



ÇEV 715
Hava Kirliliği Modellemesi ve Uygulamaları
Atmosferin Yapısı ve Hava Kirliliği
Meteorolojisi

Özgür ZEYDAN (PhD.)
<http://www.ozgurzeydan.com/>

Atmosferin Yapısı

- Hava kirliliğinin oluşumu, etkileri ve kontrol yöntemlerini belirleyebilmek:
 - Atmosferi oluşturan gazlar
 - Atmosferin katmanları
 - Bu katmanlardaki fiziksel ve kimyasal reaksiyonlar
- bilinmelidir.

Temiz kuru havanın bileşimi

Not: 1 ppm hacim = 0.0001% hacim

Molekül	Sembol	ppm (hacim)	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
Azot	N_2	780000	8.95×10^8
Oksijen	O_2	209400	2.74×10^8
Argon	Ar	9300	1.52×10^7
Karbon Dioksit	CO_2	315	5.67×10^5
Neon	Ne	18	1.49×10^4
Helyum	He	5.2	8.50×10^2
Metan	CH_4	1.0 – 1.2	$6.56 - 7.87 \times 10^2$
Kripton	Kr	1.0	3.43×10^3
Nitröz Oksit	N_2O	0.5	9.00×10^2
Hidrojen	H_2	0.5	4.13×10^1
Ksenon	Xe	0.08	4.29×10^2

Kreider J F, Cohen R R H, Cook N E, Curtiss P S, Illangasekare T, Kreith F, Rabl A and Zannetti P (1999) Environmental Engineering, *Mechanical Engineering Handbook*, Ed. F. Kreith, CRC Press LLC, U.S.A.

Karışım Oranı (C_x)

$$\begin{aligned}
 1 \text{ ppm (vol) pollutant} &= \frac{1 \text{ liter pollutant}}{10^6 \text{ liter air}} \\
 &= \frac{(1 \text{ liter}/22.4) \times \text{MW} \times 10^6 \mu\text{g/gm}}{10^6 \text{ liters} \times 298^\circ\text{K}/273^\circ\text{K} \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{liter}} \\
 &= 40.9 \times \text{MW} \mu\text{g}/\text{m}^3
 \end{aligned}$$

(25 °C ve 760 mm Hg basınç altında)

ppm: milyonda bir (parts per million)
 ppb: milyarda bir (parts per billion)
 ppt: trilyonda bir (parts per trillion)

Problem

- <https://www.co2.earth/> web sitesi Ağustos 2019 tarihi için küresel CO₂ konsantrasyonunu **409.95 ppm** olarak belirtmiştir.
- Buna göre atmosferdeki CO₂ konsantrasyonunu $\mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak hesaplayınız.
- $MW_{\text{CO}_2} = 44 \text{ gr/mol}$
- $1 \text{ ppmv} = 40.9 \times MW \mu\text{g}/\text{m}^3 = 40.9 \times 44 = 1799.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- $408.05 \text{ ppmv} \rightarrow 1799.6 \times 409.95 = 7.38 \times 10^5 \mu\text{g}/\text{m}^3$

Kuru Havanın Molekül Ağırlığı

- $M_a = \sum_i C_i M_i$
- $M_a = C_{N_2} M_{N_2} + C_{O_2} M_{O_2} + C_{Ar} M_{Ar} + \dots$
- $M_a = (0.78) \cdot (28 \times 10^{-3}) + (0.21) \cdot (32 \times 10^{-3}) + (0.01) \cdot (40 \times 10^{-3})$
- $M_a = 28.96 \times 10^{-3} \text{ kg/mol}$

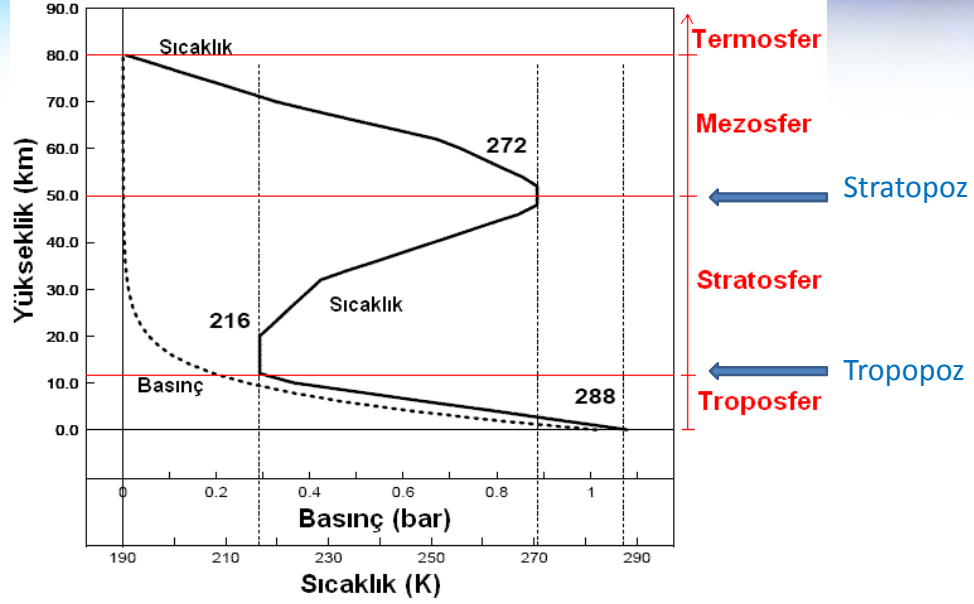
Bağıl Nem (Relative Humidity) (RH)

