

Chapter 3a

Sources and Effects of Air Pollution

Content

General sources of pollutants

- Natural Sources
- Anthropogenic Sources

Classification of Sources

Emission and Emission Inventory

Effects of Air Pollution

- Greenhouse Effect and Global Warming
- Ozone Depletion and ozon hole

Effects on Human Health

Effects on Plants and Structures

- Acid Rains and Wet/Dry Depositions

General Pollutant Sources

- **Natural Sources**
 - Volcanic Eruptions
 - Forest Fires
 - Dust Storms
 - Oceans
 - Plants and Trees
- **Anthropogenic Sources**
 - Mobile Sources
 - Stationary Sources

A.SARAL

3

Natural Sources

- **Volcanic Eruptions**

Pollutants released to the atmosphere:

Particles (ash, smoke etc.), SO_2 , H_2S and CH_4

Scale of Effects: Long term tropospheric even stratospheric pollution

Although local point, regional-to-global transportation

A.SARAL

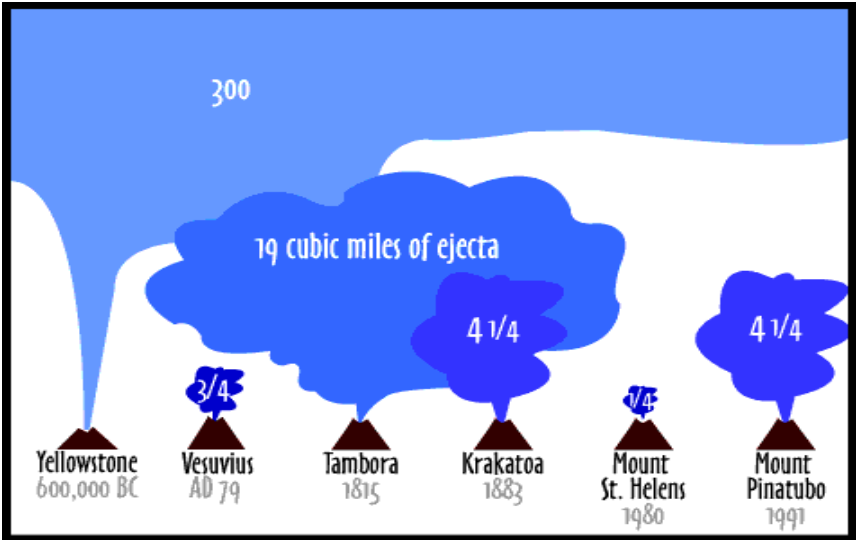
4

History of Volcanic Eruptions

Volcano	Year	Cubic Miles	Cubic Kilometers
	"Large" Eruptions		
Kilauea, Hawaii	1983	0.02	0.1
Mauna Loa, Hawaii	1976	0.09	0.375
Mauna Loa, Hawaii	1984	0.05	0.22
Mt. Pelee, Martinique	1902	0.1	0.5
Mount St. Helens	1980	0.2	0.7
Askja, Iceland	1875	0.5	2
Vesuvius, Italy	79	0.7	3
"Major" Eruptions			
Pinatubo, Philippines	1991	2.4	10
Krakatoa, Indonesia	1883	4.3	18
Ilopango, El Salvador	300	10	40
Santorini, Greece	1450BC	14	60
Mazama, Oregon	4000BC	18	75
Tambora, Indonesia	1815	36	150
"Great" Eruptions			
Valles, New Mexico	1.4 Million BC	72	300
Long Valley, Calif.	740,000BC	120	500
Yellowstone, Wyoming:			
Lava Creek Ash	600,000BC	240	1000
Mesa Falls	1.2 Million BC	67	280
Huckleberry	2.0 Million BC	600	2500
Columbia, Washington	15 Million BC	24,000	100,000

5

Dimensions of Main Volcanic Eruptions



A.SARAL

6

Natural Sources

- **Forest Fires**

Pollutants released to the atmosphere:

Smoke, unburned HCs, CO, NOx's and ash

Scale of Effects: Local-to-Regional dispersion and transportation

A.SARAL

7

Natural Sources

- **Dust Storms**

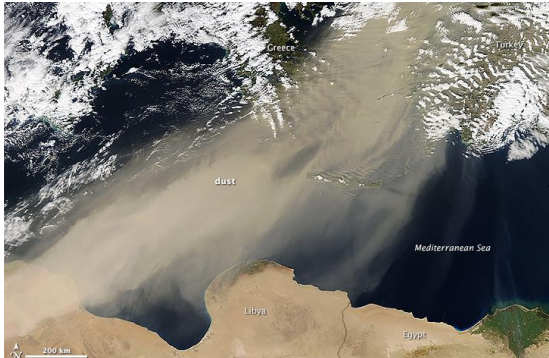
Pollutants released to the atmosphere:

Particles

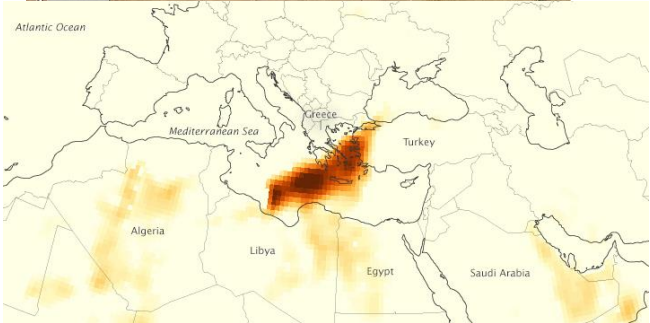
Scale of Effects: Local-to-Regional dispersion and transportation

A.SARAL

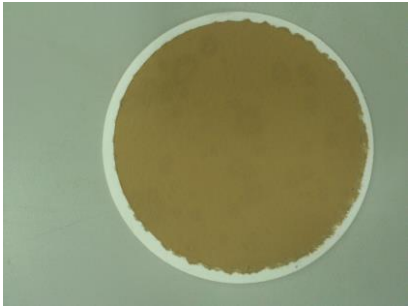
8



Dust storm from
Saharan Desert



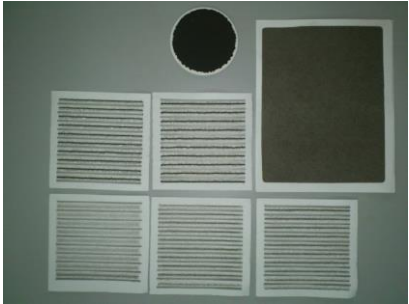
1 Feb 2015 during incursion



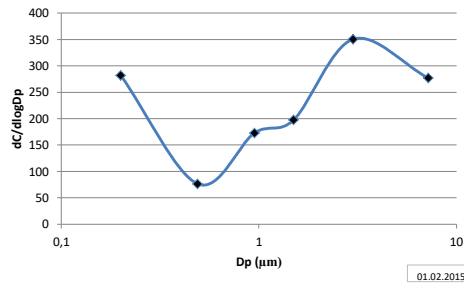
938 $\mu\text{g.m}^{-3}$ TSP concentration



3 Feb 2015 after rain event

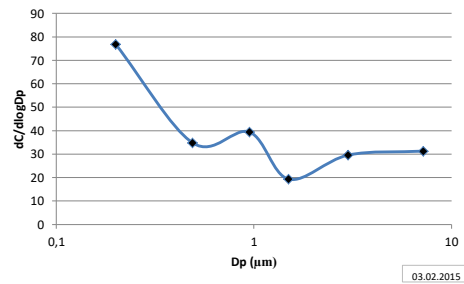


86 $\mu\text{g.m}^{-3}$ TSP concentration



Particles of 3 μm govern the distribution

Sub-micron particles are dominant on a clear day.



