

## HAVA KİRLİLİĞİ VE ATMOSFER

Temiz hava olarak tanımlanan havanın insan faaliyetleri ve bazı doğal süreçlerle niteliğinin değişmesi olayına hava kirliliği denmektedir. Kirletici maddeler belli bir sınır değerini üzerinde bulunuyorsa kirli hava söz konusudur. Pek çok bilim adamı temiz havayı bileşimi aşağıda verilmiş gazların bir karışımı olarak tanımlamaktadır: Dinitrojen (% 78.09), dioksijen (% 20.94), argon (% 0.93), karbondioksit (% 0.031), neon, helyum, metan, kripton, dihidrojen, nitrozoksit, karbonmonoksit, ozon, amonyak, azot dioksit ve kükürt dioksit. Şayet temiz hava bu ise buna karışan her hangi birleşen " kirletici / pollutant" olarak tanımlanabilir.

Atmosfere katılan kirleticiler, orman yangınlarından kaynaklanan dumanlar gibi doğal nitelikli olabildiği gibi, otomobil eksozları gibi antropojenik / insan aktivitesi sonucu meydana gelmiş olabilir.

### 3.1. Kirleticiler

Hava kirletici unsurları çeşitli şekillerde, örneğin kaynaktan çıkış niteliklerine, kaynaklara ve kimyasal yapılarına göre sınıflandırmak mümkündür.

#### A. Kaynaktan çıkışına göre

1. Primer kirleticiler: Kaynaktan doğrudan çıkarak hava kirletici özelliklere sahip olan bileşenler:  $SO_2$ ,  $H_2S$ ,  $NO$ ,  $CO$ ,  $CO_2$ ,  $HF$ ,  $HCl$ ,  $Pm$  (partikül madde)
2. Sekonder kirleticiler: Atmosferde bazı reaksiyonlar sonucu primer kirleticilerden türeyen kirleticilerdir. Örneğin  $SO_3$ ,  $H_2SO_4$ ,  $NO_2$ , PAN (peroksi asit nitrat), aldehitler, ketonlar, asitler v.b.

### **B. Kaynaklarına göre**

1. Doğal kaynaklardan oluşan kirleticiler: Doğadaki çürüme olayları sonucu çıkan metan ( $CH_4$ ) ve kükürtlü bileşikler,  $H_2S$ , yanardağ faaliyetleri veya orman yangınları sonucu türeyen hidro karbon ve diğer mineral partikül maddeler ve gazlar
2. Yapay kaynaklardan oluşan kirleticiler:
  - 2.1. Fosil yakıt kullanımından oluşan (linyit, kok, fuel yağlar) kükürtdioksit, duman ve partikül maddelerdir
  - 2.2. Patırlı motorlardan çıkan  $NO_2$ ,  $CO$ ,  $Pb$  bileşikleri, hidrokarbonlar ( $HC$ ), ozon v.b.

### **C. Kimyasal yapılarına göre**

1. Organik kirleticiler
  - 1.1. Organik gazlar: Fenol, etilen, benzen, tolüen, etanol,  $HC$ 'lar v.b.
  - 1.2. Organik partikül maddeler: Molekül ağırlığı fazla olan polinükleer hidrokarbonların fenolik ve karboksilik bileşikleri.
2. İnorganik kirleticiler:
  - 2.1. İnorganik gazlar  $O_3$ ,  $Cl_2$ ,  $CO$ ,  $NO_x$ ,  $H_2S$
  - 2.2. İnorganik partikül maddeler: Ağır metaller, tuzlar ve çeşitli mineraller

**Çizelge 3.1.** Kirletici bileşikler ve genel nitelikleri

Sınıf	Kirlenici		Yapay kaynak
	Primer	Sekonder	
Kükürtlü bileşikler	SO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S	SO <sub>3</sub> , H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	S'li yakıt
Azotlu bileşikler	NO, NH <sub>3</sub>	NO <sub>2</sub>	Yüksek sıcaklıkta N ve O reaksiyonu
Karbonlu bileşikler	C <sub>1</sub> ve C <sub>5</sub> 'li bileşikler	Aldehitler, ketonlar asitler	Yakıt yanması petrol damıtımı, çözgen kullanımı
Karbon oksitler	CO, CO <sub>3</sub>		Yanma
Halojenli bileşikler	HF, HCL		Metalurji
PM ( partikül maddeler)	SiO <sub>2</sub> , Toz, mist, tütsü, is, duman	Londra sisi veya endüstriyel duman (smog)	Yanma, mekanik işlemler

**Çizelge 3.2.** Normal kuru havanın bileşimi

Bileşen	Hacimsel %	ppm (cm <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> )
N <sub>2</sub>	78.084	780.900
O <sub>2</sub>	20.946	209.400
Ar	0.934	9.300
CO <sub>2</sub>	0.033	315.0
Ne	0.018	18.0
He	0.00052	5.2
CH <sub>4</sub>	0.00012	1.2
Kr	0.00005	0.5
H <sub>2</sub>	0.00005	0.5
X	0.000008	0.08
NO <sub>2</sub>	0.000002	0.02
O <sub>3</sub>	0.000001-0.000004	0.01-0.04

Dünya sağlık teşkilatı (WHO) hava kirliliğini şu şekilde tanımlamaktadır: " **İnsan, bitki, hayvan veya madde üzerine zarar verebilen veya rahat yaşam şeklini (konfor) ve maddeyi aşırı şekilde etkileyen kum, toz, uçucu kül, kurum, is, duman, buğu, tütsü, sis, pus, buhar, gaz veya koku gibi bileşenlerin miktar, karakteristik ve süre olarak çevre atmosferindeki varlığıdır.** Bu tanım içindeki tüm bileşenlerin kirlenici olarak belirli oran ve sürelerde etkileri vardır.

Tanım içinde geçen terimler aşağıda açıklanmıştır:

**Kum (grit):** 76 mikrondan büyük silisyum dioksit kökenli parçacıklar  
**Toz (dust):** 76 mikron ile 1 mikron büyüklük arasındaki parçacıklar  
**Tütsü (fume):** 0.001-1.0 µm çapındaki katı partiküller  
**Sis (fogs):** Görüntüyü engelleyecek düzeyde yoğun (mist) sıvı partiküller  
**Mist:** 0.01-10.0 µm çapındaki sıvı partiküller  
**Duman (smoke):** Uçucu kül ve yetersiz yanma ürünleri (sıvı-katı parçacıklar)  
**İs (soot) :** Yetersiz yanma ile oluşmuş yanmamış karbon agregatları.  
**Aerosol:** Havada süspansiyon halinde askıda bulunan partiküller

- İnert-nötr nitelikli partiküller (Kum taneciği, uçucu kül, is patikülleri)
- Yoğuşma çekirdekleri (higroskopik aerosoller)

**Yoğuşma çekirdeği:** Higroskopik (nem çekici) özellikteki aerosoller. Örnek: Klor tuzları, sülfürik asit damlacıkları, No<sub>x</sub> bu tür oluşumlar çevresinde su moleküllerini toplayarak sis, bulut ve yağmura neden olur.

**Kirletici bileşen (Pollutant / Luftfremdestoffe):** Su buharı hariç olmak üzere havanın doğal bileşiminde yer almayan her cins maddedir.

**Emisyon (emission):** Bir kaynağın çıkış koşulunda havaya atılan katı, sıvı, gaz kirleticilerin tümüdür. Emisyon miktarları değişik birimlerle ifade edilebilir. Örneğin mg/m (gaz, eksoz gazı, buhar derişimi) veya kg/h veya g/h şeklinde emisyon debisi olarak verilir.

**İmisyon (Immission):** Kirletici maddelerin etkili oldukları yerler yakınındaki konsantrasyonlarıdır. Genellikle yeryüzünden veya bitkilerin üst yüzeyinden 1.5 m yükseklikte ölçülür ve konsantrasyon birimi ile ifade edilir.

**Kirletici kaynak:** Gerek gaz ve gerekse partikül halindeki emisyonların yayımlandığı yere kirletici kaynak adı verilir Bu kaynaklar orman yangını, yanardağ püskürmeleri gibi doğal nitelikli veya ev yakıtları, sanayi ve araç eksozları gibi yapay veya insana ait (antropojenik) emisyon kaynaklarıdır.

**Rezervuar (Alıcı ortam):** Toprak, bitkiler, yüzey suları, atmosferdeki kimyasalların biriktirildiği alan veya mekanizmalar rezervuar olarak tanımlanır.

**Atmosferdeki yarılanma ömrü:** Bir kirletici maddenin kaynaktan yayımlandığı andaki miktarının yarıya düşmesi için geçen zamandır.

**ppm<sub>v</sub>:** Birim hacimsel hal için milyonda kısım 1 m<sup>3</sup> havadaki cm<sup>3</sup> olarak kirletici veya bileşen miktarını gösterir.

$$\mu\text{g}/\text{m}^3 = \frac{C_i (\text{ppm}_v) \times M_i (\text{kg}/\text{k mol}) \times 10^3}{V (\text{m}^3 / \text{k mol})}$$

M<sub>i</sub>: Mol ağırlığı kg/kmol olan bir bileşenin m<sup>3</sup> havadaki µg miktarı

Hava kirliliğinde etkili olan kirlenici kaynaklar potansiyellerine göre şöyle sıralanabilir:

- Kömüre dayalı (özellikle linyit) termik santraller
- Endüstriyel kuruluşlar
- Süpersonik uçaklar ve içten yanmalı motorlar
- Evsel fosil yakıt kullanımı

Dünya enerji temini, en önemli çağdaş uğraşı ve sorunlardan biridir. Bu faaliyetler aynı zamanda çevre kirliliğinin de en önemli boyutlarını oluşturmaktadır. Örneğin dünyadaki toplam enerji üretiminin % 30'unun hidrolik ve nükleer santraller aracılığı ile elde edildiği ve geriye kalan % 70 lik üretim payının fosil yakıt adı verilen kömür, petrol, gaz ve bunların sentetik türevlerinin yakılması ile elde edildiği belirtilmektedir.

Yakıt-hava karışımındaki fakirlik veya zenginlik veya yanma sıcaklıklarının etkisi ile yakıtta bulunan bileşenler hava kirliliğine yol açan faktörlere dönüşürler. Bunlar partikül maddeler (PM), kükürt oksitler (SO<sub>x</sub>), azot oksitler (NO<sub>x</sub>), karbonmonoksit (CO), yanmamış hidro karbonlar ve aldehitler (R.CHO) gibi atık ürünlerdir.

İnsan aktivitesinin tüketmiş olduğu oksijen miktarı ürettiği iş durumuna göre değişir. Metabolik faaliyetler için gerekli olan oksidasyon ve solunum olayları için ortalama ağırlıktaki (68 kg) bir insan 24 saatte 14.4 kg (12 m<sup>3</sup>) hava tüketir. İnsan ve kullanılan araçların oksijen tüketimine ilişkin Çizelge 3.3. 'de verilmiştir.

**Çizelge 3.3.** İnsan ve kullandığı araçların O<sub>2</sub> tüketimleri

Tüketici	Yakıt(gıda) tüketimi kütle/gün	O <sub>2</sub> tüketimi kgO <sub>2</sub> /gün	Eşdeğer insan/gün
İnsan	16 kJ/ gün	0.64	1
Oto (10.000 km/yıl)	2.17 kg/gün (10 l/ 100 km )	7.29	11
Termik Sant.(Fuel-oil)	2000 ton /gün	6 728 000	10 513 000
Termik Sant. (Kömür)	2000 ton /gün	5 333 000	8 333 000

Normal atmosferden solunum yolu ile alınan hava ( % 21 O<sub>2</sub>, % 0.033 CO<sub>2</sub>) solunum sonrası akciğerlerden çıkarken % 16-17 O<sub>2</sub> ve % 4 CO<sub>2</sub> içerir. İnsanın havadaki oksijenin % 4' ünü kullandığı ve günde 12 m<sup>3</sup> hava soluduğu varsayıldığında gerçek oksijen tüketimi:

$$0.04 \text{ m}^3 / \text{m}^3 \times 12 \text{ m}^3 \text{ hava} = 0.48 \text{ m}^3 / \text{gün oksijen}$$

$$0.48 \text{ m}^3 \text{ O}_2 / \text{gün} \times 1.33 \text{ kg/m}^3 = 0.64 \text{ kg O}_2 / \text{gün düzeyindedir.}$$

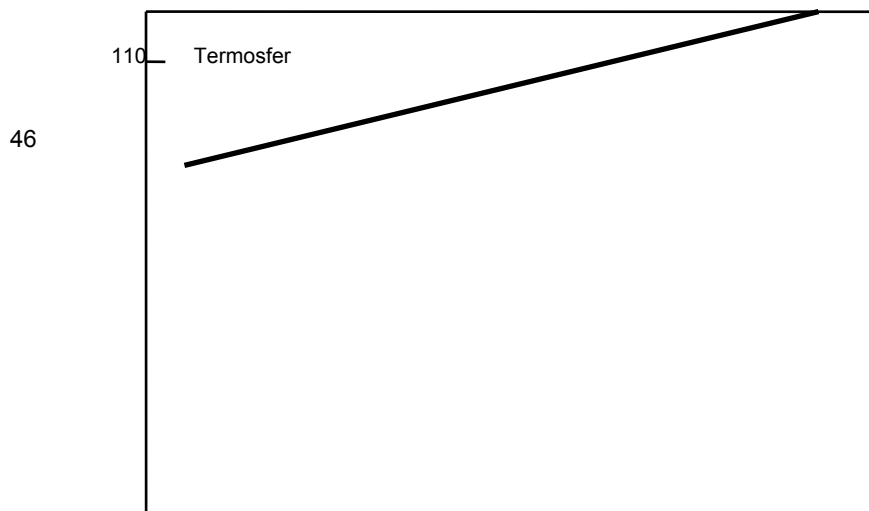
Çevre havasındaki oksijen düzeyi % 15' in altına düştüğünde insan için tehlike başlamaktadır. Çeşitli çevrimsel olayların cereyan ettiği hava tabakası 30 km kadardır. Bu hava katmanının % 99'unu azot ve oksijen oluşturur. Su buharı miktarı sıcaklığa bağlı olarak değişir.

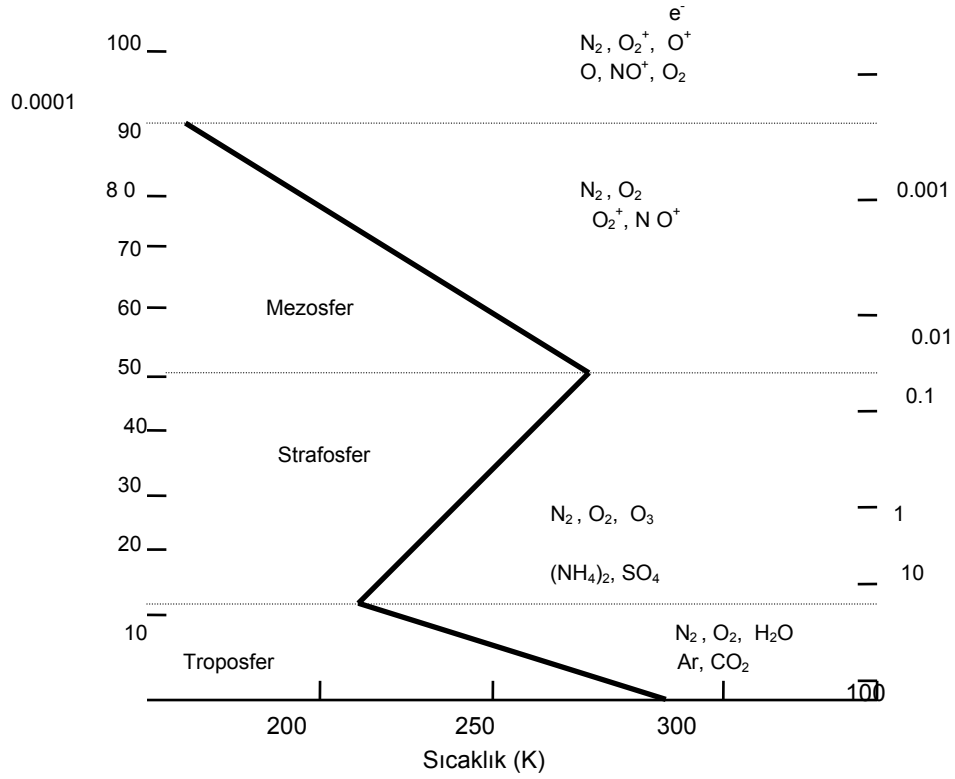
### 3.2. Atmosferin Yapısı ve Bileşimi

Atmosfer yer küreyi 800-1000 km kalınlıkta saran dinamik bir gaz karışımıdır. Bu karışımın kütlesi  $5.14 \times 10^{21}$  gram olup bunun % 99.9 'u 50 km'nin altında, % 0.0997 si 50 ile 100 km yükseklikler arasında bulunur.

Yeryüzü ile en fazla temasta bulunan atmosfer katmanı yaklaşık 12 km kalınlıktaki troposfer tabakasıdır. Troposferin kalınlığı kutuplarda 8 km, ekvatorunda 16 km dir. Bu katmanı stratosfer, mezosfer ve termosfer katmanları takip eder (Şekil 3.1).

