الغلاف الجوي

تعريف الغلاف الجوي (Atmosphere):

هو غلاف غازي رقيق جداً بالنسبة لقطر الأرض يحيط بالكرة الأرضية. وسُمك هذا الغلاف أرق من طبقة الزغب التي تحيط بحبة الدراق (الخوخ) إذا تصورنا أن الأرض بحجم دراقة.

ويعتقد بعض العلماء أن نهاية الغلاف الجوي تبدأ عندما تنعدم الجاذبية الأرضية على مكونات هذا الغلاف من جهة، وتقل آثار المجال المغناطيسي الأرضي على مكونات الجو المشحونة كهربائياً من جهة أخرى. وبالتالي يمتد الغلاف الجوي حتى مسافة تقرب 100 ألف كم عن سطح الأرض، على الرغم من تخلخل الهواء بصورة كبيرة جداً ما بين 10 إلى 100 ألف كم، مما جعل بعضهم يدمج الغلاف الجوي عند تلك المسافات مع الفراغ الكوني نظراً لتقارب كثافتيهما.

غير أن الحد العلمي للغلاف الجوي الذي تظهر فيه العديد من الظواهر الجوية المرئية من على سطح الأرض هو 1000 كم، حيث تبدو ظواهر الشفق والشهب والنيازك، وظاهرة الشفق القطبي التي تبدو على شكل ستائر متدلية مضيئة نحو سطح الأرض على ارتفاع يتراوح بين 100 و1000 كم. وهذه هي الظواهر المرئية من سطح الأرض والمتصلة بالغلاف الجوي.

من الناحية الزراعية ما يهمنا من دراسة الغلاف الجوي هو الارتفاع الذي يمتد من سطح الأرض وحتى 12 كم تقريباً حيث تتمثل فيه العديد من الظواهر الجوية كالغيوم والأمطار وكل أشكال التكاثف.

خصائص الغلاف الجوي:

1. الهواء نقي عديم اللون والطعم والرائحة.
2. قابلية الهواء للانتشار والانضغاط.
3. خضوع جزيئات الهواء لعمليتي التمدد والتقلص الحراريتين.
4. ارتباط حرارة الهواء مع ضغطه وكثافته.
5. تخضع الغازات لقوانين العطالة، قانون الغازات العام، وقوانين الترموديناميك.

أهمية الغلاف الجوي:

يمكن القول إنه لولا الغلاف الجوي **لانعدمت** الحياة على سطح الكرة الأرضية، ويعود ذلك للأسباب التالية:

1. حماية كل أشكال الحياة على سطح الكرة الأرضية من مخاطر التعرض للأشعة الشمسية الضارة (كالأشعة فوق البنفسجية وأشعة إكس) حيث يعمل بمكوناته الغازية على استقطابها وفلترتها.
2. الوقاية من التبريد السريع خلال الليل وكذلك التسخين الشديد في النهار.

3. يساهم بفضل مكوناته في جعل متوسط حرارة الهواء على سطح الكرة الأرضية في حدود 15°م بدلاً من -18°م في حال غياب الغلاف الجوي.
4. ينقل الطاقة الحرارية من المناطق الاستوائية إلى العروض الوسطى والعليا من الكرة الأرضية.
5. يحدد عبر الحركة العامة للجو كميات الهطول فوق سطح الأرض.
6. يختزن كميات ضخمة من الأزوت (العنصر الهام للنباتات) ومستودع لثاني أكسيد الكربون والأوكسجين.
7. يبدد ويحلل العديد من الانبعاثات الغازية الناتجة عن النشاطات الإنسانية أو الطبيعة عبر العديد من عمليات الأكسدة والتحلل الضوئي.
8. الحماية من النيازك والشهب الصغيرة والتي تحترق نتيجة احتكاكها بالغلاف الجوي وتلاشيها قبل الوصول إلى الأرض.

أصل الغلاف الجوي ونشأته وتطوره (Origin and evolution of atmosphere):

قصة الغلاف الجوي هي قصة الأرض نفسها، وكيف تحولت من جحيم صخري إلى واحة خضراء. لطالما تساءل العلماء عن أصل الغلاف الجوي، وتشير النظريات الحديثة إلى أن الغلاف الجوي لكوكب الأرض قد تكون في وقت مبكر جداً من تاريخ هذه الأرض.

يمكن تقسيم تطور الغلاف الجوي إلى ثلاث مراحل رئيسية، تشبه إلى حد كبير حياة الإنسان: طفولة مضطربة، ثم شباب مليء بالتغيرات، ثم نضج واستقرار.

بدأت المرحلة الأولى والمعروفة بـ الغلاف الجوي الأولي (Primary Atmosphere): قبل نحو 4.6 مليار سنة، حيث تشكلت من غازات السديم الشمسي الخفيفة كالهيدروجين والهيليوم؛ إلا أن هذا الغلاف فُقد سريعاً نتيجة لضعف الجاذبية الأرضية آنذاك وتأثير الرياح الشمسية العاتية.

تلي ذلك ظهور الغلاف الجوي الثاني (Secondary Atmosphere): الذي نتج عن عملية إطلاق الغازات بفعل النشاط البركاني المكثف، ليصبح الغلاف مزيجاً من بخار الماء، وثاني أكسيد الكربون، والنيتروجين. ومع تبرد الكوكب تكثف بخار الماء ليشكل المحيطات الأولى، مما أدى لامتصاص كميات ضخمة من ثاني أكسيد الكربون وترسيبه في الصخور، وهو ما حال دون تحول الأرض إلى كوكب ملتهب مثل الزهرة.