- $RH(\%) = 100 \cdot \frac{P_{H_2O}}{P_{H_2O,sat}(T)}$
- $RH \geq 100\% \rightarrow$ Bulut oluşumu
- $P_{H_2O} = P_{H_2O,sat} \rightarrow$ Çiğlenme noktası

Nemli Havanın Molekül Ağırlığı

- $M_{a,nemli} = (1 - C_{H_2O})M_{a,kuru} + C_{H_2O}M_{H_2O}$
- Örneğin, su buharının karışım oranı 0.03 ise nemli havanın molekül ağırlığı nedir?
- $M_{a,nemli} = (1 - 0.03) \times 28.96 \times 10^{-3} kg/mol + 0.03 \times 18 \times 10^{-3} kg/mol$
- $M_{a,nemli} = 28.63 \times 10^{-3} kg/mol$
- Nemli hava kuru havadan daha hafiftir.

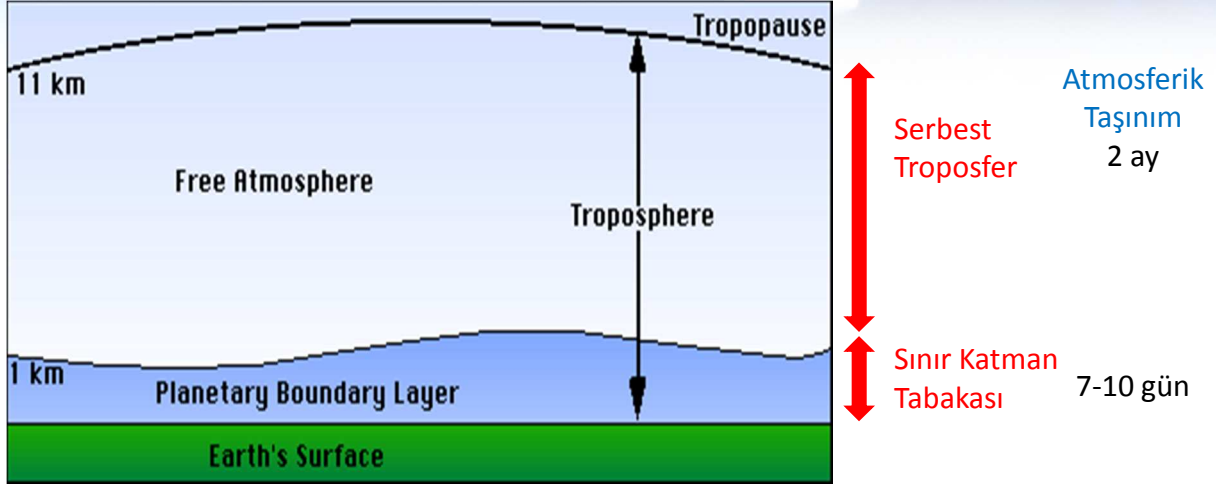
Atmosfer Katmanları



Troposfer

- Yer yüzeyinden başlayan ilk 11-12 km'lik atmosfer katmanı.
- Meteorolojik olaylar bu bölgede gerçekleşir.
- Yükselge çıkıldıkça sıcaklık yaklaşık 15 °C'den (288 K) -57°C'ye (216 K) düşer.
- Basınç 1013 mb'dan 20-140 mb'a kadar düşer.

