

SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

HAVA KİRLİLİĞİ VE MODELLEMESİ

Hava Kirliliği Nedir?  
Hava Kirliliği Modelleme Yöntemleri Nelerdir?  
Hava Kalitesi Regülasyonları Nelerdir?  
Hava Kalite İndeksi Nedir?

*ÇEVRE MÜH. EYÜP FATİH AY*

*ÇEVRE MÜH. MERVE BALTA*

*ÇEVRE MÜH. MERVE ÇOLAK*

*ÇEVRE MÜH. HÜLYA SEMERCİOĞLU*

2010 BAHAR

SAKARYA

## -Şekiller ve Tablolar Listesi

### 1.HAVA NEDİR?

### 2. HAVA KİRLİLİĞİ

#### 2.1. Hava Kirletici Kaynaklar

2.1.1. Isınmadan Kaynaklanan Hava Kirliliği

2.1.2. Sanayiden Kaynaklanan Hava Kirliliği

2.1.3. Trafikten Kaynaklanan Hava Kirliliği

#### 2.2. Çeşitli Hava Kirleticiler

2.2.1. Partikül Maddeler

2.2.2. Kükürt Oksitler

2.2.3. Azot Oksitler

2.2.4. Karbon Monoksit

2.2.5. Hidrokarbonlar

2.2.6. Ağır Metaller

### 3. HAVA KALİTESİ

#### 3.1.METEOROLOJİK ÖLÇÜMLER

#### 3.2.HAVA KALİTESİ ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ

3.2.1.Pasif Örnekleyiciler

3.2.2.Aktif Örnekleyiciler

3.2.3.Otomatik Analizörler

3.2.4.Uzaktan Algılayıcılar

### 4. HAVA KALİTESİ MODELLERİ

#### 4.1. CALPUFF

- 4.2. AERMOD
- 4.3. ISC (INDUSTRIAL SOURCE COMPLEX)
5. CADDE KANYONLARINDA HAVA KİRLİLİĞİ MODELLEMESİ
- 5.1. STREET-SRI Modeli
- 5.2. ORERASYONEL CADDE KİRLİLİĞİ MODELİ (OSPM)
6. TÜRKİYE, AB VE EPA HAVA KALİTESİ REGÜLÂSYONLARI
- 6.1. AB HAVA KALİTESİ YÖNETİMİ MEVZUATI
- 6.2. TÜRKİYE İÇİN LİMİT DEĞERLER, DEĞERLENDİRME VE UYARI EŞİKLERİ
- 6.3. EPA İÇİN SINIR DEĞERLER
- 6.4. AB İÇİN SINIR DEĞERLER
- 6.5. SINIR DEĞERLERİN KIYASLANMASI
7. HAVA KALİTESİ İNDEKSİ
- 7.1. HAVA KALİTESİ İNDEKSİ NEDİR?
- 7.2. HAVA KALİTESİ İNDEKSİ NASIL KULLANILIR?
- 7.3. HKİ (AQI) DEĞERLERİNİN ANLAMAMI
- 7.4. HKİ DEĞERİ NASIL HESAPLANIR?
- 7.4.1. Hava Kalitesi İndeksi HKİ: OZON - O<sub>3</sub>
- 7.4.2. Hava Kalitesi İndeksi HKİ: Partiküler Madde Kirliliği
- 7.4.3. Hava Kalitesi İndeksi HKİ: Karbon Monoksit (CO)

-REFERANSLAR

## ŞEKİLLER LİSTESİ

- Şekil 1. Atmosferdeki kirleticiler, kaynakları, uğradıkları süreçler ve kirlilik etkileri  
Şekil 2. Hava kirletici kaynaklarının şematik olarak gösterilmesi  
Şekil 3. Hava Kalitesinin Ölçümünde Göz Önüne Alınacak Esaslar  
Şekil 4. Şehir İçinde Karbon Monoksit Konsantrasyonunu Ölçmek İçin Numune Alma Yeri Tespiti  
Şekil 5. Meteorolojik Gözlem İstasyonlarının Tespitinde Göz Önüne Alınacak Esaslar  
Şekil 6. Konsantrasyonların, Direkt Ve Devir Daim Katkıların Bir Toplamı Olarak Hesaplandığı Modelde Temel Akış Şeması  
Şekil 7. Kutu Modeli

## TABLolar LİSTESİ

- Tablo1. Ozon Ölçüm Cihazlarıyla Otoyollar Arasındaki Minimum Uzaklık (En Yakın Trafik Şeridinin Kenarı)  
Tablo2. Numune alma probu yerleştirme esasları özeti  
Tablo 3 Hava kalitesi çerçeve planı  
Tablo 4. SO<sub>2</sub> için Limit Değerler, Değerlendirme ve Uyarı Eşikleri  
Tablo 5. NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, PM(10) İçin Limit Değerler, Değerlendirme ve Uyarı Eşikleri  
Tablo 6. Kurşun Benzen Karbon monoksit İçin Limit Değerler, Değerlendirme ve Uyarı Eşikleri  
Tablo 7. Arsenik, Kadmiyum, Nikel ve Benzo(a)piren İçin Hedef Değerler ve Değerlendirme Eşikleri  
Tablo 8. Ozon İçin Uzun Vadeli Hedefler, Hedef Değerler, Bilgilendirme ve Uyarı Eşikleri  
Tablo 9. EPA İçin Sınır Değerler  
Tablo 10. AB İçin Sınır Değerler  
Tablo 11. Sınır Değerlerin Kıyaslanması  
Tablo 12. Limit Değerlerin AB-Türkiye Kıyaslaması  
Tablo 13. Hava Kalitesi İndeksi  
Tablo 14. Ozon İçin Hava Kalite İndeksi  
Tablo 15. PM İçin Hava Kalite İndeksi  
Tablo 16. CO İçin Hava Kalite İndeksi



## 1.HAVA NEDİR?

Hava, atmosferi meydana getiren gazların karışımı olarak tanımlanabilir. Hava, insan ve canlıların yaşaması için hayati öneme sahiptir. Yerküreyi saran gaz kütleyle atmosfer adı verilmektedir. Atmosferdeki hava tabakasının kalınlığı yaklaşık 150 km' dir. Bunun sadece yaklaşık 5 km' si canlıların yaşamasına elverişlidir. Yeryüzünden uzaklaştıkça hava tabakasının yoğunluğu azalır. Atmosfer, yerkürenin etrafında adeta düzenleyici ve koruyucu bir örtü şeklindedir. Saf hava, başta azot ve oksijen olmak üzere argon, karbondioksit, su buharı, neon, helyum, metan, kripton, hidrojen, azot monoksit, ksenon, ozon, amonyak ve azot dioksit gazlarının karışımından meydana gelmiştir. Havada yaklaşık olarak;

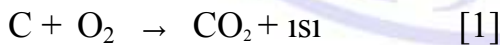
- Azot %78,
- Oksijen %21,
- Karbondioksit ve asal gazlar %1 oranında bulunur.

Havada bulunan gazları 3 grupta toplayabiliriz;

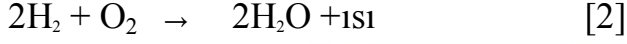
1. Havada devamlı bulunan ve çoğunlukla miktarları değişmeyen gazlar (*azot, oksijen ve diğer asal gazlar*)
2. Havada devamlı bulunan ve miktarları azalıp çoğalan gazlar (*karbondioksit, su buharı, ozon*)
3. Havada her zaman bulunmayan gazlar (*kirleticiler*)

Hava da tıpkı su ve toprak gibi kirlenebilen bir ortamdır. Bunlardan farklı olarak canlılar aç ve susuz günlerce yaşayabileceği halde nefes almadan birkaç dakikadan fazla duramaz. Bu yüzden doğal bileşimdeki hava, tüm canlılar için zorunlu olan yaşamsal bir haktır. Hava kirliliği modern yaşamın bir sonucu olarak karşımıza çıkmaktadır. Sıkışık düzende kurup, içinde kendimizi yaşamaya hapsettiğimiz kentlerde; ulaşım, ısınma ve aydınlanma için gerekli enerji ve her geçen gün artıp çeşitlenen tüketim gereksinmemizi karşılamaya yönelik toplu üretimin artıkları, havayı yoğun gaz ve toz kalıntılarıyla doldurmaktadır. Havayı kirleten en önemli etken yanma reaksiyonudur.

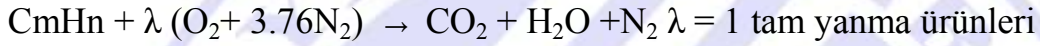
Yakıt + hava → Yanma ürünü



Reaksiyonu uyarınca, fosil yakıt adını verdiğimiz gaz, petrol, veya kömürün yakılmasıyla oluşan CO<sub>2</sub> ve bunun yanı sıra bu yakıtlarda bol bulunan hidrojenin,



şeklinde oksitlenmesiyle açığa çıkan su buharı, reaksiyonların hedeflenen ürünleridir. Bu nedenle bu ikisi gerçekte tam da hava kirletici sayılmazlar.

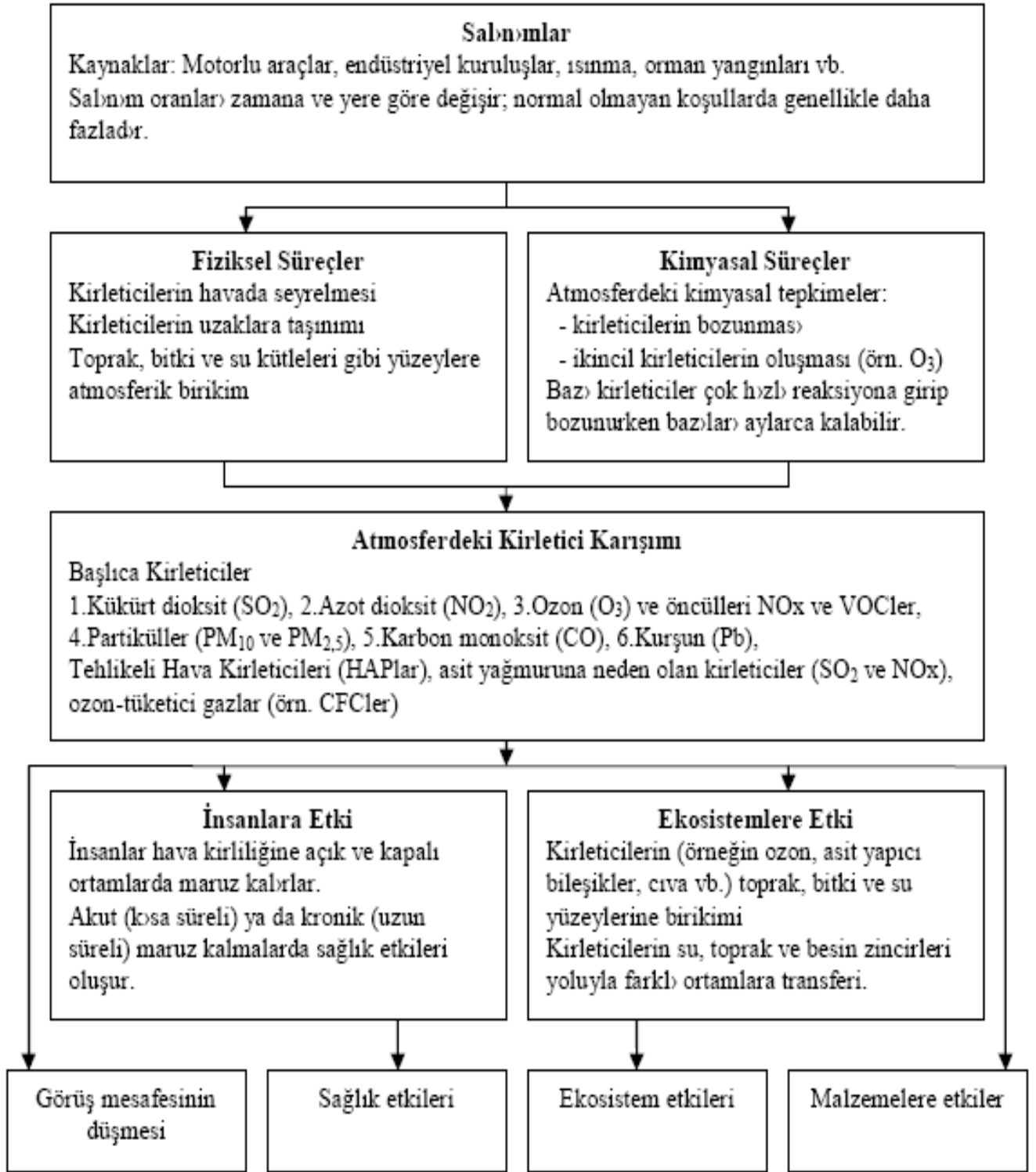


Ancak yakıt içeriğinde bulunan safsızlıklara; oksijenin veriliş oran ve şekline, yanma sıcaklığının gereğinden az veya çok oluşuna, sıcak ve soğuk bölgelerde gazların bekleme süresine bağlı nedenlerle 1. ve 2. reaksiyonlar tam olarak gerçekleşmemesi yüzünden oluşan başka gaz ve buharlar “hava kirletici” sayılırlar.

## 2. HAVA KİRLİLİĞİ

*Hava kirliliği; Ekolojik dengeyi bozan, insan sağlığını ve canlı hayatını olumsuz bir şekilde etkileyen insanların çeşitli tüketim aktiviteleri ve ekonomik faaliyetler sonucu, yapay yollarla havanın bileşimindeki maddelerin normalin üzerinde yoğunluğa ve miktara ulaşması ile havanın doğal bileşiminin bozulmasıdır.*

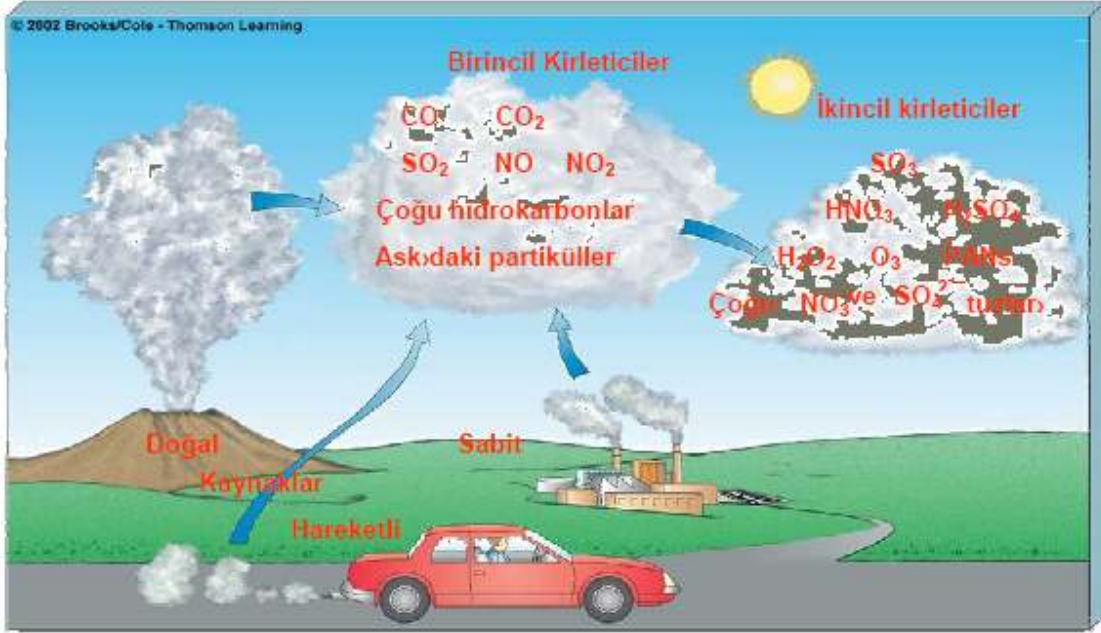
Hava kirliliği üzerine yapılan çalışmalar, genellikle belirli kirletici salınımları ile bu salınımların zaman ve yere bağlı olarak çevrede yol açtıkları kirletici derişimleri ve birikimleri arasındaki ilişkilerin nicelik ve nitelik bakımından incelenmesi üstüne yoğunlaşmıştır. Kaynak ve ortamdaki kirletici salınımlarının araştırılması, hem yoğun saha ve laboratuvar çalışmaları, hem de elde edilecek sonuçların, kirleticilerin atmosferde yayıldıkça ve başka tepkimelere girdikçe uğrayacakları fiziksel ve kimyasal süreçleri ve matematiksel açıdan ifade eden hava kalitesi modelleri içinde değerlendirmeye tabi tutulmasını kapsar.



Şekil 1. Atmosferdeki kirleticiler, kaynakları, uğradıkları süreçler ve kirlilik etkileri



Hava kirleticileri genel olarak kaynaklarına göre sınıflandırılırlar: atmosfere doğrudan salınan kirleticiler *birincil kirleticiler*; atmosferdeki kimyasal reaksiyonlar sonucu oluşanlar ise *ikincil kirleticiler* olarak adlandırılırlar.



