



Hava Kirliliği ve Uzaktan Algılama

Doç. Dr. Özgür ZEYDAN

<https://ozgurzeydan.com.tr/>



Hava Kirliliği

- Atmosferin doğal yapısında bulunmayan kirleticilerin insan sağlığına, bitkilere, hayvanlara veya materyallere zarar verebilecek konsantrasyonda ve yeterince uzun süre havada bulunması.

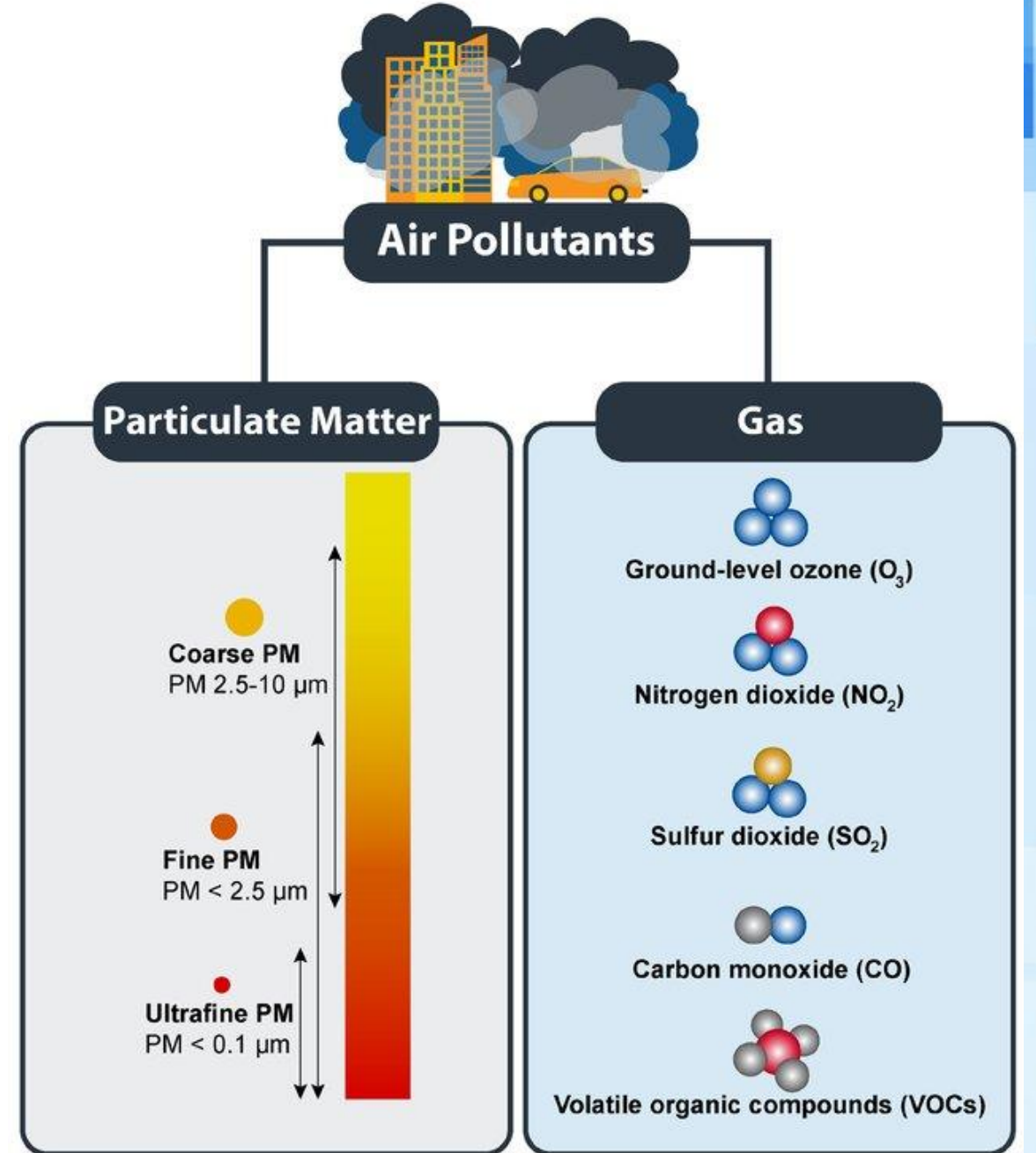
Hava Kirleticileri

Gaz kirleticiler

- Kükürt dioksit (SO_2)
- Azot oksitler ($\text{NO}_x = \text{NO} + \text{NO}_2$)
- Karbon monoksit (CO)
- Uçucu organik bileşikler
- Hidrojen sülfür (H_2S)
- Ozon (O_3) (yer seviyesinde)

