72	67	60	60	58	52	51	51	61	68	72
Ort. Yağış (mm)	26.8	31.5	38.4	57.9	71.8	51.7	19.6	11.1	20.7	45.7	34.3	30
Ort. Rüzgâr hızı (m/sn)	2.0	2.4	2.7	2.8	2.6	3.1	3.1	3.1	2.5	2.0	2.3	1.7
Karla kaplı gün sayısı	11.1	10.6	8.9	3.5	0.6	--	--	--	--	0.9	4.4	8.9

3.3. Bayburt' da Hava Kirliliği ve Kaynakları

Bayburt dağlarla çevrelenen ve Çoruh ırmağının kollarıyla parçalanan bir vadinin ortasında kurulmuş küçük bir ildir. İl küçük olmasına rağmen Devlet İstatistik Enstitüsü (DİE) 2006 yılı verilerine göre Türkiye genelinde en kirli iller sıralamasında SO₂ açısından birinci, PM₁₀ açısından üçüncü sırada yer almaktadır. Bayburt kent merkezinde hava kirliliğinin yüksek çıkmasında, ilin topografik özelliklerinin hava hareketlerinin oluşmasına engel olması, bu nedenle kirlleticilerin dağılımının gerçekleşmemesi etkili olmaktadır. İlde hava kirliliğine neden olabilecek termik santral, çimento fabrikası, demir çelik gibi temel sanayi kuruluşları yanında kirlilik yaratacak önemli bir sanayi kuruluşu mevcut değildir. Bununla birlikte var olan birkaç sanayi tesisinin de kapasitelerinin düşük ve yerleşim merkezinin dışında olması hava kirliliğinin sanayiden kaynaklanmadığının açık bir göstergesidir.

Bayburt Karadeniz bölgesinde olmasına rağmen karasal iklim özelliklerine sahiptir. Kış aylarında ısınma amaçlı kullanılan yakıt tüketimi yaklaşık 6 ay sürmektedir. İlde doğalgaz olmadığından ısınma amaçlı fosil kaynaklı yakıtlar kullanılmaktadır. Özellikle soğuk aylarda konut ve iş yerlerinin ısıtılmasında yakıt olarak Sibiry linyiti, özel kalorifer yakıtı, odun, motorin ve son yıllarda azalsa da yerli kömür çeşitleri kullanılmaktadır. Kırsal kesimde ise daha çok tezek kullanılmaktadır. Kullanılan bu yakıtlar her ne kadar İl Çevre ve Orman Müdürlüğü tarafından denetleniyor olsa da kaçak yollardan şehre giren kalitesiz kömüründe hava kirliliğinde etkisi söz konusudur. Dolayısıyla yukarda da belirtildiği gibi Bayburt gibi sanayisi olmayan küçük bir ilin hava kirliliğinde Türkiye de ilk sıralarda yer almasında en önemli kaynak sabit kaynaklarda (ev ve apartmanlar, ticari ve resmi kuruluşlar) kullanılan ısınma amaçlı yakıtlardır.

Bayburt'ta motorlu taşıtlardan kaynaklanan emisyonlar da hava kirliliğinde önemli bir yere sahiptir. Motorlu taşıtların egzozlarından kaynaklanan kirliliğin, hava kirliliğinin %40 'ını oluşturduğu tahmin edilmektedir (Bayburt İl Çevre durum Raporu 2005).

Buna göre Bayburt'ta hava kirliliğinin ana nedenleri olarak;

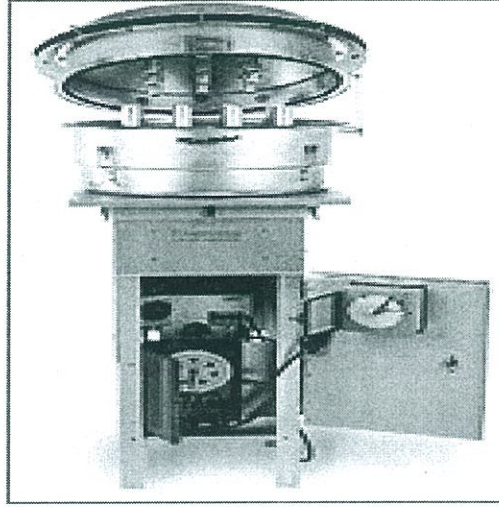
- Sabit kaynaklarda kalitesiz yakıtların uygun olmayan yakma sistemlerinde yakılması
- Olumsuz meteorolojik faktörler
- Araç trafiğinden kaynaklanan kirlilik sayılabilir.

3.4. PM_{2,5} Örneklemesi

Atmosferde bulunan partiküller, çeşitli ekipman ve yöntemlerle örneklenmektedir. Partiküller, boyut ayrımı yapan ve yapmayan cihazlarla çeşitli filtreler üzerinde örneklenebildikleri gibi kaskat impaktörlerde de örneklenebilmektedir. Bu çalışmada PM_{2,5} örneklemsi, partikül boyut ayrımı yapan ve tutucu ortam olarak filtre kullanan cihazla yapılmıştır. Literatürde, filtre üzerine toplama sistemlerinde 3 tip örnekleyici kullanılmaktadır. Bunlar;

- Yüksek hacimli (Hi-Vol) partikül örnekleyiciler (50–1000 L/dakika)
- Düşük hacimli (Low-Vol) partikül örnekleyiciler (10–50 L/dakika)
- Mini hacimli (Mini-Vol) partikül örnekleyiciler (1-10 L/dakika) dır.

Bu çalışmada ise PM_{2,5} örneklemsi için yüksek hacimli (Hi-Vol) numune alma cihazı kullanılmıştır. Bu örnekleme cihazı Şekil 3.2'de gösterilmiştir. Bu cihaz, bütün kontrol elemanlarının tek bir üniteye toplanarak ve kötü hava koşullarından etkilenmeyecek şekilde dizayn edilmiştir. Örneklemeyi brushless (fırçasız tip) motor ile yapmaktadır. Üzerindeki dijital zamanlayıcı kullanılarak haftanın 7 günü istenilen zaman aralıklarında numune alma programı yapılabilir. PM_{2,5} örnekleme başlığından ayrı olarak PM₁₀ örnekleme yapabilmek için ayrı bir başlığı da mevcuttur.



Şekil 3.2. PM_{2,5} örnekleme için kullanılan yüksek hacimli örnekleme cihazı

Bayburt ilinin Hava Kalitesinin belirlenebilmesi için Andersen marka high volume cihazının PM_{2,5} başlığı kullanıldı. Örnekler Şubat-Temmuz (2007) ayları arasında 5 aylık örnekleme periyodunda mümkün olduğu sürece 24 saatlik örnekler toplanmaya çalışıldı. Tutucu ortam olarak 20.3x25.4cm ebatlarında Whatman 1 filtre kâğıdı kullanıldı. Her bir örnekleme başlangıcında örneklemede kullanılan filtreler 24 saat desikatörde bekletildikten sonra 0,00001 g hassasiyetli terazide tartıldı. Tartılan filtreler ağız kilitlenebilen naylon poşetlere konup etiketlendi. Etiketlerin üzerine ilk filtre ağırlıkları yazıldı. Filtreler örnekleme alanına gidilinceye kadar laboratuarda saklandı. Örnekleme başlangıcında filtre yerleştirildikten sonra cihaz 24 saatlik örnekleme yapacak şekilde manüel olarak ayarlandı. Filtreden geçen havanın ölçülebilmesi için debi ölçer kâğıdı yerleştirilip örnekleme başlatıldı. Bu işlemler sırasında filtrelerin nem ve kirleticilerden etkilenmemesi için PE tek kullanımlık eldivenler kullanıldı. Örnekleme yapılmış Whatman 1 filtreler tekrar poşetlerine yerleştirilip ağız kapatıldıktan sonra örnekleme tarihi etiket üzerine yazıldı ve laboratuara getirildi. Son ağırlık belirlemesi ve kütleli konsantrasyon tayini için tekrar 24 saat desikatörde bekletildikten sonra tartıldı. Örnekleme başlangıcında ve sonunda ilk ağırlık ile son ağırlık örnekleme defterine kaydedildi. Hastalık, seminer vb. durumlar haricinde mümkün olduğu kadar 24 saatlik numuneler alınmaya çalışıldı. Örneklenen her bir filtreye, o güne ait geçen hava miktarını gösteren debi ölçüm kâğıdı ile aynı tarih ve numara verildi.