Şekil 2: Hava kirletici kaynaklarının şematik olarak gösterilmesi

İkincil kirleticilerin kontrolü, birincil kirleticilerin kontrolüne göre genellikle daha zordur. Çünkü bu kirleticilerin atmosferdeki varlıklarının denetimi ve azaltılması, bu tür maddelerin oluşumuna yol açan öncül kimyasalların tanımlanması ve kaynaklarının belirlenmesi ile havadaki ikincil kirleticilerin oluşumuna yol açan spesifik tepkimelerin aydınlatılmasını gerektirir. İkincil kirletici oluşumuna yol açan kimyasal tepkimeler, öncüller arasında karmaşık etkileşimlerin bulunduğu durumlarda daha da karmaşık bir hal alır. Öyle ki, bazı koşullarda, öncül kirleticilerin salınımlarının azaltılması ile ikincil kirleticinin havadaki derişimlerinin düşürülmesi arasında doğrudan bir ilişki bulunmayabilir. Örneğin, yer seviyesindeki ozon ( $O_3$ ), bu türden bir ikincil kirletici olarak, azot oksitler ( $NO_x$ ) ile uçucu organiklerin (VOC'lar) güneş ışığı altındaki tepkimeleri sonucu oluşur. Bazı durumlarda  $O_3$  derişimlerinin azaltılması, hem  $NO_x$  hem de VOC salınımlarının kontrolü ile mümkün olurken, bazı durumlarda ise  $NO_x$  ya da VOC'ların herhangi birinin kontrolü daha iyi sonuç verebilmektedir.[1]



Hava kirliliği ile ilgili sorunlar başlıca 3 kısımda incelenebilir.:

1. Küresel (global) boyuttaki sorunlar,
2. Bölgesel ölçekteki sorunlar,
3. Lokal ölçekteki sorunlar.

#### 1) Küresel (Global) Ölçekteki Sorunlar

19. yüzyılın sonlarında kömür, petrol gibi fosil yakıtların enerji üretimi için kullanımının önemli ölçüde artması sonucunda, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> ve partikül gibi kirleticilerin atmosferdeki konsantrasyonları da giderek artış göstermiş, bu artış bilhassa 20. Yy. ikinci yarısından sonra, küresel ölçekte CO<sub>2</sub> ve diğer sera gazlarının (metan, kloroflorokarbonlar, vb.) meydana getirdiği sera etkisi ve kloroflorokarbonların ve diğer halokarbonların yol açtığı ozon tabakasının incelmeye başlaması, bölgesel ölçekte asit yağmurları, yerel ölçekte ise büyük yerleşim alanları ve sanayi bölgelerinde oluşan hava kirliliği olarak görülmüştür. Fosil yakıtları tüketilmesi sonucunda iki asırdan daha az bir zamanda yaklaşık 220 milyar ton karbon atmosfere verilmiştir. İnsan faaliyetleri sonucunda (antropojenik kaynaklar) meydana gelen hava kirliliğinin bir göstergesi olarak kabul edilebilecek karbon dioksit'in (CO<sub>2</sub>), 19. yüzyılın sonları ile 20. yüzyılın başlarında 280- 290 ppm arasında olan konsantrasyonu, eksponansiyel bir artış göstererek yaklaşık 370 ppm' e kadar ulaşmıştır. 21. yüzyılın sonunda yaklaşık 600 trilyon olan fosil yakıt rezervlerinin tümünün kullanılması durumunda, 160 trilyon karbonun ilave olarak atmosfere verileceği tahmin edilmektedir. Yapılan modelleme çalışmalarının (radyasyon- konveksiyon modelleri, global sıcaklık trendleri, polar buzullardaki değişim, vb.) sonuçları, önümüzdeki 50 yıl içinde CO<sub>2</sub> konsantrasyonunun 400 – 600 ppm arasında olacağını göstermektedir ki bu 19. yüzyıl seviyesinin yaklaşık 3 katıdır.

#### 2) Bölgesel ölçekteki sorunlar

Bölgesel ölçekteki hava kirliliği, birkaç ülkeyi veya bölgeyi etkilemektedir. Asit yağmuru veya asit birikimi son 20 yıl içinde bölgesel ölçekte önemli çevre problemlerinden biridir. Bilhassa İskandinav ülkelerinde, Kanada'da ve ABD'nin kuzeydoğu eyaletlerinde akuatik yaşamda (göllerde), bitkilerde ve toprakta olumsuz değişimlere yol açmıştır. Normalde, yağmur suyunun pH' ı 5,5 -5.6 arasındadır. Bu seviyenin altında pH' ı olan yağmurlar asit yağmuru olarak tanımlanır. Asit yağmuru, antropojenik kaynaklardan gelen SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>' lerin asitlere dönüşerek bulutlardaki su damlacıklarında ve yağmur damlalarında absorbe edilmeleri sonucunda yaş birikim veya sülfat ve nitrat aerosollerine dönüşerek kuru birikim şeklinde oluşur. Asit yağmurları, bilhassa gelişmiş ülkelerin desülfürizasyon (yakıt

ve /veya baca gazından kükürt giderimi) ve de NOx (yanma odasında ve /veya baca gazında NOx giderimi) proseslerinde yapmış oldukları teknolojik gelişmeyle büyük ölçüde kontrol altına alınmıştır.

### 3) Lokal ölçekteki sorunlar

Yerel ölçekteki hava kirliliği, çok daha dar bir alanda etkili olmakta, fakat bilhassa insan sağlığı açısından toplu ölümlere yol açabilecek kadar önemli etkiler gösterebilmektedirler. Sanayi devriminden sonra 20. yüzyılda meydana gelen önemli hava kirliliği episodlarından bazıları:

- Aralık 1930, Meuse Valley (Belçika)- Üç gün süren yoğun sis ve kirlenme (smog) neticesinde yüzlerce insan hastalandı, 60 kişi öldü.
- Ocak 1931, Manchester ve Salford (İngiltere)- 9 gün süren yoğun sis neticesinde 592 kişi öldü.
- Ekim 1948, Donora, Pennsylvania (ABD)- 4 gün süren sis sonunda 14 000 kişilik nüfusun yarısı hastalandı, 20 kişi öldü.
- Aralık 1952, Londra- 4 gün süren yoğun sis neticesinde 4000 kişi öldü.

Ülkemizde de yerel ölçekteki hava kirliliği, bilhassa Ankara ve İstanbul gibi Büyükşehirlerde, 1980 ve 1990'lı yıllarda ciddi sorunlara yol açmış, ancak hastanelerde herhangi bir kayıt tutulmadığı için bu konuda literatüre geçen bir çalışma bulunmamaktadır. Diğer ülkelerde ve ülkemizde Ankara ve İstanbul gibi şehirlerde, “yakıt iyileştirilmesi” konusunda alınan tedbirler sayesinde, yerel ölçekte hava kirliliği konusunda önemli mesafeler alınmıştır. Ancak, ülkemizde birçok kentte, bilhassa kış aylarında önemli sorunlar halen yaşanmaktadır.[2]

## 2.1. Hava Kirletici Kaynaklar

Hava kirleticilerin havaya atıldığı yere veya faaliyete kirletici kaynak adı verilmektedir. Kirlilik kaynağı; orman yangını, volkan püskürmesi vb. doğal kaynaklar ve evsel ısınma araçları, sanayi kuruluşları, taşıtlar gibi yapay kaynaklar şeklindedir. Hava kirleticiler atmosfere ulaşır, önceleri bir duman huzmesi ya da bulutu halinde taşınırken, bir taraftan da seyrelerek, çökelerek veya atmosferde reaksiyona uğrayarak uzaklaşarak kaybolur.

Hava kirliliği yapay kaynakları 3'e ayrılmaktadır.

### **2.1.1. Isınmadan Kaynaklanan Hava Kirliliği**

Kentlerimizdeki ısınmadan kaynaklanan hava kirliliği özellikle kış döneminin başlaması ile birlikte artış göstermektedir. Kış aylarında ısınmadan kaynaklanan hava kirliliğinin temel sebepleri; ısınmada kalitesiz yakıtların (kükürt, kül ve nem oranı yüksek kalori değeri düşük kömürler) iyileştirilme işlemine tabi tutulmadan kullanılması, yanlış yakma tekniklerinin uygulanması ve kullanılan kazanların bakımlarının düzenli olarak yapılmaması olarak sıralanabilir. Bunların yanı sıra hızlı nüfus artışı ve kentlerde nüfus yoğunlaşması, topoğrafik ve meteorolojik şartlara göre şehirlerin yanlış yerleşmesi ve dolayısıyla çarpık kentleşme şehirlerimizde görülen hava kirliliğini artırmaktadır. Kış aylarında ısınma amacıyla soba ve kaloriferlerde genellikle odun, kömür, fuel-oil ve doğal gaz yakılmaktadır. Soba veya kalorifer kazan bacalarından çıkan gazlara genel kirlleticiler denilmektedir. Bunlar; karbon monoksit (CO), kükürt dioksit (SO<sub>2</sub>), azot dioksitler (NO<sub>x</sub>) ve partikül maddeler (is, kurum ve toz) dir.

### **2.1.2. Sanayiden Kaynaklanan Hava Kirliliği**

Fabrikaların bacalarından çıkan kimyasal gazlar, tozlar ve dumanlar havayı kirletmektedir. Fabrikalarda enerji ihtiyacı için yakılan yakıtlar ve fabrikada yapılan işlemde oluşan kirleticiler baca ile havaya atılarak kirliliğe neden olmaktadır. Günlük ihtiyaçlarımızın karşılanması, yurdumuzun kalkınması, yeni iş sahalarının açılarak işsizliğin önlenmesi için bu fabrikaların mutlaka çalışması ve üretimlerini sürdürmesi gerekir. Burada önemli olan hem kalkınmayı sürdürmek ve hem de çevreyi korumaktır.

İşyerleri, fabrikalar çevreyi kirletmemek için gerekli önlemleri almalıdır. Örneğin, temiz enerji kaynakları kullanılmalı, filtre sistemleri kurulmalı, geri dönüşümü mümkün olan hammaddeler kullanılmalı, personel çevre konusunda eğitilmeli, yeşillendirme çalışmaları yapılmalı, teknolojik yenilikler takip edilmeli ve uygulanmalıdır. Sanayileşmenin yer seçimi önemlidir. En önemlisi yetkili kurumlardan gerekli izinler, mutlaka alınmalıdır.

### **2.1.3. Trafikten Kaynaklanan Hava Kirliliği**

Ulaşım araçları günlük yaşantımızın bir parçasıdır. Her gün değişik şekilde yararlandığımız bu motorlu karayolu taşıtları havaya verdikleri kirleticiler gaz ve taneciklerle çevremizi ve soluduğumuz havayı kirletmektedir. Ülkemizde tüketilen enerji kaynaklarının %41'i konutların ısıtılması amacıyla kullanılmaktadır. Özellikle kış aylarında görülen kirliliğin %90'ından sorumludur. Şehirlerde hava kirliliğinin %40'unu trafik oluşturmaktadır. Yazın bu



oran daha da artmaktadır. Şehir merkezlerinde endüstrinin etkisi yaklaşık olarak %20 civarındadır.

## **2.2. Çeşitli Hava Kirleticiler**

Doğal hava bileşimini bozan bütün maddelerin kirletici olarak tanımlanmasına karşılık, yanma reaksiyonunun doğal ürünleri olan karbon dioksit ve su buharını klasik hava kirleticiler arasında saymak yanlış olur. Sıklıkla karşılaştığımız hava kirleticileri genel bir sıralamayla;

- Kükürt oksitler
- Azot oksitler
- Karbon monoksit
- Organik maddeler
- Hidrokarbonlar
- Askıda partikül maddeler (tozlar ve aeroseller)
- Ağır metaller

### **2.2.1. Partikül Maddeler**

Atmosferde gazların dışında bileşenler de bulunur. Sıvı veya katı taneciklerin gaz ortamında askıda durmasıyla oluşan toz veya partikül madde diye adlandırılan kirletici türü, ister doğal isterse yapay kaynaklı olsun; çeşitli iklimsel ve hijyenik etkileriyle önem kazanmaktadır. Bu asılı maddelerin çok ince olup havada koloidal süspansiyon oluşturmalarına aerosol denmektedir. Doğal sis olayında asıl etken bu aerosellerdir. Bunun gibi kirlenmeye bağlı yapay sis olaylarında aeroseller etkili olmaktadır. Tozlar, katı maddelerdir ve doğrudan endüstri veya ısınma tesislerinin atık gazlarıyla havaya atılan kül, kömür, çimento tozları, kum, talaş, toprak gibi maddeler bu sınıfa girer.

Havanın tozlu olması, yani doğal veya yapay partikül maddelerle dolu olması;

- Görüş mesafesini kısaltmakta,
- Güneş ışınlarının enerji taşıdığı dalga boylarında etkili olarak gelen enerji akışını değiştirmekte,
- İnsani hayvan ve bitki sağlığını olumsuz yönde etkilemektedir.

Bunların dışında partiküller, yüzeyleri üzerinde adsorbladıkları diğer kirleticileri, hava normal derişimlerinin daha yükselmesine neden olarak, bu kirleticilerin zararlı etkilerinin daha yoğun hissedilmesi gibi önemli bir etkisi vardır.



### **2.2.2. Kükürt Oksitler**

Havadaki kükürt oksitler (SO<sub>x</sub>) içerisinde en önemli pay kükürt dioksit (SO<sub>2</sub>) gazına aittir. Kükürt oksit kirleticilerinin oluşmasının en büyük nedeni, ülkemizde de yaygın olarak tüketilen, ısınma amaçlı kullanılan kömürlerdir. Bir diğeri ise sanayilerde kullanılan kömürlerdir. Kükürt dioksit renksiz bir gaz olup, havadaki 0,3-1 ppm seviyelerde ağızda kötü bir tat bırakmakta, 3 ppm' in üstünde ise boğucu bir hisse neden olmaktadır.

### **2.2.3. Azot Oksitler**

Azot oksitler (NO<sub>x</sub>) havadaki en önemli kirletici gazlardandır. Yanma sürecinde yüksek sıcaklık bölgesinde oluşan NO ile bunun daha ileri oksitlenme ürünü olan NO<sub>2</sub>) gazlarının toplamından oluşur. Azot oksitleri daha çok enerji santrallerinden ve motorlu araçların egzoz borularından yayılır. Bir azot oksit olan nitrojen dioksit (NO<sub>2</sub> ) solunması kalp, akciğer ve karaciğer rahatsızlıklarına ve solunum yolu hastalıklarına yol açar.

### **2.2.4. Karbon Monoksit**

Karbon monoksit (CO), renksiz, kokusuz ve havanın ortalama mol ağırlığına yakın mol ağırlığında bir gaz olup, hem kaynaklandığı nokta etrafında iyi dağılmayan, hem de renksiz ve kokusuz olması sebebiyle varlığı fark edilmeyen bir kirleticidir. Fosil yakıtların kullanılması, egzoz gazları, orman yangınları ve kapalı mekânlardaki sigara dumanı gibi nedenlerle atmosfere büyük oranda karbon monoksit (CO) gazı yayılır. Karbon oksitleri baş dönmesi ve reflekslerde yavaşlamaya sebep olur. Havada yüksek oranda bulunmaları ölümlere neden olabilir.

### **2.2.5. Hidrokarbonlar**

Motorlu taşıtlarda kullanılan petrolün, tüm olarak yanmaması etilen (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> ) ve benzen (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>) gibi hidrokarbonların çevreye salınmasına neden olur. Bu hidrokarbonlar, havadaki başka kimyasal maddelerle tepkimeye girdiğinde, gözlere ve solunum yollarına zararlı etkileri olur. Benzen gibi bazı hidrokarbonların kanser yapıcı etkileri de vardır. Bu kirleticilerle, atmosferik özelliklerin oluşturduğu kimyasal reaksiyonların en önemlileri ise fotokimyasal olaylardır ki, bunlardan özellikle floroklorokarbonlar, güneşten gelen zararlı UV (ultraviyole) ışınlarına karşı yeryüzünü koruyan ozon tabakasında büyük tahribata yol açmaktadır. Doğal veya insan yapısı sonucu atmosfere karışan kirleticiler, her iki halde de Atmosfere yayıldıkları anda hızla kimyasal reaksiyonlar oluştururlar ve hava akımları ile

karışır, dağılır, yayılır ve taşınırlar. Böylece kirleticiler, kaynaktan çıkıp, alıcılara ulaştığında karakterleri değişebilir. Genel olarak kirlilik, havadaki katı parçacıklar ve kükürt dioksit miktarına göre belirlenir. Oysa atmosferde oluşan kimyasal olaylarda, organik maddeler büyük rol alır. Çünkü organik maddeler, atmosferde ister reaksiyona girsinler, ister girmesinler kimyasal reaksiyonların çekirdeğini oluştururlar. Hava kirliliği denildiğinde, kirleticiler ve bunların bulunduğu atmosfer ortamı aynı derecede rol oynar. Herhangi bir yerde hava kirliliği çalışması yapıldığında, ilk olarak o bölgenin meteorolojik koşulları ve havanın kimyasal yapısı incelenmelidir.

