الإتزان الحراري

د . إبراهيم المعتاز

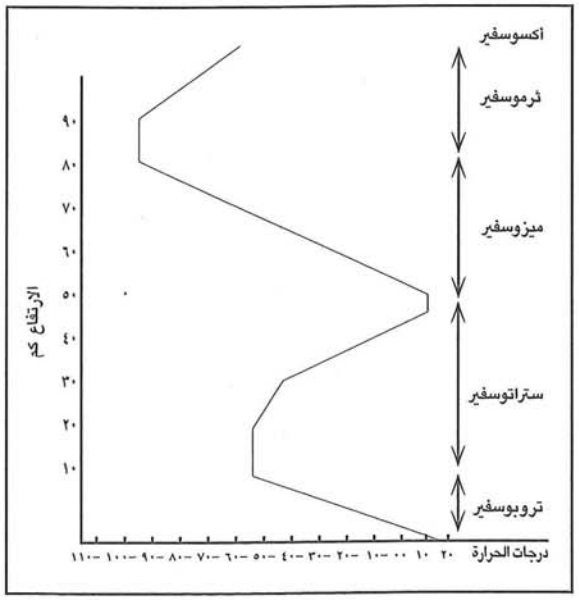
تتمتع الأرض بثبات درجة حرارتها دون زيادة أو نقص ملحوظ عبر القرون الغابرة بل منذ نشأتها ، ويعد ثبات درجة حرارة الأرض عاملاً هاماً للمحافظة على التوازن البيئي وسبباً رئيساً في إستمرار الحياة للكائنات المختلفة .

ويرجع الفضل في ذلك للغلاف الجوي المحيط بالأرض الذي يقيها من التقلبات الشديدة في درجة الحرارة ، حيث يكون ما يشبه المظلة التي تحمي سطح الأرض وما عليها من كائنات حية من الأضرار التي تنجم عن هذه التقلبات الحرارية . ويعتمد الغلاف الجوي في أدائه لوظيفته هذه على حالة النقاء والإتزان لمكوناته التي أوجدها الله عز وجل فيه منذ النشأة الأولى .

درجة حرارة الغلاف الجوي

تختلف درجات الحرارة في الغلاف الجوي تحت الظروف العادية باختلاف طبقاته ، إذ تنخفض درجة الحرارة في الطبقة السفلى (التروبوسفير) مع الارتفاع عن سطح الأرض لتصل إلى ٥٠ درجة مئوية تحت الصفر ، بينما يكون التغير مع الارتفاع في الطبقة التالية (الاستراتوسفير) على ثلاث مراحل . ففي المرحلة الأولى تبدأ درجة الحرارة في الثبات ثم ترتفع تدريجياً في المرحلة الثانية لترتفع بشكل ملحوظ في المرحلة الثالثة حتى تصل ١٥ درجة مئوية . وفي الطبقة الوسطى (الميزوسفير) تنخفض درجة الحرارة كثيراً مع الإرتفاع لتصل نحو ٩٠ درجة تحت الصفر ، وتلى هذه الطبقة طبقة ساخنة (طبقة الثرموسفير) ترتفع فيها درجة الحرارة مع الإرتفاع لتصل إلى ٢٠٠٠ درجة مئوية أما الطبقة الخارجية (الأكسوسفير) أو منطقة إنعدام الوزن فتصل درجة الحرارة فيها مع الإرتفاع إلى أكثر من ٢٠٠٠ درجة مئوية ، شكل (١) .

ويحتوي الغلاف الجوي فضلاً عن مكوناته الأساس على بعض الملوثات الغازية الناتجة عن الأنشطة الصناعية والتي لها تأثير خطير في إنقلاب التوزيع الحراري في الغلاف الجوي . وأهم هذه الملوثات الغازية المواد الهيدروكربونية وأول وثاني أكسيد الكربون وأكاسيد النيتروجين ومركبات الكبريت كثاني أكسيد الكبريت وكبريتيد الهيدروجين .



● شكل (١) تغير درجات الحرارة في طبقات الجو .

