



The Academy of Sciences  
Islamic Republic of Iran

# آلودگی هوا: چالش بزرگ زیست محیطی محلی، منطقه ای و جهانی

نشست آلودگی هوا، چالشها و راهکارها  
شورای همگانی گروه علوم مهندسی  
فرهنگستان علوم

محمد سلطانیه

۲۷ دی ۱۴۰۲

# تعریف آلودگی هوا

حضور مواد نا مطلوب در هوا به مقادیری که آثار نا مطلوب بر سلامت انسان، گیاهان و سایر موجودات زنده و اشیاء غیر زنده دارد. همچنین آثار منفی بر محیط زیست جهانی از جمله تخریب لایه ازن، باران اسیدی، گرمایش جهانی و تغییر اقلیم، آثار منفی روی دید و منظر عمومی از نظر زیبایی و روحی، بوی نا مطبوع و نیز اختلال در هوانوردی و دریانوردی توسط هوای غبار آلود، آلودگی هوا محسوب می شود.

# انواع آلاینده های هوا

- بشر ساز و طبیعی

• گازها، بخارها، ذرات ریزمایع و جامد (ایروسرها): PM10, PM2.5  
TSP

- آلاینده های اولیه که مستقیماً از منابع منتشر می شوند و آلاینده های ثانویه شامل:

(۱) ناشی از واکنشهای فوتوشیمیایی اکسیدهای گوگرد، اکسیدهای نیتروژن و هیدروکربنها در حضور نور خورشید که منجر به تولید ذرات ریز PM10 و PM2.5 میشود،

(۲) اکسیدانهای فوتوشیمیایی شامل ازن، پراکسی استیل نترات (PAN) و هیدروژن پراکسید ( $H_2O_2$ ) و غیره)

- آلاینده های واکنشگر و غیر واکنشگر

# دیدگاه‌های مختلف چالش آلودگی هوا (۱)

- چالش شناخت فیزیکی و شیمیایی آلاینده‌ها و اندازه‌گیری آنها از منابع انتشار و در محیط، زمان عمر آلاینده‌ها در هوا
- چالش شناخت منشا انتشار آلاینده‌ها شامل:
  - منابع ساکن و متحرک ناشی از فعالیتهای بشر،
  - منابع طبیعی مثل آتش فشانها، آتش سوزیها، ریز گرد ها، گیاهان، ...
- چالش آثار سوء آلودگی هوا بر سلامت انسانها و سایر موجودات زنده و غیر زنده
- چالش تدوین استاندارد ها (ضرایب انتشار و کیفیت هوای محیطی)، مقررات و قوانین و نیز مدیریت و نظارت بر اجرای آنها

# دیدگاه‌های مختلف چالش آلودگی هوا (۲)

- چالش‌های جهانی آلودگی هوا (تغییر اقلیم، لایه ازن، باران اسیدی، ...)

- چالش هواشناسی آلودگی هوا (اثر گردش زمین، ایجاد باد، سرعت و جهت باد و اختلاف فشارودما، تابش خورشید و تاثیر گازها، بخارها و سایر ذرات بر نرخ تابش،، گرادیان دما در جو و وارونگی دما، ارتفاع اختلاط، ...)

- چالش جنبه های اقتصادی - اجتماعی آلودگی هوا

# دیدگاه‌های مختلف چالش آلودگی هوا (۳)

- چالش تضاد بین توسعه توسعه صنعتی و حفظ محیط زیست (رشد جمعیت، نیاز به غذا، توسعه شهری، نیاز به حمل و نقل، نیاز به مسکن، ...)
- چالش آموزش و فرهنگ سازی : پیشگیری بهتر از درمان (کاهش انتشار)
- چالش عدم قطعیت در سهم منابع طبیعی انتشار و منابع انسان ساز انتشار
- ...

# واقعیت ها و داده های جهانی (۱)

World Bank\*:

- **Air pollution is the world's leading environmental cause of illness and premature death.**
- **Fine air pollution particles or aerosols, also known as fine particulate matter or PM<sub>2.5</sub>, are responsible for 6.4 million deaths every year, caused by diseases such as ischemic heart disease, stroke, lung cancer, chronic obstructive pulmonary disease, pneumonia, type 2 diabetes, and neonatal disorders.**
- *\* <https://www.worldbank.org/en/news/feature/2022/09/01/what-you-need-to-know-about-climate-change-and-air-pollution>*

