تلوث الهواء وطبقات الغلاف الجوي Air Pollution and Atmospheric Layers

يعد تلوث الهواء من أكبر المشاكل التي تواجه المجتمعات المعاصرة وبخاصةً في الدول الصناعية وتزداد مأساة هذا النوع من التلوث عاماً بعد عام نتيجةً للزيادة التراكمية في حجم الملوثات التي تنبعث عن نشاطات الإنسان المختلفة. وقبل الخوض في هذا المحور من التلوث البيئي لابد من التعرف على الغلاف الجوي ونوعية الهواء النقي.

الغلاف الجوي Atmosphere

الغلاف الجوي هو أحد أربعة أغلفة للكرة الأرضية وهي: الغلاف الجوي Atmosphere والغلاف المائي Hydrosphere والغلاف الصخري Lithosphere والغلاف الحيوي Biosphere.

يمثل الغلاف الجوي محيطاً من الهواء يناهز إرتفاعه حوالي 10000 كم كما ذكر في إحدى الدراسات، وترى دراسات اخرى أنه يصل حتى 30000 كم ، ومن الأكيد أنه لا يوجد هواء بعد ارتفاع 32000 كم لأنه عند ذلك الإرتفاع تتفوق قدرة الطرد المركزية المتولدة من دوران الأرض حول نفسها على الجاذبية الأرضية. ولكن بينت القياسات الحديثة بإستخدام الأقمار الصناعية التي أُجريت مؤخراً بأن إرتفاع الغلاف الجوي يصل إلى نحو 64400 كم فوق سطح البحر. وذلك بعد اكتشاف بعض ذرات غازية من الغلاف الجوي موجودة عند هذا الإرتفاع، ومن الخصائص العامة لهذا الغلاف مايأتي:

- ✓ يقع حوالي 99.99997 % من الغلاف الجوي دون ارتفاع 100 كم.
- ✓ يزيد حجم الغلاف الجوي عن 5×10^{21} متر مكعب.
- ✓ تقدر كتلته بحوالي 5.14×10^{18} كغم.

طبقات الغلاف الجوي Atmosphere Layers

في السابق كان الإعتقاد السائد هو أن الغلاف الجوي يتكون من طبقة واحدة تمتد من سطح البحر وحتى قمته، ويعود ذلك إلى ضعف الإمكانيات البحثية في مجال علم الفضاء أو الفلك. وبعد التطور العلمي ظهرت إمكانية تقسيم الغلاف الجوي إلى خمسة طبقات متميزة.

أولاً: طبقة التروبوسفير Troposphere:

تشكل طبقة التروبوسفير الطبقة السفلى من الغلاف الجوي، وتعرف أحياناً بالغلاف الجوي الأسفل. تمتد من سطح البحر وتنتهي عند قمتها بحد انتقالي يشكل حداً بينها وبين الطبقة التي تليها إذ يعرف هذا الحد بإسم التروبوبوز Tropopause. ومن أهم خصائص هذه الطبقة هي:

١. يقدر سمكها بحدود 11 كم من سطح البحر بشكل عام، إلا أن سمكها يتباين بدرجة كبيرة، فتتراوح بين 16 – 18 كم فوق خط الإستواء و 8 كم فوق القطبين.
٢. تحظى طبقة التروبوسفير بأهمية مناخية خاصة، ففيها تجري عمليات الطقس والمناخ المهيمنة على سطح الأرض جميعها. وفيها توجد الغازات وبخار الماء والغبار والجسيمات، وكذلك تتكون فيها الغيوم التي تشكل الهطول بكافة أشكاله وأصنافه ومظاهره، وتهب فيها الرياح الخفيفة والعاتية.

ثانياً: طبقة الستراتوسفير Stratosphere:

تشكل طبقة الستراتوسفير الطبقة الثانية من طبقات الغلاف الجوي، إكتشفها بشكل منفصل كل من العالم الفرنسي DE Port والعالم الألماني Assmann عام 1902م. حيث أستخدم بالوناً متطوراً مثبت عليه بعض المتحسسات، تمكن من الإرتفاع في الغلاف الجوي متجاوزاً حد التروبوبوز، حيث توقفت درجة الحرارة عن التناقص ثم أخذت بالإزدياد بعد ذلك مع تزايد الارتفاع. وتتميز طبقة الستراتوسفير بكون سمكها من إرتفاع 11 – 50 كم فوق سطح البحر. وتنتهي عند قمتها بحد الستراتوبوز Stratopause ، الذي يفصلها عن الطبقة الثالثة التي تليها في الغلاف الجوي. يقل سمك هذه الطبقة إلى حوالي 33 كم فوق خط الإستواء، حيث تمتد بين 17 – 50 كم، بينما تصل إلى حوالي 42 كم فوق القطبين.