Atmosferdeki maksimum su konsantrasyonu 10-15 km 'ye kadardır. Su, gaz ve bulutlarda yoğunlaşmış su, sis, çiy veya katı halde kar ve buz olarak hacimsel düzeyde % 1-4 kadardır (Çizelge 3.4).





Şekil 3.1. Atmosferin yapısı diagramatik olarak olarak gösterilmiştir

Çizelge 3.4. Sıcaklığa bağlı olarak hava-su buharı ilişkileri

Sıcaklık (° C)	Hava yoğunluğu (kg/m <sup>3</sup> )		Doymuş havadaki su buharı	
	Kuru	Doymuş	g Su /kg	g Su /m <sup>3</sup>
-10	1.342	1.341	1.60	2.30
0	1.293	1.290	3.78	4.9
10	1.248	1.242	7.36	9.4
20	1.205	1.195	14.7	17.2
40	1.128	1.097	48.8	50.8
100	0.947	0.589		589.5

Atmosferik gazlar bazı gruplara ayrılmaktadır. Bunlar:

- İnerit gazlar
- Biyodöngü gazları
- Su ve kısa ömürlü gazlardır.

### **İnerit gazlar**

Neon, kripton ve ksenon gazları bu grupta yer alan ve belirgin bir döngüleri olmayan gazlardır. Kr ve Xe' nin bazı izotopları uranyum fizyonunun stabil ürünleridir. Argon ve helyum  $K^{40}$ 'ın radyoaktif parçalanma ürünleridir. Bundan dolayı  $Ar^{40}$  atmosferdeki inerit gaz nükleidlerinin en yaygınıdır. Helyum moleküler hidrojenle birlikte en yaygın gazı oluşturabilir. Ancak bu gazın çok hafif olması nedeniyle dünyanın çekim alanından kurtularak dış uzaya kaçması, bu olguyu yok eden en önemli faktördür.

### **Biyodöngü gazları**

Atmosferdeki N (% 78.08) ve O (% 20.95) gazları başta olmak üzere  $H_2$ , CO,  $CO_2$ ,  $CH_4$  ve NO gazları biyolojik döngülere katılan gazlardır.

Azot gazı dünyamızın dışındaki diğer gezegen atmosferlerinin de önemli bir bileşimidir. Yeryüzünde özelleşmiş bazı mikroorganizmaların (özellikle toprak mikroorganizmaları) faaliyeti ile atmosferden alındığı gibi organik maddelerin biyolojik ayrışması sonucu da oluşmaktadır. Bu gazın kimyasal niteliği nedeniyle atmosferde bulunma süreci çok uzundur.

Oksijen gazı ise ne volkanik gazlar arasında, nede diğer gezegenlerin atmosferinde bulunmaktadır. Üst atmosferde suyun fotolizi ile oluşan  $O_2$  yeryüzünde yeşil bitkilerin çoğalması ile özellikle troposferde yaygın hale gelmiştir.

Oksijenin ilk oluşumunun  $1.4 \times 10^9$  yıl önce prekambrien dönemde başladığı saptanmıştır.

Hidrojen, anoksijenik mikroplar ve oksidasyon yapan aerob mikroorganizmalarca üretilmektedir. Bu gaz kısmen uzaya kaçmakta veya stratosferde reaktif ozon veya oksijen atomlarının etkisi ile suya foto-okside edilmektedir.

Karbonmonoksit, oto egsozlarından türeyen miktarı yanında, deniz organizmalarınca ve fotooksidasyon yolu ile metan gazından ( $CH_4$ ) türemekte ve toprak mikroorganizmaları tarafından absorbe edilmektedir.

Bu gaz ayrıca stratosferde hidroksil radikaller ( $OH\cdot$ ) tarafından  $CO_2$ 'e okside olur.



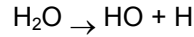
Atmosferdeki CO<sub>2</sub> konsantrasyonu, bu gazın denizlerde çözülmüş büyük rezervuarı yoluyla tamponlanmaktadır. Fotosentez ve solunum, atmosferdeki karbondioksiti genel olarak dengede tutan iki temel biyolojik olaydır. Ancak bu gazın atmosferdeki günlük derişimleri kararsızdır.

Metan (CH<sub>4</sub>) anoksijenik bakterilerce üretilmektedir. Anoksijenik sedimentler, bataklıklar bu tür ortamlardır. Büyük kısmı petrol depozitlerinde doğal gaz olarak tutulur (yaklaşık % 90 'ını). Bu gazın atmosferik ömrü iki ile beş yıl kadardır. Atmosfer derişimi 1080 µg/m<sup>3</sup> tür.

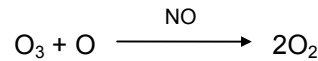
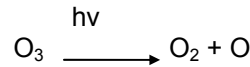
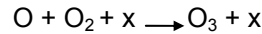
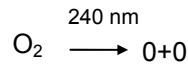
Nitroz oksitler, azot döngüsünün bir yan ürünü olarak ortaya çıkmaktadır (doğal nitelikli olanları). Özellikle nitratların bakteriyel denitrifikasyon ve Fe (II) iyon ile 6-8 pH larda oda sıcaklığında reaksiyonu sonucu oluşur.

### Su ve kısa ömürlü gazlar

Atmosfer çok değişik miktarlarda su içerir. Okyanuslarda evaporasyon ve bitkilerde transpirasyon, hidrolojik döngüdeki önemli kaynaklardır. Su, stratosferdeki güneş ışınmasını absorbe eden önemli bir bileşendir. Su, stratosferde mor ötesi (UV) ışınlar ile H atomları ve hidroksil radikallere ayrılır.



Ozon (O<sub>3</sub>) esas olarak stratosferde bulunan diğer kısa ömürlü bir gaz bileşendir. Atmosferde bulunma süresi üç ay kadardır. Bu atmosferik katmanda, zararlı UV ışınlarını süzerek çok yararlı bir görev yapan ozon yer yakınlarında kirletici bir faktör olarak etki yapar. Endüstriyel kirletici olarak yer yakınlarında bulunan ozonun bulunma süresi çok daha kısadır.



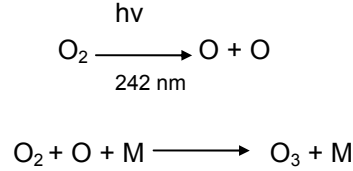
X = NO olabilir

hν = Işık paketçikleri (kuant) enerjisi ( h= planck sabiti, ν= frekans)

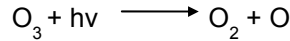
Amonyak (NH<sub>3</sub>), mikrobiyal olarak üretilen ve tüketilen bir gazdır, yağmurlarla çok kolay yıkanır.

Nitrik oksit (NO) ve onun oksidasyon ürünü olan NO<sub>2</sub> de mikroplarca ve stratosfer reaksiyonları ile üretilen gazlardır. Her ikisi de hava kirletici nitelik taşır. Hidrojen sülfür (H<sub>2</sub>S) kıyı alanlar ve volkanlardan oluşur ve süratle kükürtdioksite oksitlenir. Atmosferde kalma zamanı 18 saattir, bundan türeyen SO<sub>2</sub> ise önemli bir kirletici ve aşındırıcı bir gazdır.

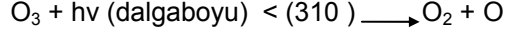
Atmosferde ayrıca halojenler içeren bileşiklerde bulunur. Benzer olarak kloroform, karbon tetra klorür (CCl<sub>4</sub>) ve iyodo metan (CH<sub>3</sub>I) gibi kısa ömürlü gazlar da bulunur. Stratosfer tabakasında troposferde görülen atmosfer olaylarına rastlanmaz, burada bulut oluşumu yoktur. Buhar basıncı çok düşüktür. Gaz bileşimi aynı olmakla birlikte gaz kütlesi toplam atmosferin % 15'i kadardır. Çoğunlukla daha fazla düzeyde ozon (O<sub>3</sub>) gazı bulunur. Güneş ışınları atmosferden geçerken içermiş olduğu kısa dalga boylu ve yüksek enerjili mor ötesi ışınlarla (Ultra viyole = UV) bazı fotokimyasal reaksiyonlara neden olur.



Reaksiyonlarda görüldüğü gibi oksijen molekülü özellikle 242 nm den küçük dalga boylu UV ışınları ile atomik oksijen oluşturmak üzere reaksiyona girer. Oluşan oksijen atomları oldukça aktif olup tekrar bir oksijen molekülüyle birleşmek suretiyle ozon molekülünü oluştururlar. Bunlarda M ile gösterilen üçüncü bir molekül olup aşırı enerjinin taşınmasına yarar. Ancak ilk reaksiyonda gösterilen fotokimyasal reaksiyonlar yeryüzünde cereyan etmemektedir. Bunun nedeni ışığın yüksek enerjili UV kısmının yeryüzüne ulaşmasının engellenmesinden kaynaklanmaktadır. Çünkü ikinci reaksiyonda görüldüğü gibi oluşan ozon gazı 340 nm den küçük dalga boylu ışınları absorblamaktadır.



Reaksiyon görünür ışık bölgesinde ozonun foto dissosiasyonunu göstermektedir. Burada meydana gelen oksijen atomları süratle oksijen molekülü ile birleşmeye eğilimlidir, ancak bu reaksiyon dalga boyu 310 µm veya daha aşağısındaki yakın ultraviyole bölgesinde gerçekleşirse, reaksiyon sonunda uyarılmış oksijen atomları meydana gelmektedir. Bu atomlar ortamda bulunan su buharı veya metan gibi iz gazlar ile reaksiyona girerek önemli hidroksil (OH) radikallerin oluştururlar. Böylelikle ozon fotodissosiasyon sonucu tüketilmiş olur.



Ozon çoğunlukla 50-60 km yüksekliğe kadar olan yukarı stratosfer ve mezosferde yer alır. Maksimum derişimi 20-30 km de olup 0.1 - 0.2 ppm dir. Ozon tabakasının kısa dalgalı UV ışınlarının büyük kısmını absorbe etmesi, biyosferin korunmasında önemli bir özelliktir. Şayet bu tabaka zayıflar veya bulunmazsa iyonlaşmış UV ışınları yeryüzündeki yaşamın tümünü veya çoğunu yok edebilir.

Atmosferik kirlenme yeryüzü ile ilişkisi daha fazla olan troposfer katmanında olmakla birlikte bazı etkiler aşağı stratosferide etkiler.

### 3.3. Stratosferik Ozon Bozulması ve İlgili Gazlar

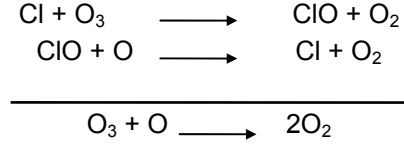
Küresel stratosferik ozon konsantrasyonları katalitik döngüler yolu ile kontrol edilir. Katalitik iz gaz gruplarının her biri ( $\text{NO}_x$ ,  $\text{HO}_x$ ,  $\text{ClO}_x$ ,  $\text{BrO}_x$ ) ozon konsantrasyonları üzerine ayrı bir etkiye sahiptir. Ancak bazı iz gaz grupları diğerleri ile birleşme eğilimindedir. Stratosferik  $\text{ClO}_x$  'lerin en önemli kaynağı CFC ve  $\text{CCl}_4$  gazlarıdır. Buna ilaveten hidroksil radikaller ( $\text{OH}$ ) metil klorür ( $\text{CH}_3\text{Cl}$ ), metil kloroform ( $\text{CH}_3\text{CCl}_3$ ) H-CFC'ler gibi hidrojen, bazı bileşiklerle reaksiyonda ana kaynak mekanizması rolü üstlenirler.

Freon gazları olarak bilinen kloroflorokarbon (CFC) gazları içinde en çok kullanılanları Freon-11 ( $\text{CFCl}_3$ ) ve Freon-12 ( $\text{CF}_2\text{Cl}_2$ ) gazlarıdır.

1990 yılından itibaren CFC, metil kloroform ve halon gazlarının azaltılmasını öngören Montreal Protokolüne göre 2015 yılına kadar kademeli bir azaltma ve bu tarihten itibaren de bu tür gazların üretiminin kaldırılması söz konusudur. 1985 yılında bu tür gaz üretim miktarları batıda 750 bin ton ve eski Sovyetler Birliğinde 60 bin ton ve diğer ozon bozucu gazların 200 bin ton düzeyinde olduğu belirtilmektedir. CFC molekülleri troposferde inert nitelikte olmasına karşın stratosferde fotokimyasal süreçlerle parçalanarak aktif klor meydana gelmesinde etkin olan antropojenik gazlardır. Bu gazların molekülleri global emisyon olarak CO'e oranla çok daha az salınmasına karşın, 10 000 kez daha fazla sera etkisine sahiptirler.

CFC gazları basınç altında kolayca sıvılaştıran ve tamamen inert nitelikli gazlardır, doğal nitelikli olmadıklarından mikrobiyal ayrışmaları yoktur veya zayıftır. Bu yüzden troposferik bulunma süreleri stratosfere difüzlenmeye yetecek kadar uzundur. Freon-11 gazının atmosferdeki yarılanma süresi 60 yıl, Freon-12 olarak tanımlanan  $\text{CF}_2\text{Cl}_2$  gazının ise 120 yıldır. Bu gazların stratosferde oluşturdukları ozon bozunması şu reaksiyon denklemleri ile gösterilebilir;

Stratosferde yüksek enerjili yakın mor ötesi (UV) ışınlar freon gazlarını fotolitik olarak ayrıştırırlar ve aktif klor atomları oluşur:



Aktif klor atomları ozon molekülünü parçalar. Oluşan klor ve oksijen atomları reaksiyona girerek, tekrar serbest klor atomunun ortaya çıkmasına neden olurlar. Böylece ozon parçalanması katalitik olarak süratlenir.

### 3.4.Stratosferik Ozon Bozulmasının Küresel Etkileri

İnsanların yerküremiz üzerindeki çeşitli aktiviteleri sonucu, dünyamızı çevreleyen atmosferin kimyasal bileşiminde bazı değişiklikler gözlenmeye başlanmıştır. En önemli değişiklikler atmosferde karbondioksit, azot oksitler ve kloroflorokarbon ve halon gazlarının zenginleşmesi ve yarattıkları olumsuz etkilerdir. Bu değişimlere bağlı olarak araştırmacılar yerküremizde tüm insanlığı etkileyecek iki tür önemli soruna dikkati çekmektedirler. Bunlardan ilki dünya sıcaklığının sürekli ve olağan dışı artışına neden olan "**SERA**" etkisi, ikincisi ise dünyamızı güneşin yüksek enerjili ve biyolojik varlıklar için zararlı olduğunu bildiğimiz ışınlardan koruyan **stratosferik ozon katmanının zarar görmesidir**.

Her iki küresel olayda dört temel etkenin katkıları tanımlanabilir. Bunlardan ilki özellikle son on-onbeş yıldır artan şekilde tropik ormanların yok edilmesidir. Özellikle bu ormanların yakılması sonucunda atmosfere önemli miktarda zararlı gazlar karışmaktadır. Biraz önce tanımlanmış olan sera etkisinde tropik orman yangınlarının % 15 düzeyinde katkısı bulunmaktadır. İkinci temel etken özellikle enerji üretim santrallerinin yüksek düzeydeki emisyonları içinde yer alan karbondioksit, azot oksitler, karbon monoksit, metan ve diğer hidrokarbonlardır. Bu emisyonların sera etkisinin oluşturulmasındaki payı % 50 düzeyindedir. Kimya endüstrisinin ürettiği CFC (kloroflorokarbon) ve halon gazları ise atmosferik sorunlarda % 20'lik katkıya sahip bulunmaktadır. Tarımsal faaliyetler sonucu ortaya çıkan mikrobiyal kökenli metan ve azotoksit gazları da %15' lik bir olumsuz katkı oluşturmaktadırlar.

Atmofere çeşitli kaynaklardan ulaşan bu gazlar kimyasal aktivitelerine bağlı olarak belirli bir süre atmosferde bulunurlar. CFC gazları inert nitelikli olduklarından alt atmosferde giderilemeyip daha üst atmosfer kademelerine-stratosfere geçerler. İşte bu olay sonuçta ozon bozulmasına neden olan

kimyasal değişimlerin meydana gelmesinde etken olur. Dünyamızı zararlı ışınlardan koruyan ozon gazı değişen yoğunlukta olmak üzere stratosferin 20. ile 40. km leri arasında yer almaktadır. Atmosferin bu katmanı kendisini oluşturan gaz bileşenlerinin daha az yoğun olduğu bir bölgedir. Bu nedenle güneşten gelen yüksek enerjili ışınlar CFC gazları ile reaksiyona girerek aktif klor atomlarının ortaya çıkmasına ve bu atomların ozon molekülünü parçalamasına neden olur.

Ozon gazının canlılar üzerine etkisi toksik olmakla birlikte, stratosferik ozonun yeryüzündeki yaşamın çeşitliliği ve devamı bakımından yaşamsal bir önemi bulunmaktadır. Güneşten gelen çok kısa dalga boylu ve yüksek enerjili mor ötesi ışınlar (UV-C ışınları) stratosferde ozon molekülleri tarafından büyük ölçüde tutulur ve yeryüzüne ulaşmazlar.

