جامعة حماه

كلية الزراعة

مقرَّر الأرصاد الجوية والمناخ الزراعي

المحاضرة النظرية الثانية 2018/10/17

الغلاف الجوي

1-تعريف الغلاف الجوي Atmosphere:

هو غلاف غازي رقيق جداً بالنسبة لقطر الأرض يحيط بالكرة الأرضية. وسمْك هذا الغلاف أرق من طبقة الزغب الذي يحيط بالدراقنة إذا تصورنا أن الأرض بحجم الدراقنة.

ويعتقد بعضهم أن نهاية الغلاف الجوي تبدأ عندما تنعدم الجاذبية الأرضية على مكونات هذا الغلاف من جهة وتقل آثار الحقل 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 (100-10) ألف كم مما جعل بعضهم يدمج الغلاف الجوي عند تلك المسافات بالفراغ الكوني نظراً لقرب كثافتيهما. غير أن الحد العلمي للغلاف الجوي الذي تتمثل فيه العديد من الظواهر الجوية المرئية من على سطح الأرض هو (1000) كم حيث تبدو ظواهر الشفق والشهب والنيازك وظاهرة الفجر القطبي التي تبدو بصورة ستائر متدلية مضيئة نحو سطح الأرض على ارتفاعات تتراوح بين (100-1000) كم. ولكن ما يهمنا في دراستنا لظواهر الطقس هو على ارتفاع (10) كم وهي الظواهر الملامسة لسطح الأرض من الغلاف الجوي.

وتتوقف جميع العمليات الحياتية على سطح الأرض على هذا الغلاف الهوائي الرقيق فهو:

- ينظم حرارة الجو ويحول دون حدوث أو ظهور الحرارة العالية جداً أو المنخفضة (كما هو الحال على سطح القمر حيث لا يوجد غلاف جوي).

– ينظم الحياة بطرق عديدة وذلك باستعمال مكوناته في العمليات البيولوجية:

أ– يعمل كحجاب واقٍ وذلك بفلترة الأنواع المختلفة من الإشعاعات الكهرومغناطيسية، وذرات الطاقة العالية من الشمس والفضاء الكوني.

ب– تقوم الرياح بنقل الحرارة والرطوبة وخلط الهواء بوساطته وبالتالي تجعل الكرة الأرضية أكثر انتظاماً مع مرور الزمن. ومن ناحية أخرى تقود الرياح تيارات المحيطات وتسبب الأمواج وتؤدي إلى تعرية الترب وتنقل غبار الطلع والحشرات.

إذن فالطقس يؤثر في المباني ويعطل النظم المنتشرة لوسائل الاتصال والنقل. ونحن نسمع الأصوات، ونشم الروائح، ونرى المشاهد، وهذا كله بفضل الغلاف الجوي. فما أحرانا أن نحافظ على هذا الغلاف ونتجنب تلويثه حتى نعيش حياة آمنة مستقرة خالية من الكوارث البيئية.

2–المنشأ والتركيب Origin and composition:

نشأ الغلاف الجوي الحالي وتطور بصورة بطيئة أي خلال فترة تزيد على مليون سنة تقريباً بعد تشكل الكرة الأرضية. وتدل الدراسات أن الغلاف الجوي تشكل منذ 4.5 بليون سنة تقريباً. وغازات الأرض المبردة التي ذابت ببطء في الصخر المصهور والتي انطلقت شكلت الغلاف الجوي الأولي. وقد أسهمت البراكين أيضاً في تشكيل هذا الخليط من الغازات التي تختلف إلى حد بعيد عن خلائط الغازات التي تشكل الغلاف الجوي الحالي.

والجدول رقم (1) يبين تركيب الغازات في الغلاف الجوي.

أدَّى تكاثف معظم بخار الماء Water vapor إلى ملء أحواض المحيطات عند ثوران البراكين المبكرة. وكذلك تفاعل ثاني أوكسيد الكربون مع المعادن أدى إلى تشكيل الكربونات، بينما نجد كثيراً من الهيدروجين قد أفلت من حقل الجاذبية الأرضية إلى الفضاء الكوني. ويُعتقد أنَّ الأوكسجين الحر تشكل على الأرجح بعد الربع الأول من حياة الكرة الأرضية، وبعد تشكل الحياة الأولى التي تتألف من البكتريا اللاهوائية البسيطة، والتي تستمر بالوجود حتى يومنا وتعيش بدون أوكسجين.

وتطورت النباتات الخضراء الأولية مؤخراً مثل الأشنيات Algae، وهذه الكائنات البسيطة تنتج الأوكسجين خلال عملية التمثيل الضوئي حيث يتحد ثاني أوكسيد الكربون مع الماء وينتج الكربوهيدرات والأوكسجين وفق التفاعل التالي: $6CO_2 + 6H_2O \longrightarrow C6H_{12}O_6 + 6O_2$

وقد قدر أن 95% من المجموع الكلي للأوكسجين الموجود في الجو ينتج بهذه الطريقة أي بوساطة النباتات الخضراء من خلال عملية التمثيل الضوئي.

والغازات تكون مختلطة بصورة جيدة نسبياً حتى مسافة 80 كم من الغلاف الجوي الأدنى، وتعرف هذه الطبقة باسم هوموسفير (طبقة الغلاف الجوي المتجانس) Homosphere، حيث تركيز الغازات الأساسية ثابت ومستقر بوضوح في كل مكان مع قليل من الشذوذ. ويعد الآزوت والأوكسجين الغازين الرئيسيين المكونين لهذه الطبقة وزناً وحجماً.

جدول (1) النسبة المئوية لحجم الغازات المكوّنة للغلاف الجوي

المكوّن	الرمز	النسبة المئوية بالحجم
١- مكونات رئيسة:		
النتروجين	N_2	٪ ٧٨
الأكسجين	O_2	٪ ٢١
الآرجون	Ar	٪ ٠,٩
ثاني أكسيد الكربون	CO_2	٪ ٠,٠٣
٢- مكوّنات ثانوية: النيون، والهيليوم، والميثان، وأول أكسيد الكربون، وبخار الماء (بنسبة غير ثابتة) ، ودقائق كالغبار والأملاح وغيرها.		٪ ٠,٠٧

ونلاحظ التمركز الكثافي للغازات فوق ارتفاع 80 كم حيث تميل الغازات المختلطة إلى التطبق وفقاً لأوزانها (كما هو الحال عند السوائل ذات الكثافات المختلفة)، وتسمى هذه الطبقة بالهتروسفير Heterosphere (الغلاف الجوي غير المتجانس). وتتركز طبقة النتروجين في هذه الطبقة أي فوق ارتفاع 80 كم أولاً ثم الأوكسجين الذري ومن ثم الهليوم وأخيراً طبقة الهيدروجين حتى ارتفاع 10000 كم تقريباً.