## واقعیت ها و داده های جهانی (۲)

- **About 95% of these deaths occur in developing countries, where billions of people are exposed to outdoor and indoor concentrations of  $PM_{2.5}$  that are multiple times higher than guidelines established by the World Health Organization.**
- **A World Bank report estimated that the cost of the health damage caused by air pollution amounts to \$8.1 trillion a year, equivalent to 6.1% of global GDP.**



## واقعیت ها و داده های جهانی (۲)

### International Energy Agency (IEA)\*:

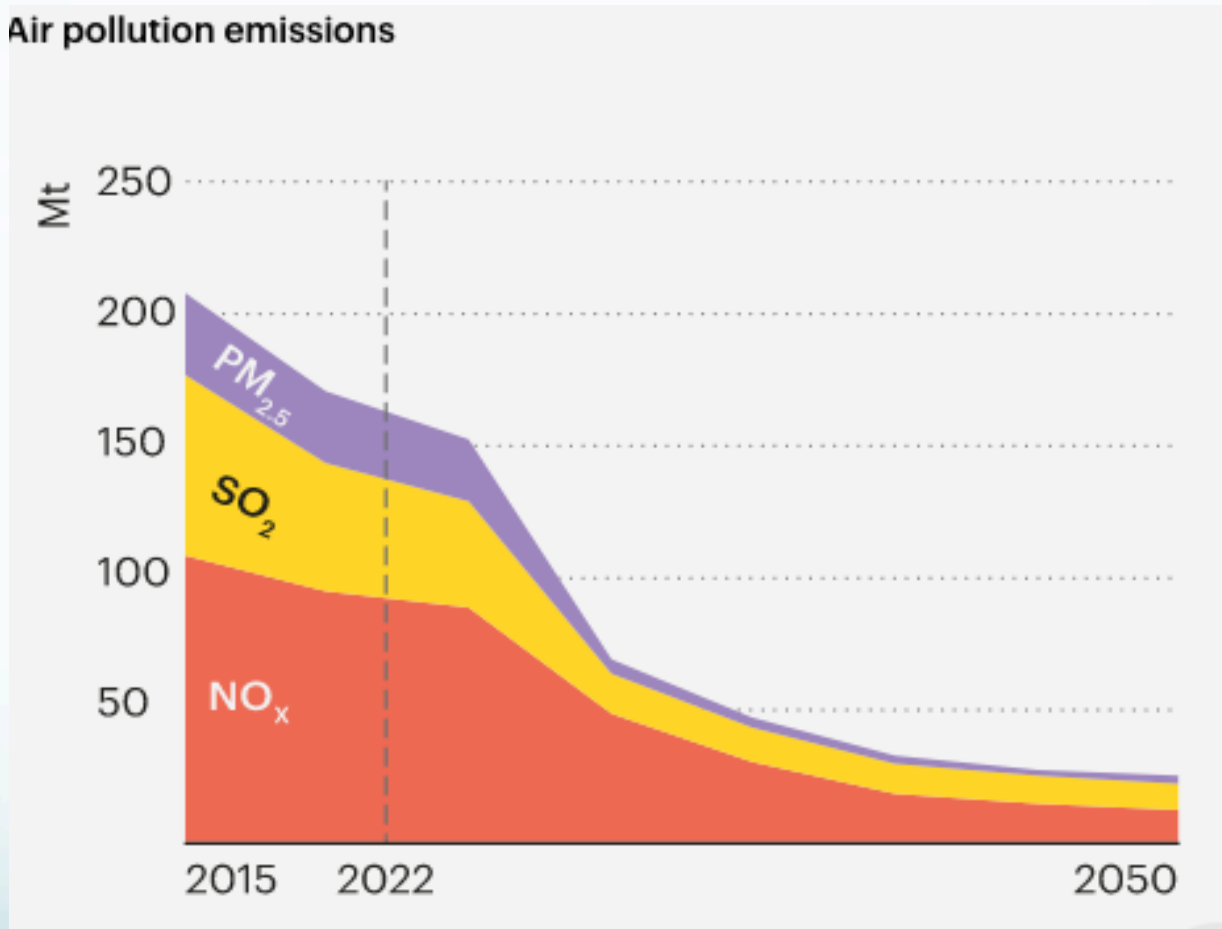
- Global carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) emissions from the **energy sector** reached a new record high of 37 billion tonnes (Gt) in 2022,
- Net Zero Emissions (NZE) by 2050 (Paris Agreement and COP Decisions) and NZE Roadmap