3.5. PM_{2.5} Kütlesel Konsantrasyon Belirlenmesi

Kütle konsantrasyonunun belirlenmesinde genelde gravimetrik, optik, elektrostatik yük v.b tekniklere dayanan yöntemler kullanılmaktadır. Filtre kâğıdında toplanan örneklerin ölçülmesinde gravimetrik ya da ışık yansımaya dayanan bir yöntem kullanılması yaygındır. Bunun yanında cisimden geçen ışığın ölçülmesine dayanan “Amerikan Gölge Katsayısı” yöntemi ile duman yoğunluğunun belirlenebildiği bir yöntemde bulunmaktadır. Yapılan araştırmalar bu üç yöntemde doğruluk oranının yüksek olduğunu göstereceği gravimetrik yöntem en güvenilir olanıdır.

Kütle ölçümleri PM örneklemede kullanılan en yaygın ölçüm yöntemidir. Veriler, partikül kütle konsantrasyonu ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ve/veya kompozisyon profilini ($\mu\text{g}/\text{g}$) hesaplamak için kullanılır. Genel olarak PM kütlesi gravimetrik olarak tayin edilmektedir. Bir filtre üzerindeki net PM kütlesi, standart sıcaklık ve bağıl nem şartlarında filtrenin örnekleme öncesi ve bitiminde hassas terazi tartımı ile belirlenmektedir. PM_{2.5} için USEPA referans metodunda gravimetrik ölçümlerde, filtreler 24 saat %5 değişim aralığında sabit bağıl nem (%30-40) ve ± 3 °C değişim aralığında sabit sıcaklık (15-30°C) şartlarında tutulması gerekmektedir.(US EPA 1997). Bu limitler, çözülebilir türlerin sıvı su etkileşimi ve uçucu türlerin kayıplarını minimize etmek için tavsiye edilmektedir.

Bu çalışmada da Whatman 1 filtreler, örnekleme başlangıcında ve örnekleme sonunda oda sıcaklığında desikatörde 24 saat bekletildikten sonra 0,00001 g hassasiyetli terazide tartılarak net PM_{2.5} kütlesi gr olarak belirlendi. Belirlenen değer mikrograma çevrildi. Geçen hava miktarı Dickson marka debi ölçüm kâğıdından feet küp/dakika olarak hesaplandı ve $\text{m}^3/\text{gün}$ 'e çevrildi.

PM_{2,5} kütleli konsantrasyonunu belirlenmesinde aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır.

$$C = \frac{M(mg)}{V(m^3)}$$

C = PM_{2,5} kütleli konsantrasyonu, (mg/m³)

M = PM_{2,5} Gravimetrik olarak kütlesi (mg) (Son ağırlık – ilk ağırlık)

V = Örnekleme süresince filtreden geçen hava hacmi (m³)

3.6. PM₁₀ ve SO₂ Ölçüm Yöntemi

PM₁₀ ve SO₂ ölçümleri diğer illerde olduğu gibi Bayburt'ta da Çevre ve Orman Bakanlığı tarafından İl Çevre ve Orman Müdürlüğüne gönderilen Hava Kalitesinin belirlenmesi için tasarlanmış cihaz tarafından yapılmaktadır. Cihaz Sağlık İl Müdürlüğü bahçesinde monte edilmiştir. Cihaz EPA veya EN gibi uluslararası kabul edilmiş referans metotlarına uygun olarak, sürekli çalışmaya göre tasarlanmış online tam otomatik, işletme verimi maksimum düzeyde olacak şekilde ölçüm yapmaktadır.

PM₁₀ Ölçüm Yöntemi:

Cihaz, ölçüm sonuçlarının sarsıntıdan, tozun renginden, kimyasal yapısından ve tane büyüklüğünden etkilenmemesi için beta ışınını tutma prensibi ile çalışmaktadır. Bir filtre şeridi üzerinde toplanan partiküler maddelerin, β ışınları absorpsiyonu ve kütle konsantrasyonunun dolaylı olarak ölçümüne olanak sağlayan bir yöntemdir. Birim kütle başına β absorpsiyonu, mevcut numunedeki atomik oranına ve elementlerin kütle numarasına bağlıdır (Bu yöntemle fiber-glass filtre kâğıdı kullanılarak saatlik ortalamalar elde edilmektedir). Cihazın toz toplama filtresi sürekli tip ve fiber glass malzemeden yapılmıştır. Cihaz, filtre şeridini otomatik olarak hareket ettirerek ve ölçüm hücrelerine her yeni filtre geldiğinde otomatik olarak sıfır ayarını yapmaktadır. Cihazın numune alma borusu sürekli olarak ısıtılarak cihazın içine giren numunenin yoğunlaşması önlenmektedir. Ayrıca çeşitli sinek ve böceklerin cihazın içine girmesini önlemek için

numune alma başlığında sinek, böcek tutucu filtre sistemi mevcuttur. Cihaz ölçümlerin doğruluğu ve güvenilirliği için sıfır kontrolünü otomatik olarak, “span” kontrollerini otomatik veya manuel olarak yapmaktadır.

SO₂ Ölçüm Yöntemi:

Dış ortam havası bir pompa aracılığı ile 10 µm por boyutlu ptfe teflon membran filtreden geçirilir. Filtrelenmiş olan hava reaksiyon hücresindeki kükürt dioksit (SO₂) absorpsiyon bandına uygun 214 nm dalga boyunda UV ile ışınlandırılır. Fotomultipler tüpten gelen elektriksel sıfır ve floresans reaksiyon şiddeti sinyali mikroişlemci tarafından alınarak, digital gösterge üzerinde kükürt dioksit (SO₂) konsantrasyonu elde edilir. Cihaz; bilinen hava / kükürt dioksit (SO₂) karışımlarını oluşturan seyreltme ünitesine sahip olan permeasyon sistemi ile kalibre edilir. H₂S (Hidrojen Sülfür) ve Hidrokarbonların yapılan ölçümleri etkilememesi için cihazda dahili filtreler ve karbon ayırıcılar mevcuttur.

3.7. SPSS Paket Programı

Bilimsel araştırma sürecinde, çeşitli yöntemler ile toplanan verilerin analiz edilmesi, araştırmacılar için önemli bir aşamadır. Diğer alanlarda olduğu gibi istatistik alanında da gün geçtikçe yeni yazılımların piyasaya sürülmesi araştırmacılara, veri analizi sürecinde zaman, maliyet ve enerji tasarrufu sağlaması, sonuçların belirli bir düzen içerisinde alınması ve en önemlisi hesaplamalarda kaynaklanan hata payının ortadan kaldırılması gibi birçok yönden yararlar sağlamaktadır.

Piyasada, veri analizine yönelik çok sayıda paket program olup yoğun olarak kullanılan programlar şunlardır: MINITAB, SAS, S-Plus, LİNGO LINDIO, SYSTAT, STATISTICA, EVIEWS ve SPSS. Statistical Packages for the Social Sciences (Sosyal Bilimler İçin İstatistik Paketi) kelimelerin ilk harfleri ile ifade edilen SPSS programı, araştırmacıların istatistiksel veri analizinde tercih ettikleri programların en başında gelmektedir. Windows tabanlı bir program olan SPSS'in, diğer Office programlarına

benzer menü özellikleri taşıması ve daha kullanışlı olması bu programa olan talebi artırmakta ve gün geçtikçe daha ileri sürümleri üretici firma tarafından hızla piyasaya sürülmektedir. SPSS programı, sadece bilimsel araştırmalarda değil sektörel baz da özellikle sağlık, gıda, bankacılık, finans, sigorta, pazar araştırmaları ve insan kaynakları gibi alanlarda kullanıcılara ve ilgili kurum- kuruluşlara stratejik karar desteği sağlayan analitik çözümler sunmaktadır.

SPSS 11,5 for Windows programı; araştırmaya ilişkin değişkenlerin tanımlanması, verilerin kodlanarak veri sayfasına girilmesi, girilen veriler üzerinde düzeltmeler yapılması, verilerin birleştirilmesi, çeşitli ölçütlere göre gruplanması, veriler üzerinde istatistiksel analizlerin yapılması, grafik oluşturma, çıktı (Output) özellikleri ile sonuçların düzenli tablolar halinde çıkarılması ve diğer programlara aktarılması gibi veri analizi sürecine ilişkin bir çok konuda, kullanıcılara önemli imkânlar sağlamaktadır (Amil 2005).