3-الغلاف الجوي الأدنى The Lower Atmosphere:

يوجد إلى جانب أغلبية العناصر المدرجة في الجدول رقم (1) غازات أخرى مثل: النيون والهليوم والميتان والكربتون والكسينون وأكاسيد النتروجين وتشكل هذه الغازات جزءاً من مئة جزء في 1%.

ويهتم البيولوجيون بالخواص الكيميائية للغازات لأن بعضها كالآزوت والأوكسجين وثاني أوكسيد الكربون Carbon dioxide تستخدم في العمليات الحياتية. وتعطى أهمية كبيرة لكثير من هذه الغازات ذات المقدار الضئيل بسبب تأثيرها على مجموع الاشعاع الشمسي في الكرة الأرضية، وكذلك تأثيرها على المناخ. حيث

يساهم CO_2 وبخار الماء وغازات أخرى في التوازن الحراري بتركيزات صغيرة. ويؤدي غاز الميتان وأكاسيد النتروجين التي تدعى بغازات البيت الزجاجي Greenhouse gases إلى زيادة حرارة سطح الأرض في حال وجودها بسبب تأثيرها على الإشعاع الحراري والصادر عن الأرض. وبسبب تأثير البيت الزجاجي تكون الأرض Earth أسخن بحوالي 35 درجة مئوية، وغياب غازات البيت الزجاجي تصبح الأرض كوكباً مغطىً بالجليد. فالكواكب الأخرى كالمريخ Mars والزهرة Venus تتمثل أهمية مناخاتها بصورة مثيرة بتأثير البيت الزجاجي. حيث يشكل غاز ثاني أوكسيد الكربون 97% من الغلاف الجوي للزهرة وبالتالي درجة حرارة سطحها تبلغ 480 درجة مئوية وكذلك أثر البيت الزجاجي يكون سريع التقلب. أمَّا المريخ فغلافه الجوي أقل من 1% من غلاف الجوي للكرة الأرضية وبالتالي يبلغ تأثير البيت الزجاجي الحد الأدنى وتختلف درجات الحرارة في خط الاستواء المريخي من 10 درجة مئوية عند الظهيرة إلى – 50 درجة مئوية في الليل.

يحتوي الهواء عادة بعض الماء في الحالة الغازية، ويشـــغل أحياناً قدراً من الحجم حوالي 4%، وتختلف هذه النســبة بصــورة كبيرة حســب الوقت والمكان. فنجد أخفض نســبة من بخار الماء في المنطقة القطبية والمناطق الصحراوية (0.02%) في حين ترتفع هذه النسبة إلى 3% وسطياً عند خط الاستواء.

الماء هو الوحيد الذي يمكن أن يوجد بحالات ثلاث غاز وسـائل وصـلب حيث يوجد بصـورة طبيعية في حرارة الكرة الأرضية. وتجري دورة التحول باستمرار بين هذه الحالات الثلاثة حيث تؤدي دوراً مهماً في الحفاظ على الحياة. وبالإضـــافة إلى ذلك تؤدي تغيرات الجو لحالة الماء دوراً آخر له أهمية كبيرة لعالم الأرصـــاد الجوية، فعند تحوّل الماء من الشكل السائل أو الصلب تنطلق بعض الطاقة الحرارية من جزيئات الماء التي تحصــل عليها من محيطها. وهكذا فاســتهلاك الحرارة في مكان ما خلال عملية التبخر يمكن أن يحرر كلية في مكان آخر خلال عملية التكاثف، وهذه الطريقة فعالة في نقل الحرارة فوق مساحات ضخمة.

وبالإضافة إلى كون بخار الماء مصدر الظواهر المائية كافة في الجو نجد له آثاراً حراريةً واضحة لقدرته على امتصـاص الجزء الأكبر من الأشـعة ذات الموجات الطويلة (تحت الحمراء) حيث يمنع هذه الأشـعة من التسرب إلى الجو الأعلى معيداً إياها إلى سطح الأرض حيث يحميها من التبرّد الليلي الشديد، كما أن الغيوم المتشكلة من تكاثف بخار الماء تتصف بقدرتها على عكس جزء من الأشعة الشمسية الساقطة عليها وتمتص جزءاً من الأشـعة الواردة عليها مشـعة بعضـها نحو الأرض وبعضـها الآخر نحو الجو الأعلى. وكذلك يترافق تكاثف بخار الماء وهطول الأمطار بإطلاق حرارة كانت كامنة في جزيئات بخار الماء ولذلك نشــعر بالدفء النسبي أثناء هطول الأمطار.

يوجــد الأوزون بكميــات قليلــة جــداً قرب ســـطح الأرض تشـــكــل أقــل من أجزاء قليلــة في مئة مليون. ولو جمع كل الأوزون في الغلاف الجوي وطبق عليه ضــغط مســتوى البحر مع الحرارة لشّــكل

طبقة ثخانتها حوالي 3 مم فقط. وتركيز الأوزون في جميع مستويات الغلاف الجوي منخفض ويوجد أعلى تركيز له على ارتفاع (25) كم حيث يبلغ جزءاً واحداً في مئة ألف.

والأوزون غاز مهم على الرغم من كميته الضئيلة بسبب تحويله الطاقة الإشعاعية التي تمر في الغلاف الجوي. فهو يمتص بشدة الأشعة فوق البنفسجية الصادرة عن الشمس وبالتالي تصل إلينا نسبة قليلة جداً من هذه الأشعة التي لها آثار ضارة أو مميتة على سطح الأرض.

يتشكل الأوزون (O_3) في الغلاف الجوي من تصادم ذرة أوكسجين (O) وجزيء أوكسجين (O_2) وجسيمات حافزة مثل النتروجين. فالأوكسجين الذري يتشكل في الجو عن طريق انشطار جزيء الأوكسجين تحت تأثير أشعة الشمس ذات الموجات القصيرة جداً. والحد الأعظمي للأوزون كما ذكرنا سابقاً على ارتفاع 25 كم تقريباً وهذا ضروري لتحقيق توازن عاملين هما:

أ- إتاحة الطاقة الشمسية ذات الموجات القصيرة جداً لإحداث الأوكسجين الذري الذي ينفذ تدريجياً في الطبقات الأعلى من الغلاف الجوي.