\* <https://www.iea.org/reports/energy-access-and-air-pollution>

## واقعیت ها و داده های جهانی (۲)

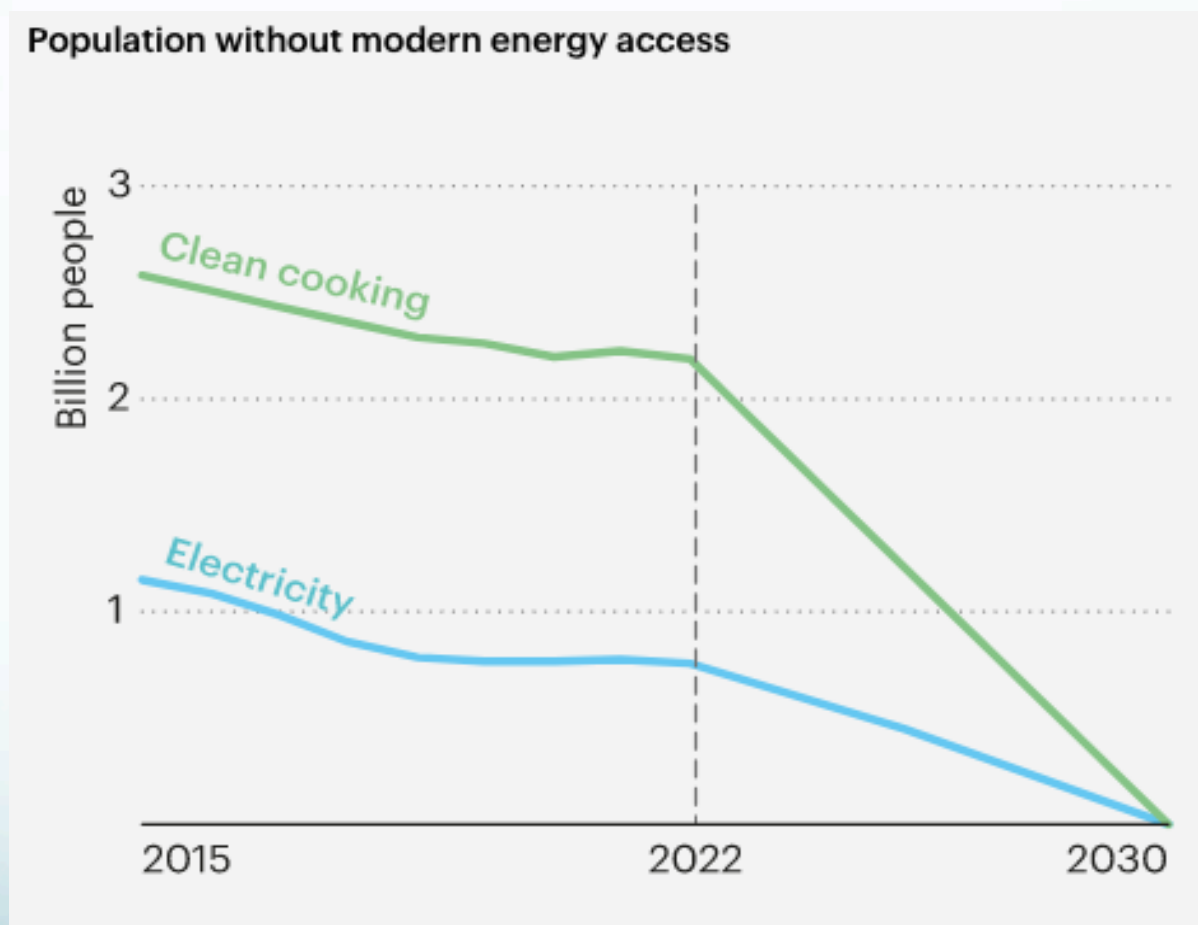
- Achieving universal modern energy access by 2030, in line with SDG 7, delivers socioeconomic benefits and reduces greenhouse gas emissions.
- Major air pollutant emissions are halved by 2030 which reduces premature deaths by 3.6 million, predominately in emerging market and developing economies.
- Share of population exposed to high levels of air pollution ( $>35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) 33% (2022), 29% (2025), 7% (2030), and 7% (2050).