Aerosoller

- Partikül Madde



Hava Kirliliğinin Boyutları

Kirletici Kaynağı

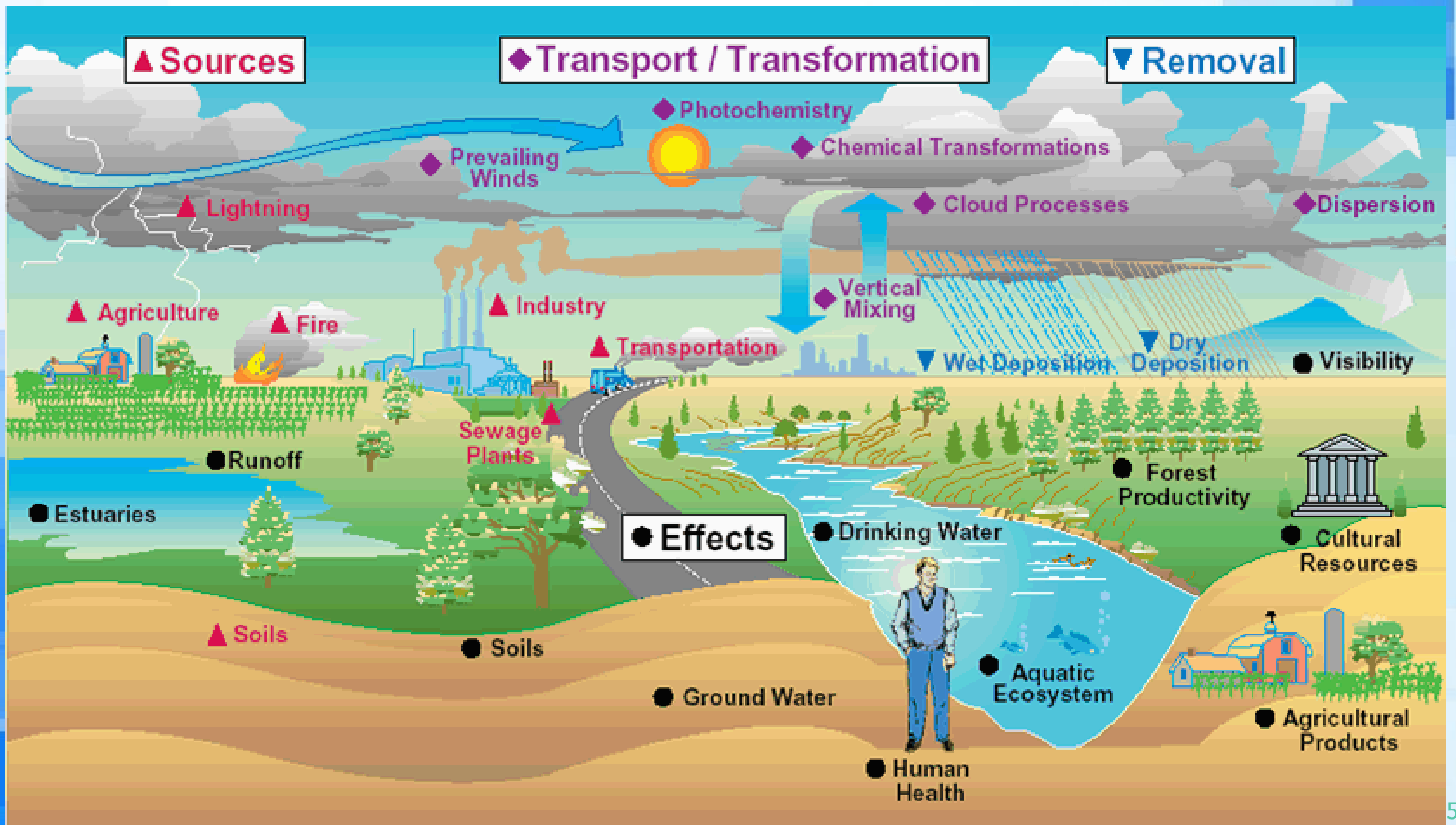
- Kaynağın türüne göre (antropojenik, biyojenik, diğer doğal kaynaklar)
- Kirleticinin fiziksel haline göre (gazlar ve partikül maddeler (katı - sıvı))
- Kaynağın yapısına ve mekânsal dağılımına göre (noktasal, çizgisel ve alansal kaynaklar)
- Kaynağın hareketine göre (sabit ve hareketli kaynaklar)
- Kirleticinin atmosferde oluşumuna göre (birincil ve ikincil kirleticiler)

Taşıyım

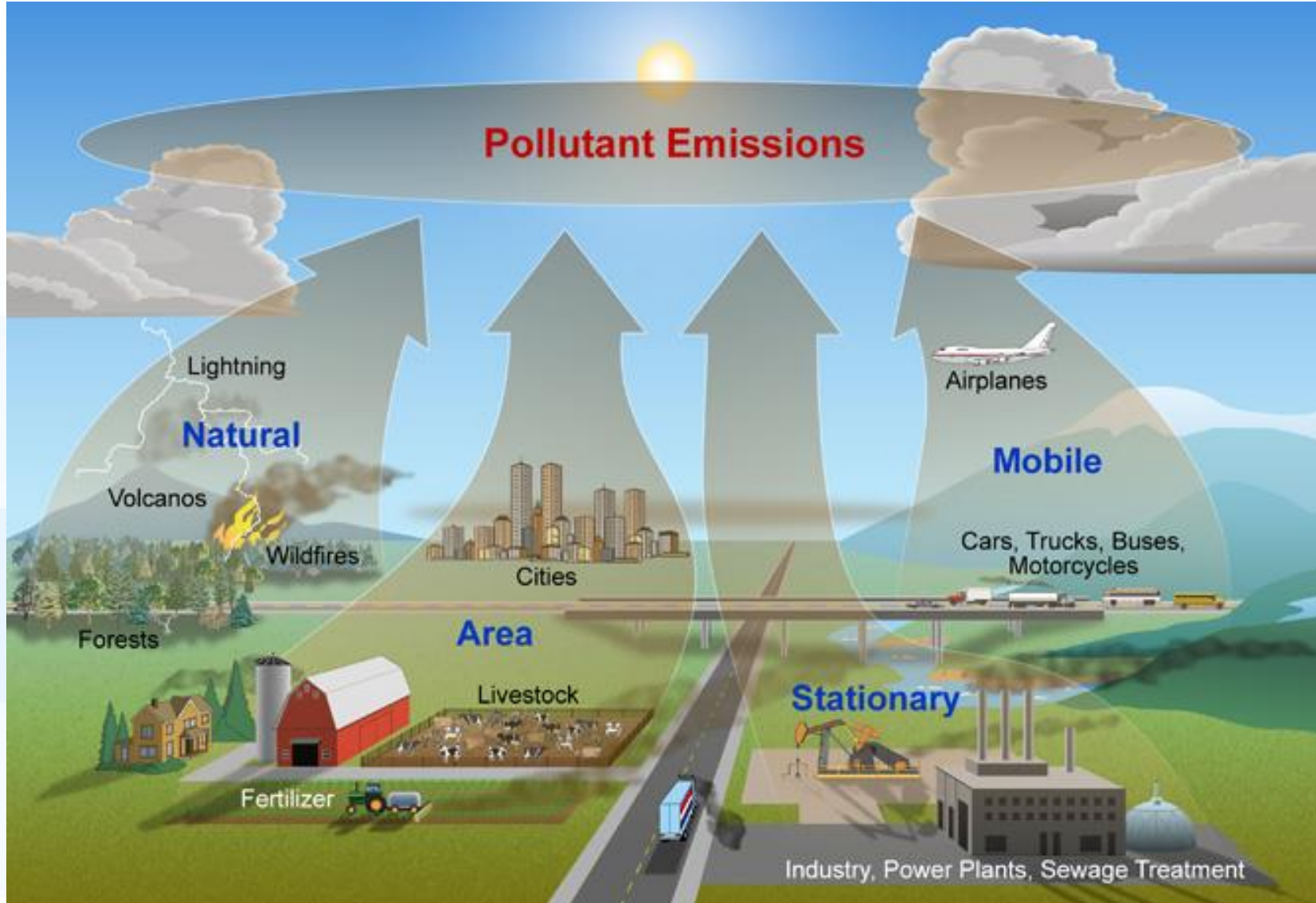
- Meteorolojik etmenler
- Topografi
- İklim koşulları
- Atmosferik reaksiyonlar (seyrelme, doğal mekanizmalar ile kirleticilerin giderimi)