ب- كثافة كافية من الجسيمات لإحداث التصادم المطلوب.

وقد لوحظ في الأعوام الأخيرة نقصان كبير في الاوزون Ozone فوق القارة المتجمدة الجنوبية Antarctica في نصف الكرة الجنوبي في فصل الربيع. و سبب هذا النقصان هو التفاعلات الكيميائية التي تستخدم في الصناعة كلوروفلوروكربون Chloroflorocarbon (CFCs).

ويوجد الأوزون أحياناً بصورة واضحة وبتركيز عال في الغلاف الجوي الأدنى على ارتفاع عدة مئات من الأمتار وخاصة فوق المدن. فالأوزون غاز سام وأكال وكذلك عنصر مهم في الضبخان(ضباب ودخان) الكيميائي الضوئي (Photochemical smog) الذي يمرض بعض المدن الكبيرة. وخلال تأثير الإشعاع الشمسي على ثاني أوكسيد الآزوت ينتج عن الاحتراق الأوكسجين الذري وهو شكل في الضبخان بالدرجة الأولى.

الجسيمات الصلبة في الهواء:

يتوقف مفعول الجسيمات الصلبة في الغلاف الجوي على نوعها. وهذه الجسيمات تشمل دقائق الغبار الناعم المكنوس من الترب المكشوفة بوساطة الرياح، والسخام الناتج عن حرائق الغابات والحرائق الصناعية ونباتات المحاصيل الصناعية Industrial plants (وهي نباتات زيتية كالسمسم والخروع، ونباتات ألياف كالقطن والكتان والقنب، ونباتات صبغية كالنيل والحناء والقنب)، والبراكين، وغبار الطلع والكائنات الدقيقة

المنقولة أيضـــاً بالرياح، وغبار النيازك، والأملاح التي تدخل الغلاف الجوي من بخار المحيطات. تعرف هذه الجسيمات جميعها بالايروسول Aerosol.

– تبقى الجسيمات الكبيرة زمناً طويلاً في الهواء، وهي توجد بأعداد كبيرة جداً لا نستطيع رؤيتها بالعين المجردة، حيث تبقى ساكنة لشهور عدة أو أعوام كاملة. فمثلاً بركان كراكاتوا Krakatoa أثناء ثورانه العنيف في غرب الهند عام 1883 قذف جسيمات الغبار الناعمة عالياً في الغلاف الجوي وطوق العالم حوالي عامين وهذا أدَّى إلى حدوث شروق وغروب الشمس الكبير. وايضاً انفجار التشيكون ElChichon في الميكسيكو الذي وقع في 28 آذار 1982 أدخل مقادير كبيرة من الغبار و SO_2 في الغلاف الجوي شملت الكرة الأرضية وأدَّى ذلك إلى انخفاض الإشعاع الشمسي بقدر 20% على السطح في بعض الأماكن، وربما كان سبباً في نقصان درجة حرارة سطح الأرض حوالي درجة مئوية واحدة خلال الشهر الأول بعد الانفجار. وحديثاً أدخل انفجار قمة بيناتوبو Mt. Pinatubo في الفيلبين 15 حزيران (1991) الذي يعد من أكبر الانفجارات في القرن العشرين 20–30 تيراغرام Teragrams من ثاني أوكسيد الكبريت في الغلاف الجوي الأدنى على ارتفاع عن سطح البحر بحدود 30 كم. حيث تأكسد SO_2 إلى حمض الكبريت وتكثف كايروسول في الستراتوسفير. وبقي محجوزاً في المنطقة الاستوائية وبعد عام واحد انتشر الايروسول في كامل الكرة الأرضية واستمر تركيزه فوق سطح الأرض سنوات عدة. وأثر هذا الايروسول على التركيب الكيميائي لطبقة الستراتوسفير مؤدياً بصورة فعلية إلى نفاد الأوزون من 5–10% وأيضاً من خلال عكس دقائق الايروسول لضوء الشمس سبب التبريد العالمي حوالي 0.5 درجة مئوية وامتد هذا التأثير سنوات عدة.

– تعمل كثير من دقائق الغبار الصغيرة في الهواء الجوي كمراكز أو نويات تكاثف Nuclei التي يتشكّل حولها حبيبات الماء الناعمة أو الكريســـتال الجليدي (وهذه الظاهرة ســـوف تدرس بالتفصـــيل من خلال موضوع الغيوم وتكاثف البخار).

تؤثّر دقائق الغبار في الهواء بالإضافة إلى قطرات الماء والكريستال الجليدي على شفافية الهواء حيث تؤدي إلى خفض الرؤية وإعاقة نفوذ بعض الأشعة الشمسية إلى سطح الأرض أيضاً. وهناك اعتقاد أن الإنسان هو السبب في رفع حمولة الغلاف الجوي من الغبار عن طريق المصانع والطائرات وربما أيضاً أثر في تغير المناخ. لا شك أن البشرية أسهمت بشكل كبير في تلويث المدن (حيث بلغ عدد ذرات الغبار رقماً عالياً يقدر بعدة ملايين/سم^3 في الهواء المحمل بالدخان). وبشكل عام مازال تأثير الإنسان على تلوث الهواء بالغبار في الغلاف الجوي قليلاً في الوقت الحالي مقارنة مع المصادر الطبيعية كالبراكين.

4-الغلاف الجوي الأعلى The Upper Atmosphere:

تبقى معظم عناصـــر الغلاف الجوي ثابتة لا تتغير فعلياً حتى ارتفاع 80-90 كم عن ســـطح الكرة الأرضـــية، وتوجد بعض التغيرات الهامة في العناصـــر الثانوية جداً كالأوزون وبخار الماء والغبار. وتتغير المقادير النسبية لهذه العناصر فوق مستوى 80-90 كم، وكذلك تتغير أنواع الغازات. وتخضع غازات الهواء الجوي المتفرقة في الهتروسفير لتأثيرات كيميائية ضوئية مختلفة التي تحدث بوساطة الأشعة فوق البنفسجية ذات الأمواج القصـيرة جداً وأشـعة X الصـادرة عن الشـمس. ونتيجة التفاعلات الكيميا ضـوئية هذه تشـطر جزيئات الأوكسـجين إلى ذرتين وكثير من هذه الجزيئات والذرات تتأين (أي تتحول إلى أيونات)، وبذلك تُقذف الالكترونات من ذراتها وتغادرها مع الشحنة الموجبة الكلية.

