



HAVA KİRLİLİĞİNE GENEL BAKIŞ

REFİK SAYDAM HIFZISSIHHA MERKEZİ BAŞKANLIĞI
ÇEVRE SAĞLIĞI ARAŞTIRMA MÜDÜRLÜĞÜ

İÇİNDEKİLER

- I. ÖNSÖZ
- I.I. GİRİŞ
1. Atmosfer
 - 1.1. Tanım
 - 1.2. Atmosferin Bileşimi
 - 1.3. Atmosferin Katları
 - 1.4. Hava Kirliliğini Etkileyen Faktörler
 - 1.4.1. Sıcaklık
 - 1.4.2. Basınç
 - 1.4.3. Rüzgar
 - 1.4.4. Yağış
 - 1.4.5. Nem
 - 1.4.6. Güneş Radyasyonu
 2. Hava Kirliliğinin Kaynakları
 - 2.1. Yapay Kaynaklar
 - 2.1.1. Yapay Kaynaklardan Oluşan Kirliliği Etkileyen Faktörler
 3. Hava Kirliliğini Oluşturan Kirleticiler
 - 3.1. Kaynaktan Çıkışlarına Göre
 - 3.1.1. Primer Kirleticiler
 - 3.1.2. Sekonder Kirleticiler
 - 3.2. Kaynaklarına Göre Kirleticiler
 - 3.2.1. Doğal Kaynaklardan Oluşan Kirleticiler
 - 3.2.2. Yapay Kaynaklardan Oluşan Kirleticiler
 - 3.3. Kimyasal Yapılarına Göre Kirleticiler
 - 3.3.1. İnorganik Gazlar
 - 3.3.2. Organik Gazlar
 - 3.3.3. Partiküller
 4. Hava Kirliliğinin Etkileri
 5. Taşınma ve Birikim
 - 5.1. Taşınma
 - 5.2. Birikim
 6. İç Ortam Hava Kirliliği
 7. Ülkemizde Hava Kirlenmesine Yönelik Olarak Yapılan Çalışmalar
 8. Kirleticiler
 - 8.1. Kükürt Dioksit ve Partiküler Madde
 - 8.1.1. Kükürt Dioksit, Partiküler Madde ve Asit Aerosollerinin Oluşum Kaynakları

- 8.1.2. Kükürt Dioksit,Partiküler Madde ve Asit Aerosollerinin Oluşum Kaynakları
- 8.1.3. Ölçüm Yöntemleri
- 8.1.4. Maruziyet Yolları
- 8.1.5. Kinetik ve Metabolizma
- 8.1.6. Sağlık üzerine Etkileri
- 8.2. Atmosferdeki Metalik Partiküller
 - 8.2.1. Kurşun
 - 8.2.1.1. Oluşum Kaynakları
 - 8.2.1.2. Havada Bulunuşu
 - 8.2.1.3. Maruziyet Yolları
 - 8.2.1.4. Kinetik ve Metabolizma
 - 8.2.1.5. Sağlık Etkileri
 - 8.2.2. Kadmiyum
 - 8.2.2.1. Oluşum Kaynakları
 - 8.2.2.2. Havada Bulunuşu
 - 8.2.2.3. Maruziyet Yolları
 - 8.2.2.4. Kinetik ve Metabolizma
 - 8.2.2.5. Sağlık Etkileri
 - 8.2.3. Nikel
 - 8.2.3.1. Oluşum Kaynakları
 - 8.2.3.2. Havada Bulunuşu
 - 8.2.3.3. Maruziyet Yolları
 - 8.2.3.4. Kinetik ve Metabolizma
 - 8.2.3.5. Sağlık Etkileri
 - 8.2.4. Asbest
 - 8.2.4.1. Oluşum Kaynakları
 - 8.2.4.2. Havada Bulunuşu
 - 8.2.4.3. Maruziyet Yolları
 - 8.2.4.4. Kinetik ve Metabolizma
 - 8.2.4.5. Sağlık Etkileri
- 8.3. Azot Oksitleri
 - 8.3.1. Oluşum Kaynakları
 - 8.3.2. Havada Bulunuşu
 - 8.3.3. Çevrede Azot Taşınımı
 - 8.3.4. Ölçüm Yöntemleri
 - 8.3.5. Maruziyet Yolları ve Metabolizma
 - 8.3.6. Sağlık Etkileri
- 8.4. Ozon ve Diğer Fotokimyasal Oksitleyiciler
 - 8.4.1. Oluşum Kaynakları
 - 8.4.2. Havada Bulunuşu
 - 8.4.3. Ölçüm Yöntemleri
 - 8.4.4. Kinetik ve Metabolizma
 - 8.4.5. Maruziyet Yolları
 - 8.4.6. Sağlık Etkileri
- 8.5. Hidrokarbonlar
 - 8.5.1. Oluşum Kaynakları
 - 8.5.2. Havada Bulunuşu

- 8.5.3. Ölçüm Yöntemleri
- 8.5.4. Sağlık Etkileri
- 8.6. Polinükleer Aromatik Hidrokarbonlar (PAH)
- 8.6.1. Oluşum Kaynakları
- 8.6.2. Havada Bulunuşu
- 8.6.3. Maruziyet Yolları
- 8.6.4. Kinetik ve Metabolizma
- 8.6.5. Sağlık Etkileri
- 8.7. Karbon Oksitleri
- 8.7.1. Karbon Monoksit
- 8.7.1.1. Oluşum Kaynakları
- 8.7.1.2. Havada Bulunuşu
- 8.7.1.3. Maruziyet Yolları
- 8.7.1.4. Ölçüm Yöntemleri
- 8.7.1.5. Kinetik ve Metabolizma
- 8.7.1.6. Sağlık Etkileri
- 8.7.1.7. Maruziyet Seviyeleri
- 8.7.2. Karbon Dioksit
- 8.7.2.1. Ölçüm Yöntemleri
- 9. Smog ve Fotokimyasal Smog
- 10. Uyarı Kademeleri
- 11. Hava Kirlenmesinin Önlenmesinde Alınabilecek Önlemler
- 12. Kaynaklar

I.I. GİRİŞ

Atmosferi meydana getiren gazların karışımlarından oluşan hava, canlı organizmanın yaşam sürecindeki en önemli ögelerden biridir. Bir insanın günde yaklaşık olarak 2.5 lt. su, 1.5 kg. besin, 10 - 20 m³ hava gereksinimi vardır. Açlığa 60 gün, susuzluğa 6 gün dayanabilen insan, havasızlığa ancak 6 dakika dayanabilmektedir.

İnsan, hayvan, bitki veya eşyalara zarar verebilecek miktarlarda toz, tütsü (fume), gaz, sis (mist), koku, duman veya buharlar gibi dış atmosferde bulunan bir veya daha fazla kirletici hava kirliliğine neden olmaktadır.

Hava kirlenmesinin geniş anlamda tanımını," Havanın doğal yapısında bulunan esas maddelerin yüzde miktarlarının değişmesi veya yapısına yabancı maddelerin girmesi sonucu insan sağlığını ve huzurunu bozan hayvan, bitki ve eşyaya zarar verecek derecede kirlenmiş olan havadır " şeklinde yapabiliriz.

1. ATMOSFER

1.1 TANIM

Yer küresinin etrafını saran gaz kütleye atmosfer denir. Atmosfer içinde bulunan oksijen hayatın gelişmesini temin ettiği gibi, meydana getirdiği diğer uygun şartlarla da hayatın sürekliliğini sağlar. Bunun yanı sıra güneşten dünyaya gelen enerjinin tekrar uzaya süratle dönmesini önler. Atmosfer yer kürenin etrafında adeta düzenleyici ve koruyucu bir örtü şeklindedir.

1.2 ATMOSFERİN BİLEŞİMİ

Atmosferde bulunan gazları üç grupta inceleyebiliriz.

- A. Havada devamlı bulunan ve miktarları değişmeyen gazlar (Azot, Oksijen, Asal gazlar)
- B. Havada devamlı bulunan ve miktarları azalıp çoğalan gazlar (Karbondioksit, Su buharı, Ozon)
- C. Havada her zaman bulunmayan gazlar (Kirleticiler)

Atmosfer içindeki gazların hacimsel oranları yatay ve dikey hava hareketleri nedeni ile yerden 25 km. yüksekliğe kadar hemen hemen sabit kalır. Daha yukarı tabakalarda ise dikey hava hareketlerinin bulunmaması nedeni ile; gazlar Dalton Kanununa göre, ağırlıklarına uygun katmanlar halinde sıralanmışlardır. Havada devamlı bulunan ve miktarları değişmeyen gazlar, hayatın sürekliliğini sağlayan unsurlardır. Havada devamlı bulunan ve miktarları azalıp çoğalan gazlar ise iklimler üzerinde önemli etkiler meydana getirirler.

Atmosferde 25 km. yüksekliğe kadar bulunan gazların miktarları aşağıda belirtilmektedir;

Gazlar	Sembolleri	Hacimsel Yüzdeleri (%)	Molekül Ağırlığı
Azot (Nitrojen)	N ₂	78.08	28.02
Oksijen	O ₂	20.94	32.00
Argon	Ar	0.93	39.88
Karbondioksit	CO ₂	0.03 (Değişebilir)	44.00
Neon	Ne	0.0018	20.18
Helyum	He	0.0005	4.00
Su Buharı	H ₂ O	0.004 (Değişebilir)	18.02

1.3 ATMOSFERİN KATLARI

Atmosferi oluşturan katlar farklı özellikler gösterir. Katları özelliklerine göre uzayla yeryüzü arasındaki düşey doğrultuda sınıflandırabiliriz.

A. Gazlara göre atmosferin katları

Uzay	10,000 km
Hidrojen Katı	2,400 km
Helyum Katı	965 km
Atomik Oksijen Katı	115 km
Moleküler Oksijen Katı	Yeryüzü

B. Fiziksel ve Kimyasal Özelliklerine Göre Atmosferin Katları

Ekzosfer	300-325 km
Iyosfer	80-90 km
Kemosfer(Şemosfer)	45 km
Ozonosfer	12 km.
Troposfer	Yeryüzü

C. Sıcaklığına Göre Atmosferin Katları

Mezopoz Termosfer	80 km
Stratopoz Mezosfer	45-50 km.
Tropopoz Stratosfer	12 km.
Troposfer	Yeryüzü

Troposfer : Yerden 12 km. yüksekliğe kadar ulaşan ilk atmosfer tabakası troposfer olarak adlandırılır. Canlılar, meteorolojik olayların tümünün meydana geldiği bu tabakada yaşamlarını sürdürürler. Troposfer atmosfer ağırlığının %75'ini, su buharının %99'unu içerir. Normal olarak bu tabakadaki sıcaklık her 100 m.lik yükseliş için 0.65°C.lik düşüş gösterir. Bazen sıcaklığın yükseklikle arttığı gözlenir, bu olaya " İnverson " veya " Sıcaklık Terselmesi " denir. Sıcaklığın yükseklikle değişmediği haller ise " İzotermal Durum " olarak adlandırılır.

Bir çok meteorolojik olay ilk 6 km'de meydana gelir. Yükseklikle sıcaklık azalmasının durduğu yer Tropopoz olarak adlandırılır. Geçiş bölgesi olan bu katmanın kalınlığı birkaç kilometredir.

Stratosfer : Atmosferin ikinci katmanı olup, kararlı tabaka olarak adlandırılır. Durgun özellikli hava hareketleri görülür, ozon

gazını içermesi nedeni ile sıcaklık yükseklikle artış gösterir. Bu tabakaya Ozonosfer adı da verilir.

Mezosfer: 54-80 km'ler arasındaki tabaka olup, sıcaklık yükseklikle azalma gösterir.

Termosfer: Bu tabaka 90 km'den itibaren başlar. Sıcaklık önce yavaş daha sonra hızla artış gösterir.

1.4 HAVA KİRLİLİĞİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Bu etmenlerin tanımları aşağıda kısaca yapılmaktadır.

1.4.1 Sıcaklık

Genelde sıcaklık ile ısı kavramları birbirine karıştırılmaktadır. Sıcaklık, ısı enerjisinin sonucu olan molekül titreşimlerinin etrafa yaptığı etki olarak tanımlanır.

1.4.2 Basınç

Atmosferi oluşturan gazların ağırlıklarının atmosfer içinde ve altındaki cisimlere yaptığı etkidir.

A. Yüksek Basınç : Havanın soğuması ile yoğunlaşan havanın yer çekimi etkisi ile yeryüzüne çökmesi sonucunda, bu havanın altındaki yüzeylere yaptığı basınca yüksek basınç denir.

B. Alçak Basınç : Havanın ısınması ile genişleyen havanın altındaki cisimlere yaptığı basıncın azalmasıyla oluşan basınçtır.

1.4.3 Rüzgar

Yatay yönde yer değiştiren hava kütlelerinin hareketine rüzgar adı verilir. Rüzgarın; yönü, hızı (şiddeti) ve sıklığı (frekans) olarak üç özelliği vardır.

1.4.4 Yağış

Havadaki su buharının çeşitli koşullarda yoğunlaşarak atmosferden düşmesine yağış adı verilir. Yağışlar; yağmur, kar, dolu olarak düşen çiy, kırağı; sis olarakta düşmeyen hidrometeorlar olarak ikiye ayrılır.

1.4.5 Nem

Atmosferde bulunan su miktarı atmosferin nemliliği olarak adlandırılır. 1 m^3 hava içindeki su buharının gram olarak ağırlığına

mutlak nem denir. Havanın o anda taşıdığı nemin aynı sıcaklıkta yüklenebileceği en yüksek nem miktarına oranına nisbi nem denir. Bu değer yüzde ile ifade edilir.

1.4.6 Güneş Radyasyonu

Güneşten gelen ışınlar, atmosferin içine girdiği andan itibaren kırılıp, yansıyor, yutulur, yön ve şekil değiştirirler. Güneşten doğrudan doğruya gelen ve yayılan ışınların tümüne Global Solar Radyasyon adı verilir. Güneşten gelen, yer yüzü tarafından tutulan ve daha sonra yayılan radyasyona da Net Radyasyon adı verilir.

2. HAVA KİRLİLİĞİNİN KAYNAKLARI

Orman yangınları, volkanik patlamalar, bataklıklarda anaerob bakterilerin kompleks organik maddeleri hidrolizi sırasında ortama verilen; karbondioksit, metan, vb. gibi gazların atmosfere yayılması gibi doğal olaylar nedeni ile atmosfer hiç bir zaman tertemiz olmamıştır.

Prehistorik devirde ateşin bulunması ile başlayan atmosferik kirlilik 20. yüzyılın ortalarından itibaren patlama noktasına varan endüstrileşme, kırsal alanlardan kentlere yönelik büyük insan göçü hava kirlenmesi olayının boyutlarını, bazı epizotlara* sebep olacak ölçüde büyütüştür. Örneğin; 1952 yılında Londra'da yaşanan epizotta 4000 kişi hayatını kaybetmiştir.

Hava kirliliğinin boyutları özellikle teknolojik gelişme ile fosil kaynaklı yakıtların kullanılması ile hızla artmıştır.

Hava kirliliği temel olarak; volkanik patlamalar, orman yangınları gibi doğal kaynaklardan ve insan aktivitelerine bağlı olarak oluşabilen yapay kaynaklardan meydana gelmektedir.

2.1 YAPAY KAYNAKLAR

İnsan faaliyetleri sonucunda oluşan yapay kirlilik kaynakları iki şekilde sınıflandırılır.

I. Sabit Kaynaklar, bunlar ısınma ve üretim amaçlı faaliyetlerin yapıldığı yerlerdir.

II. Hareketli Kaynaklar, ise taşımacılık amacı ile kullanılan araçlardır.

Diğer bir sınıflandırma ise :

A. Nokta Kaynaklar

B. Alan Kaynaklar, şeklinde yapılabilir.

Evsel kaynakların hakim olduğu kentsel alanlardaki bacalar ve taşıt egzostları alan kaynakları, büyük endüstriyel tesisler ise nokta kaynakları meydana getirir.

2.1.1 Yapay Kaynaklardan Oluşan Kirliliği Etkileyen Faktörler

A. Meteorolojik Faktörler :

Sıcaklık, basınç, yağış, rüzgar, nem ve güneş radyasyonudur.

B. Konum ve Topografik Yapı :

Hakim rüzgarlara açık olmayan alanlar üzerinde yeterli hava hareketleri olmayacağından, hava kirlenmesinin artması söz konusu olacaktır.

C. Plansız Kentleşme ve Yeşil Alanların Yeterli Miktarda Bulunmaması :

Kırsal kesimlerden kentlere aşırı göçün getirdiği plansız yerleşiminde bir sonucu olarak, yeşil alanların zaman içinde önemli ölçüde azalması söz konusudur.

