Lectures on

**Air Pollution I**

**References**

1. Monim H Al-Jiboori: تلوث الغلاف الجوي , 2015
2. Seinfeld J. H. and Pandis S. N., Atmospheric Chemistry and Physcis: from Air pollution to Climate Change, 3rd ed., John Wily and son, Inc., 2016, pp. 766-841.
3. Lazaridis, M., First Principles of Meteorology and Air Pollution, Greece: Springer, 2011, p. 362.
4. Hemond, H. F. and Frechner-Levy E. J., Chemical fate and transport in the environment, 2 nd edition ed., Academic press, 2000, p. 290.
5. Tiwary A. and Colls J., Air pollution: Measurment, modeling and mitigation, 3 rd eddition ed., Routledge, 2010, p. 140.

**1 Air pollution definition:**

هو أحد أنواع التلوث البيئي - يعني وجود ملوثات أو مواد غير مرغوب فيها في الهواء النقي، اذا ما زادت كمياتها عن الحدود العظمى المسموح بها ستسبب تأثيرات مؤذية. هذه التأثيرات لم تنحصر على صحة البشر فقط بل تعدت الى منشآت بيئية أخرى مثل الغطاء النباتي والحيوانات وغيرها. فضلاً عن تغير ألوان الطبيعة مثل لون الأحمر المصفر لجو المدن الحضرية أو الجو الضبابي او روائح غير مرغوب فيها.

**2 Natural air compositions مكونات الهواء الطبيعي**

يتكون الهواء الطبيعي (غير الملوث) الذي تتركز معظم كثافته عند قاع الغلاف الجوي من خليط من الغازات التي تتميز بأن لها معدلات نسب ثابتة تقريباً عند أي من الارتفاعات العمودية أو المسافات الأفقية وعند الازمنة المختلفة. الجدول 1.1 أدناه يبيّن نسب الغازات الموجودة بتراكيز لم تتغير خلال عمر البشرية على الرغم من حدوث بعض الظواهر الطبيعية مثل انفجارات البراكين وحرائق الغابات نتيجة البرق. فعند تجاوز هذه النسب يعني حدوث خلل في الهواء وبالتالي حدوث تلوث للهواء.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| المكوّن | الصيغة | النسبة الحجمية | الوزن الجزيئي | التركيز (ppm) |
| النتروجين | N2 | 78.08 | 28.02 |  |
| الأوكسجين | O2 | 20.95 | 32.04 |  |
| الآرگون | Ar | 0.934 | 39.88 |  |
| النيون | Ne | 0.0018 | 20.00 | 18.18 |
| هيليوم | He | 0.00052 | 4.00 | 5240 |
| كربتون | Kr | 0.0001 | 83.7 | 1140 |
| اكسنون | Xe | 0.000008 | 131.3 | 87 |
| كبريتيد الهيدروجين | H2S | 0.00000002 |  |  |
| ثاني أوكسيد الكربون | CO2 | 0.032 | 44.01 | 358000 |
| الميثان | CH4 | 0.00015 |  | 1720 |
| هيدروجين | H2 | 0.00005 | 2.00 | 500 |
| أوكسيد النتروز | N2O | - | 44.04 | 312 |
| الاوزون | O3 | 0.0002 - 0 | 48.06 | 10 – 50 |
| بخار الماء | H2O | 0.05 – 0.0001 | 18.00 | 0.004 – 4 |
| ثاني أوكسيد النتروجين | NO2 | 0.0000001 | 48.02 | 0.1 - 5 |
| أول أوكسيد الكربون | CO | 0.0001 | 28.00 | 50 – 150 |
| آمونيا | NH3 | 0.0000006 |  | 0.1 – 10 |
| ثاني أوكسيد الكبريت | SO2 | 0.0000002 | 64.0 | 0.03 - 30 |
| جسيمات (غبار وسخام) |  | - | 0.000001 |  |
| كلوروفلوروكربونات | CFCs | - | 0.00000002 |  |

**3Pollutants measure units *وحدات قياس الملوثات***

*تقاس تراكيز الغازات عدا الاوزون بوحدتين اساسيتين:*

***اولاً: حجمية* Volumetric**

*لتحديد نسبة الخلط بين حجم الغاز الملوث وحجم الهواء الأصلي، أي بمعنى نسبة عدد جزيئات الغاز الملوث الى العدد الكلي لجزيئات الهواء. لذا تستخدم ثلاث وحدات شــائعة هي: أجزاء الغاز لكــــل مليون (يرمز لهذه الوحــــــدة* ppm*،* 10-6*) أو تعطى بالأجزاء لكل بليون (رمزها* ppb*،* 10-9*)، واخيراً بالاجزاء لكل تربليون (رمزها* ppt*،* 10-12*). يفضل استخدامها عند دخول الغاز الى مكان معين فالتأثيرات ربما تعتمد بصورة رئيسة على عدد المواقع الجزيئية المشغولة بجزيئات الغاز الملوث.*

***ثانياً: كتلية* Gravimetric**

*لتحديد كتلة المادة لوحدة حجم الهواء (*g/m3*) ومن أبرز هذه الوحدات شيوعاً (*mg/m3*) أو (*µg/m3*). ويستحسن استعمالها عند استخلاص تركيز غاز ما من المرشح المعالج لأجل التحليل الكيميائي أو للتأثيرات الصحية المتعلقة بكتلة الملوث المستنشق.*

*تستخدم أحياناً وبصورة مناسبة وحدات* particles/m3 *للملوثات الجسيمية العالقة. وأحياناً يقاس تركيز الملوثات الجسيمية بوزنها على وحدة المساحة كأن تكون (*mg/cm2*) أو (*Tun/mile2*).*

*من الممكن تحويل الوحدات الحجمية الى الكتلية تحت ظروف الجو القياسية (*STP*) (درجة حرارة الصفر المئوي وضغط جوي واحد) بالعلاقة:*

(1)

*حيث* 22.4 *يمثل حجم مول واحد من الغاز النقي يزن كتلة مولارية نسبية عند الظروف الجوية القياسية. اما عند الظروف غير القياسية (عند درجة حرارة بالكلفن والضغط بالباسكال) فالتحويل يتم*

(2)

بينــــما تـــقاس كمــــية الأوزون في الغــــــلاف الجــوي فــي الغالـــب بوفــــرة عـــــمود الاوزون Ozone column abundance – الذي هو جمع جميع جزيئات الاوزون فوق سنتميتر مربع من السطح بين سطح الأرض وقمة الغلاف الجوي. عند قسمة هذا العدد على 2.7\*1016 نحصل على وفرة العمود بوحدات الدبسن Dobson (DU) الذي هو اسم العالم المكتشف للأوزون عام 1920م لذلك؛

1 DU = 2.7 \* 1016 molecules of ozone/cm2

***مثال:*** *ما التركيز الكتلي لغاز اول اوكسيد الكربون،* CO*، الخارج من عادم السيارة الذي تركيزه* 1.5 ppm *ووزنه الجزيئي* 28 *تحت ظروف قياسية وغير قياسية (بضغط* P=1013.3 Pa *ودرجة حرارة* T=298 K*)؟*

*الحـــــل: من علاقة (1) و(*2*) نحسب التركيز الكتلي على الترتيب*

**Homeworks:**

س1: لماذا سميّت غازات النتروجين والاوكسجين والآرﮔون بالدائمية؟

س2: ما هو التركيز بوحدات ppm لغاز N2O اذا كان تركيزه 1.25 µg/m3 في الجو؟

س3: ما هو التركيز بوحدات mg/m3 اذا كان الملوث غاز CO2 (وزنه الجزيئي 44) بتركيز 2.1 ppm في الجو؟

**4. Air pollutants**

**Air pollution sources مصادر تلوث الهواء**

**المصادر الطبيعية . Natural sources1**

هي المصادر التي لا يكون للانسان دخل في إحداث التلوث، أي غير المتسببة بفعل الأنشطة البشرية، وأهمها:

**1. البراكين:** انفجار البراكين يبعث مواد جسيمية صلبة فضلاً عن غازات ملوثة مثل ثاني اوكسيد الكبريت وكبريتيد النتروجين والميثان وغيرها.