PM_{2,5}, PM₁₀, SO₂ ve meteorolojik veriler yukarıda bahsedilen önemli avantajlardan dolayı SPSS 11,5 paket programıyla istatistiksel olarak analiz edilmiştir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

4.1. Kütlesel Konsantrasyon Bulguları

Bu çalışmada Şubat-Temmuz 2007 periyodunda 1 ay Bayburt ilinin kent merkezinde diğer aylar Bayburt ilinin kırsal bir bölgesinde PM_{2.5} örnekleri toplandı ve örneklerde gravimetrik olarak konsantrasyon değerleri belirlendi.

4.1.1. Veri Setinin Tanımlanması

Hava kirleticiler genellikle literatürde simetrik gauss dağılımı göstermiş gibi istatistiksel olarak aritmetik ortalama ve standart sapma ile tanımlanmaktadır. Zira simetrik Gauss dağılımı gösteren veri setlerinde aritmetik ortalama, medyan ve mod aynı değeri göstermektedir. Ancak atmosferik veriler, çeşitli meteorolojik, topografik ve antropojenik etkilerle büyük değişim gösterdiğinden, simetrik gauss dağılım genellikle göstermemekte ve elde edilen sonuçların aritmetik ortalama ve standart sapma ile tanımlanması son yıllarda yapılan çalışma sonuçlarında verilmemektedir. Çünkü veri setindeki aşırı büyük değerler, aritmetik ortalamayı kolayca etkileyebilmekte veri setinin ekstrem gözlenen konsantrasyonlarına yaklaşması sağlanmaktadır. Ayrıca yapılan birçok çalışmada görüleceği üzere atmosferik konsantrasyonlar, pozitif çarpıklık gösteren Log-Normal, Weibul, Geometrik dağılım gibi normal dağılım dışı değişimler gösterebilmektedir (Bergametti *et al.* 1989; Maenhout *et al.* 1989; Güllü 1996; Kubilay 1996; Rumburg *et al.* 2001; Bayraktar 2006). Tüm bu sebeplerden dolayı, geometrik ortalama ve medyan, özellikle veri serisinin büyük değişim gösterdiği durumlarda seriyi tanımlamada daha tutarlı sonuçlar verebilmesi açısından önem arz etmektedir (Köksal 1995).

Bu çalışmada PM_{2.5}, PM₁₀, SO₂ ve bazı meteorolojik faktörlerin SPSS 11.5 paket programı yardımı ile aritmetik ortalama, geometrik ortalama, medyan, standart sapma ve çarpıklık gibi çeşitli istatistiksel özellikleri belirlenmiş ve hesaplanan değerler Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Hava kalitesi ve meteorolojik faktörlerin istatistiksel özellikleri

	PM _{2.5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	SO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Rüzgâr Hızı	Yağış	Sıcaklık
Veri Sayısı	141	119	120	168	168	168
Aritmetik Ort	39,15	56,03	56,37	2,12	2,09	8,91
Geometrik Ort	30,79	50,39		1,46		
Medyan	29,44	49,00	16,50	1,30		8,55
Mode	25,04	40,00	1,00	1,20		
Minimum	6,54	13,00	3,00	0,70	0,00	-11,20
Maximum	164,97	153,00	169,00	3,5	17,1	23,8
Standart sapma	31,76	27,50	68,91	7,70	8,30	11,56
Çarpıklık	2,21	1,46	0,74	12,85	10,39	2,90

Çizelge 4.1 de görüleceği üzere PM_{2.5}, PM₁₀ ve SO₂ konsantrasyonlarında pozitif çarpıklık görülmektedir. PM_{2.5} için en büyük değer 164,97 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ile şubat ayında, en küçük değer 6,54 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ile mart ayında ölçülmüştür. Diğer yandan elde edilen kütleli konsantrasyon verileri ve oranları literatürde çeşitli kentsel alanlarda yapılmış çalışma sonuçları ile karşılaştırılmış ve Çizelge 4.2 de sunulmuştur. Türkiye’de PM_{2.5} konsantrasyonu için yıllık ve günlük sınır değerler olmamasına karşın Çizelge 2.5 de görüleceği gibi bulunan PM_{2.5} ve PM₁₀ konsantrasyon ortalamaları ABD, AB, Avustralya gibi gelişmiş ülkelerin sınır değerlerinin üzerindedir. Diğer yandan PM₁₀ konsantrasyon değerleri ülkemizde geçerli olan HKKY’deki yıllık ve günlük sınır değerlerinin altındadır.

Farklı fraksiyonlardaki partikül maddelerin kütleli konsantrasyon oranlarının (PM_{2.5} / PM₁₀) 1’e yakın olması antropojenik katkının büyük olduğunu gösterirken, 0’a yakın olması mineral yük (toprak kaynaklı) katkısının önemli olduğunu belirtmektedir (Bayraktar 2006). Genel olarak kentsel kütleli PM konsantrasyon sonuçları aritmetik ortalamalar olarak verildiğinden, bu çalışma sonuçlarının da daha kolay karşılaştırma

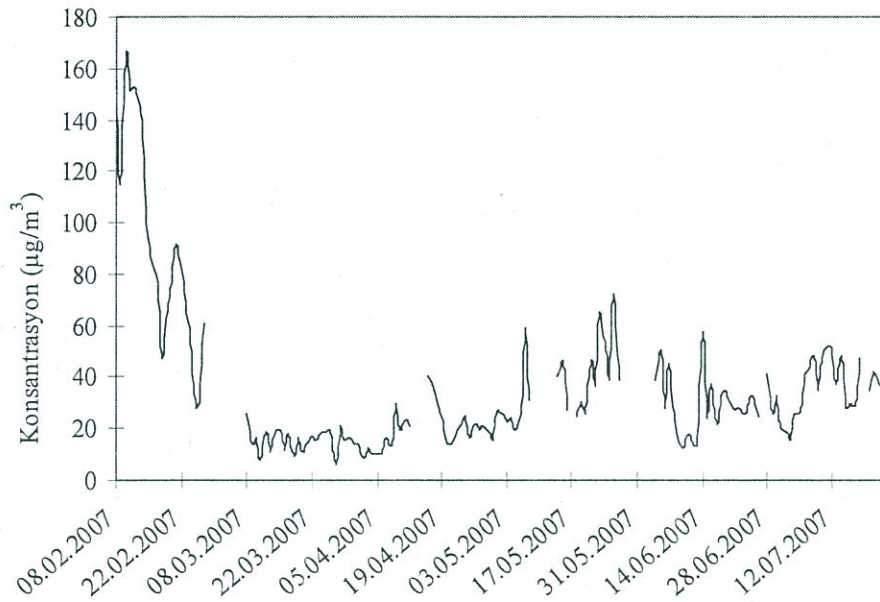
yapılabilmesi açısından aritmetik ortalamalar olarak verilmiştir. Çizelge 4.2'den görüleceği üzere Bayburt kent merkezinde bulunan $PM_{2.5}$ ve PM_{10} konsantrasyonları Avrupa (Helsinki, Raahe, Duisburg) ve Amerika (Calgary, Winnipeg) da yapılan çeşitli kentsel çalışma sonuçlarına göre yüksek iken Afrika (Qalabotjha) ve Asya'da (Seoul) yapılan çalışmalardan düşüktür. Aynı zamanda Bayburt $PM_{2.5} / PM_{10}$ oranı 0.70 olup, bu oranın 1' yakın olması PM konsantrasyonunda genel olarak antropojenik katkının büyük olduğunu göstermektedir. Bayburt gibi Buenos Aries, Lugano, Washington DC, Zürih şehirlerinde de $PM_{2.5} / PM_{10}$ oranının yüksek olması PM konsantrasyonlarında antropojenik kaynakların etkili olduğunu göstermektedir. Bayburt şehir merkezinde endüstriyel tesislerin bulunmaması nedeni ile antropojenik kaynak olarak evlerde ısınma amaçlı kullanılan yakıtların ve trafiğin PM konsantrasyonunda etkili olduğu düşünülmektedir.