Serbest Troposfer – Sınır Katman Tabakası

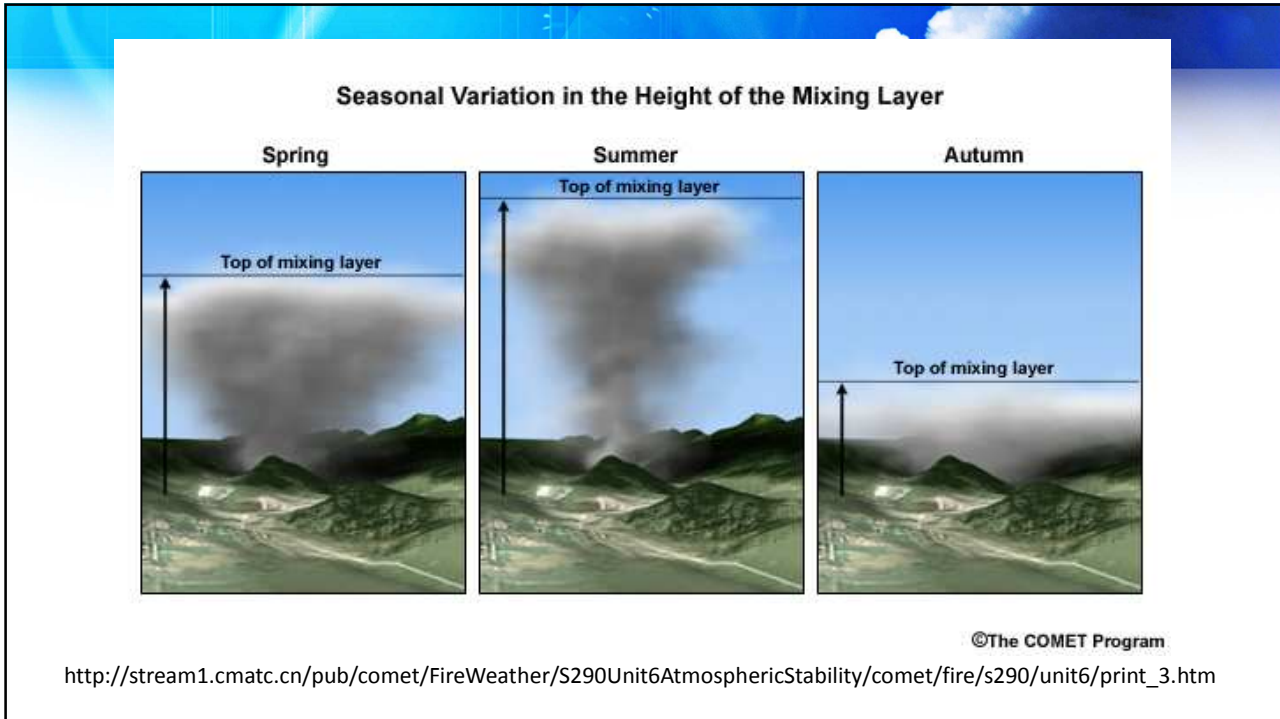


PBL yüksekliği (HPBL) genellikle 1-2 km arasında değişir (zamana ve konuma bağlı).

<https://www.shodor.org/os411/courses/411c/module06/unit01/page01.html>

Sınır Katman Tabaka Yüksekliği (HPBL)

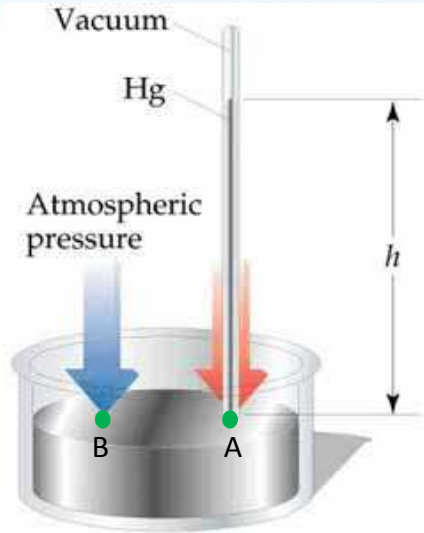
- **Karışım Yüksekliği** olarak da bilinir.
- Hava kirleticilerinin hava içerisinde tam karışım olmaları yüksekliktir.
- Karışım yüksekliğinin belirlenmesi hava kirliliği problemlerinde oldukça önemlidir.



Stratosfer

- 11-50. km'ler arasında troposferin üzerinde yer alır.
- 20-30. km'ler arasında Ozon tabakası bulunur.
- Bu tabaka güneşten gelen UV-B ışınlarını tutar.

Atmosferik Basınç



$$\text{➤ } P_A = \rho_{Hg} \cdot g \cdot h$$

➤ ρ_{Hg} : cıvanın özgül ağırlığı (13.6 gr/cm³)

➤ g : yerçekimi ivmesi (9.8 m/s²)

➤ h : yükseklik (deniz seviyesinde 76 cm)

$$Pa = 1.013 \times 10^5 \text{ Pa} = 1013 \text{ hPa} = 1013 \text{ mb} \\ = 1 \text{ atm} = 760 \text{ mm Hg} = 760 \text{ torr}$$

Atmosferin Kütlesi

➤ Dünya yer yüzeyindeki ortalama basınç 984 hPa ise toplam atmosfer kütlesini (m_{atm}) hesaplayınız.