## واقعیت ها و داده های جهانی \* (۳)



\* <https://www.iea.org/reports/energy-access-and-air-pollution>

## واقعیت ها و داده های جهانی (۴)



\* <https://www.iea.org/reports/energy-access-and-air-pollution>

# شاخص کیفیت هوا (AQI)\*

شاخص کیفیت هوای سالم\*\* ( $AQI \leq 50$ ) بر مبنای آلاینده ها و استانداردهای مربوط به هر یک که در زیر آمده است، تعریف می شود (روش محاسبه در مرجع زیر آمده است):

$$PM_{2.5} (24\text{-hour}) = 12 (\mu g/m^3)$$

$$PM_{10} (24\text{-hour}) = 54 (\mu g/m^3)$$

$$O_3 (8\text{-hour}) = 0.054 \text{ (ppm)}$$

$$CO (8\text{-hour}) = 4.4 \text{ (ppm)}$$

$$SO_2 (1\text{-hour}) = 35 \text{ (ppb)}$$

$$NO_2 (1\text{-hour}) = 53 \text{ (ppb)}$$

\*<https://www.airnow.gov/sites/default/files/2020-05/aqi-technical-assistance-document-sept2018.pdf>

\*\* برای کیفیت هوای متوسط، نا سالم برای گروههای حساس، نا سالم، زیان اور و خطرناک، این ضرایب تغییر می کنند و مقادیر بیشتری دارند (مرجع بالا)

# Emission Factor Data Bases

- Compilation of Air pollutant Emission Factors, Volume I: Stationary Point and Area Sources, 4<sup>th</sup> ed., AP-42, US EPA, Office of Air Quality Planning and Standards, 1985, with updates through September 2000 Volume II: Mobile Sources for autos and other vehicles (with updates available)
- See <http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42seynp.html>
- Updates from 2001-present-Summary of Change to Sections ( Latest available until 2011)

# Other Emission Factor Data Bases

- Emission Factor Data Base (EFDB) by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) available at: [www.ipcc-nggip.iges.jp](http://www.ipcc-nggip.iges.jp)
- Air Pollutant Emission Factor Library available at: [www.apef-library.fi](http://www.apef-library.fi)
- EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook formerly known as CORINAR available at: [www.eea.europa.eu](http://www.eea.europa.eu). This is a publication of the European Environmental Agency

# هوا شناسی آلودگی هوا (۱)

- پیشنهاد برنامه ریزی برای توسعه شهری و صنعتی و درک پخش آلاینده ها
- آلاینده ها در جو چگونه پخش می شوند و سرنوشت آنها چیست؟
- مساله محلی، منطقه ای و جهانی است (فقط یک جو وجود دارد!)
- پراکندگی آلاینده ها بستگی بسیار به دینامیک جو دارد



## هواشناسی آلودگی هوا (۲)

- دینامیک جو بسیار پیچیده است زیرا جریان هوا توربولنت ، سه بعدی و گذرا (وابسته به زمان) ، سیستم چند جزیی و در حال واکنش شیمیایی است (جوبزرگترین راکتور شیمیایی جهان است !)
- حرکت افقی هوا (باد) و حرکت عمودی هوا (پایداری جو) به شدت بر پراکندگی و غلظت آلاینده ها مؤثر است .
- خشکی و دریا ، پستی و بلندی ، موقعیت طول و عرض جغرافیایی و شدت تابش خورشید به شدت بر پراکندگی و غلظت آلاینده ها مؤثر است

# Why Do We Need Meteorology and Air Pollution Modeling ?

- Meteorology is a “**prerequisite**” for air pollution modeling
- We need to do modeling because:
  1. It is impossible to make measurements of all pollutants in all locations and at all times
  2. We want to know how safe we are in location that we work
  3. We want to know what would be the air quality if we were to establish a new plant, expand highways, expand our cities
  4. We want to establish standards for emissions in all our activities and need to know how the quality of air around our activities will be affected

# The Atmosphere (1)

## Composition of the Atmosphere

- The average composition of gases in the atmosphere (**except for water vapor or moisture**) is relatively constant throughout the globe
- The composition is (on dry basis): 78% nitrogen, 21% oxygen, 1% argon and other trace gases (units in % by volume or mol)

# The Atmosphere (2)

- Moisture or water content (in the form of vapor, liquid droplets and ice particle) vary significantly with time and place
- Typically, water content in the atmosphere is around 1 to 1.5 mol water/mol air (or volume or water/volume of air)
- For example, for relative humidity of RH 50%, water content is 1.15 mol/mol air.

# The Atmosphere (3)

## Composition of the Atmosphere (Cont.) – Year 2000

Nitrogen ( $\text{N}_2$ );	780,000 ppmv
Oxygen ( $\text{O}_2$ ):	210,000 ppmv
Argon (Ar):	9,300 ppmv
Carbon dioxide ( $\text{CO}_2$ )	365 ppmv
Ozone ( $\text{O}_3$ )	1 ppbv – 10 ppmv
Methane ( $\text{CH}_4$ )	1.8 ppmv
Nitrous oxide ( $\text{N}_2\text{O}$ )	314 ppbv