Alıcılara Etkileri

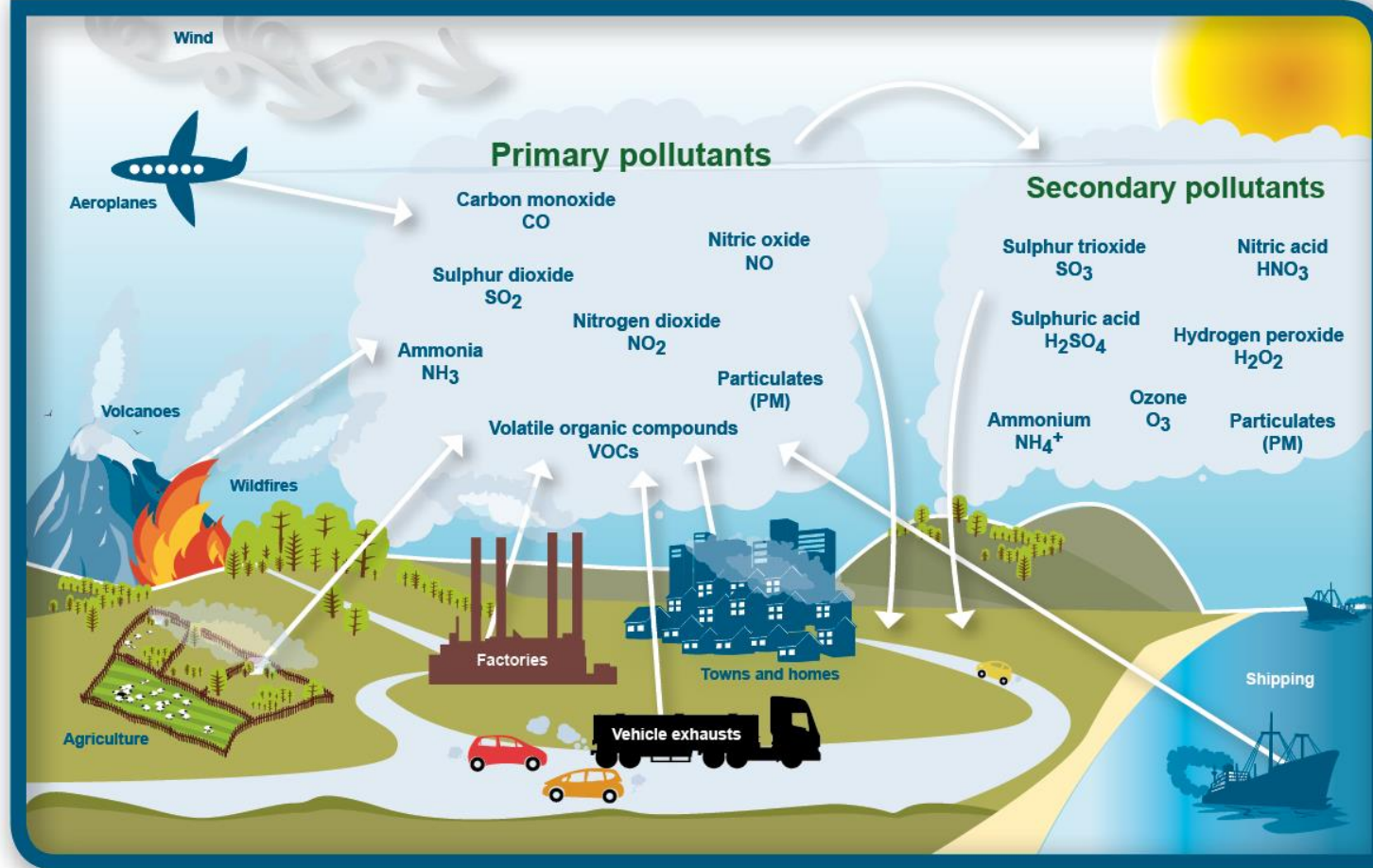
- Canlılara etkileri (insanlar, hayvanlar ve bitkiler)
- Materyallere etkileri
- Çevreye etkileri (görüş mesafesinde azalma, asit yağmurları, ötrofikasyon, ozon tabakasının incelmesi, küresel iklim değişikliği)



Hava Kirliliği Kaynakları



Birincil ve İkincil Kirleticiler



Birincil kirleticiler doğrudan kaynaktan atmosfere salınır, ikincil kirleticiler ise atmosferdeki kimyasal reaksiyonlar sonucu oluşurlar.

Hava Kalitesi Mevzuatı

- Hava kalitesi değerlendirme ve yönetimi yönetmeliği
(Resmi Gazete Tarih: 06.06.2008 Sayı: 26898) (HKDYY)
- Sanayi kaynaklı hava kirliliğinin kontrolü yönetmeliği
(Resmi Gazete Tarih: 03.07.2009 Sayı: 27277) (SKHKKY)
- Isınmadan kaynaklanan hava kirliliğinin kontrolü yönetmeliği
(Resmi Gazete Tarih: 13.01.2005 Sayı: 25699) (IKHKKY)

➤ Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği (KKDYY)

- Kirletici: İnsan kaynaklı faaliyetler sonucunda doğrudan veya dolaylı olarak dış ortam havasına verilen ve çevre ve/veya insan sağlığı üzerinde zararlı etkileri olabilecek herhangi bir maddeyi,
- Limit değer: Çevre ve/veya insan sağlığı üzerindeki zararlı etkilerden kaçınmak, bunları önlemek veya azaltmak amacıyla bilimsel olarak belirlenen, öngörülen süre içinde ulaşılabilecek ve ulaşıldıktan sonra da aşılmaması gereken seviyeyi,

Hava Kirleticileri Sınır Değerleri ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Kirletici	Ortalama Süre	HKDYY Sınır Değeri	DSÖ Sınır Değeri
PM _{2.5}	Yıllık	—	5
	24 saatlik	—	15
PM ₁₀	Yıllık	40	15
	24 saatlik	50	45
O ₃	Pik sezon *	—	60
	8 saatlik	120	100
NO ₂	Yıllık	40	10
	24 saatlik	—	25
	Saatlik	200	200
SO ₂	24 saatlik	125	40
	Yıllık	20	—
CO	24 saatlik	—	4000
	8 saatlik	10000	10000

*En yüksek konsantrasyonun görüldüğü birbirini takip eden 6 ayın ortalaması.