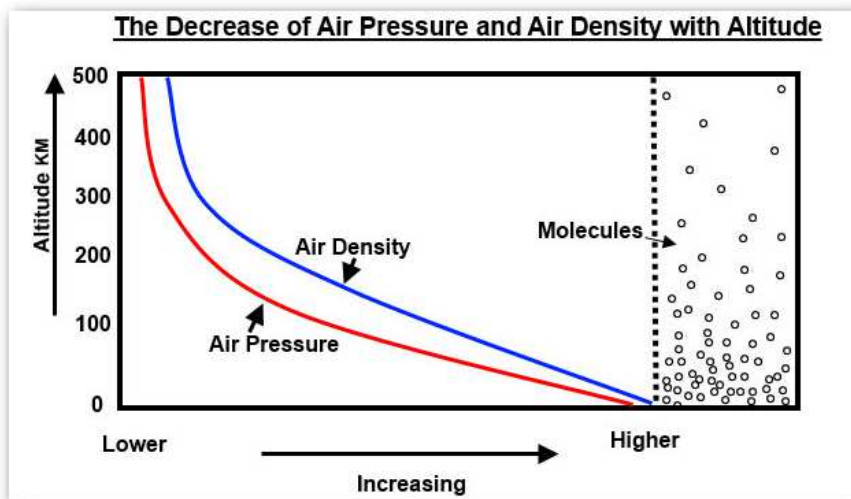
$$\text{➤ } P = \rho \cdot g \cdot h = \frac{m_{atm}}{V} \cdot g \cdot h = \frac{m_{atm}}{A \cdot h} \cdot g \cdot h = \frac{m_{atm} \cdot g}{4 \cdot \pi \cdot R^2}$$

$$\text{➤ } m_{atm} = \frac{4 \cdot \pi \cdot R^2 \cdot P}{g} = \frac{4 \cdot \pi \cdot (6400 \text{ km})^2 \cdot 984 \text{ hPa}}{9.81 \text{ m/s}^2} = 5.2 \times 10^{18} \text{ kg}$$

Problem

- Toplam atmosferdeki kütlenin ne kadarı troposferdedir?
- $\frac{P_{tropopoz}}{P_{yüzey}} = \frac{100 hPa}{1000 hPa}$
- $F_{troposfer}$: troposfer fonksiyonu
- $F_{troposfer} = 1 - \frac{P_{tropopoz}}{P_{yüzey}} = 0.90$
- Toplam atmosferdeki kütlenin ne kadarı stratosferdedir?
- $P_{stratopoz} = 0.9 hPa$
- $F_{stratosfer} = \frac{P_{tropopoz} - P_{stratopoz}}{P_{yüzey}} = 0.099$

Atmosferin Kütle Dağılımı



- Troposfer = % 90
- Stratosfer = % 9.9
- Mezosfer = % 0.1

Atmosferik Taşınım

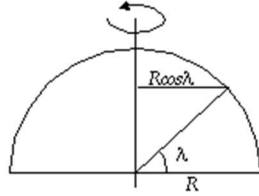
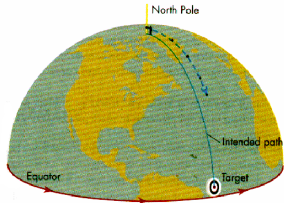
- Atmosfer içinde ısının ya da diğer özelliklerin dikey hareketine **Konveksiyon** (convection) denilir.
- Atmosfer içinde ısının ya da diğer özelliklerin yatay hareketine **Adveksiyon** (advection) denilir.

Atmosferik Taşınım

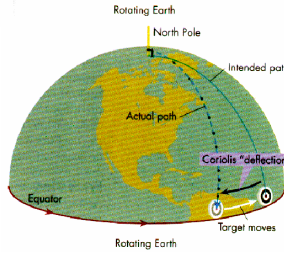
Atmosferik taşınımında etkin olan kuvvetler:

- Yerçekimi
- Basınç gradyanı
- Coriolis kuvveti
- **Yataydaki taşınım** basınç gradyanı ile coriolis kuvveti arasındaki dengeye bağlıdır.
- **Dikeydeki taşınım** yerçekimi ile basınç gradyanı arasındaki dengeye bağlıdır.

Coriolis Kuvveti



- Kuzey yarım kürede bütün sapmalar sağ tarafa doğru olur.
- Güney yarım kürede bütün sapmalar sol tarafa doğru olur.
- Ekvatorda coriolis kuvveti sıfırdır.

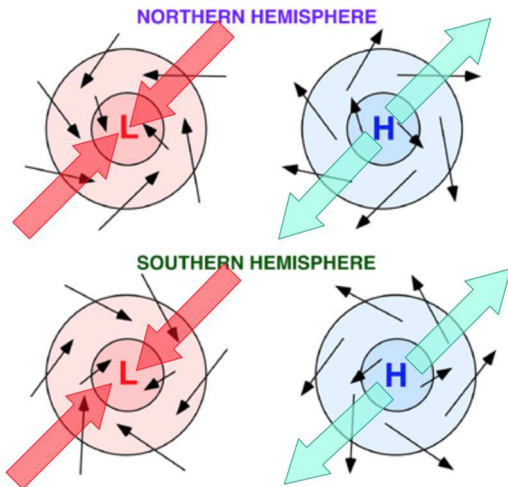


Coriolis Etkisi Video

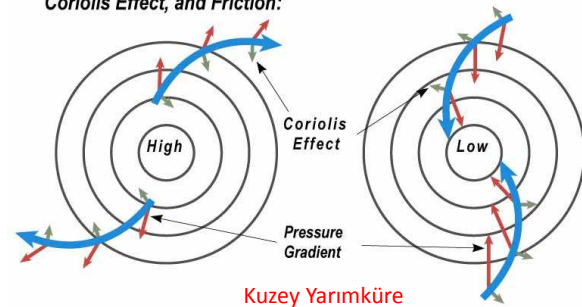
https://www.youtube.com/watch?v=mcPs_OdQOYU