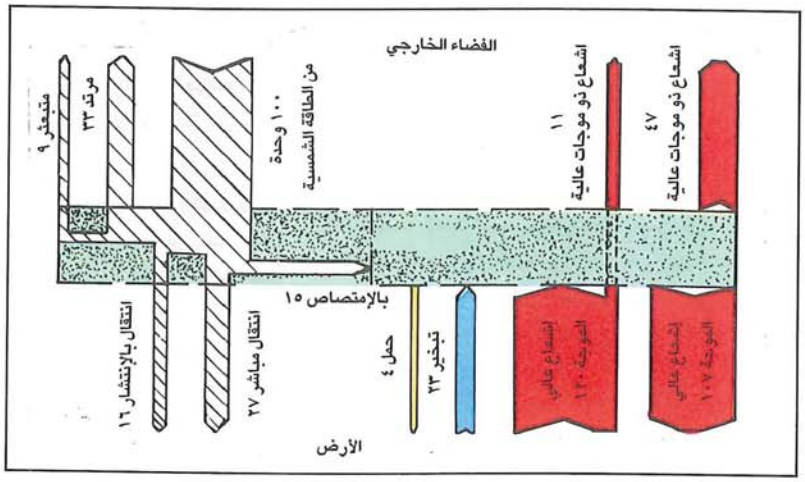
إن أهم ما يميز الغلاف الجوي تحت الظروف العادية هو ثباته ومقاومته للتقلبات وهذا مايحول دون إنتشار الملوثات فيه أفقياً إذ أنها تنتقل في الحالة العادية رأسياً إلى أعلى متمددة ومنتشرة تبعاً لإنخفاض درجة الحرارة ، وتنخفض درجة الحرارة مع الإرتفاع (Lapse Rate) بمعدل ١ درجة مئوية لكل ١٠٠ متر .

ويسهم التلوث الصناعي اليوم مساهمة كبيرة في تغيير التركيب الكيميائي للغلاف الجوي وبالتالي في الإخلال بالدور الفعال الذي تقوم به مكوناته الرئيسة في حالة النقاء والإتزان .

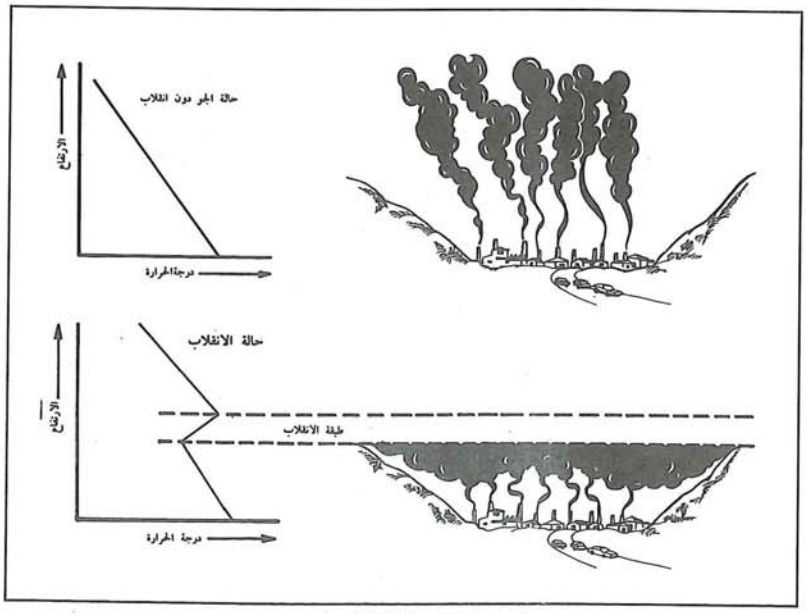
تنتقل الطاقة الحرارية بشكل مباشر من الشمس إلى الأرض على هيئة موجات كهرومغناطيسية تسمى أشعة الشمس ، وتمتد أشعة الشمس من نطاق الأشعة قصيرة الموجات (الأشعة فوق البنفسجية) إلى الأشعة طويلة الموجات (الأشعة تحت الحمراء) ، ولا تصل كل طاقة الشمس إلى الأرض إذ تنعكس منها حوالي ٣٣٪ في الفضاء الخارجي وتتشتت حوالي ٩٪ منها قبل وصولها إلى الغلاف الجوي الذي يمتص حوالي ١٥٪ منها ليصبح نصيب الأرض من الطاقة الكلية حوالي ٤٣٪ ، يصل ٢٧٪ منها للأرض بشكل مباشر و ١٦٪ عن طريق الإنتشار ، شكل (٢) .