أما التحول الجذري الأخير فتمثل في ظهور الغلاف الجوي الثالث (Tertiary Atmosphere): قبل نحو 2.4 مليار سنة حيث أدى ظهور البكتريا الخضراء المزرقة (Cyanobacteria) وبدء عملية التمثيل الضوئي إلى ما يُعرف بـ "حدث الأكسدة العظيم". هذه القفزة البيولوجية استبدلت الغلاف الغني بالكربون بغلاف غني بالأكسجين والنيتروجين، مما سمح بتكون طبقة الأوزون ومهد الطريق لنشوء أشكال الحياة المعقدة التي نعهدها اليوم.

💡 كانت بكتيريا التمثيل الضوئي هي المهندسة الأولى لغلافنا الجوي حيث قبلها لم يكن هناك أكسجين يذكر. بعدها، أصبحت الأرض صالحة للحياة كما نعرفها.

مكونات الغلاف الجوي (Composition of the atmosphere):

يتكون الغلاف الجوي من خليط معقد من الغازات والجسيمات العالقة. تشير الدراسات إلى أن أربع غازات فقط تشكل ما نسبته 99% من حجم الهواء الجوي (النيتروجين، الأكسجين، الأرغون، وثاني أكسيد الكربون)، بينما تشكل جميع الغازات الأخرى أقل من 1% منه.

تصنف مكونات الغلاف الجوي إلى ثلاث فئات رئيسية:

أ. الغازات الثابتة (Fixed Gases): وهي الغازات التي توجد بنسب شبه ثابتة في الغلاف الجوي، ولا تتغير نسبها بشكل ملحوظ من مكان إلى آخر أو من وقت لآخر.
ب. الغازات المتغيرة (Variable Gases): وهي الغازات التي تختلف نسبها مكانيًا وزمانيًا بشكل ملحوظ، مثل بخار الماء وثاني أكسيد الكربون والأوزون.
ج. الهباء الجوي (Aerosols): وهي جسيمات صلبة أو سائلة دقيقة معلقة في الهواء.

جدول 1: النسبة المئوية الحجمية لمكونات الغلاف الجوي

	المكون	الصيغة الكيميائية	النسبة الحجمية (تقريبية)	النسبة الإجمالية
الغازات الثابتة	النيتروجين	N_2	78.09%	99.97%
	الأكسجين	O_2	20.95%	
	الأرغون	Ar	0.93%	
	النيون	Ne	0.0018% (18 ppm)	
	الهيليوم	He	0.0005% (5.2 ppm)	
	الكريبتون	Kr	0.0001% (1.1 ppm)	
	الزينون	Xe	0.000009% (0.09 ppm)	
الغازات المتغيرة	بخار الماء	H_2O	0.01 – 4%	أقل من 0.03%
	ثاني أكسيد الكربون	CO_2	0.04% (417 ppm)	
	الميثان	CH_4	0.0002% (1.9 ppm)	
	أكسيد النيتروز	N_2O	0.00003% (0.33 ppm)	
	الأوزون	O_3	0.000004% (0.04 ppm)	
	الهيدروجين	H_2	0.00005% (0.55 ppm)	
الهباء الجوي	الغبار			متغيرة جدًا
	الدخان			
	الأملاح			
	حبوب اللقاح			

أ. الغازات الثابتة (Fixed Gases)

تُعرف الغازات الثابتة بأنها المكونات الغازية التي توجد في الغلاف الجوي بنسب ثابتة نسبيًا في جميع أنحاء الكرة الأرضية وإلى ارتفاعات تصل إلى حوالي 80-100 كم (منطقة الهوموسفير Homosphere). فيما يلي أهم هذه الغازات وأدوارها:

النيتروجين (N_2 – Nitrogen):

- النسبة: 78.084% من حجم الهواء الجاف.
- الأهمية:

- يعتبر النيتروجين الجزيئي (N_2) خاملًا كيميائيًا نسبيًا ولا يمكن لمعظم النباتات استخدامه مباشرة، ولكن بعض الكائنات الحية الدقيقة (مثل بكتيريا الريزوبيوم Rhizobium في العقد الجذرية للبقوليات) قادرة على تثبيت النيتروجين وتحويله إلى مركبات نيتروجينية قابلة للامتصاص (الأمونيا NH_3 والنترات NO_3^-).
- يعد النيتروجين من العناصر الغذائية الكبرى الأساسية للنبات، حيث يدخل في تركيب البروتينات والأحماض النووية والكلوروفيل.
- تعتمد صناعة الأسمدة النيتروجينية (مثل اليوريا ونترات الأمونيوم) على تثبيت النيتروجين الجوي صناعيًا عبر عملية هابر- بوش (Haber-Bosch process).

الأكسجين (O_2 – Oxygen):

- النسبة: 20.946% من حجم الهواء الجاف.
- الأهمية:

- يعد أساس الحياة على سطح الأرض، ضروري لتنفس الجذور والبذور والكائنات الحية الدقيقة في التربة.
- يلعب دورًا أساسيًا في عملية التنفس الخلوي في النباتات، والتي تنتج الطاقة اللازمة للنمو والعمليات الحيوية.
- معظمه مثبت مع المركبات العضوية واللاعضوية والقليل منه حر.
- يدخل في تركيب الماء ويذوب فيه بنسب بسيطة فيشكل مصدر الحياة للأحياء البحرية.