### **2.2.6. Ağır Metaller**

Havada bulunan partiküllerin % 0.01-3'ünü sağlık yönünden çok toksik etkiler gösteren eser elementler meydana getirir. Bunların sağlık yönünden önemi insan dokularında birikime uğramalarından ve muhtemel sinerjik etkilerinden kaynaklanmaktadır. Havadan solunum yolu ile alınan partiküllere ek olarak, yenilen yiyecekler, içilen su aracılığı ile de önemli miktarda metalik partiküler maddeler vücuda alınmaktadır.

Atmosfer kirliliğinin bir bölümünü oluşturan metaller; fosil yakıtların yanması, endüstriyel işlemler, metal içerikli ürünlerin insineratörlerde yakılması sonucunda ortama yayılırlar.

İnsan sağlığını geniş çapta olumsuz yönde etkileyen metaller arasında atmosferde yaygın olarak bulunan; Kurşun, Kadmiyum, Nikel, Cıva metalleri ve asbest önem taşımaktadır. Diğer metallerin bir kısmı insan yaşamında temel yönden önem taşır, diğer bir kısmının konsantrasyonu ise insan sağlığını tehdit edecek boyutta olmadığından önem göstermez. Belirli limitlerin dışında bulunabilecek her türlü metal, insan sağlığı üzerinde toksik etki gösterir.

Kurşun: Mavimsi veya gümüş grisi renginde yumuşak bir metaldir. Kurşunun tetraetil veya tetrametil gibi organik bileşenlerinin yakıt katkı maddesi olarak kullanılmaları nedeniyle kirletici parametre olarak önem gösterirler. Tetraetil kurşun ve tetrametil kurşunun her ikisi de renksiz sıvı olup, kaynama noktaları sırası ile 110°C ve 200°C dir. Uçuculuklarının diğer petrol bileşenlerinden daha fazla olması nedeni ile ilave edildiği yakıtın da uçuculuğunu artırır.

Kandaki kurşun konsantrasyonunun 0,2 µg/ml limitini aşması durumunda olumsuz sağlık etkileri gözlenir. Kan kurşun konsantrasyonu; 0,2 µg/ml limitini aşması ile kan sentezinin inhibisyonu, 0,3-0,8 µg/ml limitlerinde duyu ve motor sinir iletim hızında azalma, 1,2 µg/ml limitinin aşılmasından sonra ise

yetişkinlerde geri dönüşü mümkün olmayan beyin hasarları meydana geldiği belirlenmiştir.

Havadaki kurşun konsantrasyonu ile kandaki kurşun konsantrasyonu arasında doğrusal bir ilişki vardır. Kurşunun havadaki  $1 \mu\text{g} / \text{m}^3$  konsantrasyonunun kanda  $0.01-0.02 \mu\text{g}/\text{ml}$  lik konsantrasyonu oluşturduğu tespit edilmiştir.

Kadmiyum: Kadmiyum (Cd) gümüş beyazı renginde bir metaldir. Havada hızla kadmiyum okside dönüşür. Kadmiyum sülfat, kadmiyum nitrat, kadmiyum klorür gibi inorganik tuzları suda çözünür. Havadaki kadmiyum füme konsantrasyonu  $1 \text{mg}/\text{m}^3$  limitini aşması durumunda, solunumdaki akut etkileri gözlemek mümkündür. Kadmiyumun vücuttan atılımının az olması ve birikim yapması nedeni ile sağlık üzerine olumsuz etkileri zaman doğrultusunda gözlenir.

Uzun süreli maruziyetten en fazla etkilenecek organ böbreklerdir. Böbrekte oluşan hasarın tekrar geriye dönüşü mümkün değildir. Akciğer ve prostat kanserlerinin oluşumunda kadmiyumun etkisi kesin olarak belirlenmiştir.

Nikel: Nikel gümüşümsü beyaz renkli sert bir metaldir. Nikel bileşikleri pratik olarak suda çözünmez. Suda çözünebilir tuzları; klorür, sülfat ve nitrattır. Nikel biyolojik sistemlerde adenosin, trifosfat, aminoasit, peptit, protein ve deoksiribonükleik asitle kompleks oluştururlar.

Havadaki nikel bileşiklerinin solunması sonucunda, solunum savunma sistemi ile ilgili olarak; solunum borusu irritasyonu, tahribatı, immunolojik değişim, alveoller makrofaj hücre sayısında artış, silia aktivitesi ve immünite baskısında azalma gibi anormal fonksiyonlar meydana gelir.

Deri absorpsiyonu sonucunda alerjik deri hastalıkları ortaya çıkar. Havada bulunan nikel uzun süreli maruziyetin insan sağlığına etkileri hakkında güvenilir kanıtlar tespit edilememişse de; nikel işinde çalışanlarda astım gibi olumsuz sağlık etkilerinin yanı sıra, burun ve gırtlak kanserlerine neden olduğu kanıtlanmıştır.[3]



### 3. HAVA KALİTESİ

Hava kalitesinin ölçümünün neden gerekli olduğunu açıklamadan önce, hava kalitesinin önemini vurgulamak gerekmektedir. Öncelikle, hava kalitesinden bahsetmek, soluduğumuz havadan bahsetmek olduğunun farkına varmalıyız. Yaşadığımız ortamda ki hava kalitesi ne kadar yüksekse, hayat kalitemiz de o kadar yüksek olmaktadır. Kaynaktan (ısınma, ulaştırma ve endüstri) kaynaklı hava kirlleticilerinin yoğunluğuna göre hava kalitesi değişmektedir. Hava kirliliğinin, canlı sağlığı üstünde çok büyük sağlık problemlerine neden olduğunu bilmekteyiz. Hava kirliliği insan sağlığını etkileyerek, yaşam kalitesini düşürmektedir. Bu bağlamda, bir bölgede hava kalitesini ölçmek, o bölgede yaşayan insanların nasıl bir hava teneffüs ettiğinin saptanması açısından çok büyük önem taşımaktadır. Tabii ki unutulmaması gereken bir nokta vardır, bir bölgede meydana gelen hava kirliliği sadece o bölgede görülmeyip meteorolojik olaylara bağlı olarak yayılım göstermektedir. Bir örnek vererek hava kalitesinin ölçümünün önemini vurgulayalım. Sular, içme suyu standartlarına uygun hale getirilmek için birçok işleme tabi tutulmakta ve daha sonra standartlara uygunluğunun belirlenmesi amacıyla birçok ölçüm yapılmaktadır. Bu standartları sağlaması koşulunda insanların içmesine izin verilmektedir. Fakat hava için aynı işlemlerin uygulandığını söyleyemiyoruz. Ayrıca kirli bir suyun içilmesini engellemek için birçok tedbir alınabilirken, nefes almayı önleme gibi bir seçeneğimiz yoktur. Bu nokta da hava kirliliği ölçüm ağlarının önemi çok büyüktür. Hava kalitesi düzenli olarak ölçüldüğü takdirde, o bölgedeki kirliliğin ne düzeyde olduğu belirlenebilmekte, temiz hava planları çıkarılmakta, hava kirliliği haritaları oluşturulmakta ve dağılım modelleri yapılmaktadır. Bu bağlamda oluşturulan hava kalitesi ölçümleri doğrultusunda, elde edilen sonuçlardan yola çıkarak, hava kalitesinin iyileştirilmesi yönünde çözüm önerileri ve standartlar daha sağlıklı, gerçekçi ve kolay şekilde oluşturulabilmektedir.

Şehir içi bölgelerde hava kalitesi seviyesinin belirlenmesi için uzun süreli ve kapsamlı çalışmaların yapılması gereklidir. Bacadan ve egzozdan atılan kirliticilerin atmosferde dağılımını, topoğrafik ve meteorolojik faktörler etkiler. Kirlitici türleri ise bölgedeki kaynak tiplerine göre değişmektedir. Bu nedenden dolayı ölçüm değerleri, bölgenin hava kalitesi seviyesini temsil edici yer ve ölçüm ağı içinde diğer istasyonlardan elde edilen verilerle karşılaştırılabilir ve mukayese edilebilir olması gerekir. Ölçüm yerlerinden elde edilen değerlerin bölgelerarası farkı da yansıtması istenir. Dolayısıyla yoğun, az yoğun ve yoğun olmayan kirlenmeye maruz kalan bölgeler, önceden tek tek etüt edilmelidir. Ölçümlerle, nokta (sanayi), alan (konutlar) ve mobil (taşıtlar) kaynaklarının her birinin veya tümünün bölgenin, hava kalitesi seviyesi üzerine etkisi tespit edilmelidir. Bu tür



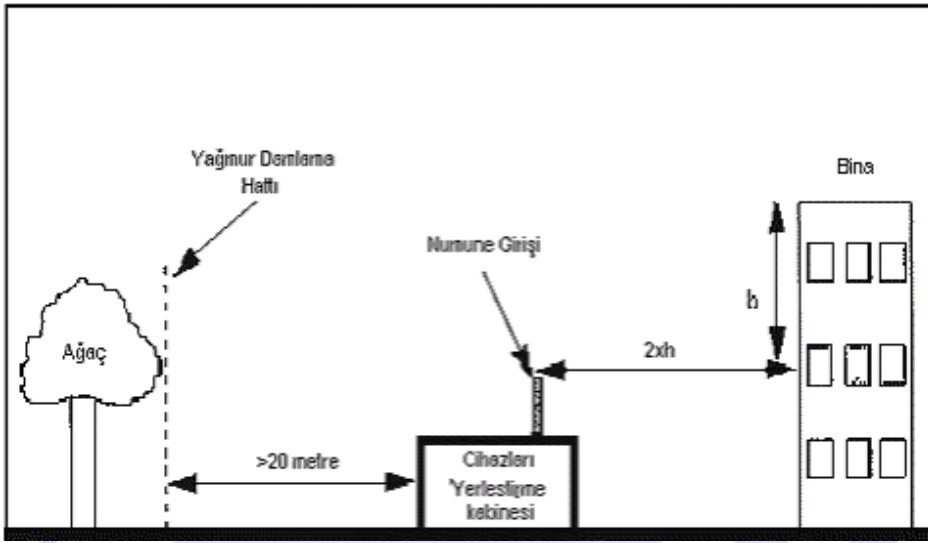
çalışmalarda, bölgede mevcut kirlenme kaynakları yanında, şehir dışından taşınan background kirlenici konsantrasyonları da tespit edilebilmelidir ki; böylece şehir içi bölgede kirlenici kaynakların hava kalitesi üzerine etkisi belirlenebilsin. Bir bölgenin hava kalitesi tespit edilirken; özellikle halkın, bitkilerin, ağaçların, hayvanların, taşıtların, yapıların ve malzemelerin hava kirlenmesine maruz kaldığı yerler seçilmelidir. Ölçüm istasyonları 1 saat, 8 saat, 24 saat ve yıllık periyotlar için yeterli sayıda veri (en az %50 oranında) üretebilmelidir.

Hava kalitesi ölçüm çalışmalarda, topoğrafik ve meteorolojik faktörlerin bölgenin hava kalitesi seviyesi üzerine etkileri de belirlenmelidir. Hava kalitesi ölçüm istasyonu yeri, harita üzerine işlenmelidir.

Özetle, ölçüm noktalarından elde edilen veriler, o bölgenin hava kalitesi seviyesini ve standardını sağlıklı olarak temsil edebilmelidir. Hava kalitesi ölçüm ağı hava kalitesini izleme ve halkın bilgilendirilmesine katkıda bulunmalıdır. Kirlenici seviyesi sınır değerlerini aştığında gerekli acil eylem planı devreye sokulmalıdır. Hava kalitesi için önemli diğer bir husus ise ölçüm yerlerinin tespitidir. Eğer o bölgeyi tam anlamıyla temsil edecek bir yer belirlenmese, gerçek bir hava kalitesi çalışması yapmış olmayız. Kirlenici konsantrasyonlarının bölgeyi temsil edici olabilmesi için hava kirliliği ölçüm cihazları girişleri; ev, apartman, sanayi ve taşıtların bacalardan çıkan emisyonların ve türbülans, vorteks, bastırma (down wash) gibi etkenlerden direk etkilenmemesi için mümkün olduğu kadar yapılardan ve ağaçlardan etkilenmeyen yerlerde, mümkünse park-bahçelerde, eğitim alanlarında veya hastane bahçelerinde, trafik yoğunluğunun çok az veya hiç olmadığı yerlerde, spor alanları, şehir meydanları ve regresyon alanlarında olması gerekir. Hava kalitesi ölçüm cihazlarının numune alma girişleri, yüksek yapılarla çevrili (bina, ağaç, duvar ve işyeri v.b. gibi) hava hareketini kesen, durgun hava oluşumunu sağlayan yerlerden uzak olmalıdır. Genel kural olarak numune alma girişleri, bina çatısının yatayla 30o derece veya daha az açı yaptığı veya en yakın yapı (bina, işyeri gibi) yüksekliğinden iki kat daha uzak mesafede olmalıdır. Yani numune alma girişi; 20 metre yüksekliğindeki binadan asgari 37 metre uzakta olmalıdır. Çevre havası ile karışmamış emisyonların ölçümünden kaçınılmalıdır. Ölçüm istasyonu, yerel emisyon kaynaklarına özellikle yakın olmamalıdır. Bu ölçümler sonucunda background konsantrasyonlarını elde etmiş olmaktayız. Sadece yoldan ileri gelen kirlilikten etkilenmemesi için, ölçüm cihazı girişi, yoldan belirli uzaklıkta olmalıdır. Ancak yollardan ileri gelen kirlilik seviyesi inceleme esası ayrıdır. Yerden yükselecek toz etkisini minimize etmek ve solunum seviyesini temsil etmek üzere partikül ölçüm cihazları girişleri yerden asgari 2 metre, en fazla 15 metre yükseklikte olmalıdır. Ağaçlık bölgelerde bu yükseklik 8 metre olabilir. Hava debisinde azalma meydana getirmeden en az 270° arc oluşturacak şekilde olmalıdır. Trafikten kaynaklanan hava kirliliğini ölçmek için ölçüm noktaları ana

kavşaktan en az 20 metre ve trafik hattından en az 4 metre uzakta olmalıdır. Azot oksit ve karbon monoksit ölçüm aletleri girişi, kaldırım kenarından 5 metreden fazla uzakta olmamalıdır. Trafikten ileri gelen karbon monoksit kirliliğinin ölçümü için numune alma yeri Şekil 2’de verilmiştir. Ekosistemin ve bitkiler üzerine hava kirliliğinin etkisini izlemek üzere; hava kalitesi binalardan, sanayiden ve motorlu taşıt yollarından en az 5 km uzakta ölçülmelidir.

Sonuç olarak, ölçüm cihazları sonuçlarından, özellikle belirli bir kirletici kaynak etkisinden çok o bölgede mevcut tüm kirletici kaynakların, bölgenin genel hava kalitesi seviyesi üzerine etkisi elde edilebilmelidir.



Şekil 3. Hava Kalitesinin Ölçümünde Göz Önüne Alınacak Esaslar



Şekil 4. Şehir İçinde Karbon Monoksit Konsantrasyonunu Ölçmek İçin Numune Alma Yeri Tespiti

Tablo1. Ozon Ölçüm Cihazlarıyla Otoyollar Arasındaki Minimum Uzaklık (En Yakın Trafik Şeridinin Kenarı)

Otoyol Günlük Ortalama Trafik Araç/Gün	Ölçüm Cihazları ile Otoyollar Arasındaki Minimum Uzaklık (metre)
≤ 10.000	≥ 10 <sup>(a)</sup>
15.000	20
20.000	30
40.000	50
70.000	100
≥ 110.000	≥ 250

<sup>(a)</sup> Mesafe trafik ışıklarına göre interpolasyon yöntemi ile tespit edilecektir.

Tablo 2. Numune Alma Probu Yerleştirme Esasları Özeti

Kirleticiler	Yerden Yükseklik, (metre) <sup>(a)</sup>	Destekleyici Yapıdan Uzaklık (metre)		Diğer Mesafe Kriteri <sup>(c)</sup>
		Dikey	Yatay <sup>(b)</sup>	
Partikül Madde (ana otoyol kenarlarının ve/veya zemin yüksekliğindeki kaynaklar)	2-7	-	>2	1,2,3,4,5
Partiküller	2-15	-	>2	1.2.3.4
SO <sub>2</sub>	2-15	>1	>1	1.2.3.4
CO (sokak / kanyon)	4± 1/2	>1	>1	6.7.8
CO (sokak dışı Kanyon/Koridor)	3-15	>1	>1	3
O <sub>3</sub>	3-15	>1	>1	1.2.3.9
NO <sub>2</sub>	3-15	>1	>1	1.2.3
Partikül kriterersiz kirleticiler	2-7 yer, 2-15 yüksek seviyedeki kaynaklar	-	>2	1.2.3.4
Gaz kriterersiz kirleticiler	3-15	>1	>1	1.2.3.4

<sup>(a)</sup> Yer seviyesindeki kaynaklar için, monitörlerin / giriş problemleri nefes alma bölgesine mümkün olduğu kadar yakın yerleştirilmelidir.