تحوي كامل الطبقة من حوالي ارتفاع 80 كم فما فوق عدداً كبيراً من الايونات المشـــحونة ايجابياً والكترونات حرة وهذا يعود إلى طبقة الايونوســـفير Ionosphere. وهذا الجزء المشـــحون الالكتروني يكون مفيداً جداً في وسـائل الاتصـال اللاسـلكي، عن طريق عكس الموجات الإشـعاعية أو اللاسـلكية. حيث يصـل الإرسـال العالمي وينتقل بخطوط مباشرة بين طبقة الايونوسفير وسطح الأرض بواسطة الموجات الإشـعاعية النشيطة.

يتغير توزع الالكترونات بشـــكل كبير مع الارتفاع. ويلاحظ تغير منتظم وواضـــح من النهار إلى الليل حيث تنشأ بعض الطبقات عن التغيرات في شدة الإشعاع الشمسي بصورة أساسية. بالإضافة إلى ذلك يوجد تشـويش أو اضـطرابات سـببية مفاجئة في الايونوسـفير (S.T.D.S) وتدفقات مفاجئة ايونوسـفيرية تترافق مع الاضـطرابات في الشـمس. وتمتد هذه الاضـطرابات المفاجئة في الايونوسـفير من 15 إلى 30 دقيقة، وتنتج عن ذلك انفجارات في الأشـعة فوق البنفسـجية محدثة زيادة مفاجئة في إنتاج الالكترونات، وهذه الالكترونات تمتص جزءاً من الطاقة الإشـعاعية الأمر الذي يؤدي إلى تلاشـي الاتصـالات في الجانب المشـمس من الكرة الأرضية.

ويمتد التدفق المفاجئ للايونوســـفير الذي يمكن أن يحدث خلال النهار أو الليل لعدة ســـاعات أو ليوم كامل. ويعتقد أن هذه التدفقات تسـببت عن طريق دفق الجسـيمات المشـحونة الصـادرة عن الشـمس، وهذه الجسيمات المتحركة سريعاً والموجهة نحو القطبين بوساطة الحقل المغناطيسـي الأرضـي لا تؤيّن الهواء فقط ولكن تؤدي إلى عرض جميل للشفق القطبي الشمالي aurora borealis (أضـواء شـمالية) والشـفق القطبي الجنوبي Aurora australis (الأضواء الجنوبية).

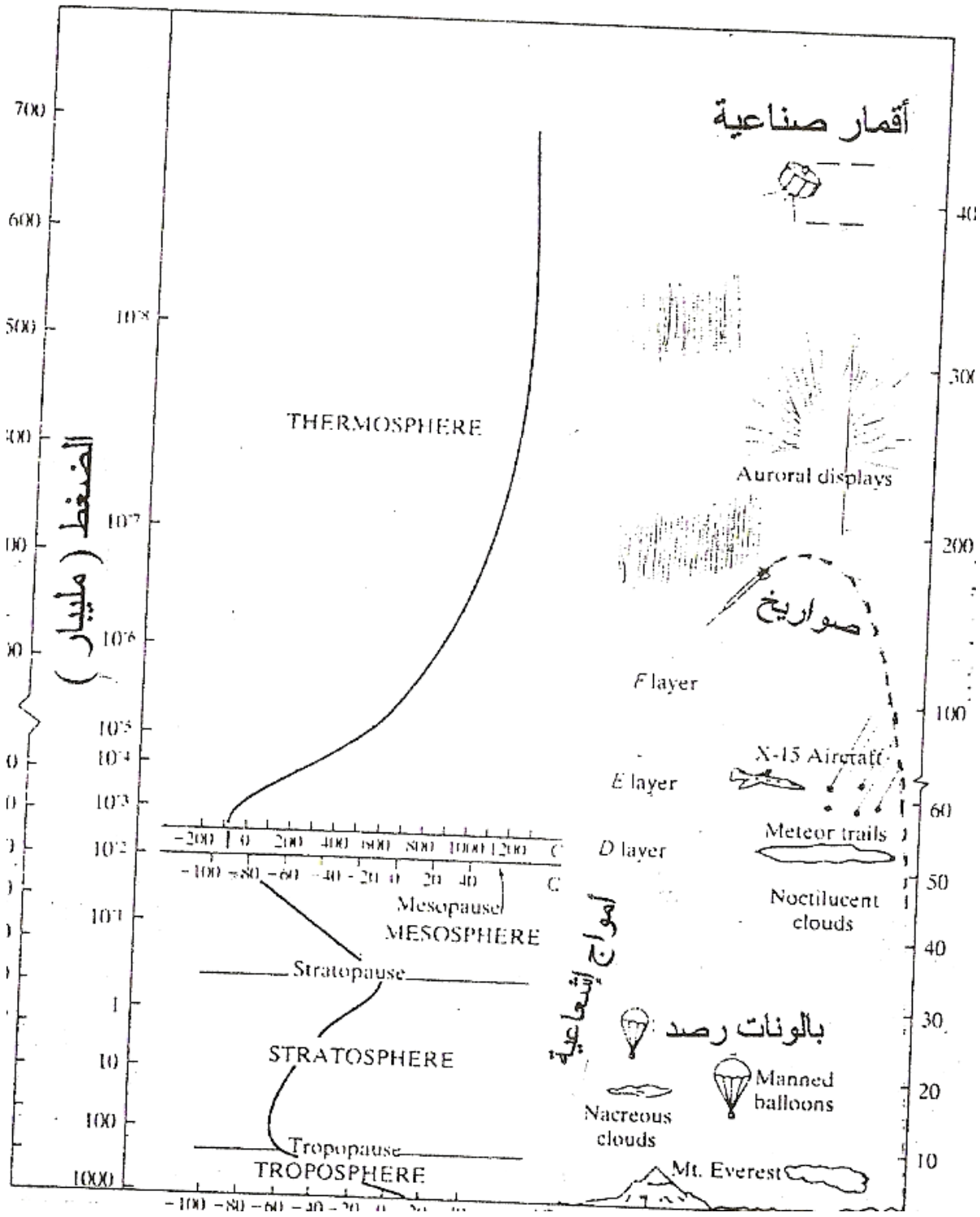
5-التوزع الشاقولي للحرارة Temperature Distribution in the vertical:

إنَّ توزع متوسطات الحرارة العمودي موضَّح في الأشكال (1، 2، 3) الذي يزودنا أساساً بتقسيم الغلاف الجوي إلى أغلفة وطبقات:

آ-طبقة التروبوسفير Troposphere:

وهي الطبقة الدنيا من الغلاف الجوي، وتتميز هذه الطبقة بما يلي:

- انخفاض درجة الحرارة مع الارتفاع بمقدار 6.5 درجة مئوية/كم تقريباً. وبالتالي تقل كثافة الهواء وينخفض الضغط الجوي مع الارتفاع.
- يحدث في هذه الطبقة بصورة أولية تدفق الحمل الحراري العامودي بوساطة التسخين غير المنتظم عن طريق سطح الأرض حيث يحافظ على حركة الهواء بشكل واضح. وتزداد سرعة الرياح مع الارتفاع حتى تصل إلى 144 كم/ساعة عند ارتفاع 12 كم وسطياً.
- يسمى الجزء القريب من سطح الأرض /0-3 / كم بالطبقة الجغرافية المضطربة حيث يوجد فيها السحب ومعظم الغبار وبخار الماء في الغلاف الجوي. وإنّ التغيرات التي تجري في الظواهر الجوية لا تخضع لقاعدة ثابتة بسبب تأثير سطح الأرض أولاً وكثرة الاضطرابات الجوية وتيارات الهواء الحملانية ثانياً.
- ويعرف الحد الأعلى لطبقة التربوسفير بالتروبوبوز Tropopause ويبلغ ارتفاعها وسطياً حوالي 10 كم، ويختلف هذا الارتفاع باختلاف الوقت من السنة والارتفاع عن سطح البحر، ويتساوى من يوم إلى يوم في المكان نفسه. ويصل ارتفاع التروبوبوز بصورة نموذجية حتى 15 أو 16 كم فوق خط الاستواء وينخفض إلى 5-6 كم فوق المنطقة القطبية. وهو يميل إلى الارتفاع في الصيف عنه في الشتاء. وتتصف طبقة التروبوبوز بثبات درجة حرارتها دون زيادة أو نقصان وهي طبقة انقلاب حراري.



الشكل (1) يبين التوزع الشاقولي لدرجات الحرارة في الغلاف الجوي والظواهر الجوية

ب- طبقة الستراتوسفير Stratosphere: وتتميز بالآتي:

- الحد الأعلى لهذه الطبقة حوالي 50 كم، ودرجة الحرارة في الجزء الأدنى تكون ثابتة نسبياً ثم تزداد في الجزء الأعلى مع الارتفاع حتى تصل في الستراتوبوز Stratopause (سقف هذه الطبقة) إلى مستوى الحرارة عند سطح البحر أو أقل من ذلك.
- وتنشأ الحرارة في هذه الطبقة عن امتصاص الأوزون مباشرة لأشعة الشمس فوق البنفسجية. وسوف نوضح في المواضيع القادمة أن زيادة الحرارة مع الارتفاع يمنع الهواء من الحركة عمودياً (تعاقب الارتفاع والانخفاض).
- تعمل طبقة الستراتوسفير كغطاء للاضطرابات والحركات العمودية في التربوسفير.
- الهواء في هذه الطبقة جاف تماماً حيث تكون معزولة عن مصادر الرطوبة في سطح الأرض.
- يوجد معظم الأوزون في هذه الطبقة والذي تكون كثافته القصوى عند ارتفاع 22 كم.

جـ- طبقة الميزوسفير Mesosphere:

- تتراوح بين ارتفاع 50 و85 كم، وتنخفض درجة الحرارة مع الارتفاع بسرعة حتى تصل إلى حوالي (-95) درجة مئوية في الميزوبوز mesopause وهي عبارة عن أبرد نقطة في الغلاف الجوي.
- تتميز هذه الطبقة بالحركة العمودية النشطة للهواء، وبوجود الغيوم الفضية خلال الصيف في العروض العليا.

د- طبقة الترموسفير Thermosphere:

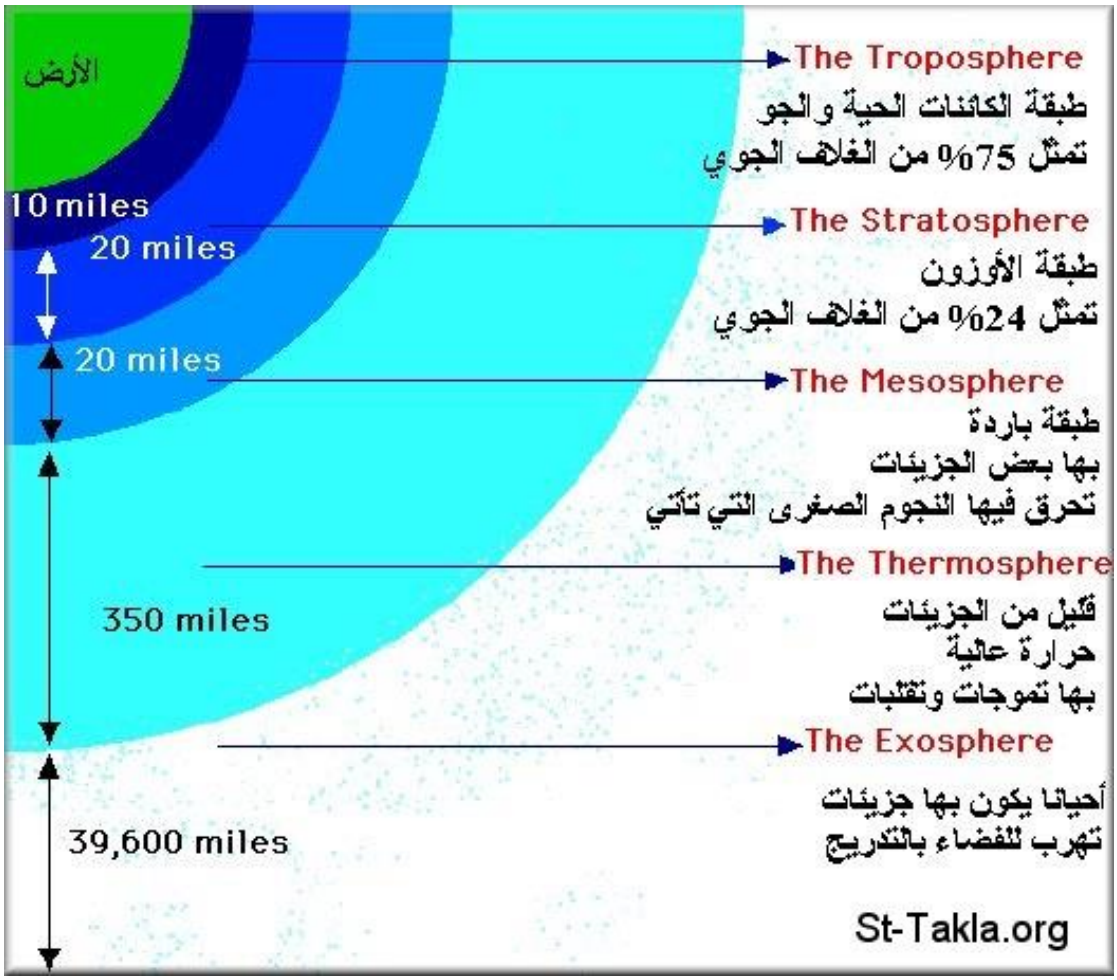
- تأتي بعد طبقة الميزوسفير وتصل حتى ارتفاع 500 كم، حيث تزداد درجة الحرارة بسرعة مع الارتفاع في هذه الطبقة ومن ثم تبطؤ (تصل إلى 1200 درجة مطلقة عند ارتفاع 350 كم).
- تنشأ الزيادة في درجة الحرارة عن امتصاص الأشعة الشمسية قصيرة الموجة (الأشعة فوق البنفسجية) بوساطة ذرات الأوكسجين والنتروجين.
- مع مقارنة درجات الحرارة العالية في الترموسفير بدرجات الحرارة قرب سطح الأرض نجد تشابهاً ولكن هذا مضلل لأن الجزيئات في الترموسفير تتحرك بسرعة كبيرة جداً وتعزى هذه الحرارة للسرعة المتوسطة للجزيئات، وبما أن الكثافة الجوية في طبقة الترموسفير منخفضة جداً فإن تصادم هذه الجزيئات سريعة الحركة قليل جداً وبالتالي تنقل الطاقة بصورة قليلة جداً. وهكذا نجد أن الترموسفير له صفات متناقضة ظاهرياً حيث يمكن أن يكون بآن واحد حاراً جداً وبارداً جداً.

