البناء الجوى: (Atmospheric Structure)

المجال الجوى والذى يمتد حتى حوالى ٥٠٠ كيلو متر فوق سطح الأرض، يمكن تقسيمه إلى أربع مناطق رئيسية، والتى تختلف كثيراً فى درجات الحرارة حتى فى خلال كل منطقة. بعض الخواص الهامة لمعظم المناطق الجوية الأربعة هى:-

* التربوسفير **(Troposphere)**: وهى الغلاف الجوى السفلى (حيث تتناقص درجة الحرارة بالارتفاع.
* الاستراتوسفير **(Stratosphere)**: هى طبقة الجو على ارتفاع بين ١٥ — ٦٠ كيلو متر فوق الغلاف الجوى (التروبوسفير) ودون الأوسط (الميزوسفير).
* الميزوسفير **(Mesosphere)**: وهى طبقة الغلاف الجوى المتوسط بين الاستراتوسفير والأيونوسفير.
* الثيرموسفير **(Thermosphere)**: الغلاف الحرارى حيث ترتفع درجة الحرارة بالارتفاع (بين ٨٥ إلى ٦٥٠ كيلو كتر)

الجدول (٢) خواص المناطق الرئيسية للبناء الجوى:

اسم المنطقة	الارتفاع فوق سطح الأرض بالكيلومتر	مجال درجة الحرارة (درجة مئوية)	المواد الكيماوية الرئيسية الموجودة
التروبوسفير	صفر — ١١	١٥ إلى — ٥٦ م	H_2O, CO_2, N_2, O_2
الاستراتوسفير	١١ — ٥٠	- ٥٦ إلى ٢ م	أوزون (O_3)
الميزوسفير	٥٠ — ٨٥	- ٢ إلى ٩٢	NO , O_2
ثيرموسفير	٨٥ — ٥٠٠	- ٩٢ إلى ١٢٠٠	NO^+, O^+, O_2^+

أ — التروبوسفير:

التروبوسفير هى المنطقة الأقرب إلى سطح الأرض وتمتد حتى ارتفاع ١١ كيلو متر. الحد العلوى يمكن أن يتغير بعد ه كيلو مترات طبقا لدرجة الحرارة، طبيعة سطح الأرض وبعض العوامل الأخرى. يشكل التروبوسفير حوالى أكثر من ٧٠٪ من الكتلة الجوية. مكونات الهواء فى هذه المنطقة يظل ثابت إلى حد كبير فى عدم وجود أى ملوثات مؤثرة فى الهواء الجوى. وهذا يعود غالباً للاضطراب والدوران المستمر للكتل الهوائية نتيجة

مع تحيات د. سلام حسين الهلالي salamalhelali@yahoo.com

تـيارات الحمـل الـناتجة عـن معـدلات الـتفاوت فى التسخين والتبريد بين خط الاستواء والقطـبين. كثافة الهواء فى هذه المنطقة تتناقص باستطراد مع زيادة الارتفاع. التروبوسفير يحـتوى علـى معظم الماء، السحاب، الأجسام الصغيرة فى الجو. درجة حرارة الهواء فى التوربوسـفير تـنخفض مـع زيادة الارتفاع عن سطح الأرض من درجة حرارة سطح الأرض إلى درجة حرارة – ٥٦م. من الجدول (٢) يمكن ملاحظة أن منحنى درجة الحرارة – الارتفـاع يـتغير ميله (أى أن درجة الحرارة تبدأ فى الزيادة مع زيادة الارتفاع) فجأة فى الطـبقة الضيقة الانتقالية أعلا التروبوسفير والتى تعرف بالتربوبوز (Tropopause) والتى عـادة تكـون علـى إرتفـاع مـن ١٠ إلى ٢٠ كيلو متر. درجة حرارة منطقة التروبوبوز تكون عند أدناها عند خط الاستواء.

تغير درجة الحرارة مع الارتفاع يسمى معدل الهبوط (Lapse Rate). إنخفاض درجة الحـــرارة مـــع زيـــادة الارتفـــاع فـــى التروبوســـفير يـــسمى معـــدل الهـــبوط المـــوجب (Positive lapse rate). الانتقال من معدل الهبوط الموجب إلى معدل الهبوط السالب عند علامـات التربوبـوز (Tropopause) (أى الغـلاف البينـى أو منطقة الركود بين الغلافين العلـوى والـسفلى حـيث لا تتأثـر درجـة الحـرارة بالارتفـاع) وهو ما يسمى الانقلاب فى درجة الحرارة (Temp Inversion).

ب – الاستراتوسفير:

المـنطقة فـوق التروبوبـوز تـسمى الاستراتوسـفير. فى هذه المنطقة يوضح منحنى درجة الحـرارة – الارتفـاع الميل نحو الدفئ مع زيادة الارتفاع أى يبين سلبية فى معدل الهبوط (Negative lapse rate). درجة الحرارة فى منطقة الاستراتوسفير هذه تستمر فى الزيادة مـع الارتفـاع، حتـى ٥٠ كـيلو متر، حيث تصل درجة الحرارة إلى أقصاها عند –٢م . هـذا المـيل إلى الدفـئ فـى الاستراتوسفير يعود إلى امتصاص أشعة الشمس فوق البنفسجية بواسـطة الأوزون، والـذى تركيزه فى هذه المنطقة ما بين ١ إلى ٥ جزء فى المليون بالنسبة للحجـم وهـذا هـو المـسئول عن ظاهرة معدل الهبوط السلبى. الهواء فى هذه المنطقة جاف جداً والسحب وتيارات الحمل من التروبوسفير طبيعى ألا تخترق نحوها.