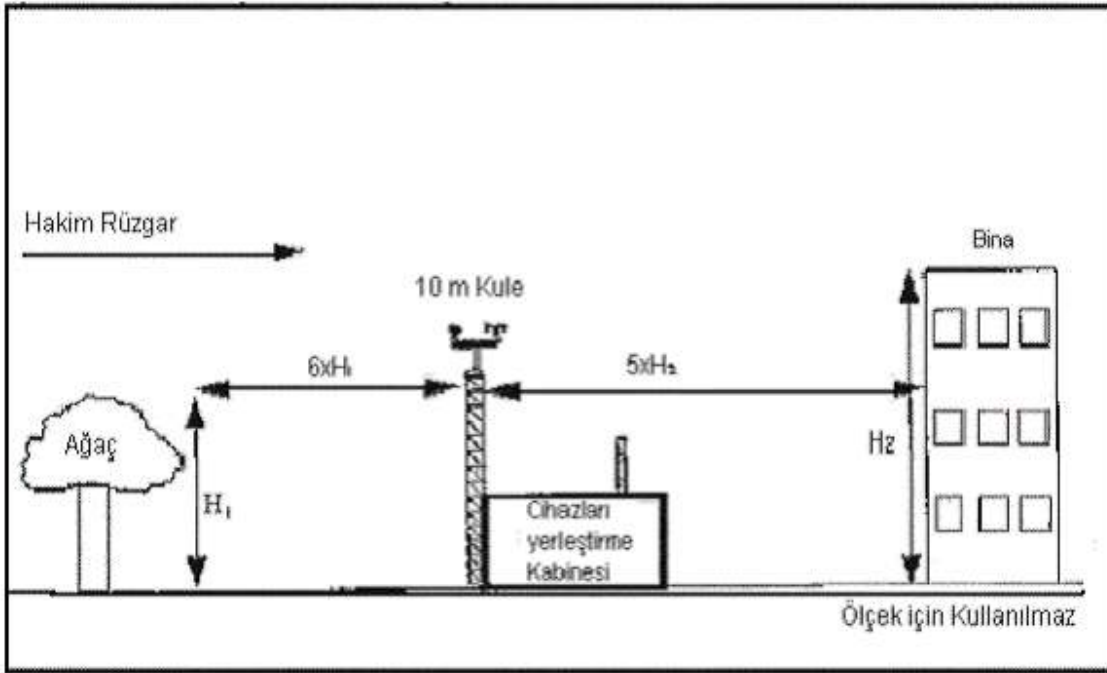
<sup>(b)</sup> Prob çatı üstüne yerleştirildiğinde, bu ayırma mesafesi çatı üstündeki duvarlar, garapeller veya çatı katı ile referans durumundadır.

<sup>(c)</sup>

1. Yağış düşme hattından 20 metreden fazla ve ağaçlar engel teşkil ediyorsa yağış düşme hattından 10 metre mesafede olmalıdır.
2. Numune alma noktasının engellere, örneğin binalara uzaklığı, engelin numune alma noktasına yaptığı çıkıntının en az iki misli olmalıdır.
3. Kısıntıya sebep olmayacak hava akışı olmalı ve numune alma noktası çevresinde 270° arc olmalıdır.
4. Baca veya yanma gazı olan yerler olmamalıdır.
5. Yollara 5-10 metre mesafede olmalıdır.
6. Kesişme noktalarından en az 10 metrede ve orta blok noktasında olmalıdır.
7. En yakın trafik şeridine 4-10 metre uzakta olmalıdır.
8. Giriş probu çevresinde 180° de kesintisiz hava akışı olmalıdır.
9. Yollara göre uzaklığı trafik yoğunluğu ile değişmektedir.

### 3.1.METEOROLOJİK ÖLÇÜMLER

Hava kalitesi ölçümünde en önemli hususlardan biri de meteorolojik ölçümlerin yapılmasıdır. Çünkü unutulmamalıdır ki hava kirleticilerin yayılımı ve taşınımı tamamen meteorolojik olaylarla gerçekleşmektedir. Meteorolojik ölçüm cihazlarının doğru yerleştirilmesi, kirletici maddelerin dağılımı ile ilgili ilişki kurmayı mümkün kılar. Genel olarak, meteorolojik ölçüm cihazlar, engelleyici yapılardan etkilenmeyecek şekilde yerleştirilmelidir



Şekil 5. Meteorolojik Gözlem İstasyonlarının Tespitinde Göz Önüne Alınacak Esaslar

10 metrelik bir kule üzerine rüzgâr ölçüm cihazları yerleştirildiğinde, ölçüm yeri herhangi bir büyük engelin (bina ya da yüksek ağaçlar) yüksekliğinin en az 5 katı mesafede olmalıdır. İdeal olan engelin 10 katı bir mesafe olması arzu edilir. Rüzgâr ölçüm cihazları kulenin tepesine yerleştirilmelidir.

Sıcaklık ölçüm cihazları yerden iki metre yükseklikte monte edilir. Sıcaklık sensorunun güneşle ısınmasını azaltmak için aspiratör bulunan bir muhafaza içine yerleştirilmelidir. Barometrik basınç göstergesi kule üzerine veya negatif ya da pozitif basınç altında değilse barınak içine yerleştirilir. Hava kalitesi ölçüm değerlerinin incelenmesinde hâkim rüzgâr yönü, rüzgar hızı, basınç değerleri, sıcaklık ve havanın açık veya bulutlu durumu raporlanmalıdır.



## **3.2. HAVA KALİTESİ ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ**

Hava kalitesi izleme metodolojisi;

1. Pasif örnekleyiciler
2. Aktif örnekleyiciler
3. Otomatik analizörler
4. Uzaktan algılayıcılar, olmak üzere 4 başlık altında incelenmektedir.

### **3.2.1.Pasif Örnekleyiciler**

Çeşitli gazlar için kullanılan pasif örnekleyiciler; gaz ve buhar halindeki kirletici numunelerini, atmosferdeki statik bir tabaka içinden difüzyon veya bir membran içinden permeasyon gibi fiziksel bir işlemle, atmosferden hız kontrollü olarak alabilen cihaz olarak tanımlanır. Ancak burada, havanın örnekleyici içinden aktif bir hareketle geçmesi gerekmez. Bu ölçüm sonuçları, meteorolojik koşullara kuvvetle bağlıdır. Modern anlamda difüzyon tipi pasif örnekleyiciler, Palmes ve Gunnison tarafından; permeasyon / difüzyon tipi örnekleyiciler ise Reiszner ve West tarafından geliştirilmiştir. Difüzyon tipi örnekleyicilerin temel prensibi; gaz moleküllerinin, yüksek konsantrasyon bölgesinden (örnekleyicinin açık ucu), düşük konsantrasyon bölgesine (örnekleyicinin sonundaki absorblayıcı) difuze olmasıdır.

### **3.2.2.Aktif Örnekleyiciler**

Bu örnekleyiciler, hava numunesinin bir pompa aracılığı ile kimyasal veya fiziksel bir ortamdan geçirilebilmesi için elektrik enerjisine ihtiyaç duyarlar. Örneklenen hava hacminin yüksek olması hassasiyeti artırır. Şöyle ki günlük ortalama ölçümler elde edilebilir. Geniş çapta kullanılan aktif örnekleyiciler, SO<sub>2</sub> için asidi metrik yöntem, asılı partikül madde için OECD filtre yöntemi, toplam veya solunabilir partiküller için US EPA gravimetrik yüksek hacimli (High-Volume) örnekleme yöntemidir.

### **3.2.3.Otomatik Analizörler**

Bu cihazlar, ölçülen gazın fiziksel ve kimyasal özelliklerinden yararlanarak sürekli tayinlerine olanak sağlarlar. Örneklenen hava, ya gazın optik özelliğine göre doğrudan reaksiyon hücrelerine girer ya da kimyasal ısıma veya flüoresans ışığı üreterek kimyasal reaksiyon oluşur. Işık detektörü, ölçülecek kirleticinin konsantrasyonu ile orantılı olarak elektriksel bir sinyal oluşturur.

### 3.2.4.Uzaktan Algılayıcılar

Uzaktan algılayıcılar belirli bir hat boyunca (normal olarak >100m) çok bileşenli ölçümlerin yapılmasına olanak sağlar. Mobil sistemler kullanılarak, alan içindeki 3-D (DIAL teknikleri ile) kirletici konsantrasyon haritaları oluşturulabilir. Uzaktan algılayıcılar, kaynak yakınındaki araştırmalar ve atmosferdeki dikey ölçümler için faydalıdır (troposferik ve stratosferik ozon dağılımı). Ancak, mevcut ticari gelişim içinde, bu cihazlar hem çok pahalı (>200.000 \$) ve de çok karmaşıktır. Ayrıca verilerin geçerliliği, kalite güvenilirliği ve kalibrasyonu konusunda ciddi zorluklar yaşanabilir.

## 4. HAVA KALİTESİ MODELLERİ

Hava kalitesi modelleri matematiksel ve sayısal teknikleri kullanarak, fiziksel ve kimyasal prosesleri simüle eder. Bu kimyasal ve fiziksel süreçte önemli olan nokta, atmosferde bulunan hava kirleticilerinin nasıl bir tepkime verdiği ve yayılımının incelenmesidir. Meteorolojik veriler ve kaynak girişleri üzerinde emisyon oranları ve yükseklik yığını gibi bilgiler temelinde, bu modeller, doğrudan atmosfere verilen birincil kirleticilerin karakteristiğini belirlemek için dizayn edilmiştir ve bazı durumlarda, ikincil kirleticiler bu atmosfer içinde karmaşık kimyasal reaksiyonlar sonucu oluşur. Bu modeller hava kalitesi yönetimi sisteminde çok önemlidir çünkü birçok büyük kuruluş, hava kalitesi problemlerinde kaynakların belirlenmesi ile birlikte hava kirliliğinin kontrolünde yaygın olarak modelleri kullanmaktadırlar ve bu bağlamda zararlı hava kirleticilerin azaltılmasına yönelik etkili stratejiler geliştirilmektedir. Örneğin, hava kalitesi modelleri, yeni kaynakların ortam hava kalitesi standartları aşmaması için izin prosesleri esnasında kullanılabilir ya da gerekirse, ek kontrol şartları belirler. Ek olarak, hava kalitesi modelleri, yeni bir düzenleme programının uygulanmasından sonra, birden fazla kaynaktan gelecek kirletici konsantrasyonun tahmini için kullanılabilir, insan ve çevrenin zararlı etkilere maruziyetinin önlenmesi amacıyla programlar geliştirilebilir.

En sık kullanılan hava kalitesi modelleri şu şekildedir;

- Dispersiyon modellemesi; bu modeller tipik olarak izin alma sürecinde, emisyon kaynağı etrafında yer-seviyesi reseptörlerinde kirletici konsantrasyonlarının tahmini için kullanılmaktadır.
- Fotokimyasal modelleme; bu modeller genellikle düzenleyici veya politika değerlendirmelerinde, tüm kaynaklardan çıkan kirletici konsantrasyonları

tahmin edilerek etkileri ve büyük mekânsal ölçekler üzerinde kimyasal reaktif ve inert kirleticilerinin her ikisi de miktarının simule edilmesi için kullanılmaktadır.

- Reseptör modelleme; gözlem teknikleri olarak adlandırılır ki bu teknikler, kaynaktan ölçülen gaz ve partiküllerin kimyasal ve fiziksel karakteristiklerinin belirlenmesinde kullanılır ve reseptör varlığı tanımlamak ve reseptör konsantrasyonlarına kaynak katkıları ölçmek için kullanılır.

Modelleme çalışmaları yoluyla, yapılmış olan emisyon ölçümlerinden yararlanılarak, yer seviyesindeki konsantrasyonlar hesaplanmakta ve bulunan değerler ile ölçüm sonuçları karşılaştırılabilir olanağı sağlanmaktadır. Model her kaynak (source) ve alıcı (receptor) kombinasyonu için çökme veya konsantrasyon değerlerini, meteorolojik girdilerin verildiği her saat için hesaplayabilmektedir. Bununla birlikte, kullanıcı tarafından belirlenen zaman aralıklarındaki ortalama konsantrasyonu da hesaplayabilmektedir. Birçok model (OSPM, STREET-SRI, ISCT vb.), nokta kaynakların yakın civarındaki binaların hava kirleticileri üzerindeki aerodinamik etkilerini belirleyebilmek, kirleticilerin birim alandaki kuru ve yağ çökme hızlarını ve ayrıca toplam çökme hızını hesaplamak için değişik algoritmalar içermektedir.

Modellemeler için gerekli olan girdi verileri ise şu şekilde sıralanabilir;

1. Emisyonlar ( trafik, sanayi, ısınma verileri ve emisyon faktörü)
2. Meteoroloji
3. Background Kirliliği
4. Modelleme yapılan alan hakkında bilgi ( cadde yapısı, binalar, topografya vb.)

Kirletici konsantrasyon modelleri bilinen emisyon oranlarını ve meteorolojiyi temel almaktadır. Bu modeller, Hava Kalitesi Yönetiminde ( hava kirleticilerin kontrol stratejilerinde kullanılan) önemli rol oynamaktadır.

1. Sabit kutu modelleri, şehirler için en basit kirletici konsantrasyon modelidir, fakat bunlar ciddi engellere sahiptir. Kullanımı ve anlaması oldukça basittir, ama çok nicelikleri doğru olan sayısal tahminlerin, nitelikleri doğru değildir.
2. Gaussian Plume Modelleri, genişçe noktasal kaynaklar için kullanılmaktadır. Bunlar, ağır basitleştirilmiş varsayımlar üstünde kalmaktadır, fakat tek, yüksek nokta kaynaklar için deneysel sonuçları belirlemede makul ölçüde başarılı olmuştur.
3. Çift hücreli modeller, giriş verisi ve bilgisayar zaman talepleri büyük miktardadır, fakat bu modeller, birçok uzman tarafından, fotokimyasal kirleticileri için başarılı modellemesini sağlayan tek model olarak kabul edilmiştir.



4. Gaussian Plume modelleri, anlık meteoroloji verileri basit olduğu zaman, düz arazilerde çok iyi çalışmaktadır. Bu modeller, zaman zaman meteorolojik verilerin kompleks hal aldığıında, dağlık alanlarda,uzun mesafeler için iyi çalışmamaktadır.
5. Reseptör odaklı modeller, kaynak odaklı modellerde olduğu gibi akıllı modeller değildir. Bunlar deneysel kaynak paylaşılması yöntemleri değildir.

Binaların yüksekliği, yerel dağlar, ulaşım uzunluğu ve hava akım bozukluğunu etkileyen diğer kaynaklar, hava kalitesi modellemesini karmaşıklaştırmaktadır.

Hava kalitesi izleme çalışmalarında, şehrin her noktasında sık sık ölçümler yapmak mümkün değildir. Hem zaman hem de fazlasıyla emek harcanmış olacaktır. Bu nedenle tüm şehri temsil edebilecek, bir nokta seçilir. Bu bölgede ölçümler gerçekleştirilir ve daha sonra modeller yardımıyla hem şu anki durumu hem de gelecek senaryolar oluşturulması sağlanır.

Bu şekilde daha kolay bir şekilde tüm şehrin hava kalitesi modelleri oluşturulması sağlanacaktır. Unutulmamalıdır ki modelin güvenilir ve doğruluğu, bizim elde etmiş olduğumuz girdi verilerine bağlıdır. Veriler ne kadar doğruysa yapacak olduğumuz modellemede o kadar doğru sonuçlar oluşacaktır.[4]

#### 4.1 CALPUFF

Kirletici kaynaklarından madde dağılımını hesaplamak için CALPUFF modelleme sistemi kullanılmaktadır. CALPUFF; uzun mesafeli ulaşım simülasyonu için EPA tarafından tavsiye edilen hava kalitesi modelleme sistemidir. Ayrıca, CALPUFF modeli hava kalitesi standartları ile uyumu değerlendirmede SO<sub>2</sub> ve PM analizleri için kullanılmaktadır. CALPUFF modelleme sistemi 3 ana bileşikten oluşur. Bunlar,

- CALMET,
- CALPUFF
- İleri işleme ve grafiksel gösterim programlarıdır.