Alçak ve Yüksek Basınç

Air motion in cyclones & anticyclones

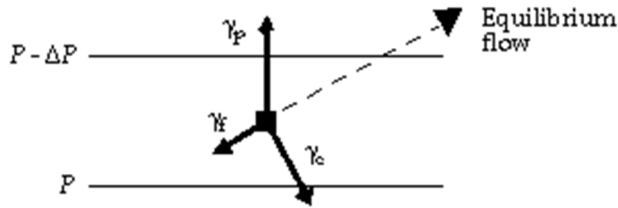


Anticyclones Cyclones
Lower Atmosphere---Pressure Gradient Force,
Coriolis Effect, and Friction:



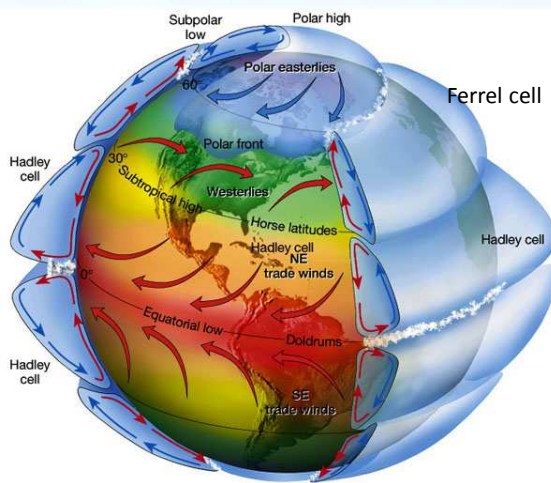
Kuzey Yarım Küre

Hava Parseline Yatayda Etki Eden Kuvvetler



- $\gamma_c = 2 \cdot w \cdot V \cdot \sin \lambda$
- γ_c : coriolis ivmesi
- w: dünyanın açısal hızı
- V: nesnenin dünyadaki hızı
- λ : Enlem
- $\gamma_p = -\frac{1}{\rho} \cdot \nabla \cdot P$
- γ_p : basınç ivmesi
- $\nabla = \left(\frac{\partial}{\partial x}, \frac{\partial}{\partial y}, \frac{\partial}{\partial z} \right)$
- ∇ : gradyan vektörü
- γ_f : sürtünme ivmesi

Rüzgar Hareketleri



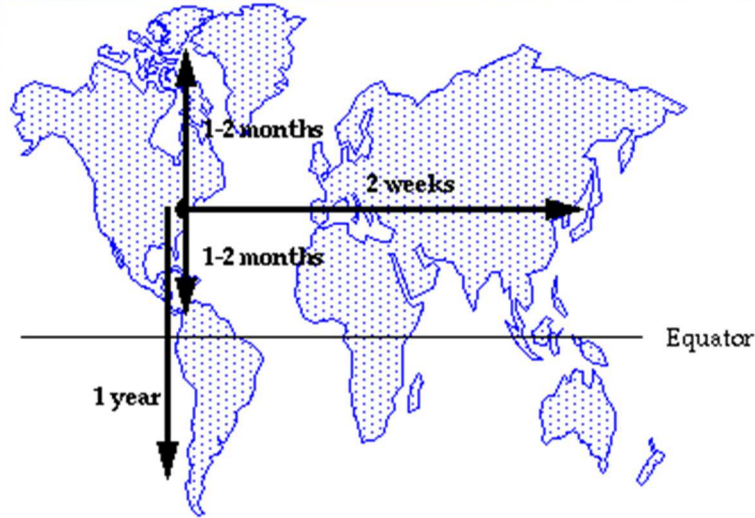
- Ekvator bölgesi: Intertropical Convergence Zone (ITCZ)
- 20° – 30° enlemler: doğu rüzgarları
- 30°: yüksek basınç bölgesi
- 30°'den yukarı enlemler: batı rüzgarları

Rüzgar hareketleri video

<https://www.youtube.com/watch?v=Ye45DGkqUkE>

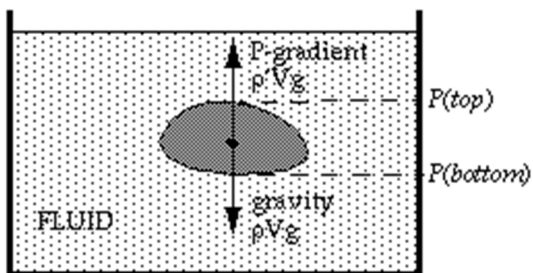
http://www.surflife.com/surf-science/surfology-101-with-chris-borg---forecaster-blog_77428/