وجـود الأوزون فـى الاستراتوزسـفير يعمـل كـدرع حمايـة وذلـك لحمايـة الحياة على الأرض مـن الـتأثيرات الـضارة لاشـعاعات الـشمس فوق البنفسجية. هذا بالإضافة إلى أنه

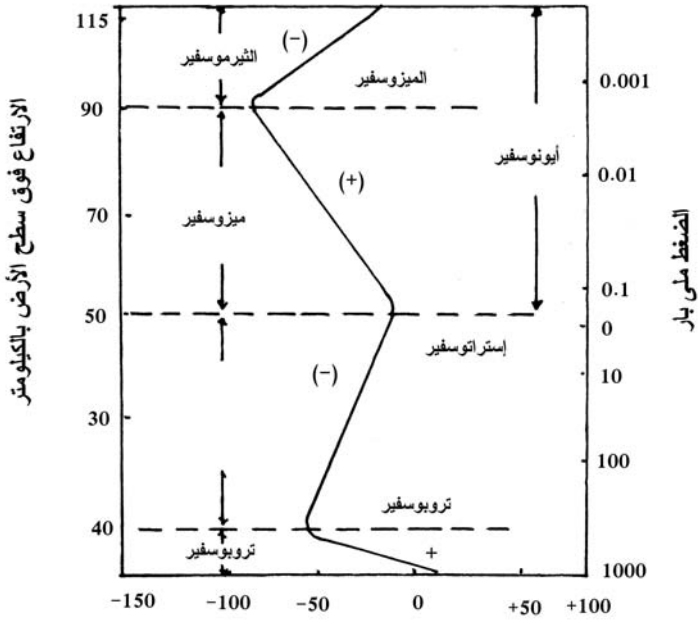
مع تحيات د. سلام حسين الهلالي salamalhelali@yahoo.com

يعمـل كمـصدر حـرارى لفـصل الاستراتوسـفير الـساكن عن التروبوسفير المضطرب. بسبب الطبـيعة الـساكنة للاستراتوسـفير فـإن الجـزئيات والجـسيمات فى المنطقة لها زمن إقامة طـويل. وهـذا لـه مغـزى وهام من وجهة نظر التلوث الجوى ذلك لأن أى تلوث يصل إلى هـذه المـنطقة قـد يسبب مخاطر كونية خطيرة، مقارنة لتأثيرها فى التروبوسفير والذى هو أكثر كثافة وأكثر إضطراب.

المـنطقة التـى فـوق الاستراتوسـفير مباشـرة (فـوق ٥٠ كـم ارتفاع) تسمى الاستراتوبوز (Stratopause) وهـى طـبقة الانـتقال الثانـية والتـى هى دافئة نسبياً. وهى ليست باردة أكثر من سطح الأرض. وهى تعكس الموجات الصوتية من الأرض ثانياً إلى السطح.

جـ- الميزوسفير: (Mesosphere):

الميزوسفير هى المنطقة فوق الاستراتوسفير ويمتد إلى ارتفاع ٨٥ كيلو متر.



شكل (١) يوضح معظم المناطق الجوية مع ظروف الضغط ودرجة الحرارة
(+) معدل الهبوط الموجب فى درجة الحرارة مع الارتفاع عن سطح الأرض
(-) معدل الهبوط السالب فى درجة الحرارة مع الارتفاع عن سطح الأرض

مع تحيات د. سلام حسين الهلالي salamalhelali@yahoo.com

فـى هـذه المـنطقة تعـود درجة الحرارة ثانيا إلى الانخفاض مع زيادة الارتفاع أى أنها تمـثل معـدل التغير الموجب (+ Ve lapse Rate) فى درجة الحرارة بالارتفاع عن سطح الأرض. وهـذا يـرجع إلى المـستويات المنخفضة نسبياً فى الأوزون والمكونات الأخرى التى يمكـنها امتـصاص الاشـعاعات فـوق البنفـسجية مـن الـشمس. درجـة الحـرارة عند أعلا الميزوسـفير تـصل إلى حوالى −٩٢م ، فوق الميزوسفير مباشرة توجد طبقة انتقالية أخرى تـسمى الميـزوبوز والتـى هـى الطبقة ذات أدنى أو أقل درجة حرارة فى الجو (أى حوالى −١٠٠م).

د− الثيرموسفير:

الثيرموسـفير هـى المـنطقة التـى فـوق الميزوسـفير مباشرة، حيث ترتفع درجة الحرارة بسرعة عالية مع زيادة الارتفاع، حيث تمثل معدل الهبوط السالب فى درجة الحرارة مع الارتفـاع عـن سـطح الأرض. أقـصى درجـة حـرارة تـوجد فـى هـذه المـنطقة هـى حـوالى ١٢٠٠م. هـذه المـنطقة تتـصف بانخفـاض الـضغط والكـثافة المنخفضة. الغازات الجوية الموجـودة فـى هـذه المـنطقة هى الاكسجين وأكاسيد النيتروجين حيث تمتص الاشعاعات الشمسية فى المنطقة الفوق بنفسجية البعيدة حيث يحدث التأين.