CALMET meteorolojik modeli hava kalitesi uygulamalarında kullanmak için kararsız hal CALPUFF modelleme sistemi ile kombine şekilde dizayn edilmiştir. Basit biçimde CALMET meteorolojik model, saatlik olarak üst atmosfer tabakasında meteorolojik gözlemler ve düzenli uygun yüzey gözlemlerinin girdilerine dayalı çeşitli mikro meteorolojik değişkenleri ve 3 boyutlu rüzgârların alanlarını oluşturmaktadır. CALPUFF Lagrangian puff modelidir ve kararsız hal esinti dağılım modeli, geçici ve uzun süreli çeşitli meteorolojik koşullarda kimyasal reaksiyonlar boyunca kirleticilerin değişimi, kuru ve ıslak çökme prosesleri ile



kirleticilerin giderimi ve kirleticilerin taşınımı üzerine etkilerini simule edebilmektedir. Model, çevre rüzgârı akımı içinde kaynaktan yayılan kirleticilerin sürekli dağılımını simule etmek için programlanmıştır. Rüzgâr akışı saatlik değişirken, her bir dağılım yolu yeni rüzgar akım yönüne göre değişmektedir. CALPUFF modelleme sistemi için girdi olarak ilk gereken emisyon envanterine göre her bir kaynağı tanımlamaktır. Bunlar; emisyon hızı, akımı ve emisyon tane boyutlarıdır. Ek olarak, sıcaklık, rüzgâr hızı, rüzgar yönü, bulut örtüsü ve nemin saatlik gözlemleri gibi yerel meteorolojik verileri kapsmalıdır. [5]

CALPUFF modelleme sisteminin bazı uygulamaları;

- Kompleks akım veya dağılım durumlarında alan etkisi,
- Kompleks alan;
  - Durgunluk, inversiyon, resirkülasyon koşulları
  - Su kenarı ulaşımı ve kıyı koşulları
  - Hafif rüzgar hızı koşulları
  - Uzun mesafeli ulaşım
- Görünürlük değerlendirmesi ve 1.sınıf alan etki çalışmaları
- Kirletici oluşum ve partikül madde modellemesi [EPA]

## 4.2 AERMOD

AERMOD modeli EPA ve Amerika Meteoroloji Topluluğu (AMS) tarafından geliştirilmiştir. Model, mesafeli (50km'ye kadar) hava kaynaklı kirleticilerin uzamsal varyasyon dağılımını amaçlayan kararlı hal Gaussian plume modelidir. AERMOD modeli emisyon envanterinde kirletici konsantrasyonlarını oluşturmak için emisyonlara ve meteorolojik girdi verilerine ihtiyaç duymaktadır. Model sabit endüstriyel kaynaktan hava kirleticilerinin dağılımı için dizayn edilmiştir. AERMOD atmosferik dağılım modelleme sistemi 3 modül içermektedir.[6]

Bunlar;

- AERMOD
- AERMET
- AERMAP sistemleridir.

AERMAP alan ön işlemcisidir. Asıl amacı, hava kirliliği davranışları ile alan özellikleri arasında fiziksel ilişkiyi sağlamaktır. Her bir reseptör yeri için konum ve yükseklik verisi oluşmaktadır. Meteorolojik veri ön işlemcisi AERMET yüzey meteorolojik verilerini, üst atmosfer tabakası çevresinin ve isteğe bağlı tesis içi araç kulelerinin verileri kabul etmektedir. Daha sonra AERMET, atmosferik türbülans

karakteristikleri, sürtünme hızı ve yükseklikler gibi dağılım modeli için gerekli atmosferik parametreleri hesaplamaktadır. AERMOD, kirletici dağılımını simüle etmek için üst atmosfer tabakasında saatlik meteorolojik gözlemlere ihtiyaç duymaktadır. AERMOD;

- İlk model formülasyonu
- Gelişim değerlendirmesi
- Beta testi
- Revize edilmiş model formülasyonu
- Performans değerlendirmesi ve hassaslık testi adımları ile geliştirilmiştir.[7]

### **4.3. ISC (INDUSTRIAL SOURCE COMPLEX)**

ISC modeli versiyon-3 EPA tarafından geliştirilmiştir. Gauss modeli kaynakların kompleks karışımları için uygundur. Kimyasal reaksiyonlar sadece çok basit bir yolla ele alınabilir, bu nedenle model reaktif olmayan kirleticilere uygulanır. ISC 3 modelinde kısa vadeli ve uzun vadeli sürümleri vardır. Veri çıktılarının mevcut ortalama zamanları farklıdır. Yer ve biriktirme etkisinin tahmini için kısa vadeli modelin özellikleri daha da geliştirilmiştir. ISCST 3 modeli EPA, eyaletler ve yerel çevre ajansları tarafından kirlilik kaynaklarının değişkenliklerinin etkilerini modellerken kullanır. Model, ortalama konsantrasyonları 1 saatten 1 yıla kadar aralıklarda hesaplayabilmektedir. ISC modeli birkaç revizyondan geçirilmiştir, her birine yeni özellikler eklenmiştir. [8]

## **5. CADDE KANYONLARINDA HAVA KİRLİLİĞİNİN MODELLENMESİ**

Kara ulaşımı, özellikle şehir içi hava kirliliğinin oluşmasının en önemli nedenidir ve bu durumun gelecekte daha da yoğun bir şekilde artacağı düşünülmektedir.[9] Hava kalitesi, insan sağlığını ve yaşam kalitesini doğrudan etkileyen bir faktördür. Temiz hava, insan sağlığı için en önemli ön koşulu olmaktadır. Yine de, Avrupa'da insanların çoğu ve özellikle büyük şehirlerde bulunanları, birçok hava kirletici maddesine maruz kalarak, risk altındadırlar. Farklı meteorolojik koşullar altında cadde kanyonlarda hava kirleticilerinin dağılımını tahmin etmek, zaman ve emek alan bir prostedir. Bu nedenle çeşitli modeller (STREET-SRI, OSPM, THOR vb.) geliştirilmiştir. Bu modeller sayesinde, cadde boyunca kirleticilerin dispersiyonu belirlenerek, o bölgedeki maruziyetin belirlenmesi sağlanmaktadır.

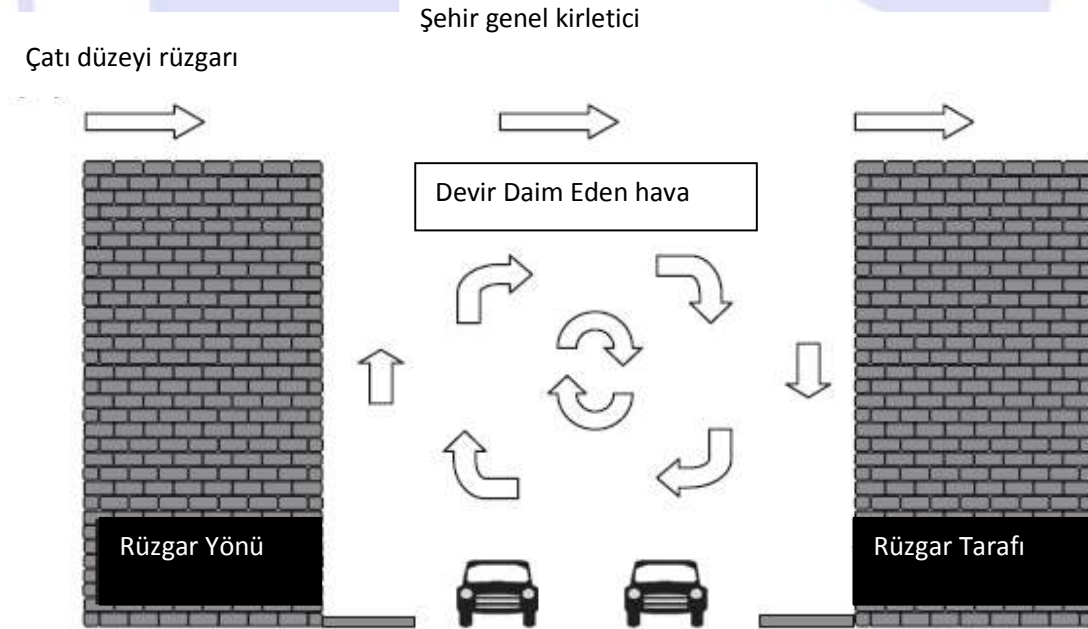
Cadde Kanyonlarında hava kirliliğinin modellenmesi için yaygın olarak kullanılan yöntem, Danimarka Operasyonel Cadde Kirlilik Modelidir (OSPM).[10]

WinOSPM (OSPM' in Windows versiyonu), düzenli cadde kanyonlarında (yükseklik-genişlik oranıyla) hareketsiz ve hızlı-tepki gösteren kirletici maddelerinin (mesela NO<sub>2</sub>) ve inert (mesela CO) konsantrasyonlarını tahmin etmekte güvenilir bir model olmayı kanıtlamaktadır.

Özellikle, cadde kanyonlarında, rüzgâr hızının düşük olduğu ve trafik yoğunluğunun yüksek olduğu durumlarda hava kirliliği hissedilir oranda artmaktadır.

### 5.1.STREET-SRI Modeli

Johnson tarafından yapılan çalışmada (1973) dispersiyonu ve araçların yarattığı türbülanslı basitleştirilen farzlar ile tek bir kutu modeli, bir cadde kanyon alt-modeli genellikle STREET veya SRI olarak tanımlanır ki bu model inert kirleticiler (APRAC) için çok amaçlı kentsel dispersiyonu sağlamaktadır. Yol kenarında meydana gelen kirletici madde konsantrasyonlarının iki bileşene dayandığı temel alınır, şehrin arka plan konsantrasyonu ve cadde de meydana gelen araç emisyonlarından dolayı oluşan konsantrasyondur. Daha sonra, caddenin her iki tarafında ki kirletici konsantrasyonları, simule edilen alıcı noktasındaki yükseklik ve uzaklık hesaba alınarak, hesaplamalar yapılmaktadır.



Şekil 6: Konsantrasyonların, Direkt Ve Devir Daim Katkıların Bir Toplamı Olarak Hesaplandığı Modelde Temel Akış Şeması .[11]



Şekil 6’da görüldüğü gibi kanyonun rüzgar yönündeki tarafında ki konsantrasyonlar, çizgi kaynağı ve alıcı arasındaki mesafenin ters orantılı olduğu düşünülerek, hesaplanmaktadır. Rüzgâr tarafındaki kenarda, kanyonun üstü boyunca taze havanın caddeye girmesinden dolayı dikey bir azalma olduğu farz edilerek hesaplamalar yapılmıştır.[12]

Paralel veya neredeyse-paralel sinoptik rüzgârlar için, model, spesifik dizayn edilmiş olmamasına rağmen, rüzgâr yönü ve rüzgar tarafındaki değerlerin ortalaması, caddenin her iki kenarında kirletici madde konsantrasyonunu verebilmektedir. STREET- SRI, düzenli bir cadde kanyonundan veri kullanılarak parametrelere ayrılmıştır ve bu nedenle, diğer kanyon geometrilerinde uygulanmadan önce tekrar kalibre edilmesi gerekebilmektedir

#### STREET Modelinin Uygulanması

Street modeli OSPM modeline hemen hemen yakın hesaplama tekniğine sahiptir. Bu şekilde iki model ile bulunan hesaplamaların karşılaştırılması ve sonuçların değerlendirilmesi daha kolay sağlanmış olacaktır.

Trafik kaynaklı emisyonlar, aşağıdaki formüller ile hesaplanmaktadır. Leeward, rüzgar altı yönü, windward ise rüzgar üstü yönünde birikim gösteren hava kirleticilerinin hesaplanmasında kullanılmaktadır.

$$C_s = \frac{K}{u+u_s} \sum \left[ \frac{Q_i}{(x_i^2 + z^2)^{1/2} + h_o} \right] \rightarrow (Leeward) \quad (1)$$

$$C_s = \frac{K}{u+u_s} \cdot \frac{H-z}{H} \sum \frac{Q_i}{W} \rightarrow (Windward) \quad (2)$$

$K$  : Deneysel Sabit (  $K = 7$  )

$u_s$  : Trafikten kaynaklanan rüzgar hızı (  $u_s = 0.5m/s$  )

$h_o$  : 2m

$x_i$  ve  $z$  yatay ve dikey bileşenler “i” trafik çizgisinden alıcıya (m)

$Q_i$  : “i” trafik çizgisinin emisyon yoğunluğu (g/m.sn)

$H$  ve  $W$  kanyonun yükseklik ve genişliği (m)

## 5.2.OPERASYONEL CADDE KİRLİLİĞİ MODELİ (OSPM)

OSPM, Ulusal Çevre Araştırma Enstitüsü, Atmosferik Çevre Departmanı tarafından geliştirilen, pratik cadde kirliliği modelidir. Egzoz gazlarının konsantrasyonları, direkt katkısı için yayılım (plume) modeli kombinasyonu ve caddedeki bir kısım kirleticilerin devir daimi için kutu (box) modeli kullanılarak hesaplamalar yapılmaktadır [13]. Kirleticilerin kaynaktan çıkarak ortama direkt katkısı, basit yayılım modeli kullanılarak hesaplanmıştır. Bu hesaplamalarda, trafik ve emisyonların cadde boyunca (kanyon) homojen şekilde dağılım gösterdiği düşünülür. Bu hesaplamalarda, yandan esen rüzgâr ihmal edilmektedir.

Başarılı bir model uygulaması için gerekli olan girdi verileri şu şekildedir;

1. Trafik verileri
2. Cadde geometrisi
3. Meteorolojik veri
4. Arka plan (Background) konsantrasyonu ( özellikle OSPM gibi modeller için)

OSPM bir “ tek-cadde modeli” dir, ki bunun anlamı caddedeki kirlilik seviyeleri yalnızca özellikle caddelerde trafik emisyonları kullanılarak hesaplanmakta, çevre sokaklarda ve diğer kaynaklardan gelen katkıları ise arka plan (background) kirlilik olarak değerlendirilmektedir. Bu tür verinin toplanması, külfetli bir iştir ve bu verilerin kalitesi kesinlikle, model sonuçları üstünde etkisi olacaktır.Ulaşımından kaynaklı hava kirleticilerinin OSPM hesaplamaları kullanılarak, modellenmesi için ilk aşama olarak, yapılan alan çalışması sonucunda elde edilmiş taşıt kategorileri ve saatlik taşıt sayılarından yararlanılarak taşıt yoğunluğu elde edilmiştir. Bu çalışmada sadece ağır ticari araçları kapsadığı için, otobüs ve kamyon olmak üzere 2 kategoride çalışılmıştır.

### - Operasyonel Cadde Kirliliği Modeli (OSPM) Uygulaması

#### *Araçların Yarattığı Türbülans*

Araç yoğunluklarının hesaplanmasının nedeni, caddelerde araçlardan dolayı oluşan türbülansın hesaplanabilmesini sağlamaktır. Araçların yarattığı türbülans aşağıdaki formül ile hesaplanmaktadır.[14]

$$\sigma_{wo} = b_2 \cdot v^2 = \left( \frac{b_p^2 \cdot N_p \cdot V_p \cdot S_p + b_t^2 \cdot N_t \cdot V_t \cdot S_t}{W} \right)^{1/2} \quad (3)$$

$N_p$  ve  $N_t$  sırasıyla hafif araç ve ağır araç sayısıdır.  $V_p$  ve  $V_t$  hafif araç ve ağır araçların hızları,  $S_p$  ve  $S_t$  araçların alanlarıdır.  $S_p=2 \text{ m}^2$  ve  $S_t=16 \text{ m}^2$  olarak alınır.  $b_p$  ve  $b_t$  ise ilgili katsayılarıdır ve değerleri  $b_p=0.2$  ve  $b_t=0.6$  olarak alınır.

#### *Dikey Türbülans*

$$\sigma_w = L((a \cdot u_b)^2 + (\sigma_{wo}^2))^{1/2} \quad (4)$$

Dikey türbülansın katkısı yukarıda verilen denklem ile hesaplanmaktadır. [Hotchkiss, R.S., Harlow, F.H., 'Air pollution transport in street canyons', EPA-R4-73-029, 1973.] Bu denklemde yer alan  $a$  deneysel eşitlik değeri olarak 0.1'dir.  $L$  değeri  $H/W$  olarak tanımlanır ve 1.6 olarak alınır.  $u_b$  değeri rüzgar hızıdır.

#### *Dikey Dispersiyon*

Biraz basitleştirilen bir denklem ile kirleticilerin  $x$  mesafesinde ki yayılımı olan plume dikey dağılım parametresini hesaplamak için aşağıdaki denklem kullanılmaktadır.[15]

$$\sigma_{z(x)} = \sigma_w \cdot \frac{x}{u_b} + h_o \quad (5)$$

Denklemden yer alan  $h_o$  değeri başlangıçtaki dispersiyon olarak tanımlanmakta ve değeri 2~4 m (rüzgar hızına bağlıdır) dir.