Yeryüzüne ulaşan UV-B ve A grubu morötesi ışınların belirli dozları yaşamın belirli fonksiyonları için gerekli olmakla birlikte ozon parçalanması sonucu tutulamadıklarından yeryüzüne olağan üstü bir şekilde fazla düşmeye başlarlar. Fazla dozda bulunan bu ışınların mikroorganizmalar dahil tüm canlılar için olumsuz etkileri bilinmektedir. Genel olarak ışınların etkisi ile ortaya çıkan biyolojik değişimlerin büyüklüğü ozon azalması ile doğrudan oransal olmayıp optik amplifikasyon olarak tanımlanan bir özelliktedir. Bunun sonucunda ozon katmanındaki % 1 lik bir azalmanın % 2.7-2 düzeyinde UV-B artışına neden olacağı ve biyolojik sistemlerdeki etkilenmenin daha fazla olacağı belirtilebilir. Değişik senaryo ve hesaplamalara göre insanların neden olduğu atmosferik kirlenme sonucunda 20 ile 150 yıllık süre içinde ozon katmanında % 5 ile 25 düzeyinde azalma beklenmektedir.

### **3.5. Ozon Bozunmasına Bağlı Olarak UV-B Işınları Artışının Etkileri**

Biyolojik- aktif nitelik gösteren UV-B (280-320 nm dalga boyu) ışınların stratosferik ozon bozunmasına bağlı olarak artışı sonucunda, doğrudan ve dolaylı çeşitli etkiler beklenmektedir. Bunlar;

#### **3.5.1. Biyolojik sistemlere etkiler**

Genel olarak ortaya çıkan biyolojik değişimlerin boyutları ozon azalması ile doğrudan orantılı değildir. Ozon azalması sonucu UV-B ışımalarının optik amplifikasyon ile daha fazla ortaya çıkması gibi biyolojik tepkiler de artarak ortaya çıkmaktadır. Mor ötesi ışımaların biyolojik aktiviteye etkisi dalga boyuna bağlı olup 300 nm dalga boylu ışından 1000, 320 nm dalga boylu ışından ise 10

000 kez daha kuvvetlidir. Ancak stratosferik ozon bozunması ile ilgili dalga boyu sınırı 280 - 320 nm ışınları olduğu düşünülürse, ozon kayıpları ile tehlikenin üstsel şekilde artış göstereceği düşünülebilir.

UV ışımalarının canlı sistemlere olan zararlı etkisi hücreler tarafından tutulan ışın enerjisinin nükleik asitlerin, strüktürel enzim proteinlerinin, pigmentler gibi canlıların temel yapı bloklarının etkilenmesidir. İlk etki alanının genetik bilgiyi taşıyan DNA olması kalıtsal bozulmalara yol açmakta ve böylece sadece canlı bireyin değil türün de tehlikede olması olasılığı ortaya çıkmaktadır. Memelilerin hücrelerinin zararlı UV ışınlarına karşı oldukça duyarlı olduğu bilinmektedir. 1979-80 ve 1987-88 periyotları arasında etkili UV-B türü ışınların arttığı, özellikle 60 ° - 90 ° güney enlemleri bölgesinde DNA zararı oluşturacak etkili UV-B ışımalarının % 50, bitki zararı oluşturacak ışınların % 60 ve güneş yanığı oluşturan ışınların % 20 düzeyinde artış gösterdiği saptanmıştır.

### **3.5.2. İnsan sağlığı üzerine etkiler**

Düşük dozda UV ışınlarının insan sağlığı üzerine olumlu etkileri bulunmaktadır. D vitamini sentezi ve bazı deri hastalıklarının iyileştirilmesi UV-B etkisi ile göz, cilt ve bağışıklık sistemi olumsuz etkilenmektedir. EPA tahminlerine göre stratosferik ozonun her % 1 kaybı dünyada katarakt olaylarında % 0.3 ile 0.6 düzeyinde artışa neden olacaktır. Bu da katarakt körlüğünde % 1 lik ozon azalmasında dolayı yüzbin ile yüzelli bin dolayında bireyin etkileneceğini ortaya koymaktadır.

Yine UV ışımaları artışı deriye ilişkin bağışıklık sistemini etkileyecektir. Bunun sonucunda da virüs, bakteri ve diğer parazitlerin etken olduğu hastalık enfeksiyonlarının artışına neden olacaktır. Çeşitli enlemlerde yaşayan insan gruplarının biyolojik amplifikasyon faktörüne bağlı olarak UV-B radyasyonunda % 1 artış sonucu deri kanserinde % 2.9 artış olacaktır. Şayet stratosferik ozon katmanındaki azalma % 1 olursa ozon azalmasıyla UV-B yoğunluğu arasındaki optik güçlenme faktörü ile birlikte skuama hücre karsinoması oranı % 4.9' a yükselecektir.

### **3.5.3. Genel ekolojik zararlar**

Ozon bozunması ile ortaya çıkan UV-B ışımaları artışının daha geniş boyutlu etkileri ekosistemler üzerinde çeşitli dengesizliklerle görülecektir.

#### **a. Karasal ekosistemler üzerine etkileri**

Karasal ekosistemlerin çeşitli komponentleri üzerine artan dozlardaki UV ışımalarının etkileri pekçok çalışmalar ile tanımlanmıştır. Karasal bitkilerin çiçeklenme, metabolizma ve gelişimi kadar, toprak üst katmanındaki mikrobiyal yaşam olayları da bu fazla ışımadan olumsuz etkilenecektir. İkiyüzden fazla bitki türü ile yapılan çalışmalar bunların yarısından fazlasının UV ışınlarına duyarlı olduğunu göstermektedir. Bu bitkiler arasında büyük oranda duyarlı tarımsal ürün bitkileri yer almaktadır. Yüksek morötesi ışımaya bitki tür ve çeşidine bağlı olarak sürgün ve yapraklar da büyümenin azalmasına yol açmaktadır. Fotosentez aktivitesinin azalması sonucu önemli düzeyde kuru madde azalması ortaya çıkmaktadır.

Yüksek düzeyde UV ışımalarının toprak mikroorganizmaları, özellikle biyolojik azot bağlama niteliğindeki canlıları etkilediği tanımlanmaktadır. Ozon bozunmasının ortaya çıkaracağı UV ışımaları fazlalığı, doğal ve tarımsal sistemler için önemli bitki besin maddesi olan azotun biyolojik bağlama yolu ile giren miktarının önemli düzeyde azalmasına neden olabilir. Böylelikle, özellikle doğal ekosistemlerde azot açığı ve bitkisel birincil üretimde önemli azalmalar görülebilir. Bu tür bir ekosistem kararsızlığının etkileri tüm dünya için çok önemli sorunlar oluşturabilir.

#### **b. Deniz ekosistemleri üzerine etkileri**

Dünya okyanuslarında yaşayan canlı toplulukları yerküremizin en büyük ekosisteminin unsurlarıdır: Tek hücreli alglerden deniz memelilerine kadar değişen besin zinciri vasıtası ile insanların besin ihtiyacının büyük kısmını sağlarlar.

Dünyamızdaki fotosentetik organizmalar yılda 10-11 ton karbon fikse ettiği tahmin edilmektedir. Bunda fitoplanktonların payı % 30 - 40 düzeyindedir. Bu nedenle hem karbon döngüsü hemde birincil üretim potansiyelleri bakımından okyanus sularındaki fitoplanktonlar özel bir öneme sahiptirler. Okyanus yüzey sularında UV-B ışığının etkileyeceği derinliklerdeki canlı yaşam ışın dozunun artışına karşı olumsuz tepki vermektedir. Fitoplanktonlar yanında deniz hayvanlarının yumurta ve larvaları, ozon bozulmasına bağlı olarak artan UV-B nin ışığının aşırı dozlarında önemli düzeyde zarar görecektir.

Ilıman enlemlerde % 16 oranındaki ozon azalması şimdiye kadar üzerinde çalışılan türlerin yarısını ( % 50 ölüm oranı) öldürücü UV-B ışımaya dozunun etkisinde bırakacaktır.

#### **3.5.4. Küresel etkiler**

Görüldüğü gibi stratosferik ozon kayıpları artan şekilde UV-B ışınmasını gündeme getirmektedir. Yüksek enerjili bu ışınların dünya ekosistemlerine, daha doğru bir ifade ile biyosfere etkilerinin değişik boyutları olduğu görülmektedir. Aşırı mor ötesi ışınma, insanların göz ve deri organlarına olumsuz etki yapmakta ve bunun için önlemler önerilmektedir. Işımanın şimdiden fazla olduğu güney yarıkürenin yukarı enlemlerinde çiftçiler ve çobanlar güneş gözlükleri olmaksızın çalışmamaktadırlar. Peki ya doğal sistem içinde yaşayan canlılar, yaban hayatını nasıl sürdürecektir?

Bitkiler bir yandan aşırı ozon tahribatı sonucu aldıkları morötesi ışınma ile gelişme bozuklukları gösterirken, atmosferde artan diğer kirletici unsurların ve sera etkisinin neden olacağı kuraklık tehlikesine de maruzdurlar. Yine güney yarıkürede aşırı ışınma sonucu tavşan gibi hayvanların gözlerinde ortaya çıkan katarakt sonucu artık avlanmaya gerek kalmadan el ile toplandıkları haberleri gelmektedir. Bu durum tür tükenmesi için son derecede ciddi tehlike sinyalleri olarak algılanmalıdır.

### **Sonuç**

Atmosferik kirlenme bölgesel olaylar yanında yukarıda, örnekleri verildiği şekilde insanlığı ve küresel yaşamı tehdit eden dengesizliklerin oluşmasına etken olmaktadır. Enerji üretimi, kimyasallar ve sosyal yaşamdaki gelişmeler, yan ürünleri ve atıkları ile çevreyi büyük ölçekte olumsuz etkileme gücüne ulaşmış bulunmaktadır.

Bu etkileşimde gelişmiş sanayi ülkelerinin, hem doğrudan hem de dolaylı yoldan katkıları çok fazladır. Alınacak önlemler büyük ölçüde atmosfer bozucu gazları, büyük ölçekte üreten bu gelişmiş ülkeleri ilgilendirmektedir. Ancak gelişmekte olan ülkeler bu dünyanın tüm insanlığa ait olduğunu akılda tutarak uluslar arası politikanın oluşmasında güç sahibi haline gelmelidirler. Şüphesiz gelişmemiş ülkeler hızla yükselen tehlikenin farkındadırlar ve bazı alarm önlemleri almaktadırlar. Örneğin CFC gazlarının üretim ve kullanımında daha önce kabul edilmiş kısıtlanma ve sınırlamalar daha ivedi bir şekilde ele alınmaktadır. Yine de ABD gibi dünya üretiminin çoğunluğunu elinde bulunduran teknoloji ülkelerinin bu konudaki kesin tutumları çok açık değildir.

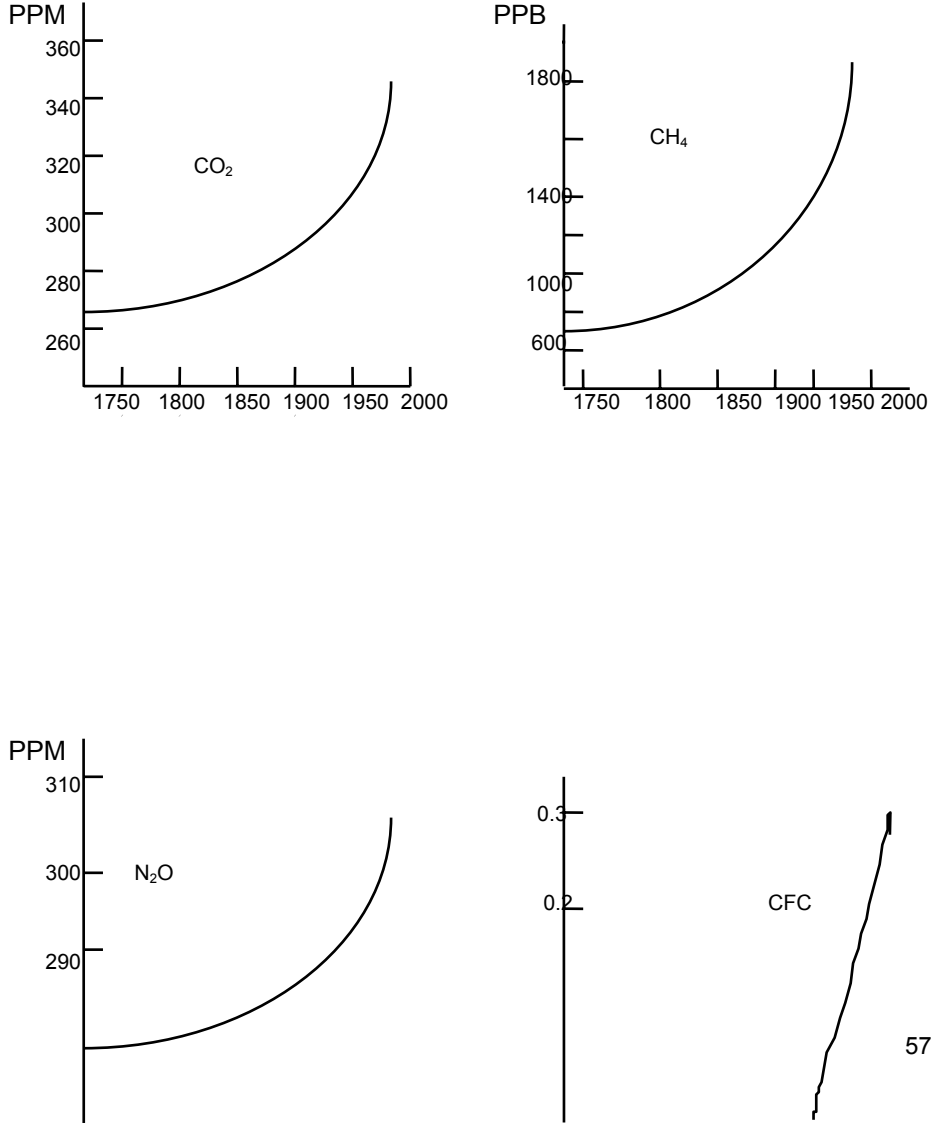
### **3.6. Küresel Isınma**

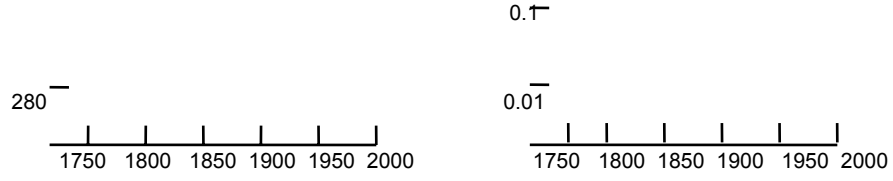
Günümüzde hemen bütün iklim bilimcilerinin üzerinde birleştiği nokta, gelecekte iklimde görülebilecek bir değişimini, atmosferde bulunan sera gazı miktarlarındaki artıştan kaynaklanan, küresel ısınmadan olabileceği şeklindedir.



Bu nedenle, **iklim değişikliği çerçeve sözleşmesinin** odak noktasını, küresel ısınmaya neden olduğuna inanılan, sera gazlarının ve de özellikle CO<sub>2</sub> emisyonlarının durdurulmasını ya da azaltılmasını oluşturmaktadır.

Aralarında su buharının da bulunduğu, atmosferde az miktarda bulunan bu gazların, tıpkı bir sera gibi, güneşten gelen ve yeri ısıtan kısa dalgalı radyasyonu geçirme, buna karşılık yerden atmosfere verilen ve atmosferi ısıtan uzun dalgalı radyasyonu tutabilme özellikleri vardır. Bu gazlara, bunun için sera gazları denilmektedir. Küresel ısınmadan, dolayısıyla iklim değişikliğinden birinci derecede sorumlu tutulan en önemli sera gazları, karbondioksit (CO<sub>2</sub>) , metan (CH<sub>4</sub>), kloroflorokarbonlar (CFCs) ve azotoksit (N<sub>2</sub>O)'lerdir. Özellikle son 50 yılda bu gazların miktarlarında büyük bir artış gözlenmektedir (Şekil 3.2).

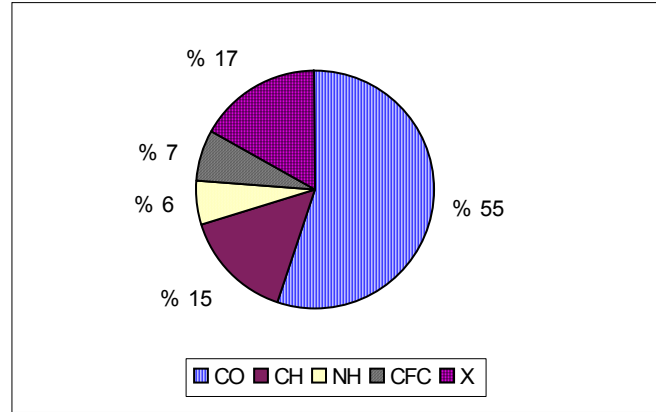




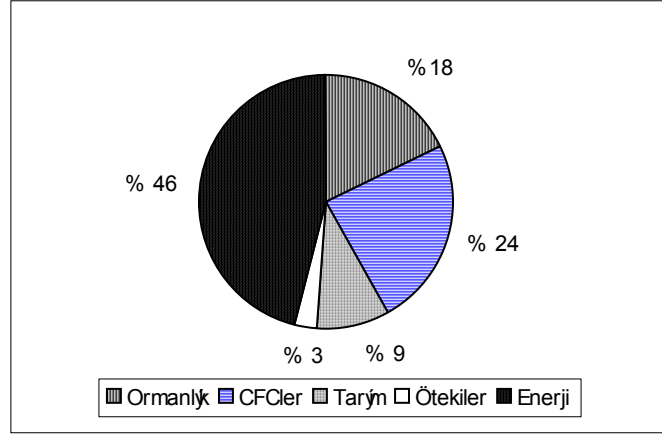
**Şekil 3.2.** Atmosferdeki sera gazı konsantrasyonlarının 1750 - 2000 yılları arasındaki gidişi (WHO and Global Warming, 1990).