يعود سبب إرتفاع حرارة طبقة الستراتوسفير ووجودها أساساً إلى وجود طبقة الأوزون Ozone Layer فيها. إذ تعمل طبقة الأوزون - من خلال التفاعلات الكيموضوئية Photochemical reactions المشكلة للأوزون (O_3) والمفككة له - بامتصاص الأشعة فوق البنفسجية Ultra Violet (UV) بكل أطوالها الموجية المحصورة بين 100-300 نانومتر، ثم تنشرها على شكل أشعة حرارية تحت حمراء عن طريق الإشعاع بوساطة عمليات الإصطدام مع جزيئات الهواء الاخرى، حيث تعمل على تسخين طبقة الستراتوسفير من قمتها حتى قاعدتها، وذلك لقيام جزيئات الأوزون بإمتصاص الأشعة فوق البنفسجية.

ثالثاً: طبقة الميزوسفير Mesosphere:

وهي الطبقة الثالثة في الغلاف الجوي، وقد إشتُق إسمها من الكلمة الإغريقية "Meso" التي تعني الوسط. تمتد طبقة الميزوسفير مرتفعةً فوق حد الستراتوبوز إلى إرتفاع يناهز 80 كم فوق سطح البحر، وتنتهي عند قمتها بحد الميزوبوز Mesopause الذي يفصلها عن الطبقة التي تليها من الغلاف الجوي. وتميل بعض الدراسات إلى تسمية طبقة الستراتوسفير وطبقة الميزوسفير بالغلاف الجوي الأوسط Middle Atmosphere.

رابعاً: طبقة الثرموسفير Thermosphere:

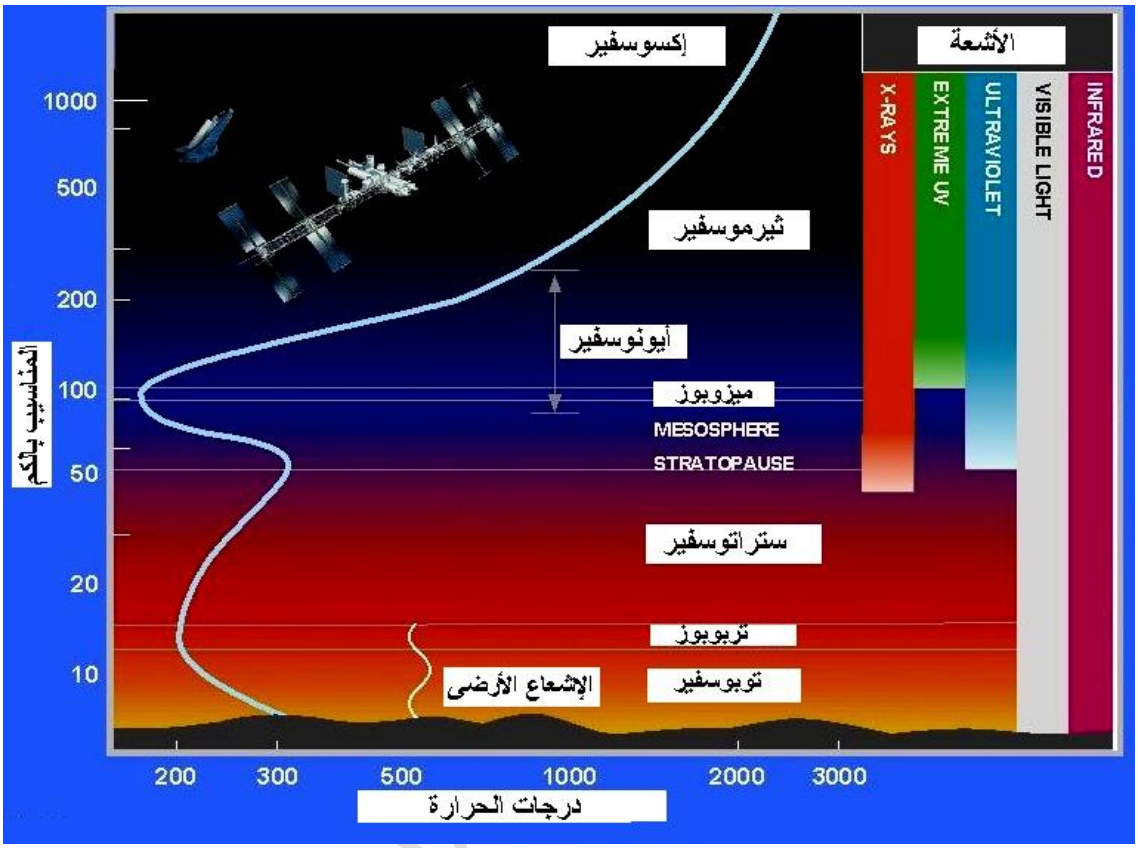
ترتفع طبقة الثرموسفير فوق سطح البحر إلى إرتفاع يتراوح بين 500 – 750 كم ، حسب حالة الشمس. وبذلك يتراوح سمكها فوق حد الميزوبوز بين 420 – 670 كم. ولايوجد بينها وبين الطبقة الجوية التي تليها حد حراري، ولذلك تحدد قمتها بحد الثرموبوز. وتمتاز هذه الطبقة بتباين درجات الحرارة فيها (-93 إلى 1700 درجة مئوية).