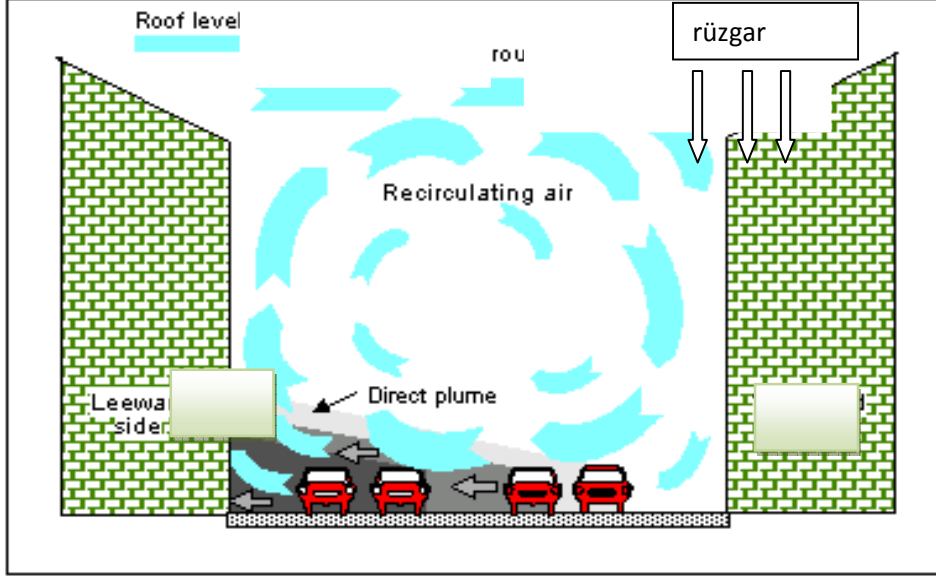
#### *Doğrudan Dispersiyon*

Kirleticilerin atmosfere direkt katkısının hesaplanması amacıyla uygulanan bir hesaplama değildir. Bu şekilde trafikten kaynaklı kirleticilerin cadde içerisinde, yer seviyesinden belirli bir yükseklikte nasıl bir değişim izlediğini ve o bölgede bulunan kişilerin maruziyeti hakkında bilgi sahibi olunacaktır. Bu kapsamda hesaplamaları aşağıda yer alan denklem ile gerçekleştirilmektedir.



$$C_d = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \frac{Q}{W \cdot \sigma_w} \ln \left[ \frac{h_o + (\sigma_w / u_b) \cdot W}{h_o} \right] \quad (6)$$

### Kutu Modeli



Şekil 7. Kutu Modeli

Şekil 7’de görüldüğü gibi kutu modelin de dispersiyon hesaplamasında cadde boyunca karışımın homojen olduğunu ve giren konsantrasyon ve çıkan konsantrasyonların eşit olduğunu düşünülerek hesaplamalar yapılmaktadır.

$$M_{giren} = M_{ç}$$

Bu formülü revize edildiğinde, cadde kanyonunda ki kirletici konsantrasyonunu hesaplamak için şu formül oluşmaktadır;

$$Q \times L = u \times \frac{W}{2} \times L \times C$$

$$C = \frac{Q \times 2}{u \times W}$$

(7)

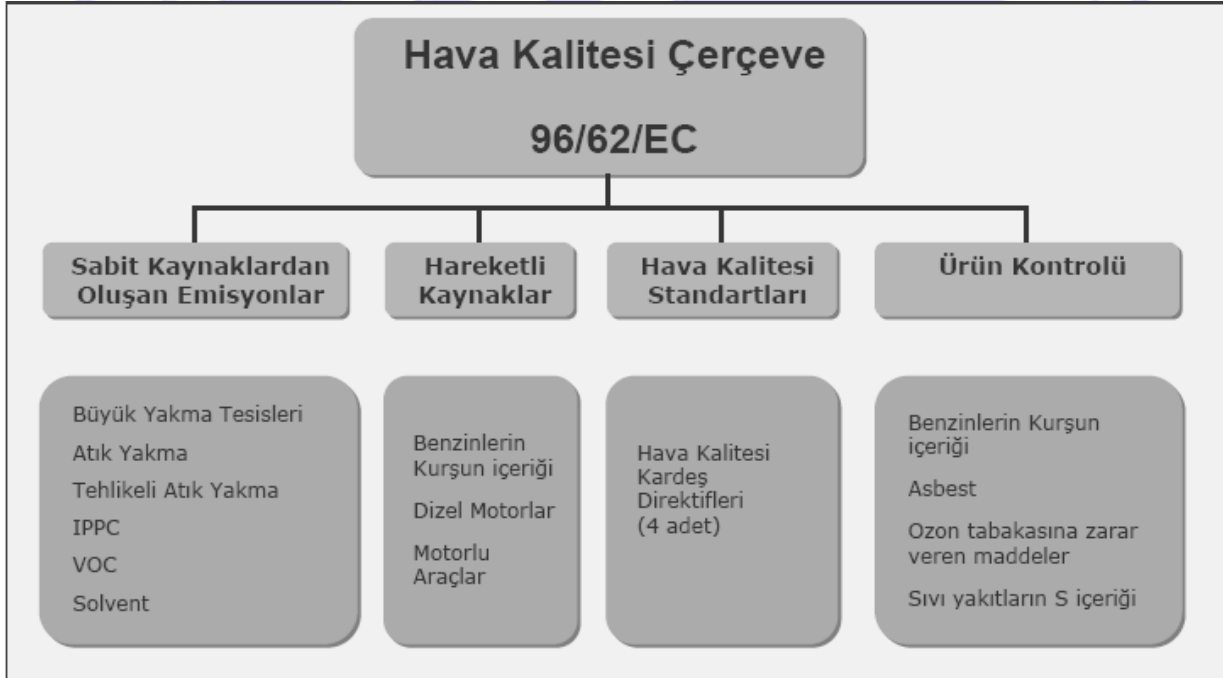
## 6. TÜRKİYE, AB VE EPA HAVA KALİTESİ REGÜLASYONLARI

### 6.1. AB HAVA KALİTESİ YÖNETİMİ MEVZUATI

Amaç; uzun vadeli hava kalitesi hedefleri koyarak AB bütününde genel bir strateji oluşturmaktır. Baştanbaşa tüm AB de düzenli olarak yönetilecek 13 hava kirleticisi kabul eder.

- SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, Partikül madde (PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>), Pb, O<sub>3</sub>, benzen, CO, PAH, Cd, As, Ni, Hg

Tablo 3. Hava Kalitesi Çerçeve Planı



#### Yönetmelik;

- Otoritelerin açıkça görevlendirilmiş olmasını gerektirir.
- Her üye ülkede hava kalitesinin değerlendirilmesini gerektirir.
- Eşik değerler aşıldığında yapılması gereken eylemleri belirler.
- Halkın bilgilendirilmesini ve AB' ne rapor verilmesini gerektirir.

Kardeş AB direktifleri çevre hava kalitesi üzerinde belirli kirleticiler için ihtiyaçları ortaya koymaktadır:

- Limit değerler, alarm eşik değerleri ve değerlendirme eşikleri,
- Ölçümler için ihtiyaçlar, istasyonların sayısı ve "referans yöntemler",
- Hava kalite modelleri ve belirleyici ölçümler, sürekli sabit ölçümleri tamamlayabilir,
- Raporlama ve halkın bilgilendirilmesi ihtiyaçları,
- Ölçümler ve modelleme için veri kalite hedefleri.

### *Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği*

Hava kirliliği ile ilgili düzenlemeler 02.11.1986 tarih ve 19269 sayılı Resmi Gazetede yayımlanarak yürürlüğe giren Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği çerçevesinde gerçekleştirilmektedir. Ancak, mevcut Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliğinin yalnızca hava kalitesine ilişkin hükümleri yürürlükte.

### *Hava Kirliliğinin Önlenmesine İlişkin Yeni Düzenlemeler*

- Isınmadan Kaynaklanan Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği
- Endüstriyel Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği
- Trafikte Seyreden Motorlu Kara Taşıtlarından Kaynaklanan Egzoz Gazı
- Emisyonlarının Kontrolüne Dair Yönetmelik
- Benzin ve Motorin Kalitesi Yönetmeliği

### *Çevre Kanununda Düzenlemeler*

Çevre Kanununda; " Hava kalitesinin belirlenmesi, izlenmesi ve ölçülmesine yönelik yöntemler, hava kalitesi sınır değerleri ve bu sınır değerlerin aşılması için alınması gerekli önlemler ile kamuoyunun bilgilendirilmesi ve bilinçlendirilmesine ilişkin çalışmalar Çevre ve Orman Bakanlığınca yürütülür. Bu çalışmalara ilişkin usul ve esaslar Çevre ve Orman Bakanlığınca çıkarılacak yönetmelikle belirlenir" hükmü yer almaktadır.



## AB MEVZUATINA İLİŞKİN TÜRKİYE İÇİN UYUMLAŞTIRMA VE UYGULAMA (1)

AB Mevzuatının Adı	Numarası	Öngörülen Uyumlaştırma Tarihi	Öngörülen Uygulama/Yürürlük Tarihi
Dış hava kalitesinin değerlendirilmesi ve yönetimine dair Konsey Direktifi (EC1882/2003 Tüzüğü ile düzeltilmiş olarak)	96/62/EC		
Havadaki kükürt dioksit, azot dioksit, azot oksit, partikül ve kurşun değerlerinin sınırlanmasına ilişkin Konsey Direktifi (2001/744/EC Direktifi ile düzeltilmiş olarak)	99/30/EC	2007	Kademeli uygulama takvimi öngörülmektedir.
Havadaki ozona ilişkin Konsey Direktifi	2002/3/EC		
Hava kalitesinde karbon monoksit ve benzen için sınır değerlerine ilişkin Konsey Direktifi	2000/69/EC		

## AB MEVZUATINA İLİŞKİN TÜRKİYE İÇİN UYUMLAŞTIRMA VE UYGULAMA (2)

Hava kalitesinde arsenik, kadmiyum, civa, nikel ve polisiklik aromatik hidrokarbonlara ilişkin Konsey Direktifi	2004/107/EC		
Dizel yakıt ve benzin kalitelerine ilişkin Konsey Direktifi (2000/71/EC Direktifi, 2003/17/EC Direktifi ve EC 1882/2003 Tüzüğü ile düzeltilmiş olarak)	98/70/EC	11 Haziran 2004	Yönetmelik Yürürlük tarihi: 11.06.2004 Uygulama tarihi: 01.01.2007 ve 01.01.2009
Yeni binek araçlarının pazarlanmasında yakıt ekonomisi ve karbondioksit emisyonu konusunda tüketicilerin bilgilendirilmesine ilişkin Konsey Direktifi (2003/73/EC Direktifi ile düzeltilmiş olarak)	1999/94/E C	28.12.2003	01.01.2008

## AB MEVZUATINA İLİŞKİN TÜRKİYE İÇİN UYUMLAŞTIRMA VE UYGULAMA (3)

Ulusal Emisyon Tavanları Direktifi	2001/81/EC	Altyapı yatırımlarına ve teknik kapasitenin güçlendirilmesi amacıyla teknik çalışmaya ihtiyaç bulunmaktadır.	Yürürlük tarihi teknik çalışma sonucu hazırlanacak olan mevzuat ile belirlenecektir.
Emisyon Ticareti Direktifi (2004/101/EC Direktifi ile düzeltilmiş olarak)	2003/87/EC	Altyapı yatırımlarına ve teknik kapasitenin güçlendirilmesi amacıyla teknik çalışmaya ihtiyaç bulunmaktadır.	Yürürlük tarihi teknik çalışma sonucu hazırlanacak olan mevzuat ile belirlenecektir.
Kükürt içerikli sıvı yakıtlar Direktifi (1882/2003/EC Tüzüğü ve 2005/33/EC Direktifi ile düzeltilmiş olarak)	99/32/EC	Teknik çalışmaya ihtiyaç duyulmaktadır.	Teknik çalışma sonucunda hazırlanacak mevzuatla uygulama tarihleri belirlenecektir.

[16]

### TÜRKİYE İÇİN AB HAVA KALİTESİ TEMEL DİREKTİFLERİ

- Hava Kalitesi Çerçeve Direktifi ve kardeş direktifleri, Yakıt Kalitesi Direktifleri,
- İklim Değişikliği ve Tüketicinin Bilgilendirilmesi Direktifleridir.
- AB'nin Hava Kalitesi mevzuatının çevre mevzuatına uyumlaştırılması amacıyla AB'nin Hava Kalitesi Çerçeve Direktifinin bir Ulusal Hava Kalitesi Çerçeve Kanunu'na ve hava kalitesi ölçüm faaliyetlerine aktarılması ve Büyük Yakma Tesisleri Direktifinin iç mevzuatımıza aktarılması amaçlanmaktadır.
- Hava kalitesinin sağlanması ve büyük yakma tesislerinden kaynaklanan emisyonların sınırlandırılması için yeni taslak Yönetmelikler hazırlanmış ve ilgili kurum kuruluşların görüşüne sunulmuştur.

## 6.2 TÜRKİYE İÇİN LİMİT DEĞERLER, DEĞERLENDİRME VE UYARI EŞİKLERİ

PM<sub>10</sub>, arsenik, kadmiyum, nikel, cıva ve benzo(a)piren konsantrasyonlarını hesaplamak için örnekleme hacmi, ortam şartlarına karşılık gelmekte ve tüm gaz halindeki kirleticiler için hacim 293° K sıcaklıkta ve 101,3 kPa basınçta standartlaştırılır.

Konsantrasyon değerleri aşağıdaki birimlerle ifade edilir;

- Karbon monoksit için mg/m<sup>3</sup>
- Arsenik, kadmiyum, nikel, cıva ve benzo(a)piren için ng/m<sup>3</sup>
- Diğer kirleticiler için µg/m<sup>3</sup>

Saat, Merkezi Avrupa Saat Dilimi cinsinden belirtilir. AOT40 ( (µg/m<sup>3</sup>)· saat olarak ifade edilir), her gün, Merkezi Avrupa Saat Dilimi 8:00 ve 20:00 arasında ölçülen sadece 1 saatlik değerler kullanılarak belirli bir zaman dilimi sonunda, 80 µg/m<sup>3</sup> ile 80 µg/m<sup>3</sup> (= 40ppb) den daha büyük saatlik konsantrasyonlar arasındaki farkın toplamı demektir.

Maksimum günlük sekiz saatlik ortalama konsantrasyon, saatlik verilerden hesaplanıp her saat güncellenen sekiz saatlik dinamik ortalamalar incelenerek seçilir. Böyle hesaplanan her sekiz saatlik ortalama, sona erdiği güne ait olur, diğer bir ifade ile herhangi bir gün için ilk hesaplama süresi önceki günün 17:00' dan o günün 01:00' a kadarki süredir. Herhangi bir gün için son hesaplama süresi ise o günün saat 16.00' dan 24.00' a kadar olan süredir.[17]



Tablo 4. SO<sub>2</sub> İçin Limit Değerler, Değerlendirme ve Uyarı Eşikleri

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

Tablo 5. NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, PM(10) İçin Limit Değerler, Değerlendirme ve Uyarı Eşikleri

Kirletici	Ortalama süre	Limit değer	Tolerans payı	Üst değerlendirme eşiği	Alt değerlendirme eşiği	Limit değere ulaşılacak tarih	Uyarı eşiği
NO <sub>2</sub>	saatlik -insan sağlığının korunması için-	<b>200 µg/m<sup>3</sup></b> (bir yılda 18 defadan fazla aşılmaz)	1.1.2014 tarihinde <b>100 µg/m<sup>3</sup></b> (% 50) ve 1.1.2024 tarihine kadar tolerans payı sıfırlanacak şekilde her 12 ayda bir eşit miktarda yıllık olarak azaltılır.	Limit değerinin %70'i <b>(140 µg/m<sup>3</sup></b> bir yılda 18 defadan fazla aşılmaz)	Limit değerinin %50'si <b>(100 µg/m<sup>3</sup></b> bir yılda 18 defadan fazla aşılmaz)	1.Ocak 2024	<b>400 µg/m<sup>3</sup></b> (hava kalitesinin temsili bölgelerinde bütün bir "bölge" veya "alt bölge" de veya en azından 100 km <sup>2</sup> 'de hangisi küçük ise- üç ardışık saatte ölçülür)
	yıllık -insan sağlığının korunması için-	<b>40µg/m<sup>3</sup></b>	1.1.2014 tarihinde <b>20 µg/m<sup>3</sup></b> (% 50) ve 1.1.2024 tarihine kadar tolerans payı sıfırlanacak şekilde her 12 ayda bir eşit miktarda yıllık olarak azaltılır.	limit değerinin %80'i <b>(32 µg/m<sup>3</sup>)</b>	limit değerinin %65'i <b>(26 µg/m<sup>3</sup>)</b>	1.Ocak 2024	
NO <sub>x</sub>	yıllık - vejetasyonun korunması için-	<b>30 µg/m<sup>3</sup></b>	-	limit değerinin %80'i <b>(24 µg/m<sup>3</sup>)</b>	limit değerinin %65'i <b>(19,5 µg/m<sup>3</sup>)</b>	1.Ocak 2014	