- ويتأثَّر الجو على ارتفاع 100 كم وحتى 300 كم بأشعة إكس والأشعة فوق البنفسجية بصورة كبيرة حيث تسببان حدوث عملية التأين وذلك عن طريق فصل لبعض الجزيئات الكهربائية مما يؤدي إلى تغير الخصائص الكهربائية للغاز. وهذا ما يحدث لغازي الأوكسجين والآزوت حيث يفقد كل منهما عدداً من الكتروناته ويصبح الغاز ذا شحنة موجبة معطياً الكتروناته إلى ذرات أخرى حتى تصبح شحنة هذا الغاز سلبية.

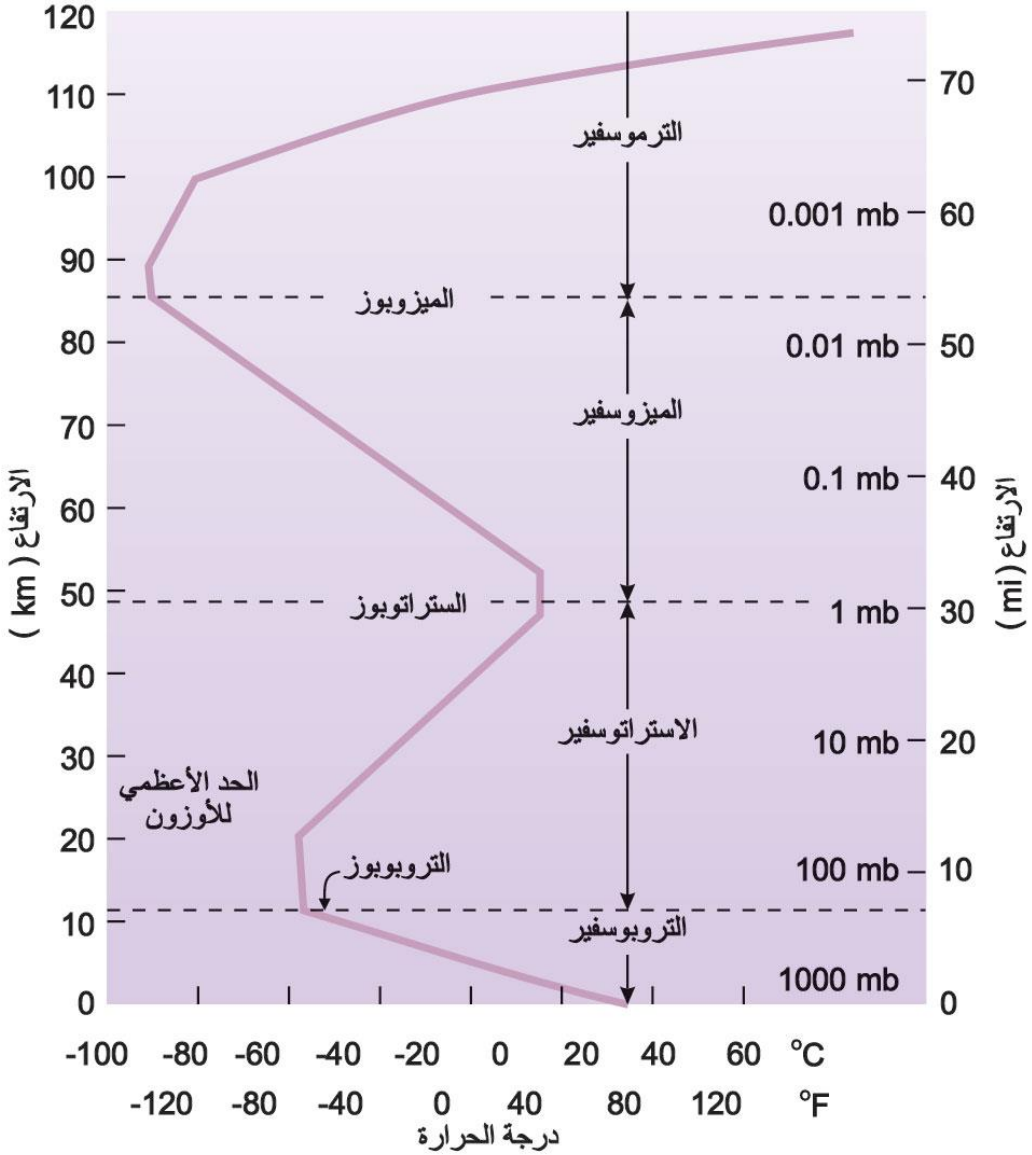
وإن الطبقة المتأينة (الأيونوسفير) ذات خصائص كهربائية تجعل لها القدرة على عكس الموجات اللاسلكية القصيرة نحو الأرض. وفيها تنتقل أيضاً بعض الإشعاعات المغناطيسية والكهربائية في أعلى الجو حيث يمكن أن تخترق الجزيئات المتأينة الجو مسببة ظهور الوهج القطبي (اورورا).