Hava Kalitesinin İzlenmesi

- Yer ölçümleri bize belirli bir noktadaki hava kalitesini gösterir. Peki geniş bir bölgenin hava kalitesini nasıl izleyebiliriz?
- Cevap: uzaktan algılama.
- Uzaktan algılama atmosferdeki her kirleticiyi doğrudan ölçemez.
- Bazı gazlar atmosfer tarafından veya sensör tarafından algılanabilen belirli dalga boylarında radyasyonu soğurur. Partikül maddeler ise atmosferdeki ışığın saçılması ve soğurulmasını değiştirir. Bu nedenle uydu gözlemleri bazı kirleticilerin doğrudan, bazı kirleticilerin ise dolaylı olarak belirlenmesini sağlayabilir.

➤ Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği

- Emisyon: Yakıt ve benzerlerinin yakılmasıyla; sentez, ayrışma, buharlaşma ve benzeri işlemlerle; maddelerin yığılması, ayrılması, taşınması ve diğer mekanik işlemler sonucu bir tesisten atmosfere yayılan hava kirleticilerini,
- Emisyon Envanteri: Sınırları belirlenmiş herhangi bir bölgede, hava kirletici kaynaklardan belli bir zaman aralığında atmosfere verilen kirleticilerin listesi, miktarı ve bunların toplam kirlilik içindeki paylarını gösteren bilgileri,
- Emisyon Faktörü: Herhangi bir faaliyetten veya ekipmandan kaynaklanan belirli bir kirleticinin birim hammadde, birim yakıt, birim hacim, birim zaman, birim alan için ortalama emisyon miktarını,
- Emisyon Kaynağı: Atmosfere emisyon veren baca veya baca dışı kaynağı ifade eder.

SKHKKY - Ekler

- Tablo 2.2 Tesis Etki Alanında Hava Kalitesi Sınır Değerleri
- Ek-5: Kirletici Vasfı Yüksek Tesisler İçin Özel Emisyon Sınırları
- Emisyon $\neq$ Atmosferik Konsantrasyon
- Emisyon $\rightarrow$ taşınım + seyrelme + kimyasal dönüşüm $\rightarrow$ konsantrasyon

Hava Kirliliğinin Etkileri

- İnsan sağlığı üzerindeki etkiler
- Hayvanlar ve bitkiler üzerindeki etkiler
- Ekosistemler üzerindeki etkiler
 - Asit yağmuru → (Bölgesel)
 - Stratosferik ozon tabakasının incelmesi → (Bölgesel)
 - İklim değişikliği → (Küresel)
- Materyaller üzerindeki etkiler
- Görüş seviyesinin azalması

Hava Kirleticileri ve Etkileri

Etkiler	Kirleticiler	NH ₃	SO ₂	NO _x	NMVOC	CO	PM _{2.5}	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	Ağır metaller	Benzen
Yer seviyesi Ozonu				++	++	++						
Asidifikasyon		++	++	++								
Ötrofikasyon		++		++								
Kentsel hava kalitesi						+	++				+	++
Toprak kirliliği											++	
Görüş seviyesinde azalma							++					
Aerosol oluşumu		++	++	++	++		++					
Sera etkisinin kuvvetlenmesi								++	+	+		

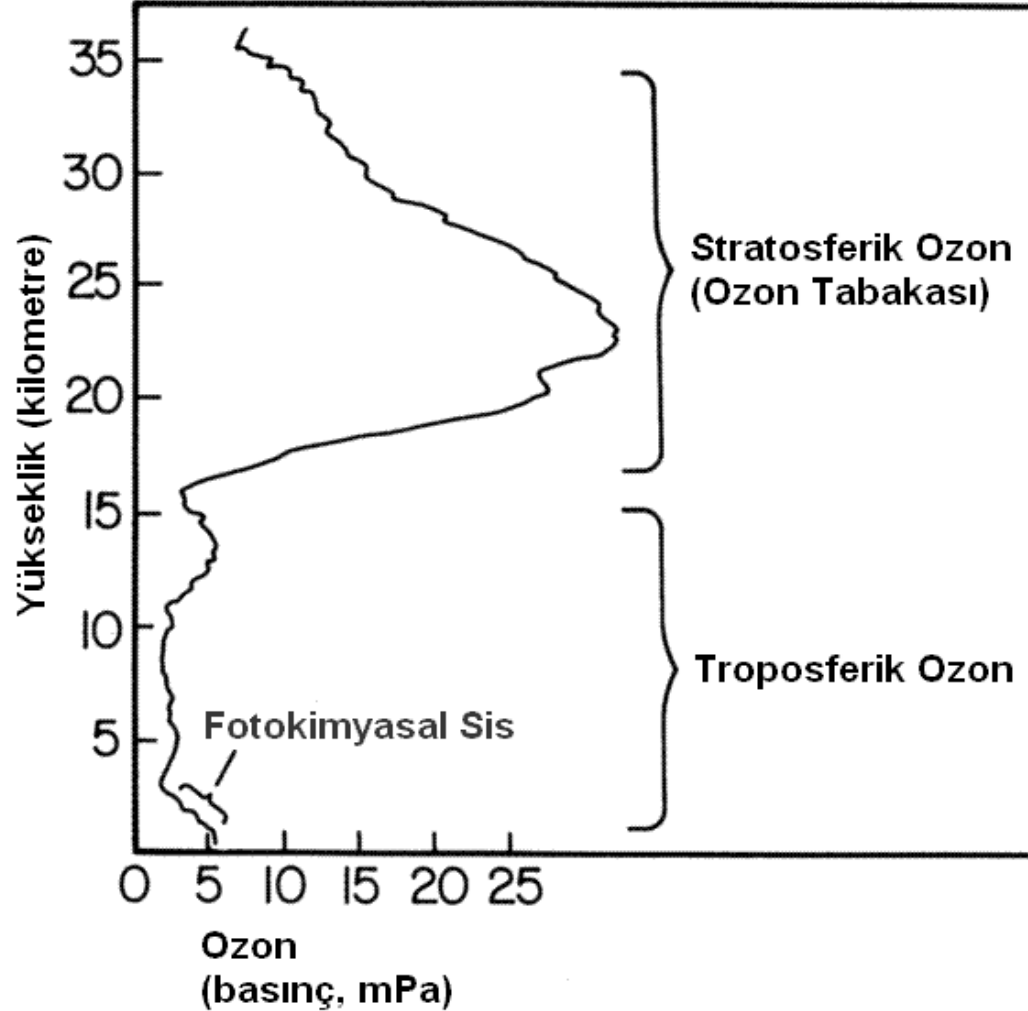
+ : orta seviyede etki

++ : kuvvetli etki

Troposferik Ozon

- Troposferdeki O_3 konsantrasyonu: 20-100 ppb
- Ozon öncüleri: azot oksitler ($NO_x = NO + NO_2$) ve uçucu organik bileşiklerin (VOC) reaksiyonları sonucunda **ikincil kirletici** O_3 oluşmaktadır.
- $NO + HC + O_2 + \text{güneş ışığı} \rightarrow NO_2 + O_3$
- Veya, $NO_x + VOC + \text{güneş ışığı} \rightarrow \text{Fotokimyasal sis}$
(O_3)
- Troposferik ozonun canlılara ve çevreye olumsuz etkileri mevcut (kuvvetli sera gazı, fotokimyasal sis oluşumu)
- "Kötü ozon"

Ozonun Atmosferde Bulunuđu



Troposfer (0~11-12 km)

- Hava kirliliği olayları bu katmanda gerçekleşir.