Kirletici	Ortalama süre	Limit değer	Tolerans payı	Üst değerlendirme eşiği	Alt değerlendirme eşiği	Limit değere ulaşılacak tarih
PM(10)	<b>24 saatlik</b>  -insan sağlığının korunması için-	<b>50 µg/m<sup>3</sup></b>  (bir yılda 35 defadan fazla aşılmaz)	1.1.2014 tarihinde <b>50 µg/m<sup>3</sup></b> (% 100) ve 1.1.2019 tarihine kadar tolerans payı sıfırlanacak şekilde her 12 ayda bir eşit miktarda yıllık olarak azaltılır.	<b>30 µg/m<sup>3</sup></b> (bir yılda 7 defadan fazla aşılmaz)	<b>20 µg/m<sup>3</sup></b> (bir yılda 7 defadan fazla aşılmaz)	1 Ocak 2019
	<b>yıllık</b>  -insan sağlığının korunması için-	<b>40.µg/m<sup>3</sup></b>	1.1.2014 tarihinde <b>20 µg/m<sup>3</sup></b> (% 50) ve 1.1.2019 tarihine kadar tolerans payı sıfırlanacak şekilde her 12 ayda bir eşit miktarda yıllık olarak azaltılır.	<b>14 µg/m<sup>3</sup></b>	<b>10 µg/m<sup>3</sup></b>	1 Ocak 2019



Tablo 6. Kurşun Benzen Karbon monoksit için Limit Değerler, Değerlendirme ve Uyarı Eşikleri

Kirletici	Ortalama süre	Limit değer	Tolerans payı	Üst değerlendirme eşiği	Alt değerlendirme eşiği	Limit değere ulaşılabilecek tarih
Kurşun	yıllık -insan sağlığının korunması için-	<b>0,5µg/m<sup>3</sup></b>  Sınayi faaliyetlerden uzun yıllar boyunca kontamine olmuş sanayi kaynaklarının yakınlarında <b>1 µg/m<sup>3</sup></b> (bakınız madde 12 (4))	1.1.2014 tarihinde <b>0.5 µg/m<sup>3</sup></b> (% 100) ve 1.1.2019 tarihine kadar veya madde 12 (4) 'e göre belirlenen "alt bölge"ler ve "bölge"lerde 1 Ocak 2019 + 5 yıla kadar tolerans payı sıfırlanacak şekilde her 12 ayda bir eşit miktarda yıllık olarak azaltılır	limit değerinin %70'i <b>(0,35 µg/m<sup>3</sup>)</b>	limit değerinin %50'si <b>(0,25 µg/m<sup>3</sup>)</b>	1 Ocak 2019 veya madde 12 (4) 'e göre belirlenen "bölge" ve "alt bölge"lerde 1 Ocak 2019 +5 yıl. Böyle durumlarda limit değeri 1 Ocak 2019' dan itibaren 1,0 µg/m <sup>3</sup> olur.
Benzen	yıllık -insan sağlığının korunması için-	<b>5 µg/m<sup>3</sup></b>	1.1.2014 tarihinde <b>5 µg/m<sup>3</sup></b> (% 100) ve 01.01.2017 tarihinden 1.1.2021 tarihine kadar tolerans payı sıfırlanacak şekilde her 12 ayda bir eşit miktarda yıllık olarak azaltılır	limit değerinin %70'i <b>(3, 5 µg/m<sup>3</sup>)</b>	limit değerinin %40'ı <b>(2 µg/m<sup>3</sup>)</b>	1 Ocak 2021 zaman-sınırlı uzatmaya mutabık kalınan "bölge" ve "alt bölge"ler hariç (bakınız madde 12 (3))
Karbon monoksit	<b>maksimum günlük 8 saatlik ortalama</b>  -insan sağlığının korunması için-	<b>10 mg/m<sup>3</sup></b>	1.1.2014 tarihinde <b>6 mg/m<sup>3</sup></b> (% 60) ve 1.1.2017 tarihine kadar tolerans payı sıfırlanacak şekilde her 12 ayda bir eşit miktarda yıllık olarak azaltılır	limit değerinin %70'i <b>(7 mg/m<sup>3</sup>)</b>	limit değerinin %50'si <b>(5 mg/m<sup>3</sup>)</b>	1 Ocak 2017

Tablo 7. Arsenik, Kadmiyum, Nikel ve Benzo(a)piren İçin Hedef Değerler ve Değerlendirme Eşikleri

Kirlenici	Hedef değer (a)	Hedef değer yüzdesi olarak üst değerlendirme eşiği	Hedef değer yüzdesi olarak alt değerlendirme eşiği	Hedef değere ulaşılacak tarih
Arsenik	6 ng/m <sup>3</sup>	% 60 (3,6 ng/m <sup>3</sup> )	% 40 (2,4 ng/m <sup>3</sup> )	1 Ocak 2020
Kadmiyum	5 ng/m <sup>3</sup>	% 60 (3,0 ng/m <sup>3</sup> )	% 40 (2,0 ng/m <sup>3</sup> )	1 Ocak 2020
Nikel	20 ng/m <sup>3</sup>	% 70 (14 ng/m <sup>3</sup> )	% 50 (10 ng/m <sup>3</sup> )	1 Ocak 2020
Benzo(a)piren	1 ng/m <sup>3</sup>	% 60 (0,6 ng/m <sup>3</sup> )	% 40 (0,4 ng/m <sup>3</sup> )	1 Ocak 2020

(a) bir yılda PM10 fraksiyonundaki toplam içerik için

Tablo 8. Ozon İçin Uzun Vadeli Hedefler, Hedef Değerler, Bilgilendirme ve Uyarı Eşikleri

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

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

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

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

	Süre	Eşik
Bilgi eşiği	1 saatlik ortalama	180 µg/m <sup>3</sup>
Uyarı eşiği	1 saatlik ortalama (a)	240 µg/m <sup>3</sup>

(a) Madde 11 'in uygulanması için eşiğin aşımı üç ardışık yıl için öngörülür veya ölçülür.[18]

### 6.3 EPA İÇİN SINIR DEĞERLER

Tablo 9. EPA İçin Sınır Değerler

Kirlenici	Birincil Standartlar		İkincil Standartlar	
	Seviye	Ortalama Saat	Seviye	Ortalama Saat
CO <sub>2</sub>	9 ppm (10 mg/m <sup>3</sup> )	8 saat <sup>(1)</sup>	Yok	
	35 ppm <sup>(2)</sup> (40 mg/m <sup>3</sup> )	1 saat <sup>(1)</sup>		
Kurşun	0.15 µg/m <sup>3</sup>	Ortalama 3 aylık	Birincil Standartlar gibi	
	1.5 µg/m <sup>3</sup>	3 aylık	Birincil Standartlar gibi	
NO <sub>x</sub>	0.053 ppm (100 µg/m <sup>3</sup> )	Yıllık	Birincil Standartlar gibi	
	0.100 ppm	1 saat <sup>(3)</sup>	Yok	
PM <sub>10</sub>	150 µg/m <sup>3</sup>	24 saat	Birincil Standartlar gibi	
PM <sub>2,5</sub>	15.0 µg/m <sup>3</sup>	Yıllık	Birincil Standartlar gibi	
Ozon	0.075 ppm (2008 std)	8 saat	Birincil Standartlar gibi	
	0.08 ppm (1997 std)	8 saat	Birincil Standartlar gibi	
	0.12 ppm	1 saat	Birincil Standartlar gibi	
SO <sub>x</sub>	0.03 ppm	Yıllık	0.5 ppm (1300 µg/m <sup>3</sup> )	3 saat <sup>(1)</sup>
	0.14 ppm	24 saat <sup>(1)</sup>		

(1) Yılda 1 defadan fazla aşılamaz.

(2) 15 Ekim 2008'de son yönetmelikte belirtildi. [EPA]



## 6.4 AB İÇİN SINIR DEĞERLER

Tablo 10. AB İçin Sınır Değerler

Bileşen	AB-Limit Değerler		
	Sınır Değer	Süre	Aşma Sayısı
SO <sub>2</sub>	350	1 saat	24
	125	24 saat	3
	20 (ekolojik sistemler)	yıl/kış	-
NO <sub>2</sub>	200	1 saat	18
	40	Yıl	-
NO <sub>x</sub>	30 (ekolojik sistemler)	Yıl	-
PM <sub>10</sub>	50	24 saat	35
Kurşun	0.5	Yıl	-
Benzen	5	Yıl	-
CO	10	8 saat	yok
O <sub>3</sub>	120 (limit değer)	8 saat	25 gün
	180 (Bilgi)	1 saat	-

[19]

## 6.5 SINIR DEĞERLERİN KİYASLANMASI

Tablo 11. Sınır Değerlerin Kıyaslanması

Kirleticiler ve ortalamalar	EU 2005	EU 2010	US	JAPAN	WHO
<b>SO<sub>2</sub>(µg/m<sup>3</sup>)</b>					
1 saatlik ortalama istatistik	350 Yılda 24			262	
3 saatlik ortalama istatistik			1310 Yılda 1		
24 saatlik ortalama istatistik	125 Yılda 3		365 Yılda 1	104	125
Yıllık ortalama istatistik	20		79		50
<b>NO<sub>2</sub>(µg/m<sup>3</sup>)</b>					
1 saatlik ortalama istatistik		200 Yılda 18			200
24 saatlik ortalama istatistik				75-113	
Yıllık ortalama istatistik		40	100		40
<b>PM<sub>10</sub> (µg/m<sup>3</sup>)</b>					
1 saatlik ortalama istatistik				200	
24 saatlik ortalama istatistik	50 yılda 35	50 Yılda 7	150 Yılda 1	100	
Yıllık ortalama istatistik	40	20	50		
<b>PM<sub>2,5</sub>(µg/m<sup>3</sup>)</b>					
24 saatlik ortalama istatistik			65		
Yıllık ortalama istatistik			15		
<b>CO(µg/m<sup>3</sup>)</b>					
1 saatlik ortalama istatistik			40000 Yılda 1		30000
8 saatlik ortalama istatistik	10000		10000 Yılda 1	22900	10000
24 saatlik ortalama istatistik				11500	
<b>Ozon(µg/m<sup>3</sup>)</b>					
1 saatlik ortalama istatistik	180/240		240		
8 saatlik ortalama istatistik		120	160		120

[20]

Tablo 12. Limit Değerlerin AB-Türkiye Kıyaslaması

Bileşen	AB-Limit Değerler			Türkiye-Limit Değerler	
	Sınır Değer	Süre	Aşma Sayısı	Sınır Değer	Süre
SO <sub>2</sub>	350	1 saat	24	150	1 saat
	125	24 saat	3	400	24 saat
	20 (ekolojik sistemler)	yıl/kış	-	60	Yıl
NO <sub>2</sub>	200	1 saat	18	300	24 saat
	40	Yıl	-	100	Yıl
NO <sub>x</sub>	30 (ekolojik sistemler)	Yıl	-		
PM <sub>10</sub>	50	24 saat	35	150	Yıl
Kurşun	0.5	Yıl	-	2	Yıl
Benzen	5	Yıl	-		
CO	10	8 saat	yok	30	24 saat
O <sub>3</sub>	120 (limit değer)	8 saat	25 gün		
	180 (Bilgi)	1 saat	-		

[20]



## 7. HAVA KALİTESİ İNDEKSİ

### 7.1. HAVA KALİTESİ İNDEKSİ NEDİR?

HKİ, hava kalitesinin günlük olarak rapor edilmesi için kullanılan bir indekstir. Yaşadığımız bölgenin havasının ne kadar temiz veya kirli olduğu ve ne tür sağlık etkilerinin oluşabileceği konusunda bilgiler verir. HKİ, kirli havanın solunmasından bir kaç saat sonra veya bir kaç gün içinde oluşabilecek sağlık etkilerini belirtir.

### 7.2. HAVA KALİTESİ İNDEKSİ NASIL KULLANILIR?

HKİ, 0-500 aralığında düzenlenmiş bir skala olarak düşünülebilir. HKİ değeri yükseldikçe hava kirliliğinin yükseldiği ve sağlık riskinin de arttığı düşünülmelidir. Örneğin; HKİ değerinin 50 olması, hava kalitesinin iyi olduğunu ve toplum sağlığını etkileyebilecek riskin çok az olduğunu gösterir. Buna karşılık, 300'ün üzerindeki HKİ değeri ise, hava kalitesinin kötü ve dolayısıyla sağlık riskinin yüksek olduğunu gösterir. HKİ değerinin 100 olması, genellikle ulusal hava kalitesi standardına karşılık gelir. 100'ün altındaki indeks değeri, genel olarak iyi bir durumun göstergesidir. HKİ değeri 100'ü aştığında, hava kalitesinin sağlıksız olduğu düşünülür.

### 7.3. HKİ (AQI) DEĞERLERİNİN ANLAMI

HKİ'nin amacı, yaşadığımız bölgedeki hava kalitesi ile sağlığımızı ilişkilendirme için yardımcı olmaktır. Kolay anlaşılabilir diye HKİ skalası 6 kategoriye bölünmüştür

Tablo 13: Hava Kalitesi İndeksi

Hava Kalitesi İndeksi (HKİ / AQI)	Sağlık Seviyesi	Renkler
HKİ aşağıda belirtilen aralıkta olduğunda	Hava Kalitesi	Aşağıda belirtilen renkler ile sembolize edilir
0 - 50 arasında	İyi	Yeşil
51 - 100 arasında	Orta	Sarı
101 - 150 arasında	Hassas gruplar için sağlıksız	Turuncu
151 - 200 arasında	Sağlıksız	Kırmızı
201 - 300 arasında	Çok sağlıksız	Mor / Pembe
301 - 500 arasında	Tehlikeli	Kahverengi

Her bir kategori, farklı sağlık seviyesine karşılık gelir ve anlamları şoyledir:

- "**İyi**" : HKİ değeri 0-50 aralığındadır. Hava kalitesinin tatmin edici, hava kirliliğinin çok az olduğu veya sağlık riskinin bulunmadığı anlamına gelir.
- "**Orta**" :HKİ değeri 51-100 aralığındadır. Hava kalitesi kabul edilebilir, ancak bazı kirleticilerin, toplumun küçük bir kesiminde orta düzeyde sağlık etkisi olabilir. Örneğin, ozon kirleticisine çok hassas olan kişilerde bazı solunuma bağlı hastalık belirtilerine rastlanabilir.
- "**Hassas gruplar için sağlıksız**" :HKİ değeri 101-150 aralığındadır. Toplumun belli bir kesimi, özellikle belli kirleticilere karşı hassastır. Bu grubun, genel nüfusa göre daha düşük seviyelerde dahi etkilenmeleri muhtemeldir. Örneğin, solunum rahatsızlığı olan kişiler, ozon kirleticisine maruz kalmaları sonucu daha fazla risk taşırken; kalp rahatsızlığı olan kişiler havadaki partikül kirleticilerine maruz kalmaları sonucu daha fazla risk taşırlar. Genel olarak, toplumun büyük kesimi, bu aralıkta etkilenmez.
- "**Sağlıksız**" :HKİ değeri 151-200 aralığındadır. Toplumun tüm kesimleri sağlık etkileri ile karşılaşmaya başlayabilir. Hassas gruplar, daha ciddi düzeyde etkilenebilir.
- "**Çok sağlıksız**" :HKİ değeri 201-300 aralığındadır. Sağlık alarmı için bir tetikleme noktasıdır. Toplumun tüm kesimleri, çok ciddi düzeyde etkilenebilir.
- "**Tehlikeli**" :HKİ değeri 300'ün üzerindedir. Acil durum alarmı için bir tetikleme noktasıdır. Toplumun tüm kesimleri, büyük bir ihtimalle etkilenecektir.

#### **7.4. HKİ DEğERİ NASIL HESAPLANIR?**

Hava kalitesi, belli kirletici konsantrasyonlarını kaydeden ölçüm cihazlarından oluşan bir aç yardımı ile ölçülür. Bu ham ölçüm değerleri, geliştirilen standart formüller kullanılarak HKİ değerlerine dönüştürölmektedir. HKİ değeri, bölgedeki her bir kirletici için ayrı ayrı hesaplanır (yer seviyesindeki ozon, partiküller, karbon monoksit, kükürt dioksit ve azot dioksit). Her bir kirletici için hesaplanan en yüksek HKİ, o güne ait HKİ değerini oluşturur. Örneğin, belli bir alandaki HKİ değerleri, ozon için 90, kükürt dioksit için 88 ise, o güne ait HKİ değeri ozon için hesaplanan 90 değeri olacaktır.

### 7.4.1. Hava Kalitesi İndeksi HKİ: OZON - O<sub>3</sub>

Genel olarak, ozon için HKİ değerinin 100 olması, 0.08 ppm (parts per million) Ozon seviyesine karşılık gelir. (8 saat üzerindeki ortalama)

Tablo 14. Ozon İçin Hava Kalite İndeksi

Hava Kalitesi İndeksi (HKİ / AQI)	Sağlık Seviyesi	Uyarılar
0 - 50 arasında	İyi	Yok
51 - 100* arasında	Orta	Nadiren hassas olan kişiler, dış ortamda uzun süreli ve yoğun efor sarfını azaltmayı dikkate almalıdır.
101 - 150 arasında	Hassas gruplar için sağlıksız	Aktif olan çocuk ve yetişkinler ile astım gibi solunum hastalığı olan kişiler; dış ortamda uzun süreli ve yoğun efor sarfını azaltmalıdır.
151 - 200 arasında	Sağlıksız	Aktif olan çocuk ve yetişkinler ile astım gibi solunum hastalığı olan kişiler; dış ortamda uzun süre efor sarfetmemelidir. Bunun dışında herkes, özellikle çocuklar dış ortamda uzun süreli ve yoğun efor sarfını azaltmalıdır.
201 - 300 arasında	Çok sağlıksız	Aktif olan çocuk ve yetişkinler ile astım gibi solunum hastalığı olan kişiler; dış ortamda uzun süre efor sarfetmemelidir. Bunun dışında herkes, özellikle çocuklar dış ortamda uzun süreli ve yoğun efor sarfını azaltmalıdır.
301 - 500 arasında	Tehlikeli	Hiç kimse dışarıda her hangi bir şekilde efor sarfetmekten kaçınmalıdır.