هـ- طبقة الاكسوسفير Exosphere:

- تنخفض كثافة الجزيئات فوق ارتفاع 500-600 كم، وتتصادم مع بعضها بصورة غير نظامية، وبعض هذه الجزيئات يفلت من الجاذبية الأرضية.
- تتميز طبقة الاكسوسفير بتحول من الغلاف الجوي الأرضي إلى غازات متفرقة جداً بين الكواكب وما بعدها.
- ولا بدَّ من الإشارة هنا إلى أنه عند ارتفاع يتجاوز 2000 كم توجد الكترونات سالبة وبروتونات موجبة فقط. وتتركز هذه الجزيئات المشحونة في حزمتين عند ارتفاع 4000 كم و20000 كم وتعرف هذه الجزيئات المشحونة بحزم فان آلين Van Allen.



الشكل (2) جزء من المنظر العام للغلاف الجوي وطبقاته



الشكل (3) التوزع الشاقولي للحرارة وطبقات الغلاف الجوي

6- تلوث الهواء Air pollution:

ملوثات الهواء عديدة وتأثيرها على الإنسان والحيوان والنبات مختلف.

- **ثاني أوكسيد الكبريت SO_2** يؤثر على العيون والأنف والحلق والرئتين، ويزيد من تفاقم داء الربو asthma والالتهاب الشُعبي. ويشكل SO_2 عند انحلاله بالترسب أو التكاثف حمض الكبريت الذي يمكن أن يسبب انخفاض pH بمقدار 3 وهذه الحموضة تكفي لإذابة تماثيل رخامية وبعض المباني.
- **الدقائق:** مثل الغبار الذي يحد من الرؤيا وينقص من انتشار ضوء الشمس إلى الأرض.

- **المؤكسدات:** كثاني أوكسيد الآزوت والأوزون التي تثير العيون وتفاقم أمراض الرئة، وربما تسرع طور العمليات، وتسبب تفسخ مواد عديدة.
- **أول أوكسيد الكربون:** يضعف نقل الأوكسجين في الجسم بتركيزات قليلة ويزيد نسب الوفيات العام. ويمكن أن يكون مميتاً (fatal) بتركيزات كبيرة.
- **الرصاص:** ينتج عن عوادم السيارات ويتراكم في الجسم ويؤثر على الدماغ والكلى والجملة العصبية بصورة سيئة.

يقسم تلوث الهواء إلى قسمين: تلوث غير فعال وتلوث رجعي (متفاعل).

1- التلوث غير الفعال: هو تلك الملوثات التي تتفاعل بصورة بطيئة جداً أو لا تتفاعل مطلقاً مع المواد الكيميائية أو الغازات في الغلاف الجوي. ويعتبر التلوث غير الفعال كمواد خاملة غالباً، لأنها تنتقل عن طريق الرياح وتنتشر بوساطة الدوامات المضطربة دون أن يتغير تركيبها.

2- التلوث الرجعي: تخضع الملوثات هنا إلى تحولات كيميائية عند مصادفتها مواد أخرى أو تتغير بوساطة الإشعاع الشمسي.

ويمكن أن تصنف الملوثات أيضاً كغازات وايروسول Aerosols (جزيئات صلبة أو سائلة تنتشر في الغلاف الجوي).

-**الملوثات الغازية:** تشمل الأوزون وSO_2 وCO وأكاسيد النتروجين.

- **ايروسول:** يتضمن جزيئات الدخان (الكربون) والبكتريا وغبار الطلع وجسيمات الملح وأنواع كثيرة من الغبار. وعندما يبلغ معدل هذه الجزيئات في الهواء حوالي 90% من المجموع الكلي للدقائق فوق كامل الكرة الأرضية يتوقف مفعولها.

يعبَّر عن تركيز الايروسول عادة بوزن الملوثات في وحدة حجم الهواء أي بوحدات ميكروغرام/م^3. ويعطى تركيز الغاز دائماً بمصطلحات تركيز الحجم أي عدد جزيئات الملوث لكل مليون جزيئة من الهواء أو أجزاء لكل مليون (PPm).

ويوجد الايروسول بشكلين أساسين: انحلال أو تفسخ المادة وتكتل الجزيئات. وأمثلة عملية الانحلال هي:

- تتشكل جزيئات الغبار الناعمة بوساطة تأثير الرياح نتيجة جرف الترب الجافة.
- إنتاج حبيبات الملح بواسطة كسر الفقاعات على سطح البحر والتبخر اللاحق للماء.

أما عملية تشكل الايروسول عن طريق التكتل فهذه الأمثلة التالية:

– إنتاج قطيرات الماء بوساطة التكاثف.

– تشكل السخام بوساطة ذرات الكربون التي توجد بعد الاحتراق الانفلاتي عندما يحترق الزيت أو الفحم بصورة جزئية.

ويختلف التركيب الكيميائي للايروسول بصورة واسعة حسب المصادر المجاورة. فأيونات السلفات (SO_4^{-2}) والنترات (NO_3^{-1}) والكلوريد Cl^- والأمونيوم (NH_4^-) هي عناصر شائعة ذات تركيز نموذجي 10^{-6} غ/م^3. وكذلك ايروسول السلفات بأقطار حوالي 1Mm هي مقومات لسلسلة التلويث الواسع النطاق الذي يمكن أن يغطي مناطق مختلفة ويخفض الرؤية بضباب رقيق مظلم إلى كيلومترات مختلفة. وتعد أيونات السلفات أيضاً مقومات الضبخان الكبريتي (كضباب لندن الذي أزعج بريطانيا العظمى من القرن الثالث عشر حتى وقت مبكر من عام 1950 عندما ضبط احتراق الفحم الكبريتي). ومن ناحية أخرى يحدث الضبخان الكيميائي الضوئي عندما يحدث ضوء الشمس تفاعلات كيميائية بين أكاسيد النتروجين والمركبات العضوية التي تحتوي ايونات النترات بتركيز كبير.