ويسخن الجو المحيط بالأرض بما يمتصه من أشعة الشمس الساقطة وبما ينعكس إليه من سطح الأرض بالتوصيل (Conduction) والحمل (Convection) عند ارتفاع الطاقة الحرارية للأرض . وتقل كثافة الهواء الساخن ليرتفع إلى أعلى لينقل معه الحرارة . كما ويحل محل هذه الكتلة الساخنة المرتفعة من الهواء كتلة أخرى مساوية من الهواء البارد فترتفع حرارتها مع ملامسة سطح الأرض والأجواء الساخنة فترتفع بدورها إلى أعلى ، وهكذا تستمر هذه العملية وتتكرر ليحتفظ سطح الأرض بدرجة حرارة معينة تعتمد على الوقت من ليل ونهار والموسم من شتاء وربيع وصيف وخريف . وهكذا تنخفض درجة الحرارة مع الإرتفاع كما سبقت الإشارة إليه حتى تثبت في الطبقة الأولى من الميزوسفير .

ويبين الشكل (٢) الإتـــزان الحراري بين سطح الأرض والغـــلاف الخارجي ، إذ يعبر الجزء الأيسر من الشكل عن تـــوزيع ١٠٠ وحدة حـرارية مـن الطاقـة الشمسية الساقطـة على الغلاف الجوي حسب النسب المذكـورة سـابقـاً . بينما يبين الجزء الأيمن من الشكل الطـاقـة المتبـادلـة بين سطح الأرض والغـلاف الجوي المحيـط . إذ تشع الأرض ما يصلها من أشعة شمسية ساقطة بما يعادل ١٣١ وحدة حـرارية من الإشعاع طويل الموجات ، تنفـذ ١١ وحدة حرارية إلى الفضـــاء الخارجي مبـــاشرة بينما يمتص الغـلاف الجوي ١٢٠ وحـــدة (٩٢٪) من الأشعة ذات الموجـات العاليـة . كما ويسبب تبخير الميـاه السطحيـة على الأرض انبعـاث حوالي ٢٣ وحـدة من الطاقـة ، وبـــذا يصل للـــغلاف الهـــوائـــي (Atmosphere) ١٥٨ وحدة من الطـاقة (١٢٠ من سطح الأرض ، ٢٣ من التبخير ، ١٥ ممـا امتصـه الغـلاف الهوائي من أشعـة الشمس) ، ويتخلص هذا الغـلاف الهوائي من هذه الطـاقـة ببعث ٤٧ وحـدة منهـــا إلى الفضـاء الخارجي و ١٠٧ وحـدة إلى الأرض عن طريـق إعادة الإشعـاع المباشر و ٤ وحدات بالحمل الحراري . وبهذا يحتفظ الغلاف الجوي وكـذلك سطح الأرض بهذه الحالة من الإتزان الحراري المستمر .



● شكل (٢) التوازن الحراري للأرض والغلاف المحيط .



● شكل (٣) ظاهرة الإنقلاب الحراري .

الإنعكاس الحراري

لا تتبع الطبقة القريبة من سطح الأرض (الجزء الأدنى من التروبـــوسفير) نظـام الإتـــزان بشكل ثـابت ، إذ تكـــون في وسط النهار أسخن منها في الليل والصباح الباكر ، فتـزداد في هـذه الطبقـة المحـدودة درجـات الحرارة مع الإرتفـاع ، وهـــذا مـــا يسمى بالإنقـلاب (Inversion) الحراري . ويؤدي إنحصـار كتلـة ساخنـة من الهواء في هـذه الطبقـة من التروبـــوسفير إلى وجـود هـذه الظاهرة .

وكما ذكـر ســابقـاً يستمـــر انتشـار الملـــوثـات في الغـــلاف الجوي رأسيـــاً في الظـروف العـاديـة التي تتميـز بإنخفـاض درجة الحرارة مع زيادة الإرتفاع . ولكن عند وجود طبقات محصـــورة من الهواء الساخن فإن انتشـار الملـوثـات يكـون أفقيـاً وليس رأسيـاً . ويبين الشكل (٣) هـذه الظاهـرة بوضوح تام .