**2. الحرائق:** حرائق الغابات الناتجة والمتسببة بفعل البرق تبعث كميات ضخمة من الملوثات بشكل دخان وهيدروكاربونات غير محروقة وأول أوكسيد الكربون وثاني أوكسيد الكربون وأكاسيد النتروجين والرماد.

**3. العواصف الغبارية:** كتلة كبيرة من الهواء حاملة معها دقائق غبارية أو رملية. ومن أهم تأثيراتها تعكر صفاء الجو وبالتالي تقليل مدى الرؤيا الأفقية وحجب أشعة الشمس من الوصول الى سطح الارض فضلاً عن اضرارها الصحية.

**4. البحار:** تطلق البحار باستمرار جزيئات الهباء الى الغلاف الجوي على شكل جزيئات الملح المتناثرة بفعل الامواج البحرية والمد والجزر.

**5. النباتات والأشجار:** على الرغم من ان النباتات الخضراء تؤدي دوراً مهماً في تحويل CO2 الى الأوكسجين خلال عملية التركيب الضوئي إلاَّ إنها تعدّ من المصادر الرئيسة للهيدروكربونات. ولا يغيب عن بالنا حبيبات الطلع أو اللقاح Pollen grains العالقة في الهواء والتي تنتقل في فصل الربيع بفعل الرياح لأجل إخصاب الأزهار تسبب صعوبات التنفس وأمراض الحساسية.

**6. البحيرات المالحة والقاعدية:** تتميز هذه البحيرات بالتأثير المحلي على البيئة. فالغازات الكبريتية المنبعثة في فصل الربيع تكون ذات روائح قوية للغاية عند الاقتراب من مصدرها.

**المصادر البشرية 2. Anthropogenic sources**

تتمثل في كثير من الفعاليات والنشاطات التي يقوم بها الانسان فالملوثات الناتجة بفعله تدخل الغلاف الجوي من مصدرين:

.1 المصادر الثابتة وتشمل المعامل الصناعية ومحطات توليد الطاقة الكهربائية ومعامل انتاج الفحم والبترول والأسمنت والمنازل والدوائر الحكومية. وفي أغلب الاحوال تختلف كل من هذه المصادر في انبعاث الملوثات كماً ونوعاً، فمعمل الورق مثلاً اذا ما بقي في مكانه اليوم وغداً فإنه سيطلق الكمية نفسها من أنواع الملوثات ما لم يكن هناك أيّ تغير رئيسي في عملية الصنع او الانتاج. وتطلق هذه المصادر ملوثاتها حسب نوعية الصنع ففي الغالب أنبعاثات مصانع النواتج الكيمياوية هي غبار أو هباء أو أبخرة أو غازات.

.2 المصادر المتحركة وتتضمن وسائط ومركبات النقل المختلفة من سيارات وسفن بأنواعها وطائرات بأنواعها التي تنتقل من مكان إلى آخر تحت الماكنة نفسها الخاصة بها. وتكون انبعاثات هذه المصادر مختلفة بحسب نوع السيارات والماكنات والوقود المستخدم، فمثلاً وقود الكازولين ينتج انبعاثات الهيدروكاربونات وأول أوكسيد الكربون وثاني أوكسيد الكربون وأكاسيد النتروجين وجسيمات، وأما وقود الديزل فتنتج مكائنه ملوثات أكاسيد النتروجين وجسيمات وثاني أوكسيد الكبريت.

ومن أهم مصادر تلوث الغلاف الجوي الناتج بفعل الانسان:

**1. المصادر الصناعية:** إن التلوث الصناعي يأتي من النواتج الصناعية للمواد الخامة. مثلاً الحديد من المعدن الخام، والاخشاب المنشورة من الاشجار، والكازولين من النفط الخام والحجر من المقالع. ويمكن أن ينبعث التلوث الصناعي أيضاً من المصانع التي تحوَّل النواتج الى نواتج أخرى كالسيارات من الفولاذ والأثاث من الاخشاب والاصباغ من الجوامد والمذيبات وتبليط الاسفلت من الصخور والنفط.

**2. المنافع (Utilities) العامة:** المنافع في المجتمعات الحديثة كثيرة، إذ هي جزءٌ لا يتجزأ من الحياة ولا يمكن الاستغناء عنها. فمحطات الطاقة الكهربائية تجهز الكهرباء لأجل الأضاءة والتدفئة المنزلية فضلاً عن تشغيل الاجهزة الكهربائية كالثلاجات والمجمدات والتلفزة والمكانس وغيرها. النوع الاخر لمصدر التلوث الخطير هو فضلات المجتمع الحديث، فمحطات معالجات مياه الصرف الصحي او المياه الثقيلة التي تعمل بحالة سيئة أو سوء التصميم لها.

**3. المصادر الشخصية:** لحد الان توجد هناك الكثير من المصادر الشخصية للتلوث حتى لو اتجه المجتمع الى الصناعات والمنافع المركزية مثل السيارات وافران البيت والمستوقدات والمدافئ الزيتية ومواقد شوي اللحوم والحرق المفتوح للنفايات والأوراق النباتية اليابسة. فالطاقة المتحررة وانبعاثات تلوث الهواء من المصادر الشخصية هي في الغالب أكبر من المنافع والصناعية.

**5 Nature of air pollutants طبيعة الملوثات الهوائية**

لأجل معرفة أكثر الملوثات الهوائية الرئيسة خطورة، فإن خطورة أي ملوث تعتمد على تركيزه اولاً ومدة التعرض له ثانياً. ويعدّ غاز أول أوكسيد الكربون أكثر هذه الملوثات شيوعاً ويمكن عدّه معياراً لقياس خطورة الملوثات الرئيسة المختلفة. والجدول 2 يبيَّن معامل تأثير هذه الملوثات.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| الملوث | مستوى الاحتمال[[1]](#footnote-1)♣ µg/m3 | معامل التأثير |
| أول أوكسيد الكربون (CO) | 5600 | 1 |
| أكاسيد الكبريت (SOx) | 365 | 15.3 |
| المواد الجسيمية | 260 | 21.5 |
| أكاسيد النتروجين (NOx) | 250 | 22.4 |
| الهيدروكاربونات (HC) | 45 | 125 |

ومعامل التأثير لأي ملوث يعطى بالعلاقة:

(3)

مثلاً معامل التأثير لغازات 15.3 = 5600/365 = SOx، هذا الرقم يعني ان غازات SOx تبلغ خطورتها حوالي 15 مرة أكثر من غاز CO اذا كان لها التركيز نفسه.

ويمكن إيجاد درجة الخطورة لأي ملوث بالعلاقة الآتية:

(4)

فمثلاً درجة الخطورة لتركيز 100 µg/m3 من غازات NOxيساوي 0.4 اذا كانت درجة الخطورة اقل من 1 فانه لم يعد خطراً.