Tabiatıyla su buharı ve ozon ( $O_3$ ) 'da önemli sera gazlarındandır. Hatta su buharı iklim yönünden en etkili gazdır. Fakat troposferdeki konsantrasyonu üzerindeki insan etkisi dolaylı ve son derece sınırlıdır. Endüstriyel emisyonlar sonucu troposferdeki ozon miktarı artarken, stratosferde azalmaktadır. Bu nedenle halen ozonun etkisi tartışılmaktadır. Hükümetler arası İklim Değişikliği Paneli'nin bilim grubu insan etkinliklerinden kaynaklanan sera gazlarının radyatif katkılarını hesaplamıştır. Buna göre son 10 yılda (1980-1990) artan radyatif kuvvetin % 55 ini ,  $CO_2$  , % 24 ünü CFC'ler, % 15 ini  $CH_4$  ve % 6 sını  $N_2O$  karşılamıştır.  $O_3$ 'ün katkısı önemli olabileceği halde bir rakam verilmemiştir (Şekil 3.3).

Yine IPCC'nin raporuna göre, antropojenik kaynaklı sera gazı emisyonlarının sektörlere göre dağılımı şöyledir. Enerji % 46 ( $CO_2$ ,  $CH_4$ ) Endüstri % 24 (CFCs), Ormancılık % 18 ( $CO_2$ ,  $CH_4$ ,  $N_2O$ ), Tarım % 9 ( $CH_4$ ,  $N_2O$ ) öteki kaynaklar % 3 ( $CH_4$ ,  $N_2O$ ) 'dur (Şekil 3.4).



**Şekil 3.3.** İnsan kaynaklı sera gazlarının son on yılda (1980- 1990) radyatif kuvvet üzerindeki katkıları (IPCC First assessment Report, 1990).



**Şekil 3.4.** Çeşitli insan etkinliklerinin son on yıl süresince (1980-1990) radyatif kuvvetteki değişikliğe yaptığı tahmini katkı (IPCC First Assessment Report, 1990).

Bugün için sera gazlarının, yer ve atmosferin enerji bilançosu üzerindeki etkileri doğruya yakın olarak bilinmektedir. Ancak Dünya iklim sistemi son derece karmaşıktır. Bu karmaşıklığın çözümü de geri itilim (feedback) süreçlerinin anlaşılmasına bağlıdır. Zira bu süreçlerin bazıları sıcaklık artışına, bazıları sıcaklık azalmalarına neden olur. Atmosfer-okyanus ilişkileri de henüz tam olarak açıklığa kavuşmamıştır. Halen yoğun bir şekilde iklim değişikliğine neden olabilecek sera gazlarının atmosferdeki birikimlerinden yola çıkılarak değişik atmosfer ve iklim modelleri üzerinde çalışılmakta ve bunlardan değişik senaryolar üretilmektedir. Ancak yansıtılmaması bugün olduğu gibi yarın için de bu çalışmaların somut sonuçlar vermesini güçleştirecektir.

### 3.7. Isınma Senaryoları

Gelecekte görülebilecek iklim değişikliği için IPCC'nin kullandığı senaryolara göre iklim modellerinin ortaya koyduğu sonuçlar şöyle özetlenebilir:

A Senaryosu, sera gazı emisyonlarının sınırlandırılması için çok az adımın atıldığı ya da hiçbir önlemin alınmadığı koşulları esas alır. Enerji kullanımı ve tropikal ormanların tahribi devam edecek, fosil yakıt kullanımında sınırlama olmayacak ve CO<sub>2</sub> düzeyi 2025 yılına kadar sanayi öncesi düzeyin 2 katına ulaşacaktır.

Buna göre gelecek yüzyılda her 10 yıl için, ortalama sıcaklıktaki artış 0.3 °C civarında beklenmektedir. Böylece geçen 10 000 yıldakinden daha hızlı bir sıcaklık artışı görülecektir. Bu değer, küresel ortalama sıcaklıkta 2025 yılına

kadar bu günküne nazaran 1 °C, gelecek yüzyılın sonunda ise, 3 °C civarında olacaktır.

Sonuçta, okyanusların termal genişlemesi ve bazı kara buzlarının erimesi nedeniyle, küresel olarak deniz seviyesinde yükselmeler olacak, bu değer, her 10 yıl için yaklaşık 6 cm, 2030 yılına kadar 20 cm, yüzyılın sonunda ise 65 cm yi bulacaktır.

B Senaryosu (Düşük Emisyon Senaryosu), fosil yakıtlardan oluşan enerji kaynaklarının yerini doğal gazın alacağını, ormanların tahribinin önleneceğini, CFC'lerin 1986 yılı seviyesine göre % 50 azaltılacağını ve CO<sub>2</sub> düzeyinin sanayi öncesi CO<sub>2</sub> düzeyinin iki katına ancak 2040 yılında ulaşacağını kabul etmektedir.

Buna göre ortalama küresel sıcaklıkta her 10 yıl için 0.2 °C'lik bir artış olacaktır.

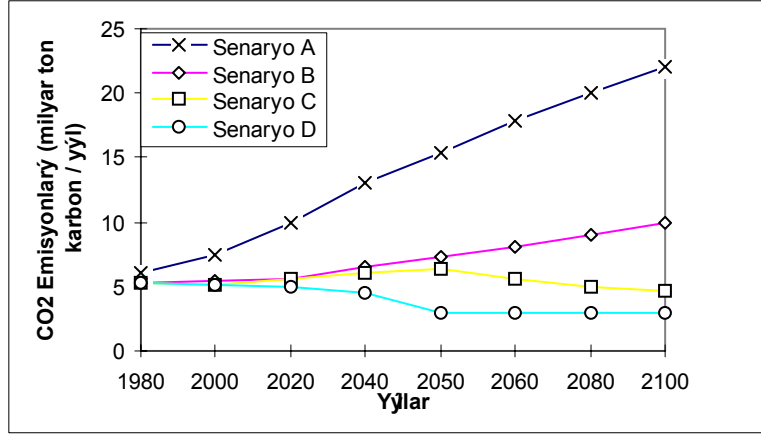
C Senaryosu (Kontrol Politikaları Senaryosu) gelecek yüzyılda yeni ve yenilenebilir enerjilerin ve güvenilir nükleer enerji tekniklerinin kullanılmasına yönelik bir dönüşümü, CFC'lerin aşamalı olarak kullanımdan kaldırılmasını, (CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O gibi) tarımsal emisyonların sınırlandırılmasını, sanayi öncesi CO<sub>2</sub>düzeyinin iki katına yaklaşık 2050 yılında ulaşılacağını kabul etmektedir.

Buna göre küresel sıcaklıktaki artış ortalama her 10 yıl için 0.1 ° C' nin biraz üzerindedir.

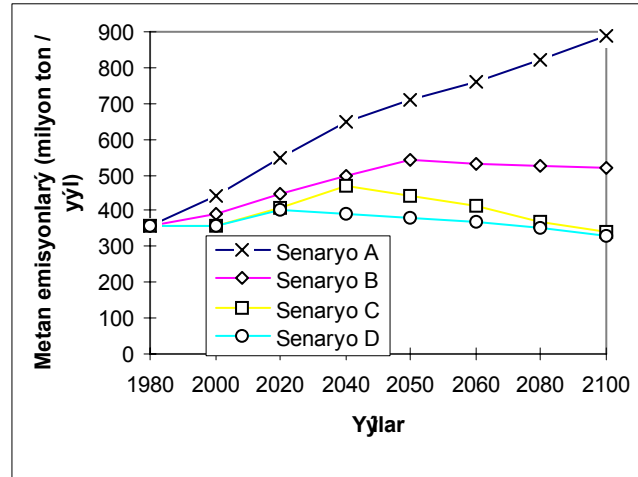
D Senaryosu (Hızlandırılmış Politikalar Senaryosu), yeni ve yenilenebilir enerjilere hızlı bir dönüşümün olacağını, sanayileşmiş ülkelerde sıkı emisyon kontrollerini, gelişmekte olan ülkelerde orta düzeyde bir emisyon büyümesini kabul etmektedir. CO<sub>2</sub> emisyonlarının 1985 düzeyine göre % 50 oranında azaltılmasını öngörüyor.

Buna göre ortalama küresel sıcaklıktaki artış her 10 yıl için 0.1 °C oluyor.

Görüleceği gibi, IPCC iklim modelleri sonuçları en iyimser senaryoda (D Senaryosu) bile gelecek yüzyılda küresel sıcaklıkta bir artış olacağını gösteriyor (Şekil 3.5 ve 3.6).



**Şekil 3.5.** Senaryolara göre insan kaynaklı tahmini CO<sub>2</sub> emisyonları (milyar ton karbon/yıl)



**Şekil 3.6.** Senaryolara göre insan kaynaklı tahmini metan emisyonları (milyon ton/yıl).

Geçmişe bakıldığında zaman ise, yine IPCC raporuna göre son 100 yılda küresel olarak ortalama sıcaklıktaki artışın 0.3 -0.6 °C arasında olduğu, bu değer de ancak en iyimser D Senaryosundakine yakın bir rakam olduğu görülüyor. Ayrıca ortalama 0.5 °C'lik bu ısınmanın 0.05 °C den daha az bir kısmının kentleşmeden olabileceği tahmin ediliyor (Şekil 3.7).

**Şekil 3.7.** Küresel ortalama sıcaklıklarda 1951-1980 ortalamasına göre değişme eğilimi (IPCC First Assessment Report, 1990).

N<sub>2</sub>O'ler ile CH<sub>4</sub> emisyonlarının kaynakları bilinmesine rağmen, tüm Türkiye'yi temsil edebilecek ölçüm ve hesaplamalar henüz yapılamamıştır.

Türkiye'de O<sub>3</sub> tabakasını incelten maddeler olarak (ODSs) bilinen CFC'ler ve halon'lar üretilmeyip, ithal edilmektedir. Bunun tüketimi ise Başbakanlık Hazine ve Dış Ticaret Müsteşarlığının 1990 yılı verilerine göre kişi başına 0.0652 kg/yıl' dır.

Görülebileceği gibi, ülkemizde üzerinde durulması gereken sera gazı CO<sub>2</sub>'dir. Zira Türkiye enerji ilişkili CO<sub>2</sub> emisyonları açısından atmosferi en fazla kirleten ülkeler sıralamasında 24 ncü sırada yer almaktadır. Ancak köklü önlemler alınmazsa, AT ve OECD ülkeleri de CO<sub>2</sub> emisyonları konusundaki yükümlülüklerini yerine getirirlerse, 2000'li yıllarda Türkiye, atmosferi en fazla kirleten ilk 15 ülke arasında yer alacaktır. Öte yandan % 2 dolayındaki yıllık nüfus artışı hızına rağmen, kişi başına düşen CO<sub>2</sub> emisyonları açısından da ilk 30 ülke arasında yer almamız beklenmelidir.

Küresel ısınma eğiliminin durdurulmaması sonucu oluşabilecek bir iklim değişikliğinde zaten kurak ve yarıkurak alanları bulunan, uzun süre kuraklıklar nedeniyle, su kaynakları yetersiz kalabilen bir ülke durumundaki Türkiye'de kuraklık, çölleşme, erozyon, tuzlanma vb. olaylar görülebilecektir.

Deniz seviyesinde olabilecek bir yükselmeye, yüksek kıyıları bir yana bırakılırsa bütün sahillerimiz ve taşkın delta ovaları etkilenebilecektir.

Yine modeller küresel sıcaklıktaki birkaç derecelik artışın Akdeniz Havzası ormanları için tehlike yaratacağını sıcak ve kurak periyodun uzaması nedeniyle de, yangın alanının ve etkinliğinin artacağını ortaya koymaktadır.

### **3.8. Emisyonlar, Yayılma Alanları ve Etkileri**

Emisyonlar, kendilerini üreten tesisi terk edip atmosfere karışan hava kirletici maddelerdir. Bunların konsantrasyonları ya  $\text{mg}/\text{m}^3$  veya  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  cinsinden veya zamansal emisyon olarak  $\text{kg} / \text{h}$  şeklinde ifade edilir. Diğer bir konsantrasyon ifadesi ppm doz olup 1 ppm doz,  $15^\circ\text{C}$  sıcaklık ve  $760 \text{ mm}$

$$\text{civa basıncında} \quad \frac{M}{23.6} \longrightarrow \text{mg} / \text{m}^3 \text{ olarak ifade edilebilir.}$$

M= Mmolekül ağırlığı,  
23.6= 1 gram havanın  $15^\circ\text{C}$  sıcaklıkta litre cinsinden hacmidir  
Şayet sıcaklık  $0^\circ\text{C}$  kabul edilirse eşitlik

$$1 \text{ ppm} = \frac{M}{22.4} \text{ mg} / \text{m}^3 \text{ olarak belirtilebilir.}$$

$$1 \text{ ppm SO}_2 = 2.7 \text{ mg} / \text{m}^3 \text{ denebilir.}$$

Hava kirliliği yüzünden bitki ve hayvanların uğradığı zarar, önceleri sülfürün yakılması esnasında oluşan kükürt dioksitten ileri geliyordu. Günümüzde % 1-3 kükürt kapsayan kömür ve petrolün yakılması sonucu büyük miktarda  $\text{SO}_2$  atmosfere karışmaktadır. İlave olarak büyük miktarda kül partikülleri, florürler, ağır metal tozları ve bir kısım kanserojen nitelikli organik solvent buharları atmosfere verilmektedir. Katı, sıvı ve gaz fazlarındaki bu çeşitli kirleticiler hava hareketleriyle uzun mesafelere taşınabilme niteliğindedirler. Rüzgar hızı, yönü, hava nemi, güneş radyasyonu, yağışlar ve jeomorfolojik koşullar kirleticilerin emisyon kaynağı çevresine yayılma alanını etkilerler. Bu maddeler belirli bir süre sonra su ve toprak yapısına girer ve bu ortamlardaki çevre koşullarının değişmesine neden olurlar. Sözü geçen yayılma faktörlerinden başka emisyon kaynağı ile toprak arasındaki düşey mesafe yani baca yüksekliği de önemlidir. Emisyonların yayılmaları sırasında maksimum konsantrasyon değerleri şu parametrelerle bağıntılı olarak saptanmaktadır:

$$C_{\text{maks.}} = 65 \frac{Q}{U.H^2}$$

Q = Kaynaktan salınan gaz miktarı kg/ saat  
U = Rüzgar hızı  
H= Baca yüksekliği

Normal baca yüksekliklerinde emisyon maksimumları baca yüksekliğinin 10-15 katı mesafelerde ortaya çıkarken, baca yüksekliğinin bir misli artması ile  $C_{maksimum}$  genellikle 50-60 misli mesafelerde olduğu saptanmıştır. Şüphesiz emisyonların yayılma özelliği jeomorfolojik yapıyla yakından ilgilidir.

Hava kirletici maddelerin etkisi: Agregat yapısının yanısıra kimyasal özelliklerine, mevcut çevre koşullarına, çevrede varolan organizmaların biyolojik özelliklerine ve daha önce belirtildiği gibi jeomorfolojik ve iklimsel bakımından büyük önemi vardır.

- Kirletici element veya bileşiklerin suda çözünme yeteneği ve absorbe olma eğilimleri,
- Asitlik veya alkalilik durumları,
- Hormon ve enzim faaliyetlerini durdurma etkileri (solunuma bağlı olarak),
- Diğer toksik etkiler.

Bu faktörlerin aynı derecede etkili olduğu halde bile; hayvan, bitki organizmaları ile cansız çevreye yapılan etkileri şüphesiz çok farklı olmaktadır. Örneğin bitkiler bakımından kirleticinin agregat durumu önem kazanmaktadır. Zira tozlar ve is sürekli çökme sonucu bitki stomalarını tıkayarak solunumu engelleyebilir veya yapraklar üzerinde kalın bir tabaka oluşturarak kloroplastlara ulaşan ışın yoğunluğunu azaltabilir veya tamamen önleyebilirler ve sonuç olarak asimilasyon sağlanmaz.

Alkali karakterli materyaller ise yapraklar üzerinde kabuklar oluşturarak yanmaya neden olabilir, bu arada bitki dokusunda fizyolojik fonksiyonlara zarar verebilecek derecede pH değişiklikleri ortaya çıkabilir.

Özellikle kurak dönemlerde tozlarla meydana gelen kirlenme büyük etkiler yapabilir. Gerek canlılar ve gerekse cansız çevre üzerinde gaz şeklinde meydana gelen kirlenme daha etkilidir. Çevrenin görmüş olduğu zarar, etki süresi ve kirletici konsantrasyonu ile ilgilidir. Gazlar bitki solunumu sırasında  $O_2$  ve  $CO_2$  ile birlikte yapraklardaki stomalar yolu ile bitki dokusunun içine ulaşır, doku veya hücreler tarafından alınırlar. Böylelikle metabolizmayı engelleyebilirler, kloroplastları veya hücre strüktürünü tahrip edebilirler. Bu zararlı etki fizyolojik aktivite ile artar, bundan dolayı bitkilerin etkisinde kalan organizmaya olan zarar, bu gazların ayrı ayrı etkileri toplamı olmayıp, çoğunluk bunun birkaç katıdır. Atmosferdeki nem düzeyi, gazların çözünürlüğünü ve



bitkiye nüfuzunu arttırır, çünkü nemli havada bitki stomalarının açıklığı daha fazla ve uzun sürelidir. Bitkilerin beslenme durumları da gazların etkilerine karşı dirençlerini önemli ölçüde etkileyebilir.