D. Kullanılan Yakıtlar :

Hava kirliliğini etkileyen faktörlerin en önemlisini ısınma veya ulaşım amacı ile kullanılan yakıtların kalitesi teşkil eder.

E. Kullanılan yakıt ve proseslere yönelik uygun teknolojilerin seçilmesi

(*) Epizod: Hava kirliliğinin anormal ölçülerde artması ve bu seviyede bir kaç gün kalması sonucunda hastalıkların ve ölümlerin artması olayıdır.

3. HAVA KİRLİLİĞİNİ OLUŞTURAN KİRLETİCİLER

Hava kirliliğini meydana getiren kirleticiler aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilir.

3.1 KAYNAKTAN ÇIKIŞLARINA GÖRE

3.1.1 Primer Kirleticiler

Bunlar kaynaktan doğrudan doğruya çıkan bileşiklerdir. Kükürtdioksit (SO_2), Hidrojen Sülfür (H_2S), Azot Monoksit (NO), Azot Dioksit (NO_2), Karbon Monoksit (CO), Karbon Dioksit (CO_2), Hidrojen Florür (HF), Partiküller, vb.

3.1.2 Sekonder Kirleticiler

Atmosferde sonradan oluşan kirletici bileşiklerdir. Kükürt Trioksit (SO_3), Sülfürik Asit (H_2SO_4), Aldehitler, Ketonlar, Asitler, Endüstriyel Duman, vb.

3.2 KAYNAKLARINA GÖRE KİRLETİCİLER

3.2.1 Doğal Kaynaklardan Oluşan Kirleticiler

Deniz yosunlarının ortama verdiği gazlar, yanardağ veya orman yangınlarından atmosfere yayılan zararlı bileşikler, doğadaki biyolojik değişimler sırasında açığa çıkan karbon oksitler, metan, vb.

3.2.2 Yapay Kaynaklardan Oluşan Kirleticiler

Fosil kaynaklı yakıtların (odun, kömür, benzin, fuel-oil gibi) yanması sonucunda ortaya çıkan; Partiküller, Kükürt Dioksit, Azot Oksitleri, Karbon Oksitleri, Kurşun, Hidrokarbonlar, vb.

3.3 KİMYASAL YAPILARINA GÖRE KİRLETİCİLER

3.3.1 İnorganik Gazlar

Azot Oksitler, Karbon Oksitler, Kükürt Oksitler, diğer anorganikler (Florür, Klorür, Amonyak, vb.)

3.3.2 Organik Gazlar

Hidrokarbonlar, Aldehitler, Ketonlar ve diğer organikler (Benzen, Benzo- α -pyrene)

3.3.3 Partiküller

Katı partiküller (toz, duman, kül, karbon, kurşun, asbest), sıvı partiküller (sis, duman, yağ ve asitler)

4. HAVA KİRLİLİĞİNİN ETKİLERİ

Özellikle yapay kaynaklardan dış ortama verilen kirleticilerin yıllık miktarları, bir kaç yüz tondan milyonlarca tona kadar ulaşmaktadır. Bunlar oluştukları alan ve miktarlarına bağlı olarak, değişen ölçülerde etki meydana getirirler.

Havaya karışan kirleticilerin insanlarca solunması (doğrudan doğruya maruziyet), havadan toprak, bitki, hayvan ve diğer çevresel ortamlara geçerek biriken kirleticilerin içme suyu ve besin zincirine karışmaları (dolaylı maruziyet) ile vucuda giren kimyasalların birikimi ve emilimi sonucunda meydana gelen olumsuz sağlık etkileri hava kirliliğinin en önemli etkisidir.

Hava kirliliği, çevrenin bir parçası olan eşyalar üzerinde de olumsuz etki gösterir. Örnek olarak; havada rutubetin artması ile ortamda bulunan kükürt veya azot oksitlerin kimyasal reaksiyonu sonucunda oluşan asitlerin, binalara ve sanat eserlerine yaptıkları tahribat gösterilebilir. Aşırı miktarlarda atmosfere verilen karbon dioksitin global ısınmayı arttırması, mevsim değişikliklerine neden olması (sera etkisi) sonucunda eko sistem üzerinde meydana gelen olumsuz değişiklikler de bir başka örnek olarak verilebilir.

5. TAŞINMA ve BİRİKİM

5.1 TAŞINMA

Hava kirleticileri, yoğunluklarının çok az olması nedeniyle çok hızlı hareket edebilme özelliğine sahiptirler. Buna bağlı olarak uygun meteorolojik koşullar altında, bir kaynaktan dış ortama verilen kirletici gaz ve tozlar, hava akımları vasıtasıyla dağılarak, kirleticilerin seyrelmesi sonucunda kaynak ve çevresindeki hava temizlenir. Bunun yanı sıra bu kirliliğin hava hareketleri ile kentler, ülkeler hatta kıtalar ötesi taşınması mümkündür. Bu taşınma sırasında kirleticiler, taşınma mesafesi üzerindeki alanlarda da etki gösterirler.

Başlangıçta kirliliğin, kentsel alanlardan taşınımı düşünülürken daha sonraları bu mesafenin yüzlerce kilometreden binlerce kilometreye kadar uzandığı belirlenmiştir. Taşınma menziline göre taşınma periyodunda da değişim söz konusudur.

Kaynaklarından çıkan kirleticiler; atmosferik hava hareketleri ile, kentsel alana birkaç saat, bir kentten diğerine bir kaç gün, bir ülkeden diğer ülkeye bir kaç yıl, dünya çapında ise 10 yıl periyodunda dağılarak etkileşim gösterirler.

Uzun menzilli taşınmalarda söz konusu olan kirleticilere; radyoaktif bulutlar, orman yangını tozları, volkanik dumanlar, çöl tozları, karbondioksit, kloroflorokarbonlar, vb. gazlar örnek olarak verilebilir. Ülkeler arasında taşınabilen kirleticilere örnek olarak; kükürt oksitleri, azot oksitleri ve partiküler madde gibi atmosferdeki kalış süreleri, bir kaç günden bir kaç haftaya kadar değişen kirleticiler gösterilebilir.

5.2 BİRİKİM

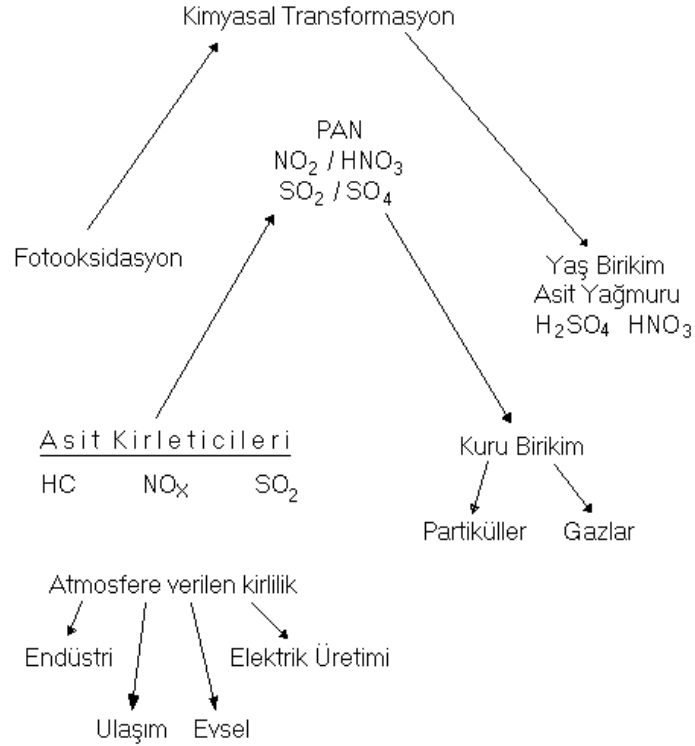
Kirleticiler atmosferde bir süre taşındıktan sonra; çökme, seyrelme, kimyasal reaksiyonlara girme gibi değişik proseslerle atmosfenden uzaklaşarak yer yüzünde toplanırlar. Bu olay " Birikim " olarak tanımlanır.

Bu kimyasal transformasyon sonucunda kirleticiler ortaya çıkmaktadır. Bunlar örneğin, SO_4 , NO_3 , oksidant, sülfürlü azotlu bileşiklerden oluşan organik aerosollerdir.

Birikim, yağ ve kuru birikim şeklinde sınırlandırılmaktadır. Olayın tümü bir transformasyon içinde düşünülebilir. Kirleticilerin transformasyonu fiziksel (kuru birikim) olduğu gibi kimyasal (yağ birikim) veya fiziksel, kimyasal ve biyolojik değişim aşamalarının tümünün bir arada gerçekleşimi ile (Dönüşüm ve Uzaklaşma Prosesi = Scavenging Process) mümkündür. Örneğin, kirleticiler partikül

yüzeyine tutunarak kuru birikime, kar, yağmur, dolu, çığ gibi hidrometeorlarla yağ birikime uğrayarak yeryüzünde birikirler.

Aşağıda kimyasal transformasyon şematik olarak belirtilmektedir.



Atmosferde bulunan ve özellikle fosil kaynaklı yakıtların yakılması sonucunda ortama yayılan azot ve kükürt oksitleri atmosferik nemin etkisi ile asit forma dönüşürler.

Bu asit oluşumları; partikül yüzeylerinde tutularak (adsorpsiyon) veya kar, dolu, yağmur gibi hidrometeorlarla birleşerek (asit aerosolleri) yer yüzünde toplanıp atmosferden uzaklaşırlar. Asit oluşumlarının hidrometeorlarla yeryüzünde toplanma prosesine Asit Birikimi (Acid Deposition) adı verilir.

6. İÇ ORTAM HAVA KİRLİLİĞİ

Çok özel durumlar dışında, insanların % 90 zamanlarını iç ortamda (ev, büro) geçirmeleri nedeni ile, buralarda bulunabilecek kirleticilere de maruziyet söz konusudur. Karbon oksitleri, azot oksitleri, polisiklik aromatik hidrokarbonlar, radon, formaldehit, su buharı, sigara dumanı, havadan kaynaklanan allerjenler, patojenler mineral lifler, polimerler, tüketici eşyalarından oluşan toksik emisyonlar gibi iç ortam kirleticileri; normal ev ve büre aktiviteleri sırasında ortama karışarak insan sağlığı üzerine olumsuz etki yaparlar.

Belli kaynaklardan dış ortama verilen kirleticilerin yanı sıra, iç ortama verilen kirleticilerin de hava kirliliğine katkıları söz konusudur. İnsanlar hava kirliliğini oluşturan kirleticilere dış ortamda, iç ortamda ve iş ortamında maruz kalmaktadırlar.

İş türüne bağlı olarak ortama verilen kirleticilerin bulunduğu iş ortamında oluşan kirlilik, hava kirliliği konuları kapsamına dahil edilmemektedir.

Çoğu zaman iç ortamdaki karbon monoksit, solunabilir partiküller, formaldehit, azot oksit, radon gibi kirleticilerin konsantrasyonları dış ortamdakinden daha fazladır.

İç ortamdaki kirleticilerden insan sağlığını en çok etkileyen sigara içimidir. Aynı ortamda bulunan, sigara içmeyen kişiler de sigara dumanından etkilenmekte ve bu kişilere de " Pasif İçiciler " adı verilmektedir.

Son yıllarda, genelde iç ortamda yaşayan kişilerin sağlıkları ile ilgili bir takım şikayetler söz konusu olmuştur.

Bu şikayetler; enerji korunması amacıyla ısı yalıtımının gerçekleştirildiği ve buna bağlı olarak iç ortam hava sirkülasyonunun en az düzeye indiği, yetersiz havalandırmanın yapıldığı, tekstil mamulu (duvardan duvara halı, duvar kaplamasında kullanılan kumaşlar) materyallerin fazlası ile kullanıldığı, dış ortama açılmayan pencerelerin bulunduğu ve klima cihazlarının kullanıldığı iç ortamlarda; deri ve mukoz doku (ağız ve burun içi) kuruluşu, deri kızarıklıkları, zihinsel yorgunluklar, baş ağrısı, sıklıkla rastlanılan solunum yolları enfeksiyonları ve öksürük, ses boğukluğu, kısıklığı, mide bulantısı, baş dönmesi, kas seyrimesi ve tanımlanamayan allerjik reaksiyonlar şeklinde olduğu tesbit edilmiştir. Bu şikayetlerin tümüne " Hasta Bina Sendromu " (Sick Building Syndrome) adı verilmektedir.

7. ÜLKEMİZDE HAVA KİRLENMESİNE YÖNELİK OLARAK YAPILAN ÇALIŞMALAR

1930 yılında kabul edilen 1593 sayılı Umumi Hıfzıssıhha Kanunu'nun 268-275. maddelerinde değinilen Gayrı Sıhhi Müesseseler'le ilgili hükümlerle ilk kez çevre sağlığı konusunda yaklaşım gösterilmiştir. 1957 senesinde gündeme gelen Ankara hava kirliliği konusu değişik hükümet programlarında söz konusu edilmiştir.

Ülkemizde hava kirliliği çalışmaları ilk olarak 1961 yılında Sağlık Bakanlığı bünyesinde, Ankara'da 2 adet yarı otomatik kükürt dioksit ve duman ölçer cihazla başlatılmıştır.

9 Ağustos 1983 tarihinde 2873 sayılı Çevre Kanunu yürürlüğe girmiştir. Bu kanun; çevrenin korunması, iyileştirilmesi, kırsal ve kentsel alanlarda arazinin ve doğal kaynakların en uygun şekilde kullanılması, doğal ve tarihsel zenginliklerin korunarak bu günkü ve gelecek kuşakların sağlık, uygarlık düzeylerini korumak amacıyla alınacak önlemler ve düzenlemeleri kapsamaktadır.

Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği; 2 Kasım 1986 tarih ve 19269 sayılı resmi gazetede yayınlanarak yürürlüğe girmiştir. Bu yönetmelik " Her türlü faaliyet sonucu atmosfere yayılan is, duman, toz, gaz, buhar ve aerosol halindeki emisyonları kontrol altına almak, insanı ve çevresini hava alıcı ortamdaki kirlenmeden doğacak tehlikelerden korumak, hava kirlenmeleri sebebi ile çevrede ortaya çıkan umum ve komşuluk münasebetlerine önemli zararlar veren olumsuz etkileri gidermek ve bu etkilerin ortaya çıkmamasını sağlamak amacıyla ve çevre kanunu hükümleri gereğince çıkarılmıştır.

Bu yönetmelik; amaç, istisnalar, tanım, hava kalitesi sınır değerleri, hedef sınır değerleri, özel koruma alanlarında bazı hava kirleticileri için özel sınır değerler, kirleticilerin ölçüm ve tesbiti ile ilgili esaslar, izne tabi tesisler için emisyon sınırları gibi hava kirliliği ile ilgili bilgileri kapsamaktadır.

Uluslararası kuruluşlar ve ülkelerce yapılan araştırmalar sonucunda hava kirliliğini oluşturan kirleticilerin insan sağlığını olumsuz yönde etkilemeyecek " Güvenirliik Sınır Değerleri " tesbit çalışmaları yapılmış ve elde edilen bu değerlere " Standart Limit Değerler " adı verilmiştir. Aynı paralelde Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliğinde de çeşitli kaynaklardan ortama verilebilecek kirleticilere yönelik sınır değerler belirtilmektedir.

Tablo 1,2,3 de sırası ile Kısa ve Uzun Vadeli Sınır Değerler, Kükürt Dioksit ve Havada Asılı Partiküler Maddelere yönelik Kış Sezonu Ortalama Sınır Değerleri ve Hedef Sınır Değerleri belirtilmektedir. Uzun vadeli sınır değer; yıl boyunca yapılan ölçümler

sonucunda elde edilen değerlerin aritmetik ortalaması olan ve aşılmaması gereken değerdir. Kısa vadeli sınır değer ise; günlük ölümler sonucunda elde edilen değerlerin ortalaması olup, aşılmaması gereken sınır değerlerdir.

Hava kirliliğinin boyutlarının tesbiti ve kontrol tekniklerinin sonuçlarının izlenebilirliği sürekli ölümlerle sağlanabilir. Ölüm sonuçlarını yorumlayabilmek için hava kirliliğini oluşturan kirleticilerin özelliklerinin oluşumlarının, sağlık etkilerinin bilinmesinde yarar vardır.