Çizelge 4.2. Çeşitli kentsel alanlarda yapılan kütleli PM konsantrasyonları sonuçları

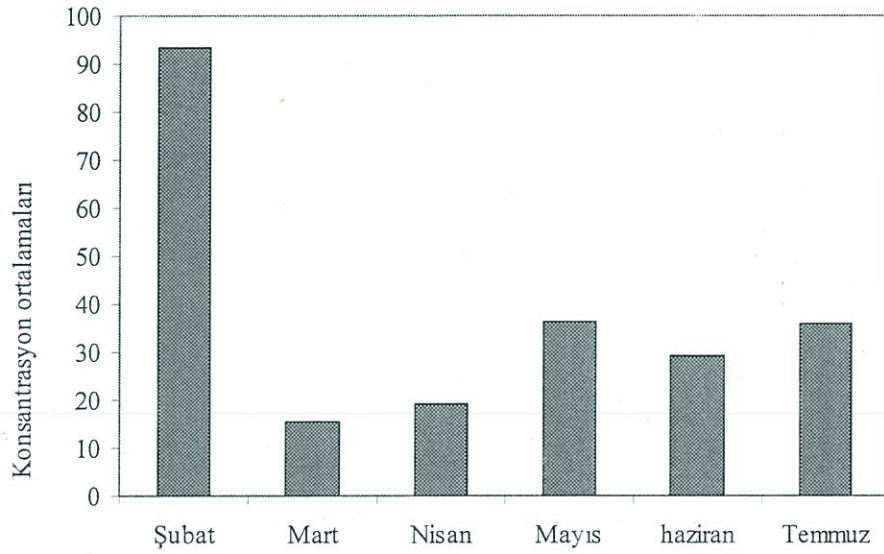
Yer	PM _{2,5} (µg/m ³)	PM ₁₀ (µg/m ³)	PM _{2,5} /PM ₁₀
Bayburt, Türkiye (Bu çalışma)	39	56	0,70
Munich, Germany (Janssen <i>et al.</i> 2007)	14	21	0,66
Erzurum Türkiye (Bayraktar vd. 2006)	13	31	0,42
London, England (Charron and Harrison 2005)	23	36	0,63
Oxford, USA (Wojas and Almquist 2005)	15	16	0,93
Madrid, Spain (Salvador <i>et al.</i> 2005)	8	12	0,66
Seoul (Kuui), Kore (Kim and Kim 2003)	58	113	0,51
Seoul (Sung, Soo), Kore (Kim and Kim 2003)	55	109	0,50
Raahe, Finlandiya (Oravisjarvi <i>et al.</i> 2003)	10	17	0,59
Buenos Aries, Arjantin (Bogo <i>et al.</i> 2003)	37	48	0,77
Helsinki, Finlandiya (Vallius 2005)	13	19	0,68
Amsterdam, Finlandiya (Vallius 2005)	20	36	0,56
Duisburg, Almanya (kuhlbusch <i>et al.</i> 1999)	8	17	0,47
Lugano, İsviçre (Gehring and Buchmann 2003)	24	33	0,73
Basel, İsviçre (Gehring and Buchmann 2003)	17	23	0,74
Bern İsviçre (Gehring and Buchmann 2003)	21	36	0,58
Zürich İsviçre (Gehring and Buchmann 2003)	18	24	0,75
İstanbul Türkiye Karaca vd. 2005	21	47	0,45
Edmonton, Canada (Cheng <i>et al.</i> 1998)	9	27	0,33
Washington DC, ABD Malm <i>et al.</i> 1994	27	35	0,77
Qalaboŋjha, Güney Afrika (Engelbrecht <i>et al.</i> 2001)	84	90	0,93
Calgary, Kanada (Cheng <i>et al.</i> 1998)	9	23	0,39

4.1.2. Kütlesel Konsantrasyon Zamansal Değişimi

Bu çalışmaya başlamadan önce cihazın konulacağı yerin tespiti yapılırken kentsel hava kirliliğini yansıtması amacıyla şehrin merkezinde bulunan İl Sağlık Müdürlüğü Bahçesi seçildi. Cihaz gerekli izinler alındıktan sonra yerleştirildi ve şubat ayı süresince bu merkezde $PM_{2.5}$ örnekleri toplandı. Fakat High Volume cihazının çalışması esnasında çıkarmış olduğu yüksek ses nedeniyle çevreden gelen tepkiler üzerine, cihaz bulunduğu yerden alınarak Bayburt İl Çevre ve Orman Müdürlüğü bahçesine konuldu. Erzurum – Trabzon karayolu üzerinde bulunan İl Çevre ve Orman Müdürlüğü bahçesi şehir merkezine yaklaşık 1 km kadar uzak mesafede olduğundan ve etrafında yerleşim merkezlerinin az olmasından dolayı örneklemeye kentsel alandan ziyade kırsal alanda devam edilmek zorunda kalındı. 5 aylık örnekleme periyodunun ilk ayı olan şubat ayı kentsel alanda ve diğer aylar kırsal alanda olmak üzere mümkün olduğu kadar ortalama 24 saatlik $PM_{2.5}$ örnekleme toplandı. Bu örneklerle birlikte, İl Çevre ve Orman Müdürlüğü tarafından Sağlık İl Müdürlüğü bahçesine yerleştirilmiş olan hava kalitesi izleme kabininden PM_{10} ve SO_2 'nin de konsantrasyon değerleri alınarak bu çalışmada kullanıldı. Örnekleme periyodu boyunca toplanan $PM_{2.5}$ örneklerinin kütlesel konsantrasyonlarının zamansal değişimi Şekil 4.1 ve Şekil 4.2 de verilmektedir.



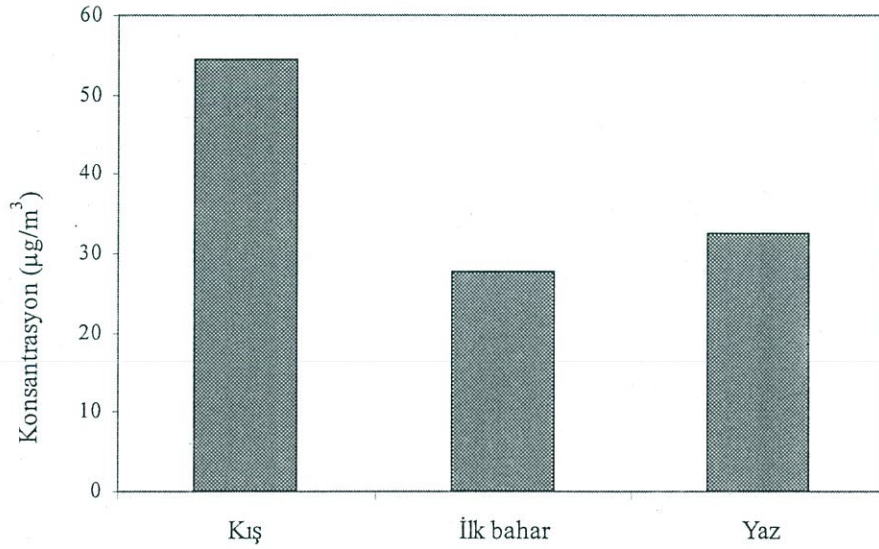
Şekil 4.1. $PM_{2.5}$ konsantrasyonunun değişimi



Şekil 4.2. PM_{2.5} konsantrasyonunun aylık değişimi.

Şekil 4.2 de görüleceği üzere şubat ayında oldukça yüksek konsantrasyonlar bulunmuş bu değerler mart ayında önemli oranda düşmüş, yaz aylarında ise biraz daha yükselmiştir. Özellikle şubat ayında PM_{2.5} konsantrasyonunun yüksek olmasına ısınma amaçlı kullanılan kalitesiz kömürlerin ve trafik orijinli lokal kaynakların neden olduğu düşünülmektedir. Ayrıca şubat ayında örneklemenin şehir merkezinde yapılmasının da konsantrasyonun yüksek çıkmasına sebep olduğu anlaşılmaktadır. Yaz aylarında ısınma amaçlı yanmanın olmaması ve Bayburt şehir merkezinde sanayinin yok denecek kadar az olması nedeniyle PM_{2.5} için, tamamen trafik orijinli kaynakların etkin olduğu açıkça görülmektedir.

Bayburt iklim şartları açısından (sıcaklık yağış, rüzgâr hızı vb.) kış aylarının soğuk olması ve kış şartlarının nisan ayına kadar devam etmesi, ısınma amaçlı yakıt kullanımını artırdığından kış mevsiminin aritmetik ortalaması hesaplanırken şubat ve mart ayı değerleri kullanıldı. İlkbahar mevsim ortalaması için nisan–mayıs, yaz mevsimi ortalaması için ise haziran ve temmuz ayı değerleri kullanıldı. Şekil 4.3 de görüldüğü gibi mevsimler arası PM_{2.5} konsantrasyonunun aritmetik ortalamasında kış mevsimi belirgin bir şekilde daha fazla olmuştur. Bu da PM_{2.5} konsantrasyonunun ana nedeninin ısınma amaçlı kullanılan yakıtların yakılmasından kaynaklandığının göstergesidir.