ينقل الايروسول إلى سطح الأرض بوساطة الترسب Sedimentation، وبعد التصادم يلتصق بالمواد الصلبة، وكذلك ينتقل بوساطة العمليات المستخدمة للماء أو أي سائل آخر لإعاقة المطر Rainout واجتراف التربة Washout. ويرجع إعاقة المطر إلى اندماج الجزيئات بقطرات الغيوم أو بلورات الجليد عندما تصلح الجزيئات كنويات للغيوم. واجتراف التربة هو انتقال الجزيئات بوساطة سقوط بخار الماء المتكاثف خلال الهواء الملوث. ومركبات الكبريت هي وسط بين الملوثات السائدة والضارة. وكان ثاني أوكسيد الكبريت مكوناً خطيراً لضبخان لندن في كانون الأول / 1952 / الذي تسبب بوفاة حوالي / 4000 / شخص.

وعند احتراق الوقود مثل الزيت والفحم المحتوي على كبريت ينتج عنه ثاني أوكسيد الكبريت. ويحتوي النحاس والزنك والرصاص الخام على كبريت غالباً ويفصل من المعدن بوساطة الشيّ. وبالتالي يمكن أن يذوب ثاني أوكسيد الكبريت في الماء ويتأكسد مشكلاً حمض الكبريت (H_2SO_4) مسبباً بذلك المطر الحامضي acid Rain. ويمكن أن يوجد ثاني أوكسيد الكبريت في الهواء لعدة أيام وبالتالي عند هبوب الرياح ينتشر إلى مئات الكيلو مترات بعيداً عن المصدر مشكلاً سلسلة من التلويث الهوائي الاقليمي.

الأمطار الحامضية عرفت منذ 250 سنة، وتعد هذه الأمطار من أكثر مشاكل تلويث الهواء دراسة ومثيرة للجدل والخلاف. وأهم التأثيرات غير الملائمة والمحتملة الحدوث للأمطار الحامضية ما يلي:

– ترسّب المواد الحامضية على سطح الأرض.

– موت الأسماك في البحيرات المتأثرة بالأمطار الحامضية (مثال ذلك في الشمال الشرقي للولايات المتحدة الأمريكية والجنوب الغربي لكندا).

- التداخل في الغطاء النباتي وعمليات التربة.
- تآكل المواد كحجر الكلس والمباني.
- تلويث ماء الشرب بوساطة ترشيح المواد السامة عن طريق الماء الحامضي.

وكما نعلم أن الـــ pH يعبّر عن درجة تفاعل الوسط فعندما تكون قيمة pH= 7 فالوسط متعادل كالماء المقطر. وعندما تكون القيم أقل من 7 تمثل زيادة الحموضـــة والقيمة أعلى من 7 تشـير إلى القلوية. وعندما وللإشارة هنا إلى أن الخل له درجة حموضة = 3.2 وعصير الليمون =2.2 وحمض البطارية = 1. وعندما تصبح درجة الحموضة في الهواء = 5.6 فالمطر يكون حامضياً بصورة طفيفة ولو كان غير ملوث بسبب وجود CO_2 في الهواء. وتموت معظم أنواع الأســماك عندما تنخفض درجة الحموضـــة إلى 5 في البحيرات والأنهار.

والظاهرة المثيرة للجدل حول مشكلة المطر الحامضي هو أن الملوثات التي تؤدّي إلى تشكل ترسبات حامضية (ثاني أوكسيد الكبريت وأكاسيد النتروجين) تنتقل من مصدرها مئات أو آلاف الكيلومترات باتجاه الريح. وبالتالي تؤثّر على المناطق البعيدة الخالية تقريباً من هذه المواد.

تعدّ أكاسيد النتروجين التي تتألف من أوكسيد الآزوت NO وثاني أوكسيد الآزوت NO_2 مقومات هامة في تشكيل الضبخان الكيميائي الضوئي (وهذا النوع وجد في لوس أنجلس). فعند التسخين بوسائل الإحراق مثل السيارة يتأكسد الآزوت الجوي N_2 إلى NO ومن ثم يتأكسد إلى الغاز البني NO_2. وعند تعرض أكاسيد الآزوت لموجات ضوء الشمس القصيرة يتحطم NO_2 إلى NO ويتحرر نتيجة ذلك الأوكسجين الذري (O). وبالتالي يتحد الأوكسجين الذري مع الأوكسجين الجزيئي O_2 ويتشكل الأوزون O_3، وهذا يؤدي إلى انحلال المواد كالمطاط والبلاستيك بصورة سريعة. ويمكن أن تظهر كثير من التفاعلات الإضافية بين الأوزون وأكاسيد الآزوت والهيدروكربون الرجعي ويحدث نتيجة ذلك خلائط معقدة في الضبخان الكيميائي الضوئي.

تأثير علم الأرصاد الجوية في تلويث الهواء:

توجد ظاهرتان هامتان في علم الأرصاد الجوية تؤثران في تركيز ملوثات الهواء هما سرعة الرياح Wind speed والاستقرار Stability. فبالنسبة للمصدر الأول–سرعة الرياح – يزداد حجم الهواء المتأثر بالمصدر بصورة خطية مع سرعة الرياح، وتختلف التركيزات من المصدر الأول عكساً مع سرعة الرياح.

والاستقرار في الغلاف الجوي يؤدي دوراً هاماً عن طريق التحكم في شدة الاضطراب الذي يمزج ملوثات الهواء بصورة عمودية. ويظهر الخلط العمودي بسهولة في الحالات غير المستقرة Unstable في الهواء

الدافئ قرب سطح الأرض ويكون الهواء البارد في الأعلى (ويظهر ذلك عادة خلال الأيام المشمسة)، ويختلط الهواء النقي نزولاً إلى الأســـفل والهواء الجاف يحمل إلى الأعلى. وعندما تنخفض درجة الحرارة ببطء مع الارتفاع أو تزداد مع الارتفاع (الانقلاب الحراري) يكبح الخلط العمودي وتتجه الملوثات إلى المكوث عند ارتفاع ثابت في الغلاف الجوي.

وتظهر طبقة الهواء غير المستقر في الظروف الطبيعية أقرب إلى سطح الأرض مع الهواء المستقر غالباً. وعمق هذه الطبقة غير المســـتقرة بالعلاقة مع الأرض يســـمى العمق المزيج Mixing depth ويظهر هذا العمق بســـهولة بســـبب الخلط العمودي في هذه الطبقة. ويختلف العمق النموذجي لطبقة الخلط حوالي 600 متر فوق لوس أنجلس إلى1 كم أو 2 كم فوق المدن في الغرب الأوسط أو الشرق. وتركيز الملوثات في طبقة المزج يميل لأن يكون ثابتاً عمودياً، وبســـبب ذلك يوجد أعظم تركيز للتلويث في طبقات المزج الســـطحية أو عند الانقلاب ويكون الخلط العمودي ضعيفاً في كل مكان.