Natural Sources

- **Oceans**

Pollutants released to the atmosphere:

Aerosols as salt particles (NaCl , MgCl_2 , MgSO_4) etc

Scale of Effects: Regional-to-global dispersion and transportation

Continuous emissions may vary over seasonal cycles in quantity

Natural Sources

- Plants and Trees

Pollutants released to the atmosphere:

CO₂, O₂ (pollutant?), VOCs (terpenes etc)

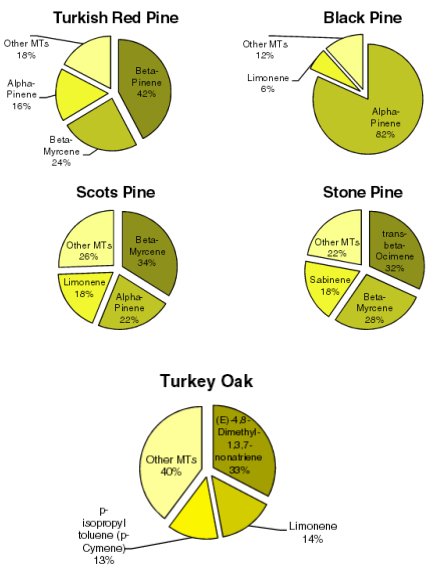
Scale of Effects: Local-to-Regional dispersion and transportation

A.SARAL

13



(Daşdemir et al., 2012)
www.hkad.org



(Aydin et al., 2014)

Anthropogenic Sources

Mobile Sources

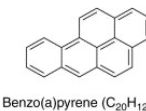
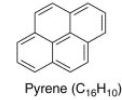
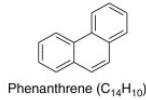
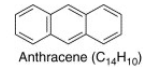
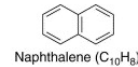
Motor Vehicles (Diesel, gasoline, LPG)
Planes (jet fuel)
Trains (diesel)
Ships (diesel)

Pollutants:

All use fossil fuels
Combustion gases (NOx's, SOx's, CO, CO₂, unburned HC's) and PM

Scale of Effects:

Local-to-regional transportation, continental effects
(to some extent)



A.SARAL

15

Anthropogenic Sources

Stationary Sources

Fossil fuel combustion (Coal, fuel oil, natural gas, wood)

Waste incineration (hazardous waste, medical waste, domestic waste)

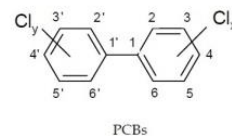
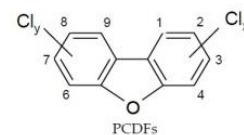
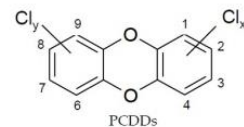
Industrial processes (Chemical, plastic, paint, acid, detergent, fertilizer, metal, wood products, petroleum refineries, soil products etc)

Pollutants:

All use fossil fuels...
Combustion gases (NOx's, SOx's, CO, CO₂, unburned HC's) and PM
VOCs esp. Dioxins/furans, PCBs
Hazardous-toxic materials, heavy metals

Scale effects:

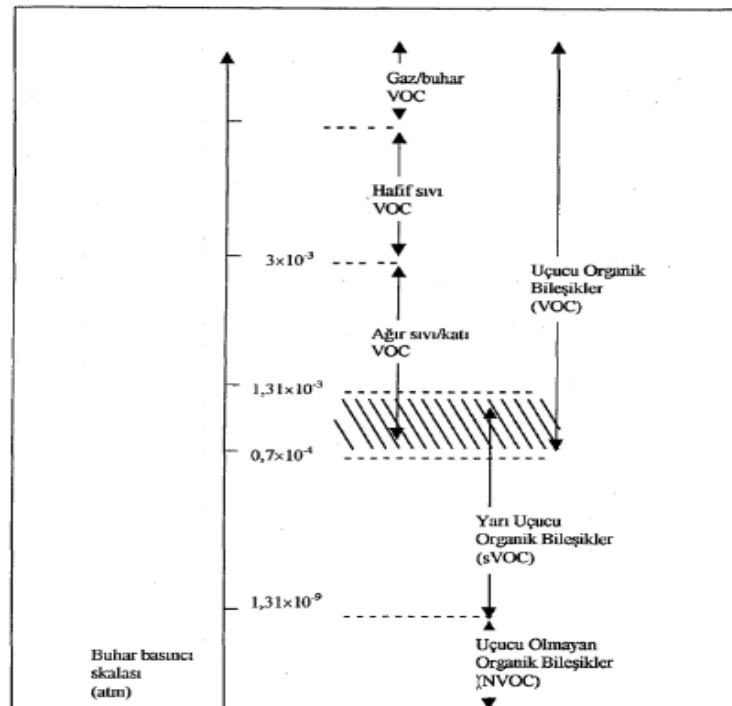
Local-to-regional transportation, continental-global effects (to some extent)



A.SARAL

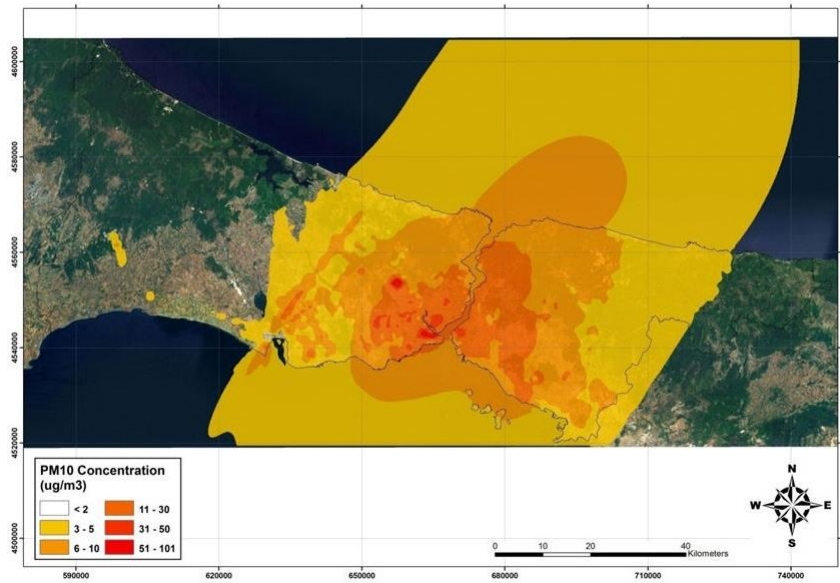
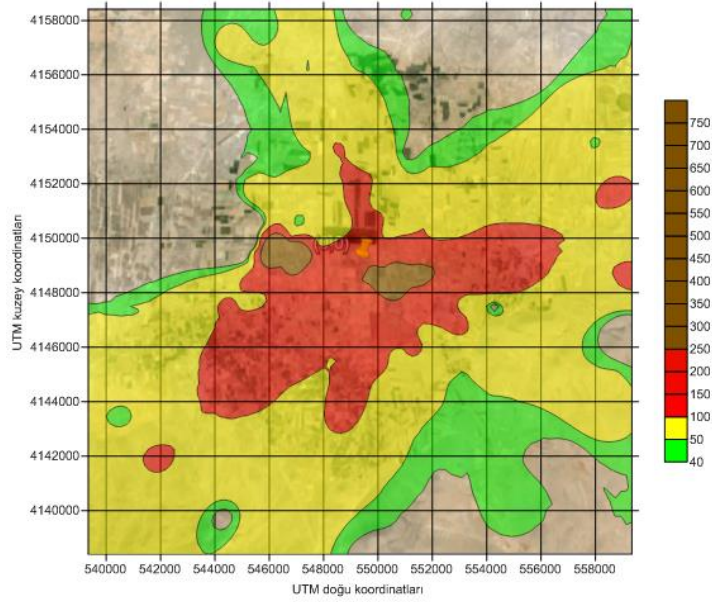
16

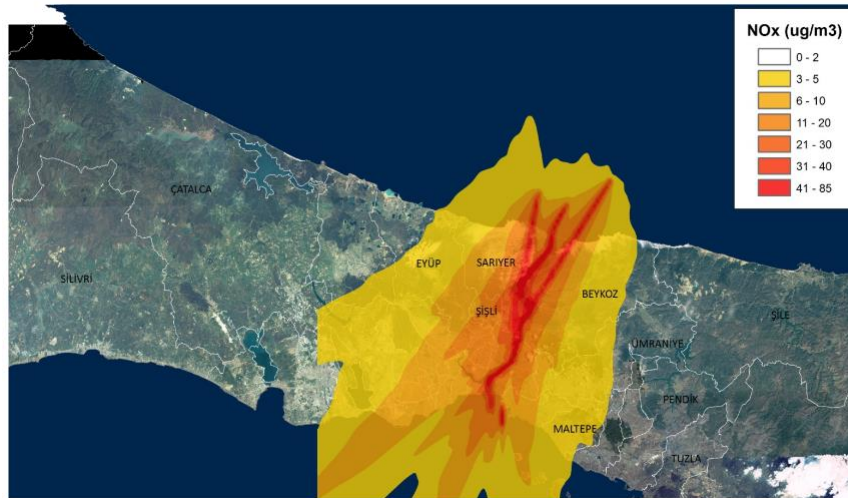
- VOCs
- SVOCs



Source Classification

- Point Sources
 - High Pollutant emission loads from stacks of industrial facilities like thermal power plants, cement plants, iron-steel industries, sintering facilities and others
- Area Sources
 - Group of sources that have low emission loads like residential areas (, or Industrial Zones
- Line Sources
 - Motor vehicles, railways, etc.