**مثال:** ملوث ثاني أوكسيد النتروجين NO2 (وزنه الجزيئي 30 ومستوى تحمله من قبل الانسان 250 µg/m3) منتشر في جو مدينة حضرية مزدحمة بالسكان يبلغ تركيزه 0.1 ppm ما درجة خطورته؟

الحــــــل: نحوّل التركيز من وحدات ppm الى g/m3 باستخدام (1):

*تركيز الـ* NO2= (0.1/22.4) \* 30= 0.134 mg/m3= 134 µg/m3

*ومن معادلة (3):*

واخيراً يمكن تحديد تسلسل الملوثات الأولية المختلفة حسب خطورتها من العلاقة:

(5)

فالملوثات الأولية في الجدول السابق تترتب حسب خطورتها بالتسلسل الآتي:

الهيدروكربونات–الدقائق–أكاسيد الكبريت–أكاسيد النتروجين–أول أوكسيد الكربون.

**5. Primary Air Pollutants**

**1. Volatile organic compounds (VOCs) المركبات العضوية المتطايرة**

أحد المركبات العضوية التي هي بصورة رئيسة الهيدروكاربونات المتكونة من الكربون والهيدروجين. تتواجد في الطبيعة بالحالات الثلاثة: الغازية والسائلة والصلبة اعتماداً على ذرات الكربون في المركب. وأبسط هيدروكربون هو غاز الميثان (CH4)الذي ينتج معظمه بفعل التحلل البكتيري للمادة العضوية في مياه المستنقعات والأهوار. ومن مصادرها الثابتة تتضمن المصانع البتروكيمياوية ومصانع تكرير النفط ومصانع الطلاء والتنظيف الجاف واحتراق الوقود في وسائل النقل ومحطات الطاقة الكهربائية وعمليات التبخر من حقول النفط والغاز الطبيعي والصناعات التي تستخدم المذيبات الهيدروكاربونية وصناعة المطاط واللدائن.

ومن المركبات العضوية المتطايرة الأخرى هي البنزين (C6H6) وبعــــض مركـــبات الكلوروفلـوروكاربــونات (CFCs) Chlorofluorocarbons التي لها أثر كبير في فقدان الاوزون في طبقة الستراتوسفير.

مركبات CFCs هي غازات متكونة باستبدال جميع ذرات الهيدروجين في الميثان أو الإيثان C2H6 بذرات الكلور أو الفلور، مثلاً يتكون مركب CFC-12 المعروف تجارياً بالفريون Freon صيغته الكيميائية CF2Cl2 (ثنائي كلورفلوروميثان) بإستبدال ذرات الهيدروجين الأربع في الميثان بذرتين كلوروفلور. اما المركب المهم الاخر هو CFC-11 المعروف باسم ثلاثي الكلورفلوروميثان CFCl3 الذي يستخدم في مكيفات الهواء الضخمة. هذان المركبان خاملان في طبقة التروبوسفير لذلك تختلط فيه ثم تنفذ ببطء الى الستراتوسفير إذ يتم تحللها ضوئياً عند تعرضها للأشعة فوق البنفسجية لتطلق ذرات الكلور.

R1

R2

حيث ان λ تمثل الطول الموجي. إن ذرات الكلور المنتجة من التفاعلين أعلاه لها أثر كبير في هدم طبقة الاوزون في الستراتوسفير.

**2 Sulfur dioxide أكاسيد الكبريت**

أهم أكاسيد الكبريت SOx (حيث x=1,2,3) شيوعاً هو ثاني أوكسيد الكبريت SO2، صفاته غاز عديم اللون غير قابل للاشتعال ذو رائحة نافذة مهيجة للأنسجة الحساسة في الأنف والفم والعين، إذ ينتج عن التعرض لهذا الغاز صعوبات في التنفس كالربو وأمراض الرئة والسعال. وكما تؤدي كمياته الكبيرة الى إصابة نباتات معينة كالخس والسبانخ، واحياناً تظهر علامات قصر ألوان أوراق أشجار النباتات واضعاف انتاجها.

أن اهم مصادره الطبيعية هي انفجارات البراكين وكذلك الجسيمات الكبريتية الناتجة من رذاذ المحيطات والينابيع الكبريتية إذ يعدّ كملوث ثانوي ناتج من تأكسد كبريتيد الهيدروجين في الجو:

R3

يدخل SO2 الى الغلاف الجوي بصورة رئيسة بفعل الصناعات الحارقة للوقود الاحفوري الحاوية على كبريت في تركيبه الكيمياوي (مثل النفط والفحم) كما في محطات توليد الطاقة البخارية وعمليات صهر خامات الكبريتيدات ومصافئ تكرير النفط ومعامل الورق.

عند احتراق الوقود لا يتكون غاز SO3 إلاّ بنسب منخفضة مقارنة مع نسب غاز SO2 تتراوح بين (1-10)% اعتماداً على ظروف الحرق وطبيعة الوقود وفق المعادلتين:

R4

R5

يحدث تفاعل R5 بنسب منخفضة للاسباب الآتية:

1. الثبوتية الضعيفة لغاز SO3 عند درجات الحرارة العالية التي تحدث عادة عند حرق الوقود لذا يتفكك SO3 الى SO2 بسرعة عند درجة حرارة 1200 ˚C.

.2 تكون سرعة التفاعل بطيئة جداً في درجات الحرارة المنخفضة.

.3 تستخدم بعض المعادن وأكاسيدها في رماد الاحتراق كمحفز لتفكك SO3 الى SO2.

على الرغم من ان SO2 هو أبسط أكاسيد الكبريت تأثيراً على صحة الانسان إلاّ ان الملوثات الثانوية الناتجة عنه لها تأثيرات أشد وأخطر. فعند أكسدة SO2 في الجو المغبر بوجود بخار الماء تتكون جزيئات حامض الكبريتيك H2SO4 التي تشل الأهداب الموجودة في القصيبات الهوائية عن عملها الطبيعي كمنظفات فتدخل بعض العوالق الصغيرة جداً الى رئة الانسان. فضلاً عن إنّ أكسدة SO2 الى SO3 في الجو وبمساعدة بعض الفلزات تؤدي الى ذوبان SO3 في الماء وتحويله الى حامض الكبريتيك:

R6

الذي يعدّ المسبب الرئيس لانتاج الامطار الحمضية.

**3 Nitrogen oxides أكاسيد النتروجين**

هناك ثلاثة أكاسيد مألوفة للنتروجين:

.1 أوكسيد النتروز N2O: غاز غير قابل للاحتراق وغير سام وعديم اللون وحلو المذاق.

.2 أوكسيد النتريك NO: غاز سام وغير قابل للاحتراق فضلاً عن إنه عديم اللون والرائحة.

.3 ثاني أوكسيد النتروجين NO2: غاز ذو رائحة خانقة غير قابل للاحتراق وله لون بني محمر.

من أهم هذه الأكاسيد هو NO2 وذلك لآثاره المتعددة من الناحيتين البيئية والصحية، إذ يساهم في تكوين الامطار الحمضية عند تحوله إلى حامض النتريك HNO3 في الاجواء الرطبة بوجود بخار الماء. فضلاً عن إنه غير مستقر في الغلاف الجوي فيتحلل بفعل الأشعة فوق البنفسجية ويتحد مع عناصر أخرى ليكوّن ما يسمى الضباب الكيموضوئي Photochemical fog.