Maksimum İmisyon Konsantrasyonu: Serbest atmosferde hava kirletici olarak bulunan maddelerin, belli zaman süresi ve tekerrürde etki etmeleri halinde, hayvan ve bitkilere zarar vermeyen konsantrasyon durumudur. Çizelge 3.5' de atmosfere salınan bazı maddelerin maksimum imisyon konsantrasyonları verilmiştir.

**Çizelge.3.5.** Atmosferde bulunan bazı maddelerin maksimum imisyon konsantrasyonları (MIK ) değerleri

Madde	Kısa süre etki değeri mg/m <sup>3</sup>	Uzun süre etki değeri mg/m <sup>3</sup>
Benzin	240	80
Benzen	10	3
Klor	1.5	0.3
Asetik asit	15.0	5.0
Metanol	40.0	15.0
Fenol	0.6	0.2
Nitrik asit	2.6	1.3
Hidroklorik asit	1.4	0.7
Kükürtlü hidrojen	0.3	0.15
Kükürt dioksit	0.75	0.50
Azot dioksit	2.00	1.00

### 3.9. Önemli Atmosfer Kirletici Maddeler

Gerek endüstriyel ve gerekse yerleşim alanlarındaki fosil yakıtların yanmalarından oluşan çeşitli gaz ve aerosol maddeler atmosfere karışmaktadır. Aşağıdaki bölümlerde bu maddelerin neler olduğu ve kaynakları ayrı ayrı belirtilmektedir.

#### 3.9.1. Kükürt dioksit (SO<sub>2</sub>)

Kükürt dioksit, petrol ve kömür gibi fosil yakıtların ve kükürt filizlerinin yakılması ile soda, sülfirik asit selüloz üretimi sırasında ortaya çıktığı gibi, petrol rafinerileri ile bakır, çinko, kurşun üretim işletmelerinden ve içten patlamalı motorların egzoz gazlarından atmosfere karışmaktadır.

Havanın kükürt dioksit kapsamı meteorolojik koşullarla ilişkilidir. Sisli havalarda konsantrasyonun arttığı, buna karşılık yağışlı havalarda azaldığı saptanmıştır. Varsayımlara göre çeşitli kaynaklardan atmosfere giren kükürt dioksit miktarının 1965 yılında 146.2 milyon ton olduğu belirtilmektedir. Emisyon kaynakları olmayan yerlerde, havanın SO<sub>2</sub> konsantrasyonu 0.01 - 0.03 mg/m<sup>3</sup> arasında bulunur. Endüstri bölgelerinde, özellikle emisyon kaynaklarının yakınlarında 0.3-10 mg /m<sup>3</sup>düzeyinde konsantrasyonlar saptanmaktadır. Kükürt dioksit bitki ve hayvan bünyesine doğrudan solunumla girdiği gibi sulu fazlarda sülfirik (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ) aside dönüşerek yakıcı etkide de bulunabilmektedir.

Yüksek SO<sub>2</sub> değerleri, bitkiler için zararlıdır. Tek çenekli bitkilerde önce yapraklar uç kısmından itibaren ağarır, daha sonra bitkide genel bir pörsüme göze çarpar. Çift çenekli bitkilerin yapraklarında önce kırmızı, sarı ve kahverengi lekeler belirir, daha sonra yapraklar kıvrılarak kurur ve dökülürler. Tek yıllık bitkilerde en genç yapraklar en dayanıklı kısımdır, en hassas kısım ise orta yaşlı yapraklardır. Çok yıllık bitkilerde yaprak renginde meydana gelen değişim bitkinin tepesinden başlar. SO<sub>2</sub> etkisi ile zarara uğramış yaprakların mikroskopik incelemelerinde klorofil parçalanması, tanen maddelerinin bulunmaması, plazmanın tahribi, kalsiyum pektinatın çözünmesi sonucu hücre ara lamellerinin ortadan kalkması gibi olaylar gözlenir. En çok tahribat, stomaların yakınındaki klorofilce zengin dokularda meydana gelir.

Atmosferdeki kükürt oksitlerin sadece 1/3 nün insan aktivitesi sonucu oluştuğu belirtilmektedir. Robinson ve Robbins, bu şekilde atmosfere yıllık olarak 132 milyon ton SO<sub>2</sub> veya 66 milyon ton S ilave olduğunu belirtmektedirler.

Doğal kükürt kaynakları da biyolojik olarak kükürtlü hidrojen üretmekte bu da daha sonra kükürt oksit ve sülfatlara okside olmaktadır.

Kükürt oksitler reaksiyon kabiliyeti yüksek olan sülfirik aside dönüşerek çevreyi etkilerler. Yapı materyalinde renk ve fiziki niteliklerde, heykel ve anıtlarda süratli aşınmaya neden olur. Demir, çelik ve çinko gibi metallerde görülen aşınma SO<sub>2</sub> kirliliği nedeniyle artış gösterir.

Nem, sıcaklık ve atmosferdeki partikül maddeler nedeniyle kükürt oksitlerden kaynaklanan zararlanmalar sinerjistik bir karakter gösterir. Endüstri bölgelerine yakın kuşaklarda (İskandinavya ve ABD nin kuzeydoğu bölgeleri gibi) hava kirlenmesi nedeniyle, yağmurlar asit karakter kazanmıştır. Asit yağışlar daha önce verilen reaksiyonlarda görüldüğü gibi sadece kükürt oksitlerle ilgili olmayıp, azot oksitler ve asit oluşturan diğer bazı reaksiyonlarla da ilgilidir. Bu gibi asit yağışların pH değerleri 5 ile 2.1 birimleri arasında değişmektedir. Normal yağmur suyunun pH sı ise minimum 5.7 civarındadır.

SO<sub>2</sub> molekülleri doğrudan toprak yüzeyi, mikroorganizmalar ve diğer bitkisel ve hayvansal biyolojik varlıklar tarafından veya akvatik çevrelerdeki yüzey suları tarafından absorbe veya adsorbe edilir.

SO<sub>2</sub> suda oldukça fazla çözünür (11.28 g / 100 ml su, 20 °C). Suyla temas halinde sülfüroz aside döner. Ortam pH sına bağlı olarak bisülfid (HSO<sub>3</sub>) veya sülfid SO<sub>3</sub> iyonları şeklinde dissosiyeler.

**Dispersiyon:** SO<sub>2</sub> suda çözünürlüğü fazla olduğundan hızla su ile birleşerek çözelti fazına geçer. Bu nedenle yağmur suları, atmosferden SO<sub>2</sub> gideriminde çok etkilidir.

- Şayet yüzeyler üzerinde absorbe olmuyorsa SO<sub>2</sub> süratle daha az toksik olan SO<sub>3</sub>'e oksitlenir. Daha sonra H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> maksimum imisyon konsantrasyonları oluşur. Şayet rüzgar sürati düşük ve oksijen düzeyi yüksekse SO<sub>2</sub> → H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> çevrimi süratli olur.
- H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> aerosolleri atmosferde veya temas yüzeylerinde pekçok bileşik tarafından nötrleştirilir. Örneğin amonyak ve CaSO<sub>4</sub> gibi kalsit tozları, amonyak ve diğer alkalilerin etkisi ile SO<sub>2</sub> nin büyük kısmı nötralize olur ve süratle sülfata oksitlenir.
- SO<sub>2</sub> bitkiye yaprak stomalarından girer ve dokunun hücrelerarası boşluklarından geçerek ıslak hücre duvarlarında absorblanır. Burada suyla, sülfüroz asit ve sülfat oluşturur.
- Bu nedenle yaprakların S kapsamı, kontaminasyonun bir derecesi olabilir ve hava kirliliğinde bir indeks olarak kullanılabilereği beklenebilir. Fakat bu her zaman mümkün değildir. Zira S kapsamı ile zararlanma derecesi arasında kantitatif ilişki yoktur.

### 3.9.1.1. Bitki Tepkileri

#### a. Hücresel etkiler

SO<sub>2</sub> zararına uğramış fasulye hücrelerinde yapılan çalışmalar alt epidermise yakın mesofil hücrelerin ilk zarar gören hücreler olduğunu göstermiştir. Kloroplastların dağılması, hücre plazmolizi ve protoplazma çökmesi görülür.

#### b. Makroskopik etkiler

Yeterli düzeyde hücre plazmolize uğrayınca doku çökmeleri ve kuruma ortaya çıkar. Böylece akut veya kronik semptomlar (makroskopik) görülebilir hale gelir.

- Akut zararlar yüksek konsantrasyondaki SO<sub>2</sub> sonucu oluşur. Bu olayda hızlı bir şekilde klorofil kaybolur, hücreler parçalanır ve nekroz oluşumu görülür.
- Kronik zararda olay daha yavaş cereyan eder ve herhangi bir hücresel çökme olmaksızın dereceli klorofil parçalanması ve kloroz oluşumu görülür. Bu durum metabolik aktivitenin redüksiyonuna, fotosentezin azalmasına neden olur ve genel olarak gelişim baskı altına alınır.
- SO<sub>2</sub> zararına hücresel tepki bütün bitki türleri için ayrı olmakla birlikte, farklı türlerin anatomilerindeki değişiklikler nedeniyle türlere bağlı farklı semptomlar görülür. En büyük farklılık iğne yapraklı ve geniş yapraklı türler arasında görülür.

- **İğne yapraklı türler**

- Yapraklar renksizleşerek kırmızı-kahverengi olur,
- Erken dökülme,
- Dokularda çekme (bu nedenle yapraklar özel şekilde bölünür),
- Gelişme azlığı nedeniyle zayıf görünüm,

Şayet bitkiler toksik SO<sub>2</sub> konsantrasyonlarına maruz kalırsa, nekrozlar çoğunlukla iğne ucundan başlar. Konsantrasyon değişirse kloroplast ve hücreler zarar görür fakat ölmez. Yapraklarda kronik kloroz veya sarılaşma görülür.

Bitkiler, yaprak gelişmesinin olduğu Nisan ve Mayıs aylarında daha duyarlıdır. Kışın yapraklar dormant durumda olduğundan zarar daha az olur.

- **Geniş yapraklı türler**

Çift çenekli bitkiler üzerinde SO<sub>2</sub> yoluyla oluşan kloroz ve nekroze iyi yonca üzerinde örneklenebilir. Yonca en duyarlı ve önemli üründür.

- Akut zararda hücreleri öldürür.
- Hücre içinde büyük miktarda SO<sub>2</sub> birikince hücreler su tutma kapasitelerini kaybeder. Zararlanma yaprak ucuna yakın kenarlarda dikkati çeker.

**Çizelge 3.6.** Doğal ve kültür bitkilerinde SO<sub>2</sub> ' e nispi duyarlık (Düşük sayılar yüksek duyarlılığı gösterir).

Duyarlı		Orta		Direnci	
Yonca	1.0	Sarıçam	1.6	Sumak	2.8
Arpa	1.0	Şekerpancarı	1.6	Soğan	3.8
Pamuk	1.0	Domates	1.3-1.7	Mısır	4.0
Turp	1.2	Elma	1.8	Kabak	4.2
İspanak	1.2	Bezelye	2.1	Krizantem	5.3-7.3
Fasulye	1.1-1.5	Şeftali	2.3	Elma çiçeği	25.0
Üçgül	1.4	İris	2.4	Elma sürgünü	87.0
Havuç	1.5				
Buğday	1.5				

Belirli bir konsantrasyona kadar SO<sub>2</sub>, bitki dokusunun tamponlaması ile zararsız hale getirilebilmektedir. Bu durumda SO<sub>2</sub> oksitlenerek sülfata çevrilir ve bitkinin kükürt gereksiniminin karşılanmasında katkıda bulunur. Bunun dışında SO<sub>2</sub> kuvvetli bir asimilasyon zehiridir ve diğer gazlarla (flor) karışık olduğu zaman etkisi birkaç misli artabilir. Zehir etkisinin nedeni, plazmaya karşı asit etkisi ve kloroplastlardaki demirin yerinden koparılmasına sebep olmasıdır. Savunma reaksiyonu olarak solunum ve terleme artar, su dengesi bozulabilir. Havadaki CO<sub>2</sub> /SO<sub>2</sub> oranı ne kadar dar olursa, bitkilerde ortaya çıkacak zararlanma da o denli fazla olabilir.

Bitkilerin SO<sub>2</sub>'e olan duyarlılıkları türlere göre farklılık göstermektedir. Birçok bitkiler 0.1 ppm SO<sub>2</sub> düzeyine fazla hassas değildir. 0.2 ppm düzeyinde yapraklarda kronik zararlar meydana gelebilir. 1 ppm düzeyinde ise yapraklarda birkaç saatte akut zararlar meydana gelebilir. Ayçiçeği, kolza ve mısır bitkileri 1-1.5 mg / m<sup>3</sup> etkisiyle birkaç gün içinde yapraklarda nekrozlar gösterirler.

Bitkilerin SO<sub>2</sub>'e karşı duyarlılığını veya dayanımını bazı faktörler etkiler:

- Toprak özellikleri: Adsorbsiyon kabiliyeti, pH değeri (yüksek topraklarda dayanım artar)
- Bitkinin türü ve varyetesi,
- Bitkinin yaşı,
- İklim faktörleri: Nemli havada ve nemli topraklarda etki kuvvetlenir,
- Edafik faktörler: Daha önce yapılan azot gübrelenmesi dayanımı artırabilir, fosfor noksanlığı zararlanmayı artırabilir, keza toprakta yeterli potasyum bulunması da bitkiyi dayanıklı kılar.

- Zararlı organizmaların etkileri, zehirli gazların bitkiye nüfuz etmesini kolaylaştıracak yeni durumlar yaratabilir.

### 3.9.2. Flor ve florlu hidrojen (HF)

Florun reaksiyon yeteneği özellikle hidrojenle birlikte çok yüksektir. HF, keskin kokulu, renksiz, kuvvetli yakıcı nitelikte bir gazdır. Özgül ağırlığı havaya oranla 0.731 olup, su ile çok iyi karışır.

HF; alüminyum, ağır metal ve cam endüstrisinde, süperfosfat, emaye, porselen, tuğla, çimento ve çeşitli kimyasal madde fabrikalarında ve kömürle çalışan termik santrallerde meydana çıkmaktadır. Temiz havanın flor kapsamı 0.003 - 0.006 mg/m<sup>3</sup> düzeyinde bulunur. Emisyon kaynakları civarında bu miktar on ile kırk katına çıkabilir. Bu şekilde havaya karışan flor veya florlu bileşikler yağışlar ile toprağa ulaşıp orada birikebilirler.

Florun bitkilere zararı havanın nem düzeyine bağlıdır. Buna bağlı olarak nem artışı ile bitkilerin flor alışı arasında olumlu bir ilişki vardır. İlk görülebilir araz olarak yaprak uç ve kenarlarında nekrozlar görülür. Tek çeneklilerde yaprak rengindeki değişme yaprak uçundan başlayarak yayılır.

Çift çeneklilerde ise yaprak kenarlarında kurumalar olur, meyve uç kısımlarında nekroz ve çatlama görülür. Flor zararlarının, SO<sub>2</sub> zararlarından ayırt edilmesi mümkün değildir. Fizyolojik etkilerin de en önemlisi, karbonhidrat metabolizması ile ilgili enzimleri çalışmaz hale getirmesidir. F HF'ün ve bitkiye vereceği zarar havadaki konsantrasyonuna, etki süresine, bitkiye nüfuz eden F miktarına, bireysel duyarlılığa ve diğer birçok edafik ve iklimsel faktörlere bağlıdır. Birçok bitkilerin yapraklarında 15-25 ppm F'da nekrozlar oluşmaz, 105 ppm'e kadar nekrozların ortaya çıkması rüzgar ve nem koşullarına bağlıdır. Bu konsantrasyonun üzerinde bitkiler zarar görmekte, sadece bazı toleranslı türler 500 ppm'e kadar dayanabilmektedirler. Flor bitki dokusuna girebildiğinden bitkinin flor kapsamı da artar. Emisyon kaynakları civarında bu artış 150 misli olabilir. Örneğin normalde beyaz üçgül bitkisinin F kapsamı 1-17 ppm iken, bir alüminyum fabrikası civarında bu miktar 1530 ppm olarak saptanmıştır. Bitki türlerinin flora karşı duyarlılıkları birbirinden farklı olmaktadır. Sağlıklı çay bitkilerinde 400 ppm düzeyinde flor saptanmıştır. Bitkiler floru topraktan da aldıklarından, toprağın kalsiyum kapsamının yeterli olması halinde bitkilerin dirençleri artar.

Emisyon kaynakları çevresinde otlayan hayvanlar, günde vücut ağırlıklarının her bir kg'ı için 1.5 mg dan fazla flor aldıkları takdirde, floroz hastalığına yakalanmaktadır. İnsanlar için limit değer; 3 ppm HF 18 saat, 2.5 mg/m<sup>3</sup> toz haldeki floridler, 0.1 ppm veya 0.2 mg/m<sup>3</sup> gaz F dur.