Atmosferde Yatay Taşınım



<http://acmg.seas.harvard.edu/people/faculty/djj/book/bookchap4.html>

Havanın Kaldırma Kuvveti (Bouyancy)



$$\text{➤ } F_{\text{net}} = (\rho' - \rho) \cdot Vg$$

$$\text{➤ } \gamma_b = \frac{\rho' - \rho}{\rho} \cdot g$$

➤ γ_b : bouyancy ivmelenmesi

➤ ρ' : cismin özkütlesi

➤ ρ : akışkanın özkütlesi

➤ g : yerçekimi ivmesi

➤ İdeal gaz kanunundan $\rho \sim 1/T$

$$\text{➤ } \gamma_b = \frac{1/T' - 1/T}{1/T} \cdot g = \frac{T - T'}{T} \cdot g$$

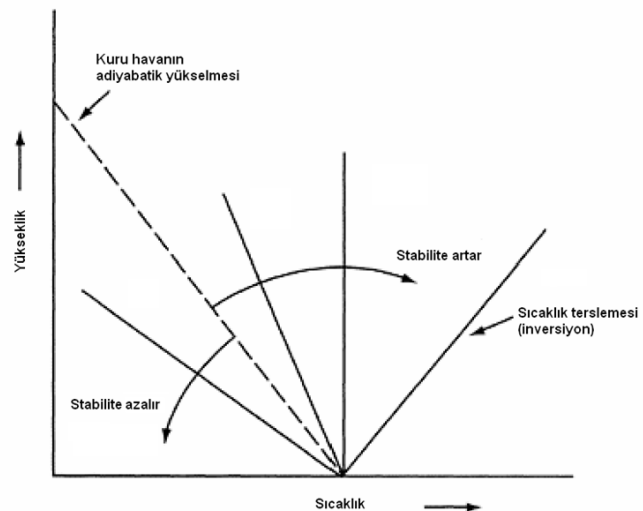
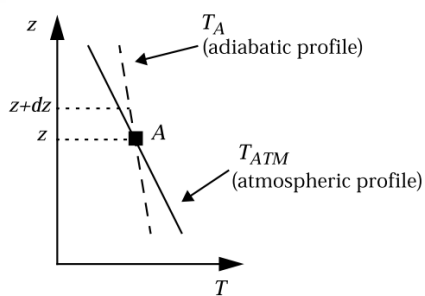
Atmosferik Stabilite

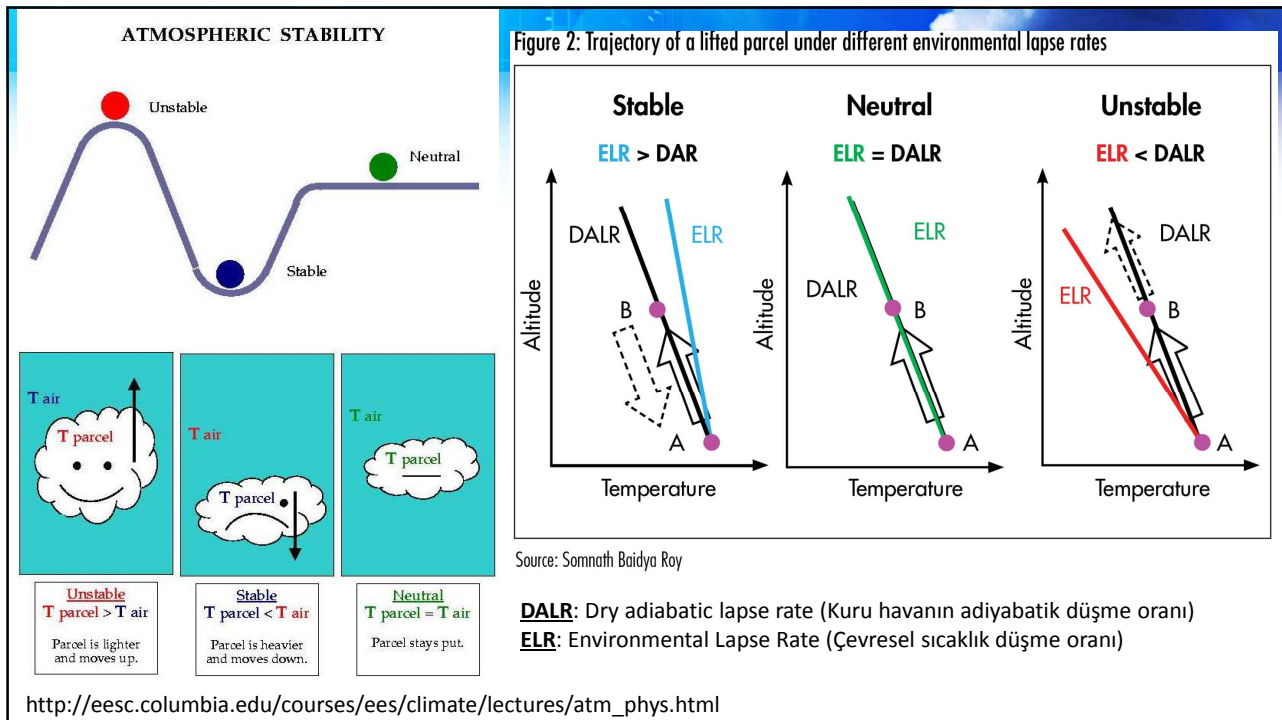
- Kuru havanın adiyabatik yükselmesi (Dry adiyabatik lapse rate)

$$\Gamma = -dT / dz = \frac{g}{C_p} = 9.8 \text{ K km}^{-1}$$

- Adiyabatik: ısı alışverişi yok (dQ=0)
- -dT/dz : lapse rate
- Cp:1.0 x 10³ J kg⁻¹ K⁻¹ (havanın ısı kapasitesi)
- Sıcaklık her 100 metrede yaklaşık 1°C azalır.