خامساً: طبقة الإكسوسفير Exosphere:

هي الطبقة الأخيرة الخارجية من الغلاف الجوي، وقد إشتُق إسمها من كلمة "Exo" والتي تعني خارج. تمتد هذه الطبقة مرتفعةً فوق طبقة الثرموسفير وحتى نهاية الغلاف الجوي عند إرتفاع يقارب 64400 كم.

الهواء نادر الوجود فيها، إذ ينحصر بوجود ذرات من الهيليوم He والهيدروجين H والأوكسجين O. وتتميز طبقة الإكسوسفير بكون درجة حرارتها تتصرف بشكل مثير، حيث تكون درجة حرارتها عند الظل أكثر مما هي عليه عند التعرض لأشعة الشمس مباشرةً.

ويبين الشكل التالي توزيع طبقات الغلاف الجوي.



وهناك تقسيمات أُخرى لطبقات الغلاف الجوي تتضمن منطقة متأينة تسمى بطبقة الأيونوسفير Ionosphere التي تتميز بتأثيرها الفعال على إنعكاس الموجات اللاسلكية القصيرة، وذلك بسبب تأين جزيئات الغاز بتأثير الأشعة فوق البنفسجية وتتميز هذه الطبقة بظهور وهج أعالي الغلاف الهوائي يسمى بالوهج القطبي.

يتضح مما تقدم أعلاه بأن للغلاف الجوي أهمية كبيرة لايمكن تقديرها، وله مزايا عديدة وهذا بتقدير الله عز وجل، إذ تحدُث فيه جميع العمليات المناخية التي ترتبط بالتغيرات البيئية إرتباطاً وثيقاً وبالتالي تتحكم في وجود ونمو الكائنات الحية بمختلف أنواعها. ولو تصورنا بأن الغلاف الجوي لم يكن موجوداً لحدث ما يأتي:

١. تنعدم الحياة بشكل كامل بسبب غياب الأوكسجين وكذلك ثاني أوكسيد الكاربون.
٢. لاسقوط للأمطار بسبب عدم وجود بخار الماء وبالتالي تختفي الأنهار والبحيرات والبحار.
٣. يتعرض سطح الأرض إلى الأشعة الكونية التي تدمر جميع مظاهر الحياة.

٤. ينعدم اللون الأزرق للسماء وتبدو قبة السماء صفحة سوداء تلمع فيها الشمس كقرص أبيض.
٥. يسود الأرض ظلام حالك مستديم، لانهار فيه ولاليل وتبدو النجوم ساطعة في السماء طوال الوقت.
٦. تختفي بعض الظواهر الطبيعية مثل الشفق والوهج الآيوني.
٧. لايوجد فرق كبير بين درجات الحرارة بين الليل والنهار، وكذلك بين الفصول الأربعة للسنة.
٨. عدم إمكانية إنتقال الصوت من مكان لآخر لإنعدام وجود الهواء الذي هو الوسط الذي ينتقل فيه.
٩. يتوقف إنكسار الضوء ويصبح إنتشاره في خطوط مستقيمة وتظهر كل الأجسام البعيدة في الفضاء في أماكنها الحقيقية.