Tablo 1 : Uzun ve Kısa Vadeli Sınır Değerler

	<u>Birim</u>	<u>UVS</u>	<u>KVS</u>
1. Kükürt dioksit (SO_2), (SO_3 dahil)			
a - Genel	$\mu g/m^3$	150	400(900)
b - Endüstri bölgeleri	$\mu g/m^3$	250	
2. Karbon Monoksit (CO)	$\mu g/m^3$	10,000	30,000
3. Azot Dioksit (NO_2)	$\mu g/m^3$	100	300
4. Azot Monoksit (NO)	$\mu g/m^3$	200	600
5. Klor (Cl_2)	$\mu g/m^3$	100	300
6. Klorlu Hidrojen (HCl) ve gaz halde anorganik klorürler (Cl^-)	$\mu g/m^3$	100	300
7. Florlu Hidrojen (HF) ve gaz halde anorganik florürler (F^-)	$\mu g/m^3$	-	10(30)
8. Ozon (O_3) Fotokimyasal Oksitleyiciler	$\mu g/m^3$	-	(240)
9. Hidrokarbonlar (HC)	$\mu g/m^3$	-	140(280)
10. Hidrojen Sülfür (H_2S)	$\mu g/m^3$	-	40(100)
11. Asılı Partiküler Madde (PM) (<10 μm)			
a - Genel	$\mu g/m^3$	150	300
b - Endüstri bölgeleri	$\mu g/m^3$	200	400
12. PM içinde Pb ve bileşikleri	$\mu g/m^3$	2	-
13. PM içinde Cd ve bileşikleri	$\mu g/m^3$	0.04	-
14. Çöken Tozlar (10 mikrondan büyük partiküller dahil)			
a - Genel	mg/m^2 gün	350	650
b - Endüstri bölgeleri	mg/m^2 gün	450	800
15. Çöken tozlarda Pb ve bileşikleri	mg/m^2 gün	500	-
16. Çöken tozlarda Cd ve bileşikleri	mg/m^2 gün	7.5	-
17. Çöken tozlarda Tl ve bileşikleri	mg/m^2 gün	10	-

Not : Parantez içindeki rakamlar referans maksimum saatlik sınır değerlerdir.

UVS : Uzun Vadeli Sınır Değer

KSV : Kısa Vadeli Sınır Değer

TABLO II Kış Sezonu Ortalaması Sınır Değerleri

	Sınır Değerleri
Kükürt Dioksit	250 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Asılı Partikül Madde	250 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

TABLO III Hedef Sınır Değerleri

	<u>SO₂</u> ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	<u>PM</u> ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Yıllık Aritmetik Ortalama	60	60
Kış Sezonu (Ekim-Mart) Ortalaması	120	120
Maksimum 24 Saatlik Değer	150	150
1 Saatlik Değer	450	-

8-KİRLLETİCİLER

Hava kirlenmesinin izlenmesinde özellikle kentsel kirleticiler olarak bilinen ve fosil yakıtlar ile motorlu taşıt araçlarından kaynaklanan kükürt dioksit, partiküler madde, karbon monoksit, hidrokarbonlar ve kurşun gibi kirleticilerin değerlendirilmesi söz konusudur.

Spesifik olarak değişik kaynaklardan dış ortama verilen ve lokal olarak etki gösteren kirleticiler bu kitap kapsamı dışında bırakılmıştır.

Aşağıda kentsel bir ortamda rutin olarak izlenen kriter kirletici parametrelerine yönelik bilgiler yer almaktadır.

8.1- KÜKÜRT DİOKSİT VE PARTİKÜLER MADDE

Kükürt dioksit ve partiküler madde dünyanın bütün kentsel alanlarında fosil kökenli yakıtların yanmasından oluşan hava kirleticilerinin en önemlileridir. Kükürt dioksit (SO₂) ve partiküler madde (PM) kirletici kompleksinin bileşenlerini oluştururlar.

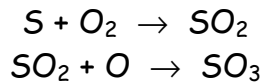
Bu grubu üç bölümde incelemek uygun olmaktadır.

- A. Kükürt dioksit
- B. Kükürt dioksitin atmosferdeki oksidasyonu ile oluşan asit aerosolleri
- C. Kükürt dioksit ve partiküler madde

A. Kükürt Dioksit

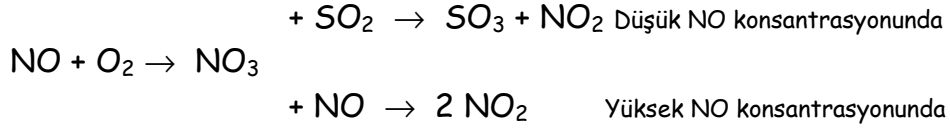
Renksiz, boğucu kokulu bir gazdır. Havada bulunabilen çeşitli katı partiküllerin yüzeylerinde reaksiyon gösterir. Suda hemen çözünür, havadaki su damlacıkları ile okside olur.

Fosil kökenli yakıtların yanması ile açığa çıkan kükürt, havada derhal oksidasyona uğrar. Bu oksidasyon iki aşamada gerçekleşir:



Ortamda herhangi bir katalizör madde bulunmadığı durumda, kükürt dioksit yavaş bir reaksiyonla kükürt trioksite dönüşür. Bu dönüşüm ortamda oksijen, ozon veya hidrokarbon serbest radikallerinin bulunması durumuna göre değişim gösterir.

Örneğin, ortamda azot monoksitin konsantrasyonuna bağımlı olarak iki ayrı reaksiyon oluşabilir.



Kükürt Trioksit : Sıcak ve soğuk suda eriyen renksiz bir gazdır. Atmosferde derhal sülfürik asite (H_2SO_4) dönüşmesinden dolayı, atmosferdeki kalış süresi çok kısadır. Su ile asit oluşturması nedeni ile kirletici olarak önem taşımaktadır.

Atmosferde sıkça bulunan ve insan aktiviteleri sonucunda atmosfere karışan diğer kükürt bileşikleri; hidrojen sülfür (H_2S), kükürtün merkaptan formu (örneğin: metil merkaptan) dur.

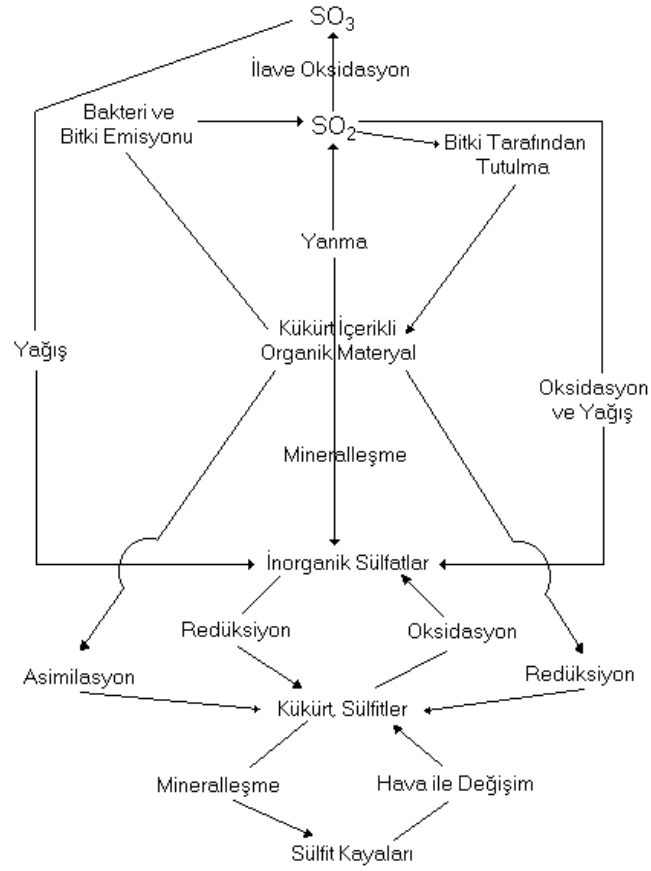
B. Asit Aerosolleri

Kükürt trioksit ile suyun reaksiyonu sonucunda oluşan sülfirik asit (H_2SO_4) kuvvetli bir asit olup, nem çekicidir.

Amonyum bisülfat (HN_4HSO_4), sülfirik asitten daha az asidik olup, saf olarak katı kristaller halinde bulunur. Asitler genelde havada aerosoller halinde bulunurlar. Bu aerosoller kar, yağmur, dolu gibi yağışlarla yer yüzünde birikirler.

Kirletici emisyonun fazla olmadığı şartlardaki yağışın; havada bulunan karbon dioksit ile reaksiyonu sonucunda oluşan karbonik asit nedeni ile hafif asidik olması doğaldır. Ancak yapay kaynaklardan atmosfere verilen kükürt emisyonunun yanı sıra, azot dioksit emisyonu ve atmosferik şartların etkinliği yağışın asiditesinin artmasına neden olur.

Doğadaki kükürt ve kükürt dioksit dönüşüm siklusu aşağıda şematik olarak gösterilmektedir.



C. Partiküler Madde

Hava kaynaklı partiküler madde (PM), inorganik ve organik maddelerin kompleks karışımlarını temsil eder. Kütle ve bileşimi yönünden; aerodinamik çapı 2.5 μm den büyük kaba partiküller, aerodinamik çapı 2.5 μm den küçük ince partiküller olarak iki gruba ayrılır.

Küçük partiküller; ikincil olarak oluşan aerosolleri (gaz-partikül dönüşümü), yanma sonucunda oluşan partikülleri, yoğunlaşan organik ve metal buharlarını içerir. Büyük partiküller; genelde yer kabuğu materyalleri yol ve endüstrilerden oluşan kaçak tozları içerir. Partiküler maddenin asit komponenti ve onun mutajenik aktivitelerinin çoğu genel olarak ince fraksiyonda bulunur.

Asılı partiküler madde çeşitli doğal ve yapay kaynaklardan ortama verilen katı ve sıvılar için kullanılan bir terimdir.

Solunabilir partiküler madde değişik kaynaklardan oluşmaktadır. Volkan patlamaları, fırtınalar, orman yangınları gibi doğal kaynaklardan oluşana göre, elektrik santralleri, endüstriyel prosesler, yakıtların yanması gibi yapay kaynaklardan oluşan partiküller, solunabilirlik açısından daha fazla önem gösterirler.

Yapısının karmaşıklığı ve maruziyet tayinindeki partikül boyutunun önemi gibi bazı nedenlere bağlı olarak, partiküler maddenin tanımlanması bir kaç şekilde yapılmaktadır. Bu tanımlamalar; örnekleme yöntemine göre (asılı partiküler madde, toplam asılı partiküler madde, siyah duman), solunum sistemindeki birikime göre (larenks altında biriken partiküller, thoracic partiküller), gerek fizyolojik gerekse örnekleme yöntemine göre (10 μm aerodinamik çaplı komponentler için PM_{10}) şeklinde yapılmaktadır.

8.1.1 Kükürt Dioksit, Partiküler Madde ve Asit Aerosolleri Oluşum Kaynakları

Kükürt dioksitin havadaki varlığının en önemli sebebi, insan aktivitelerinin oluşturduğu yapay kaynaklardır. Bunun yanı sıra orman yangınları, volkan patlamaları gibi doğal kaynaklardan da az miktarda kükürt dioksit havaya verilmektedir.

Atmosfere verilen kükürt konsantrasyonunun en önemli kısmı fosil kökenli yakıtların yanması sonucunda oluşur. Son yıllarda kullanılan yakıtların dikkatli seçimi veya kükürt içeriklerinin bazı işlemlerle azaltılması bu tür yakıtlardan oluşan kükürt dioksit konsantrasyonunu önemli ölçüde azaltmıştır.

Her saatte bir, yanma sonucunda oluşan kükürt dioksit emisyonlarının % 0.5-10'u kükürt trioksite (SO_3) dönüşmektedir. Kükürt trioksit ortamda bulunan nem ile reaksiyona girerek sülfürik asit (H_2SO_4) meydana gelir. Sülfürik asit havada aerosoller halinde bulunur. Bu asit aerosollerinin ortamdaki katı partiküller, damlacıklar veya diğer kirleticilerle birleşme eğilimi oldukça fazladır.

Havadaki sülfürik asitin büyük bir kısmı, yanma sonucunda oluşan kükürt dioksitten, diğer kısmı ise asit üretimi, gübre ve pigment üretimi gibi bazı endüstriyel faaliyetler sonucunda meydana gelmektedir.

Sülfürik asit ve bunun kısmi atmosferik nötralizasyon ürünü olan amonyumbisülfat havadaki aerosolün kuwetli asit içeriğinin hemen hemen tamamını oluşturur. Havada bulunan diğer asitler ise nitrik asit ve hidroklorik asittir. Bu asitler sis damlacıkları ile birleşmediği sürece havada aerosoller halinde bulunurlar.

8.1.2 Kükürt Dioksit, Partiküler Madde ve Asit Aerosollerinin Havada Bulunuşu

Avrupa'da kentsel yerleşim alanlarında; kükürt dioksit yıllık ortalama miktarı genelde 100-200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ civarındadır. Günlük ortalama miktar ise 250-500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ arasında değişim göstermektedir. Bir saatlik maksimum ölçüm değerleri de 1000-2000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ arasında tesbit edilebilmektedir.

İç ortamda bulunan kükürt dioksit miktarı dış ortamdan daha azdır. Bunun en büyük nedeni; iç ortamda kükürt dioksiti absorbe edebilecek duvar, mobilya, perde gibi eşyaların ve ventilasyon sistemlerinin bulunmasıdır.

Kükürt dioksit, doğal olarak havada 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ konsantrasyonundan daha düşük miktarlarda bulunabilmektedir.

Asit aerosolünün dağılımı; kükürt dioksit oksidasyonuna, kükürt dioksitin havadaki amonyak (NH_3) ile nötralizasyon oranına, dış ortam sıcaklığına, neme, oksitleyici madde konsantrasyonuna, atmosferdeki katalitik partikül komponentlerine bağlıdır.

Genelde asit aerosol miktarları bilinmemektedir. Son yıllarda Avrupa ve Amerikanın bazı şehirlerinde ölçülen en yüksek değerler 6-12 saatlik ortalama olarak 20-30 $\mu\text{g H}_2\text{SO}_4/\text{m}^3$, 1 saatlik ortalama olarak 680 $\mu\text{g H}_2\text{SO}_4/\text{m}^3$ şeklinde saptanmıştır.

İç ortam havasındaki H_2SO_4 miktarı ihmal edilebilecek kadar düşüktür.

Avrupa'da partiküler madde miktarlarının, kırsal alanlarda siyah duman olarak 0-10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, büyük şehirlerde yıllık ortalama miktarının 10-40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ konsantrasyonları arasında değişim gösterdiği belirlenmiştir. Ölçülen maksimum miktar ise 100-250 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ tür.

8.1.3 Ölçüm Yöntemleri

Bu kirleticilerden kükürt dioksit konsantrasyonu;

- A. Test Çözeltisinde Redoks
- B. Kondüktometrik
- C. Alev Fotometresi (FPD)
- D. Tetrakloro Merkürat (TCM) yöntemleri,

Partiküler madde konsantrasyonu;

I. Havada asılı partiküler madde için,

A. Filtre Sisteminde Kütle Konsantrasyonu

B. Filtre Sistemli (β Işınları Kırınımı)

C. Optik yöntemleri

II.Çöken tozlar için Bergerhoff yöntemi kullanılarak tesbit edilir.

Asılı partiküler maddelerdeki eser elementlerin ve yağışta yapılacak asidite, amonyak, nitrat, sodyum, kalsiyum, klor analizleri çeşitli kimyasal analitik yöntemlerin uygulanması ile gerçekleştirilir.

8.1.4 Maruziyet Yolları

Kükürt dioksit, asit aerosolleri ve asılı partiküler maddelerin etkileri ile ilgili maruziyet yolu inhalasyondur.

8.1.5 .Kinetik ve Metabolizma

Kükürt dioksit burun ve üst solunum yolları mukoz membranı aracılığı ile absorbe edilir. Solunan kükürt dioksitin yaklaşık % 85'i bu yolla vücuda alınır. Çok az bir miktarı alt solunum yoluna ulaşabilir. Solunum sistemi ile kana geçen kükürt dioksit , karaciğerde biyotransformasyona uğrayarak sülfata dönüşür ve üriner sistem aracılığı ile vücuttan atılır.

0.3-0.6 μm aerodinamik çaplı asit aerosolleri; ortamdaki damlacık ve nem miktarına bağlı olarak solunum sisteminde birikir ve bir kısmı buradan emilir. Sisli günlerde, ortamdaki asit aerosolleri çözünmüş asit içeren damlacıklara dönüşür. Bu damlacıklar birincil olarak üst solunum yollarında birikir, çok az bir kısmı da akciğerlerin derinliklerine nüfuz eder.