ومن أهم المصادر الطبيعية تحلل مركبات النتروجين في التربة الى N2O وNO بفعل العمل الطبيعي للبكتيريا، وكذلك تضيف الزوابع الرعدية كميات قليلة من هذه الاكاسيد الى الهواء. صناعياً تتولد هذه الأكاسيد عند تفاعل بعض من النتروجين المتوافر في الهواء مع الأوكسجين خلال عمليات ذات درجات الحرارة العالية. تتم هذه العمليات عند حرق الوقود داخل مكائن احتراق المصادر الثابتة ووسائط النقل. حيث يتكون NO من اتحاد نتروجين الهواء مع الاوكسجين كالآتي:

R7

وقد يتكون جزء يسير من NO2 تحت درجات الحرارة العالية من تحول NO في الجو

R8

والمصادر الرئيسة لأكاسيد النتروجين هي مركبات النقل ومحطات الطاقة الكهربائية ووحدات معالجة الفضلات.

**4 Carbon monoxide أول أوكسيد الكربون**

أكثر الملوثات الغازية شيوعاً ويوجد بكثرة في الطبقات السفلى من الغلاف الجوي. فهو غاز سام عديم اللون والرائحة والطعم وخامل كيميائياً تحت الظروف الطبيعية وقليل الذوبان في الماء وأخف قليلاً من الهواء. إن كمياته الصغيرة لها خطورة على الانسان خصوصاً في المناطق قليلة التهوية كأنفاق الطرق السريعة ومرآب السيارات تحت الارض.

وتطرح المصادر الطبيعية كميات هائلة من أول أوكسيد الكربون، CO، الى الجو مثل تأكسد غاز الميثان الذي ينتج من تحلل المواد العضوية. كما ينتج CO من الفعاليات الحيوية التي تجري في البحار وعلى اليابسة مثل الحياة الخضراء. هذه الكميات الهائلة تفوق ما تطرحه المصادر الصناعية، إلاّ ان تركيزه لا يتغير، لذا لابدّ من امتصاص لهذا الغاز في الطبيعية، فهناك ثلاثة عمليات تسير بهذا الاتجاه؛ إذ المعروف ان CO ليس بغاز أحتباس حراري ولكن أنبعاثاته وتأكسده الى CO2 تؤثر على المناخ العالمي، وقيام الكائنات الحية الدقيقة بتخليص الغلاف الجوي سريعاً من كميات كبيرة من CO بوساطة عمليات بيولوجية تحدث في الترب، وأخيراً ترسبه الى القمم الجليدية وتحلله في مياه المحيطات.

وتضيف المصادر الصناعية كميات هائلة من CO الى الجو سببها:

1. الاحتراق غير الكامل للوقود الاحفوري Fossil fuel، وذلك بسبب نقص نسبة الهواء المجهز كوقود عند الحرق.

2. اختزال الكربون لـ CO2 في درجات الحرارة العالية وتحويله الى CO.

3. ظاهرة تفكك نواتج الاحتراق تحت درجات الحرارة العالية.

ولكون غاز CO لا يُرى ولا يشم فمن الممكن ان يسبب الموت من غير تحذير مسبق فمثلاً خلايا الانسان تحصل على الأوكسجين من خلال صبغة الدم المعروفة بالهيموكلوبين Hemoglobin التي تقوم بإلتقاط الأوكسجين من الرئة وتتحد معه وتنقله أخيراً الى جميع اعضائه، ولكن لسوء الحظ هيموكلوبين الانسان يفضل CO على O2 فلو كانت كميات كبيرة من CO في الهواء الذي يتنفسه الانسان فان دماغه سيحرم من O2 وتظهر اعراض الصداع والاجهاد.

**5 Particular matter المواد الجسيمية**

يحتوي الغلاف الجوي على جسيمات مختلفة الاحجام والأشكال والمكونات الكيمياوية، فهي تشمل مواد صلبة وقــطرات ســائلة منتـشرة. تتـراوح أقطار الجسيمات من 500 µm (رمل) الى 3 nm (نوية).

في الغالب تنتج المواد الجسيمية من النشاطات البشرية العمرانية والصناعية وأنشطة الخدمات المتعددة كطحن المواد المختلفة وعمليات الاحتراق وغبار التصنيع والرش واحتكاك اطارات السيارات وحركة المركبات التي تنتج اضطراباً قرب أسطح الطرق. ولا يفوتنا المصادر الطبيعية كالتعرية الريحية لأسطح الترب والبنايات فإنها تنتج الجسيمات الخشنة Coarse particulates.

وكثيراً ما يستخدم مصطلح الهباء الجوي Atmospheric aerosols على المواد الصلبة الأصغر حجماً العالقة في الجو ولا يمكن مشاهدتها، أي تلك المواد التي تترسب ببطء جداً حتى لو انجرفت بوساطة الهطول. ينتج الهباء من تكاثف الغازات خلال الاحتراق ومن فعل الرياح على سطح الارض. ويطلق على الجسيمات التي يقل قطرها عن 2.5 µm بالجسيمات الدقيقة Fine particulates التي تنتج عادة من مواد ذات الطبيعة المتطايرة أو من غاز يتفاعل مع احد مكونات الهواء. والجسيمات الأكبر حجماً من ذلك بالجسيمات الخشنة التي تنطلق إلى الهواء بفعل عمليات السحق وتلميع السطوح. فضلاً عن هذا تصنف الجسيمات الى أنواع مختلفة أهمها (حسب أقطارها):

1 الجزيئات الرملية Grits: مواد صلبة يزيد قطرها عن 500 µm، تنشأ مع هبوب الرياح الشديدة بسرعة أكبر من 9 m/s التي لا تلبث أن تعود إلى الارض يكون مصدرها العواصف الغبارية.

2. الغبار Dust: عبارة عن خليط من جسيمات صلبة او سائلة او خليط منهما التي تتباين اقطارها بشكل كبير وهي ادق الرمال. هناك نوعين من الغبار الملوث للهواء: (1) غبار متراكم Dust fall الذي هو عبارة عن جسيمات من الغبار التي لا تلبث ان تعود للأرض بعد إنطلاقها بفعل الجاذبية الأرضية و(2) غبار عالق Suspended dust الذي تبقى جسيماته عالقة بالهواء وتسقط بفعل الجاذبية الأرضية بمعدلات متفاوتة تبعاً لحجم ووزن هذه الجسيمات.

3. الدخان Smoke: جسيمات صلــبة (كاربونية) وقــطرات متكاثــفة مــن الســوائل اقــطارها بيـــن (1 - 10) µmتتجمع مع بعضها في حركة ثم لا تلبث أن تتشتت في الهواء.

4. الضباب Fog: جزيئات ماء متكاثفة موجودة بكميات دورانية كثيرة في الهواء يمكن مشاهدتها حول مصانع الاغذية وغيرها.

5. الابخرة المعدنية (دقائق غازية) Fumes: جسـيمات صلـبة دقيــقة جــداً اقــطارها بــين (0.01–1) µm، تنطلق عموماً من التكثيف او التصعيد للتفاعلات الكيمياوية للأبخرة المنبعثة من الهواء.

6 الرذاذ Mist: قطرات سوائل متكاثفة ومتباينة الحجم معلق في الهواء وأخطرها الرذاذ الحمضي، وبالعادة لا يزيد قطرها عن 2 µm.

وهناك حالات تتركب فيها أنواع مختلفة من الجسيمات مثل: الضباب الدخاني Smog من الضباب والدخان، وكذلك الضباب الرقيق Haze من الرذاذ والغبار والغازات الملوثة.

**Other pollutants**

**1. Lead )Pb(**

يعدّ الرصاص أحد العناصر الثقيلة فهو عنصر سام ذو لون فضي – رصاصي له درجة انصهار 327 ˚C ونقطة غليان 1740 ˚C. معظم الرصاص يدخل الى الغلاف الجوي من عوادم السيارات التي تعمل بالكازولين الحاوي على مركباته وهي رابع اثيل الرصاص (C2H5)4Pb التي تخرج على هيئة أكاسيدات وكلوريدات كما يتحول قسم منها الى كربونات الرصاص.