### 3.9.3. Kükürtlü hidrojen (H<sub>2</sub>S)

Renksiz, yanıcı, keskin kokulu ve reaksiyon yeteneği fazla bir gaz olan H<sub>2</sub>S, suda çok kolay çözünür. Özgül ağırlığı havaya göre 1.191 dir. Doğal olarak volkan yataklarında ve püskürmelerinde, bataklıklarda ve termal kaynaklarda oluşur. Doğal olmayan yollardan ise, kok ve havagazı fabrikalarında, katran damıtma tesislerinde, selüloz ve viskoz fabrikalarında, kükürt üretme tesisleri ile kükürt kullanılan kimyasal tesis ve rafinerilerde yan ürün olarak çıkmaktadır.

Bitkilerde ilk semptom olarak, yapraklarda pörsüme görülür, renk değişimi olmaz ancak bazı bitki türlerinde yapraklarda lekeler meydana gelir. Mikroskop incelemeleri, kloroplastların renksizleştiği ve protoplazmaya karıştığını belirlemiştir. İnsanlar için zararlı doz 20 ppm den itibaren başlamaktadır.

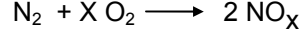
Genel olarak denilebilir ki 10 mg/m<sup>3</sup> altındaki konsantrasyonlar bitkilerde solunumu etkilemez. 500 mg/m<sup>3</sup> düzeyinde solunum durur. Besin çözeltilisinde ise 3.2 ppm H<sub>2</sub>S'in, fasulye bitkisi için toksik olduğu saptanmıştır.

### 3.9.4. Azot oksitler

Azotun çeşitli oksitleri toksik etkilere sahip gazlardır. Bunlardan nitrozoksit (N<sub>2</sub>O), azotmonoksit veya nitrikoksit (NO), azotdioksit veya peroksit (NO<sub>2</sub>), azottrioksit (N<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ) ve azottetraoksittir (N<sub>2</sub>O<sub>4</sub>). Bu gazların doğal atmosferdeki miktarı en fazla 0.03 mg/m<sup>3</sup> kadardır.

Nitroz gazlar daha çok asit fabrikaları tarafından atmosfere salınırlar. Buralarda görülen kahverengi bulutların rengi NO<sub>2</sub> den ileri gelir. Renksiz bir gaz olan NO çok kolay oksitlenerek NO<sub>2</sub> ye dönüşebilir. Kırmızı kahverenkli, keskin ve nahoş kokulu, kuvvetli zehir etkisinde bir gazdır. Bu gazın etkisiyle ortaya çıkan akut belirtiler yaprak kenarlarında kahve ve koyu kahve renkli yanmalar ve lekelerdir. Daha sonra yapraklar solar. Mikroskopik incelemeler hücre içeriğinin tanınmaz halde olduğunu, klorofil ve nişastanın yok olduğunu göstermiştir. Fizyolojik olarak asimilasyon azalır. Gece imisyonları daha zararlıdır. Nitroz gazlar karotini parçalarlar. Bitkilerin dayanımları türlere göre değişir. 50 mg/m<sup>3</sup> NO<sub>2</sub> genel olarak bitkiler için zararlıdır. İnsanlar için limit 25 ppm (30 mg/m<sup>3</sup>) NO ve 5 ppm (9 mg/m<sup>3</sup> ) NO<sub>2</sub> olarak belirtilmektedir.

Azotun çeşitli oksitleri bilinmesine rağmen (gülme gazı olarak bilinen nitroz oksit (N<sub>2</sub>O) da bunlardan biridir) sadece nitrik oksit (NO) ve azot dioksit (NO<sub>2</sub>) insan aktivitesi sonucu atmosfere önemli miktarlarda karışan gazlardır. Bu gazlar azot ile oksijenin yüksek sıcaklıklardaki (1100 °C aşan sıcaklıklar) yanmaları sonucu oluşurlar.



Başlangıçta salınan NO<sub>x</sub> gazlarının % 0.5 ten azı NO<sub>2</sub> dir. NO ve NO<sub>2</sub> gazlarının biyolojik olarak üretilen miktarı yılda 1 milyar ton düzeyindedir. Endüstriyel oluşum ise, yılda 48 milyon ton olup bu emisyon miktarı dögüsel azotun çok önemli bir kısmına denk olmaktadır. Bakir alanlardaki temiz havada NO ve NO<sub>2</sub> gazlarının konsantrasyonları milyarda birkaç kısımdır.

Antropojen oluşumlu NO<sub>x</sub> , yerleşim alanları için önemlidir. Çünkü NO konsantrasyonu sıklık 1 ppm i ve NO<sub>2</sub> konsantrasyonu da 0.5 ppm'i aşabilir. Bu oksitler foto kimyasal sis oluşumunda önemli rol oynarlar.

Bazı duyarlı bitkiler 1 ppm / gün NO<sub>2</sub> dozunda veya muhtelif aylar süresince ortaya çıkan 0.35 ppm lik düşük dozlarda yaprak ve gelişme bozuklukları göstermektedirler. Hemoglobinin NO ya karşı CO ten çok daha yüksek bir afiniteye sahiptir ( 1500 kat fazla).

Kırmızı renkli ve keskin kokulu bir gaz olan NO<sub>2</sub> ise 0.12 ppm düzeylerinde bile bu özelliği ile saptanabilmektedir. 100 ppm ve daha üst konsantrasyonları, birkaç dakika içinde insan ve hayvanlara öldürücü olmaktadır. Maymunlarda 15-500 ppm / 2 saat-doz, akciğer, kalp karaciğer ve böbreklere zarar vermektedir. 0.06 ppm dozda uzun süreli temaslar insanlarda akut solunum hastalıklarına nedendir. Çizelge 3.7'de ABD de kabul edilen bazı atmosfer kirleticiler için hava kirliliği kriterleri görölmektedir.

**Çizelge.3.7.** ABD de hava kirliliği kriterleri

Kirletici	Düzyey ug/m <sup>3</sup>			
	Alarm	Uyarı	Acil durum	Ortalama periyod saat
SO <sub>2</sub>	800	1600	2100	24
PM	375	625	875	24
SO <sub>2</sub> +PM <sup>x</sup>	65000	261000	293000	24
CO	17000	34000	46000	8
Oksidanlar	200	800	1200	1
NO <sub>2</sub>	1130	2260	3000	1

x) Ünitelere (ug/m<sup>3</sup>) dür.



NO<sub>2</sub>'in tarla zararları bilinmektedir, şeftalilerde nekrotik doku lezyonları, yaprak dökümü ve ağaç ölümleri saptanmıştır.

Şeftali ve kiraz yapraklarındaki saptamalar damar aralarında küçük nekrotik lezyonlar şeklindedir.

NO<sub>2</sub> 2 tip zarar meydana getirmektedir:

1. Primer belirtiler: Yaprak kenarlarında ve sekonder damarlar arasında küçük, düzensiz şekilli nekrotik lezyonlar (çoğunluk beyazdan açık kahverengiye) görülür.
2. Sekonder belirtiler: Bazı türlerde mumlu parlak yeşil bir yaprak katı oluşumudur.

Maclean (1967); 10-250 ppm NO<sub>2</sub> / 10 -8 saat olmak üzere, bitkilerde süratli doku çökmeleri, nekrozlar ve % 100 yaprak dökümü saptanmıştır.

Bitkilerin yapraktan NO<sub>2</sub> alımı, 3 saatlik fumigasyon sonucu 6.0-4.0 ppm NO<sub>2</sub>, yoncada ve yulafta gün içinde gözlenebilir zararlar oluşturmaktadır. Bunun nedeni yulaf stomalarının karanlıkta hızla kapanmasına karşın, yoncada NO<sub>2</sub> varlığında açık kalmaktadır. Ölçümler yonca da karanlıkta bile sürekli NO<sub>2</sub> absorpsiyonu olduğunu göstermiştir.

### 3.9.5. Benzpiren

Bu madde antrasen türevi olup suda çözünmez, organik çözücülerde çözünür. Emisyon kaynakları olarak havagazı ve kok fabrikaları, katran damıtma tesisleri, yol yapımında kullanılan asfalt, petrol endüstrisi, kablo yapım tesisleri, iç yanmalı motorlar, kalorifer bacaları sayılabilir. Herbir sigaranın dumanında 10 ng benzpiren bulunur. Yerleşim yerleri dışındaki hava 1-2 ng/m<sup>3</sup> benzpiren kapsar, endüstri bölgelerinde bu miktar 100-200 ng/m<sup>3</sup> bulur. Kış döneminde havanın benzpiren kapsamı yaza oranla 10-20 misli fazladır.

Yapılan araştırmalara göre benzpirenin bitkiler üzerinde göze görünür bir etkisi yoktur. Bu bileşik bitki tarafından alınıp değişikliğe uğramadan kök bölgesine kadar itilir, bu nedenle bitki bünyesinde benzpiren saptanmıştır (kültür bitkilerinde 1-2 µg / 100 gr kuru madde). Ancak bu madde insan ve hayvanlar için kuvvetli kanserojen bir maddedir.

Benzpirenin dışında havada etan, etilen, asetilen, bütan, izopentan, propan, toluen, ksilen, izobütan ve propilen gibi gazlar da saptanmıştır.

### 3.9.6. Karbon monoksit (CO)

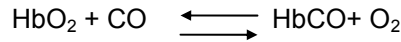
Karbon monoksit renksiz, kokusuz, tatsız bir gaz olup karbonlu materyallerin tam olmayan yanmalarından oluşur.

Karbon monoksit'in atmosferdeki kaynakları ve tüketim noktaları konusunda bilinenler oldukça azdır. İnsan aktivitesi sonucu yıllık 250 milyon ton CO oluşmaktadır. Okyanusların doğal CO kaynağı olduğu saptanmıştır. Fakat oluşan CO fazla değildir (10 milyon ton) . Bu yüzden CO yağmur suyunda bulunur. Atmosferdeki CO miktarı ortalama 0.1 ppm düzeyinde tahmin edilmektedir, çok daha büyük veya küçük olabilir.

Karbon monoksit, CO<sub>2</sub>' e okside olabilir, ancak oksidasyonun çok yavaş olduğu görülmektedir. CO'in atmosferde bulunma zamanı kısa olup, bir kaç ay kadardır. Muhtemelen CO yüzeyler tarafından adsorbe edilmekte veya okside edilmektedir. Veya bitkiler ve hayvanlar tarafından kullanılmakta, veya fotokimyasal ve katalitik olaylara katılmaktadır.

Son araştırmalara göre, toprak atmosferden büyük miktarlarda CO almaktadır, bunda muhtemelen mikroorganizma aktivitesi rol oynamaktadır.

Karbon monoksit 'in insanlara toksik etkisi, onun hemoglobin ile yapmış olduğu birlikten ileri gelmektedir.



Hemoglobin, CO'e oksijenden daha fazla ilgiye sahiptir. Şayet O<sub>2</sub> ve CO, hemoglobini sature edecek kadar yeterli miktarlarda bulunuyorsa HbO<sub>2</sub> (oksi hemoglobin) ve HbCO (karboksi hemoglobin) konsantrasyonları **Haldane** eşitliği ile ilişkilidir.

$$\frac{[\text{HbCO}]}{[\text{HbO}_2]} = M \frac{P(\text{CO})}{P(\text{O}_2)}$$

P<sub>(CO)</sub> ve P<sub>(O<sub>2</sub>)</sub> : Gazların hacim konsantrasyonları veya kısmi basınçlarıdır.

M : Türe bağlı bir katsayıdır. İnsan için 200-300 tavşan için bu değer yarısından da azdır.

Hemoglobinin CO ile birleşmesi kanın oksijen taşıma kapasitesini azaltmakta böylelikle vücut hücrelerine daha az O<sub>2</sub> ulaşmaktadır. Ayrıca

oksihemoglobinin (HbO<sub>2</sub>) dissosiasyonunu da azaltmakta ve **anoxia** denilen kanda oksijen yetmezliği görölmektedir. Değişik HbCO düzeylerinde farklı simptonlar görölmektedir.

A.B.D yerleşim alanlarında CO konsantrasyonu çeşitli ppm ler düzeyinde yaygındır. Yıllık maksimum 8 saatlik ortalamalar 10-40 ppm olabilmekte ve kısa süreli konsantrasyonlar 100 ppm'i aşabilmektedir.

% 20 düzeyinde HbCO oluşuracak CO düzeyinin, bu atmosferde kalan kişiyi öldürdüğü bilinmektedir ve bu düzey 250 ppm CO tir.

Yukarıda verilen CO konsantrasyonları yaklaşık kanda % 2 düzeyinde HbCO konsantrasyonuna yol açar. Sigara içmeyenlerin solunum havası CO içermez, yine de vücut içinde biyolojik CO üretiminden ileri gelen % 0.4 lik HbCO düzeyi olabilir. Günde 1 paket sigara içen ve dumanlar soluyan kişilerde kandaki HbCO düzeyi % 5 veya daha fazla olabilir. Bu düzeye rağmen klinik simptonlar gözlenmez.

Küçük düzeydeki CO'e kronik maruz kalmanın, insan sağlığına, davranışları ve performansına etkileri hakkında bildiklerimiz azdır.

10 ppm düzeyindeki ortalama CO konsantrasyonunun (hastanelik) kalp hastalarındaki ölümleri arttırdığı ve kanında HbCO düzeyi % 5'in üzerindeki hastalarda kalbe bağlı fizyolojik streslerin arttığı bilinmektedir.

10 ppm düzeyindeki CO miktarı oldukça yüksek olup, Rusya'da 24 saatlik ortalama 1 ppm değeri talep edilen maksimum değerdir.

CO gazının etkisi çeşitli faktörlere bağlıdır. Örneğin CO karışımının sıcaklığı ne kadar yüksekse zararlanma o kadar fazlaşır. Yaş, bedeni güç, kan hacmi, solunum ve adale faaliyeti bu faktörlerdendir.

Bitkiler CO etkisine karşı hayvan organizmasından daha dirençlidir. Bu yüzden çok yoğun imüsyonlarda zararlanma gösterirler. Yapraklarda sarılaşma ve dökülme gözlenirken, büyümede tipik mikroskobik zarar gözlemleri bilinmemektedir. İnsan için öldürücü konsantrasyon olan % 0.5 CO bitkilerde zararlı değildir. Hatta % 1 düzeyinde bile önemli zarar gözlenmemektedir.

### 3.9.7. Amonyak

Suda çözüdüğü zaman alkali reaksiyon veren renksiz amonyak gazının havada ortalama miktarı 0,046-0,048 mg/m<sup>3</sup> tür. Üre, gaz, kok, amonyak işletmeleri civarında ki yağışlarda litrede 0,2 mg NH<sub>3</sub> / l veya daha fazla olabilir. Uzun süreli etki halinde bitkilerin yeşil kısımları kahverengi veya siyahdır. Meyve dokuları da kahverengileşme gösterir. Bu tür zarar görmüş bitkilerde mikroskobik gözlemler, epidermis ve mesofil dokuda önemli protoplazma zararı, protoplazma koagülasyonu olduğunu göstermektedir.

Doğal ölçülerdeki amonyak miktarı zararlı etki meydana getirmemesine karşılık 16,6 ppm veya 11,62 mg NH<sub>3</sub>/m<sup>3</sup> düzeyi pekçok bitki türü için 4 saatlik sürede kuvvetli zehir etkisi oluşturmaktadır. NH<sub>3</sub> toksisitesine duyarlılık bitki türü ve varyetesine göre farklılık göstermektedir. NH<sub>3</sub>, asimilasyonu durdurucu etki meydana getirmektedir.

Ekstrem düzeyde asit hücre özsuyuna sahip olmayan bitkilerde zayıf NH<sub>3</sub> konsantrasyonlarında (1:7500) reversible asimilasyon depresyonları görülebilmektedir. Asit hücre suyu, NH<sub>3</sub> ile tuz oluşturarak protein ayrışması veya çökmesi oluşturacak düzeyde pH değişimlerine mani olmaktadır. Bitkilerdeki karbon hidrat açığı onların amonyak zararına karşı direncini azaltmaktadır.

İnsan ve hayvan organizmasında zehir etkisi önce, solunum sistemindeki yumuşak dokularda NH<sub>4</sub>OH oluşması ve alkali etki nedeniyle oluşan derin nekrozlardır. İleri düzeyde solunum yollarında şiddetli zararlanma ve solunum sıkıntısı görülür.

Solunum havası için: MAK (maksimum işyeri atmosferi konsantrasyonu) = 50 ppm

Kısa etki süresi için tolerans doz= 300- 500 ppm

Kısa etki süresi için öldürücü doz= 5000-10000 ppm

N fazlası küçük baş besi hayvanlarında 0.5 g/kg 10 gün

2 g/kg süratle öldürücü

A.B.D. ana hava kirletici emisyonlarının miktarı (milyon ton)

CO = 97,3,  
P.M (partikül madde) = 18.0,  
SO<sub>x</sub> = 30.1  
HC (hidro karbon) = 25.2  
NO<sub>x</sub> = 22.4

### 3.9.8. Klor

Reaksiyon kabiliyeti yüksek, suda iyi çözünür (4,6 Cl / l H<sub>2</sub>O) yeşil renkli bir gazdır. Gübre, emaye, sentetik iplik, metal ergitme gibi endüstrilerden çıkar. Çöp yığınlarındaki plastik materyalin yanmasından da çıkmaktadır. Serbest klor çözünme özelliğinden dolayı yağmur sularında da saptanır, ortalama 0.5 mg Cl<sup>-</sup>

/ l iken, şehir atmosferinde 4 mg Cl<sup>-</sup>/ l ye ulaşır. Endüstri atmosferinde 42 mg Cl<sup>-</sup>/ l düzeyinde saptanmaktadır.