Solunan partiküler madde, solunum yolları yüzeyleri ile temasa geçerek burada birikir. Partiküllerin vücuda giriş ve vücuttaki birikimleri aerodinamik çaplarına ve vücuda giriş özelliğine göre değişim gösterir. 10 μm dan büyük partiküller extrathoracic bölümde, 5-10 μm dan küçük partiküller ise burun solunumu ile vücuda girmişlerse bronşlarda, ağız solunumu ile vücuda girmişlerse akciğerlerde birikim gösterirler. Üst solunum sisteminde biriken partiküller, solunum sisteminin kendi temizleme mekanizması aracılığı ile vücuttan atılır.

8.1.6. Sağlık Üzerine Etkileri

Kükürt dioksit, partiküler madde ve asit aerosolleri doğrudan doğruya solunum yollarını etkilerler. Kükürt dioksit ve atmosferdeki ürünleri iritan etki gösterirler. Solunan yüksek konsantrasyondaki kükürt dioksitin %95'i üst solunum yollarından absorbe olur. Bunun sonucu olarak, bronşit, anfizem ve diğer akciğer hastalık semptomları meydana gelir.

Asit aerosolleri ile partiküler maddelerin de akciğerlerden alveollere kadar taşınması nedeniyle bu kirleticilerin birarada bulduklarında yaptıkları olumsuz sağlık etkileri; her birinin ayrı ayrı yaptığı etkilerden daha fazladır. Bu olumsuz etkiler sonucunda ortaya çıkan önemli rahatsızlıklar arasında; pulmoner fonksiyon bozuklukları, kronik bronşit vakalarında artış, bronşiyal mukoza silialarının temizleme hızında artış, solunum yolları epitel dokusunda kalınlaşma gibi sağlık problemleri örnek olarak verilebilir.

Kısa ve uzun süreli olarak belirli konsantrasyonlara maruziyetin sağlık üzerine etkileri aşağıda belirtilmektedir.

Kısa Süreli Maruziyet

<u>Partiküller</u>	<u>SO₂</u>	<u>Duman</u>	<u>T.S.P°</u>	<u>Thoracic</u>
Aşırı ölüm	500	500		
Akut solunum hastalıklarında artış	250	250		
Akciğer fonksiyonunda azalma			180	110

- ° Toplam Asılı Partiküler Madde
- ° Değerler $\mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak ifade edilmektedir.

Kükürt dioksit ve partiküler madde yıllık konsantrasyonu ile ilgili uzun vadeli sağlık etkileri

	<u>Yıllık Ortalama Maruziyet</u>		
	<u>SO₂</u>	<u>Duman</u>	<u>T.S.P°</u>
Solunum semptomları veya hastalıklarda artış	100	100	
Akciğer fonksiyonlarında bozulma			180

- ° Toplam Asılı Partiküler Madde
- ° Değerler $\mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak ifade edilmektedir.

Birlikte bulunmaları halinde etkiler

	Ortalama Süre	SO ₂	Siyah Duman	T.S.P ^o	Thoracic Partiküller
Kısa Süreli Maruziyet	24 Saat	125	125	120	70
Uzun Süreli Maruziyet	1 Yıl	50	50		

- ° Toplam Asılı Partiküler Madde
- °° Değerler $\mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak ifade edilmektedir.

Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından; halk sağlığının korunabilmesi amacıyla $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$ /10 dakika kükürt dioksit sınır değerinin aşılması tavsiye edilmektedir. Yapılan hesaplamalarda bu değer maksimum 1 saatlik ortalama değer olan $350 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 'e eşdeğer bulunmaktadır.

8.2 ATMOSFERDEKİ METALİK PARTİKÜLLER

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, Civa 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.

Bu eser elementlerin konsantrasyon tayinleri "Filtre Sisteminde Kütle Konsantrasyonu" ile toplanan numunelerin analitik işlemlere tabi tutulması ile gerçekleştirilir.

8.2.1 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.

8.2.1.1 Oluşum Kaynakları :

Atmosferdeki kurşunun yaklaşık olarak % 80-90'ı ; yakıtlara katkı maddesi olarak ilave edilen alkil kurşunun yanması sonucunda meydana gelir. Motorlu taşıtlarda kullanılan yakıtların yanması ile atmosfere yayılan kurşun miktarı ülkeden ülkeye, kaynaktan kaynağa değişim gösterir. Ayrıca kurşun cevherinin çıkarılması amacı ile yapılan çalışmalar, endüstriyel faaliyetler, kurşun içeren eşya ve maddelerin insineratörlerde yakılması gibi işlemlerde atmosferik kurşun emisyonuna katkıda bulunur.

8.2.1.2 Havada Bulunuşu :

Atmosferdeki kurşunun temel (background) konsantrasyonu $5 \times 10^{-5} \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak tahmin edilmektedir. Kentsel alanlara yakın veya kentsel olmayan alanlardaki kurşun konsantrasyonu yaklaşık olarak $0.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dir. Kırsal alanlarda ise bu konsantrasyon $0.1-0.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ değerleri arasında değişim gösterir.

Benzine ilave edilen tetraetil veya tetrametil kurşun katkı miktarlarının azaltılması sonucunda, atmosferik kurşun konsantrasyonunda azalma eğilimi gözlenmektedir. Avrupadaki kentlerde yıllık ortalama kurşun konsantrasyonu $0.5-3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ değerleri arasında değişim göstermektedir.

8.2.1.3 Maruziyet Yolları :

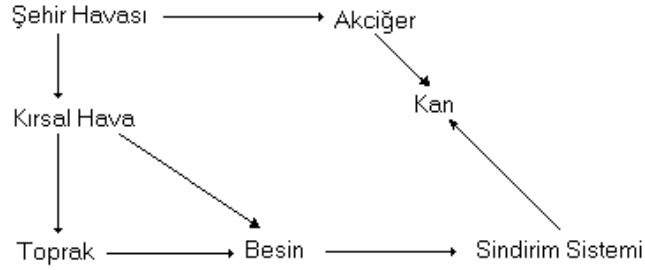
Havada bulunan kurşunun yeryüzünde birikimi çeşitli yollarla meydana gelir. Bu değişik birikimlere bağlı olarak kurşun maruziyet yolları değişim gösterir. Havadan solunum sistemi, yiyecek ve içeceklerden sindirim sistemi aracılığı ile vücuda girmesi söz konusudur.

Havada bulunan kurşunun yaklaşık olarak %15-70'i solunum sistemi, %10'u ise gastrointestinal sistem ile vücuda alınır. Günlük olarak vücuda alınan kurşun miktarı 100-500 μg değerleri arasında değişir.

8.2.1.4 Kinetik ve Metabolizma :

Solunum yolu ile alınan kurşunun absorpsiyonu; partikül boyutuna ve ventilasyon hızına bağlıdır. Sindirim sistemindeki absorpsiyon beslenme şekline bağlı olarak değişim gösterir.

Atmosfer kurşununun kan kurşununa etkisi şematik olarak aşağıda belirtilmektedir.



Absorbe olan kurşunun % 95' i mineral dokuya (kemik ve dişler) % 5 lik kısmı ise kan ve yumuşak dokuya dağılır. Kan dolaşımındaki kurşunun % 99'u eritrositlere bağlanır. Kurşunun yarılanma ömrü; kanda 20-40 kemiklerde 10 yıldır. Absorbe olmayan kurşun feçes ile, absorbe olan kurşunun % 50-60'ı böbrek veya safra yolu ile vücuttan atılır.

8.2.1.5 Sağlık Etkileri

Kurşunun farklı enzim sistemleri ile etkileşim göstermesi nedeniyle bir çok organ veya sistem, kurşun birikimi için odak noktalarını oluştururlar.

Kandaki kurşun konsantrasyonunun 0.2 $\mu\text{g}/\text{ml}$ limitini aşması durumunda olumsuz sağlık etkileri gözlenir. Kan kurşun konsantrasyonu; 0.2 $\mu\text{g}/\text{ml}$ limitini aşması ile kan sentezinin inhibasyonu, 0.3-0.8 $\mu\text{g}/\text{ml}$ limitlerinde duyu ve motor sinir iletim hızında azalma, 1.2 $\mu\text{g}/\text{ml}$ 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 tesbit edilmiştir.

İnsanlarda temel (background) kan kurşun konsantrasyonunun $0.04-0.06 \mu\text{g}/\text{ml}$, kentsel alanlarda yaşayanlarda ise $0.1 \mu\text{g}/\text{ml}$ olduğu belirlenmiştir.

Dünya Sağlık Örgütü, sağlık üzerine olumsuz etkilerin gözlenmediği $0.1 \mu\text{g}/\text{ml}$ kan kurşun konsantrasyon limitinin aşılması amacıyla; kent havasındaki kurşun konsantrasyonunun $0.5-1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak hedeflenmesini önermektedir.

8.2.2 KADMIYUM

Kadmiyum (Cd) gümüş beyazı renğinde bir metaldir. Havada hızla kadmiyum oksite dönüşür. Kadmiyum sülfat, kadmiyum nitrat, kadmiyum klorür gibi inorganik tuzları suda çözünür.

8.2.2.1 Oluşum Kaynakları

Kadmiyum doğada çinko ile birlikte bulunur. Çinkonun rafinasyonu sırasında yan ürün olarak elde edilir. Kadmiyum bileşikleri; metallerin kaplanmasında, bakır gibi diğer metal alaşımlarında, alkali bataryalarında, plastiklerde stabilizer veya pigment olarak kullanılmaktadır. Kadmiyum içeren madde veya eşyaların çevreye atılması veya insineratörlerde yakılması ve kadmiyumun kullanımı sırasında yapılan aktiviteler atmosferik kadmiyum kirliliğini meydana getirir.

8.2.2.2 Havada Bulunuşu

Genelde yıllık ortalama miktar, kırsal alanlarda $1-5 \text{ ng}/\text{m}^3$, kentsel alanlarda $5-15 \text{ ng}/\text{m}^3$, endüstriyel alanlarda $15-50 \text{ ng}/\text{m}^3$ olarak belirlenmiştir.

Avrupa ülkelerinde yapılan ölçümlerde, dünyanın çeşitli ülkelerinde tesbit edilen miktarlar; kırsal alanlarda $0.1-1 \text{ ng}/\text{m}^3$, kentsel alanlarda $1-50 \text{ ng}/\text{m}^3$, endüstriyel bölgelerde $1-100 \text{ ng}/\text{m}^3$ kadmiyum konsantrasyonu olarak tesbit edilmiştir.

8.2.2.3 Maruziyet Yolları

İç ortam konsantrasyonunun dış ortam konsantrasyonuna eşit olduğu, dış ortam konsantrasyonunun $50 \text{ ng}/\text{m}^3$, günlük olarak solunan hava miktarının 20 m^3 olduğu varsayıldığı takdirde; havadan günlük olarak alınan kadmiyum miktarının $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ den fazla olmayacağı

hesaplanabilir. Solunan kadmiyumun % 50'si akciğerler tarafından absorbe edilir. Tütünün 0.5-3 $\mu\text{g}/\text{gr}$. kadmiyum içerdiği göz önüne alınırsa, günde 20 sigara içen bir kişinin 1-6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ konsantrasyonunda kadmiyumu inhale edeceği bir gerçektir.

İçme suyunda 0.1-2 $\mu\text{g}/\text{Lt}$. değerleri arasında değişim gösteren kadmiyum konsantrasyonu, bazı bölgelerde 10 $\mu\text{g}/\text{l}$.ye kadar ulaşır.Günlük olarak 2Lt. su tüketimi sonucunda, sadece su ile meydana gelen kadmiyum maruziyetinin 1-10 $\mu\text{g}/\text{gün}$ olabileceği hesaplanabilir.

Beslenme alışkanlıklarına göre, besinler ile günlük olarak alınan kadmiyum miktarı 10-30 μg . dır

Havada normal konsantrasyon limitleri arasında bulunan kadmiyum; kuru ve yaş birikim prosesler sonucunda toprağa, buradan da bitkiler aracılığı ile besin zincirine dahil olur.Havadaki konsantrasyonunun artması sonucunda, topraktaki kadmiyum birikiminin artacağı ve bunun topraktaki asidifikasyonu fazlaştırmasıyla bitkiler tarafından alınan kadmiyum miktarının artacağı belirlenmiştir.

Sigara (tütün) tüketimi nedeni ile iç ortam havasındaki kadmiyum konsantrasyonu, dış ortam konsantrasyonundan fazladır.

8.2.2.4 Kinetik ve Metabolizma

Akciğerler veya sindirim sisteminden emilen kadmiyumun önemli bir miktarı karaciğerde birikir. Karaciğerden böbreklere geçiş daha yavaştır. Kadmiyum böbreklerde birikim yapar. Biyolojik yarılanma süresi; karaciğerde 10 yıl, böbreklerde ise daha uzundur. Kadmiyumun eliminasyonunun az olması ve vücutta birikim yapması nedeni ile, yaşın ilerlemesi ile konsantrasyonda artış görülür. 50 yaş civarında bulunan insanların böbrekleri üzerinde yapılan araştırmalarda; böbrek korteksinin yaş ağırlığı üzerinden kadmiyum konsantrasyonu sigara içenlerde 100-150 mg/kg, sigara içmeyenlerde 10-20 mg/kg olarak tesbit edilmiştir.

8.2.2.5 Sağlık Etkileri

Havadaki kadmiyum fume konsantrasyonu 1 mg/m³ 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. Yapılan araştırmalarda; böbrekte biriken kadmiyum konsantrasyonunun (yaş ağırlık üzerinden) 200 mg/kg'a ulaşması durumunda, böbrek fonksiyonlarında bozulma olduğu tesbit edilmiştir.

Böbrekte oluşan hasarın tekrar geriye dönüşü mümkün değildir. Akciğer ve prostat kanserlerinin oluşumunda kadmiyumun etkisi kesin olarak belirlenmiştir.

Dünya Sağlık Örgütü insan sağlığının korunması için havadaki kadmiyum konsantrasyonunun; kırsal alanlarda 1-5 ng/m³, zirai faaliyetlerin bulunmadığı kentsel ve endüstriyel bölgelerde 10-20 ng/m³'ü aşılmasını tavsiye etmektedir.

8.2.3 NİKEL

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.

8.2.3.1 Oluşum Kaynakları

Nikel yer kabuğunda 58-94 mg/kg arasında değişen oranlarda bulunur. Sudaki doğal nikel miktarı çok düşüktür. Amerikada yapılan çalışmalarda bu miktar 4.8 µg/Lt. olarak belirlenmiştir. Nikel miktarı kayalarda 2-60 mg/kg, çiftlik toprağında 5-500 mg/kg, Kanada ham petrolünde 0.29-76.6 mg/kg, kömürdeki nikel safiyetsizliği ise 2 gr/kg olarak tesbit edilmiştir.

Nikel; demir üretiminde, diğer metallerin alaşımlarında, metallerin elektrolizle kaplanmasında katalizör olarak, paranın basılması sırasında, bazı bataryalarda, elektronik aksam bileşimlerinde, propilen ve renkli camların boyanması işlemlerinde kullanılır.

Atmosferdeki nikel oluşum kaynaklarının başlıcasını, fuel-oil ve bunun kalıntılarının yakılması, nikel madeninin işlenmesi ve rafinerasyonu, belediye atık insineratörleri, kömürün yakılması oluşturur. Kömürün yanması sonucunda meydana gelen nikel sülfat emisyonu, havadaki nikel sülfat emisyonunun % 20-80'ini oluşturur.

8.2.3.2 Havada Bulunuşu

Avrupanın bazı kentlerinden uzak alanlarda 0-0.6 ng/m³, kent yakınında 9-50 ng/m³, kentlerde ise 60-300 ng/m³ nikel konsantrasyonları tesbit edilmiştir.

8.2.3.3 Maruziyet Yolları

Nikelin maruziyet yolları; solunum, deriden emilim ve beslenmedir.

Dış ortam havasındaki nikel konsantrasyonu 10-20 ng/m³, günlük solunum kapasitesi 20 m³ olarak kabul edilirse, bir insanın günlük olarak aldığı nikel miktarı 0.2-0.4 µg olarak hesaplanır. Tütün kullanımı bu miktarı arttırır. Günde iki paket sigara içen bir kişinin, günde 3-15 µg nikel alması mümkündür.

5 µg/Lt. nikel içeren sudan 2 Lt tüketen bir kişinin günlük olarak alabileceği nikel miktarı 10 µg dır.

Besinler aracılığı ile günlük olarak alınabilecek nikel miktarı 0.05-5 mg limitleri arasında değişim göstermektedir. Genelde bitkisel besinler, hayvansal besinlerden daha fazla miktarda nikel içerir.

8.2.3.4 Kinetik ve Metabolizma

Çeşitli hayvan ve bitki türlerinin yaşam süreçlerinde önemli bir eser element olan nikelin, insan hayatındaki eksikliği ile oluşacak belirtileri hakkında kesin bilgi bulunmamaktadır.