مكونات الهواء Air Components

يتألف الهواء النقي من مزيج فيزيائي متجانس التركيب لعدة غازات، وهو قابل للتمدد والإنضغاط، ويمثل نظاماً ثيرموديناميكياً متكاملاً متوازناً، وهو متجانس التركيب في كل أجزائه من سطح البحر وحتى إرتفاع 80 كم، ويتكون من مجموعتين من الغازات:

- مجموعة الغازات الثابتة.
- مجموعة الغازات غير الثابتة.

فالغازات الثابتة هي الغازات التي تكون نسب التراكيز الحجمية لها ثابتة، وتسمى أيضاً بالغازات الدائمة، وهي كلٌ من:

النتروجين (N_2)، الأوكسجين (O_2)، الآرغون (Ar)، النيون (Ne)، الهيليوم (He)، الكريبتون (Kr)، الهيدروجين (H_2)، الكسينون (Xe) و الرادون (Rn).

والجدول التالي يوضح نسب تواجد هذه المجاميع الغازية ضمن الهواء.

الغاز	الرمز الكيميائي	التركيز %
نتروجين *	N_2	78.84
أوكسجين *	O_2	20.946
آرغون *	Ar	0.93
ثاني أوكسيد الكاربون	CO_2	0.037
نيون *	Ne	18.2×10^{-4}
هيليوم *	He	5.24×10^{-4}
ميثان	CH_4	1.72×10^{-4}
كريبتون *	Kr	1.14×10^{-4}
هيدروجين *	H_2	0.5×10^{-4}
أوكسيد النتروز	N_2O	0.5×10^{-4}
أول أوكسيد الكاربون	CO	0.2×10^{-4}
ثاني أوكسيد الكبريت	SO_2	0.1×10^{-4}
كسينون *	Xe	0.087×10^{-4}
أوزون	O_3	0.07×10^{-4}
ثاني أوكسيد النتروجين	NO_2	0.025×10^{-4}
أمونيوم	NH_3	4×10^{-7}
كبريت الهيدروجين	H_2S	0.05×10^{-7}
ثاني كلورو ثالث فلورو كاربون	CF_3Cl_2	0.484×10^{-7}
ثالث كلورو فلورو كاربون	$CFCl_3$	0.280×10^{-7}
هيدروكسيل	OH^-	1.0×10^{-14}
رادون *	Rn	6.0×10^{-18}
بخار الماء	H_2O	5 – 0

=* الغازات الثابتة أو الدائمة

تُشكل الغازات الأربعة الأولى ما نسبته حوالي 99.997 %، بينما تُشكل باقي الغازات مجتمعةً حوالي 0.003 %، فمنها ما تناهز نسبة تركيزها جزء بالمليون (ppm) أو جزء بالبليون (ppb). لكن مع ذلك فإن لبعضها تأثير هام وحيوي في العمليات الجارية ضمن الغلاف الجوي. ومن هذه الغازات ما تزيد نسب تركيزها كثيراً عن مقاديرها العادية أحياناً في بقع وأماكن محدودة قرب مصادر إنبعاثها، كما هو الحال قرب المواقع الصناعية وقرب البراكين الناشطة.

نشوء الغازات Emergence of Gases

تشير بعض الدراسات إلى أن الأرض وجدت منذ 4.5 بليون سنة وكان لها في ذلك الوقت غلاف جوي بدائي، مؤلفاً أساساً من بخار الماء. ومنذ حوالي 3.3 بليون سنة مضت، تكاثف بخار الماء مشكلاً المحيطات والبحيرات والأنهار. وبدأ غلاف جوي جديد بالتشكل من الغازات المنطلقة عبر شقوق القشرة الأرضية والبراكين من الغازات المحتجزة ومن المواد الثقيلة المنصهرة في باطن الأرض. ويعتقد أنه كان مؤلفاً من حوالي 80 % بخار الماء (H_2O) و 12 % من ثاني أوكسيد الكاربون (CO_2) و 6 % من ثاني أوكسيد الكبريت (SO_2). وقد دخل معظم غاز ثاني أوكسيد الكاربون في تركيب الصخور الكلسية والدلوماتية.