💡 الزراعة المائية (Hydroponics) والترب سيئة التهوية تعاني من نقص الأكسجين في منطقة الجذور، مما يؤدي إلى إضعاف النباتات وزيادة تعرضها للأمراض.

الأرغون (Ar – Argon):

- النسبة: 0.934% من حجم الهواء الجاف.
- الأهمية: غاز نبيل خامل كيميائيًا تماماً، ليس له تأثيرات بيولوجية أو زراعية مباشرة، لكنه يستخدم في بعض التطبيقات الزراعية كغاز واقٍ في تخزين الحبوب والمحاصيل لمنع الأكسدة.

الغازات النبيلة الأخرى (Ne, He, Kr, Xe):

- النسب: ضئيلة جدًا (جزء في المليون أو أقل).
- الأهمية: ليس لها دور زراعي مباشر، ولكنها تُستخدم كـ متتبعات (Tracers) في الدراسات الهيدرولوجية والجوية لتعقب حركة الكتل الهوائية والملوثات.

ب. <u>الغازات المتغيرة (Variable Gases)</u>

تختلف نسب هذه الغازات بشكل كبير حسب الموقع الجغرافي، الارتفاع، الوقت من اليوم، والفصل من السنة. وعلى الرغم من أن كمياتها ضئيلة مقارنة بالغازات الثابتة، إلا أن تأثيراتها على المناخ والزراعة بالغة الأهمية.

بخار الماء (H_2O – Water Vapor):

- النسبة: تتراوح بين 0% في المناطق القطبية الجافة إلى حوالي 4% في المناطق الاستوائية الرطبة (متوسط حوالي 0.4%).
- الأهمية:

- يعتبر بخار الماء المصدر الأساسي لهطول الأمطار، وهو شريان الحياة للزراعة البعلية.
- يلعب دوراً حاسماً في الرطوبة النسبية (Relative Humidity)، التي تؤثر على معدلات النتح (Transpiration) والتبخر (Evaporation) من التربة والمحاصيل.
- يؤثر على انتشار الأمراض الفطرية (مثل البياض الدقيقي والصدأ)، حيث تزدهر معظم الفطريات المسببة للأمراض النباتية في الظروف الرطبة.
- هو أقوى غازات الدفيئة تأثيرًا، حيث يساهم بنسبة تتراوح بين 36-70% من ظاهرة الاحتباس الحراري الطبيعي.

ثاني أكسيد الكربون (CO_2 – Carbon Dioxide):

- النسبة: حوالي 0.04% (420 جزء في المليون حاليًا، ارتفاعًا من 280 جزءًا في المليون قبل الثورة الصناعية).
- الأهمية:

- يمتص النبات ثاني أكسيد الكربون من الجو عبر الثغور ويستخدمه في تصنيع الكربوهيدرات (السكريات والنشويات) في عملية البناء الضوئي.
- **زيادة** تركيز CO_2 في الجو قد تؤدي إلى **زيادة** معدلات البناء الضوئي في بعض المحاصيل (مثل القمح والأرز)، ولكن على حساب **انخفاض** القيمة الغذائية (انخفاض تركيز البروتينات والمعادن).
- **زيادة** تركيز CO_2 في الجو تؤدي إلى **ارتفاع** الحرارة بمقدار 0.5 درجة مئوية، **واختفاؤه** من الجو يؤدي إلى **خفض** الحرارة حوالي 21 درجة مئوية وقد حاول العلماء تفسير العصور الجليدية من خلال تأثير هذا الغاز على درجة الحرارة.

- من غازات الدفيئة الرئيسة فهو المسؤول عن حوالي 9-26% من الاحتباس الحراري، مما يؤثر على أنماط هطول الأمطار، درجات الحرارة القصوى، وتوزيع المناطق الزراعية عالميًا.

الميثان (CH_4 – Methane):

- النسبة: حوالي 1.8 جزء في المليون (بزيادة قدرها 2.5 مرة عن مستويات ما قبل الصناعة).
- الأهمية:

- الزراعة مصدر رئيسي لانبعاثات الميثان حيث ينتج عن قطاع الزراعة حوالي 40-50% من انبعاثات الميثان العالمية، مصدرها الرئيسي: زراعة الأرز – التحلل اللاهوائي للسماد الناتج من المخلفات الحيوانية – مزارع تربية الحيوان (تنتج الأبقار والأغنام والماعز كميات كبيرة من الميثان أثناء عملية الهضم).
- من أكثر غازات الدفيئة فعالية حيث للميثان القدرة على حبس الحرارة أكبر بـ 28 مرة من CO_2 على مدى 100 عام.

أكسيد النيتروز (N_2O – Nitrous Oxide):

- النسبة: حوالي 0.33 جزء في المليون.
- الأهمية:

- يمثل استخدام الأسمدة النيتروجينية (خاصة الأسمدة الآزوتية) المصدر الأكبر لانبعاثات N_2O، حيث تحدث عمليات النترجة (Nitrification) ونزع النتروجين (Denitrification) في التربة.
- من غازات الدفيئة الفعالة جدًا له قدرة على حبس الحرارة أكبر بـ 298 مرة من CO_2 على مدى 100 عام.
- مستنفد لطبقة الأوزون حيث يساهم في تدمير طبقة الأوزون الستراتوسفيرية.