Solunum yolu ile alınan nikelin akciğerlerden emilimi hızla gerçekleşir. Akciğerlerde biriken partiküler maddede bulunan nikel, yine buradan absorblanır.

Nikel maruziyeti sonucunda günlük olarak alınabilecek miktarlar; kent havasından 0.4 µg, kırsal bölge havasından 0.2 µg olduğu hesaplanmaktadır,

Absorbe olan nikel ilk önce kan dolaşımına geçer. Normal şartlarda insan vücut sıvılarındaki nikel miktarı; kanda 4.5 µg/kg, idrarda 2.7 µg/kg, akciğerde 7.4 µg/kg, böbrekte 13.6 µg/kg olarak belirlenmiştir. Emilen nikelin bir kısmı da saçta birikir. Fizyolojik stres ve değişik hastalıklar nikel metabolizma kinetiğini etkiler.

Absorbe olan nikelin eliminasyonu en fazla idrarla olur. Bunun yanı sıra eliminasyonun bir kısmı salya ve ter ile de meydana gelir. Emilmeyen nikel, gastrointestinal sistemden feçesle atılır. Nikelin biyolojik yarılanma ömrü 17-53 saattir.

8.2.3.5 Sağlık Etkileri

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

Deri absorpsiyonu sonucunda allerjik deri hastalıkları ortaya çıkar.

Havada bulunan nikel uzun süreli maruziyetin insan sağlığına etkileri hakkında güvenilir kanıtlar tesbit edilememişsedey; nikel içinde çalışanlarda astım gibi olumsuz sağlık etkilerinin yanı sıra, burun ve gırtlak kanserlerine neden olduğu kanıtlanmıştır.

Kanserojen etkisi nedeni ile güvenilirlik limitinin belirtilmesi mümkün değildir.

8.2.4 ASBEST

Asbest terimi; doğada bulunan bir grup kıvrımlı lifler veya silikat türevi mineraller için kullanılır. Asbest gerilebilir lifler olup, ısı geçirgenliği zayıf, kimyasal etkenlere karşı dayanıklıdırlar. Hepsi amfibol silikat olan başlıca türleri; chrysotile, serpentine minerali, crocidolite, amosite, anthophyllite, tremolite ve actinolite dir.

8.2.4.1 Oluşum Kaynakları

Asbest minerallerinin yer kabuğundaki dağılımının fazla olması nedeni ile, doğal kaynakları önemlidir. Özellikle chrysotile bir çok serpentine kaya oluşumunda vardır. Emisyonları; taş ocağı veya yol inşaatı gibi aktivitelerle ve meteorolojik şartlarla artış gösterebilir. Doğal kaynaklardan ortama karışan asbest miktarı hakkında kesin bir değer tesbit edilememiştir.

İnsan aktivitelerinden oluşan emisyonu aşağıdaki şekilde sınıflandırabiliriz:

- A. Madencilik ve değirmencilik
- B. Asbest rnlerinin imalatı
- C. İnşaat aktiviteleri
- D. Asbest içeren ürünlerin kullanımı ve taşınması
- E. Atıklar

Son yüz yıl içinde asbest kullanımı ve üretimi önemli lde artmıştır Bir çok batı avrupa ülkesinde inşaat sektöründe kullanılan miktar, asbestin sağlık üzerindeki olumsuz etkileri hakkında yapılan tartışmalardan önce belli bir seviyede sabit kalmıştır. Gelecekte yapılacak yasal kısıtlamalar, lif-imento ve fren balatalarında kullanılan asbestin yerini tutan maddelerin bulunması ile, asbest kullanımı azalacaktır:

şehir atmosferinde bulunan asbest emisyonunun en büyük kaynağı taşıt araçlarının fren balatalarıdır.

İç ortamda bulunan asbest konsantrasyonu dış ortamdan daha fazladır. İç ortam kaynakları olarak; hava temizleme cihazları, asbest

flasterleri, düşük ağırlıklı inşaat kaplama materyalleri, duvar veya çelik aksam üzerinde kullanılan spreylı kaplama maddeleri örnek gösterilebilir. Çimentonun işlenmesinden sonra, çimento tarafından tutulan asbestin iç ortama yayılması mümkün olamayacağından, iç ortamda bir asbest emisyonu oluşmaz.

8.2.4.2 Havada Bulunuşu

Solunabilir boyuttaki asbest lifleri atmosferin alt katmanlarında bulunur. Atmosfere yayılan asbest liflerinin aerodinamik özelliklerinden dolayı daha uzak mesafelere taşınmaları mümkündür

Uzunlukları 5 μm den uzun, çapları 3 μm 'e kadar olan lifler, biyolojik olarak önemlidirler. Çeşitli ülkelerde bu yönde yapılan çalışmalarda tesbit edilen havadaki lif miktarları aşağıda belirtilmektedir:

A. Emisyon kaynağından uzak kırsal alanlarda 1000 lif/ m^3

B. Değişik emisyon kaynaklarına yakın alanlarda (yıllık ortalama miktar olarak)

- Asbest-çimento fabrikasının 1000 m uzağında 600 lif/ m^3
- Trafığın yoğun olduğu kavşaklarda 900 lif/ m^3
- Ekspres yollarda 3300 lif/ m^3

Özel asbest kaynağının bulunmadığı bina iç ortamlarında 1000 lif/ m^3

8.2.4.3 Maruziyet Yolları

Asbest liflerine maruziyet, ağırlıklı olarak solunum yolları aracılığı ile gerçekleşir. Solunan asbest liflerinin miktarı nüfusun değişik kesimlerine göre farklılık gösterir. Örneğin kentlerde; maruziyetin fazla olduğu kesimlerde 200 lif/ m^3 orta miktardaki maruziyet kesimlerinde 30 lif/ m^3 asbest konsantrasyonuna maruziyet söz konusudur.

Amerika'da iç ortam havasına yönelik olarak yapılan bir çalışmada; 400-500 lif/ m^3 asbest konsantrasyonuna maruziyetin olduğu belirlenmiştir.

İçme suyu ve besinlerde de asbest lifleri bulunmaktadır. Genelde suların 10 lif/Lt'den daha fazla konsantrasyonda asbest içerdiği tesbit edilmiştir.

8.2.4.4 Kinetik ve Metabolizma

Asbest liflerinin sindirim sistemi aracılığı ile alınan miktarı çok düşük, solunum sistemi yolu ile alınan miktarı çok yüksektir.

Liflerin 3 μm 'den daha geniş çapta olanları solunamaz. Solunan liflerin önemli bir miktarı, üst solunum yollarındaki silialar üzerinde birikir. Daha sonra buradan doğal temizleme mekanizması ile uzaklaştırılırlar.

Akciğerlere kadar ulaşabilen asbest liflerinin emilimi veya bu bölgedeki birikimi, liflerin çözünabilirlik veya parçalanabilirlik özelliklerine göre değişim gösterir. Alveollerde biriken 5-10 μm 'den daha kısa lifler alveollerin mukosilia temizleme mekanizması aracılığı ile temizlenip uzaklaştırılır. Bunun yanı sıra bu bölgeden doğal temizleme mekanizması ile uzaklaştırılmayan lif miktarı oldukça fazladır.

8.2.4.5 Sağlık Etkileri

Bir çok çalışmalarla asbestin; mezotelioma, gırtlak kanserleri ve asbesitosiz gibi sağlık etkilerini yaptığı tesbit edilmiştir. Ancak, genelde bu etkiler asbest içinde çalışanlarda tesbit edilmektedir. Düşük konsantrasyonlara uzun süreli maruziyet ile ilgili veriler bulunmamaktadır.

Dünya Sağlık Örgütü, asbestin kanserojen etkisi nedeni ile güvenilirlik limitini belirtmemektedir. Ancak asbest maruziyetinin mümkün olduğunca asgari seviyeye indirilmesini önermektedir.

8.3 AZOT OKSİTLERİ

Atmosferde kirletici olarak bulunan azot monoksit ve azot dioksit konsantrasyonları genelde " Azot Oksitleri " terimi ile ifade edilmektedir. Atmosferde bulunan önemli azot oksit bileşikleri; Azot Monoksit (NO), Azot Dioksit (NO₂) ve Diazot Oksit (N₂O) dir.

8.3.1 Oluşum Kaynakları

Fosil kökenli yakıtların yanması sonucunda yüksek sıcaklıklarda meydana gelen azot oksitlerin çok az miktarını azot dioksit, en fazla kısmını da azot monoksit oluşturur. Atmosfere yayılımı; taşıt ekzostları, insineratörler, kimyasal işlemler, ısınma amacı ile kullanılan bazı fosil kökenli yakıtların yanması, elektrik üretimi gibi emisyon kaynaklarından olmaktadır.

İç ortamdaki azot oksit kaynakları ise; tütün içimi, gaz (likit-doğal-gaz yağı gibi) yakıtları kullanan soba ve evsel cihazlardır.

Yukarıda belirtilen aktiviteler sonucunda dış ortama verilen azot monoksit, atmosferde azot dioksite oksitlenir. Bu oksidasyon, ozon gibi atmosferik oksitleyicilerin katalizörlüğü ile hızlanır.

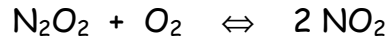
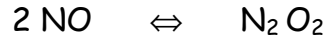
Gerek atmosferdeki konsantrasyonu, gerekse özelliği nedeni ile insan sağlığına en fazla olumsuz etki gösteren azot bileşiği azot dioksittir.

Ülkelerin gelişmişlik statüleri; bu statünün sembolü olarak kullanılan azot oksitin konsantrasyonu ile tanımlanmaktadır.

Azot monoksit gaz halinde renksiz, likit halde iken mavi renkli olan, havanın yapısında eser miktarda bulunan bir bileşiktir.

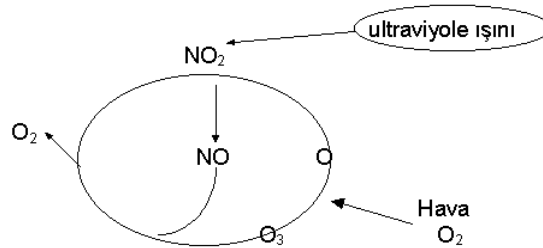
Azot dioksit gaz halinde iken kahve renkli, likit halde sarı renkli olup; havada, azot monoksitin oksidasyonu ile oluşur. Ultra viyole ışınlarını fazla miktarda absorbe etme özelliğine sahiptir.

Azot monoksitin, azot dioksite dönüşümü aşağıdaki reaksiyonla açıklanmaktadır:



Azot monoksitin oksitlenmesi, ortamdaki azot monoksitin ve oksijenin konsantrasyonuna bağlıdır. Havadaki azot monoksitin azot dioksite dönüşümü güneş ışığı, hidrokarbon ve ozonun varlığına bağlı olarak artar.

Gündüz saatlerinde atmosfere verilen azot monoksitin, güneş ışığı ve hidrokarbonların etkisi ile azot dioksite dönüşümü aşağıda şematik olarak gösterilmektedir.



8.3.2 Havada Bulunuşu

Yapılan çeşitli araştırmalar sonucunda, azot dioksit konsantrasyonuna ilişkin olarak belirlenen değerler;

- doğal (background) seviyesinin $0.4-9.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ limitleri arasında olduğu

- yarım saatlik ortalama $850 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.45 ppm)

- 24 saatlik maksimum $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.21 ppm)

- kentsel alanlarda yıllık ortalama konsantrasyon limitleri $20-90 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.01-0.05 ppm) olarak tesbit edilmiştir.

Kentsel alanlardaki azot dioksit konsantrasyonu; günün saatlerine, mevsimlere ve meteorolojik şartlara göre değişim gösterir. Kentlerde, trafiğin yoğun olduğu bölgelerde saatlik ortalama değer olarak 0.5 ppm gibi yüksek azot dioksit konsantrasyonu ölçülebilmektedir.

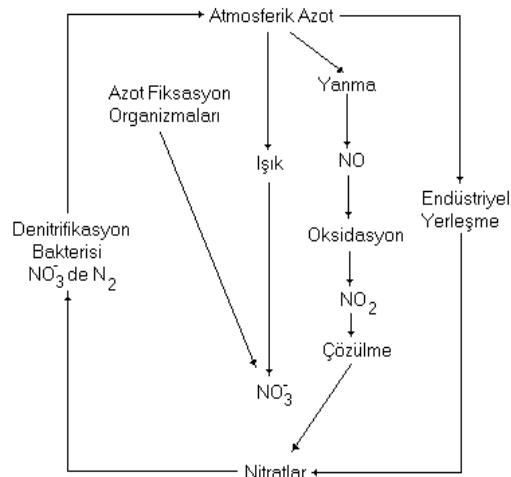
Sigara içilmesi, likit ve gaz tipi yakıtların ısınma ve pişirme amacıyla kullanımı sonucunda bireysel olarak azot dioksit maruziyetinin artması söz konusu olmaktadır. Borusuz tipte ısınma araçlarının kullanımı sonucunda; iç ortamda oluşan azot oksit konsantrasyonu, dış ortamdaki konsantrasyondan çok daha fazla seviyeye ulaşmaktadır.

Daha önceden de belirtildiği gibi, atmosferdeki nem ile azot oksitleri veya kükürt dioksit reaksiyonu sonucunda asit aerosollerinin veya asit yağmurunun oluşumu söz konusu olmaktadır. Bu oluşumun çevre üzerindeki tahrip edici etkileri net olarak gözlenmektedir.

8.3.3 Çevrede Azot Taşınımı

İnsan faaliyetleri sonucunda çevrede belirli konsantrasyonda meydana gelen azot oksitleri; azot çevrimi olarak adlandırılan azot taşınımı ve denge oluşum olaylarında yer almaktadır. Azot, hayat için temel bir madde olmasına rağmen, bitkiler tarafından doğrudan doğruya asimile edilemez. Azotun, nitratlara veya amonyağa dönüşümünün tamamlanması amacıyla fazlası ile kullanılması olayına azot yerleşmesi (fixation) denilmektedir. Atmosferik azotun oksitlerine dönüşümü yanma işlemleri ile meydana gelmektedir. En önemli azot yerleşmesi olayı biyolojik olarak gerçekleşendir. Örneğin, bezelye, fasulye ve yoncanın köklerinde bulunan bir bakteri aracılığı ile serbest azot, azot bileşiklerine dönüşmektedir.

- Atmosferik azot çevrimi şematik olarak aşağıda belirtilmektedir.



8.3.4 Ölçüm Yöntemleri :

Havadaki azot oksitlerinin konsantrasyonu;

- A. Fotometrik
- B. Salzman reaktifi ile fotometrik
- C. Kemiluminessans (kimyasal ışıma), yöntemleri uygulanarak tesbit edilmektedir.

8.3.5 Maruziyet Yolları ve Metabolizma

Azot dioksitin gaz halinde bulunması nedeni ile solunum yoluyla maruziyet söz konusudur. Dış ve iç ortam maruziyetlerinin iş ortamı maruziyeti ile mukayesesi yapıldığında, iş ortamı maruziyetinin çok az olduğu görülür.

Azot dioksitin büyük bir kısmı solunum yollarında birikerek, % 80-90'ı absorbe olur. Emilimin alt solunum yollarından olduğu, hayvan deneyleri sonucunda belirlenmiştir.

8.3.6 Sağlık Etkileri

Azot dioksitin sağlık üzerine etkileri; çeşitli kesimlerdeki bireylere değişik konsantrasyonlar uygulanması ile tesbit edilmiştir.

3000-9400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ konsantrasyonlarına 10-15 dakika süre ile maruziyet sonucunda; normal ve bronşitli kişilerde akciğer fonksiyon.değişimleri gözlenmiştir.

Azot dioksit maruziyeti sonucunda oluşan şikayetler; normal ve sağlıklı kişilerde 1880 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ konsantrasyonundan itibaren başlarken, astımlı kişilerde aynı şikayetler 940 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ konsantrasyon seviyesinden itibaren başlamaktadır.

Amerika Birleşik Devletleri'nin çeşitli eyaletlerinde yapılan bir çalışmada; yemek pişirme amacıyla gaz kullanılan evlerdeki 6-10 yaş grubu arasındaki çocukların bronşiyal hastalıklara yakalanma şanslarının fazla olduğu tesbit edilmiştir.

Azot dioksitin bulunduğu ortamlarda diğer kirleticilerin ve özellikle ozonun bulunması durumunda, bu kirleticiler arasında oluşan reaksiyonlar nedeniyle insan sağlığında olumsuz etkileşimlerin arttığı belirlenmiştir.