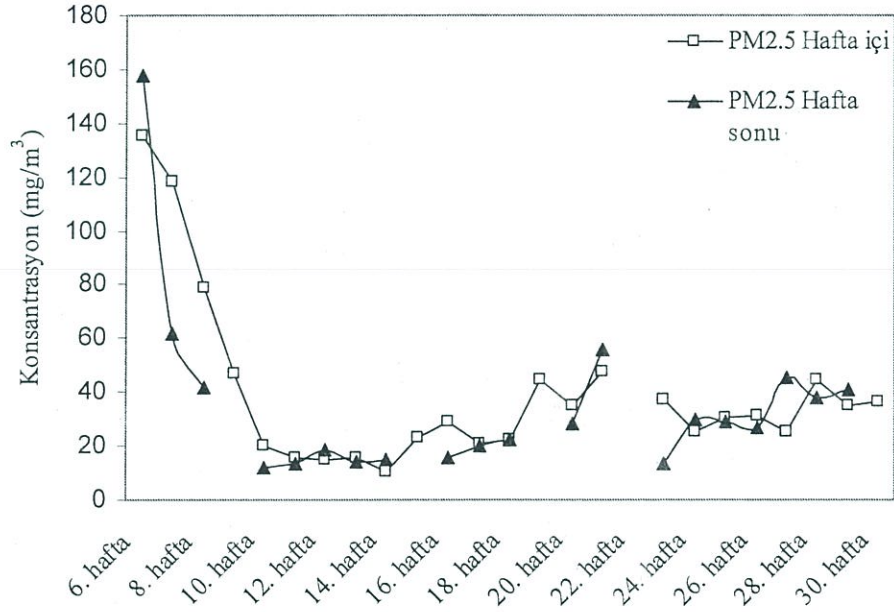


Şekil 4.3. PM_{2.5} konsantrasyonunun mevsimsel değişimi

Bayburt devamlı göç veren illerden biri olmasına rağmen yaz aylarında yurt dışı başta olmak üzere yurt içinden de önemli miktarda göç almaktadır. Bu da şehirdeki araç sayısını artırdığından Şekil 4.3 deki yaz mevsimi ortalamasının ilkbahar mevsimi ortalamasından yüksek olmasının sebeplerinden olduğu düşünülmektedir. Yaz mevsimindeki ortalamanın ilkbahardan yüksek olmasının diğer bir nedeni de şehrin yazın ilkbahara göre daha az yağış alması ve bu mevsimde hava kirleticilerin atmosferde daha uzun süre kalmasına bağlanmaktadır. Bayburt ilinde uzun yıllar yağış ortalamasına göre Çizelge 3.1'den görüleceği üzere nisan ayında 57.9 mm, mayıs ayında 71.8mm, haziran ayında 51.7mm ve temmuz ayında 19.6mm yağış gözlenmektedir. Buna göre İlkbahar da ortalama 129,7mm, yazın ise 71.3 mm yağış alması yukarıdaki teoriyi doğrulamaktadır.

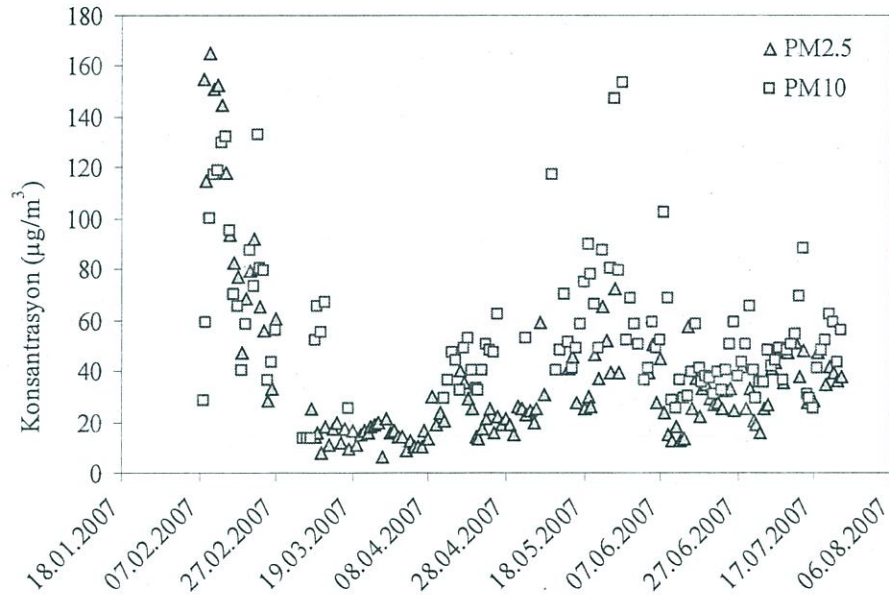
Aynı şekilde hafta içi ve hafta sonu PM_{2.5} konsantrasyonu arasındaki ilişki Şekil 4.4'te verilmiştir. Örneklem başlangıcı olan 8 Şubat yılın 6. haftasına denk geldiği için hafta içi ve hafta sonu aritmetik ortalamaları hesaplanmasında 6. hafta başlangıç kabul edildi. Genel olarak hafta içi ile hafta sonu PM_{2.5} konsantrasyon ortalamasına bakıldığında, hafta içi PM_{2.5} konsantrasyonunun 39.4 µg/m³, hafta sonu PM_{2.5} konsantrasyonunun ise 34,9 µg/m³, olduğu görülmektedir. Hafta içi PM_{2.5} konsantrasyonunun daha yüksek

çıkmasında resmi dairelerin açık olması ve trafik yoğunluğunun hafta sonuna oranla daha fazla olmasının etkili olduğu düşünülmektedir.

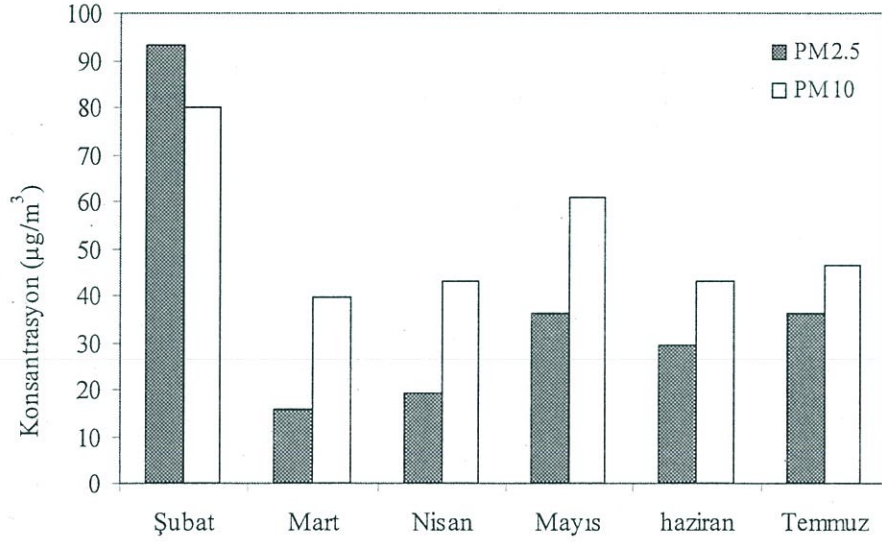


Şekil 4.4. PM_{2.5} konsantrasyonunun hafta içi ve hafta sonu değişimi

PM₁₀ ve PM_{2.5} arasında gün, ay ve mevsim bazındaki ilişki Şekil 4.5, 4.6 ve 4.7 de verilmiştir.