Stratosfer (12~50km)

- Ozon tabakası bu katmanda yer alır. "İyi ozon"

Stratosferik Ozon İncelmesi

- Bazı bileşikler, stratosferde yoğun UV ışınına maruz kaldıklarında klor veya brom açığa çıkarır. Klor ve brom atomları stratosferde ozonla temas ettiğinde, ozon moleküllerini yok ederler.
- Tek bir klor atomu, stratosferden uzaklaştırılmadan önce 100.000'den fazla ozon molekülünü yok edebilir.

Ozon inceltici maddeler (ozone depleting substances - ODS):

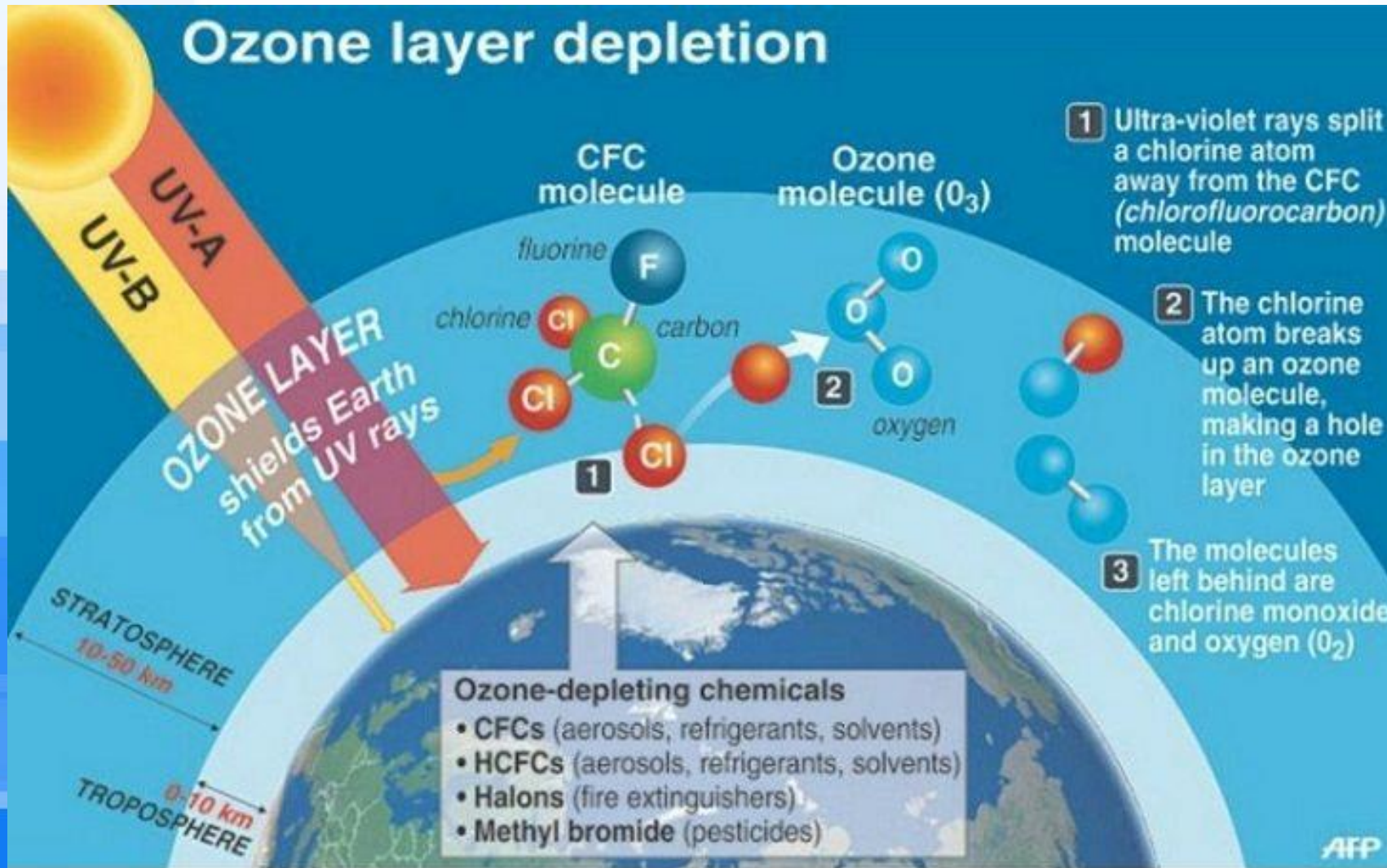
Klor çıkaranlar:

- kloroflorokarbonlar (CFC'ler)
- hidrokloroflorokarbonlar (HCFC'ler)
- karbon tetraklorür
- metil kloroform

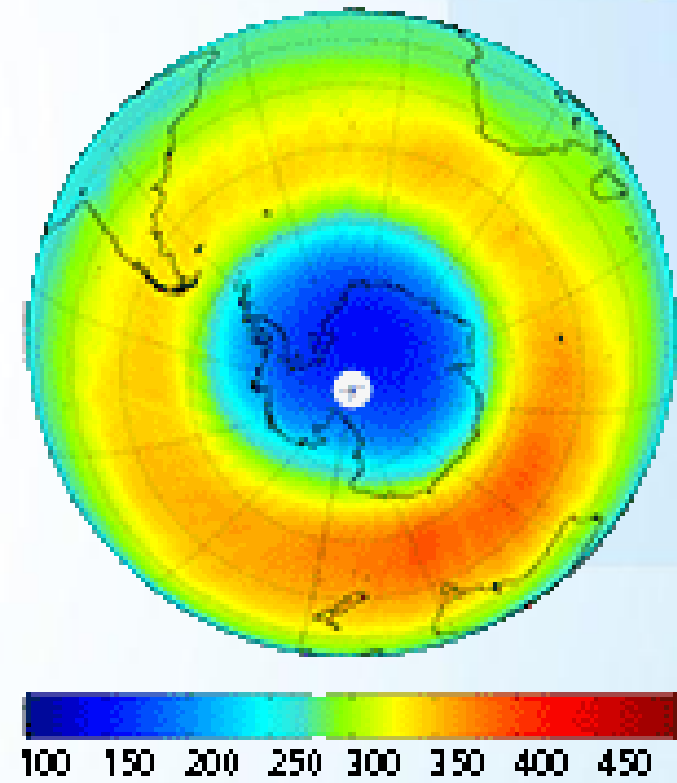
Brom çıkaranlar:

- Halonlar ve metil bromür

Stratosferik Ozon İncelmesi



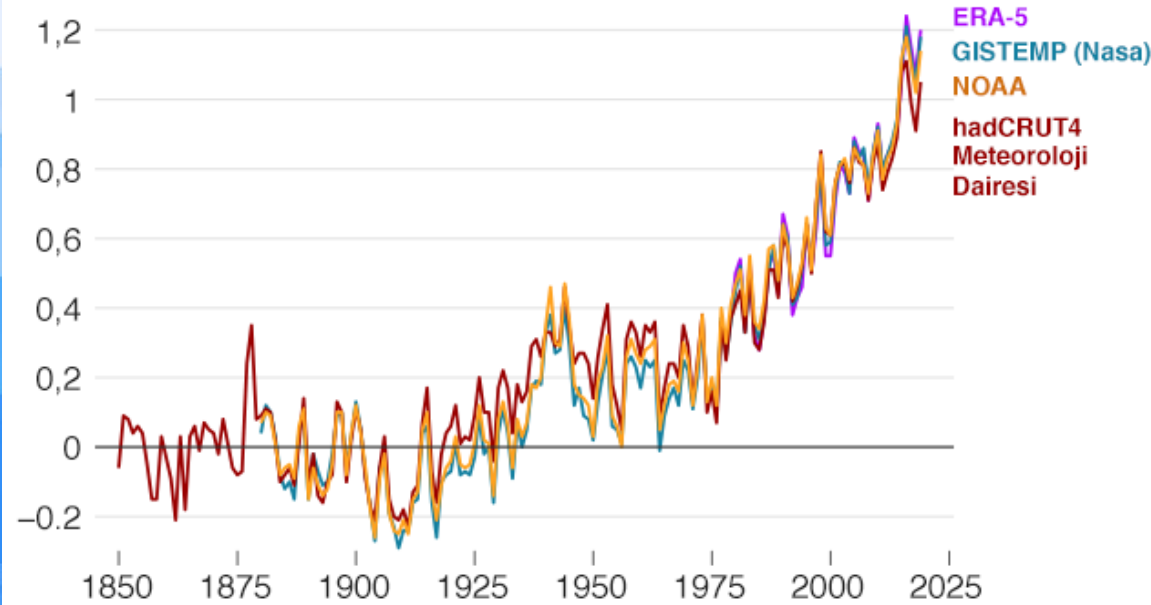
**Total Ozone Columns (DU)
1996**



İklim Değişikliği

1850'den bu yana sıcaklık artışı

Sanayi öncesi dönemden sonra ortalama sıcaklıktaki değişim, °C

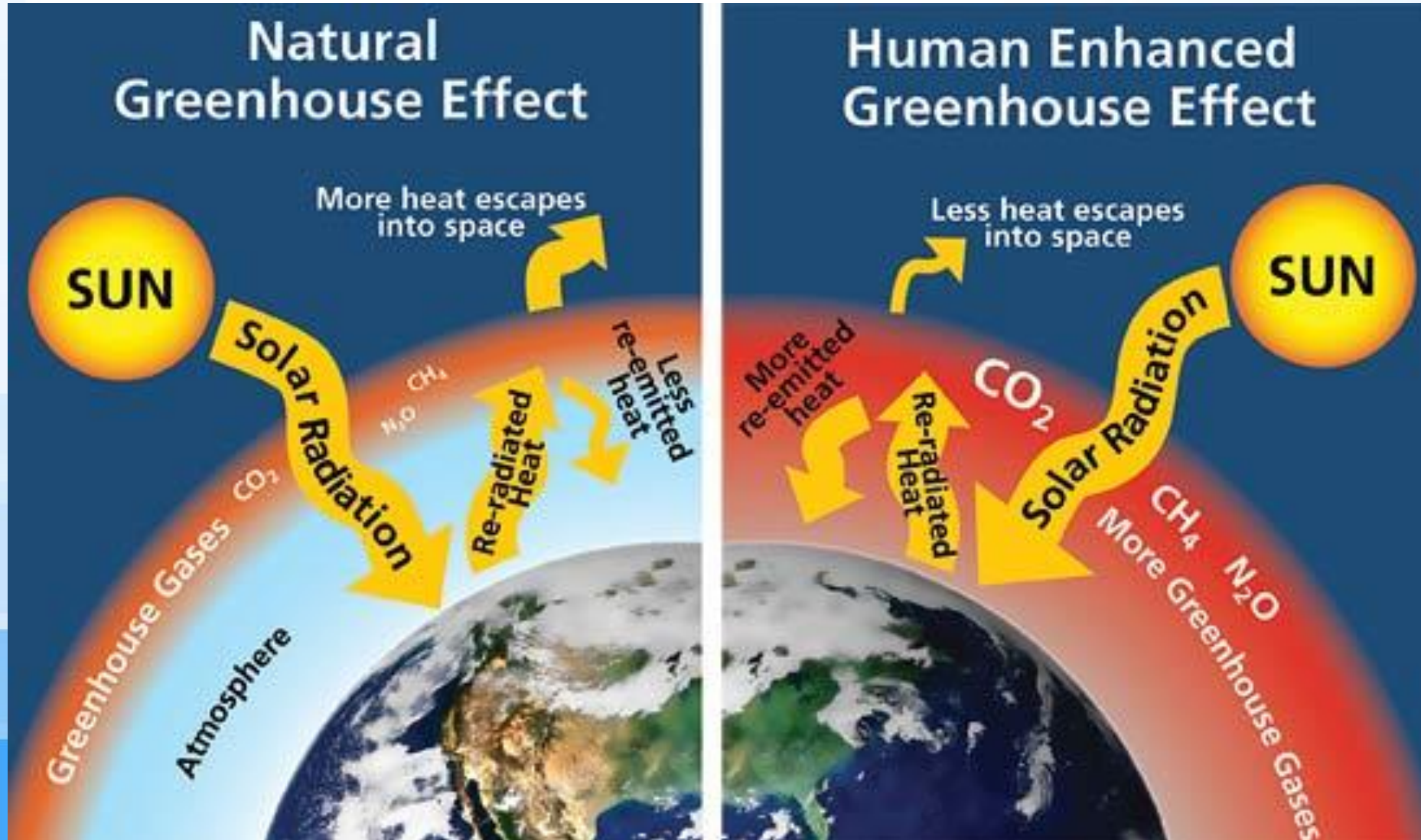


Kaynak: Meteoroloji Dairesi

BBC

- Son yıllarda yaşadığımız ısınma ancak insan kaynaklı iklim değişikliği ile açıklanabilir.
- İnsan etkisi: Fosil yakıtların tüketilmesi sonucunda artan sera gazı emisyonları ve sera etkisinin kuvvetlenmesi.
- Artan küresel sıcaklıklar → uzun vadede iklim faktörlerini değiştirir.

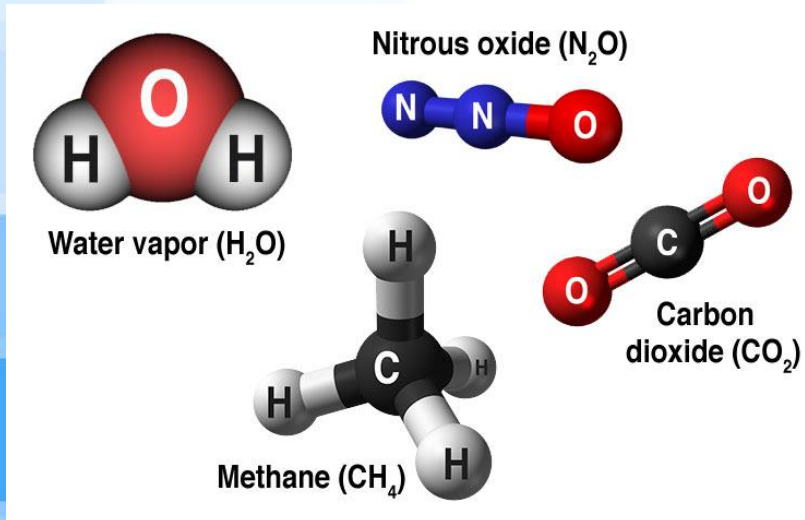
Doğal – Kuvvetlenmiş Sera Etkisi



Sera Gazları

➤ Doğal sera gazları