Yaprağını döken ağaçlar klor emisyonları nedeniyle yaprak kenarlarında koyu renkli nekrozlar gösterirler. Diğer yeşil kısımlar kısmen beyaz veya sarı renk olur. Kloroplastlar süratle zararlanır, kimyasal afinitesinin yüksekliği nedeniyle Cl<sub>2</sub> yaprak dokusu içine HCl, H<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> veya SO<sub>2</sub> den daha süratle ve daha kuvvetle etki yapar. Klorofil oluşumunun engellenmesi çok dikkat çekicidir. En kuvvetli etkisi bitkilerin su bilançosunun bozulmasıdır. Yüksek hava nemliliği florda da olduğu gibi bir klor zenginleşmesine ve belirtilen zararların artmasına neden olur.

Zararlanmalarda kısa süreli etki süresi ( 35 saatin altında) çiçek ve sebzeler için 1.5-4.5 mg Cl<sub>2</sub> /m<sup>3</sup>dür.

0.005 mg/1 düzeyi insanlarda tahriş yolu ile hissedilir.

MAK= 0.5 ppm veya 1.5 mg Cl<sub>2</sub> /m<sup>3</sup> havadır

10 ppm 1-2 satte içinde tehlikelidir

50 ppm 1/2 saatte öldürücüdür.

MIK (maksimum imisyon konsantrasyonu) = 0.3 mg Cl/m<sup>3</sup> MIK= (günde 3 kez) 1.5 mg Cl/m<sup>3</sup> tir.

### 3.9.9. Toz kirlenmeleri

Atmosferde gerek doğal yollarla ve gerekse antropojen etkilerle karışmış çeşitli katı parçacıklar bulunmaktadır. Bunların tamamını zararlı olarak nitelendirmek doğru değildir. Zira çiçek tozları, bazı mantar sporları ve toprakta yaşayan bazı yararlı mikroorganizmalar hava yolu ile doğaya dağılan ve yaşam için gerekli olan nesnelere. Parçacık çapı 0.1-200 µm arasında olan katı maddeler toz olarak nitelendirilir. Çapları 10 µm den büyük parçacıklar sedimantasyon ile hemen atmosferi terkederler. Atmosferde tozların bulunması iklim üzerine büyük etkiler yapmaktadır. Toz zerrelere, özellikle "Si" bileşiklerini içerenler, yağışlar için yoğunlaşma taneciği yaparlar. Toz yoğunluğu yeryüzüne düşen ışık intensitesini azaltır, bu ise yeryüzüne gelen güneş enerjisinin eksilmesi demektir. Bu arada vitamin sentezi ve bazı zararlı mikropların yok edilmesi için gerekli olan ultraviyole ışınları da tozlar tarafından tutulmaktadır. Yeşil bitkilerin yaprakları üzerinde biriken tozlar bazen ışık etkisinin % 50 azalmasına sebep olur, dolayısı ile asimilasyon ve fotosentez yetmezliği ile bitki gelişmesinde zayıflama olur.

Temiz havada yaklaşık 40 µg/m<sup>3</sup> düzeyinde olan toz miktarı, tozlu yerlerde on katına çıkabilir. Çeşitli endüstriyel faaliyetlerin yanısıra, şose yollar,

bitki örtüsünü kaybetmiş tarım veya bakir alanlar ve büyük yanardağ faaliyetleri önemli kirlenme oluşturlar. Son zamanlardaki en büyük patlamalardan biri olarak saptanan **St. Helen** yanardağının meydana getirdiği volkanik tozumanın atmosfere yayılması ile kuzey yarıküreye daha az ışık düşmesi nedeniyle dünyanın iklim rejiminde dalgalanma olacağı belirtilmektedir.

Endüstriyel tozlar içinde en önemli olanları kireç ve çimento tozlarıdır. Ayrıca termik santral filtrelerinin kaçakları ile de kül şeklinde toz, atmosfere ulaşmaktadır. Kireç tozları % 90-95 CaCO<sub>3</sub>, çimento tozlarında büyük miktarlarda "di" ve "tri" kalsiyum silikat kapsarlar. Bunlar çevreden çok hızlı olarak bünyelerine su çekerler ve bu sırada Ca(OH)<sub>2</sub> açığa çıkar. Bu madde kuvvetli alkali reaksiyonu (pH:12) nedeniyle yakıcı bir etki yapar. Çimento fabrikaları civarında yılda 1 ha arazide biriken toz miktarı 1 tonu, ekstrem durumlarda da 3 tonu geçebilir.

Kireç tozlarının bitkilere etkisinde genellikle kronik imisyonlar söz konusudur. Yağışların miktarı ve sıklığı kireç içeren tozların etki etmesinde büyük rol oynarlar. Kalsiyum karbonatın bitkilerde gözle görülebilecek akut bir zararı yoktur, fakat yapraklar üzerinde kabuk teşkil etmesi, asimilasyon için gerekli ışığın etkinliğini büyük ölçüde azaltır. Akut durumlarda yaprak üzerinde yanmalar görülebilir, nemli hava olumsuz yönde etki ederek tozların etkisini arttırır.

### 3.9.10. Partikül maddeler

Atmosferde yer alan partikül madde kaynakları, doğal tozlar, çimento-kireç tozları, demir-magnezit tozları, hidro-karbon partiküllerdir. Havadaki partiküllerin genel etkileri şunlardır: Atmosferde ışık yoğunluğunun azalması, fotosentezde gerileme, solunum oranı ve difüzyon katsayısının değişimi, kabuk oluşumu ve fizyolojik etkiler.

En yaygın partikül madde kaynaklarından çimento tozları konusundaki araştırmalar fasulye ve elma gibi bitki türlerinde aşağıda tanımlanan etkileri ortaya çıkardığı saptanmıştır: Stoma difüzyon direncinde artış, solunum artışı (elma), solunum azalması (fasülye) , klorofil azalması (elmada % 21 fasülyede %27 ), afid popülasyonunda artış, yaprak lekesi hastalığı (Carcospora beticola), alkali yanmalar (kabuk oluşumuna bağlı)

### 3.10. Hava Kirliliğinin Ekonomik Bedeli

Çevre Kalitesi Konseyi, A.B.D'de hava kirliliğinin 1970 yılları için getirdiği ekonomik yükü yılda 16 milyar dolar olarak tahmin etmektedir.

100 milyon dolar çelik malzemenin boyanmasına,  
800 milyon dolar kumaş boyama - temizleme,  
240 milyon dolar hava kirliliği nedeniyle araba yıkanması,  
500 milyon dolar tarımsal ürünler ve çiftlik hayvanlar zararı  
40-80 milyon dolar görüş mesafesinin azalması nedeniyle hava trafiği üzerine etkiler, bahsedilen ekonomik yüke sadece birkaç örnektir,  
Aynı konseyin hesaplarına göre :

1970 hava kirliliğini kontrol için 0.5 milyar dolar  
1975 hava kirliliğini kontrol için 9 milyar dolar  
1984 hava kirliliğini kontrol için 18.6 milyar dolar olarak belirlenmektedir.

Hava kirliliğini kontrol amacıyla EPA, emisyonlardaki büyümelerin kontrol edilebileceği 3 grup temiz bölge tanımlanmıştır:

1. I. Sınıf bölgeler partikül madde ve SO<sub>2</sub> düzeyleri yılda 5 µg/m<sup>3</sup> ten fazla artmayan alanlardır. Bu limitlerle pratik olarak herhangi bir değişikliğe -yerli bir fabrika gibi- müsadde edilmeyecektir. Böylelikle 1. sınıf bölgelerde gelişme önemli düzeylerde kısıtlanmakta ve yasaklanmaktadır.
2. II. sınıf bölgelerdeki limitlerde yıllık artışlar 10-15 µg/m<sup>3</sup> tür. Bu limitler bazı endüstrilerin kurulmasına imkan veren orta dereceli bir gelişmeye açıktır.
3. III. sınıf bölgelerde yasaklama yoktur. Sadece III. sınıf bölgelerde geniş kaynak kullanma ve yaygın bir gelişme olabilir.

### 3.11. Hava Kirliliğinin Kontrol Teknikleri

#### 3.11.1. Partikül maddelerin kontrolü

- Katı partiküllerin boyutları küçüldükçe havada askıda kalma süreleri uzar
- 0.001-1.0 µm boyutundaki aerosoller önemli sayılmaz
- 1-10 µm boyutundaki ince tozlar çok tehlikelidir
- Bu boyuttaki partikül maddeleri 100 mg/m<sup>3</sup> yoğunluğunda bile görülebilir
- 10 ile 200 µm boyutundaki partikül maddeleri kaba filtrelerle tutulabilir

## Partikül Kontrol Tekniği

1. Yakıtın iyileştirilmesi ve değiştirilmesi

2. Partiküllerin yanma ürünlerinden ayrılması

### 1. Yerçekim esaslı çökeltme odaları

- > 50 µm partikül maddeler tutabilir. Verim < % 50
- Büyük hacim gerektirir, dizayn ve bakım kolaydır.

### 2. Siklon ayırıcılar: En yaygın tipi ters akış siklonudur.

- Yüksek hızlı olanlar 5-25 µm büyüklüğe kadar olan partikül maddeleri tutabilir
- Verimleri % 50 - 90 arasındadır

### 3. Islak ayırıcı: Yanma ürünü olan gazların yıkanması esasına dayanır

- 10 µm'lik partikül maddeleri tutulabilir.
- Verim % 80'e çıkabilir
- Korozyon (aşınma) sorunu vardır < 1 µm partikül maddelerde verim düşük

### 4. Elektrostatik çökeltici

- Yüksek yatırım maliyeti gerektirir
- Yüksek sıcaklıkta (300°- 450° C) çalışabilme özelliğindedir
- Güç santrallerinde uçucu kül ayırımına uygundur. 0.005 µm'den büyük partikül maddeler tutar
- Verimi % 95-99 arasındadır

### 5. Kumaş (torba) filtreler: Gaz akışından partikül maddeleri ayırmada kullanılır.

- Basınç kaybı söz konusudur.
- Yüksek verimlidirler ( % 95-99.9)
- Sıcak gazlara duyarlıdır (100 °C-300 °C arasında olmalı)



**Hava kirliliğinde** partikül maddeler için kontrol teknikleri Şekil 3.8'de gösterilmiştir.

**Şekil 3.8.** Partikül maddeler için kontrol teknikleri

### 3.11.2. Kükürt oksit kontrolü

SO<sub>2</sub> , 3 ppm'den sonra keskin ve nahoş koku verir, SO<sub>2</sub> emisyonunu azaltma yöntemleri:

- a. Yakıt kükürtünün azaltılması:** Kükürtü yıkama ile almak mümkündür kükürtü, kömür içinde 2 şekilde bulunabilir
- **Organik S** : Toplam kükürtün % 40 ile 80'i organik oluşmuş olabilir. Bunu uzaklaştırmak zordur.
  - **İnorganik S:** Pirit, markazit (FeS<sub>2</sub>) veya Ca, Fe sülfatlar şeklinde olabilir. SO<sub>4</sub> grubu % 0.05'in altındadır.

Pirit şu yöntemlerle ayrılabilir:

- Yüzdürme (Yoğunluk farkı ile) ile ayırma, pirit d= 4.9 g/cm<sup>3</sup> , pirltsiz

kömür d= 1.3 g/cm<sup>3</sup>

- Yoğun ortam oluşturma
- Hava üfleme ve savurma
- Elektrostatik ayırma
- Manyetik ayırma
- Kimyasal ayırma ( Bu yöntem pirit için geçerli olup, bakteriyal veya kimyasal oksidasyon söz konusudur).

#### b. Kükürtü, az yakıt kullanmak

- Doğal gaz
- Sıvılaştırılmış doğal gaz
- Az kükürlü sıvı yakıt (Fuel-oil) (Libya, Endonezya ve Nijerya petroleri böyledir)
- Az kükürlü kömür (ülkemizde yok)

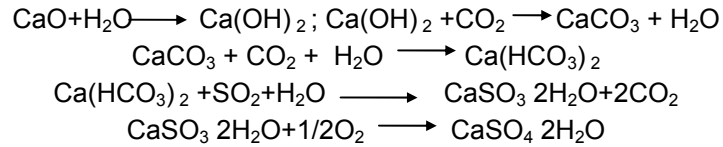
#### c. Egzoz ve baca gazlarındaki kükürtün alınması

% 5 S içeren linyitin kapalı formülü;

(C)<sub>1</sub> H<sub>1.588</sub> O<sub>0.2753</sub> N<sub>0.01428</sub> S<sub>0.05624</sub> (H<sub>2</sub>O)<sub>0.1853</sub> (KÜL)<sub>0.13345</sub>  
1 kg kömür yanması ile oluşan 100 g SO<sub>2</sub> in temizlenmesi için 6 ile 10 kg egzoz gazı işlem görmelidir. Bu amaçla farklı yöntemler bulunmaktadır. Kireç absorpsiyonu ve yıkamaya yönelik örnek aşağıda verilmiştir.

#### • Yıkama-Atma Yöntemi

a. **Kireç, kireçtaşı bulamacı ile yıkama:** % 80-85 SO<sub>2</sub> ayrımı mümkündür. % 5-7 S içeren kömürlere uygulanabilir. Ayrıca % 99 partikül madde kontrolü sağlanır.



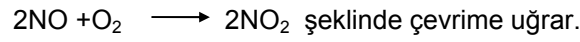
Yıkama nedeniyle baca gazı sıcaklığı düştüğü için, gazlar tesisin yanına çöker. Bunu için ısı eşanjörü ile gazın ısıtılması gerekir.

- b. Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> bulamacı ile yıkama
- c. Çift alkali (CaCO<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, veya CaO, NaOH)
- d. Elektrolitik yöntem: NaOH ile yapılır
- e. Adsorpsiyon yöntemi

- . V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ( katalizör), H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ile yıkama
- . Aktif C adsorpsiyonu

### 11.3. Azot oksit (NO<sub>x</sub>) kontrolü

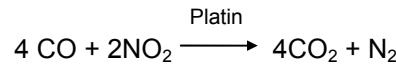
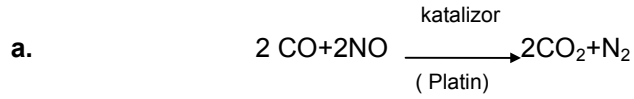
Yanma sistemlerinden N atmosfere % 92-98 NO, % 2-8 NO<sub>2</sub> olarak atılır



#### 1. Katalitik parçalanma

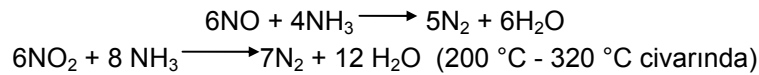
2NO  $\longrightarrow$  N<sub>2</sub>+O<sub>2</sub> Bu mümkünse de katalizör yüksek sıcaklığa uygun olmalıdır

#### 2. Katalitik indirgeme



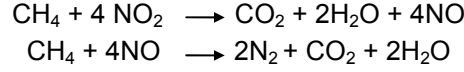
( S miktarının <1 ppm olması gerekli)

#### b. Amonyak yöntemi



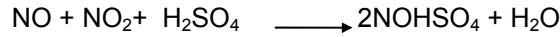
sıcaklık yüksek olursa NH<sub>3</sub> -okside olup NO<sub>x</sub> oluşur.

#### c. H<sub>2</sub> veya metan yöntemi



Platin, Bakır, Al (NiO) kaplama katalizörler kullanılır.

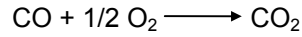
### 3. Yıkama



### 4. Aktif - C absorpsiyonu

#### 3.11.4. Karbon monoksit (CO) Kontrolü

- Termik yakıcılar kullanmak



Oksijen yetersizse ilave hava, ısı yetersizse ek yakıt kullanılması gereklidir. Bu nedenle termik yakıcılar 2 ye ayrılır:

- a. Isı değerinin % 50 sinden az ek yakıt sağlanıyorsa " Termik Reaktör"
- b. Ek yakıt enerjisi > % 50 ise "Art Yakıcı"

- Katalitik yakıcılar

Pt; Pt/ Al<sub>2</sub> O<sub>3</sub> gibi katalizörler kullanarak CO'in % 95-98 dönüşümü sağlar.

#### 3.11.5. Hidrokarbon (HC) ve koku kontrolu

Hidro karbon ve kısmen oksitlenmiş hidro karbonların en önemli kaynağı sabit veya hareketli yanmalı gereçlerdir.

Hidro karbon; emisyonları; yakma (incineration), adsorpsiyon: (aktif Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, sentetik zeolitler, aktif kömür, silikajel adsorpsiyon), absorpsiyon (organik eritgenler kimyasal madde + su, asit-baz eriyikleri) ve kondensasyon yöntemleri ile kontrol edilir, yakma için termik yakıcı kullanılır.