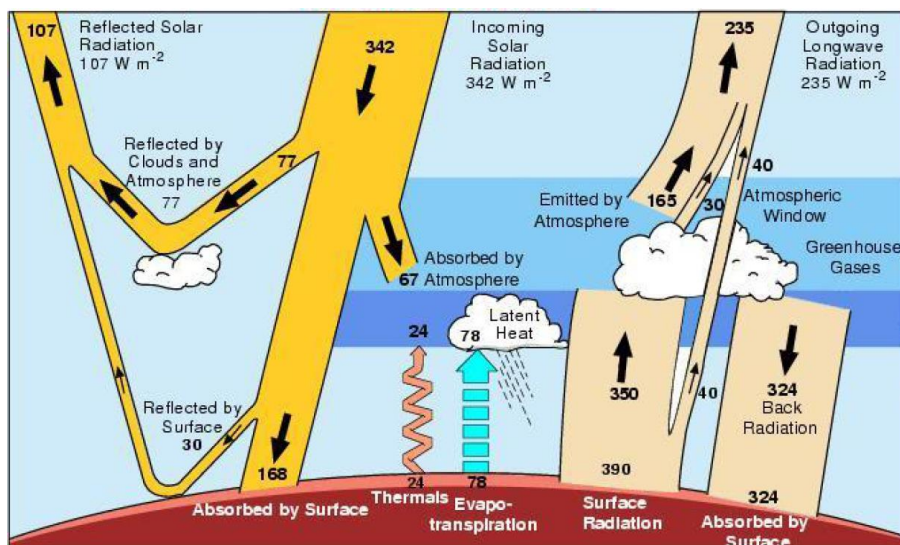
(Tuna and Elbir, 2013)

Effects of Air Pollution

- Scales of Air Pollution Problems may be classified as follows:
 - 1. Global scale,
 - 2. Regional scale,
 - 3. Local scale

- **Global scale effects:** Climate change and ozone depletion,
- **Regional scale effects:** Some regional problems like acid rains,
- **Local scale effects:** Specific air pollution problems realized in urban settlements or some industrial areas
- All of the above air pollution problems have adverse effects on human health, plants, animals and properties

Global Heat Flow/Balance and Greenhouse Effect



Greenhouse Gases

GREENHOUSE GASES			
60%	CO ₂	Carbon dioxide*	Burning fossil fuels, deforestation
16%	HFCs	Hydrofluorocarbons	Aerosols, refrigerants
15%	CH ₄	Methane*	Organic waste, cattle, fuel production
5%	N ₂ O	Nitrous oxide	Fertilizers, soil, fuels
2%	PFCs	Perfluorocarbons	Paint, textile and aluminum production
1%	SF ₆	Sulphur hexafluoride	Electrical industry, rubber/Mg production
1%	H ₂ O	Water vapour*	Irrigation, evaporation, ice melting

↑
Effect on climate

***Natural Greenhouse gases**

Greenhouse Gases

The main greenhouse gases						
Greenhouse gases	Chemical formula	Pre-industrial concentration	Concentration in 1994	Atmospheric lifetime (years)***	Anthropogenic sources	Global warming potential (GWP) *
Carbon-dioxide	CO ₂	278 000 ppbv	358 000 ppbv	Variable	Fossil fuel combustion Land use conversion Cement production	1
Methane	CH ₄	700 ppbv	1721 ppbv	12,2 +/- 3	Fossil fuels Rice paddies Waste dumps Livestock	21 **
Nitrous oxide	N ₂ O	275 ppbv	311 ppbv	120	Fertilizer Industrial processes Combustion	310
CFC-12	CCl ₂ F ₂	0	0,503 ppbv	102	Liquid coolants Foams	6200-7100 ****
HCFC-22	CHClF ₂	0	0,105 ppbv	12,1	Liquid coolants	1300-1400 ****
Perfluoromethane	CF ₄	0	0,070 ppbv	50 000	Production of aluminium	6 500
Sulphur hexa-fluoride	SF ₆	0	0,032 ppbv	3 200	Dielectric fluid	23 900

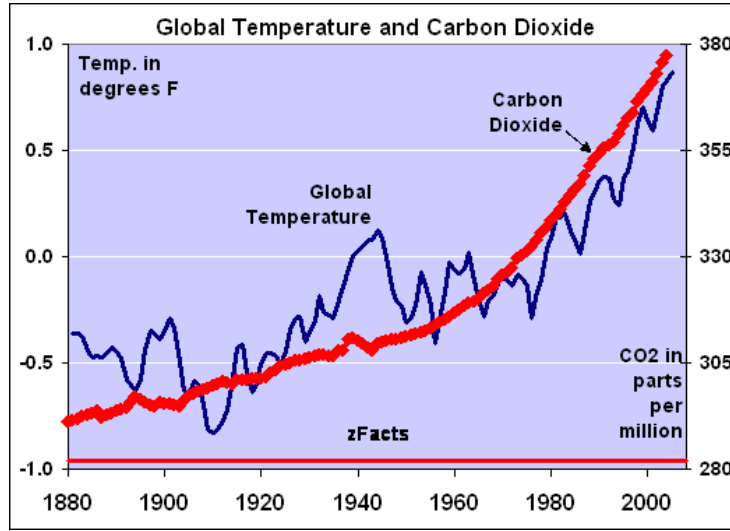
Note : pptv= 1 part per trillion by volume; ppbv= 1 part per billion by volume, ppm v= 1 part per million by volume

* GWP for 100 year time horizon. ** Includes indirect effects of tropospheric ozone production and stratospheric water vapour production. *** On page 15 of the IPCC SAR. No single lifetime for CO₂ can be defined because of the different rates of uptake by different sink processes. **** Net global warming potential (i.e., including the indirect effect due to ozone depletion).

Source: IPCC radiative forcing report, Climate change 1996, The science of climate change, contribution of working group I to the second assessment report of the intergovernmental panel on climate change, UNEP and WMO, Cambridge press university, 1996.