الأوزون (O_3 – Ozone):

- النسبة: يتركز معظمه في طبقة الستراتوسفير (الأوزون الجيد)، ولكن توجد كميات ضئيلة في التروبوسفير (الأوزون السيء). لو جمع كل الأوزون في الغلاف الجوي وطبق عليه ضغط مستوى سطح البحر مع الحرارة لشكل طبقة ثخانتها حوالي 3 مم فقط. تركيز الأوزون منخفض في جميع المستويات، وأعلى تركيز له عند ارتفاع 25 كم حيث يبلغ جزءاً واحداً في مئة ألف. يمتص الأوزون بشدة الأشعة فوق البنفسجية الصادرة عن الشمس، وبالتالي تصل إلينا نسبة قليلة جداً من هذه الأشعة التي لها آثار ضارة أو مميتة.
- الأهمية:

- أوزون الستراتوسفير: يحمي المحاصيل والكائنات الحية من الأشعة فوق البنفسجية الضارة.
- أوزون التروبوسفير: يعد ملوثًا ضارًا (ضباب كيميائي ضوئي) يسبب أضراراً فزيولوجية للنباتات، بما في ذلك: تقليل عملية البناء الضوئي، تبقع الأوراق، انخفاض النمو والمحصول، وتقليل جودة المحصول.

💡 لوحظ في الأعوام الأخيرة نقصان كبير في الأوزون فوق القارة المتجمدة الجنوبية (أنتاركتيكا) في نصف الكرة الجنوبي خلال فصل الربيع، بسبب التفاعلات الكيميائية لمركبات كلوروفلوروكربون (CFCs) المستخدمة في الصناعة. يوجد الأوزون أحياناً بتركيز عالٍ في الغلاف الجوي الأدنى على ارتفاع عدة مئات من الأمتار، خاصة فوق المدن حيث يعتبر غازاً ساماً وأكّالاً، وعنصراً مهماً في الضبخان الكيميائي الضوئي (Photochemical smog). بفعل الإشعاع الشمسي على ثاني أكسيد النيتروجين الناتج عن الاحتراق، ينتج الأكسجين الذري الذي يساهم في تشكيل الضبخان.

ج. الهباء الجوي (Aerosols)

يسمى أيضاً الجسيمات الصلبة أو الايروسول: هو جسيمات صلبة أو قطرات سائلة دقيقة عالقة في الهواء، وتتراوح أحجامها بشكل عام بين 0.001 و100 ميكرومتر (µm).

يقدر تركيز هذه الجسيمات في الغلاف الجوي فوق اليابسة بحوالي 10,000 جسيمة/سم^3 وسطياً.

- مصادر الهباء الجوي: تنقسم مصادر الهباء الجوي إلى فئتين رئيسيتين:

أ. المصادر الطبيعية: الغبار الصحراوي – أملاح البحر – الدخان الناتج عن حرائق الغابات الطبيعية – الرماد البركاني – حبوب اللقاح والجراثيم الفطرية .....

ب. المصادر البشرية المنشأ: الأنشطة الزراعية – العمليات الصناعية – انبعاثات المركبات .....

يقدر ما يحقن في الغلاف الجوي من جسيمات أولية وتلك التي تتشكل فيه بحوالي 2,523 مليون طن سنوياً، منها حوالي 408 مليون طن (حوالي 16%) تنطلق من النشاطات البشرية، بما في ذلك الأنشطة الزراعية.

- التأثيرات الزراعية والبيئية للهباء الجوي: يظهر تأثير الهباء الجوي في عدة مستويات:

1. التأثيرات المناخية (التأثيرات المباشرة وغير المباشرة):

- التأثير المباشر: تمتص جسيمات الهباء الجوي (خاصة السخام الأسود Black Carbon) أو تعكس (خاصة الكبريتات والنتريتات) الإشعاع الشمسي مما يؤثر على درجة حرارة سطح الأرض.
- تؤثر دقائق الغبار بالإضافة إلى قطرات الماء والكريستال الجليدي على شفافية الهواء، حيث تخفض الرؤية وتعيق نفاذ بعض الأشعة الشمسية إلى سطح الأرض.
- التأثير غير المباشر: تعمل الجسيمات كـ نوى تكاثف سحابية مما يؤثر على تشكل الغيوم، كثافتها، عمرها، وكمية الهطول.

2. التأثيرات على صحة النبات وإنتاجيته:

- انسداد الثغور: تراكم الجسيمات على أسطح الأوراق (خاصة الجسيمات الكبيرة) يمكن أن يسد الثغور، مما يقلل من تبادل الغازات (CO_2 دخولاً، O_2 و H_2O خروجًا) ويقلل من معدل البناء الضوئي.
- تأثيرات سامة: قد تحتوي الجسيمات على معادن ثقيلة أو ملوثات عضوية سامة للنبات.

- تلوث المحاصيل: تراكم الجسيمات على المنتجات الزراعية (خاصة الخضروات الورقية والفواكه) يقلل من قيمتها التسويقية وقد يشكل خطرًا صحيًا على المستهلكين.

3. التأثيرات على التربة:

- ترسيب الهباء الجوي الرطب والجاف: يساهم في إضافة عناصر غذائية (مثل النيتروجين والكالسيوم والبوتاسيوم) إلى التربة، ولكن قد يؤدي أيضًا إلى تلوثها بالمعادن الثقيلة والملوثات العضوية.