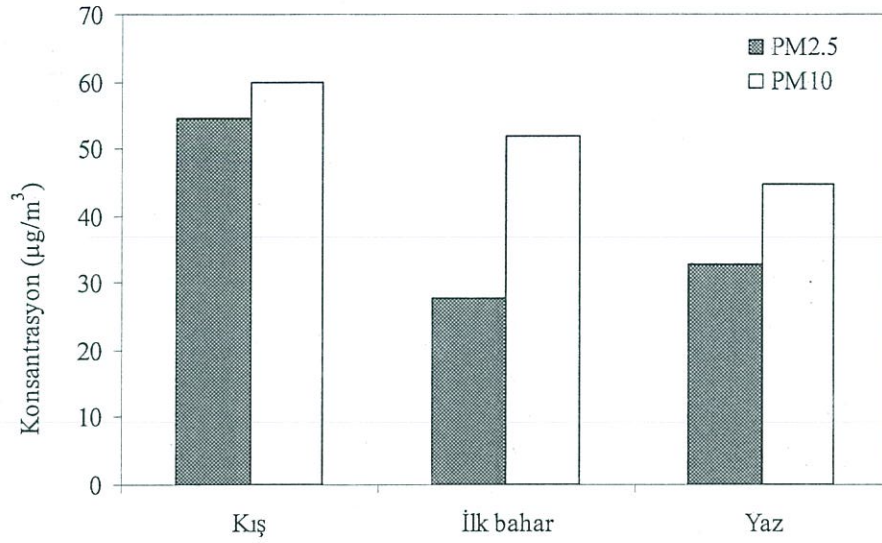
Şekil 4.5. PM_{2.5} ile PM₁₀'un zamansal değişimi



Şekil 4.6. PM_{2.5} ile PM₁₀'un aylık değişimi

Şekil 4.6'dan görüleceği üzere PM_{2.5} ve PM₁₀ konsantrasyonlarının en yüksek olduğu ay şubat ayıdır. Ayrıca PM_{2.5}/PM₁₀ konsantrasyon oranının en yüksek olduğu ay da yine şubat ayıdır. Şubat ayında 1.16 olan PM_{2.5} / PM₁₀ oranı mart ayında 0.39 düşmektedir. Burdaki ani düşüşün nedeni ölçüm noktasının şehir merkezinden daha kırsal bir alan olan İl Çevre ve Orman Müdürlüğü bahçesine kaydırılmış olmasıdır. PM_{2.5}/PM₁₀ arasındaki bu oran daha sonraki aylarda, nisanda 0.45, mayısta 0.59, haziranda 0.68, temmuzda 0.77 olmaktadır. Mart ayından başlayarak temmuza ayına kadar yükselen PM_{2.5}/PM₁₀ konsantrasyon oranına göre yaz aylarındaki antropojenik etkinin ilk bahar aylarına göre daha fazla olduğu söylenebilir.

Mevsimler bazında bakıldığında PM_{2.5} ve PM₁₀ konsantrasyonunun en yüksek olduğu mevsimin kış olduğu Şekil 4.7'dende görülmektedir. Ayrıca PM_{2.5}/PM₁₀ oranı 0.91 ile en yüksek değerine kış ayında ulaşmaktadır. İlk baharda 0.54 olan PM_{2.5}/PM₁₀ oranı yazın ise 0.73'e yükselmektedir. Bu sonuçlara göre PM konsantrasyonuna antropojenik etkinin en fazla olduğu mevsim kış mevsimidir. Kışın özellikle ısınmada kullanılan yakıtlar ile yazın artan trafik yoğunluğun bu sonuçların nedeni olduğu düşünülmektedir.



Şekil 4.7. PM_{2.5} ile PM₁₀'un mevsimsel değişimi

SPSS 11,5 paket program yardımı ile PM_{2.5}, PM₁₀ ve SO₂'nin kütleli konsantrasyonları arasındaki ilişki araştırılmış ve korelasyon matrisi Çizelge 4.3'de verilmiştir.

Çizelge 4.3. Kütleli konsantrasyonların korelasyon matrisi

Tüm periyod	PM _{2.5}	PM ₁₀	SO ₂
PM _{2.5}	1	0,62	0,36
PM ₁₀	0,62	1	0,27
SO ₂	0,36	0,27	1

Çizelge 4.3'te görüleceği üzere PM_{2.5} ile PM₁₀ kütleli konsantrasyonları arasında $p < 0,05$ güven aralığında $r = 0,62$ gibi yüksek korelasyon gözlenirken PM_{2.5} ile SO₂ arasında $r = 0,36$ gibi korelasyon gözlenmektedir. Aynı şekilde PM₁₀ ile SO₂ arasında $r = 0,27$ ile düşük korelasyon bulunmuştur. Ölçümlerin çoğu ilkbahar ve yaz aylarında yapıldığı için yanma kaynaklı olan SO₂ değerleri çok düşük çıkmıştır. Yaz aylarında farklı kaynaklı olan PM değerlerinin bu SO₂ verileri ile korelasyonunda bu nedenle düşük çıktığı düşünülmektedir.

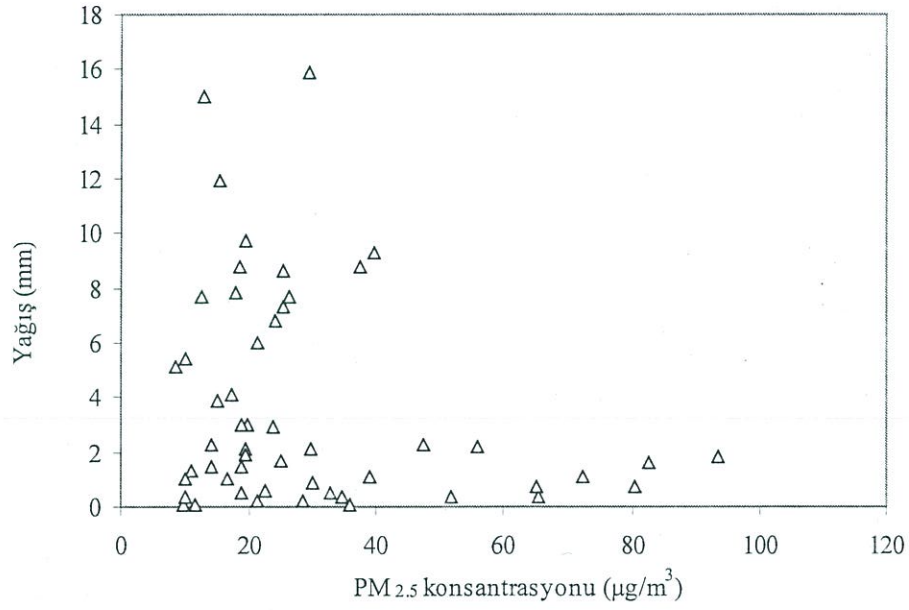
4.1.3. Meteorolojik Parametrelerin Kütlesel Konsantrasyona Etkisi

Karasal iklimin hakim olduğu Bayburt kent atmosferinde hava kirliliği, genellikle meteorolojik parametrelerin etkisi altındadır. Kışın rüzgâr hızlarının düşük olması, plansız şehirleşme, kent atmosferine salınan kirleticilerin rüzgârla taşınımını azaltmakta ve salınan kirleticilerin atmosferde birikmesine neden olmaktadır. SPSS 11.5 paket programı yardımı ile kütlesel konsantrasyonların meteorolojik parametrelerle olan ilişkisi araştırılmış ve Çizelge 4.4’de verilmiştir.

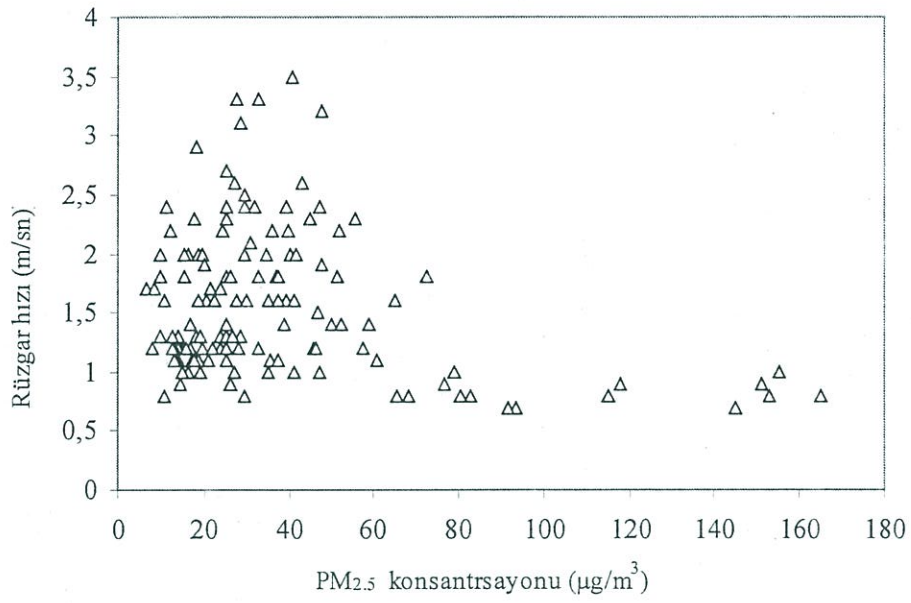
Çizelge 4.4. Kütlesel konsantrasyonların, meteorolojik parametrelerle korelasyonu