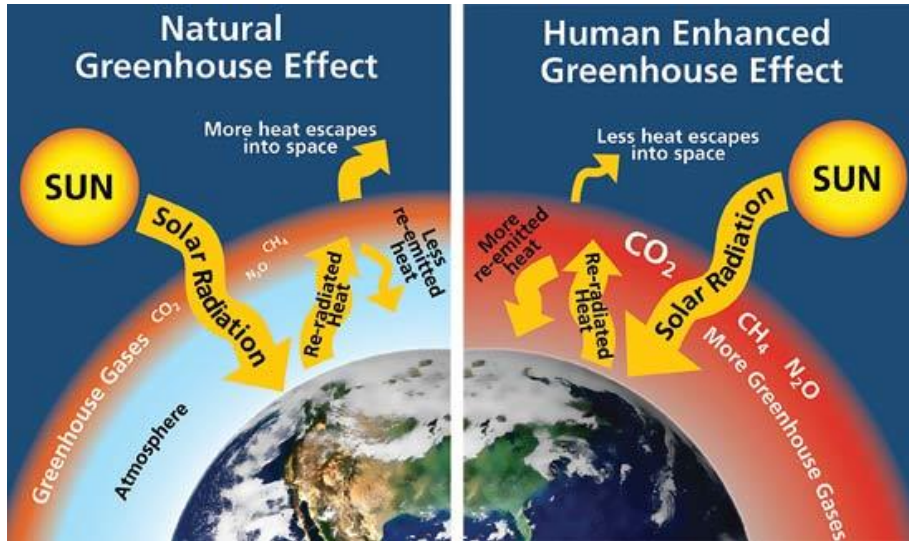
GRID Arendal UNEP

CO2 and Temperature

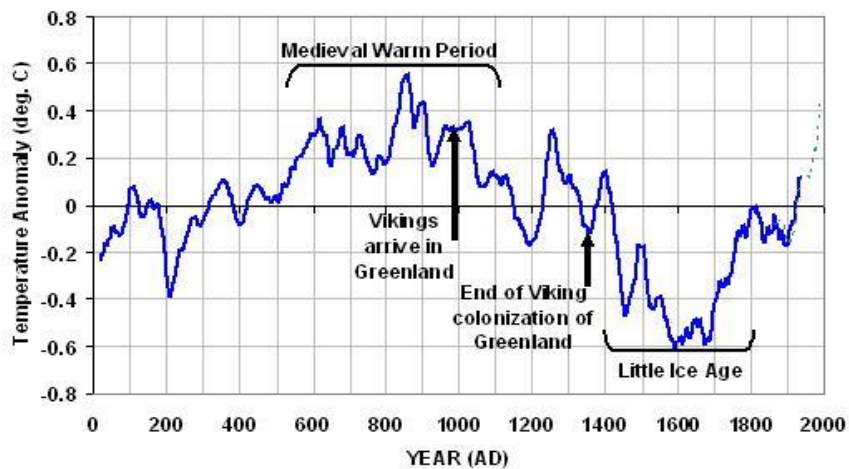


- CO2 konsantrasyonundaki bu artışın dünya iklimindeki başlıca etkeninin **ortalama sıcaklıktaki artış** olduğu birçok bilim adamı tarafından kabul edilmektedir.
- Çeşitli araştırmacılara göre bu artışın 0.3 - 9.6 C arasında olacağı tahmin edilmektedir.
- Ortalama sıcaklığın artmasının, yeryüzüne yakın yerlerde ısınma, ve atmosferin yukarı tabakalarındaki soğuma neticesinde alçak ve yüksek basınç sistemlerini etkileyeceği, ve bunun neticesinde yeryüzünün bazı bölgelerinde kuraklık, bazı bölgelerde de aşırı yağış ve sellerin olacağı, yani **ekstrem hava olayları**nın artacağı tahmin edilmektedir.
- Nitekim bu olaylar, bilhassa son 20-30 sene içinde görülmektedir.
- Ayrıca, ortalama sıcaklığın artmasıyla, **kutuplardaki buzulların erimesi** neticesinde kıyı şeridindeki arazilerin ve bazı şehirlerin sular altında kalacağı tahmin edilmektedir.
- Ortalama sıcaklıktaki 1 - 3 C'lik artışın buzulların 2 ila 5 kat ısınmasına neden olacağı tahmin edilmektedir.

Natural and Human Enhanced Greenhouse Effect



Long-term Global Temperature Variation



Global Warming and Climate Change

GLOBAL WARMING

is the increase of the Earth's average surface temperature due to a build-up of greenhouse gases in the atmosphere.

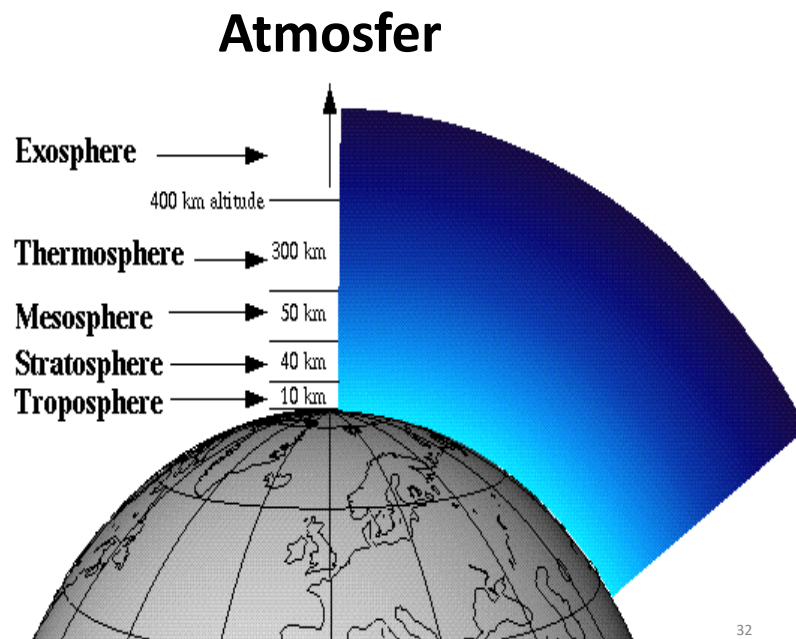


CLIMATE CHANGE

is a broader term referring to **long-term changes in climate**, including average temperature and precipitation.

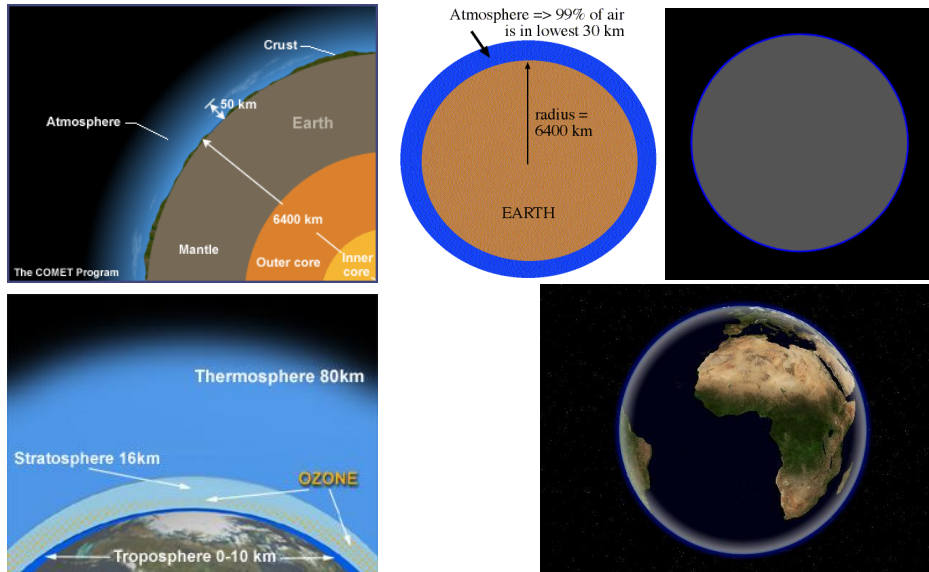


What is long-term?