المـنطقة فـوق الاستراتوسـفير عـند الارتفـاع مـن ٥٠ كيلو متر إلى ١٠٠ كيلو متر تسمى الأيونوسفير (Ionosphere) فى هذه المنطقة توجد الأيونات الموجبة مثل NO^+, O^+, O_2^+ .. الخ. والاليكترونات بمستويات عالية. هذه العناصر ذات الشحنة تقاوم لفترة طويلة من الـوقت، بـدون حـدوث تعـادل متبادل، بسبب ظروف النقاء العاليه الموجودة فى المنطقة التروبوسفير، الاستراتوسفير والميزوسفير تكون ذات مكونات واحدة تقريبا. من وجهة نظر تلوث الهواء الجوى، فإن التروبوسفير له أهمية خاصة.

الإتزان الاشعاعى للأرض: (Radiation balnce of the Earth)

الأرض تـستقبل باسـتمرار الطاقـة مـن الشمس، حيث يمتص جزء منها، بينما الباقى يعـود ثانـياً إلى الفـضاء. الأرض تحافظ على إتزانها الحرارى خلال حدود ضيقة، بسبب آلية الانتقال الحرارى المعقدة. لذلك فإن أقصى ظروف مناخية تظل مستمرة للمساعدة فى الحياة.

مع تحيات د. سلام حسين الهلالي salamalhelali@yahoo.com

الشمس تشع الطاقة، مثل الجسم الأسود عند درجة حرارة ٦٠٠٠°م. من بين الاشعاعات الشمسية التى تصل إلى الأرض، ٩٢٪ يتكون من اشعاعات فى المجال ٣١٥ إلى ١٤٠٠ نانوميتر. ٤٥٪ من هذه يكون فى المجال المرئى (٤٠٠ إلى ٧٠٠ نانوميتر) الأرض تمتص إساساً الاشعاعات فى المجال المرئى وتبعث الاشعاع فى المجال تحت الحمراء (٢–٤٠ ميكرون، مع أقصى عند ١ ميكرون).

كمية الطاقة الشمسية فى وحدة الزمن المارة خلال وحدة المساحة بزاوية قائمة بالنسبة لاتجاه الشعاع الشمسى مقاسا خارج جو الأرض تقريبا، يسمى ثابت الشمس (Solar constant). كمية معدل تدفق الشمس (Solar flux) "S" التى تصل إلى الجو العلوى للأرض تقدر بحوالى ١٤٠٠ وات/ متر المربع فى الدقيقة. المكافئ الحرارى لأشعة الشمس التى تصل إلى الأرض تقدر بـ ٢,٦٨ X ١٠^{٢٤} جول فى العام. من بين هذه الطاقة ٥٠٪ ينعكس قبل وصوله لسطح الأرض، ١٥٪ تنعكس بواسطة سطح الأرض، ٥,٢٪ تمتص بواسطة التربة، ٢٧,٨٪ تستخدم فى تسخين وتبخير الماء والباقى ١,٩ يمتص بواسطة النباتات الأرضية والبحرية. الانتقال الحرارى يلعب دور هام وحيوى فى إستمرار الإتزان الاشعاعى للأرض، ويتم ذلك خلال آليات مختلفة كالآتى:

(١) توصيل الطاقة خلال تفاعل الذرات والجزئيات وأنواع أخرى.

(٢) الحمل الحرارى للطاقة خلال دوران الكتل الهوائية.

(٣) اشعاع الطاقة من الأرض فى منطقة الأشعة الحمراء (٢ إلى ٤٠ ميكرون).

(٤) اعادة امتصاص معظم الإشعاعات تحت الحمراء الخارجة (٢ إلى ٤٠ ميكرون) ببخار الماء (٤–٨ ميكرون)، CO_2 (١٢ إلى ١٦,٣ ميكرون) وغازات أخرى مثل CH_4 وإعادة إنبعاث جزء من هذا الاشعاع إلى سطح الأرض

بالإضافة إلى أن الجسيمات الصغيرة فى الجو، والتى تنطلق بالقوى الطبيعية (مثل الرياح) البراكين، رذاذ البحر) أو بواسطة الأنشطة بفعل الإنسان (مثل الزراعة والصناعة والتى تطلق الغبار والأدخنة) وكذلك تبعث تأثير تسخين أو تبريد، طبقاً لطبيعة الجسيمات التى قد تنعكس، تنتشر أو تمتص إشعاعات.

جزء الإشعاع الشمسى الساقط الذى ينعكس وينتشر ثابتاً فى الفضاء يسمى البيدو "**Albedo**" وهو يعنى قدرة سطح الأرض على عكس الاشعاع الساقط عليه. إزالة الغابات

مع تحيات د. سلام حسين الهلالي salamalhelali@yahoo.com

ومـا يترتـب علـيه من تعريه ونحت للتربة، العمليات الصناعية والأنشطة الأخرى المثيلة تؤثر كذلك الإتزان الاشعاعى للأرض وذلك بتغيير الألبيدو.

المواد الكيماوية والجسيمات الموجودة فى الجو:

مختلف المواد الكيماوية الموجودة فى الجو تم تلخيصها فى الجدول.

الأيـونات: المـنطقة مـن الجـو التـى على ارتفاع من ٥٠ كيلو متر حتى ١٠٠ كيلو متر تـسمى الأيونوسفير، ذلك لوجود مستويات عالية من الاليكترونات والأيونات الموجبة مثل NO^+, O^+, O_2^+ .. الخ فـى هـذه المنطقة لفترة زمنية كبيرة. الإشعاعات الفوق بنفسجية مـن الـشمس هـى غالـبا المسئولة عن تكون المواد الأيونية فى الجو. أثناء فترة الليل، عند عـدم وجـود الأشـعة فـوق البنفـسجية، فـإن الأيـونات الموجـبة تمـيل إلى الاتحـاد مـع الالـيكترونات الحـرة، حـيث تنـتج المـواد المتعادلة التى انبعثت منها أصلا. تحدث هذه العملية بسرعة أكثر فى المناطق السفلى للأيونوسفير حيث تركيز هذه المواد مرتفع نسبيا.