# The Atmosphere (4)

## Types of Atmospheric Species

- Gases
- Condensed Matter:
  - Liquid (cloud and rain drop) of water
  - Solid (snow and ice) of water
  - Aerosol (suspended liquid and solid particles) – wide variety of different organic and inorganic compound
  - **Aerosols are very important class of pollutants with many adverse impacts on human health and the environment**

# The Atmosphere (5)

## Size of Atmospheric Species

<u>Species</u>	<u>Size</u>
Gaseous molecule	1- 10 Angstrom (0.1 -10 nm)
Fine aerosol	0.1 nm – 1 $\mu\text{m}$
Coarse aerosol - Cloud drop	10 – 20 $\mu\text{m}$
Rain drop	0.1 mm

# The Atmosphere (6)

## **Importance of the size of atmospheric species;**

- Leading role in many processes
- Interaction with solar radiation (greenhouse effect)
- Dry and wet deposition (scrubbing and precipitation)
- Cloud formation
- Visibility
- Photochemical smog formation



# The Atmosphere (7)

## Aerosol

- To the first approximation, an aerosol can be assumed to be a sphere
- The diameters range from a few nanometers to tens of micrometers for the mineral particles (formed from dust).
- The diameter of the “urban” aerosol is about one micrometer.

# Atmospheric Thickness and Layers (1)

## Atmospheric Thickness

- The earth atmosphere is indeed very thin compared with the earth size
- Average diameter of the earth of about **12,742 km** (The equatorial diameter of Earth is **12,756 km**, its polar diameter is **12,713 km**)
- One-half of the mass of the atmosphere is within 5.472 km (3.4 miles) of the surface

# Atmospheric Thickness and Layers (2)

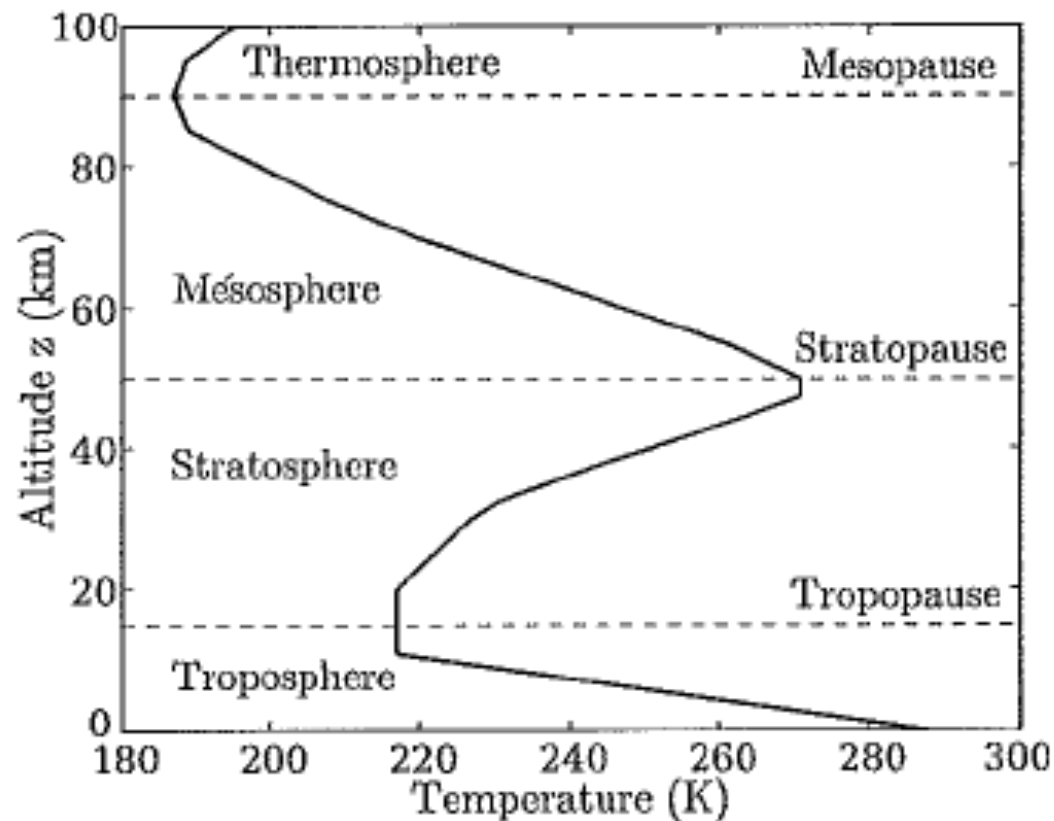
- 99% of the mass of the atmosphere is within 32.167 km (20 miles) of the surface.
- Thus the ratio of average thickness of the atmosphere to the diameter of the earth is approximately  $32.167/12742 = 0.0025$  or 0.25%.
- At higher altitudes up to 100 km the air is extremely lean