32

Thickness of the Atmosphere





Earth Atmosphere Model

Imperial Units

Glenn
Research
Center

1 atm = 2116.2 lbs/sq ft

1 kg/m³ = 1.94 slugs/ft³

T = (F-32)1.8

1 ft = 0.3048 m

For h > 82345 (Upper Stratosphere)

$$T = -205.05 + .00164 h$$

$$p = 51.97 \times \left[\frac{T + 459.7}{389.98} \right]^{-11.388}$$

For 36152 < h < 82345 (Lower Stratosphere)

$$T = -70$$

$$p = 473.1 \times e^{(1.73 - .000048 h)}$$



For h < 36152 (Troposphere)

$$T = 59 - .00356 h$$

$$p = 2116 \times \left[\frac{T + 459.7}{518.6} \right]^{5.256}$$

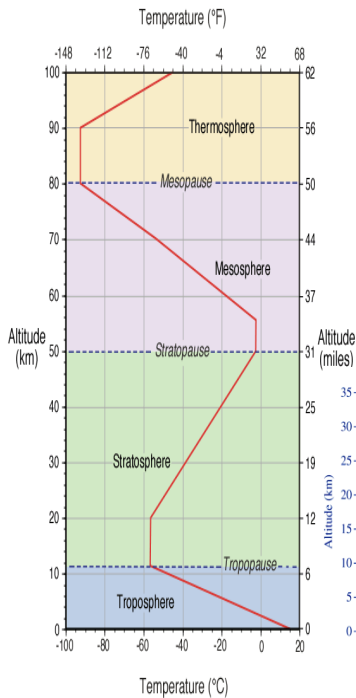
ρ = density (slugs/cu ft)

p = pressure (lbs/sq ft)

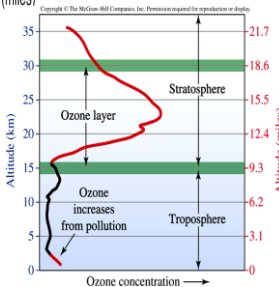
$\rho = p / (1718 \times (T + 459.7))$

T = temperature (°F)
h = altitude (ft)

Ozone Layer



- 16 – 35 km (above bkgd level)
- Stratosphere contains about 90% of all atmospheric ozone
- Total column ozone: ~300 DU (1 DU = 0.3 cm thick layer at 1 atm)

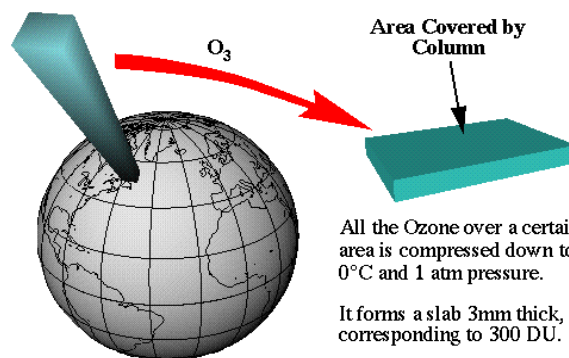


What is the maximum concentration of ozone in the ozone layer?

Maximum of absolute conc about 23 km (up to 10^{13} molecules/mL)

Maximum of relative conc about 35 km (up to 10 ppm)

Dobson Unit (DU)



- A dobson unit is the most basic measure used in ozone research. One Dobson Unit (DU) is defined to be 0.01 mm thickness at STP (standard temperature and pressure). Ozone layer thickness is expressed in terms of Dobson units, which measure what its physical thickness would be if compressed in the Earth's atmosphere. In those terms, it's very thin indeed. A normal range is 300 to 500 Dobson units, which translates to an eighth of an inch-basically two stacked pennies.

Formation of Ozone Layer

- 1930
 - Sydney Chapman proposed a series of reactions to account for the ozone layer: *the Chapman Cycle*
 - The *Chapman Cycle* explains how the ozone layer is formed and maintained.
 - Four chemical reactions
 - *Initiation* $\text{O}_2 + \text{light} \rightarrow 2\text{O} \text{ (120 – 210 nm)}$
 - *Propagation (cycling)*
 - $\text{O} + \text{O}_2 + \text{M} \rightarrow \text{O}_3 + \text{M}^* \text{ (generates heat)}$
 - $\text{O}_3 + \text{light} \rightarrow \text{O}_2 + \text{O} \text{ (220 – 320 nm)}$
 - *Termination* $\text{O}_3 + \text{O} \rightarrow 2\text{O}_2$
- Split and regenerate repeatedly
- Highest concentration in the upper atmosphere
- Concentration decreases at lower altitudes

Ozon Layer

Ozone (O_3)

- **A pollutant on ground level**
 - (Bad Ozone in Troposphere)
 - A component of photochemical smog
- **Important for our survival**
 - (Good Ozone in Stratosphere)
 - Absorbs some of the potentially harmful UV radiation which can cause skin cancer and damage to vegetation

What is CFCs? ^[1]

- Chlorofluorocarbons (CFCs)
- Composed of elements chlorine, fluorine, and carbon
- Developed in 1930 by DuPont
- CFCs were welcomed by industries:
 - Low toxicity
 - Chemical stability
 - Cheap
- Usage:
 - As refrigerants
 - As blowing agents
 - For making flexible foam
 - As cleaning agents
 - As propellants

What is CFCs? ^[2]



*CFCs are used in aerosol sprays
(Sources: <http://www.yahoo.com>)*



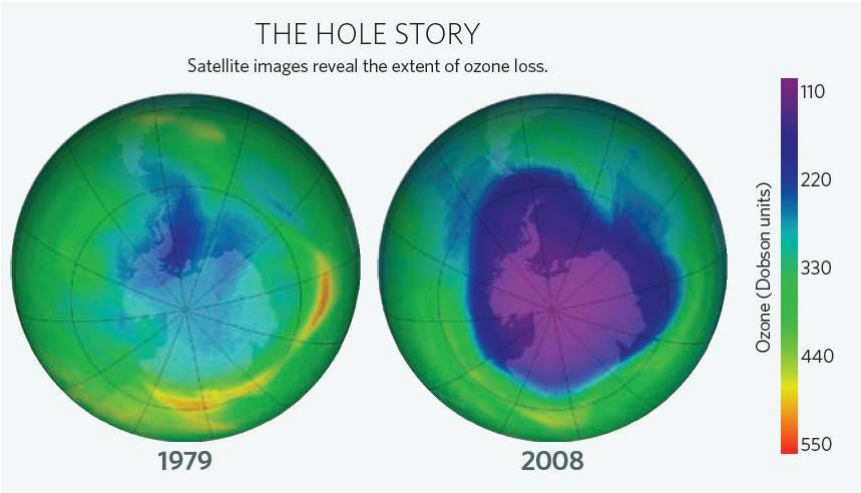
*CFCs were used as refrigerants in the
past (Sources: <http://www.yahoo.com>)*

Destruction of Ozone Layer

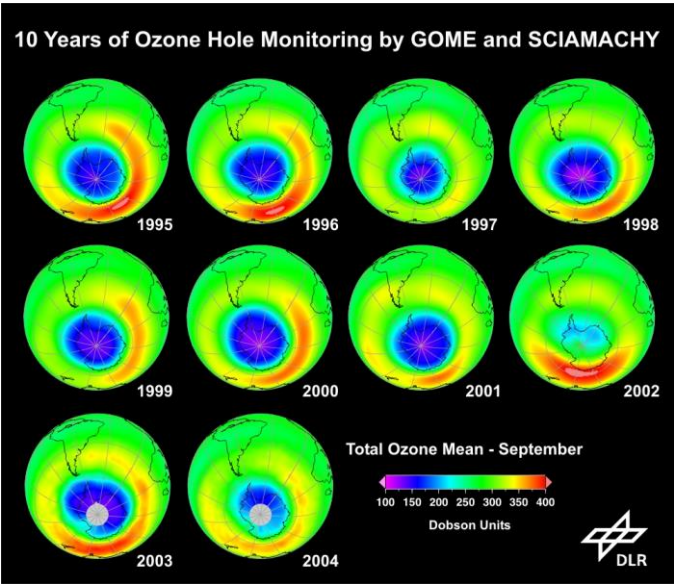
- Photodissociation of CFCs releases chlorine atoms:
 - For example: $\text{CFCl}_3 + \text{light} \rightarrow \text{CFCl}_2 + \text{Cl}$ ($\lambda < 225 \text{ nm}$)
- Chlorine atoms from CFCs attack the ozone, taking away ozone and forming chlorine monoxide (ClO).
 - $\text{O}_3 + \text{Cl} \rightarrow \text{O}_2 + \text{ClO}$
- Chlorine monoxide then combines with another oxygen atom to form a new oxygen molecule and a chlorine atom.
 - $\text{ClO} + \text{O} \rightarrow \text{Cl} + \text{O}_2$
- The chlorine atom is free to destroy up to 100,000 ozone molecules