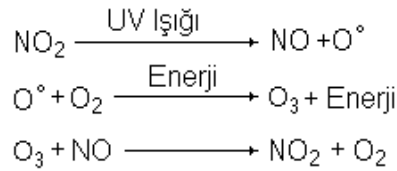
Bir haftadan bir aya kadar olan sürede $1880 \mu\text{g}/\text{m}^3$ den az konsantrasyona maruziyette; bronşiyel ve pulmoner bölgelerdeki hücrelerde anormal değişiklikler, $940 \mu\text{g}/\text{m}^3$ konsantrasyona maruziyette ise akciğerlerin bakteriyel enfeksiyonlara karşı hassasiyetinin artması ve biyokimyasal değişimler gözlenmektedir.

Borusuz sobaların kullanıldığı iç ortamda saatlik ortalama değerin $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ve saatlik maksimum değerin $2000-4000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ arasında olduğu tesbit edilmiştir.(3)

8.4 OZON VE DİĞER FOTOKİMYASAL OKSİTLEYİCİLER

8.4.1 Oluşum Kaynakları

Ozon doğal olarak atmosferde şimşek, yıldırım gibi elektriksel olayların sonucunda meydana gelmektedir. Ozon en kuvvetli oksitleme ajanıdır. Troposferde, güneş ışınlarının azot dioksit dolaylı etkisi sonucunda oluşmaktadır. İnsan faaliyetleri sonucunda, atmosferde önemli bir ozon emisyonu oluşmaz. Havada bulunan ozon, atmosferde kirleticiler arasında meydana gelen reaksiyonlar sonucunda oluşur. Ozonun oluşumu ve atmosferden doğal uzaklaşma olayları güneş radyasyonunun azot dioksit üzerine etkisi sonucu bir dizi reaksiyon ile gerçekleşmektedir.



Atmosferde bulunan uçucu organik bileşikler ve hidroksil radikalleri, dengedeki ozon konsantrasyonunun bozulmasına neden olur. Fotokimyasal reaksiyonlar sırasında; ozondan ayrı olarak hidrojen peroksit, nitrik asit, peroksinitratlar gibi oksitleyiciler, ikincil aldehitler, formik asit, ince partiküller meydana gelmektedir.

8.4.2 Havada Bulunuşu

Ozonun troposferdeki doğal (background) konsantrasyonu hava kirliliğinden uzak bölgelerde ölçülmüştür. Bu ölçüm, Atlantik okyanusunun 3000 metre yüksekliğinde gerçekleştirilmiş, 24 saatlik ortalama değer $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.06 ppm) olarak belirlenmiştir.

Atmosferdeki fotokimyasal reaksiyonlar sırasında, havadaki ozonun oksitleyici madde olarak kullanılması nedeni ile; ortamdaki azot dioksit konsantrasyonu artarken ozon konsantrasyonunun azalması sonucunda, ozonun bir miktarı ortamdaki uzaklaşır. Bu nedenle kentsel alanlardaki ozon konsantrasyonu kırsal alandan daha düşük seviyededir.

Havadaki ozon konsantrasyonu; ozonun oluşumuna, taşınmasına, fotokimyasal reaksiyonlara, meteorolojik faktörlere bağımlı olarak değişim gösterir.

Örneğin, ilkbahar ve yaz mevsimlerinde en yüksek ozon konsantrasyonu tesbit edilmektedir.

Ozon, peroksiasetil nitrat (PAN) gibi önemli organik ve inorganik aerosollerin oluşumuna da katkıda bulunur.

Atmosferde hava kirliliğinin mevcut olduğu hallerde PAN ve homologları; azot trioksit ve asilat arasındaki reaksiyon sonunda meydana gelirler. PAN'ın oluşumu ve dönüşümü ozonunkine benzer. Bu oluşumda ilk önce PAN daha sonra ozon yer almaktadır.

Ozon / PAN oranı sabit olmayıp, mevsimlere göre değişim gösterir. Avrupa'nın bazı kesimlerinde yapılan ölçümlerde maksimum PAN konsantrasyonu 80-90 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak tesbit edilmiştir.

8.4.3 Ölçüm Yöntemleri

Havadaki ozon konsantrasyonu :

- A. Kemilüminessans (Kimyasal Işıma)
- B. Potasyum İyodür yöntemlerinin uygulanması ile tesbit edilmektedir.

Peroksiasetil nitrat (PAN) konsantrasyonunun tayininde ise infrared veya gas spektrofotometrik yöntemleri uygulanmaktadır.

8.4.4 Kinetik ve Metabolizma

Bir modelleme çalışmasına göre; ozon alımının aşağıda belirtilen karakteristiklerle gerçekleştiği tahmin edilmektedir :

1. Ozon, vücuda giriş konsantrasyonuna bağılı olarak akciğerlerin bulunduğu bölgedeki tüm dokular tarafından emilir.

2. Gerek insan gerekse hayvan dokuları tarafından emilebilen maksimum doz; soluk borusu ile alveoller arasındaki dokularda bulunmaktadır.

3. Soluk borusunda bulunan mukoz dokuların ozon emilimi; kişiye, kişinin soluk borusundaki ozon konsantrasyonuna ve soluma miktarına bağlıdır.

4. Solunan ozonun çok az bir miktarı kana geçmektedir.

Peroksiasetil nitratın (PAN) sudaki çözünürlüğünün ozondan fazla olması ve kimyasal olarak daha az reaktif olması gibi nedenlerden dolayı; PAN'ın burun farenksinden ve soluk borusudan emilimi daha çok olmaktadır.

8.4.5 Maruziyet Yolları

Ozon ve oksidantların kimyasal reaktivitelerine bağlı olarak havada kalış sürelerinin çok kısa olması nedeni ile inhlasyon dışında maruziyetleri söz konusu değildir.

8.4.6 Sağlık Etkileri

Çok kuvvetli bir oksitleyici olan ozon, her türlü biyolojik materyalle reaksiyona girmektedir.

Ozonun özellikle akciğer fonksiyonları üzerinde önemli ölçüde zararlı olduğu tesbit edilmiştir.

Genelde, ozon maruziyeti 1-3 saatlik süreyi kapsamaktadır. 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ oksitleyici konsantrasyonuna maruziyet; göz, burun ve boğaz tahrişine, göğüs sıkışması, öksürük ve baş ağrısına neden olmaktadır. Çocuk ve gençlerde akciğer fonksiyonlarının azalmasına sebep olan konsantrasyon ise 160-300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ tür.

Dünya Sağlık Örgütü tarafından insan sağlığının korunması için maruziyet sürelerine göre aşılması gereken sınır değerler ;

1 saat için 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

8 saat için 100-120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak önerilmektedir.

8.5 HİDROKARBONLAR

Hidrokarbonlar, havadaki diğer kirleticilerin birbirleri arasındaki reaksiyonlarda rol oynamaları nedeni ile kirletici olarak önem kazanmaktadırlar.

Hidrokarbonlar adlandırılmalarından da anlaşılacağı gibi, karbon ve hidrojen atomlarından meydana gelmişlerdir. Karbonun değişken kimyası nedeni ile tabiatta metandan uzun zincirli polimerlere kadar değişik hidrokarbonlar mevcuttur.

8.5.1 Oluşum Kaynakları

Havada bulunan hidrokarbonları kirleticilik etkisi yönünden ikiye ayırmak mümkündür. Bunlar; Reaktif Hidrokarbonlar ve Reaktif Olmayan Hidrokarbonlar olarak adlandırılırlar. Fotokimyasal reaksiyona girmeyen ve bu nedenle de reaktif olmayan hidrokarbonlar olarak adlandırılan hidrokarbonların en önemlisi (CH₄) metandır. Metan doğal olarak, biyolojik (özellikle bitkisel) aktiviteler sonucunda atmosfere yayılmaktadır. Kentsel alanlarda bulunan metan gazı ise, daha ziyade doğal gaz kullanılan yerlerde, dağıtım şebekesinden sızıntı veya gazın tam yanmaması sonucu atmosfere yayılmaktadır.

Reaktif hidrokarbonların çoğu teknolojik işlemler sonucunda atmosfere yayılmaktadır. Örnek olarak; petrol ve doğal gaz gibi yakacakların yanması sırasında açığa çıkan tam yanmamış hidrokarbonlar ile petrol ürünlerinin işlenmesi sırasında oluşan hidrokarbonlar gösterilebilir.

8.5.2 Havada Bulunuşu

Doğal faaliyetler sonucunda oluşan metan gazının doğal seviyesinin (background) 0.7-1.5 ppm olduğu ve diğer (reaktif) hidrokarbonların herbirinin konsantrasyonunun 0.1 ppm den az olduğu belirlenmiştir.

Atmosfere yayılan toplam hidrokarbon kirliliğinin yarıdan fazlasını metan oluşturmaktadır. Kentsel alanlarda bir saatlik ortalama maksimum konsantrasyon 8-10 ppm olarak ölçülmüştür. Avrupa ülkelerinde tesbit edilen bu konsantrasyonun yarısını reaktif hidrokarbonların oluşturduğu belirlenmiştir.

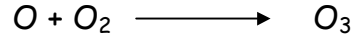
İnsanların teknolojik faaliyetleri sonucunda ortama verilen hidrokarbonların tamamına yakını reaktif hidrokarbonlar meydana getirmektedir. Bu reaktif hidrokarbonların çoğunun kaynağını taşıt araçları oluşturmaktadır.

Hidrokarbonların kendi toksisitelerinden daha fazla, ortamdaki diğer kirleticilerle yaptıkları reaksiyonlar sonucunda oluşan ozon, peroksiasetil nitrat (PAN), gibi fotokimyasal oksitleyicilerin çevrede önemli rol oynamaları sebebi ile hidrokarbonlar "zararlı etken" olarak kabul edilmektedirler.

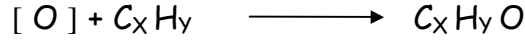
Reaktif hidrokarbonlar, fotokimyasal oksitleyicilerin oluşum reaksiyonlarına girerler. Bu reaksiyonlar dizisi, havadaki azot dioksitin fotolizi sonucunda meydana gelen atomik oksijenle başlar.



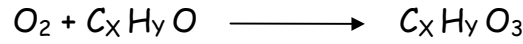
Atomik oksijen, oksijen molekülü ile reaksiyona girerek ozonu meydana getirir.



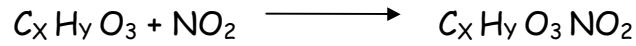
Atomik oksijen ayrıca serbest hidrokarbon radikalini oksitler.



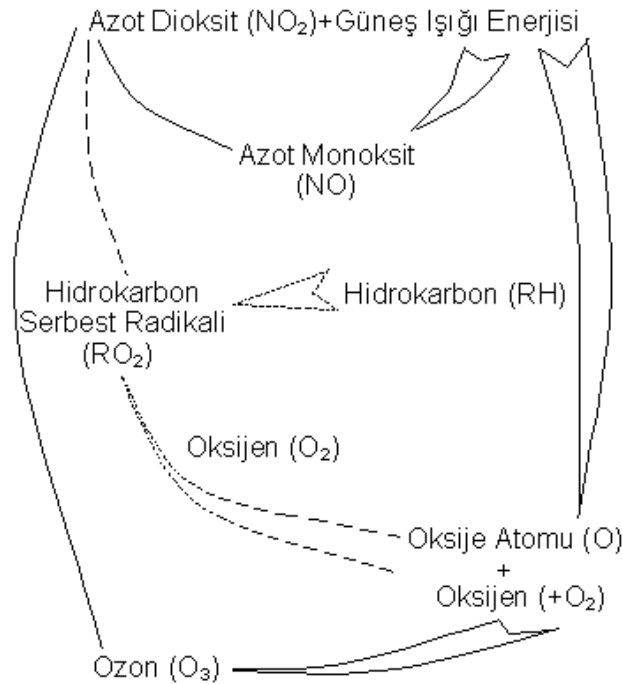
Bu oksitlenmiş hidrokarbon radikali, oksijen molekülü ile reaksiyona girerek asil peroksi radikalini meydana getirir.



Bu radikalde azot oksit ile kombinasyon oluşturarak peroksi asil nitratları (PAN) meydana getirir.



Fotokimyasal oksitleyicilerin atmosferdeki dönüşümleri aşağıda şematik olarak gösterilmektedir.



Ortamdaki reaktif hidrokarbonlar (organikler), bir seri serbest radikal polimerik reaksiyonu sonucunda doymuş aerosol partiküllerine dönüşür (asit aerosolleri).

Organiklerin atmosferde kalış süreleri bir kaç saat, aerosollerin ise bir kaç gündür. Bunlar atmosferden kuru birikim (partikül yüzeylerine yapışarak) veya yağ birikim (yağışlar) sonucunda yeryüzünde toplanarak atmosferden uzaklaşmaktadırlar.

Avrupanın bazı kentsel alanlarında yapılan ölçümlerde; saatlik ortalama olarak, total hidrokarbon maksimum konsantrasyonlarının 8-17 ppm limitleri arasında olduğu tesbit edilmiştir.

Dış ortam havasında bulunan hidrokarbonlar, iç ortam havasında da tesbit edilebilmektedir. İç ortamda ısınma ve ısıtma amacıyla petrol türevlerinin kullanımı ve iç ortam dekorasyonu için de bu tür maddelerin kullanılması sonucunda, zaman zaman dış ortamdan daha yoğun konsantrasyonda hidrokarbon tesbiti mümkün olmaktadır. Örneğin, Environmental Protection Agency (EPA) tarafından yapılan araştırma sonucunda, kanserojen etkisi kesin olarak tesbit edilen formaldehit konsantrasyonu prefabrik evlerde 0.1-1.0 mg/m³, normal şekilde inşa edilen evlerde 0.05-0.1 mg/m³ olarak tesbit edilmiştir.

8.5.3 Ölçüm Yöntemleri :

Havada bulunan hidrokarbon konsantrasyonu Alev İyonizasyon Dedektörü ile belirlenmektedir.

8.5.4 Sağlık Etkileri :

Hidrokarbon maruziyeti ile ilişkin olarak, gerek insan gerekse hayvanlar üzerinde yapılan araştırma sonuçları aşağıda belirtilmektedir:

1. Alifatik ve alisiklik hidrokarbonların 500 ppm limit değerinin üzerindeki konsantrasyonların sağlık üzerine etkileri tesbit edilememiştir.

2. Aromatik hidrokarbonların özellikle mukoz doku üzerinde tahriş edici etki gösterdikleri, buharlarının solunması sonucunda sistemik etki gösterdikleri ve bu etki limitinin 25 ppm olduğu belirlenmiştir.

3. Havada hidrokarbonların azot oksitleri ile birlikte bulunmaları durumunda, göz iritasyonunun arttığı gözlenmiştir.

4. Aldehitlerin gerek insan gerekse hayvanlarda; göz irritasyonuna, üst solunum yollarında ve deri üzerinde olumsuz etkiler yaptığı belirlenmiştir. Aldehitlerin fizyolojik etkileşim limitinin 0.06 ppm olduğu tesbit edilmiştir.

Genel olarak, hidrokarbonlar havadaki fotokimyasal smog oluşumuna, göz irritasyonuna ve diğer sağlık etkilerinin ortaya çıkmasına neden olmaktadır.

Hidrokarbonlardan sağlık üzerine önemli ölçüde etki gösteren Polinükleer Aromatik Hidrokarbonlar'ın (PAH) özellikleri aşağıda belirtilmektedir.

8.6 POLİNÜKLEER AROMATİK HİDROKARBONLAR (PAH) :

Polinükleer aromatik hidrokarbonlar iki veya daha fazla benzen halkası içeren organik bileşiklerdir. Düşük buhar basıncına sahip olan polinükleer aromatik hidrokarbonlar havada partiküler madde üzerinde adsorblanır. Suda çözünen veya partiküler madde üzerinde adsorblanan polinükleer aromatik hidrokarbonlar güneş radyasyonuna maruz kaldıklarında fotodekompozisyona uğrarlar. Toprakta biriken polinükleer aromatik hidrokarbonların bir kısmı ise, toprakta bulunan bazı mikroorganizmalar tarafından bertaraf edilebilir.

8.6.1 Oluşum Kaynakları :

Polinükleer aromatik hidrokarbonlar pirolitik prosesler sonucunda oluşurlar. Özellikle karbonizasyon gibi doğal proseslerin yanı sıra, organik maddelerin yanması ile de meydana gelir. Yüzlerce çeşit polinükleer aromatik hidrokarbon vardır. En iyi bilineni benzo(α)piren (BaP) dir. BaP, kok üretiminden, motorlu taşıt araçlarından, kok ve petrol ürünü ile çalışan elektrik santrallerinin faaliyetleri sonucunda atmosfere yayılır.