Atmosferik Stabilite

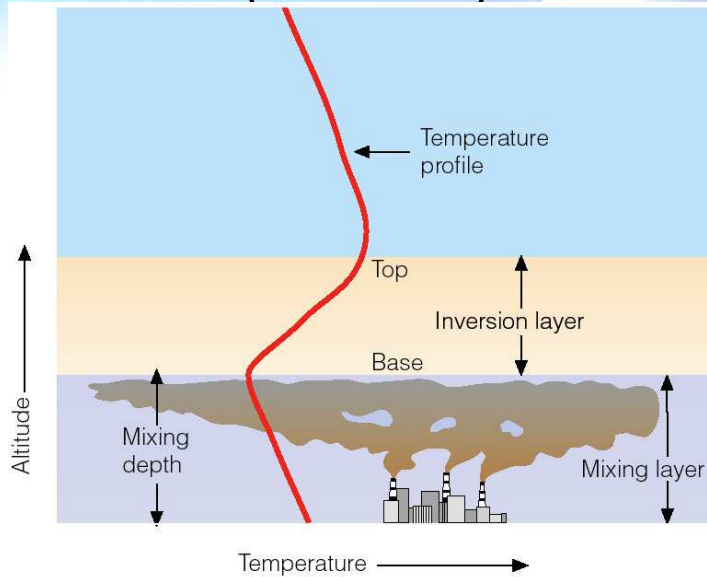




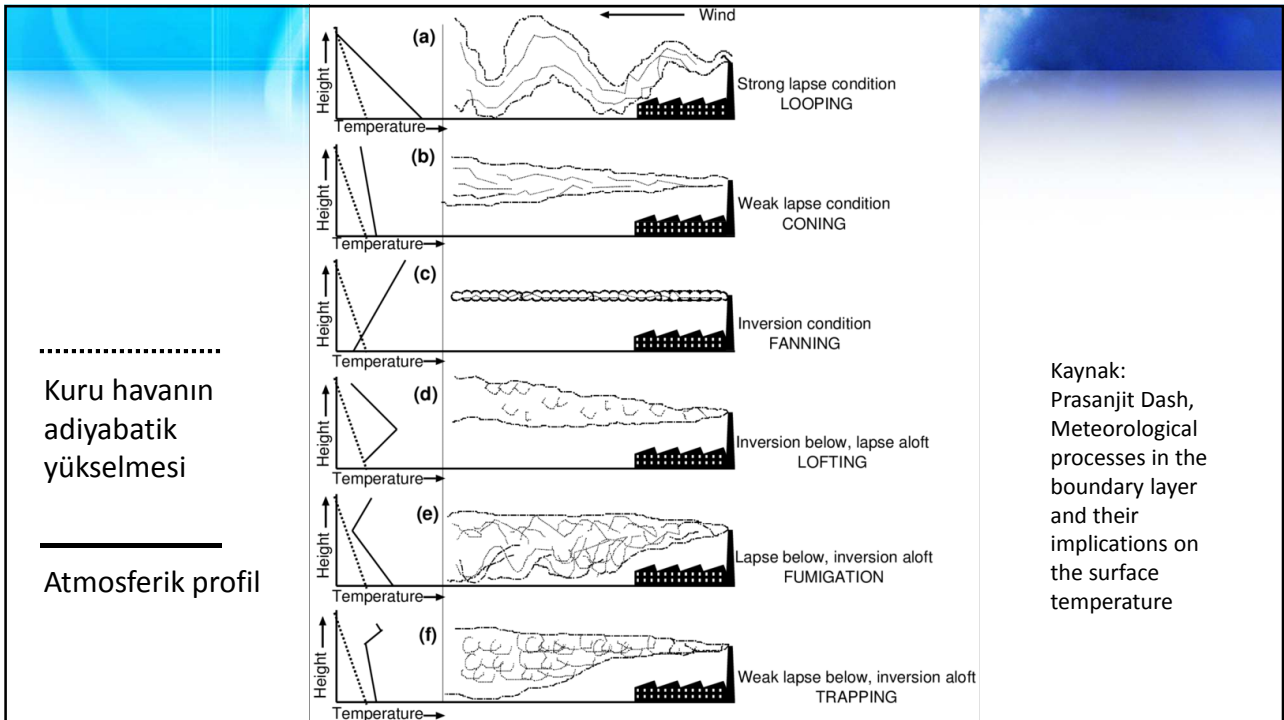
Bazı Tanımlar

- Yatayda hava hareketlerinin kesilmesi: rüzgarsız hava (**calm**)
- Dikeyde artan hava sıcaklığı nedeniyle hava hareketinin engellenmesi: inversiyon veya sıcaklık terslemesi (**inversion**)
- Yatay ve dikeyde hava hareketinin 24 saatten fazla gerçekleşmesi: durağanlık (**stagnation**)
- Durağanlık ile birlikte kirletici konsantrasyonlarının artması: epizod (**episode**)