ومع أن الأوكسجين لم يظهر كغاز في الغلاف الجوي، لكن الدلائل تشير إلى أنه كان موجوداً منذ 1.9 بليون سنة خلت في مركبات فلزات الصخور الملونة باللون الأحمر والبني الناتجة عن أكسدة الحديد. ولكن ما زال من غير المؤكد كيف ظهر الأوكسجين في الغلاف الجوي ومتى. والحقيقة يوجد عدة آليات يمكن أن يكون الأوكسجين قد وجد بوساطتها في الغلاف الجوي، فقد يكون قد تشكل عن التفكك الضوئي لجزيئات بخار الماء الناتج عن البراكين بوساطة الأشعة الشمسية (SR):

$$2H_2O+(SR) \longrightarrow 2H_2+O_2$$

أو قد تشكل عن طريق عمليات التمثيل الضوئي التي يشارك فيها كل من الماء وثاني أوكسيد الكاربون والأشعة الشمسية الضوئية (LSR) ، المنتجة للهايدروكاربونات (CH_2O)، الجارية في بعض أنواع البكتيريا منذ ثلاثة بلايين سنة قبل الآن، وأوراق النباتات منذ بليونين سنة قبل الآن، التي كانت تعيش وتنمو كلها في المياه عند أعماق تتراوح بين 3 – 10 متر بعيداً عن متناول الأشعة الشمسية فوق البنفسجية المدمرة للحياة العضوية النباتية والحيوانية:

$$2H_2O+CO_2+(SR) \longrightarrow (CH_2O)+O_2$$

غاز النتروجين N_2:

بالرغم من أن لغاز النتروجين (N_2) أكبر نسبة تركيز حجمية في تركيب الغلاف الجوي، إلا أنه غاز خامل إلى حد كبير لايتفاعل كيميائياً بسهولة مع الغازات والعناصر الأخرى، وتتشكل مركباته بوساطة البرق أو بوساطة عمليات الإحتراق شديدة الحرارة جداً، لذلك نجد أكاسيده (NO_x) ضئيلة جداً في الهواء.

غاز الأوكسجين O_2:

يشكل غاز (O_2) حوالي 20.946% من حجم الغلاف الجوي وحوالي 23% من كتلته. وعلى الخلاف من N_2 يعد غاز O_2 ناشطاً في التفاعلات الكيميائية وعمليات الإحتراق المختلفة، التي تبدأ بعملية تنفس الكائنات الحية، وإنتهاءً بالعمليات الكيميائية المعقدة الطبيعية والصناعية. كما أنه ينحل في مياه الأنهار والبحيرات والبحار ليصبح متاحاً للحيوانات والنباتات المائية، ولا يخفى الدور الكبير الذي يقوم به غاز O_2 في عمليات التجوية الكيميائية لصخور سطح الأرض.

غاز الآرغون Ar:

يعتبر غاز Ar من أهم الغازات الدائمة الخاملة غير الفعالة كيميائياً في الغلاف الجوي، يستخرج من الهواء مباشرةً ويستخدم في صنع المصابيح المتوهجة البراقة.

غاز ثاني أوكسيد الكاربون CO_2:

تبلغ نسبة التركيز الحجمية لغاز CO_2 في الغلاف الجوي حالياً 0.037% أي مايعادل (370 جزء بالمليون)، وينتج عن تنفس المخلوقات الحية، وعن تفسخ المواد العضوية وعمليات إحتراق الوقود الأحفوري (الفحم الحجري والبترول)، وإحتراق الغابات والبراكين. ويخرج من الغلاف الجوي بوساطة عملية التركيب الضوئي التي تقوم بها النباتات لإنتاج المركبات الهايدروكاربونية الضرورية لنموها.

غاز الأوزون O_3:

يمتاز غاز الأوزون O_3 الموجود في طبقات الجو العالية (من 10 إلى 55 كم) بقدرته على إمتصاص الأشعة الشمسية فوق البنفسجية قصيرة الموجة بكل أطيافها وبذلك فإنه يحمي المخلوقات الحية على سطح الأرض من تأثيرها المدمر، بينما في الوقت نفسه يعد الأوزون الموجود عند سطح الأرض ساماً ومضراً بهذه الكائنات الحية، كما أنه يلحق الضرر بالمنتجات المطاطية والنسيجية على وجه الخصوص، وينتج الأوزون من تفاعلات كيموضوئية تفكك جزيئات O_2 وتركب جزيئات O_3 .