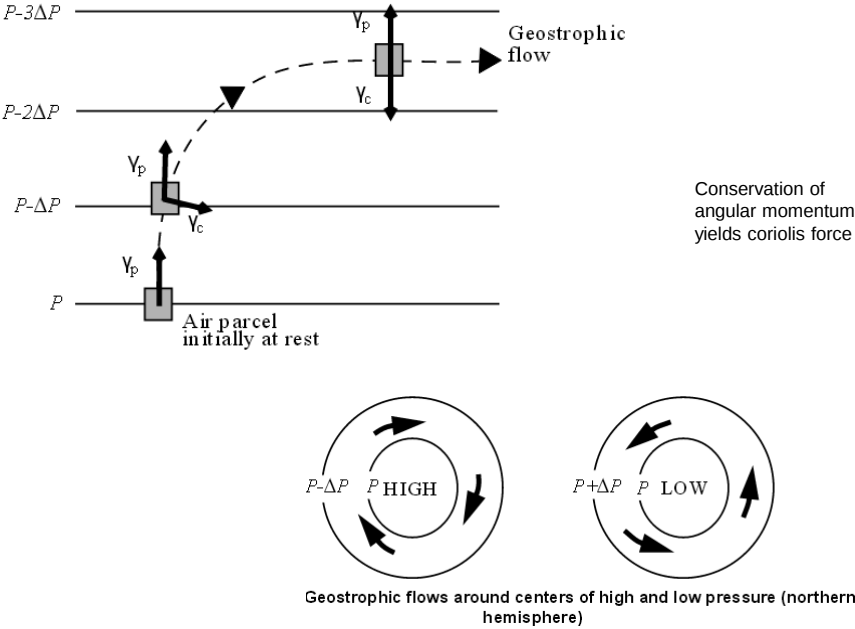
- Ozon tabakasına etki eden bir başka madde de **nitros oksit (N₂O)** ve **azot monoksit (NO)**'dir.
- **Azotlu gübrelerin kullanımlarındaki artışın** N₂O konsantrasyonunun artmasına neden olacağı tahmin edilmektedir.
- NO, in önemli bir kaynağı ise **yüksek seviyelerde uçan uçaklardır**. Bu azotlu bileşikler de stratosfer tabakasında ozon ile reaksiyona girerek azalmasına yol açarlar.

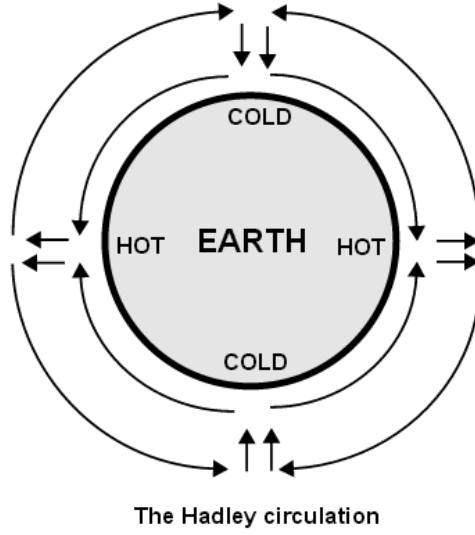
Ozone Hole



Ozone Hole

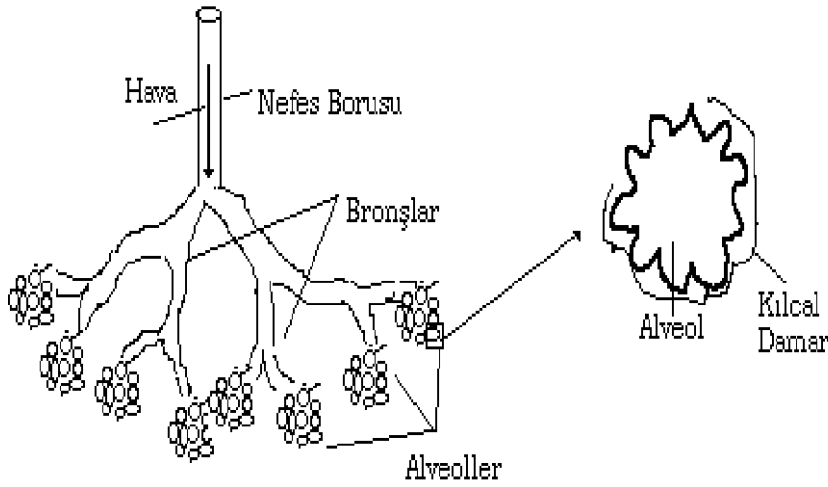






İnsan Sağlığına Olan Etkiler

- Hava kirleticileri insan vücuduna ağız, burun, nefes borusu ve akciğerler yolu ile girerek bu bölgelerde, ve akciğerlerden kana karışarak vücudun diğer yerlerine ulaşabilirler. Gaz halindeki kirleticilerin (örneğin CO) hava fazından kan(sıvı) fazına geçişleri "alveol" denilen torbacıklarda meydana gelir. Akciğerlerde bu alveollerden milyonlarca adet bulunmaktadır.



- Bronş sistemi ve Alveoller

Gaz Halindeki Kirleticiler

- **Karbon Monoksit (CO)**
- Renksiz, kokusuz ve toksik bir gazdır.
- Oldukça stabil olup, atmosferde kalma süresi 2-4 aydır.
- CO'ın toksik etkisi, kandaki hemoglobin ile oksijene göre >200 kat fazla birleşme kabiliyetinin (affinity) olmasıdır. Bu özelliğinden dolayı, havada CO bulunduğu takdirde, aşağıda gösterilen geri dönüşümlü reaksiyona göre oksihemoglobindeki (O₂Hb) oksijenin yerini alarak karboksi-hemoglobin (COHb) meydana getirir:



Bu reaksiyon için denge sabiti :

$$K_{\text{CO}} = \frac{[\text{COHb}] P_{\text{O}_2}}{[\text{O}_2 \text{ Hb}] P_{\text{CO}}} \Rightarrow \frac{[\text{COHb}]}{[\text{O}_2 \text{ Hb}]} = K_{\text{CO}} \frac{P_{\text{CO}}}{P_{\text{O}_2}}$$

- P_{CO} ve P_{O_2} : CO ve O_2 'nin hava fazındaki kısmi basıncı,
- $[\text{COHb}]$ ve $[\text{O}_2 \text{ Hb}]$:karboksihemoglobin ve oksihemoglobinin kan fazındaki konsantrasyonudur.
- Bu ifadede K_{CO} , geri dönüşümlü reaksiyonun denge sabitidir.
- İnsan kanında, K' 'nin değeri 200-250 arasındadır.

Symptoms Associated with a Given Concentration of CO Over Time

PPM CO	Time	Symptoms
35	8 hours	Maximum exposure allowed by OSHA in the workplace over an eight hour period.
200	2-3 hours	Mild headache, fatigue, nausea and dizziness.
400	1-2 hours	Serious headache-other symptoms intensify. Life threatening after 3 hours.
800	45 minutes	Dizziness, nausea and convulsions. Unconscious within 2 hours. Death within 2-3 hours.
1600	20 minutes	Headache, dizziness and nausea. Death within 1 hour.
3200	5-10 minutes	Headache, dizziness and nausea. Death within 1 hour.
6400	1-2 minutes	Headache, dizziness and nausea. Death within 25-30 minutes.
12,800	1-3 minutes	Death

Gaz Halindeki Kirleticiler

- **Kükürt Dioksit**
- Kükürt dioksit (SO_2) ve kükürt trioksit (SO_3) kükürt oksitlerinin atmosferde en çok bulunan türleridir. Renksiz bir gaz olan SO_2 , 0.3 -1.0 ppm arasında keskin kokusu vardır. Atmosferde fotokimyasal veya katalitik reaksiyonlar neticesinde SO_2 kısmen SO_3 veya sülfurik aside ve bunun tuzlarına dönüşür. Partiküller ve rutubet ile birlikte daha zarar verici etkileri vardır (sinerjistik etki).