4. التأثيرات على الماشية:

- مشاكل تنفسية: استنشاق الجسيمات الدقيقة (خاصة ذات القطر الهوائي الديناميكي أقل من 2.5 ميكرومتر – PM2.5) يمكن أن يسبب أمراضًا تنفسية في الماشية.

البنية العمودية الحرارية للغلاف الجوي (Vertical thermal structure of atmosphere):

يقسم العلماء الغلاف الجوي إلى طبقات مختلفة بناءً على الاختلافات في درجات الحرارة مع الارتفاع. ويظهر الشكل النموذجي أربع طبقات حرارية رئيسة، تفصل بينها مناطق انتقالية تعرف بـ فواصل.

جدول 2: الطبقات الحرارية للغلاف الجوي

الطبقة الحرارية الرئيسة	المدى التقريبي (كم)	سلوك درجة الحرارة	ميزات الطبقة
التروبوسفير	0 - 12	تتناقص مع الارتفاع	طبقة الكائنات الحية والجو، تمثل 75% من الغلاف الجوي
الستراتوسفير	12 - 50	تتزايد مع الارتفاع	طبقة الأوزون، تمثل 24% من الغلاف الجوي
الميزوسفير	50 - 85	تتناقص مع الارتفاع	طبقة باردة، تحترق فيها النجوم الصغرى
الثرموسفير	85 - 500+	تتزايد بشكل حاد مع الارتفاع	قليل من الجزيئات، حرارة عالية، تموجات وتقلبات
الأكسوسفير	500- 1000+	تستمر الحرارة بالارتفاع	أحياناً تحتوي على جزيئات تهرب إلى الفضاء بالتدريج

1. طبقة التروبوسفير(Troposphere) :

التروبوسفير هي الطبقة السفلى من الغلاف الجوي، الملاصقة لسطح الأرض. كلمة "تروبوسفير" مشتقة من اليونانية: "تروبو (Tropo) "وتعني **متغير**، و"سفير (Sphere) "وتعني **كرة**، في إشارة إلى التقلبات الجوية المستمرة التي تحدث فيها. وتتصف بما يلي:

- **متوسط الارتفاع** :حوالي 12 كيلومتراً فوق سطح البحر.
- **التباين الجغرافي** :يكون سمكها أكبر فوق خط الاستواء (حوالي 18-20 كم) بسبب ارتفاع درجة حرارة السطح، وأقل فوق القطبين (حوالي 7-8 كم).
- **الخصائص الفيزيائية**:
  - تحتوي على حوالي **75%من كتلة الغلاف الجوي** بالكامل.
  - تحتوي على **معظم** بخار الماء الموجود في الغلاف الجوي (حوالي 99%).
  - **تتناقص** درجة الحرارة مع الارتفاع بمعدل وسطي قدره 6.5 **درجة مئوية لكل كيلومتر** (أو حوالي 1 درجة مئوية لكل 150 متراً).
  - **متوسط درجة حرارة السطح:** حوالي **15درجة مئوية** في أسفل هذه الطبقة.
- **الأهمية**: تعد طبقة التروبوسفير "الطبقة المناخية" بامتياز، حيث تحدث فيها جميع الظواهر الجوية المؤثرة في الزراعة:
  - **تكوين السحب وهطول الأمطار:** تحدث عمليات تكاثف بخار الماء وتشكل الغيوم والأمطار والثلوج في هذه الطبقة.
  - **حركة الرياح:** الحمل الحراري العمودي بوساطة التسخين غير المنتظم عن طريق سطح الأرض، مما يحافظ على حركة الهواء بشكل واضح. تزداد سرعة الرياح مع الارتفاع حتى تصل إلى 144 كم/ساعة عند ارتفاع 12 كم وسطياً.
  - **تقلبات الطقس:** العواصف الرعدية، الأعاصير، الجبهات الهوائية، موجات الحر والبرودة.
  - **توزيع الحرارة والرطوبة:** تلعب دورًا حاسمًا في تحديد مواعيد الزراعة، فترات النمو، واحتياجات المحاصيل من المياه.

💡 الحد الأعلى لطبقة التروبوسفير يسمى التروبوبوز(Tropopause) : ومتوسط ارتفاعه حوالي 10 كم. يصل ارتفاعه إلى 15 أو 16 كم فوق خط الاستواء، وينخفض إلى 5-6 كم فوق المنطقة القطبية. يميل إلى الارتفاع في الصيف عنه في الشتاء. يتصف التروبوبوز بثبات درجة الحرارة (طبقة انقلاب حراري).