# Atmospheric Thickness and Layers (3)

- This means that the atmospheric is very thin and that the horizontal motions of the air are one or two orders of magnitude larger than the vertical motions
- The horizontal component of the wind vector is orders of magnitude larger than its vertical component
- Tropical storms are typically 200 miles or more across and only less than 10 miles vertically

# Atmospheric Thickness and Layers (4)

## Atmospheric Layers



# Atmospheric Thickness and Layers (5)

## Atmospheric Layers (Cont.)

- The “*troposphere*” for heights below 8km above the polar regions, and below 18km above the Equator. The temperature is a decreasing function of altitude, down to 220 K above the polar regions and to 190 K above the Equator. The averaged temperature gradient is about  $-6.5 \text{ K km}^{-1}$  in the “Standard Atmosphere”.
- Then the “*stratosphere*” for heights up to 50 km. The temperature is first constant and then an increasing function of altitude, up to about 270 K. This heating is directly related to the absorption of the ultraviolet solar radiation (UV) by ozone ( $\text{O}_3$ ) and by molecular oxygen ( $\text{O}_2$ ). This inversion layer is a specific property of the Earth’s atmosphere.

# Atmospheric Layers and Thickness (6)

- Then is the “*mesosphere*” up to 85–90 km. The temperature is a decreasing function of altitude down to 170 K (the coldest atmospheric temperature), due to the rarefaction (lessening density) of ozone and of oxygen.
- And then is the “*thermosphere*” and the “*ionosphere*” (up to about 150 km). The temperature increases and is more and more dependent on solar activity. The UV radiations dissociate N<sub>2</sub> and O<sub>2</sub> and gas-phase molecules are ionized. Air becomes a rarefied (being less dense) gas: the air density is about  $10^{19}$  molecule m<sup>-3</sup> at 100 km, to be compared with  $10^{25}$  molecule m<sup>-3</sup> at sea level.

# Atmospheric Layers and Thickness (7)

- Beyond, the Earth's attraction can be neglected. In the *exosphere* (at about 500 km), atomic hydrogen can escape from the atmosphere
- There are two *inversion* layers in the atmosphere, characterized by a positive gradient of temperature: in the *stratosphere* and in the *ionosphere*. Part of the solar radiation is absorbed by a few gas-phase species in these layers, playing a filtering role, which results in an increasing temperature. The vertical distribution of these gas-phase species determines the vertical distribution of temperature.



# Atmospheric Layers and Thickness (8)

- The atmospheric dynamics can also differ from one layer to another. In **inversion layers**, the atmosphere is **stable**: warm air parcels are subject to uprising motions while cold air parcels can be blocked by the warm layers above them.
- Above the mesosphere, the gravitational effects play a leading role for the vertical distribution of species: the “light” species are at higher altitudes than the “heavy” species. This defines the so-called *heterosphere*; the atmosphere below is sometimes referred to as the *homosphere*.

# Atmospheric Boundary Layer (ABL)

- The ABL may be defined as the part of the atmosphere subject to surface effects.

The intensity of pollution events is mainly governed by meteorological conditions in the lower part of the troposphere. The dispersion of emitted pollutants is driven by two distinct processes:

- *Horizontal* transport by the wind field, which explains the long-range transport of long-lived pollutants;
- *Vertical* mixing due to atmospheric turbulence, which is directly induced by boundary layer effects.

# ABL (Cont.)

Atmospheric turbulence has two sources.