Sıcaklık Terslemesi (Inversion)



© 2005 Thomson - Brooks/Cole

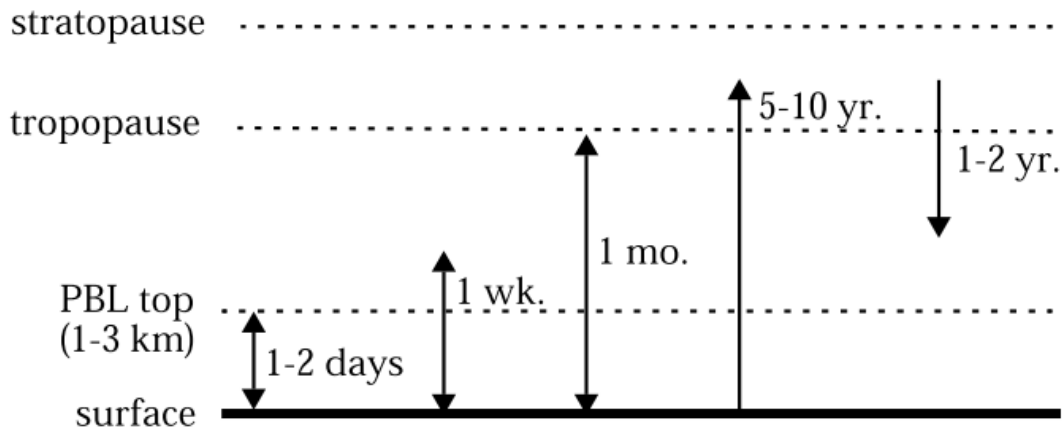


.....
Kuru havanın adiyabatik yükselmesi

—————
Atmosferik profil

Kaynak:
Prasanjit Dash,
Meteorological
processes in the
boundary layer
and their
implications on
the surface
temperature

Atmosferde Dikey Taşınım



<http://acmg.seas.harvard.edu/people/faculty/djj/book/bookchap4.html>

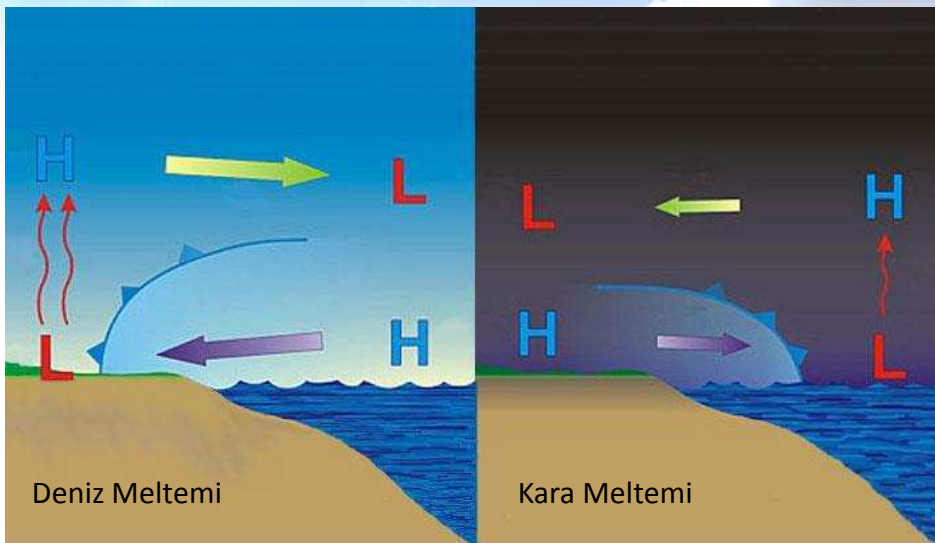
Rüzgar Hızı

- Rüzgar hızının yüksekliğe bağlı değişimi
- $u_z = u_0 \left(\frac{z}{z_0} \right)^p$
- u_z : z yüksekliğindeki rüzgar hızı (m/s)
- u_0 : anomometre yüksekliğindeki rüzgar hızı (m/s)
- z : yükseklik (m)
- z_0 : anomometre yüksekliği (m) (genellikle 10 m.)
- p : katsayı (atmosferik kararlılık sınıfına göre değişir)

Atmosferik Kararlılık Sınıfına Göre p Değerleri

Pasquill Kararlılık Sınıfı	Engembeli arazi için p	Düz arazi için p
A (en kararsız)	0.15	0.07
B	0.15	0.07
C	0.20	0.10
D	0.25	0.15
E	0.40	0.35
F (en kararlı)	0.60	0.55

Kara ve Deniz Meltemleri



<http://climate.ncsu.edu/edu/k12/.breezes>