*** الشق الكيماوى: (Radicals):**

بخـلاف الأيونات، فإن الجو يتكون كذلك من عديد من الشق الكيماوى عالى النشاط، الـناتج عـن الـتفاعلات الكـيماوية الـضوئية (Photo chemical)، مـثل HCO , NO_2 , ROO , SO_2 , CH_3 , HO. الـشق الحـر الـذى يمكـن أن يكـون عضوى أو غير عضوى يـشمل ذات أو مجمـوعات مـن الذرات ذات اليكترونات الضعيفة ذات نصف عمر قصير. نظـرا لنـشاطها العالى، فإنها تتفاعل مع المواد الكيماوية أخرى المتاحة، وتنتشر تفاعلات التسلـسل لحـين حـدوث الـنهاية للتسلـسل بـسبب تـدمير واحـد مـن الـشق الحـر فـى التسلـسل، بـأى من الآليات المختلفة الممكنة. الشق الحامضى يلعب دور واضح فى تكون الدخان والرماد (Smog) الكيمائى الضوئى (Photo chemical Smog).

*** الجسيمات: (Particles):**

تـوجد أنـواع مخـتلفة مـن الجـسيمات فـى الجو بأحجام مختلفة ما بين ٠,١ إلى ١٠ ميكـرون. حتـى أن الهـواء النقى قد يحتوى على عدة مئات من الجسيمات فى السنتميتر المكعـب. الجـسيمات ذات الأبعـاد والـرغوية تـسمى رزاز أو ضـباب (Aerosols). كلمة الجـسيمات (Particulates) تـستخدم عـادة لوصـف الجسيمات الموجودة فى الضباب أو الـرزاز. الـرزاز أو الـضباب أو مـا يسمى الإيروسولات ذات الأساسى الطبيعى ذات أبعاد

مع تحيات د. سلام حسين الهلالي salamalhelali@yahoo.com

أصغر من ٠,٢ ميكرون تسمى جسيمات (Aitkin). الجسيمات المختلفة الموجودة فى الطبيعة تشمل الأتربة، الضباب، رماد البراكين والبكتريا. الأتربة، الضباب، الدخان، الرزاز والغمام قد ينتج كذلك من أنشطة مثل الأنشطة بفعل الإنسان. الجسيمات الغير عضوية مثل أكسيد الحديد، أكسيد الكالسيوم..الخ، قد ينتج من احتراق الفحم والعمليات الميتاليرجيه. جسيمات الرصاص تنتج من احتراق وقود السيارات المحتوى على الرصاص. ضباب الرزاز ينتج من أكسدة SO_2 إلى SO_3 والذى فى وجود بخار الماء يكون نقاط من H_2SO_4.

جسيمات المواد العضوية تنبعث من عادم السيارات، حرق الوقود وتبخير المادة العضوية من الزراعات. جسيمات عضوية معينة تحتوى على مواد عضوية مسرطنة Polyacrylic Aromatic Hydrocarbons – وهذه تكون نتيجة التحلل الحرارى للبرافينات العالية الموجودة فى الوقود وبعض المواد النباتية.

الجسيمات الجوية قد تدخل الجهاز التنفسى حيث تسبب مشاكل صحية. إزالة الجسيمات الضارة من الانبعاثات الغازية تعتبر خطوة هامة فى حماية الهواء من التلوث.

الحجم والخواص الكيماوية للجسيمات فى الجو أهم من تركيزها. فالجسيمات فى المجال من ٠,١ إلى ١ ميكرون تقوم بتأثيرات هامة متعددة فى الجو كالآتى:

(١) فهى تقوم بدور هام فى المحافظة على الإتزان الاشعاعى والإتزان الحرارى للأرض.

(٢) توفير النواه لتكثيف بخار الماء

(٣) مسئوله عن تكون الضباب والسحب.

(٤) قد تسبب تفاعلات غير متجانسة للمجال الغازى. فالجسيمات قد تمتص الغازات وتعمل كعامل وسيط لبعض التفاعلات. فمثلا، تحلل الأوزون يتم بسطح صلب كعامل وسيط.

(٥) الجسيمات تمتص وتتلف الشق الحر، لذلك تقلل من تفاعلات الشق الحر المتسلسلة

مع تحيات د. سلام حسين الهلالي salamalhelali@yahoo.com

(٦) امتصاص الغازات على بعض الأسطح الصلبة قد يغير مجال الامتصاص الطيفى للغاز من أشعة الشمس. فمثلاً، الأكسجين الممتص على جسيمات الكربون قد يمتص أشعة الشمس بقوة أكبر عن ما سيفعله الاكسجين الحر.

(٧) الجسيمات تساعد فى عدة أنواع من التفاعلات فى الجو كالآتى:

* المساعده فى اكسدة SO_2 إلى SO_3 بواسطة الاكسجين أو الأوزن فى النقاط (Droplets) المائية
* تفاعلات التعادل ما بين نقاط حامض الكبريتيك مع تراب الحجر الجيرى.
* التفاعل بين O_3 (الأوزون) أو NO_2 مع جسيمات الملح فى نقاط الماء.
* تفاعلات الكيمياء الضوئية شاملة الغبار والرزاز.