Gaz Halindeki Kirleticiler

- **Azot Oksitler**
- Azot yedi çeşit oksit meydana getirmekle birlikte, bunlardan hava kirleticisi olarak en önemli iki tanesi azot monoksit (NO) ve azot dioksit (NO_2) dir. Bunlar NO_x olarak belirtilirler. Her iki gaz da yüksek konsantrasyonlarda (>50 ppm) toksik ve öldürücü etki gösterirler, ancak atmosferdeki konsantrasyonları bu seviyenin çok altında olduğundan, esas olarak akciğer ve solunum sistemi üzerinde olumsuz etkileri vardır

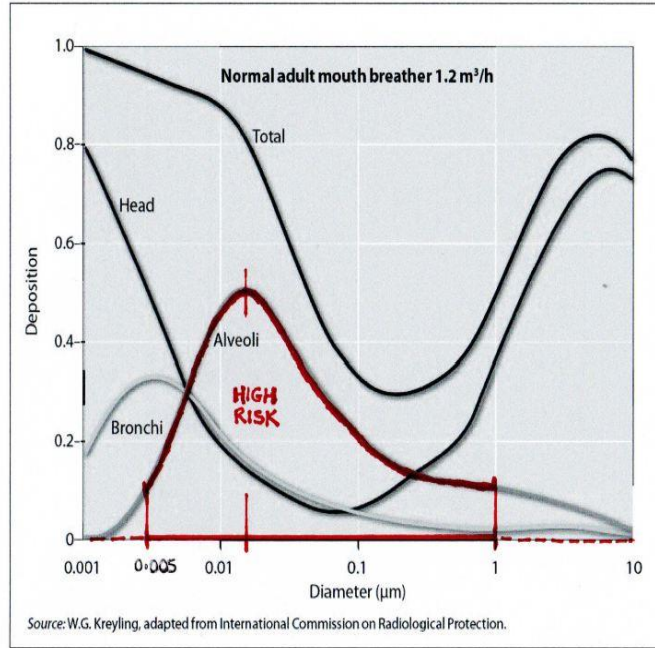
Gaz Halindeki Kirleticiler

- **Fotokimyasal Oksidantlar**
- Fotokimyasal oksidantlar, ozon (O₃), peroksiasetil nitrat (PAN), peroksi - benzol nitrat (PBN) gibi potasyum iyodür'ün iyodür iyonunu yükseltebilen oksitleyicilerdir.
- Fotokimyasal smogun en zararlı etkileri, oksidantlar arasında en yüksek konsantrasyonlarda olan ozon ve PAN tarafından meydana gelmektedir. Bu oksidantların yanında, smog'u oluşturan reaksiyonlar neticesinde oluşan aerosoller de görüş mesafesini azaltır ve atmosferde kahverengi bir renk meydana getirir.

Partiküller

- Partiküllerin solunum sistemi ve akciğerlerdeki hareketleri ve etkileri, aerodinamik karakteristiklerine (çap veya büyüklük, şekil, yoğunluk) bağlıdır.
- Partiküllerin solunum sisteminin çeşitli bölgelerindeki birikimi, büyüklüklerine (çap) bağlıdır.
- Burun delikleri, çok ince partiküllerin yanında oldukça büyük toz partiküllerinin de burun kısmından (pharynx) girmelerine izin verir.
- Partiküller daha sonra solunum sistemi ve akciğerlerde çeşitli mekanizmaların etkisiyle tutulurlar.

Fig. 3.
Deposition probability of
inhaled particles in the
respiratory tract according
to particle size



Akciğer ve Solunum Yollarında Partikül Birikiminin Partikül Çapına Göre Dağılımı

Özel ve Tehlikeli Kirleticiler

- **Kurşun**
- Kurşun, hava, su, ve gıda yoluyla vücuda girebilir. Yaklaşık % 80'i su ve gıda yolu ile girer, % 20'si de atmosfer kaynaklıdır.
- Havadan gelen kurşunun başlıca kaynakları, motorlu taşıtlarda kullanılan kurşunlu benzin, katı atıkların yakılması, ve batarya imalathaneleri gibi üretim tesisleridir.
- Kurşun, nefes alma yolu ile solunum sistemine girdikten sonra, bir kısmı doğrudan kana karışır, bir kısmı da akciğerlerdeki temizleme mekanizmaları vasıtasıyla mide-bağırsak sistemine girer. beyin, böbrek gibi çeşitli organlarda birikerek sinir sistemi ve böbrek fonksiyonunu olumsuz yönde etkiler ve hemogloblin sentezini engeller. Bilhassa çocuklarda kurşuna karşı hassasiyet daha fazladır.

Özel ve Tehlikeli Kirleticiler

- **Asbest**
- Çeşitli araştırmalar, çalışan kimselerin maruz kaldıkları asbestin bronş kanserine yol açtığını ortaya çıkarmıştır. Ayrıca, asbestin göğüs ve karın zarlarında kanserojen etki gösterdiği belirlenmiştir.
- **Berilyum**
- Beryllium emisyonunun bulunduğu ortamlarda çalışan kişilerde akut ve kronik solunum yolları rahatsızlıkları ve göz ve deride tahribat görülmüştür.
- **Cıva**
- Metalik cıva buharlarının sinir sistemi ve böbreklerde tahribat yaptığı belirlenmiştir. Ayrıca, cıva çeşitli organlarda birikebilir ve beyinde tahribata yol açabilir.

Yapı ve Malzemelere, Bitkilere olan Etkiler ve Asit Yağmuru

- **Yapı ve Malzemeler Üzerindeki Etkiler**
- **Kükürt dioksit**
- Yapılan gözlemler, SO₂'nin 1-2 ppm konsantrasyonu arasında boya filmlerinin kuruma sürelerini % 50 -100 arasında arttırdığını göstermiştir.
- 7-10 ppm arasında ise bu süre 3 güne kadar çıkmaktadır. Bu ortamlarda kuruyan yüzeylerin ise daha az dayanıklı oldukları belirlenmiştir .
- Kükürt oksitler, atmosferde veya metal yüzeylerinde sulfürik asit oluşturmak suretiyle, metallerin korozyon hızlarının da artmasına neden olmaktadır.
- Bu etki, hem metal cinsine, hem de SO₂'nin atmosferdeki konsantrasyonu ve etkili olduğu süreye bağlıdır. Çeşitli SO₂ konsantrasyonlarında ve sürelerde metal korozyonunun 1.5 ila 5 kat arttığı gözlenmiştir

- **Yapı ve Malzemeler Üzerindeki Etkiler**

- **Kükürt dioksit**

- SO₂'nin yapılar üzerindeki etkisi, kireçtaşı (CaCO₃) ile reaksiyona girerek suda çözünebilen, ve dolayısıyla yapıların zamanla yıpranmasına yol açan, CaSO₄ ve CaSO₄.2H₂O meydana getirmesidir. Bu yıpranma mermer yapılarda da meydana gelmektedir.
- Genelde hava kirleticilerinin tekstil, kumaş ve dokumalar üzerinde yapısal bağları zayıflatıcı ve germe kuvvetini düşürücü etkileri vardır. SO₂'in selüloz elyaflar, naylon, pamuk, rayon üzerinde zarar verici etkileri bulunmaktadır.

- **Yapı ve Malzemeler Üzerindeki Etkiler**

- **Kükürt dioksit**

- SO₂'nin deri ve kâğıt malzemeler üzerinde de yıpratıcı etkileri vardır. SO₂ deri tarafından absorbe edilerek sülfurik aside dönüşür ve bu da derinin yapısını bozar. Bu, bilhassa kütüphanelerdeki kitap ciltlerinin çatlamasına yol açar.
- Kağıttaki selüloz elyaf, SO₂'in etkisi ile zayıflar. Bunda, kağıt üretiminde kullanılan kimyasal maddelerin içinde bulunan iz miktardaki metallerin SO₂'in sülfurik aside dönüşümünü kataliz edici etkisinin de önemli bir rolü bulunmaktadır.

- **Yapı ve Malzemeler Üzerindeki Etkiler**

- **Ozon**

- Ozonun en önemli etkilerinden biri kauçukdan yapılan malzemelerin çatlaması şeklinde görülmektedir.
- Doğal kauçuk polimerize olmuş izopren ünitelerinden meydana gelmiştir. Kauçuk gerilim altındayken, ozon karbon atomları arasındaki çift bağları parçalar. Bunu diğer bağların zincirleme bir şekilde parçalanmaları takip eder.
- Ozonun kauçuklu malzemelere karşı etkisini önlemek için yüksek derecede doymuş moleküller veya parafin kullanmak, kâğıt veya plastik ile yüzeyini korumak gibi önlemler alınabilir.