Tüm periyod	PM _{2.5}	PM ₁₀	SO ₂	Rüzgâr hızı	Yağış	Sıcaklık
PM _{2.5}	1	0,62	0,36	-0,15	-0,32	-0,4
PM ₁₀	0,62	1	0,27	-0,25	-0,26	-0,5
SO ₂	0,36	0,27	1	-0,18	-0,14	-0,7
Rüzgâr hızı	-0,15	-0,25	-0,18	1	0,96	0,68
Yağış	-0,32	-0,26	-0,14	0,96	1	0,63
Sıcaklık	-0,4	-0,5	-0,7	0,68	0,63	1

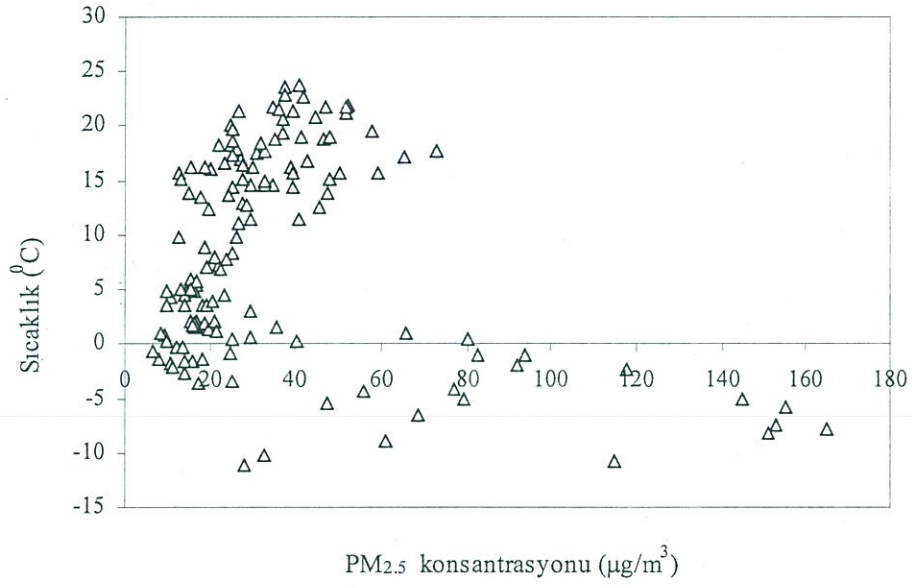
Genel olarak bakıldığında PM_{2.5}, PM₁₀ ve SO₂’nin kütlesel konsantrasyonlarının $p < 0,05$ güven aralığında en yüksek korelasyonlarının sıcaklıkla olduğu görülmektedir. Özellikle SO₂’nin sıcaklıkla $r = -0,7$ gibi yüksek ters bir korelasyona sahip olması sıcaklığın düşük olduğu zamanlarda ısınma amaçlı kullanılan kömürün kükürt içeriğinin fazla olduğunu göstermektedir. Aynı şekilde PM_{2.5} ve PM₁₀’un kütlesel konsantrasyonlarının da sıcaklıkla olan korelasyonlarının yüksek olması kış aylarında kirleticilerin ısınmadan kaynaklandığının kanıtıdır. PM_{2.5} konsantrasyonu sıcaklık ve yağış gibi meteorolojik parametrelerde birbirine yakın oranlarda korelasyon göstermektedir. PM_{2.5} konsantrasyonu rüzgârla düşük bir korelasyona sahip olması hava kirleticilerin rüzgarla taşınım olayının Bayburt’ta çok az olduğunun göstergesidir. Aynı zamanda PM_{2.5} konsantrasyonunun mevsimsel parametrelerle olan ilişkisinin grafiklerle gösterimi Şekil 4.8, 4.9 ve 4.10’da verilmiştir.



Şekil 4.8. PM_{2.5} konsantrasyonunun yağışla olan ilişkisi



Şekil 4.9. PM_{2.5} konsantrasyonunun rüzgâr hızı ile olan ilişkisi



Şekil 4.10. PM_{2.5} konsantrasyonunun sıcaklıkla olan ilişkisi

Şekillerde görüldü gibi PM_{2.5} konsantrasyonu yağış ve rüzgâr hızı gibi meteorolojik parametrelerle çok fazla olmasa da, ters orantılı bir şekilde etkilenmektedir. Rüzgâr ve yağış arttığında azalmakta, azaldığında ise artmaktadır. Diğer taraftan PM_{2.5} konsantrasyonu düşük sıcaklıklarda en yüksek değerine ulaşmaktadır.

5. SONUÇ

Hava Kirliliği ile ilgili literatürde çok çeşitli çalışmalar yapılmasına rağmen Bayburt kent merkezinde bugüne kadar herhangi bir çalışma yapılmamıştır. İlde hava kirliliği ölçümünü 2007 yılına kadar Halk Sağlığı Müdürlüğü yapmıştır. 2007 yılında Çevre ve Orman Bakanlığının bütün illerde hava kalitesinin belirlenmesi amacıyla PM_{10} ve SO_2 gibi insan sağlığını olumsuz etkileri olan hava kirleticilerin ölçülebilmesi için hava kalitesi kabini kurulmuştur. Bayburt kent atmosferinde ölçülen bu kirleticiler dışında herhangi bir ölçüm yapılmamış olması ve ölçülen değerlerinde zaman zaman yüksek olması ve literatürde Bayburt hava kirliliği üzerine herhangi bir çalışma yapılmamış olmasından dolayı bu çalışma için Bayburt ili seçilmiştir.

Partikül maddelerin insan sağlığına olumsuz etkileri nedeniyle PM_{10} ölçümü birçok ilde olduğu gibi Bayburt kent atmosferinde de ölçülmekte olduğundan çalışmada $PM_{2.5}$ kütleli konsantrasyonu tespit edilmeye çalışıldı. Örneklem cihazı olarak yüksek hacimde çalışan Thermo Andersen marka Amerikan yapımı cihaz kullanıldı. Cihazın yer seçimi yapılırken kentin atmosferini temsil etmesi açısından şehir merkezinde İl sağlık müdürlüğüne ait bahçe seçildi. Cihaz çıkarmış olduğu yüksek ses nedeni ile çevreden gelen tepkiler üzerine cihaz şehrin çıkışında İl Çevre ve Orman Müdürlüğü Bahçesine taşındı.

Bayburt kent atmosferinde kütleli $PM_{2.5}$, PM_{10} ve SO_2 konsantrasyon bulguları sırasıyla ortalama 39, 56, 56,4 $\mu g/m^3$ 'tür. Mevsimsel konsantrasyon değişimleri Bayburt kent atmosferi için önemli olup özellikle yanma kaynaklı olduğu tahmin edilen $PM_{2.5}$ için belirgin bir şekilde gözlenmektedir. Zira kış sezonu ortalama 54 $\mu g/m^3$ iken bu değer ilkbahar sezonunda 28 $\mu g/m^3$ değerine inmektedir. Yaz sezonunda $PM_{2.5}$ konsantrasyonu 33 $\mu g/m^3$ değerine çıkması ise cihazın konulduğu yerin Erzurum-Trabzon karayoluna yoluna ve piknik alanlarına yakın olması nedeni ile yazın göç alan Bayburt'un trafik orijinli kaynaklarının çoğalması ve piknikçilerin yakmış oldukları mangal kömürünün dumanından çıkabilecek kirleticilerin $PM_{2.5}$ konsantrasyonunu artırmış olduğu düşünülmektedir.

Elde edilen $PM_{2.5}$ kütleli konsantrasyonu $39 \mu g/m^3$ ile ABD, AB, Avustralya gibi ülkelerin sınır değerleri ile karşılaştırıldığında bu 3 ülkenin sınır değerlerinden fazla olduğu görölmektedir. Ülkemizde henüz $PM_{2.5}$ için sınır değerler konulmamış ise de Bayraktar tarafından 2006 yılında Erzurum kent atmosferinde yapılan benzer bir çalışmanın sonuçlarına göre de yüksektir. Erzurum kent atmosferinde yapılan bu çalışmada $PM_{2.5}$ konsantrasyonu $13 \mu g/m^3$ 'tür. Ülkemiz şartları açısından düşünüldüğünde Erzurum ile Bayburt'un birbirine yakın iklim şartlarına sahip olmasına rağmen iki ilde yapılan çalışmada elde edilen sonuçlara göre Bayburt kent atmosferi $PM_{2.5}$ konsantrasyonu açısından oldukça kirlidir.