التفاعلات فى الجو: Reactions in the Atmosphere

مختلف التفاعلات الكيماوية والكيماوية الضوئية (Photochemical) التى تحدث فى الجو، تتوقف غالبا على درجة الحرارة، المكونات ورطوبة وكثافة أشعة الشمس. لذلك فإن أقصى قدر من الأنواع الكيماوية فى الفضاء يتوقف على هذه المعايير. التفاعلات الكيماوية الضوئية تحدث فى الجو بواسطة امتصاص الاشعاعات الشمسية فى المجال فوق البنفسجى. إمتصاص الفوتونات (Photons) (الفوتون هو وحدة الكم الضوئى)، بأنواع الكيماويات ينتج عنه جزئيات منشطة كهروكيميائيا، والتى قد تسبب تفاعلات معينة والتى من المستحيل حدوثها فى الظروف المعملية الحالية، عدا فى حالة درجات الحرارة المرتفعة وفى وجود عامل وسيط كيميائى. الجزئيات التى نشطت اليكترونيا الناتج عن امتصاص الفوتون قد يحدث لها أى من التغيرات التالية:

(أ)– التفاعل مع الجزئيات الأخرى عند التصادم.

(ب)– البلمره (Polymerization).

(ج)– إعادة الترتيب الداخلى للجزئ.

(د)– التحلل.

(هـ)– عدم النشاط وتوقفه أو عدم الإثارة بفعل امتصاص الاشعاع من مصدر آخر (Fluorescence – التألق).

مع تحيات د. سلام حسين الهلالي salamalhelali@yahoo.com

أى من المتغيرات الأربع الأولى المذكورة سابقا يمكن أن تعمل كخطوة تحفيز كيماوية أو عملية أولية. الخطوات الثلاث فى عملية التفاعل الكلى الكيماوى الضوئى هى:

(١) امتصاص الاشعاع (٢) تفاعلات أولية (٣) تفاعلية ثانية.

أنواع المواد الكيماوية المختلفة التى يمكن أن يحدث لها تفاعل كيماوى ضوئى فى الجو تشمل NO_2 ، SO_2 ، HNO_3 ، N_2 ، الكيتونات (Ketomes) ، H_2O_2 ، فوق الأكاسي العضوية (Organic Peroxides) ، وعدد من المركبات العضوية الأخرى والرزاز (Aerosols) مثل الأكاسيد المعدنية.

التفاعلات التى تشمل أكاسيد النيتروجين:

أكاسيد النيتروجين الموجوده فى الجو هى N_2O ، NO ، NO_2 ، أكسيد النيتروز (N_2O) ينتج أساسا من العمليات الميكروبيولوجية المختلفة بينما NO ، NO_2 تنتج من احتراق الوقود الحفرى وبعض الأنشطة الأخرى بفعل الإنسان. كلا من NO ، NO_2 يعبر عنهما NO_X ، والذى هو مكون هام للهواء الملوث.

فى الجو، يحدث تحلل كيماوى ضوئى لأكسيد النيتروز (N_2O) إلى NO والذى بالتالى يستنفذ طبقة الحماية من الأوزون

$$N_2O + UV \longrightarrow N_2 + O$$

$$N_2O + O \longrightarrow NO + NO$$

$$NO + O_3 \longrightarrow NO_2 + O_2$$

أهم تفاعل كيماوى ضوئى أولى لتحلل NO_2 هو

$$NO_2 + UV \longrightarrow NO + O$$

NO الذى يتكون يمكن أن يتأكسد بفعل الأوزون، أو ببطء أكبر بالأكسجين وهذا يؤدى إلى تفاعل متسلسل حلقى (Cyclic Chain Reaction).

التسلسل يمكن أن ينكسر فقط عند تحول NO_2 بالكامل إلى HNO_3 بالتميؤ والأكسدة الوسيطة فى وجود الرزاز (الايروسولات)، الضباب أو الصنباط والدخان (Smog) الكيماوى الضوئى. التفاعلات يمكن أن تحدث بالتسلسل التالى.

$$2NO + O_2 \longrightarrow 2NO_2$$

$$NO + O_3 \longrightarrow NO_2 + O_2$$

مع تحيات د. سلام حسين الهلالي salamalhelali@yahoo.com

$$2NO_2 + O_3 \longrightarrow N_2O_5 + O_2$$

$$4NO_2 + O_2 + 2H_2O \longrightarrow 4HNO_3$$

$$N_2O_5 + H_2O \longrightarrow 2HNO_2$$

كلا من HNO_2 ، HNO_3 يمكن أن يحدث لهما تحلل كيماوى ضوئى كالآتى:

$$HNO_2 + UV \longrightarrow NO_2 + H^{\cdot}$$

$$HNO_2 + UV \longrightarrow NO + HO^{\cdot}$$

$$HNO_3 + UV \longrightarrow NO_2 + HO^{\cdot}$$

فى الجو، يمكن hن يتفاعل NO_2 مع الشق الحر $HO^{\cdot}$ مكونا HNO_3

$$NO_2 + HO^{\cdot} \longrightarrow HNO_3$$

HNO_3 الذى يتكون يزال كحامض أو يتحول إلى جسيمات من النترات بسبب التعادل مع النشادر (NH_3) أو جسيمات الحجر الجيرى.