**Kimyasal oksidasyon:** Koku veren maddelerin oksidasyonu

(O<sub>3</sub> → aldehit, keton, asit)  
(KMnO<sub>4</sub> → S'bileşikleri, amin, fenol, stiren, akrolein)

**Koku derişimleri:** Gaz ve buhar moleküllerinin verdiği koku duygusunun şiddeti sıralanmıştır (Çizelge 3.8). Emisyonların MAK değeri ile duyu değeri farklıdır.

Örnek : H<sub>2</sub>S için MAK= 15 mg/m<sup>3</sup> (10 ppm)  
H<sub>2</sub>S için koku değeri = 8 mg/m<sup>3</sup>

**Çizelge 3.8.** Koku ölçeği

İndeks	Şiddeti	Değerlendirilmesi
0	-	Hiç koku alınmıyor
1/2	Alt Sınır	Koku eksperleri ve duyarlı kişilerin algıladığı çok hafif koku sınırı
1	Farkedilebilir	Genellikle duyulabilen hafif koku
2	Normal	Geçerli sınır; odada hoşlanılan veya hoşlanılmayan düzeyde duyulur.
3	Kuvvetli	Çok iyi farkedilir. Koşullar bakımından uygun değildir.
4	Çok kuvvetli	Rahatsız edecek (nahoş) düzeyde
5	Üst Sınır	Dayanılmıyacak düzey

### 3.12. Hava Kirliliğine Karşı Alınabilecek Önlemler

A. Emisyon kontrolü

B. Yüksek İmisyon bölgelerinde etkiyi azaltıcı yan önlemler

A. grubuna giren önlemler fosil yakıtların niteliği ve işletmelerde alınacak teknik düzeltmeleri kapsar:

- Yakıtlarda S azaltılması
- Merkezi ısı santralleri kurulması
- Elektrikli toplu taşıma
- Kurşunsuz benzin ve katalizörlü araç kullanımı
- Endüstri tesislerinde baca gazı kontrolü
- Kirliliğin emisyon kaynağı çevresinde yoğunlaşmasını engellemek için yüksek baca zorunluluğu
- Gaz toksisitesini azaltacak teknoloji seçimi
- Emisyonu azaltacak alternatif enerji kaynaklarını devreye sokmak (Güneş, rüzgar, jeotermal, doğalgaz, gelgit, biyo enerji).

B grubuna giren etkiyi azaltıcı yan önlemler şunlardır:

- Yeşil alan / yapılaşma oranını bilimsel veri düzeyinde uygulamak
- Binalarda ısı kaybını önleyecek izolasyon önlemleri ve mimari dizayn kullanmak
- Hava kirliliğine dayanıklı ve filtre görevi yapacak ağaçlık alanlar oluşturmak. Örneğin akasya, kızılçam, meşe, söğüt, kayın gibi geniş yapraklı ağaçlar, iğne yapraklılardan hem daha dirençli, hem de daha fazla partikül tutma özelliğindedir.
- Kent içi özel alanları (oyun ve spor parkı, hastane, okul, kreş v.d) özel düzenlenmiş ağaç şeritleri ile korumak. Bu amaçla emisyon kaynağı tarafına geniş yapraklı ve bunun 10-30 m gerisine iğne yapraklı ağaçların yer alması
- Kent çevresine ağaçlıklardan oluşan yeşil kuşaklar oluşturmak. Yeşil alanla, kent merkezi arasındaki sıcaklık farkı hava sirkülasyonu oluşturur.
- Bölge ve şehirlerin; nüfus, enerji üretimi, topoğrafya ve meteorolojisine göre sınıflandırılması.

### 3.13. Hava Kalitesini Kontrol Standartları

Atmosfere bırakılan kirlenmelerin derişimlerini 3 yerde ölçebiliriz:

- Üretici kaynağın baca eksoz ağızı,
- İş yeri veya mesken atmosferi,
- Çevre havası

Buna göre farklı maksimum konsantrasyon tanımları yapılabilir:

MEK değeri: (Maksimum emisyon konsantrasyonu). Bir kaynağın çıkış koşullarında havaya atılan katı, sıvı ve gaz kirlenmelerin emisyon değerleridir. Gaz ve buharlar için birim; ppm (milyonda kısım) ( $\text{cm}^3/\text{m}^3$ ) veya milyarda kısım, ppb. Askı (süspansiyon ) maddeleri için ( toz, duman, is);  $\text{mg}/\text{m}^3$  veya  $\mu\text{g}/\text{m}^3$

- MAK değeri: (Maksimum işyeri atmosferi konsantrasyonu). Bir yaşam veya çalışma ortamındaki havada, solunum yüksekliğinde, sağlığa zarar vermeyecek miktarda bulunmasına müsaade edilen, gaz, sıvı ve toz taneciklerin maksimum değeridir. Genellikle günde 8 saat maruz kalmaya

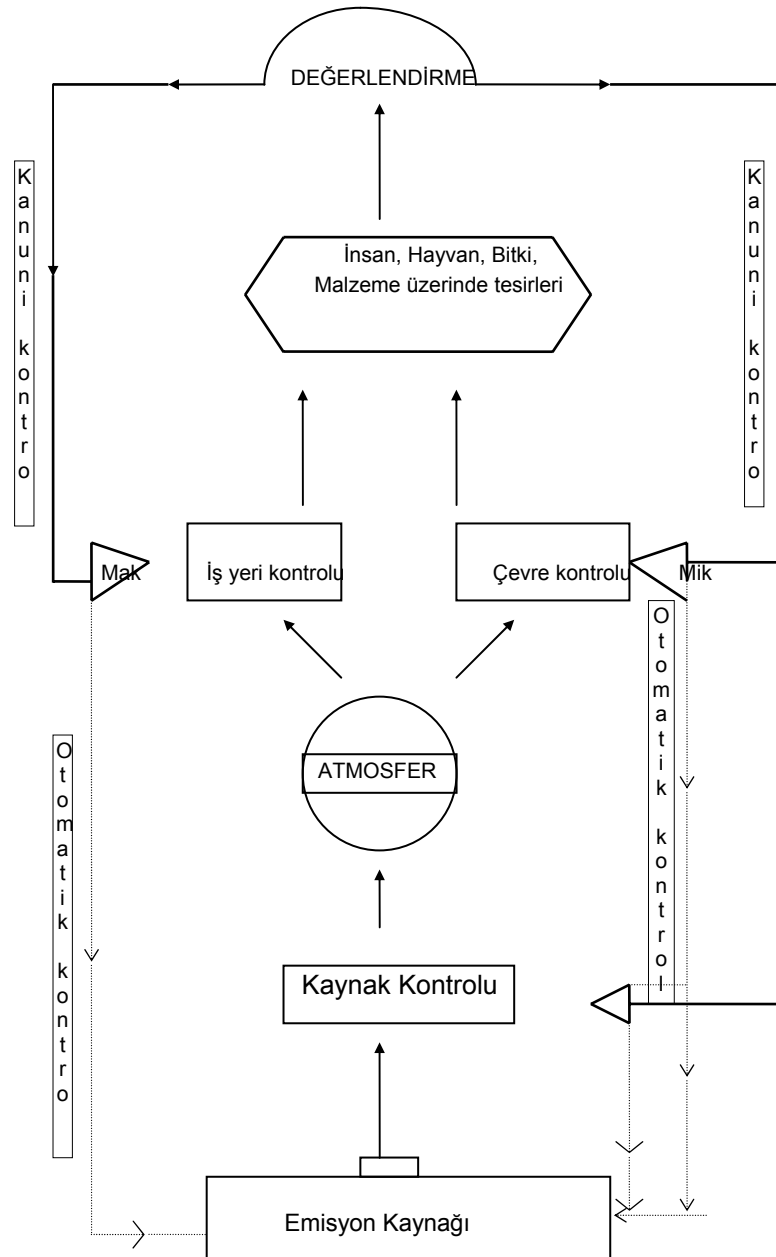
göre tanımlanır. Birimler: 1 atmosfer (760 Torr ve 293.15 K (20 °C) koşullarında,

**Gaz ve buhar için MAK= ppm**

**Askı maddeler (süspans maddeler) = mg/m<sup>3</sup> veya g/m<sup>3</sup> havadır**

MİK değeri: ( Maksimum imisyon konsantrasyonu) Atmosferin yeryüzüne yakın tabakalarındaki kirleticilerin, insan, hayvan veya bitkilere belirli süre ve tekrarda uygulanması halinde, günümüzdeki bilgilere göre bir mahzur oluşturmayan maksimum konsantrasyonlarıdır.

- Şayet kirletici PM ( toz v.s) ise, MİK değeri çöken partikülleri gösterir
- Gaz bileşenler için MİK değeri 30 dakikalık süredeki ortalama değerleri verir
- Devamlı maruz kalma halinde MİK<sub>D</sub>, kısa süre için MİK<sub>K</sub> şeklinde sınır değerler verilir





**Şekil .3.9.** Hava kalitesi kontrol mekanizması

### **3.14. Türkiye'de Hava Kirliliğinin Nedenleri ve Yayılımı**

Türkiye'deki hava kirliliğinin iki ana nedeni, diğer çevre sorunlarında da dikkati çektiği gibi düzensiz kentleşme ve çevre ile uyum sağlayamamış endüstridir. Hızlı nüfus artışına paralel olarak, büyük şehirlerde nüfus yoğunlaşması plansız ve bozuk alt yapıli kentleşme olgusunu getirmiştir. Kişi başına düşen park ve diğer yeşil alanların şehir yapısı içinde çok az yer alması, konutların hava akımlarına müsaade etmeyecek ve baca gazlarının yoğunlaşmasına neden olacak şekilde düzensiz ve topoğrafyaya uyumsuz yapılması ve endüstri için yanlış yer seçimi kirlenmeyi hızlandırıcı rol oynamaktadır. Ayrıca genel olarak çevre sorunları konusundaki bilgi eksikliği ve konunun önemsenmeyişi, giderek artan boyutlara ulaşmasına neden olmuştur.

- **Şehirleşme**

Son otuz yıllık periyot içinde görülen hızlı şehirleşmenin tahminlerin çok üzerinde oluşu ve gelişmenin düzensiz gerçekleşmesi hava kirliliğinin en önemli sebebi olmuştur. Şehirlerdeki kirlilik, bu düzensiz yapı içinde büyük ölçüde ısınma sistemlerinden, yakma tekniğinden ve yakıt kalitesinden kaynaklanmaktadır. Kentlerde görülen hava kirliliğini etkileyen gelişmeler arasında, nüfus yoğunluğu yanında topoğrafik ve meteorolojik koşullara göre

kentlerin yanlış yerleşmesi, yanlış parselasyon, düşük nitelikli yakıt ve yanlış yakma teknikleri, yeşil alan azlığı ve taşıt sayısındaki artış rol oynamaktadır.

- **Endüstri**

Endüstriden doğan hava kirliliği esas olarak yanlış yer seçimi ve atık gazların yeterli teknik önlemler alınmadan havaya bırakılması sonucu meydana gelmektedir.

Son yıllarda endüstri tesislerinin çevre kirliliği yaratmamasına dikkat edilmekle birlikte, araştırmalara göre mevcut endüstri kuruluşlarının ancak % 6.3 için çevre kirliliği oluşturmadığı anlaşılmıştır.

Çevre kirliliği yaratan ve havaya atık bırakan tesis sayısı ve % oranlarının kentlere göre dağılımı Çizelge 3.9'da gösterilmiştir.

**Çizelge 3.9.** Kentlere göre çevre kirliliği yaratan tesis sayısı ve % oranları

İller	Tesis sayısı	% Oranı
İstanbul	158	43.13
Kocaeli	23	6.22
İzmir	19	5.20
Bursa	19	5.20
Adana	18	4.90
Kayseri	18	4.90
Ankara	14	4.16
Sakarya	7	1.81
Diğer	90	24.48
<b>Toplam</b>	<b>366</b>	<b>100.00</b>

### 3.14.1. Hava kirliliğinin bölgelere göre dağılımı

Yapılan çalışmalar ülkemizin; Karadeniz, Marmara, Ege, İç Anadolu ve Doğu Anadolu bölgelerindeki bazı emisyon kaynakları üzerine olup, ülkemizin tümüne ait kayıt ve araştırmalar maalesef bulunmamaktadır.

Karadeniz bölgesinde saptanan en eski ve en yaygın hava ve çevre kirliliği, Murgul Bakır Fabrikasından kaynaklanmaktadır. Teknolojisinin oldukça

eski olduğu asit ünitesinde kükürt dioksit ve nitroz gazlar çevreye yayılmaktadır. Yine eski teknoloji nedeniyle ergitme (izabe) tesisinden gelen SO<sub>2</sub> nin ancak % 25 'i absorbe edilebilmektedir. Yöredeki sağlık kuruluşlarının raporlarına göre işletme bacalarından yaklaşık 1 km çaplı çevreye 24 saatte 560 µg/m<sup>3</sup> kükürt dioksit yayılmaktadır. Fabrika civarında 2 km çapındaki alanda bitki örtüsü tamamen yok olmuş, karınca gibi bazı mezo toprak faunası da çevrede görülmez olmuştur. Ergitme bacasından 7 km kuzey ve 3 km güney doğrultusundaki meyva ve orman ağaçları tamamen kurumuş, yıllık tarım bitkilerinden ürün alma imkanı da % 80 oranında ortadan kalkmıştır.

Benzer sorunlar Samsun yöresindeki Karadeniz Bakır İşletmelerinde de ortaya çıkmış, ünitelerin düzenli işletilmemesi nedeniyle ortaya yayılan emisyonlar yörede yetiştirilen çok kıymetli tütün alanlarında büyük zararlar yapmaya başlamıştır. Zonguldak yöresinde ise Çatalağzı santrali ile maden ocaklarından çıkan uçucu toz, metan ve karbon monoksit gazları (500 m<sup>3</sup> /dak) çanak şeklindeki arazide yoğunlaşmaktadır.

Marmara bölgesinde gübre, selüloz, kağıt, şeker, çimento, petrokimya ve deri endüstrilerinin oluşturduğu hava kirlilikleri saptanmıştır. Bunlardan gübre endüstrisi Bandırmada, selüloz-kağıt endüstrisi İzmit' te, şeker endüstrisi Susurluk'ta, çimento; İstanbul, Balıkesir ve Bursa'da, petrokimya endüstrileri İzmit'te, deri endüstrisi İstanbul' da bulunmaktadır.

İstanbul ilinde havadaki SO<sub>2</sub> düzeyi genelde düşük olup, kış aylarında bazı bölgelerde partikül miktarı artış göstermektedir. Havadaki kurşun miktarı ise şehir içinde şehir dışındakinin 50 misli konsantrasyona ulaşmaktadır. Kömür kaynaklarından yayılan Zn, As, Se, Br, Sb gibi toksik elementlerin konsantrasyonlarında da yüksek artışlar bulunmuştur. Ancak İstanbul için % 55 oranında esen rüzgarın hava kirliliğini azaltıcı özelliği bulunmaktadır. Yapılan ölçüm ve çalışmalar daha ziyade kent havası üzerine bulunmaktadır. Oysa Marmara Bölgesinde faaliyet gösteren ve yüksek düzeyde emisyon yayan, endüstriye kuruluşlar verimli tarım alanlarına çok yakın olup, bu emisyonların değerli tarım ürünlerine ve verimli topraklara nasıl etki yaptığı henüz araştırılamamıştır. Emisyonlarda bulunan toksik elementler ile kanserojen maddelerin insan gıdası olan ürünlerde birikip birikmediği de hiç bilinmemektedir.

Ege Bölgesinde özellikle deri ve çimento endüstrisinin neden olduğu hava kirliliği saptanmıştır. İzmir/Bornova'da ozon ve azot dioksit ölçmeleri günün belirli saatlerinde masimum 384 ppb NO<sub>2</sub> ve 116 ppb O<sub>3</sub> konsantrasyonlarını saptanmıştır. Bu oksitleyici maddeler çevredeki tütün, domates, pamuk ve üzüm gibi tarım ürünlerine etki yaptığı belirtilmektedir.

İç Anadolu Bölgesinde en ileri düzeyde hava kirliliği Ankara'da bulunmaktadır. Şeker ve çimento endüstrilerinin de Eskişehir ve Kayseri'de kirlilik oluşturduğu belirtilmektedir.

Yapılan ölçümlere göre Ankara ilinde ortalama günlük 157.9 ton, yıllık 57 650 ton SO<sub>2</sub> şeklinde emisyon havaya salınmaktadır. Yıllık emisyonların % 95 'i ısınma için yakıt kullanımından, % 1.4 'ü trafik nedeniyle, % 3.5 'i endüstriyel faaliyetten ve % 0.1 katı artıklardan oluşmaktadır. Ayrıca yine yıllık 23 bin ton pratikül ve 12 640 ton hidrokarbon, nitroz oksit emisyonları oluşmaktadır. Partüküllerin % 79'u ısınma nedeniyle oluşurken, hidrokarbon ve nitroz oksitler % 44.7 oranında trafikten ve % 52 oranında ısınmadan oluşmaktadır.

Doğu Anadolu'da da şeker, çimento ve gübre işletmelerinin hava kirliliği oluşturduğu rapor edilmiştir. Erzurum'da hava kirliliğinin ileri düzeyde olduğu ve havadaki SO<sub>2</sub> miktarının sınır değerlerin üzerine çıktığı ve Ankara'dan daha kirli olduğu belirtilmektedir.