يتبخر الرصاص أو أملاح الرصاص ككلوريد الرصاص في بعض أنواع الاحتراق المنبعثة من مصادر انبعاثه الثابتة ويبرد ويتكثف الرصاص فيما بعد مكوناً جسيمات دقيقة صغيرة أقطارها تبلغ حوالي 0.1 µm تبقى معلقة في الجو لأوقات طويلة وتقطع مسافات مختلفة عن مصدرها الاصلي أو على هيئة دقائق كبيرة يصل قطرها الى 10 µm تسقط مباشرة على الارض. هذه الجسيمات تعد مشكلة عندما تترسب على بعض الترب ودخولها الى المياه الجوفية. ومنها تتأثر النباتات بترسب مركبات الرصاص على أسطح أوراقها وسيقانها. ان التعرض الدائم للرصاص -وحتى للجرع القليلة منه- يؤدي إلى تراكم كميته وتجمعها في أنسجة الجسم فتصبح ذات تأثيرات ضارة.

**2. Ammonia (NH3)**

توجد ثلاث مصادر لإنبعاث غاز الامونيا الجوي هما: فضلات الحيوانات الناتجة من حضائر المواشي والدواب بسبب تحلل اليوريا من هذه الفضلات وحامض اليوريك الناتج من فضلات الدجاج والطيور. وعند تطور الزراعة واشتدادها بسبب استخدام سماد اليوريا تزداد كميات انبعاثات الامونيا. ولا ننسى ان مركبات الامونيوم متوافرة في أنسجة النبات فعندما يكون التركيز الجوي أقل من القيمة الحرجة المعروفة بنقطة التعويض Compensation point فان الامونيا يتشتت الى الجو من خلال الثغور، وبالعكس اذا زادت عن حد هذه النقطة فسيكون هناك ترسيب. لذا فان معدل الانبعاث يتأثر بحالة النبات والثغور والمناخ الأصغري. توجد هناك مصادر أخرى عديدة لغاز الامونيا مثل المصانع الصناعية للأسمدة.

**3. Mercury**

Mercury is an eurotoxic pollutant that is released by a variety of sources. Mercury exists in the atmosphere as Hg0(elemental mercury) and HgII (oxidized mercury). Mercury is emitted primarily in gaseous form as elemental mercury (Hg0). Hg0 is oxidized in the atmosphere to HgII, with a life time of∼1year. HgIIis highly water-soluble and is removed from the atmosphere by wet and dry deposition. HgII also partitions between the gas phase and aerosol.

**Secondary pollution**

هي تلك الملوثات التي تتكون فقط من تفاعل الملوثات الرئيسة خصوصاً الغازية منها مع بعض مركبات الهواء الأخرى مثل بخار الماء بوجود أشعة الشمس كمصدر للطاقة وتوافر الظروف الجوية المستقرة التي تؤدي إلى زيادة تركيز أكاسيد النتروجين والهيدروكابونات المنبعثة من وسائط النقل وبعض الصناعات. ومن أهم وأخطر هذه الملوثات هو الضباب الكيموضوئي Photochemical smog (عبارة عن محلول من غازات وجزيئات الهباء يحدث في المدن الكبيرة)، ومن أهم مركباته غاز الاوزون الذي يتشكل في هواء الطبقة القريبة من سطح الارض (الاوزون التروبوسفيري مادة مؤذية بالصحة، ذو رائحة كريهة ضارة بالعيون والجهاز التنفسي) الذي لا ينبعث بصورة مباشرة الى الغلاف الجوي.

**Measurement systems and air quality monitoring**

لإجل ضمان سلامة ونظافة الهواء المحيط؛ لابّد من قياس تراكيز مكوناته باستمرار سواء كان الهواء ملوثاً أم غير ملوث. فيوجد هناك أنواع من قياس تلوث الهواء:

**اولاً:** قياسات الهواء المحيط كقياس تراكيز الملوثات في الهواء لضمان التنفس العام، وجودة نوعية الهواء والحصول على معلومات عن طبيعة الملوثات في جو المنطقة، وهذا ما يسمى بمراقبة الهواء المحيط Ambient air monitoring.

**ثانياً:** قياسات التراكيز أو معدلات الأنبعاث من داخل مصادر التلوث قبل خروجها الهواء المحيط يسمى بإختبار المصدر Source testing. الغرض من هذه القياسات هو معرفة الكميات المنبعثة من الملوث ومدى التقيد بالمواصفات المعتمدة أو لقياس كفاءة عمل الأجهزة المستخدمة في معالجة الغازات العادمة.

**ثالثاً:** قياسات العناصر الانوائية مثل سرعة الرياح واتجاهاتها ومعدلات الانحدار الحراري وغيرها ضرورية لتحديد كيفية انتقال الملوثات من المصدر الى المستلم.

**معايير أخذ العينات الهوائية**

1. يوضع جامع العينات بعيداً عن السطوح والجدران والحواجز كالاشجار والنباتات وغالباً ما يوضع على ارتفاع 2-3 m فوق مستوى سطح الارض، على أن لا يكون موضوع قريباً من مصدر التلوث أو قريباً من مسارات الطرق.

2. يجب عمل مظلة للأجهزة إذا كانت ضرورية لحمايتها من الهطول، أو عمل سياج بسيط كبناء صغير لتوفير الحماية الكافية لها من الرياح الشديدة.

3. ان لا يؤثر أي عارض على تركيز الشوائب عند نقطة القياس، أو تداخل المصادر المحلية قرب الرياح القادمة نحو الموقع.

4. إمكانية الوصول الى الموقع بسهولة في جميع الأوقات والمواسم، وإن يكون آمن من الحيوانات الكبيرة إو التخريب.

5. المواقع الدائمية تتطلب تدفئة كافية وتوافر الطاقة الكهربائية للتكييف الجوي لكي نحصل على بيئة عمل ملائمة ومستقرة لعمل الاجهزة.

6. موقع أخذ العينة أو قياسها يجب أن يكون الهواء مماثلاً لهواء المنطقة المجاورة.

**Air pollution monitoring systems**

يقصد بها تحديد كمية الملوثات الهوائية من مصادرها المختلفة ودراسة العوامل الجوية التي تؤثر في انتشار هذه الملوثات، وبذلك تحدد تراكيزها في البقاع المختلفة من المنطقة الواقعة تحت المراقبة. وتساعد معرفة التركيز الجهات البيئية على اتخاذ القرار المناسب لضمان عدم وصول تركيز الملوثات الى حالة حرجة تؤدي الى مردودات خطرة على الناس.

ويفهم من مصطلح المراقبة على انه جمع عينات هوائية وتحليلها بكل وسائل القياس المتاحة سواء كانت أجهزة اتوماتيكية أو تقليدية. ويجري القياس أو التحليل بصورة مستمرة أو بين حين وآخر اعتماداً على الشائبة المعنية وسرعة تغييرها. والهدف من شبكات المراقبة:

1. تمييز مصادر التلوث المختلفة لاسيمّا تلك المسؤولة عن خصائص معينة في الهواء (أو حالة تلوث معينة).

2. التحذير من وجود حالة من التلوث الهوائي نوعاً ومقداراً.

3. تحديد اتجاه مسار الملوثات (اتجاه التلوث).

4. تستخدم كمؤشر لمستويات معينة من حالات التلوث.