8.6.2 Havada Bulunuşu :

Havadaki doğal (background) seviyesi sıfırdır. Avrupanın bazı kentsel alanlarında yapılan ölçümlerde, konsantrasyon 1-5 ng/m³ değerleri arasında tesbit edilmiştir. Kentsel alanlarda daha önceki senelerde yapılan ölçümlerde belirlenen yüksek PAH konsantrasyonları; kullanılan yakıt türünün ve yanma sistemlerinin ıslahı ile azaltılmıştır.

Özel şartlardaki iç ortam havasında yüksek oranda polinükleer aromatik hidrokarbon konsantrasyonunun tesbiti mümkündür. Örneğin bazı bacasız tip Çin evlerinde benzo(α)piren miktarı 6 μ g/m³ olarak belirlenmiştir.

İş yerlerinde de yüksek polinükleer aromatik hidrokarbon konsantrasyonunun tesbiti mümkün olabilmektedir.

8.6.3 Maruziyet Yolları :

Polinükleer aromatik hidrokarbonların maruziyeti solunum sistemi aracılığı ile oluşmaktadır. Polinükleer aromatik hidrokarbonların vücuttaki birikimi, ortamdaki konsantrasyona bağlı olarak değişim göstermektedir. Örneğin; düşük konsantrasyonun bulunduğu kırsal kesimde % 1, yüksek konsantrasyonun bulunduğu ortamda ise % 40 oranında vücutta birikim meydana getirmektedir.

Sudaki çözünürlüğü nedeni ile, su aracılığı ile de vücuda polinükleer aromatik hidrokarbonların alınması söz konusu olmaktadır. Genelde 1 lt. sudan alınabilecek toplam polinükleer aromatik hidrokarbon konsantrasyonunun yaklaşık 0.1 µg olduğu belirlenmiştir.

Saklama ve pişirme şekline bağlı olarak; et, balık, sebze ve meyvalarda yaygın olarak değişik miktarlarda polinükleer aromatik hidrokarbon bulunmaktadır. Bu nedenle yiyecekler aracılığı ile de vücuda PAH alınmaktadır. Amerika'da yapılan araştırmalarda insanların gıdalar aracılığı ile günde 1.6 gr.dan 16 gr.'a kadar değişen miktarlarda polinükleer aromatik hidrokarbon aldıkları tesbit edilmiştir.

Gıdalar aracılığı ile alınan polinükleer aromatik hidrokarbon miktarı hava ile alınan miktardan çok daha fazladır.

8.6.4 Kinetik ve Metabolizma :

Polinükleer aromatik hidrokarbonun yağda çözünürlüğü yüksek olup, memelilerin sindirim yolları ve akciğerleri aracılığı ile absorbe edilirler. Kurum ve toz üzerinde adsorbe olan polinükleer aromatik hidrokarbon, solunum yollarında birikir. Bu birikenlerin bir kısmı bronşiyel olarak temizlenir. Polinükleer aromatik hidrokarbon metabolizması, oksidaz sistem aracılığı ile olur. Suda çözünebilen polinükleer aromatik hidrokarbonlar vücuttan idrar ve gaita aracılığı ile atılırlar.

8.6.5 Sağlık Etkileri :

Polinükleer aromatik hidrokarbonun kanserojik etkisi kesin olarak belirlenmiştir. Solunum sistemi aracılığı ile vücuda alınan polinükleer aromatik hidrokarbonun akciğer kanserine neden olduğu tesbit edilmiştir.

Yapılan deneysel çalışmalar polinükleer aromatik hidrokarbonların solunum sistemi kanserlerinin yanısıra spesifik olarak bu gaz ile çalışan işçilerde cilt kanserine neden olduğu tesbit edilmiştir.

Kanserojen etkisi nedeni ile güvenilirlik limiti önerilememektedir.

8.7 KARBON OKSİTLERİ

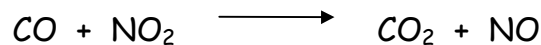
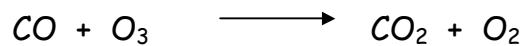
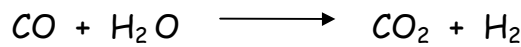
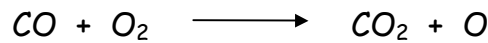
Hava kirliliği açısından; karbonun iki önemli bileşiği karbon monoksit ve karbon dioksittir.

8.7.1 Karbon Monoksit

Karbon monoksit atmosferde yaygın olarak bulunan bir hava kirleticisidir. Atmosfere verilen karbon monoksit toplam emisyon miktarı diğer kirleticilerden önemli ölçüde fazladır.

Renksiz, kokusuz, havadan daha hafif bir gaz olup suda çözünür. Kan bileşimindeki hemoglobin ile birleşme eğilimi oksijenden 200 kat daha fazladır. Bu nedenle insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkisi öncelikle kan ve bu yolla diğer organlarda gözlenir. Karbon monoksitin hemoglobinle oluşturduğu forma karboksihemoglobin adı verilir.

Karbon monoksitin atmosferdeki kalış süresi diğer kirleticilere göre daha uzundur. Atmosferde karbon monoksitin karbon dioksite dönüşümü; ortamdaki serbest oksijen molekülüne, sıcaklığa ve katalizörlere bağlıdır. Karbon monoksitin karbon dioksit dönüşümündeki muhtemel reaksiyonlar aşağıda gösterilmektedir. Ancak bu reaksiyonların oluşumu için güneş enerjisi gerekmektedir.



8.7.1.1 Oluşum Kaynakları :

Karbon monoksit (CO) yetersiz yanma ürünü olarak; fosil yakıtlar, karbon içeren materyaller, bazı endüstriyel ve biyolojik işlemler sonucu atmosfere verilen bir kirleticidir.

Taşıt araçları, endüstriyel işlemler, ısıtma sistemleri ve insineratörler en önemli karbon monoksit kaynaklarıdır. Doğal oluşum kaynakları ise biyolojik aktivitelerdir. Ancak doğal kaynaklardan oluşan karbon monoksit ihmal edilebilir düzeydedir.

8.7.1.2 Havada Bulunuğu :

Karbon monoksitin doğal (background) seviyesi 0.001-0.20 ppm'dir. Kentsel alanlardaki konsantrasyonu hava koğuullarına, trafiğe, zamana ve kaynaklarından uzaklığa göre değişim gösterir.

Kentsel alanlarda yapılan ölçümlerde 8 saatlik ortalama maksimum konsantrasyon 53 ppm olarak belirlenmiştir. Pik konsantrasyonlar trafiğin yoğun olduğu sabah ve akşam saatlerinde gözlenmektedir. Özellikle çok yoğun karbon monoksit konsantrasyonları hareket halindeki taşıtların içinde, garajlarda ve trafik akışının fazla olduğu bölgelerde tesbit edilmektedir. Dolayısıyla yoğun CO maruziyetinin; özellikle şöförler, garajlarda çalışan kişiler, ve trafik polislerinde gözlenmesi beklenilmelidir. Örneğin yapılan ölçümlerde araba içinde maksimum 36 ppm, garajlarda 500 ppm karbon monoksit konsantrasyonu tesbit edilmiştir.

İç ortamda ısıtma amacıyla kullanılan, fosil yakıt yakılan sobaların uygun olmayan koğuullarda kullanılması karbon monoksit konsantrasyonunu önemli ölçüde arttırmaktadır. Yine yemek pişirme işlemleri de iç ortam kaynağı olarak önemlidir.

Bu ortamlarda yapılan ölçümlerde karbonmonoksit konsantrasyonunun 10-50 ppm arasında değişim gösterdiği tesbit edilmiştir. Tütün içimi de karbon monoksitin en önemli iç ortam kaynaklarından birini oluşturmaktadır.

8.7.1.3 Maruziyet Yolları :

Karbon monoksite deri yolu ile maruziyet söz konusu olmayıp en önemli maruziyet solunum yolu ile olmaktadır.

8.7.1.4 Ölçüm Yöntemleri :

Havadaki karbonmonoksit konsantrasyonu Nondispersive Infra-Red Spektroftometre ile tesbit edilmektedir.

8.7.1.5 Kinetik ve Metabolizma :

Solunum yolu ile alınan karbon monoksit; kandaki hemoglobin protohem demiri ile reaksiyona girerek kuwetli bağlar oluşturur.

Karbon monoksidin hemoglobine bağlanması kanın oksijen kapasitesini azaltır. Kanda oluşacak karboksihemoglobin miktarı; karbon monoksit konsantrasyonuna, maruziyet süresine, kandaki mevcut karboksihemoglobin miktarına ve kişinin fiziksel aktivitesine bağlı olarak değişim göstermektedir. Maruziyet ortadan kalktığı anda,

kanda oluşan karboksihemoglobin oluşumu kendiliğinden durur. Sağlıklı bir insanda karboksihemoglobinin yarısı 3-4 saat içinde kandan temizlenir.

8.7.1.6 Sağlık Etkileri :

Karbon monoksit maruziyeti ile ilişkilendirilebilecek dört sağlık etkisi vardır. Bu etkiler kandaki % 10' nun altındaki karboksihemoglobin seviyeleri dikkate alınarak belirlenmiştir.

- A. Kardiyovasküler etkileri
- B. Nörolojik davranış etkileri;
- C. Fibrinolizis etkileri
- D. Perinatal etkiler

Karbon monoksitin oksijen taşıma kapasitesini azaltması sonucunda kandaki oksijen yetersizliği nedeniyle kan damarlarının çeperleri, beyin kalp gibi hassas organ ve dokularda fonksiyon bozuklukları meydana gelir.

Farklı işlerde çalışan ve daha önceden karbon monoksit maruz kalmamış kişilerde karbon monoksit maruziyeti sonucunda oluşabilecek karboksihemoglobin (CoHb) miktarları aşağıdaki tabloda gösterilmektedir.

CO Konsantrasyonu Maruziyet Süresi			Tahmin Edilen (%) CoHb Miktarı		
ppm	mg/m ³		Oturulara k yapılan iş	Hafif iş	Ağır iş
100	115	15 Dakika	1.2	2.0	2.8
50	57	30 Dakika	1.1	1.9	2.6
25	29	1 Saat	1.1	1.7	2.2
10	11.5	8 Saat	1.5	1.7	1.7

Aşağıdaki tabloda karbonmonoksit maruziyeti sonucunda kanda oluşan Karboksihemoglobin (CoHb) seviyeleri ile ilişkin sağlık etkileri belirtilmektedir.

Karboksihemoglobin Miktarı %	<u>Etkiler</u>
1	Herhangi bir etki gözlenmez.
1-2	Davranış bozuklukları belirdiği hakkında bazı deliller vardır
2-5	Merkezi sinir sistemi üzerine etkiler,zaman kavramı görme hassasiyeti parlaklık kavramında ve diğer fiziko motor fonksiyonlarında tahribat
5	Kalp ve akciğer fonksiyonlarında değişim
10-80	Baş ağrısı, bitkinlik, uyku hali, koma, solunum sisteminin durması ve ölüm.

8.7.1.7 Maruziyet Seviyeleri

Karbon monoksidin doğal (background) miktarı bölgeden bölgeye 0.01-0.23 mg/m³ arasında değişim gösterir. 8 saatlik ortalama genelde 20 mg/m³ (17 ppm) den düşüktür. Tesbit edilen maksimum 8 saatlik ortalama konsantrasyon 60 mg/m³ (53 ppm) olarak belirlenmiştir.

İç ortamda ise mutfak faaliyetleri sırasında 57.5 mg/m³ (50 ppm) karbon monoksit konsantrasyonu ölçülmüştür.

Dünya Sağlık Örgütü tarafından toplumun sağlığının korunması için kandaki karboksihemoglobin (CoHb) miktarının %2.5-3.0 olması önerilmektedir.

Kandaki karboksihemoglobin miktarının %2.5-3 seviyesini aşmadığı takdirde olumsuz sağlık etkileri gözlenmemektedir. Bu sınırı korumak amacıyla Dünya Sağlık Örgütü'nce önerilen maksimum maruziyet süreleri ve karbon monoksit konsantrasyonları aşağıda gösterilmektedir.

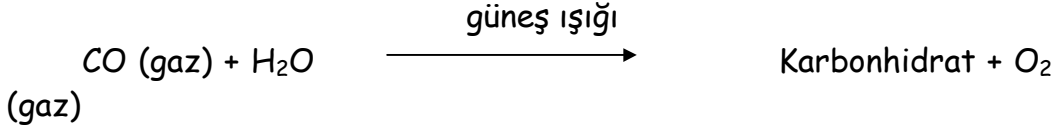
1- 15 dakika için müsaade edilen maruziyet konsantrasyonu 100 mg/m³ ü aşmamalıdır.

2- Ortalama zamana karşı maruziyet seviyeleri :

- 30 dakika için 60 mg/m³ (50 ppm)
- 1 saat için 30 mg/m³ (25 ppm)
- 8 saat için 10 mg/m³ (10 ppm) dir.

8.7.2. Karbon Dioksit

Karbondioksit (CO_2) atmosferde çok düşük konsantrasyonda bulunan bir gazdır. Bir milyon hava molekülünde yaklaşık 350 karbon dioksit molekülü bulunur. Çevrede önemli bir anahtar görevini yapar. Örneğin, bitkiler karbon dioksit alırlar ve bunu fotosentezlerinde kullanarak yaşamlarını sürdürürler.



Karbon dioksitin diğer bir özelliği de güneşten gelen ışınların değişmeden yeryüzüne ulaşmasını sağlar. Ancak bu sırada yeryüzünden gelen uzun dalga radyasyonunun bir kısmını absorblar.

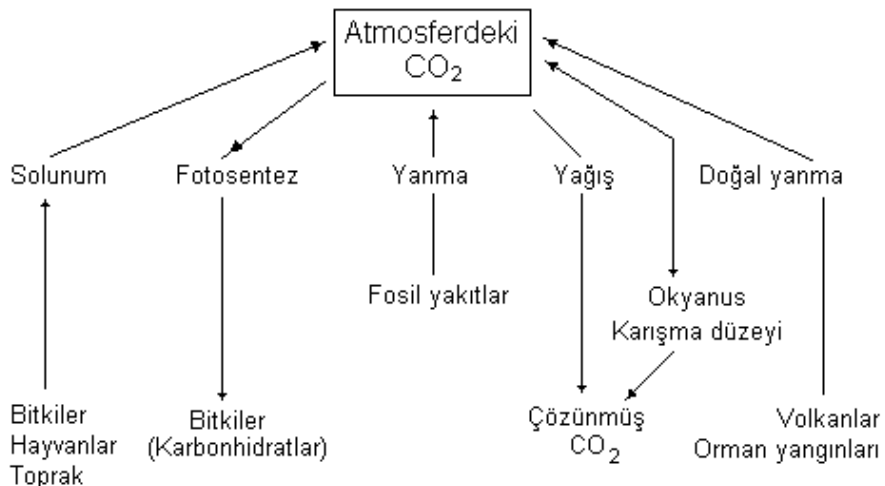
Uzun yıllar önce, karbon dioksitin yeryüzünde meydana getirdiği sera (greenhouse) etkisi ve buna bağlı olarak gelişen iklim değişikliklerine neden olduğu tesbit edilmiştir. Atmosferde daha önceden 280 ppm olarak tesbit edilen karbon dioksit miktarı, fosil kökenli yakıtların kullanımının artması ile bugün 350 ppm'e kadar yükselmiştir.

Karbon dioksit doğal veya yapay olarak yanma veya oksidasyon sonucunda oluşur.

Ortama verilen karbon monoksit, hidroksit radikalleri ile oksitlenerek karbon dioksite dönüşür. Ancak bu oksitlenme uzun zaman aralığında gerçekleşen bir reaksiyonla olur.

Karbondioksitin kendisi toksik bir gaz değildir. Normal atmosfer şartlarında %0.03-%0.06 arasında değişen konsantrasyonlarda, ayrıca kaynak sularında da çözülmüş halde bulunur.

Atmosferdeki karbondioksit ile çözülmüş karbondioksit arasında çeşitli doğal dönüşümlerin olması söz konusudur. Aradaki denge, mevcut konsantrasyonun karışım zamanına bağlıdır. Bu dönüşüm aşağıda şematik olarak gösterilmektedir.



Atmosferde bulunan karbon dioksit konsantrasyonu fosil kaynaklı yakıtların yanması sonucunda her yıl 2.3 ppm kadar artmaktadır. Bunun üçte biri okyanus veya derin su kaynaklarınca ve bitkiler tarafından alınarak atmosferden uzaklaştırılmaktadır. Geri kalan 1.5 ppm ise atmosferdeki karbon dioksit konsantrasyonuna ilave olmaktadır. Bu miktar da atmosferin tedrici olarak ısınmasına neden olarak sera (greenhouse) etkisini her geçen gün biraz daha arttırmaktadır.