أكسدة ثانى أكسيد الكبريت: Oxidation Of SO_2

ثانى أكسيد الكبريت الموجود فى الجو يمتص الأشعة الشمسية فى المجال من ٣٠٠ — ٤٠٠ نانوميتر (300 - 400 nm) وينتج اليكترونيا حالة نشطة من SO_2. يحدث لهذا اكسدة إلى SO_3 وفى وجود بخار الماء يتحول إلى H_2SO_4

التفعال الكلى فى وجود أشعة الشمس والرطوبة النسبية ٣٠ — ٩٠٪ يمكن توضيحه بالآتى:

$$SO_2 + {}^1/_2O_2 + H_2O \longrightarrow H_2SO_4$$

الأكسدة الكيماوية الضوئية لثانى أكسيد الكبريت التى تؤدى إلى حامض الكبريتيك فى شكل رزاز يتم تعجيله بدرجة كبيرة فى وجود الهيدروكربونات (Olefinic Hydrocarbons) وأكاسيد النيتروجين والتى تكون موجودة عادة فى الصنباط والدخان الكيماوى الضوئى.

الضباب / الدخان الكيماوى الضوئى: (Photochemical Smog)

ينشط بفعل التحلل الكيماوى الضوئى لـ NO_2 وما يترتب عليه من تفاعلات ثانية تشمل الهيدروكربونات الغير مشبعة، المركبات العضوية الأخرى وشق حر، بما يؤدى إلى تكوين إلى فوق الأكاسيد العضوية والأوزون. تحدث هذه الظاهرة فى حالة الأيام المشمسة

مع تحيات د. سلام حسين الهلالي salamalhelali@yahoo.com

حـيث تقـل الرياح ومستوى منخفض من التقلبات. الصنباط الكيماوى الضوئى وما يترتب مـن تكـون الـرزاز (الايروسـولات) يقلـل مـن الرؤية، ويسبب حساسية للعين كما يتلف النبات والممهات الجلدية.

كـذلك يمكـن حـدوث الأكـسدة لــ SO_2 بالـتفاعل مـع الـشق الحر .HO الموجود فى الصنباط الكيماوى الضوئى.

$$SO_2 + HO^{\cdot} \longrightarrow HSO_2^{\cdot}$$

$$HOSO_2^{\cdot} + O_2 \longrightarrow HSO_2O_2^{\cdot}$$

$$HOSO_2^{\cdot}\ O_2 \longrightarrow HOSO_2O^{\cdot}(\text{كبريتات}) + NO_2.$$

الأكـسدة الكيماوية لثانى أكسيد الكبريت قد تحدث كذلك فى نقاط المياه الموجودة فى الـرزاز (الـضباب). الـتفاعل يعجـل فـى وجـود NH_3 ووجـود عوامل وسيطة من أكاسيد المنجنيز، الحديد، النحاس، النيكل.

الجـسيمات الـصلبة مـثل الـسناج (Soot)، تـسبب الأكـسدة الوسـيطة لثانـى أكسيد الكـبريت بتوفير مجال التصاق غير متجانس. يتكون السناج أثناء الاحتراق للوقود الصلب أو الـسائل فـى الأسـتخدامات المنـزلية والـصناعية وكـذلك مـن إنـبعاثات حـرق وقـود السيارات.

ثانـى أكـسيد الكـبريت هـو ملـوث مسئول عن تكون الضباب، المطر الحمضى، وتآكل المعادن والسبائك.

أكسدة المركبات العضوية:

المـركبات العـضوية مـثل الهيدروكـربونات، الالدهايدز والكيتوتز تمتص أشعة الشمس ويحـدث لهـا تفـاعلات كـيماوية وكـيماوية ضوئية مختلفة ينتج عنها شق حر. بعض من هـذه التفاعلات يتم تعجيلها بمراد معينة مثل السناج وأكاسيد المعادن بعض من المنتجات الوسـيطة والنهائـية التـى تـتكون تـسهم فـى تكـون الـضباب الكـيماوى الـضوئى (Photochemical Smog).

$$CH_4 + O_2 \longrightarrow H_3C^{\cdot} + HO^{\cdot}$$

ميثان

$$CH_4 + HO^{\cdot} \longrightarrow H_3C^{\cdot} + H_2O$$

مع تحيات د. سلام حسين الهلالي salamalhelali@yahoo.com

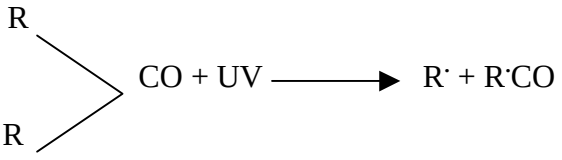
$$H_3C + O_2 + M \text{ (جسم ثالث)} \longrightarrow H_3COO^{\cdot} + M$$

$$C\,H_3\,CH = CH_2 + HO \longrightarrow CH_3{\cdot}CH{\cdot}_2 - CH_2OH$$

بروبيلين

$$RHO + UV \longrightarrow R^{\cdot} + HCO$$

الداهايد



كيتون

حيث R هى شق ألكيل أو شق أرايل أو حتى ذرة هيدروجين. شق الألكيل أو شق الأرايل قد يتفاعل مع الأكسجين مكونات شق فوق مؤكسد (Peroxide)، والذى بدوره قد يتفاعل مع ذرة أكسجين أخرى لاعطاء الأوزون O_3. الشق فوق المؤكسد قد يتفاعل مع NO_2 لاعطاء (Peroxyacyl Nitrate) واختصارها (PAN)، الفورمالدهايد (الذى هو مبهج ومثير للحساسية) ومركبات مبلمره مختلفة والتى تقلل من الرؤية.

$$RCOO^{\cdot} + NO_2 \longrightarrow RCOONO_2$$

(PAN)

تأثير ظاهرة الدفئيات: (Green House Effect) أو الاحتباس الحرارى

ظاهرة الدفئيات أو ظاهرة الصوبات: أو الاحتباس للاشعاع الحرارى (من الشمس) بواسطة جو الأرض.