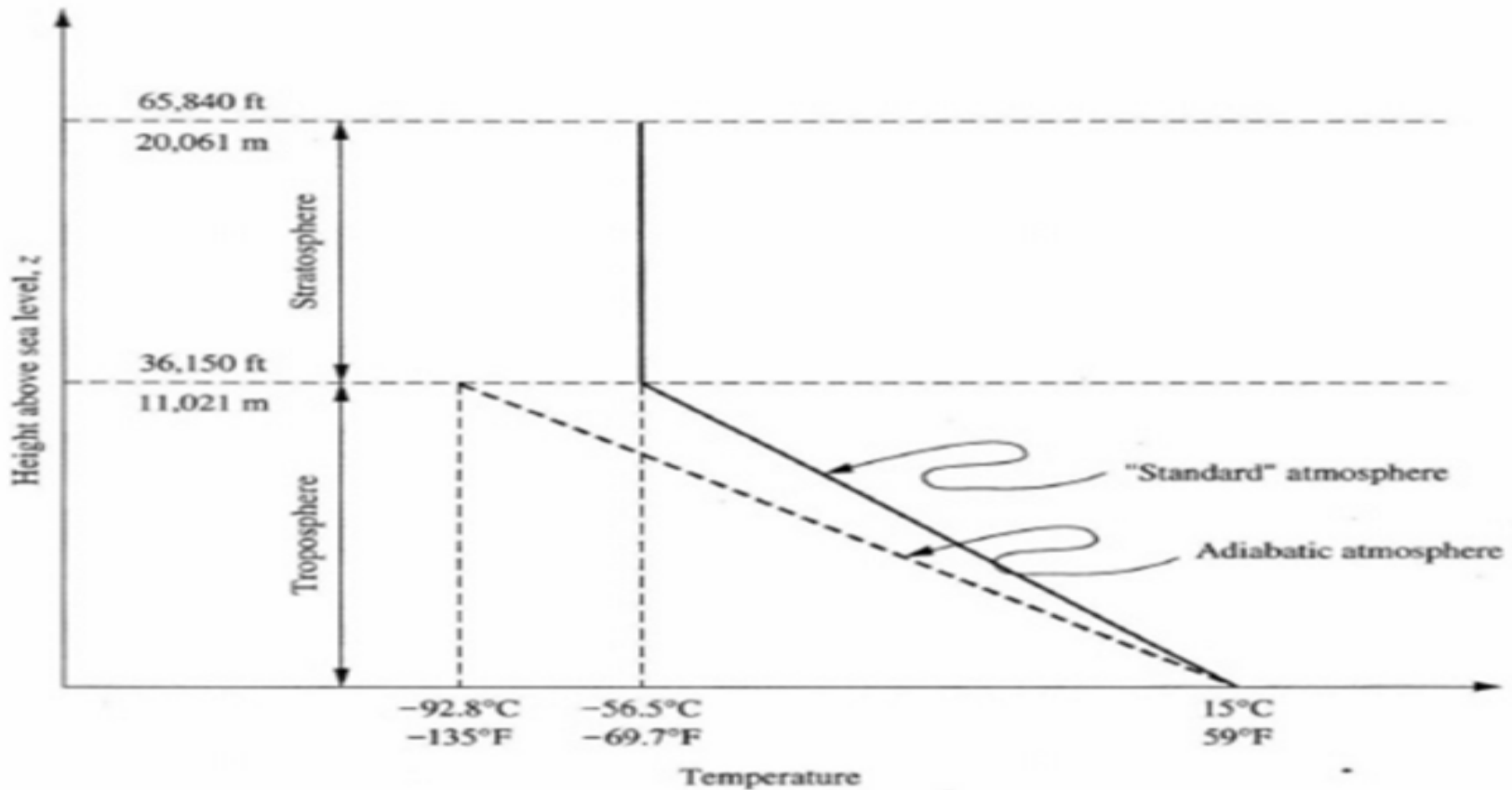
1. *Mechanical* turbulence is induced by vertical wind shear: the wind is constrained at the Earth's surface.
2. *Thermal* (or *convective*) turbulence is induced by the vertical distribution of temperature: the Earth's surface is heated by solar radiation during daytime, cooled during nighttime.

In simple words, the *atmospheric boundary layer* (ABL hereafter) is defined as the part of the atmosphere that is sensitive, in short-term (namely in a few hours), to the varying conditions at the Earth's surface. A typical example is the day/night cycle.

# ABL (Cont.)

- Investigating the ABL is required for the study of urban pollution. A key parameter is the so-called *mixing height*, that is to say the height of the volume in which the emitted pollutants are mixed.
- This defines the *dilution* volume for the pollutants.
- The dilution state of the ABL is usually classified by distinguishing:
  - The *neutral* ABL;
  - The *unstable* ABL, corresponding to high dilution, namely to strong turbulent mixing;
  - The *stable* ABL, for which the pollutants accumulate at the ground level (weak dilution), typically at night.