2. طبقة الستراتوسفير(Stratosphere) :

الستراتوسفير هي الطبقة الثانية من الغلاف الجوي، تمتد من أعلى التروبوسفير (التروبوبوز) حتى ارتفاع حوالي 50 كيلومتراً. وتتصف بما يلي:

- **الخصائص الفيزيائية:**
  - طبقة مستقرة جدًا حيث لا تحدث فيها تيارات رأسية قوية (مثل التروبوسفير)، تكون حركة الهواء فيها **أفقية** بشكل أساسي، أي تعمل طبقة الستراتوسفير كغطاء لاضطرابات التروبوسفير والحركات العمودية.
  - **تتزايد** درجة الحرارة مع الارتفاع في هذه الطبقة (عكس التروبوسفير)، **وسبب** زيادة درجة الحرارة يعود إلى امتصاص الأشعة فوق البنفسجية بواسطة جزيئات الأوزون O_3.
  - لا تتكون غيوم في الستراتوسفير بسبب انعدام بخار الماء تقريباً، باستثناء **غيوم الصدف (اللؤلؤية)** (Nacreous clouds) في المناطق القطبية خلال فصل الشتاء.
- **الأهمية:**
  - تحتوي على **طبقة الأوزون** (Ozone Layer)، التي تمتص حوالي 95-99% من الأشعة فوق البنفسجية الضارة (UV-B / UV-C) القادمة من الشمس. بدون هذه الحماية كانت الحياة على سطح الأرض مستحيلة.
  - استقرار هذه الطبقة يجعلها مثالية **للملاحة الجوية** طويلة المدى، مما يسهل نقل المنتجات الزراعية والبضائع عالميًا.
  - المواد المستنفدة للأوزون مثل مركبات **كلوروفلوروكربون** (CFCs) التي كانت تستخدم في التبريد الزراعي والتغليف، تسببت في استنفاد طبقة الأوزون وظهور **ثقب الأوزون** (Ozone Hole) فوق القطب الجنوبي.

💡 الطائرات التجارية تطير في طبقة الستراتوسفير السفلى لتجنب اضطرابات الطقس في التروبوسفير.

💡 الحد الأعلى لطبقة الستراتوسفير يسمى **الستراتوبوز** (Stratopause): متوسط ارتفاعه حوالي 50 كم.

3. طبقة الميزوسفير(Mesosphere) :

الميزوسفير هي الطبقة الثالثة وكلمة "ميزو (Meso) "تعني **متوسط** أو **أوسط**. تمتد من الستراتوبوز (حوالي 50 كم) إلى الميزوبوز (حوالي 85-90 كم).

- **الخصائص الفيزيائية:**
  - **تنخفض** درجة الحرارة مع الارتفاع لتصل إلى أدنى قيمها في الغلاف الجوي عند الميزوبوز (حوالي -90 درجة مئوية أو أقل)، ويعود **سبب البرودة** إلى عدم وجود مصادر تسخين فعالة (لا تمتص الغازات في هذه الطبقة كميات كبيرة من الأشعة الشمسية).
  - تتميز بالحركة العمودية النشطة للهواء، م الفضية خلال الصيف في العروض العليا.

- توجد غيوم خاصة خلال الصيف تسمى **الغيوم الفضية** أو غيوم الميزوسفير القطبية أو غيوم الليل المضيء، وهي أعلى غيوم في الغلاف الجوي، وتتكون من بلورات الثلج على ارتفاعات عالية جدًا.
- معظم الشهب والنيازك التي تدخل الغلاف الجوي **تحترق** في هذه الطبقة بسبب الاحتكاك مع جزيئات الهواء، مما يحمي سطح الأرض من القصف المستمر.

- **الأهمية:**
  - ليس لها تأثير مباشر على العمليات الزراعية، لأنها تقع في ارتفاعات عالية جدًا ولا تتفاعل مع النظم البيئية السطحية.

💡 الحد الأعلى لطبقة الميزوسفير يسمى **الميزوبوز**(Mesopause) وهي أبرد نقطة في الغلاف الجوي.

4. طبقة الثيرموسفير(Thermosphere) :

الثيرموسفير هي الطبقة الرابعة، وكلمة "ثيرمو (Thermo) "تعني **حرارة**. تمتد من الميزوبوز (حوالي 85 كم) إلى ارتفاعات تصل إلى 500-1000 كم.

- **الخصائص الفيزيائية:**
  - **ترتفع** درجة الحرارة بشكل حاد مع الارتفاع، وقد تصل إلى 1500 درجة مئوية أو أكثر في الطبقات العليا، وتفسر الزيادة في درجة الحرارة عن امتصاص الأشعة فوق البنفسجية بوساطة ذرات الأكسجين والنيتروجين.
  - الهواء خفيف جداً لدرجة أن الجزيئات متباعدة للغاية، مما يجعل مفهوم "درجة الحرارة" هنا يعكس الطاقة الحركية للجزيئات وليس الإحساس بالحرارة كما نعرفه على سطح الأرض.
  - يتأثر الجو على ارتفاع 100-300 كم بأشعة إكس والأشعة فوق البنفسجية بشكل كبير، مما يؤدي إلى عملية التأين بفصل بعض الجزيئات الكهربائية وتغير الخصائص الكهربائية للغاز.
  - تفقد ذرات الأكسجين والنيتروجين عدداً من إلكتروناتها وتصبح موجبة الشحنة، معطية إلكتروناتها لذرات أخرى لتصبح سالبة الشحنة.

💡 **الأيونوسفير(Ionosphere) :** الأيونوسفير ليس طبقة منفصلة تمامًا، بل هو منطقة داخل الثيرموسفير (وتمتد أيضاً إلى أعلى الميزوسفير) حيث تكون الجزيئات والذرات **متأينة** بفعل الأشعة الشمسية عالية الطاقة (الأشعة السينية والأشعة فوق البنفسجية الشديدة).