#### Ozon nedir?

Ozon 3 oksijen atomundan oluşan bir gazdır. Ozon, hem yer seviyesinde ve hem de üst atmosferde oluşur. Ozon bulunduğu yere göre faydalı veya zararlı olabilir.

- **Faydalı ozon:** Ozon doğal olarak, atmosferin üst tabakasında yer kürenin 6 - 30 mil üzerinde oluşur ve koruyucu bir tabaka olarak atmosferi güneşin zararlı UV ışınlarından korur. Faydalı olan bu ozon, insanlar tarafından yapılan kimyasal maddeler ile kademli olarak tahrip edilmektedir. Yeryüzünün bazı bölgelerinde



koruyucu ozon katmanı tükenmiştir (örneğin, yeryüzünün kuzey ve güney kutuplarında ozon delikleri oluşmuştur).

- **Zararlı ozon:** Yeryüzeyine yakın seviyede; otomobiller, enerji santralleri, endüstriyel kazanlar, rafineriler, kimyasal fabrikalardan ve benzeri kaynaklardan atmosfere verilen kirleticiler, güneş ışınlarının mevcudiyetinde kimyasal olarak reaksiyona girerek ozonu oluşturur. Yer seviyesindeki ozon zararlı bir kirleticidir. Ozon kirliliği, özellikle yaz aylarında güneşli havalarda oluşur.

### **Sağlık etkileri nelerdir ve en riskli gruplar kimlerdir?**

Çocuklar, dış ortamda aktif olan yetişkinler, astım gibi solunum hastalığı olan ve ozona karşı çok hassas olan kişiler; ozon maruziyeti için en hassas grubu oluşturur.

- Ozon maruziyetine karşı en yüksek risk gruplarından birisi aktif çocuklardır, çünkü yaz aylarının büyük bir kısmını dışarıda oynayarak geçirirler.

- Ancak tüm yaş grupları ve dışarıda aktif olan kişiler de risk altındadır. Çünkü fiziksel aktivite sırasında ozon, akciğerlerin derinliklerine kadar nüfuz ederek zararlı etkilerini gösterir ve kalıcı hasarlar yaratabilir.

- Solunum rahatsızlığı olan kişilerde, astımlılar dâhil, ozona maruz kalma sonucu, akciğerlerin etkilenmesi daha kolaydır. Diğer insanlara göre daha düşük ozon seviyelerinde de ozonun zararlı etkilerini hissedebilirler.

- Bilim adamlarının henüz nedenini bilmemelerine rağmen, bazı sağlıklı insanlarda da ozona karşı duyarlı olabilir.

- Ozon, öksürük, boğaz tahrişi ve/veya göğüste rahatsızlık hissine sebebiyet vererek solunum yollarını tahriş edebilir.

- Ozon, akciğer fonksiyonunu azaltarak, derin ve kuvvetli nefes almayı güçleştirebilir. Solunum hızlanır ve normalden daha yüzeysel olur. Akciğer fonksiyonundaki bu azalma, kişinin dış ortamdaki aktivitelerini yerine getirmekten alıkoyabilir.

- Ozon, astımı kötüleştirebilir. Ozon seviyesi yüksek olduğunda, astımlı olan kişiler, bir doktora ve tedaviye ihtiyaç duyan, astım krizlerine girebilirler. Bunun nedenlerinden birisi de ozon, insanları; astım tetikleyicileri olan evcil hayvanlar, polenler ve ev tozu akarları gibi alerjenlere karşı daha hassas hale getirir.

- Ozon, akciğerlerin iç yüzeyini iltihaplandırabilir ve zarar verebilir.

#### 7.4.2. Hava Kalitesi İndeksi HKİ: Partiküler Madde Kirliliği

HKİ değerinin 100 olması, partikül çapı 2,5µm. (mikrometre) 'ye kadar olan partiküller için 40 µg/m<sup>3</sup> 'e (mikrogram/metre küp), partikül çapı 10µm. 'ye kadar olan partiküller için ise 150 µg/m<sup>3</sup> 'e karşılık gelir. (Ortalama 24 saat) (1 µm. = 0.001 milimetre).

Tablo 15. PM İçin Hava Kalite İndeksi

Hava Kalitesi İndeksi (HKİ / AQI)	Sağlık Seviyesi	Uyarılar
0 - 50 arasında	İyi	Yok
51 - 100* arasında	Orta	Nadiren hassas olan kişiler, uzun süreli ve yoğun efor sarfını azaltmayı dikkate almalıdır.
101 - 150 arasında	Hassas gruplar için sağlıklı	Kalp veya solunum hastalığı (astım gibi) olan kişiler, yaşlılar ve çocuklar uzun süreli ve yoğun efor sarfını azaltmalıdır.
151 - 200 arasında	Sağlıksız	Kalp veya solunum hastalığı (astım gibi) olan kişiler, yaşlılar ve çocuklar uzun süreli ve yoğun efor sarfından kaçınmalıdır. Bunun dışında herkes, uzun süreli ve yoğun efor sarfını azaltmalıdır.
201 - 300 arasında	Çok sağlıklı	Kalp veya solunum hastalığı (astım gibi) olan kişiler, yaşlılar ve çocuklar dış ortamda yapılan tüm fiziksel aktivitelerden kaçınmalıdır. Bunun dışında herkes, uzun süreli ve yoğun efor sarfından kaçınmalıdır.
301 - 500 arasında	Tehlikeli	Kalp veya solunum hastalığı (astım gibi) olan kişiler, yaşlılar ve çocuklar evlerinde kalmalıdır ve aktivite seviyelerini düşük tutmalıdır. Bunun dışında herkes, dış ortamda yapılan tüm fiziksel aktivitelerden kaçınmalıdır.

## **Partiküler kirlilik nedir?**

Havadaki partiküler kirlilik (aynı zamanda PM - partiküler madde olarak bilinir), havada bulunan katı partiküllerin ve sıvı damlacıkların bir karışımıdır. Partiküllerin boyutlarının geniş bir aralığa yayılır. Akciğerlerimize kadar girebilen çok küçük partiküller 10 µm. nin altındaki partiküllerdir ve solunum sisteminde birikerek ciddi sağlık problemlerine yol açabilirler. (1 µm. = 0.001 milimetre)

- **İnce partiküller:** 2,5 µm. den daha küçük partiküller “ince partiküller” olarak adlandırılır. Bu partiküller o kadar ufaktır ki sadece elektron mikroskopları ile görülebilir. İnce partikül kaynakları: motorlu taşıtlar, enerji santralleri, yakacak odun kullanımı, orman yangınları, tarımsal yangınlar ve endüstriyel prosesler.

- **Kaba toz partikülleri:** 2,5-10 µm. aralığındaki partiküller, “kaba” partiküller olarak adlandırılır. Kaba partikül kaynakları: kırma, öğütme işlemleri, yollardan kalkan tozlardır.

## **Sağlık etkileri nelerdir ve en riskli gruplar kimlerdir?**

Çapı 10 µm. 'den küçük partiküller bazı sağlık problemlerine sebep olabilir veya mevcut sağlık problemlerini şiddetlendirebilir (astım gibi) ve bu partiküller kalp ve solunum hastalıklarından kaynaklı ölümler ile bağdaştırılmıştır.

- Partikül kirliliği için kalp veya solunum rahatsızlıkları olanlar, yaşlı yetişkinler (teşhisi konulmamış kalp veya solunum rahatsızlıkları olanlar) ve çocuklar hassas gruplardır.

- Kalp veya solunum rahatsızlıkları olanlar (kalp yetersizliği, kalp ile ilgili damar hastalıkları, astım veya Koah - Kronik Obstrüktif Akciğer Hastalığı) ve yaşlı yetişkinler acil servislere başvurabilirler, hastaneye yatabilirler ve hatta bazı durumlarda ölebilirler. Bu grup hava kirliliğine maruz kalırsa göğüs ağrısı, kalp çarpıntısı, nefes darlığı ve yorgunluk hissedebilirler. Partikül kirliliği (hava kirliliği) kalp ritim bozukluğu ve kalp krizi ile de ilişkilendirilmiştir.

- Solunum rahatsızlıkları bulunanlar (astım gibi), bu partiküllere maruz kalırlarsa normalde nefes aldıkları gibi derin nefes alamayabilirler, öksürebilirler ve nefes darlığı çekebilirler. Sağlıklı insanlarda da bunun gibi sağlık etkileri gözlenebilir, fakat ağır sağlık problemleri yaşayabilirler.

- Partikül kirliliği, solunum yolu enfeksiyonlarına hassasiyeti arttırabilir, astım, kronik bronşit gibi mevcut solunum hastalıklarını kötüleştirebilir, ilaç kullanımını ve doktor ziyaretlerini arttırabilir.

### 7.4.3. Hava Kalitesi İndeksi HKİ: Karbon Monoksit (CO)

Genel olarak, ozon için HKİ değerinin 100 olması, 9 ppm (parts per million) CO seviyesine karşılık gelir. (8 saat üzerindeki ortalama)

Tablo 16. CO İçin Hava Kalite İndeksi

Hava Kalitesi İndeksi (HKİ / AQI)	Sağlık Seviyesi	Uyarılar
0 - 50 arasında	İyi	Yok
51 - 100 arasında	Orta	Yok
101 - 150 arasında	Hassas gruplar için sağlıksız	Angina gibi kalp hastalığı olan kişiler, dış ortamda yoğun efor sarfını azaltmalı ve yoğun trafik gibi CO kaynaklarından kaçınmalıdır.
151 - 200 arasında	Sağlıksız	Angina gibi kalp hastalığı olan kişiler, dış ortamda orta seviyede efor sarfını azaltmalı ve yoğun trafik gibi CO kaynaklarından kaçınmalıdır.
201 - 300 arasında	Çok sağlıksız	Angina gibi kalp hastalığı olan kişiler, dış ortamda efor sarfetmekten ve yoğun trafik gibi CO kaynaklarından kaçınmalıdır.
301 - 500 arasında	Tehlikeli	Angina gibi kalp hastalığı olan kişiler, dış ortamda efor sarfetmekten ve yoğun trafik gibi CO kaynaklarından kaçınmalıdır. Bunun dışında herkes, yoğun efor sarfını azaltmalıdır.



## **Karbon Monoksit (CO) nedir?**

Karbon monoksit, kokusuz ve renksiz bir gazdır. Yakıtların yapısındaki karbonun tam yanmaması sonucu oluşur. Şehirlerdeki CO 'in kaynağını büyük oranda araç egzozları oluşturmaktadır. Diğer kaynaklar ise endüstriyel proseslerdeki yakıtların yanması ve yangınlar olarak sıralanabilir.

## **Sağlık etkileri nelerdir ve en riskli gruplar kimlerdir?**

CO, akciğerler yolu ile kan dolaşımına girer ve oksijeni hücrelere taşıyan hemoglobine bağlanır. Bu yolla, CO organ ve dokulara ulaşan oksijen miktarını azaltır.

- Angina gibi kalp hastalığı olan kişiler, CO'e karşı en riskli gruptur. Bu kişiler, CO'e maruz kaldıklarında, özellikle egzersiz yaparken göğüs ağrısı çekebilirler ve diğer kalp rahatsızlıklarını yaşayabilirler.
- Hafif ve daha ağır kalp ve solunum sistemi hastalığı olan kişiler (örneğin; kalp yetmezliği, beyin kan damarları ile ilgili hastalıkları, anemi, KOAH kronik tıkalıcı akciğer hastalığı olan kişiler) ve yeni doğmuş ve henüz doğmamış bebekler, CO kirliliğine karşı en riskli grubu oluşturur.
- Sağlıklı kişilerde, daha yüksek seviyelerdeki CO'e maruziyet, zihinsel algılama ve gözün görme gücünü etkileyebilir.[7]

## REFERANSLAR

- [1] [DR.B. HİLMİOĞLU, N. GÜLER, N.ÖZKURT; DIŞ ORTAM HAVA KİRLİLİĞİNİ ENGELLEYEN, AZALTAN YÖNTEMLER: HAVA KALİTESİ YÖNETİMİ, TÜBİTAK]
- [2] [DR.F. ERTÜRK; HAVA KİRLİLİĞİ VİZYON VE MİSYON, YTÜ]
- [3] [REFİK SAYDAM HIFZISSİHHA MERKEZİ BAŞKANLIĞI, ÇEVRE SAĞLIĞI ARAŞTIRMA MÜDÜRLÜĞÜ, HAVA KALİTESİ İZLEME METODOLOJİLERİ VE ÖRNEKLEM KRİTERLERİ]
- [4] [B.AYDINLAR, H.GÜVEN, S.KIRKSEKİZ; HAVA KİRLİLİĞİ VE MODELLEMESİ, SAU]
- [5] [T.ELBİR; GIS BASED ECİSİON SUPPORT SYSTEM FOR ESTİMATION, VİSUALİZATİON AND ANALYSİS OF AIR POLLUTİON FOR LARGETURKİSH CİTİES]
- [6] [GIS, BASED EMİSSİON İNVENTORİES OF URBAN SCALE: A CASE STUDY OF HANGZHOU, CHİNA]
- [7] [EPA]
- [8][WWW.PRESCOTT.EDU/USERS/JHERRİNG/DOWNLOADS/ISC%20MODEL.PPTPRES COTT COLLEGE]
- [9] [FENGER, J., “URBAN AIR QUALITY.” ATMOSPHERIC ENVIRONMENT, 33, 4877–4900 1999]
- [10] [APOSTOLOS PAPATHANASSIOU, IOANNIS DOUROS, NICOLAS MOUSSİOPOULOS “A SIMPLİFİED THREE-DİMENSİONAL APPROACH TO STREET CANYON MODELLİNG USING SEP-SCAM”, ENVIRONMENTAL MODELLİNG & SOFTWARE 23, 304-3132008]
- [11] [APOSTOLOS PAPATHANASSIOU, IOANNIS DOUROS, NICOLAS MOUSSİOPOULOS”A SIMPLİFİED THREE-DİMENSİONAL APPROACH TO STREET CANYON MODELLİNG USING SEP-SCAM “, ENVIRONMENTAL MODELLİNG & SOFTWARE 23 (2008) 304E313]
- [12] [APOSTOLOS PAPATHANASSIOU, IOANNIS DOUROS, NICOLAS MOUSSİOPOULOS”A SIMPLİFİED THREE-DİMENSİONAL APPROACH TO STREET CANYON MODELLİNG USING SEP-SCAM “, ENVIRONMENTAL MODELLİNG & SOFTWARE 23 (2008) 304E313]
- [13] [SOTİRİS VARDOULAKİS, BERNARD E.A. FİŞER, KOULİS PERİCLEOUS, NORBERT GONZALEZ FLESCA, “ MODELLİNG AIR QUALİTYİN STREET CANYONS: A REVİEW “ ATMOSPHERIC ENVIRONMENT 37 (2003) 155–182 ]
- [14] [HERTEL, O., BERKOWİCZ, R., “VURDERİNG AF SPREDNİNGS MODELLENİDEN NORDİSKE BEREGNİNGSMETODE FOR BİLAVGASSER.” SAMMENFATTENDE RAPPORT, DMU LUFT A-136, 27 P. (İN DANİSH) 1990]

[15] [BERKOWICZ, R., HERTEL, O., LARSEN, S.E., SORENSEN, N.N., NIELSEN, M., 1997. "MODELLING TRAFFIC POLLUTION IN STREETS." NATIONAL ENVIRONMENT RESEARCH INSTITUTE REPORT. MINISTRY OF ENVIRONMENT AND ENERGY, DENMARK.]

[16] [HAVA KALİTESİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ VE YÖNETİMİ HAKKINDA 27 EYLÜL 1996 TARİHLİ 96/62/EC KONSEY YÖNERGESİ RESMİ GAZETE L 296, 21/11/1996 S. 0055-0063]

[17] [TÜRKİYE VE AB HAVA YÖNETİMİ MEVZUATI ÇEVRE YÖNETİM PLANI İLE İLİŞKİLENDİRME]

[18] [26898, HAVA KALİTESİ DEĞERLENDİRME VE YÖNETİMİ YÖNETMELİĞİ, ÇEVRE VE ORMAN BAKANLIĞI]

[19] [SOMUNKİRANOĞLU, HAVA KALİTESİ]