تأثير البيوت الخضراء

إن مقـــدر ة الغـــلاف الجـــوي علـى إمتصـاص الأشعة بما يحتـويه من غـازات بتركيـزات متـزنـــة مثل بخـار الماء وثـاني أكسيـد الكـربون والميثـان وغيرهـا تجعلـه وسطـاً جيـداً لإمتصـاص الحرارة وإعـادة بعثهـا للحفاظ التـام على التـوازن الحراري لهذا الغـــــلاف الهوائي ولسطـح الأرض، وتسمى عمليـة إمتصـــاص هـذه الغـازات لـلأشعـة المنعكسـة من سطح الأرض ذات الأمـواج الطـويلـــة بتأثير البيـوت الخضراء (Green House Effect) ، وهي عمليـة هامـة أودعهـا الله سبحـانه وتعـالى هـذا الغـلاف الهوائي لتنظيم درجة حـرارة سطح الأرض، غير أن زيادة تـركيز هـذه الغازات خـاصة ثاني أكسيد الكربون تـزيد من كمية الأشعة التي تمتصهـــا طبقـــة الغـــلاف الجوي الملاصقة لسطح الأرض مما يـزيد من درجة حرارتها .

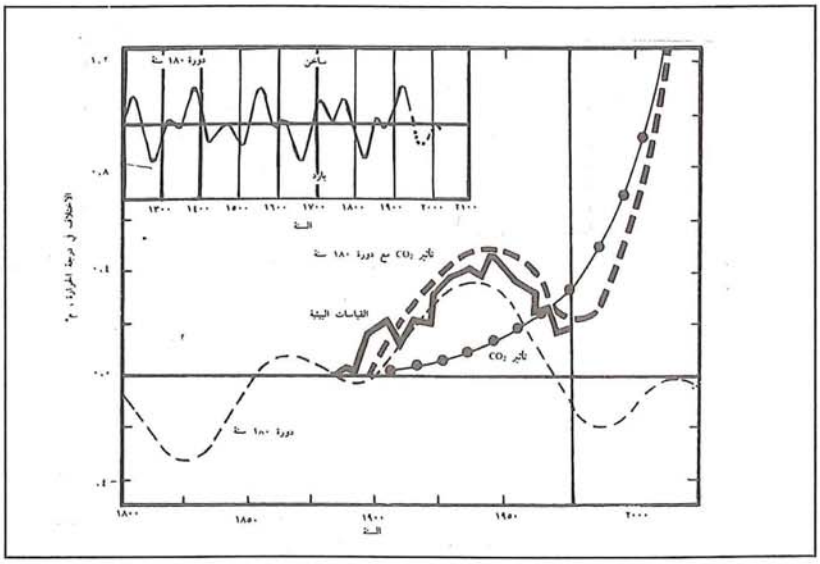
ويتضح الـدور الهام الـــذي يقـوم بـه الغـــلاف الجوي في أنـــه بينما يمتص فقط ١٥٪ من الأشعـــة الشمسية الساقطة ذات الأمواج القصيرة ليسمح بمـرور ٤٣٪ منها

إلى الأرض ، نجده يمتص نحو ٩٢٪ من الأشعة المنعكسة عليه من سطح الأرض ذات الأمواج الطويلة (٢ ـ ٤ ميكرون) ، ثم يعكس إلى الأرض نحو ٦١٪ (١٠٧ وحدة حرارية) من مجموع الأشعة الشمسية التي تصله (١٥٨ وحدة حرارة) . وبذا يحافظ هذا الغلاف الهام على درجة حرارة سطح الأرض عند ١٥ درجة مئوية ، ولولا وجود الغلاف الجوي لإنخفضت درجة حرارة سطح الأرض إلى ٤٠ درجة مئوية تحت الصفر .

وحسب تقديرات **ميتشل** (Mitchell) في عام ١٩٧٧م ، فإن متوسط درجة حرارة القطب الشمالي أخذت في الإرتفاع منذ عام ١٩٠٠م مع تذبذب بسيط ، ولقد كان من غير اليسير لديه توقع ما ستكون عليه درجة الحرارة بعد ذلك ، ويبين الشكل (٤) التغير في متوسط درجة حرارة الأرض للفترة من ١٨٨٠ وحتى ١٩٨٠م ويظهر فيه البدء في ارتفاع درجة الحرارة ولو ببطء ، هذا وتشير دراسات درجة حرارة القطب الشمالي للمليون سنة الماضية بوساطة حجم الجليد أنه لم تمر بالغلاف الجوي درجات حرارة مرتفعة مثل التي هي عليه الآن على الرغم من تذبذب درجة الحرارة .