- **الأهمية** :تعكس الموجات اللاسلكية القصيرة إلى الأرض، مما يمكن من الاتصالات اللاسلكية بعيدة المدى.
- **الشفق القطبي** :**(Aurora)** يحدث عندما تصطدم الجسيمات المشحونة القادمة من الشمس مع ذرات الأكسجين والنيتروجين في الأيونوسفير.

5. الإكسوسفير(Exosphere) :

الإكسوسفير هي الطبقة الخارجية من الغلاف الجوي، يبدأ من ارتفاع حوالي 500-1000 كم ويمتد إلى الفضاء الخارجي (بدون حدود محددة بوضوح).

- **الخصائص الفيزيائية:**

- **تتناقص** كثافة الجزيئات إلى حد أنها تقترب من الفراغ المطلق (خلاء الفضاء الخارجي).
- **تتحرك** الجزيئات بسرعات عالية جدًا وقد **تهرب** من جاذبية الأرض إلى الفضاء الخارجي.

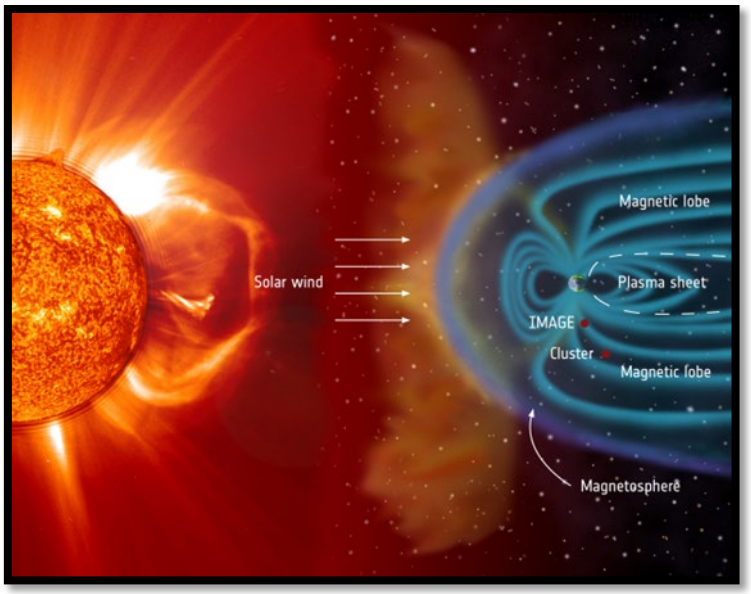
- **الأهمية:** نقطة الانتقال بين الغلاف الجوي للأرض والفضاء الخارجي.

6. الماغنتوسفير (Magnetosphere):

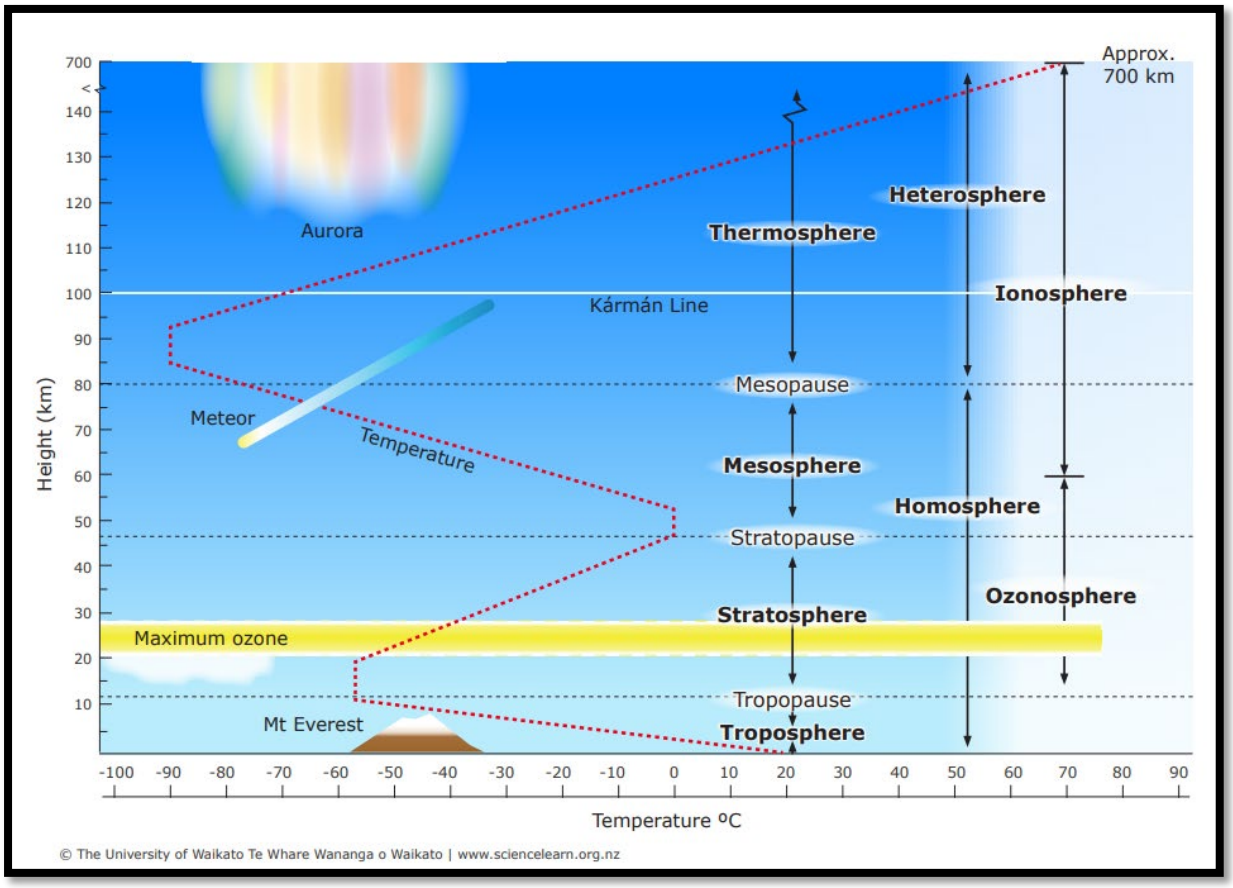
الماغنتوسفير ليست طبقة جوية بالمعنى الكيميائي، بل هي منطقة حول الأرض يسيطر عليها المجال المغناطيسي الأرضي. تمتد لمسافة تصل إلى عشرات الآلاف من الكيلومترات في اتجاه الشمس، ومئات الآلاف في الاتجاه المعاكس للشمس (في شكل ذيل).