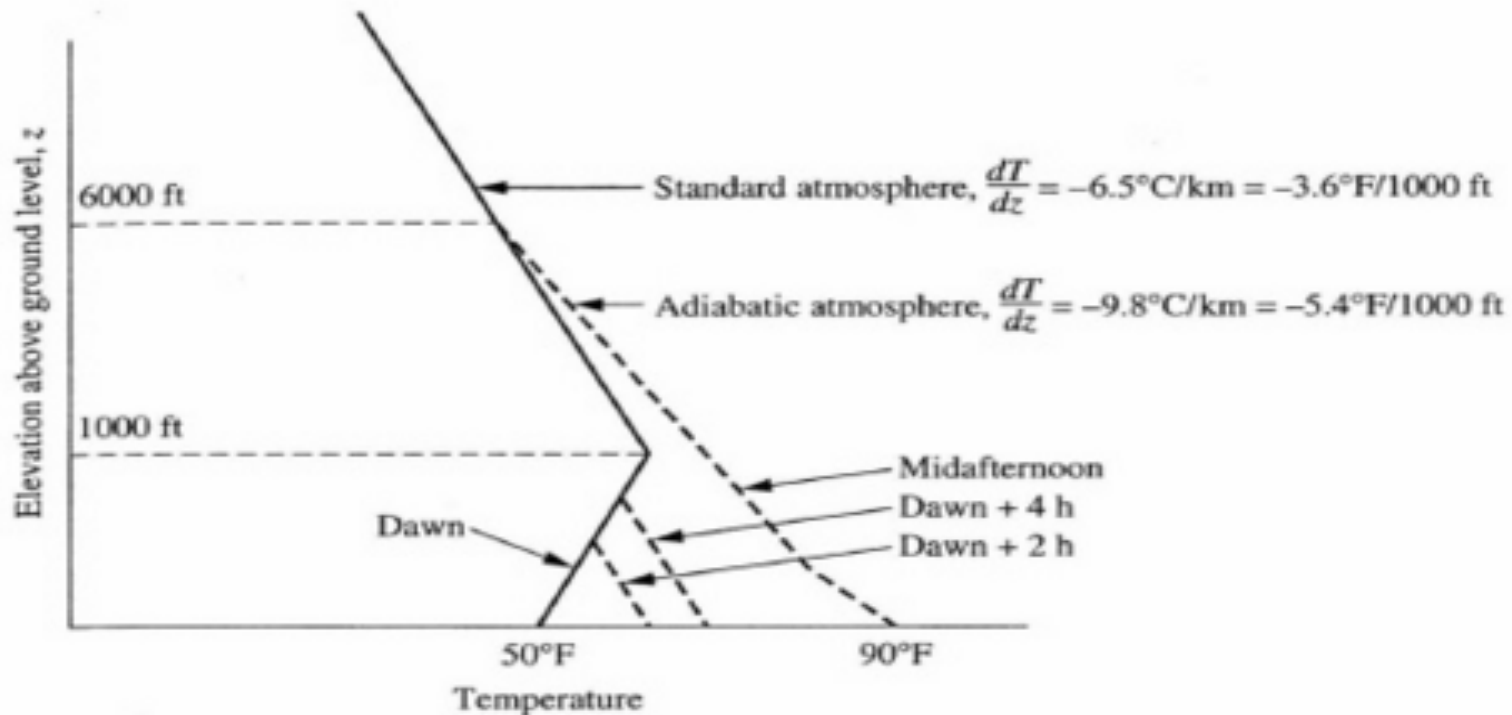
# Standard and Adiabatic Atmosphere



**FIGURE 5.5**

Comparison of the temperature-elevation relations in the adiabatic atmosphere and the standard atmosphere.

# Temperature Inversion



**FIGURE 5.7**

Vertical temperature distribution at various times on a cloudless day with low or average winds in a dry climate.

# راهکارهای کنترل آلودگی هوا ( ۱ )

۱ . راهکار تدوین و اعمال استانداردهای انتشار

- اجرای ساده ( در سیستم قانونمند )

- انعطاف پذیری ضعیف

- قابلیت بازنگری نسبتا خوب

- هزینه زیاد اجرا

## راهکارهای کنترل آلودگی هوا (۲)

۲. راهکار استاندارد کیفیت هوای محیطی

- هزینه نسبتاً کم
- ضعف سادگی اجرا
- قابلیت اعمال، انعطاف پذیری و بازنگری نسبتاً خوب
- هزینه نسبتاً کم



## راهکارهای کنترل آلودگی هوا (۳)

۳. راهکار وضع مالیات بر آلودگی

- هزینه عادلانه (پرداخت هزینه توسط آلوده کننده)
- سادگی اجرا و اعمال (در سیستم قانونمند)
- انعطاف ناپذیر
- قابلیت بازنگری خوب

## راهکارهای کنترل آلودگی هوا (۴)

۴. تحلیل هزینه - فایده

- از نظر هزینه بسیار مقرون به صرفه
- اجرای بسیار مشکل
- قابلیت اعمال و انعطاف پذیری نامعین
- قابلیت بازنگری خوب

اکنون چه باید کرد ؟

با امید به محیط زیست سالم و پاک

سپاس از توجه شما