Atmosferde biriken karbon dioksit adeta bir cam fanus görevini yapar. Güneşten gelen kısa dalga boylu ışınlar içeriye kolaylıkla geçmektedir. Ancak, içeride oluşan ısı enerjisinin çıkması karbon dioksit tarafından engellendiğinden içteki ısı dışarıdan daha yüksek olmaktadır. Karbon dioksitin bu etkileşimi sonucunda; dünya ortalama ısısında meydana gelen yükselme doğadaki denge ve dönüşümler üzerinde de etkisini göstermektedir.

1880-1940 yılları arasındaki sıcaklık artışının 0.5 °C olduğu belirlenmiştir. Günümüzde olduğu gibi, atmosfere yayılmakta olan karbon dioksit miktarının hızla artması durumunda, önümüzdeki yüzyılın yarısında global ısınmanın 1.5 °C - 5 °C arasında bir artış göstereceği tahmin edilmektedir.

8.7.2.1 Ölçüm Yöntemleri

Karbon dioksit konsantrasyonu;

- a. Non Dispersive Infra-Red Absorbsiyonu
- b. Gaz Filtresi Korelasyon

ölçüm yöntemleri ile ölçülmektedir.

9. SMOG VE FOTOKİMYASAL SMOG

Smog oluşumu ile ilişkin bazı terimlerin tanımları aşağıda belirtilmektedir.

Smoke (Duman): Bir maddenin yanması sonucunda oluşan küçük partiküllerin atmosferde süspansiyon halinde bulunması durumu duman (smoke) olarak adlandırılır. Bu partiküller sıcaklıkla oluşan parçalanma veya buharlaşma ile oluşan partiküller katı ve sıvı aerosollerdir.

İnversiyon (Terselme): Normal şartlarda yeryüzünden atmosferin katlarına doğru yükseldikçe sıcaklık azalma gösterir. Ancak yükseklikle sıcaklığın artması sonucunda meydana gelen hava durumu terselme (inversiyon) olarak tanımlanır. Güneş radyasyonunun etkisi ile oluşan inversiyona radyasyon inversiyonu adı verilir. Bu inversiyon; güneş radyasyonunun azalması ile yeryüzünün soğuması sonucunda hava ile yeryüzü arasındaki sıcaklık farklılığından meydana gelir. Yeryüzü ile havanın ilk metreleri arasında meydana gelen radyasyon inversiyonu, hava kirliliğini en fazla etkileyen meteorolojik etmendir.

Smog (Sisli Duman): Kış koşullarında, sıcaklık inversiyonunun ve sisin bulunduğu meteorolojik şartlarda havanın dumanla aşırı miktarda kirlenmesi olayıdır. Bu durum aynı zamanda basit smog olarak tanımlanır.

Fotokimyasal smog: Güneş ışığının katalizör etkisi ile atmosferde bulunan kirleticiler arasında meydana gelen reaksiyonların yan ürünlerinin oluşturduğu sis tabakasıdır. Bu reaksiyonlar; ozon, azot oksitleri, hidrokarbon ve diğer oksitleyici hava kirleticileri arasında meydana gelir. Fotokimyasal reaksiyonların oluşumu sırasında herhangi bir aşamada meydana gelen aksaklık fotokimyasal smog oluşumunu engeller. Fotokimyasal smog oluşumundaki yardımcı etkenler ise hava ve topografik şartlardır.

Örneğin; hava sirkülasyonunun yetersizliği kirletici konsantrasyonunun artmasına neden olacaktır. Veya dağ yamacındaki hava güneş ışınlarının etkisi ile ısınarak yükselecek ve beraberinde kirleticileride taşınması nedeni ile reaksiyonların başlamasına yardımcı olur. Sabah saatlerinde güneş ışınları ilk önce havanın üst tabakalarını ısıtır. Yeryüzünün ısınmış havaya göre daha soğuk olması sonucunda oluşan radyasyon inversiyonu hava hareketlerini engeller ve buna bağlı olarak kirleticiler kendi kaynakları çevresinde çökerler. Bu olay hava kirlilik kaynaklarının bulunduğu alanlardaki kirliliğin daha da yoğunlaşmasına neden olur.

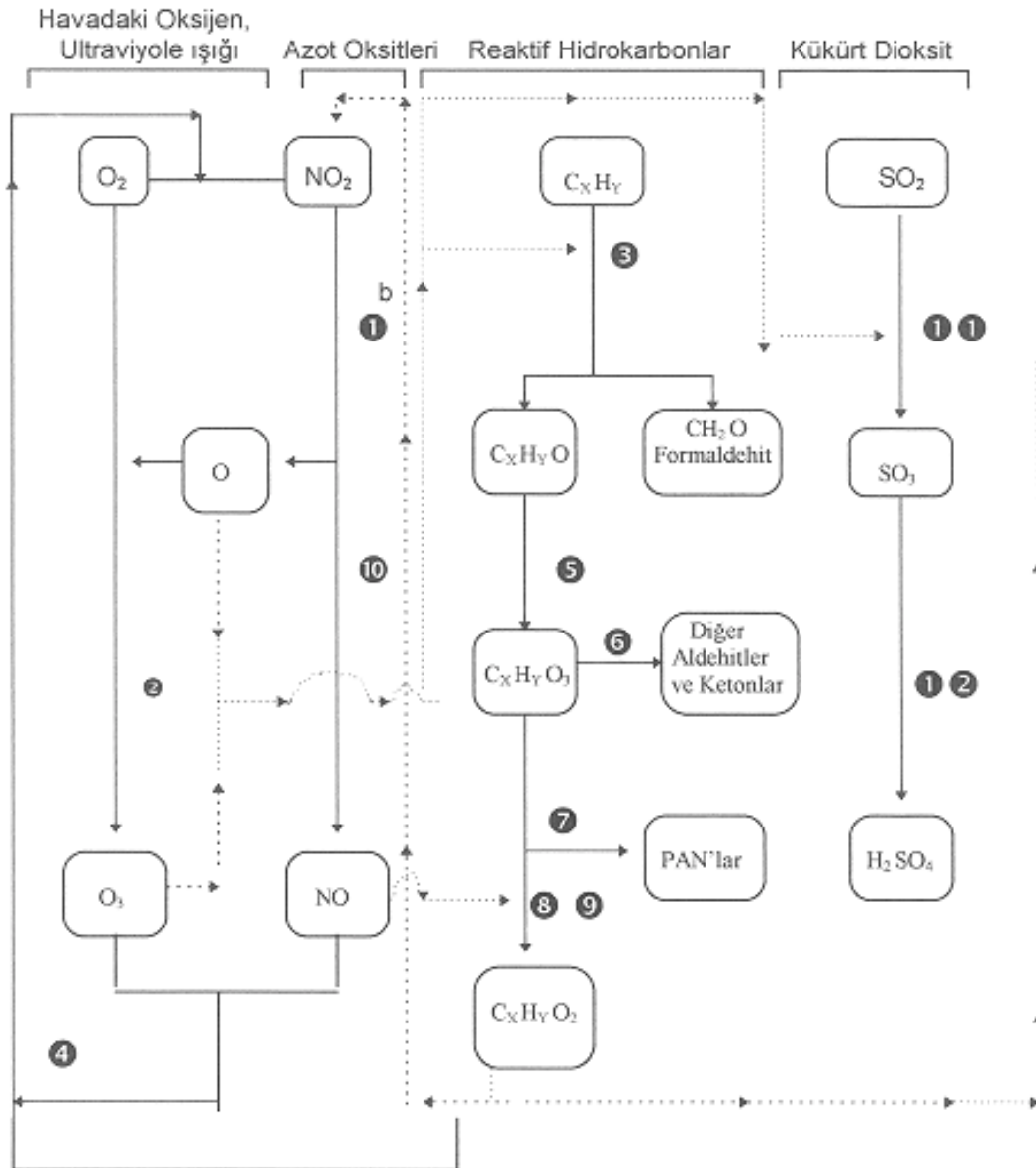
Yüksek seviye inversiyonu fotokimyasal smog oluşumuna yardımcı etkenlerden en önemlisidir. Yüksek basınç sistemindeki stabil ve sıcak

havanın altında bulunan daha soğuk hava kirleticiler için adeta bir kapan görevini görür. Bu soğuk ortamdaki kirleticilerin yoğunluklarının fazla olması nedeni ile, üstteki daha sıcak hava tabakasına yayılamamaktadırlar. Ancak güneş ışınlarının artması ile üst tabakadaki hava ısınarak, bu tabaka yakınındaki kirleticilerin bulunduğu tabakanında ısınmasına neden olur. Bu ısınma kimyasal reaksiyonların başlamasına ve kirlilik konsantrasyonunun artmasına neden olur

Yüksek seviye inversiyonunun bir kaç gün sürmesi kirlilik konsantrasyonunu her geçen gün artmasına neden olur. Bunun

SMOG FOTOKİMYASI

Gerekli başlangıç Materyalleri :



Hidrokarbonlardan bir etkileşim olmadığı takdirde bu sistemin dengesi mükemmeldir.

Smog Ürünleri Ozon Aldehit ve Ketonlar PAN'lar H₂S
(a) Fotokimyasal smog oluşumunda SO₂ yer almaz, H₂SO₄'e dönüşümünü göstermek amacı ile şemada belirtilmektedir.

(b) Numaralar reaksiyon öncelik sırasını ifade etmektedir.

(c) reaksiyon dönüşüm içinde

(d) reaksiyon dönüşümler arasındadır

10. UYARI KADEMELERİ

Hava kirliliğinin yüksek olduğu durumlarda alınması gereken acil tedbirlere yön vermek üzere "Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği"nde yer alan Uyarı Kademeleri aşağıda gösterilmektedir.

Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği'nde Uyarı Kademeleri Kükürt dioksit ve Havada Asılı Partikül Madde bazında 24 saatlik ortalama olarak;

	SO ₂ (µg/m ³)	Havada Asılı Partikül Madde (µg/m ³)
1.Kademe	700	400
2.Kademe	1000	600
3:Kademe	1500	800
4.Kademe	2000	1000

Hava kalitesi sınır değerlerinin aşılması durumunda; hava kirliliği yukarıda belirtilen kademelere ulaştığında bölge özelliklerine bağlı olarak alınacak tedbirler Valiliklerce belirlenmektedir.

Her kademe için alınacak tedbirlerde meteorolojik veriler dikkate alınmaktadır. Sis, inversiyon, durgun meteorolojik şartlar ve izotermal durumlarda bir sonraki kademenin tedbirleri veya ilave tedbirler uygulanabilir. Nisbi nem miktarının %90'unun üzerine çıkması halinde yukarıda belirtilen uyarı kademelerindeki kirlilik derecelerinin %10 eksiğinde dahi ilgili kademenin tedbirleri uygulanabilir.

Kritik Meteorolojik Şartlar :

İnversiyon tabakasının yerden yüksekliği	: 700 m.
İnversiyon tabakasının alt ve üst sıcaklık farkı	: 2 °C
Rüzgar hızı (12 saatlik ortalama)	: <1.5 m/sn.
Nisbi nem yükseklikle sıcaklığın değişmediği (izotermal) durumlarda	: % 90

11. HAVA KİRLİLENMESİNİN ÖNLENMESİNDE ALINABİLECEK ÖNLEMLER

Hava kirlenmesinin önlenmesi amacı ile alınacak önlemleri kısa, orta ve uzun vadeli olarak belirtebiliriz.

Kısa Vadede Alınabilecek Önlemler

A. Yakıt Seçimi

Isınma amacı ile ısı değeri yüksek, kükürt içeriği düşük yakıtların kullanılması,

B- Taşıt Araçlarının Kontrolü

- Taşıtlarda kurşun içeriği düşük benzinin kullanılması
- Yanma veriminin arttırılması amacı ile motor bakımlarının sağlanması.
- Ekzozdaki kirleticilerin minimum düzeye indirilmesinin sağlanması amacıyla katalitik konvertörlerin kullanılması
- Tam yanmayı sağlamak için uygun katalizörlerin kullanılması

C- Yakıt tasarrufunun sağlanması amacıyla ısı izolasyon tekniklerinin azami ölçüde kullanılması

D- Yakma teknolojisi ve enerji tasarrufu konusunda halkın bilinçlenmesini sağlamak üzere eğitim hizmetlerine ağırlık verilmesi

E- Öncelikle hava kirliliğine olumsuz katkılarının kontrol altına alınması zor olan sobalı evler olmak üzere bütün konutlarda iyi kaliteli yakıt dağıtımının düzenlenmesi

F- Kirliliğin aşırı derecede yükseldiği alarm dönemlerinde kullanılmak üzere kaliteli yakıt rezervinin hazır bulundurulması

H- Fuel-Oil yakılan kaloriferli binalarda ısı ölçer cihaz kullanılarak gereksiz ısınmanın önlenmesi

I-Kirlilik konsantrasyonundaki yüksek artışları önlemek için, kaloriferlerin yakma saatlerinin semtlere göre ayarlanması

K- Yanma veriminin arttırılması için soba boruları ve kalorifer kazanlarının alev borularının temizlenmesi

L- Bacalarından fazla kirletici duman çıkaran binaların kontrollerinin belediyelerce yapılarak yaptırım uygulanması.

Orta Vadede Alınabilecek Önlemler

A. Halihazırda mevcut yakıtların kirleticilik vasfını minimum düzeye indirmek amacıyla uygun teknolojilerin kullanılması

B- Yakma sistemlerinin ıslahı, bu amaçla gerekli standartlar ile yasal mevzuatların uygulanması, teknik kontrol ve belgeleme hizmetlerinin gerçekleştirilmesi

C- Binalarda; azami ısı yalıtımını sağlayacak ekonomik yalıtım önlemlerinin saptanması ve uygulanması,

D- Kent imar planının ve bina kat müsaadesinin kentin hakim rüzgarlarını önlemeyecek şekilde yapılması,

E- Yakıt tüketimi fazla olan büyük bina ve kuruluşlardan başlayarak baca filtresi uygulamasına geçilmesi.

Uzun Yadede Alınabilecek Önlemler

A- Ekonomik ve teknik yönden detaylı incelemeler yapılarak, en azından kirlenmenin çok yoğun olduğu semtlerde elektrikle ısıtma uygulamasının başlatılması,

B- Doğal gaz ile ısıtmanın yaygınlaştırılması,

C- Merkezi sistem ile ısıtmanın yaygınlaştırılması,

D- Bir yandan gaz ve tozun tutulması, diğer yandan hava akımı oluşturarak kirlenici maddelerin dağılmasını sağlayacak yeşil kuşak ve alanların tesisi,

E- Yeraltındaki ısının; yüksek verimli ısı transfer pompalarıyla alınıp kullanılmasının uygulanabilirliğinin araştırılması,

F- Yenilenebilir enerji kaynaklarından olan güneş enerjisinin en temiz enerji kaynaklarından biri olduğu düşünülerek, uygun bölgelerde bu kaynaktan yararlanılmasının sağlanması.

12. KAYNAKLAR

- 1 Work Kenneth, Warner Cecil F. Air Pollution It's Origin and Control.
- 2 World Meteorological Organization.Fact Sheet No:6, February 1990.
- 3 World Health Organization.Air Quality Guidelines for Europe.European Series No:23
- 4 Calvert Seymour, England Harold M.Handbook of Air Pollution Technology.
- 5 Elsom Derec, Atmosferic Pollution.
- 6 Strauss Warner.Air Pollution Control.Part II.
- 7 North Atlantic Treaty Organization.Comittee on Challenges of Modern Society. Air Pollution. Quality Criteria for:
 - a) Photochemical Oxidand an Related.Hydrocarbons Pub.No:29
 - b) Carbon Monoxid. Pub. No:10
 - c) Nitrogen Oxides. Pub No: 15
- 8 World Health Organization. Environmental Health Criteria 8. Sulfur Oxides and Suspended Particulate Matter.
- 9 Pryde. Environmental Chemistry An Introduction.
- 10 Environmental Protection Agency.Indoor Air Quality Implementation Plan. Washington, D.C.June 1987
- 11 T.C.Başbakanlık Çevre Müsteşarlığı, Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği
- 12 T.C.Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı,Hava kalitesi Yönetimi Özel İhtisas Komisyonu Raporu.Haziran 1989.
- 13 T.C.Başbakanlık Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, Meteorolojiyi Tanıyalım. Nisan 1985.
- 14 D.Sn.Toshiichi Okita. Long-Range Transport of Air Pollution. Obrini University.
- 15 World Health Organization.İndoor Air Pollutants Exposure and Health Effects. Euro Reports and Studies No:78