**1. Stationary monitoring networks**

الهدف من تأسيس المحطات الثابتة لمراقبة نوعية الهواء الحقيقية داخل حدود الدولة الواحدة أو الحكومات المحلية، كذلك تحديد أثر المصادر الحديثة للملوثات لهذا تؤسس هذه المحطات قبل مدة أقلها سنة من إنشاء مصانع حديثة ليتم تحديد نوعية الهواء قبل الانشاء. واخيراً لها دور مهم في معرفة نزاعات الملوثات على المدى الطويل.

ولأجل إنتقاء موقع الشبكة يجب ان تتوافر البيانات الانوائية والطبوغرافية ونسب السكان فضلاً عن جرد الملوثات ونماذج التشتت الرياضية.

**2. Mobil monitoring networks**

تتم من خلال وضع أجهزة قياس التلوث على المركبات المتحركة كالطائرات والسيارات والهيلوكبترات وما شابه ذلك، وبما أن الانتقال الجوي والتحولات الكيميائية تحدث بين المصدر والمستلم فان فائدة المراقبة المتحركة تمكن في الحصول على البيانات اللازمة للمساعدة في فهم تكون وانتقال الضباب الكيموضوئي والترسيب الحمضي وتشتت الملوثات الغازية من مصدرها. ولا يفوتنا ان نذكر ان هذه المركبات تستطيع ان تتحرك إلى أماكن حدوث الترسبات الكيميائية الخطرة وحوادث المحطات الكيميائية والنووية والبراكين. الفائدة الاخرى من أنظمة المراقبة المتحركة هو قدرتها في الحصول على معلومات تخص نوعية الهواء في المنطقة المتوسطة (بين أجهزة مراقبة المصدر والأجهزة الثابتة المستقرة).

ومن محدداتها تشغيل الأجهزة الملائمة في بيئة المركبات المتحركة التي لا تُجهز ببيئة ذات درجة حرارة ثابتة نسبياً المطلوبة في تشغيل أجهزة نوعية الهواء، فضلاً عن تعرض الأجهزة الى تغيرات عمودية حادة في الضغط. معظم الأجهزة تُصمم لتعمل بوساطة التيار المتناوب AC مما يتطلب توفير كميات كبيرة من بطاريات التيار المباشر. واخيراً التغيرات الزمنية والمكانية للتراكيز تحدث بصورة بطيئة جداً فلا تسمح للاجهزة برصد التغيرات السريعة في التراكيز خلال تحرك مركبات المراقبة داخل وخارج الغمامة الملوثة.

**Air quality assurance**

يـعبر عن تقــييــم نوعـــية الهواء بــمعامـل تـلــوث الهواء Air pollution index الذي يعني قياس لظروف التشتت في الغلاف الجوي بالاعتماد على دالة المتغيرات البيئية، أو نهج يحوّل قيم المؤشرات المرتبطة بتلوث الهواء (تراكيز ملوثات عدة او مدى الرؤيا) إلى رقم مفرد أو مجموعة أرقام. تصمم برامج ضمان نوعية الهواء لأداء وظيفتين:

1. تقييم بيانات نوعية الهواء المتجمعة.

2. تحسين عملية تجميع البيانات.

هاتان الوظيفتين تشكلان دورة.

جريان الغاز في المداخن الصناعية الكبيرة ربما تكون مستقرة ومختلطة بصورة جيدة جداً عبر قطر المدخنة. ففي هذه الحالة أي (عينة مأخوذة عند أي زمن أو أي مكان في المدخنة) تتغير من نقطة الى نقطة أخرى ومن زمن الى زمن آخر. لذلك قياسات التجزئة الكثيرة يجب عملها مع أخذ المعدلات . فإذا كانت المدخنة متساوية المساحة يحسب المعدل بالمعادلة الآتية:

(6)

حيث c تركيز الملوث اللحظي المقاس من قبل الأجهزة، وA مساحة المدخنة وv سرعة الملوثات. أما إذا كانت المدخنة غير متساوية المساحة فإن الحسابات ستكون اكثر تعقيداً.

**مثال:** عند اختبار المصدر قسمت المدخنة الى أربعة مقاطع متساوية المساحة وتم قياس تراكيز الملوثات والسرعة عند كل مقطع كما موضح في الجدول أدناه:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| رقم المقطع | السرعة (m/s) | التركيز (µg/m3) |
| 1 | 10 | 500 |
| 2 | 12 | 600 |
| 3 | 14 | 650 |
| 4 | 15 | 675 |

احسب معدل التركيز للغاز الجاري في هذه المدخنة؟

الحل:

ولمعرفة نوعية الهواء المحيط تؤخذ قياسات تراكيزه بالأجهزة وبفترات زمنية منتظمة ثابتة ثم يتم إجراء بعض الاحصائيات التالية:

**1. Concentration rate**

يحسب معدل التراكيز اولاً ثم يقارن مع المقاييس الدولية والمحلية. ويتم بالمعادلة الآتية:

(7)

حيث t: زمن القياس. ويفضل قياس التراكيز بوساطة أجهزة سريعة الاستجابة، بعدها يمكن عمل المعدلات، كأن كل 15 دقيقة او كل ساعة او كل ستة ساعات

**2. Pollutants rose**

تقسم الدائرة الكاملة 360º إلى ستة عشر مقطعاً اتجاهياً، زاوية كل منه 22.5º. قياسات الملوثات الساعية للملوثات المأخوذة يعمل لها معدلات حسب اتجاه الرياح الهابة من كل مقطع

**3. Frequency distribution**

ويتم استنتاج المنحنى التكراري للتراكيز من تجزئة المدى الكامل للتراكيز المقاسة خلال سنة إلى مديات ثانوية، وتحسب عدد القيم المتكررة الواقعة خلال كل مدى ثانوي. ويعبر عن هذه الحسابات كنسب مئوية وذلك بتقسيم عدد التكرارات داخل كل مدى ثانوي على العدد الكلي وضربه في مئة.

س (HW): سجلت منظومة قياس ملوثات هوائية منصوبة على سطح مبنى في منطقة الوزيرية قياسات تراكيز غاز SO2 خلال ساعات نهار عمل يوم 5/7/2010:

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| الوقت (ساعة) | 09 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
| SO2 (ppm) | 0.03 | 0.032 | 0.008 | 0.011 | 0.012 | 0.017 |

أحسب معدل التركيز خلال مدة القياس؟ وما معدل انحراف القياسات عن معدلهم؟

**Air pollution meteorology**

أنظمة الطقس تحدد كيف تنتشر وتتحرك الملوثات الهوائية خلال طبقة التروبوسفير. فمسألة تلوث الهواء تتضمن ثلاثة أجزاء: مصدر التلوث وحركة او تشتت التلوث، ومستلم التلوث كما مبيّن في الشكل.



فتراكيز الغازات وجسيمات الهباء متأثرة بالظروف الجوية كالرياح ودرجات الحرارة والتغيرات العمودية لدرجات الحرارة والغيوم والرطوبة النسبية. بعد طرح الملوثات الغازية الى الجو المحيط فان هذه الظروف تؤدي دوراً هاماً في أسلوب كيفية انتقال الملوثات من جو المدينة مثلاً الى خارجها. فحالة التلوث الهوائي في أي منطقة يحكمها عاملان:

1. حجم الملوثات المنبعثة من مصادرها المختلفة.

2. سرعة انتقال الملوثات ومدى تخفيفها بالهواء النقي.

**Dynamic forces influenced air pollution**

**1. Pressure gradient force**

يتحرك الهواء نتيجة فرق الضغط خلال مسافة معينة الذي يتجه من الضغط العالي الى الواطئ.

**2. Apparent Coriolis force**

ليست حقيقية تبدو للراصد المثبت في الفضاء تقوم بتعجيل حركة الهواء نحو اليمين في نصف الكرة الشمالي، وتظهر عندما تدور الأرض تحت الهواء المتحرك.