يتم تسخين الأرض بواسطة ضوء الشمس وبعض من الحرارة التى تمتصها الأرض يتم اشعاعها ثانيا فى الفضاء. ولكن بعض الغازات فى الجو السفلى تعمل مثل الزجاج فى الصوبات، حيث تسمح لاشعة الشمس (فى المجال من ٣٠٠ إلى ٢٥٠٠ نانوميتر أى قريبا الفوق البنفسجية المرئية وقريبا من منطقة الاشعة تحت الحمراء، بينما ترشح الاشعاعات فوق البنفسجية الخطيرة أى أقل من ٣٠٠ نانوميتر) ولكن لاتسمح للأرض بأن تعيد إشعاع الحرارة فى الفضاء. بمعنى آخر، هذه الغازات فى الجو تكون شفافة وناقلة

مع تحيات د. سلام حسين الهلالي salamalhelali@yahoo.com

لأشعة الشمس القادمة نحو الأرض ولكنها تمتص بقوة الأشعة تحت الحمراء، والتى ترسلها الأرض ثانيا فى شكل حرارة. جزء من الحرار الذى يحتجز بهذه الغازات الجوية يتم انباعثه ثانيا إلى سطح الأرض. النتيجة النهائية هى تسخين سطح الأرض بهذه الظاهرة، والتى تسمى تأثيرات الصوبة أو الاحتباس الحرارى. الغازات المسئولة عن هذا الاحتباس الحرارى هى CO_2، بخار الماء، CH_4 وكذلك مادة الكلوروفلور كاربون (Chloro Floro Carbons- CFC's).

بخار الماء يمتص الاشعة تحت الحمراء بقوة فى المجال من ٤٠٠٠ إلى ٨٠٠٠ نانوميتر، CO_2 فى المجال من ١٢٠٠٠ إلى ١٦٠٠٠ نانوميتر. الاشعاعات فى المجال من ٨٠٠٠ إلى ١٢٠٠٠ نانوميتر تمر ولا تمتص وهذه تعرف بالشباك الجوى (Atmospheric Window).

ينطلق CO_2 بفعل البراكين، المحيطات، تحلل النباتات وكذلك بفعل الأنشطة الآدمية، مثل إزالة الغابات وحرق الوقود الحفرى. حرق وقود السيارات يمثل ٣٠٪ من CO_2 المنبعث فى الدول المتقدمة.

الميثان CH_4 ينطلق من مناجم الفحم، تحلل المواد العضوية فى المستنقعات وزراعات الأرز، وتحلل المخلفات الآدمية والحيوانية.

الكلوروفلوركربون المستخدم فى التبريد، وكمادة دفع فى رشاشات الترزيز، وفى مواد رغاوى البلاستك (Plastic Foam) مثل (Styro Foam) وفى أجهزة تكييف السيارات.

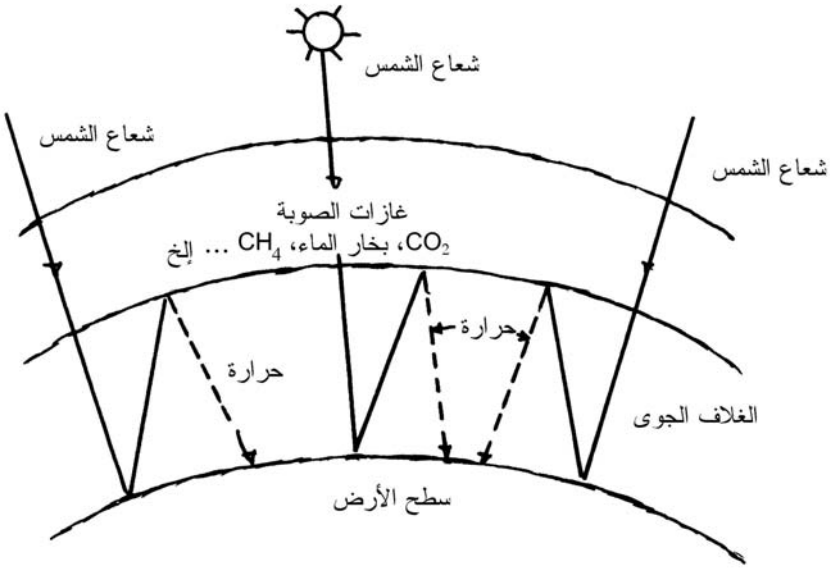
فى الواقع فإن غازات الاحتباس الحرارى (وخاصة CO_2 وبخار الماء هى المسئولة عن استمرار الدفئ للكوكب وبذا استمرار الحياة على الأرض. فى حالة قلة غازات الصوبة بدرجة كبيرة أو فى حالة عدم وجودها فى جو الأرض، عندئذ فإن متوسط الحرارة على الأرض سيكون عند مستوى أقل من الصفر. ولكن، فى حالة زيادة تركيز غازات الصوبة، فإنه يمكن أن تحجز كمية كبيرة من الحرارة، والتى يمكن أن تهدد الحياة على الأرض. فمثلا، نرى أن وجود CO_2 فى جو الكوكب فينوس (Venus) حوالى ٦٠٠٠٠ ضعف الموجود فى جو الأرض، لذلك فإن متوسط درجة الحرارة للكوكب فينوس هو حوالى ٤٢٥ م وبذا فإن الحياة هناك تكون مستحيلة.