- **الأهمية**:

- تعمل كدرع واقٍ يحرف الرياح الشمسية (Solar Wind – تيار من الجسيمات المشحونة المنبعثة من الشمس) والجسيمات الكونية عالية الطاقة، مما يحمي الغلاف الجوي والكائنات الحية من آثارها الضارة.
- عند ارتفاع يتجاوز 2000 كم توجد إلكترونات سالبة وبروتونات موجبة فقط، تتركز في حزمتين عند ارتفاع 4000 كم و20000 كم، وتعرف بحزم فان ألين (Van Allen).



الشكل (1) يوضح طبقة الماغنيتوسفير



الشكل (2) يوضح طبقات الغلاف الجوي وتغيرات الحرارة عمودياً

تلوّث الهواء (Air pollution):

ملوثات الهواء عديدة وتأثيرها على الإنسان والحيوان والنبات مختلف:

- **ثاني أكسيد الكبريت (SO_2):** يؤثر على العيون والأنف والحلق والرئتين، ويزيد من تفاقم داء الربو والتهاب القصبات الشعبي. عند انحلاله بالترسب أو التكاثف يشكل حمض الكبريتيك الذي يسبب انخفاضpH بمقدار 3 وهذه الحموضة تكفي لإذابة التماثيل الرخامية وبعض المباني.
- **الدقائق:** مثل الغبار الذي يحد من الرؤية وينقص من انتشار ضوء الشمس إلى الأرض.
- **المؤكسدات:** مثل ثاني أكسيد النيتروجين والأوزون تثير العيون وتفاقم أمراض الرئة، وربما تسرع طور العمليات وتسبب تفسخ مواد عديدة.
- **أول أكسيد الكربون (CO):** يضعف نقل الأكسجين في الجسم بتركيزات قليلة ويزيد نسب الوفيات العامة، ويمكن أن يكون مميتاً بتركيزات كبيرة.

- **الرصاص:** ينتج عن عوادم السيارات، يتراكم في الجسم ويؤثر على الدماغ والكلى والجهاز العصبي.

تم تقسيم تلوث الهواء إلى:

1. **التلوث غير الفعال** :هي الملوثات التي تتفاعل ببطء شديد **أو** لا تتفاعل مع المواد الكيميائية أو الغازات في الغلاف الجوي. تعتبر خاملة غالباً، تنتقل بالرياح وتنتشر بوساطة الدوامات المضطربة دون أن يتغير تركيبها.
2. **التلوث الرجعي (التفاعلي)** :تخضع الملوثات لتحولات كيميائية عند مصادفتها مواد أخرى أو تتغير بوساطة الإشعاع الشمسي.

كما تم تصنيف الملوثات إلى:

- **ملوثات غازية** :تشمل الأوزون، SO_2، CO، وأكاسيد النيتروجين.
- **ايروسول (جسيمات صلبة أو سائلة)** :يتضمن جزيئات الدخان (الكربون)، البكتيريا، غبار الطلع، جسيمات الملح، وأنواع كثيرة من الغبار. عندما يبلغ معدل هذه الجزيئات حوالي 90% من المجموع الكلي للدقائق فوق كامل الكرة الأرضية، يتوقف مفعولها.

تأثير الأرصاد الجوية في تلوث الهواء:

توجد ظاهرتان هامتان في علم الأرصاد تؤثران في تركيز ملوثات الهواء هما: **سرعة الرياح** و**الاستقرار الجوي**.

- **سرعة الرياح:** يزداد حجم الهواء المتأثر بالمصدر خطياً مع سرعة الرياح، وتختلف التركيزات عكساً مع سرعة الرياح.
- **الاستقرار الجوي:** يؤدي دوراً هاماً في التحكم بشدة الاضطراب الذي يمزج الملوثات عمودياً. يظهر الخلط العمودي بسهولة في الحالات غير المستقرة (هواء دافئ قرب السطح وهواء بارد في الأعلى، خاصة خلال الأيام المشمسة)، حيث يختلط الهواء النقي نزولاً والهواء الجاف صعوداً. أما عندما تنخفض درجة الحرارة ببطء مع الارتفاع أو تزداد (انقلاب حراري)، فإن الخلط العمودي يُكبح، وتميل الملوثات إلى المكوث عند ارتفاع ثابت في الغلاف الجوي.