**3. Friction force**

تظهر قرب السطح وتبطء حركة الرياح، وتتجه عكس اتجاه الرياح. والسطوح الأكثر خشونة هي الاكثر احتكاكاً مثل أسطح المدن والغابات، بينما تصبح ضعيفة فوق أسطح المياه والصحاري.

**4. Apparent central force**

تظهر نتيجة دوران الجسم حول المحور وتتجه نحو الخارج بعيدة عن محور الدوران.



Example:

Draw a diagram showing the forces and the gradient wind around an elevated low-pressure center in the Southern Hemisphere?

HW:Draw a diagram showing

the forces and resulting winds

around a surface low-pressure

center in the Southern Hemisphere?

**Local wind systems**

**1. Geostrophic wind**

تنشأ في الطبقات البعيدة عن سطح الأرض فوق الطبقة المتآخمة Boundary layer بين قوتي انحدار الضغط العمودية وكريولس، حيث يلغى تأثير الاحتكاك السطحي. تهب هذه الرياح على طول خطوط تساوي الضغط المستقيمة تقريباً.

**2. Gradient wind**

رياح تتواجد في طبقات الجو العليا وتجري بسرعة ثابتة تقريباً، تقع تحت تأثير قوى انحدار الضغط وكريولس والمركزية التي يجب أن تكون متزنة. وتتجه حول مراكز الضغط الواطئ والعالي.

**3. Friction wind**

تنشأ داخل الطبقة المتآخمة، تؤدي قوة الاحتكاك دوراً هاماً في انحراف الرياح عن مجراها لتكون بموازاة خطوط تساوي الضغط إذ تعمل زاوية معها.

**4. Surface wind**

رياح تتواجد عند الطبقة المتآخمة السطحية يتغير عادة اتجاهها وشدتها لعدة أسباب منها معدل الانحدار العمودي أو توزيع الحرارة عند البحار واليابسة أو الحركات الاضطرابية أو الاحتكاك مع سطح الارض.

**5. Periodical wind**

تنتج بسبب تغيرات في مناطق الضغط الواطئ والعالي عند فترات زمنية محددة تمتد خلال سنة أو أقل، مثل نسيم البر والبحر. سببها تغيرات في طبوغرافية سطح الارض، والتوزيع بين اليابسة والبحر ينتج عنه تسخين لمناطق مختلفة.

**6. Land and sea breezes**

عند المناطق الساحلية نتيجة الاختلاف في درجات الحرارة والضغط الجوي بين اليابسة والبحر الناشئ عن وصول الأشعة الشمسية. يحدث نسيم البحر في الصيف ونسيم البر في الشتاء.



**7. Valley and mountain breeze**

ينشأ عند سفوح الأودية، ففي أثناء الليل تهبط طبقة هوائية سطحية باردة كثيفة نحو قيعان الأودية على شكل نسيم الجبل. أما خلال ساعات النهار فالشمس تؤدي الى تمدد الهواء وارتفاعه نحو الاعلى على شـــكل نســيم وادي.



**8. Urban-rural circulation**

دورة هوائية تحدث فوق المدن الحضرية وأحد أطرافها بسبب خسونتها اكثر من المناطق المحيطة بها، جريانها نحو خارج المدينة تسمى بجزيرة الحضر الحرارية Urban heat island.

**9. Flow around structures**

عندما تصطدم الرياح في مسارها بالاجسام (أو التراكيب) المعزولة كالمباني والأشجار وغيرها فإنها في العادة تضطرب بقوة ويتكون أثرWake جريان مضطرب بالقرب من أو خلف هذه الاجسام.



**Wind rose**

عبارة عن مخطط يبيّن النسبة المئوية للوقت الذي تهب فيه الرياح من اتجاهات مختلفة عند موقع معين خلال مدة زمنية طويلة. فمن الممتع أن نعرف عند جمع بيانات الرياح واتجاهها قبل وصولها المحطة أفضل من معرفة اين ستتجه، الذي يحدد اتجاه انتقال الملوثات من مصدرهم. ومن المحتمل ان تراكيز الملوثات من مصادرها تكون أكثر حساسية إلى اتجاه الرياح من أي متغير انوائي آخر. وتظهر الأهمية العظمى لوردة الريح في تعيين الرياح السائدة Prevailing wind التي لها أهمية كبيرة في الدراسات البيئية لاسيمّا المتعلقة باختيار المواقع الصناعية أو السكنية.

**Wind speed profile**

تغاير سرعة الرياح الافقية واتجاهها مع الارتفاع مهم في تخمّين تشتت الملوثات الجوية بعد مغادرتها فوهات المداخن. بشكل عام سرعة الرياح تزداد مع الارتفاع ولكن تعيق العوارض الارضية (مثل الاشجار والابنية والخ) حركة الرياح وتبطئها. فتؤدي خشونة السطح دوراً مهماً في توزيع الرياح عمودياّ ويمكن تخمين سرعة الرياح من العلاقة اللوغاريتمية الآتية عند الظروف المتعادلة:

(8)

حيث ان z0: طول خشونة السطحSurface roughness length وzd: طول الازاحة الصفرية Zero-displacement length وU\* سرعة الرياح الاحتكاكيةFriction velocity وκ: ثابت فان كرمان Von kármán وقيمته تتراوح بين 0.35 و0.4. أما عند الظروف الغير متعادلة، الظروف المستقرة وغير المستقرة، يضاف لها عامل تصحيح الاستقرارية mΨ فيصبح

ويمكن حساب سرعة الرياح بالاعتماد على القانون الهندسي الأسي للرياح:

(9)

حيث إن Ur: سرعة الرياح عند ارتفاع مرجعي، قيمة الأس α متغيرة حسب خشونة السطح والاستقرارية الجوية حيث تبلغ عند الظروف المتعادلة للاسطح الغير خشنة 1/7 بينما تزداد الى 0.25 عند المناطق الحضرية.

**مثال**: جد سـرعة الرياح عند قمة فوهة مدخنة محطة طــاقة كهربائية ارتفاعـها 80 m واقعة في منطقة احراش متوسطة الكثافة، =0.26α، إذ بلغت سرعة الرياح2.6 m/s عند ارتفاع 5 m؟

الحـل:

*سؤال (*HW*):* *سجلت سرعة الرياح في جو مدينة بغداد* 5.8 m/s *من قبل محطة قسم علوم الجو المنصوبة على سطح مبنى ارتفاعه* 22 m*،* *كـــــم تبلغ ســرعة الرياح عند ارتــفاع مدخــــنة* 60 m*، اذا علمت ان قيم الأس* 0.3*؟*

**Atmospheric Turbulence**

حركة الرياح العشوائية جداًEddies تتولد من جريان الهواء فوق عناصر الخشونة (لاحظ شكل) والاستقرار الحراري للجو، إذ تبلغ ذروة الاضطراب في وقت الظهر، وأدنى قيمه في وقت الليل الدامس، ويعدّ عاملاً رئيساً في مزج الهواء مع الغمامات الملوثة.



Streamlines are everywhere parallel to the mean flow

In laminar flow, the fluid particles follow the streamlines exactly, as shown by the linear dye trace in the laminar region. In turbulent flow, eddies of many sizes are superimposed onto the mean flow. When dye enters the turbulent region, it traces a path dictated by both the mean flow (streamlines) and the eddies. Larger eddies carry the dye laterally across streamlines. Smaller eddies create smaller scale stirring that causes the dye to spread (diffuse).