المحيطات والكتلة الحيوية (Mass – Bio) هى أكثر عوامل خفض CO_2.

مع تحيات د. سلام حسين الهلالي salamalhelali@yahoo.com

فالمحـيطات تحـول CO_2 إلى البيكربونات المذابة. نشاط التمثيل الضوئى فى النباتات الخـضراء يـزداد بـزيادة CO_2 فى الجو. الغابات تعمل كخزنات سريعة للكربون المؤكسد سـريعاً والمثبت فـى شـكل نـباتات خـضراء، أخـشاب لـذلك فـإن القـضاء على الغابات بالتأكيد يخل بالميزان ويزيد من مستوى CO_2 الجوى.

لقـد قدر أن المحتوى الجوى من CO_2 زاد بحوالى ٢٥٪ خلال القرنين الماضيين. وهذا هـو الـسبب فـى الارتفـاع القلـيل فـى درجـة حـرارة الكـرة الأرضـية (حوالى ٠,٥ درجة مـئوية). نظراً لأن تركيز غازات الاحتباس الحرارى فى زيادة مستمرة بسبب القضاء على الغابـات، الأنشطة الصناعية، زيادة الحرق للوقود الحفرى، أنشطة المناجم، وزيادة عادم احـتراق الـسيارات التـى تتـزايد أعـدادها. والأنـشطة الأخرى بفعل الإنسان، فإنه يوجد إحتمال متزايد حول زيادة حرارة كوكب الأرض (Global Warming).



شكل (٢) تأثير الصوبة (الاحتباس الحرارى)

بعـض العلمـاء تخشى أنه فى حالة عدم اتخاذ الاحتياطات فإن تركيز غازات الصوبه فى الجو يمكن أن تتضاعف خلال (٥٠ — ١٠٠) سنة القادمة.

مع تحيات د. سلام حسين الهلالي salamalhelali@yahoo.com

فى حالة حدوث ذلك فإن متوسط درجة حرارة كوكب الأرض قد تزداد بحوالى (٤ – ٥ م). وذلك سوف يزيد تبخر المياه من المسطحات المائية والذى قد يؤثر على التغيرات المناخية طبقاً لاطار تكون السحب فمثلاً، فإن السحب ذات المستوى المنخفض من الكثافة قد تسبب البرودة بينما تكوينات السحب ذات المستوى العالى من الرقة والنحافة قد يسبب تأثير حار بسبب زيادة تأثير الاحتباس الحرارى.

الإسقاطات من نموذج المحاكاه بالكمبيوتر مع اعتبار التغيرات المناخية التى يمكن أن تحدث بسبب زيادة دفئ الكرة الأرضية أظهرت سيناريوهات مزعجة. حتى إن الارتفاع فى درجة الحرارة السطح ١,٥° م يمكن أن تؤثر سلباً على انتاج الغذاء فى العالم. لذلك فإن مناطق زراعة القمح فى الجزء الشمالى قد تتغير من الاتحاد السوفيتى وكندا إلى المناطق القطبية أى من التربة الخصبة إلى التربة الفقيرة قريباً من القطب الشمالى. كذلك فإن الانتاجية البيولوجية للمحيط سوف تنخفض كذلك بسبب الدفئ على الطبقة السطحية للأرض والتى بالتالى قد تقلل من إنتقال الغذاء من الطبقات السفلى إلى السطح بالدوران الرأسى. كذلك مع محاكاة الكمبيوتر أظهرت التأثيرات التالية بسبب دفئ الكرة الأرضية، وهى إذابة جبال الجليد القطبية، زيادة جفاف المساحات الجافة، المناطق الرطبة مثل الأمازون سوف تعانى من زيادة كثافة العواصف القطبية، وانخفاض شديد فى انتاج الغذاء، وخاصة فى الأراضى ما بين ٣٥° إلى الشمال وإلى الجنوب من مدار السرطان، زيادة الأمراض، كما أن الشتاء يكون قصيرا وأكثر دفئاً وأكثر رطوبة كما أن الصيف يكون أطول وأكثر جفافاً وسخونة وخاصة فى وسط المساحات القارية. كذلك فإن دفئ الأرض قد يفرز كذلك زيادة التمدد الحرارى للمحيطات وإذابة الجليد، والذى ينتج عنه زيادة فى ارتفاع منسوب سطح البحر ما بين ٢٠سم إلى ١,٥ متر وذلك فى الجزء الأخير من القرن ٢١. لذلك فإن كثيرا من المدن الساحلية يمكن أن تصبح معرضة لهذا الخطر، والدفاع ضد ارتفاع منسوب سطح البحر وتمدد المحيطات صعب جداً ومكلف والذى لا يطيقه كثيراً من دول العالم.

حتى لو كان ارتفاع درجة حرارة الأرض ١,٥°م فإن ذلك يحتمل أن يسبب فيضانات والأعاصير المصحوبة بالرعد والزوابع، بالإضافة إلى ارتفاع منسوب مياه البحر يسبب إذابة جبال الجليد وإغراق المدن الساحلية مثل نيويورك وبوسطن.

مع تحيات د. سلام حسين الهلالي salamalhelali@yahoo.com