التلوث الحراري المتوقع

يفترض **مينيب** (Menebe) أن زيادة ١٠٪ في تركيز ثاني أكسيد الكربون تؤدي إلى رفع متوسط حرارة الغلاف الجوي الملاصق للأرض بحوالي ٠,٣ درجة مئوية . ويتوقع بحلول عام ٢٠٠٠م أن ترتفع درجة حرارة الأرض حوالي ٧ درجات مئوية ينجم عنها ذوبان كميات من الجليد يؤدي إلى إرتفاع منسوب المياه البحرية نحو ٦٠ قدماً مما قد يسبب غمراً لكثير من المناطق



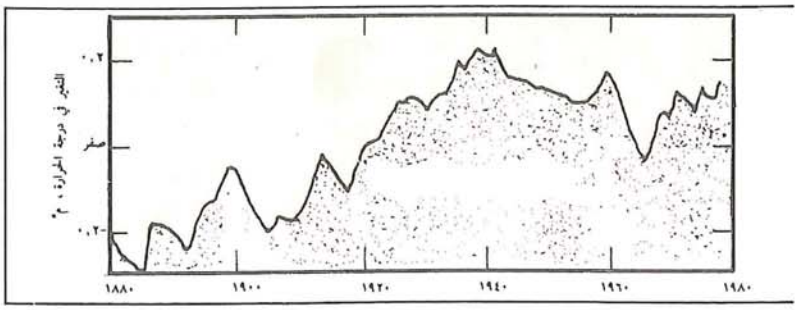
● شكل (٥) درجة حرارة القطب الشمالي المسجلة والمحسوبة مع بيان دورة ١٨٠ سنة .

الساحلية . هذا وسيكون أقل ارتفاع في درجة الحرارة عند خط الإستواء وأعلى ارتفاع عند القطبين . وسيساعد هذا الإرتفاع في درجة الحرارة في انبعاث كمية إضافية من غاز ثاني أكسيد الكربون المذاب في البحر والمحيطات مما سيؤدي إلى إزدياد متتابع في درجة الحرارة .

ولا يعني إرتفاع درجة حرارة الأرض بدرجة أو درجتين بالضرورة دفئاً لسكان الأرض ، ولكن تكمن أهمية هذا الإرتفاع في درجة الحرارة في تأثيره على نظام المناخ ودورته على سطح الأرض .

ويرى كثير من الباحثين أن تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي مرتبط بإستهلاك الوقود كمصدر رئيس لهذا الغاز ، فبفرض زيادة استهلاك الوقود بمعدل ٤٪ سنوياً سوف يتضاعف تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي في عام ٢٠٢٥م بينما يمكن أن يتأخر زمن تضاعف تركيز هذا الغاز حتى بداية القرن الثاني والعشرين فيما لو كانت زيادة إستهلاك الوقود السنوي للفترة ١٨٨٠ ـ ١٩٨٠م بمعدل ١٪ ، كما أن الإحتفاظ بمعدل الإستهلاك الحالي ٨×٩١٠ كيلوات في السنة (أي بمعدل زيادة قدرها صفر ٪) سوف يؤخر مضاعفة تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي حتى عام ٢٢٠٠م الذي يتوقع بحلوله إيجاد طريقة لخفض تركيز هذا الغاز أو إنتاج وقود يبعث كمية أقل من غاز ثاني أكسيد الكربون .

إن ثاني أكسيد الكربون ، وكذلك الغازات الأخرى مثل الميثان وأكسيد النيتروز (NO_2) وفلوروكلوريد الكربون لها التأثير في رفع درجة حرارة الغلاف الجوي غير أن ثاني أكسيد الكربون يفوقها تأثيراً كما هو واضح في الجدول (١) والذي يبين الإرتفاع في درجات الحرارة الناتج عن



● شكل (٤) تغير درجة حرارة سطح الأرض عن الدرجة المتوسطة للفترة ١٨٨٠ ـ ١٩٨٠م .

الغاز	التغيير في درجة الحرارة عند مضاعفة التركيز
ثاني أكسيد الكربون	١,٣٠ درجة مئوية
الميثان	٠,١٢ درجة مئوية
أكسيد النتروز	٠,٢٩ درجة مئوية
فلوروكلوريد الكربون	٠,١٣ درجة مئوية

● جدول (١) تأثير غازات البيوت المحمية على إرتفاع درجة حرارة الغلاف الجوي .