فالدوامات على جانبي الغمامة الحارة تتسبب بفعل الانحدار الافقي للكثافة. وتنتج بحركة الرياح العابرة فوق الاجسام كالمباني والاشجار والعوائق الاخرى كنتيجة للاضطراب الميكانيكي أو بوساطة قوى الطفو الناتجة عن تسخين الهواء قرب السطح بفعل سطوع الشمس كنتيجة للاضطراب الحراري. لابدّ من الاشارة إلى أن حجم ومقياس الدوامات المتسببة بفعل الاضطراب الحراري هي أوسع من تلك المتسببة بفعل الاضطراب الميكانيكي.

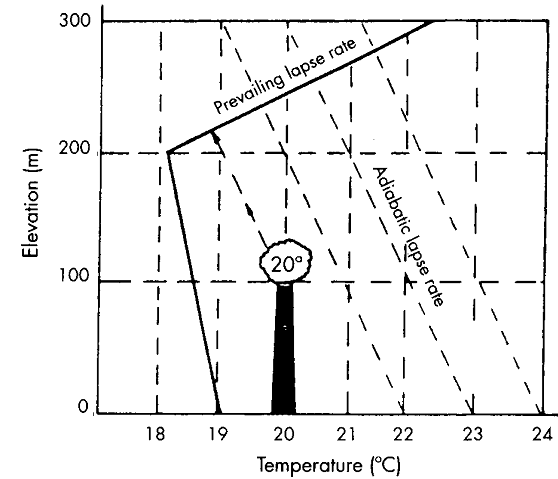
**Dry adiabatic lapse rate**

*انتقال الملوثات لمسافة عشرات الكيلومترات في طبقة التروبوسفير تتأثر كثيراً بالتغيرات العمودية لدرجات الحرارة. ففي الغلاف الجوي الجاف الحاوي على بخار ماء من دون ضباب او قطيرات مائية سائلة او غيوم يكون تناقص درجة الحرارة مع الارتفاع الناتج بفعل هذه الازاحة يسمى بمعدل الانحدار الاديباتيكي الجاف* DALR ().

(10)

*الأشارة السالبة تعني تناقص درجة الحرارة مع الارتفاع.*

***مثال:*** *مدخنة ارتفاعها* 100 m *تبعث غمامة ملوثة بدرجة حرارة* 20 ºC *وإن درجة الحرارة عند سطح الارض* 18 ºC*، معدل انحدار الهواء المحيط يبـلغ* -4.5 ºC/km *لغاية ارتـــــــفاع* 200 m. *بعد هذا الارتفاع ينقلب معدل الانحدار ليصبح* 20 ºC/km*+.* *افترض ان الظروف اديباتيكية تماماً، ما هو الارتفاع الذي ستصعده وكيف ستكون؟*

*الحـــــــــل: يبيّن الشكل أدناه معدلات انحدارارت مختلفة مع درجات الحرارة. إذ يفترض أن الغمامة تبرد عند الانحدار الاديباتيكي الجاف* 10 ºC/km*. تحت الارتفاع* 200 m *يكون الجو تحت الاديباتيك فيكون الجو المحيط أبرد من الغمامة لذلك ستصعد* *وتبرد. وعند الارتفاع* 225 m *تبرد الغمامة إلى درجة حرارة* 18.7 ºC *ولكن الهواء المحيط سيكون عند هذه درجة الحرارة والغمامة تتوقف الصعود. بعد* 225 m *ستكون مخروطه قليلاً ولا تنفذ الارتفاع* 225 m*.*

WH: If the observed temperature cools 14 °C between the ground and 2 km above the ground, what is the environmental lapse rate? Is it larger or smaller than the dry adiabatic lapse rate?

**Atmospheric Stability**

**Stability** is a measure of whether pollutants emitted will convectively rise and disperse or build up in concentration near the surface.

*ميلان الجو لممانعة أو تعزيز الحركة العمودية، أو توقف أو زيادة وجود الاضطراب الجوي.*

In Figure below, when a parcel of air that is unsaturated is displaced vertically, it rises, expands, and cools dry adiabatically (along the dashed line). If the environmental temperature profile

is stable (right thick line), the rising parcel is cooler and more dense than is the air in the environment around it at every altitude. As a result of its lack of buoyancy, the parcel sinks, compresses, and warms until its temperature equals that of the air around it. This is **stable air**. Stable air is associated with near-surface pollution buildup because pollutants perturbed vertically in stable air cannot rise and disperse.



In **unstable air**, an unsaturated parcel that is perturbed vertically continues to accelerate in the direction of the perturbation. Unstable air is associated with near surface pollutant cleansing. If the environmental temperature profile is unstable (left thick line), a parcel rising adiabatically (along the dashed line) is warmer and less dense than is the environment around it at every altitude, and the parcel continues to accelerate. The parcel stops accelerating only when it encounters air with the same temperature as the parcel. This occurs when the parcel reaches a layer with a new environmental lapse rate.

In **neutral air** (when the dry and environmental lapse rates are equal), an unsaturated parcel that is perturbed vertically neither accelerates nor decelerates, but continues along the direction of its initial perturbation at a constant velocity. Neutral air results in pollution dilution slower than in unstable air but faster than in stable air.

Whether unsaturated air is stable or unstable can be determined by comparing the dry adiabatic lapse rate with the environmental lapse rate. Symbolically, the stability criteria are



(11)

*س: وضّح معدل الانحدار البـيئي في الغـلاف الجوي ثم اشتق قيمته البالغة* 9.8 ºC/km*؟*

WH: Characterize the

stability of each of the two layers in Figure with one

of the stability criteria given

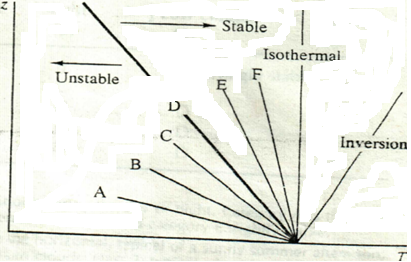
in Equation 6?

**Atmospheric stability and temperature profile**

*تصنف استقرارية الجو بدرجة من الدقة إلى ستة أصناف في الارتفاعات الواطئة*:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| التصنيفات العامة | التصنيفات الدقيقة | الرمز |
| غير مستقر | غير مستقر جداً | A |
| غير متوسط متوسط | B |
| غير مستقر قليلاً | C |
| متعادل | متعادل | D |
| مستقر | مستقر متوسط | E |
| مستقر جداً | F |

*توزيع درجات الحرارة مع الارتفاع يسمى بمعدل الانحدار البيئي الذي يستخدم لتحديد الاجواء المستقرة وغير المستقرة. فترسم معدلات الانحدار من* A *الى* F *كما في الشكل أدناه. الجو الذي له معدل انحدار يناظر الى الخط* D *يسمى بالجو المتعادل* Neutral atmosphere *جميع خطوط معدلات الانحدار يسار الخط* D *تسمى أجواء غير مستقرة وتسمى الخطوط* A *و*B *و*C *بمعدلات الأنحدار فوق الكاظم، أما الخطان* E *و*F *الواقعان يمين الخط* D *فيكونان للاجواء المستقرة ويسمى بمعدلات الانحدار تحت الكاظم* Subadiabatic lapse rate. *وفي حالة ثبوت درجة الحرارة مع الارتفاع فان الجو يسمى بالثبوت الحراري* Isothermal *وغالباً ما يكون الجو مستقراً.*

**

1. ♣ المقصود بمستوى الاحتمال هو أعلى تركيز للعنصر الملوث يمكن تحمله من قبل الانسان خلال مدة تعرض ساعة. [↑](#footnote-ref-1)