- Karbondioksit (CO_2)
- Metan (CH_4)
- Diazot monoksit (N_2O)
- Su buharı (H_2O)
- Ozon (O_3)



➤ Sentetik sera gazları

- Kloroflorokarbonlar (CFCs)
- Hidroflorokarbonlar (HFCs)
- Perflorokarbonlar (PFCs)
- Kükürt heksaflorür (SF_6)

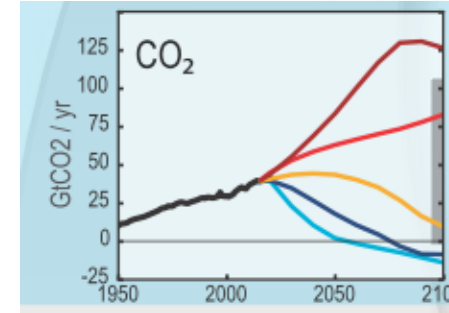
➤ Dolaylı sera gazları

- Karbon monoksit (CO)
- Azot oksitler (NO_x)
- Metan dışı uçucu organik bileşikler (NMVOC)

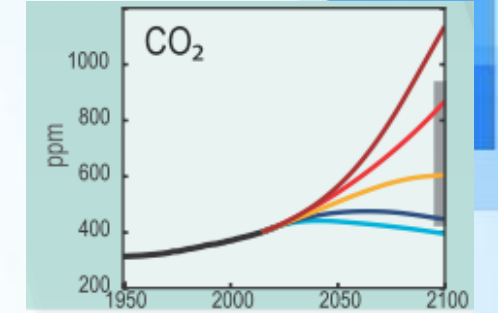
İnsan Kaynaklı İklim Değişikliği



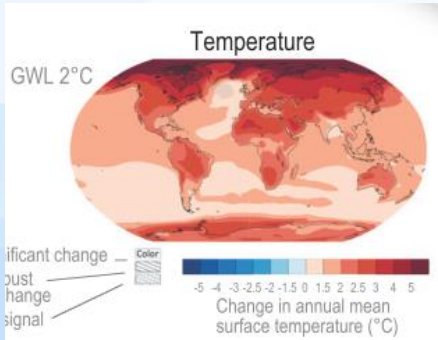
İnsan Aktiviteleri



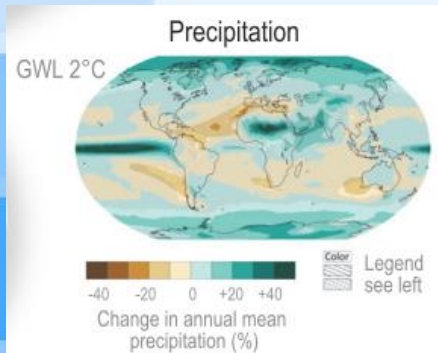
Sera Gazı Emisyonları



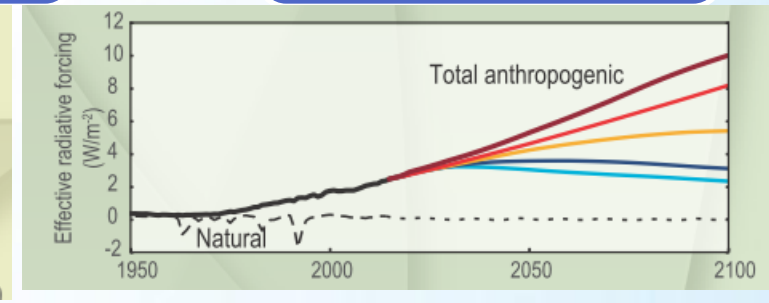
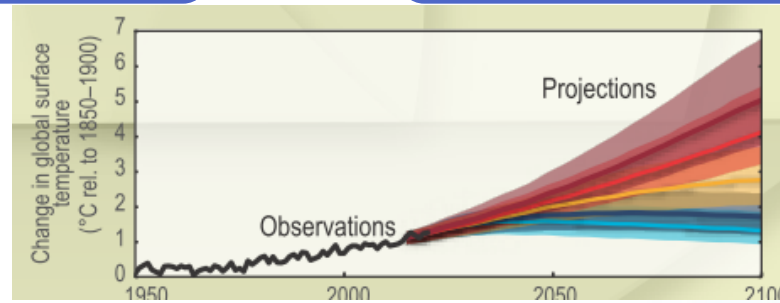
Sera Gazı Konsantrasyon Değişimi