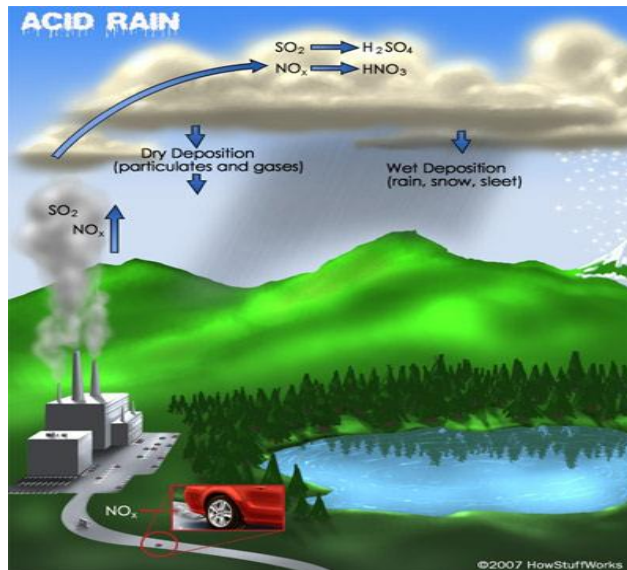
Bitkiler Üzerindeki Etkiler

- Hava kirleticileri bitkileri doğrudan veya dolaylı olmak üzere iki yoldan etkiler. Doğrudan etki, bitki yaprağının yüzeylerinde bulunan ve *stomata* denilen deliklerden girmeleri neticesinde meydana gelir.
- Hava kirleticilerinin dolaylı etkisi ise, toprak ve su kanalı ile bitki köklerini etkilemeleri suretiyle belirir.
- Bitkiler üzerinde gerek doğrudan gerekse dolaylı olarak fitotoksik etki gösteren en önemli hava kirleticileri **ozon, kükürt dioksit, azot dioksit, florürler, PAN ve hidrokarbonlar arasında etilendir.**
- Bunlar, kloroplastların sayısında azalma nedeniyle renk solması veya sararması (*klorosis*), dış epidermal tabakanın tahribatı neticesinde yaprak yüzeyinin parlaklaşması (*glazing* veya *silvering*) veya yüzeyde benekleşme (*flecking*) şeklinde fiziksel etkiler, veya üreme mekanizmalarında aksaklıklar, verimde düşmeler gibi fizyolojik ve biyokimyasal etkiler şeklinde belirir.

Asit Yağmuru

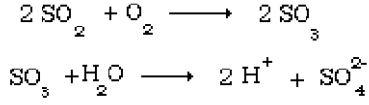
- Asit yağmuru veya asit birikimi, son 30 yıl içinde bölgesel ölçekte önemli çevre problemlerinden biridir.
- Bilhassa İskandinav ülkelerinde, Kanada'da ve ABD'nin kuzeydoğu eyaletlerinde akuatik yaşamda (göllerde), bitkilerde ve toprakta olumsuz değişimlere yol açmıştır.
- Normalde, yağmur suyunun pH'ı 5.5 -5.6 arasındadır. Bu, atmosferde bulunan CO₂ 'nin yağmur suyunda çözünerek karbonik asit meydana getirmesinden kaynaklanmaktadır.
- **Bu pH seviyesinin altında pH'ı olan yağmurlar asit yağmuru olarak tanımlanır.**
- Asit yağmuru antropojenik kaynaklardan gelen SO₂, NO_x 'lerin asitlere dönüşerek bulutlardaki su damlacıklarında ve yağmur damlalarında absorbe edilmeleri suretiyle oluşur. Buna "**yaş birikim**" (wet deposition) denir.

Acid Rain

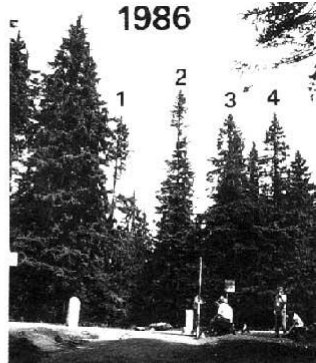
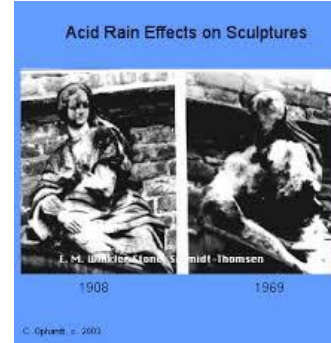


Asit Yağmuru

- SO₂'nin absorpsiyonu, aşağıda gösterilen tipik bir reaksiyon ile meydana gelebilir:

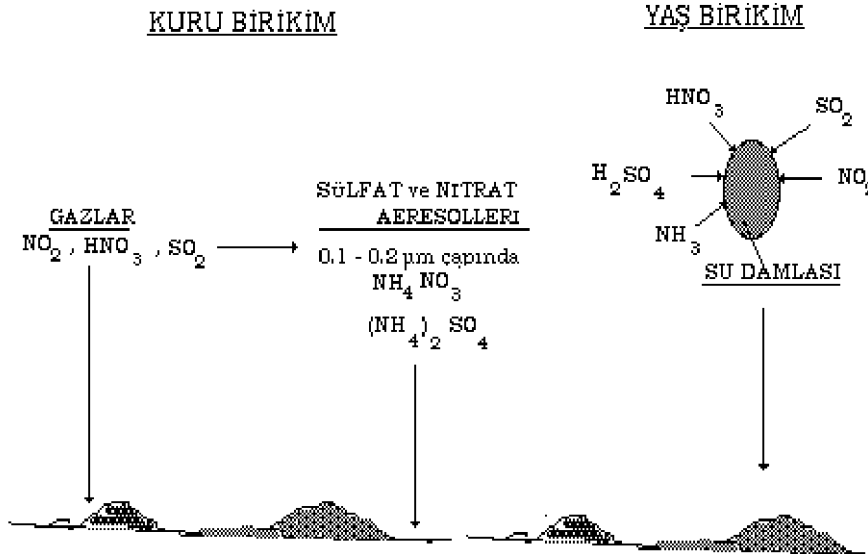


- Gaz halindeki kirlenmelerin yeryüzüne inmeleri veya sulfat ve nitrat aerosollerine dönüşümleri neticesinde de "**kuru birikim**" (dry deposition) meydana gelir.
- ABD'nin doğu kesiminde asit yağmurunun yaklaşık olarak % 65'inin sülfürik asit, % 30'unun nitrik asit, ve geri kalanının da diğer asitlerden oluştuğu belirlenmiştir.
- Yerleşim merkezlerinde ise asiditenin % 80'inin nitrik asitten kaynaklandığı tesbit edilmiştir. ABD'nin doğusunda, Nisan 1979 - Mart 1980 arasında meydana gelen yağmurun pH'ı < 5.0, ve bazı bölgelerde < 4.2 olarak ölçülmüştür. 1967'de Hollanda'nın De Bilt kentinde senelik ortalama pH 3.78, İskoçyanın Pitlochry kentindeki bir yağışta ise 2.4 olarak ölçülmüştür.



Asit Yağmuru

- Asit yağmurunun en zararlı etkilerinden biri doğal su kaynaklarının (göller) asidifikasyonu ve bunun neticesinde akuatik canlıların ve bilhassa balıkların ölmesidir.
- Suyun pH'ı 5.5'in altına düştüğü takdirde, birçok balık türünde üreme sekteye uğrar.
- Ayrıca, balıkların gıdasını oluşturan plankton ve dip faunada, pH düşmesiyle birlikte azalmalar gözlenmiştir.
- Asit yağmurunun başka bir etkisi de, toprakta besin olarak kullanılan minerallerin çözünmesidir (demineralizasyon). Demineralizasyon neticesinde, ürünlerde, ormanlarda produktivite düşüşleri, ve doğal bitki türlerinde tahribat meydana gelir.



Asidik birikimdeki atmosferik prosesler.