Sonuç olarak nüfusunun az olması, sanayinin gelişmemiş olmasına rağmen $PM_{2.5}$ gibi PM_{10} ve SO_2 'nin de yüksek olması Bayburt kent atmosferinin olması gerekenden kirliliğini açık bir şekilde göstermektedir. Sanayiden kaynaklanan kirliliğin olmaması kış sezonunda kirleticilerin tamamına yakınının ısınma amaçlı evsel kaynaklardan oluştuğunu göstermektedir. Şehrin konumu itibari ile iki dağ arasına kurulmuş olması, rüzgârın kirleticileri dağıtma ve seyreltme olasılığını azaltmaktadır. Bayburt kent merkezinde daha temiz ve sağlıklı bir hava için öncelikle ısınmada kömür yerine doğalgaz kullanımına geçilmeli, şehirde oksijen kaynağı yeşil alanlar çoğaltılmalı, şehrin yeni yerleşim planlamasında meteorolojik faktörlerin özellikle rüzgâr hız ve yönünün göz önüne alınması, araçlardan kaynaklı kirleticileri azaltılması için egzoz denetiminin yapılması sağlanmalıdır.

KAYNAKLAR

- Amil, M., 2005 Ankara Hava Kalitesinin Alansal ve Zamansal Değişiminin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, A.Ü.,Erzurum
- Bayburt, 2005, İl Çevre durum Raporu. www.cevreorman.gov.tr
- Bayraktar, H., 2006. Erzurum Kent Atmosferinde Partikül Madde Kompozisyonu, Doktora tezi, A.Ü.,Erzurum
- Bergametti, G., Dutot, A. L., Buat-Menard, P., Losno, R. and Remoudaki, E. 1989. Seasonal variability of the elemental composition of atmospheric aerosol particles over the Northwestern Mediterranean.
- Bogo, H., Otero, M., Castro, P., Ozafron, M. J., Kreiner, A., Calvo, E.J., Negri, R. M., 2003. Study of atmospheric particulate matter in Buenos Aires City. *Atmospheric Environment*: 37,1135-1147
- Charron, A., Harrison, R. M., Fine and Course Particulate Matter on A Heavily Trafficked London Highway: Sources and Processes
- Cheng, L., Sandhu, H. S., Angle, R.P. and Myrick, R.H. 1998. Characteristics of inhalable particulate matter in Alberta cities. *Atmospheric Environment* 32,3835-3844.
- Csanady, C.T., *Turbulent Diffusion in the Environment*, D. Reidel Publishing, (1980).
- Çimen, E. Hava Kalitesi, Celal Bayar Üniversitesi. 2001
- Engelbrecht, J.P., Swanepoel, L., Chow, J. C., Watson, J. G., Egami, R. T., 2001. PM_{2.5} and PM₁₀ concentrations from the Qalabotjha low – smoke fuels macro scale experiment in South Africa. *Environmental Monitoring and Assessment*: 69, 1-15
- Gehring, R. and Buchmann, B. 2003. Characterising seasonal variations and spatial distribution of ambient PM₁₀ and PM_{2.5} concentrations based on long-term Swiss monitoring data.
- Güllü, G. Long range transport of aerosols. PhD. Thesis. Middle- East Technical University, Ankara, September 1996; p.256.
- Gündüz, T., 1994. Çevre Sorunları. Ankara.
- Grantz, D.A., Garner, J.H.B, Johnson, D.W., 2003. Ecological effects of particulate matter. *Environment International*: 29, 213-239
- Hauck, H., 1998. Revision of ambient air quality standards for PM. *Toxicology Letters*.
- İncecik, Selahattin, Hava Kirliliği, İstanbul, 1994
- Janssen, N.A.H., Meliefste, K., Funchs, O., Weiland, S.K., Cassee, F., Brunekreef, B., Sandstrom, T. High and low volume sampling of particulate matter at sites with different traffic profiles in the Netherlands and Germany.
- Karaca, F., Alagha, O. and Ertürk, F. 2005. Statistical characterization of atmospheric PM₁₀ and PM_{2.5} concentrations at a non-impacted suburban site of İstanbul, Turkey. *Chemosphere* 59, 1183-1190.
- Kim, K. and Kim, M. 2003. The effects of Asian dust on particulate matter fractionation in Seoul, Korea during spring 2001
- Köksal, B. A. 1995. İstatistik analiz metodları. Çağlayan Basımevi, İstanbul.
- Kubilay, N. 1996. The composition of atmospheric aerosol over the Eastern Mediterranean. The coupling of Geochemical and Meteorological parameters, Ph.D. METU Institute of Marine Sciences, Erdemli.
- Kuhlbusch, T.A.J., John, A. C., Fissan, H., Schmidt, K.G., Schmidt, F., Pfeffer, H.U., Gladtko, D. 1999. PM₁₀ and PM_{2.5} mass concentration, Chemical composition, and size distribution measurements at three different sites in the Ruhr-Area, Germany. *J. Aerosol Sci.*: 30, S45-S46.
- Maenhout, W., Cornilla, P., Pacyna, J. M. and Vitols, V. 1989. Trace element composition and origins of the atmospheric aerosols in the Norwegian Arctic. *Atmospheric Environment*.

- Malm, W.c., Sisler, J.F., Huffman, D., Eldred, R.A. and Cahil, T.A. 1994. Spatial and seasonal trends in particle concentration and optical extinction in the United States. *Journal of Geophysical Research (Atmosphere)*99, 1347-1370.
- Müezzinoğlu, A., Bayram, A. 2000 Evaluation of some air pollution indicators in Turkey, *Environment International*
- Oravisjarvi, K., Timonen, K. L., Wiikinkoski, T., Ruuskanen, A. R., Heinanen, K., Ruuskanen, J., 2003. Source contributions to PM_{2.5} particles in the urban air of a town situated close to a steel Works. *Atmospheric Environment*: 37, 1013-1022.
- Öztürk, M., 2005. Şehir İçi Bölgelerde Hava Kalitesinin belirlenmesi. Ankara.
- Öztürk, M., 2007. Partikül Madde Kirliliğinin İnsan Sağlığı Üzerine etkisi, Ankara.
- Rumburg, B., Alldredge, R., Claiborn, C., 2001. Statistical distributions of Particulate matter and the error associated with sampling frequency. *Atmospheric Environment*.
- Salvador, P., Artinano, B., Querol, X, Alastuey, A. A combined analysis of backward trajectories and aerosol chemistry to characterise log-range transport episodes of particulate matter.
- Segueira, R. And Lai, K-H. 1997. The effect of meteorological parameters and aerosol constituents on visibility in urban Hong Kong. *Atmospheric Environment* 32, 2865-2871.
- Stoker, H.S., and Seager S.L., *Environmental Chemistry: Air and Water Pollution*, Scot, Foresman and Company, U.S.A., 1996.
- Vallius, M. 2005. Characteristics and sources of fine particulate matter in urban air. National Public Health Institute, Department of Environmental Health Kuopio, Finland, P.67
- Wark, W., Warner, C.F., 1997. *Air Pollution-Its Origin and Control*, Harper And Row Publishers, New York
- Wight, G.D., *Fundamentals of Air Sampling*, Lewis Publishers, CRC Pres, Florida, 1994
- Wojas, B., Almquist, C., Mass concentration and metals speciation of PM_{2.5}, PM₁₀ and total suspended solids in Oxford, Ohio and comparison with those from metropolitan sites in Greater Cincinnati region.
- W.M.O., *Compendium of Meteor., Air Chemistry and Air Pollution Meteor.* (1985). www.forumturka.net/forum/archive/index.php/t-40305.html
- Yeşilyurt, C., Akcan, N. *Hava Kalitesi İzleme Metodolojileri ve Örneklem Kriterleri* 2001

ÖZGEÇMİŞ

1978 yılında Erzurum’da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Erzurum’da tamamladıktan sonra 1999 yılında Atatürk Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümüne kayıt yaptırdı. 2003 yılında çevre mühendisi olarak mezun olduktan sonra Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Teknolojileri Anabilim Dalında Yüksek Lisansa Başladı.

2005 Yılında Bakü-Tiflis-Ceyhan Petrol Boru Hattında, 2006 yılında Bayburt İl Çevre ve Orman Müdürlüğünde çalıştı. 2007 yılında Erzurum Şeker Fabrikasında göreve başlamış olup halen aynı kurumda görev yapmaktadır.