Bölgesel İklim Değişiklikleri



Küresel Isınma



Radyasyon Akısı Değişimi

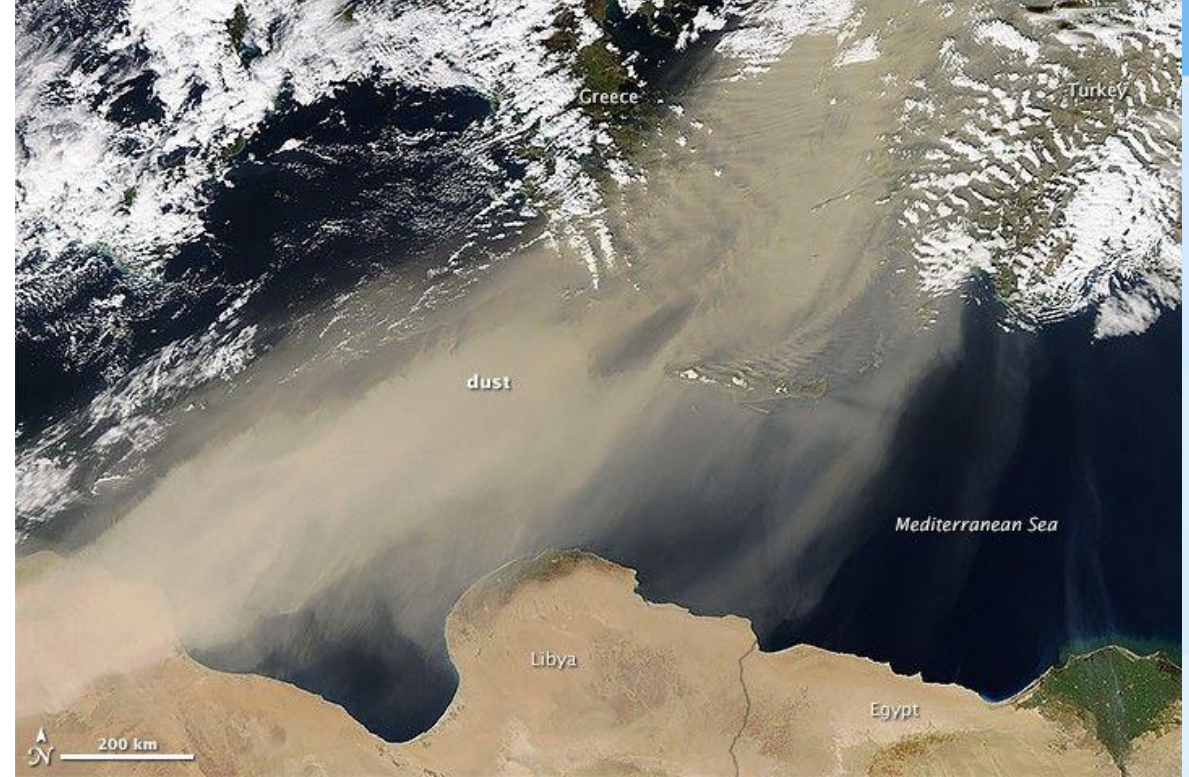
İklim Değişikliğinin Etkileri

- Artan sıcaklık
- Buzulların erimesi
- Deniz seviyesi yükselmesi
- Aşırı hava olayları
- Biyoçeşitlilik kayıpları
- Su stresi
- Orman yangınları
- Arazi kullanımındaki değişiklikler
- Seller
- Kuraklık ve Çölleşme
- Okyanusların asitlenmesi
- Sektörel etkiler (enerji, sağlık, gıda, turizm, ...)



Toz Taşınımı

- Çöl ve kurak alanlardaki ince mineral parçacıklarının rüzgar ve fırtınalarla atmosferde binlerce kilometre taşınması olayıdır.
- Atmosferdeki PM_{10} ve $PM_{2.5}$ değerlerini yükselterek hava kalitesini düşürür.
- Sağlık etkileri
- Ekolojik faydalar



<https://science.nasa.gov/earth/earth-observatory/saharan-dust-over-the-mediterranean-sea-85218/>

Orman Yangınları



Landsat-8 OLI gerçek renk görüntü (31 Temmuz 2021)

<https://earthobservatory.nasa.gov/images/148650/fires-rage-in-turkey>

Görüş Seviyesinin Azalması

Atmosferdeki partiküller ışığı saçarak ve atmosferik görüş mesafesini azaltır. Uydu sensörleri de atmosferdeki aerosol miktarındaki değişimleri gözlemleyebilir.



($PM_{10} = 190 \mu g/m^3$)
17 Mart 2014 - 17:44



($PM_{10} = 69 \mu g/m^3$)
18 Mart 2014 - 08:40

Hava Kirliliğinde Uzaktan Algılama

- Şehirlerin hava kalitesinin belirlenmesi
- Endüstriyel emisyonların izlenmesi
- Yangın kaynaklı emisyonların izlenmesi
- Toz taşınımının belirlenmesi
- Volkanik emisyonların izlenmesi

Ölçülen Başlıca Kirleticiler

- Gazlar: Azot dioksit (NO_2), Kükürt dioksit (SO_2), Karbon monoksit (CO), Metan (CH_4) ve Troposferik Ozon (O_3).
- Partikül Maddeler (PM): $\text{PM}_{2.5}$ ve PM_{10} (genellikle AOD verileri ile tahmin edilir).

Hava Kirliliğinde Uzaktan Algılama: Ne Ölçebiliriz?

Gözlenen	Uydu ile gözlem	Örnek
Gaz kirleticiler	Doğrudan/kolon ölçümü	NO ₂ , SO ₂ , CO, O ₃ , CH ₄
Aerosoller	Doğrudan/optik özellikler	AOD
PM _{2.5}	Dolaylı tahmin	AOD + meteoroloji + modeller
Toz	Atmosferik dağılım	AOD / multispektral görüntüler
Yangın	Doğrudan gözlem	Termal anomaliler
Duman	Atmosferik dağılım	Optik görüntüler