مادة تلوث الهواء

المرحلة الثالثة

2025-2024

د. احمد رياض العراقي

د. نور ميسر

المقدمة

تلوث الهواء Air pollution

يعتبر تلوث الهواء من اقدم المشاكل البيئية التي عرفها الانسان حيث ان المصادر الطبيعية كانت متعددة كالبراكين وحرائق الغابات والعواصف الترابية وغيرها، وقد بدأت مشاركة الانسان في التلوث الهوائي بالظهور منذ ان بدأ باستخدام النار في حياته اليومية للطهي والتدفئة وغيرها. ومنذ ذلك الحين مازالت هذه القضية في تفاقم مستمر واصبحت تعد من اهم واخطر القضايا البيئية على الاطلاق.

بدات مشكلة تلوث الهواء تزداد بشكل فعلي وجدي بعد الحرب العالمية الثانية وظهور البترول وما تلاها من ثورة صناعية ورخاء اقتصادي. فقد انتشرت المصانع المختلفة التي تعمل على الفحم والبترول كما انتشرت السيارات واليات النقل المختلفة مما ادى الى ارتفاع حاد في نسبة الملوثات الهوائية وذرات الغبار في الجو. لقد انصب اهتمام الناس بالتطور الصناعي والاقتصادي بدون النظر الى ابعاده البيئية. وقد سبب هذا التطور على حساب البيئة العديد من الكوارث البيئية التي ظهرت فيما بعد والتي اودت بحياة الكثير من الناس.

فقد حدثت كثير من الكوارث البيئية بسبب تلوث الهواء والتي راح ضحيتها أعداد كثيرة من الناس. فمثلا في بلجيكا عام 1930م تسبب تلوث الهواء الحاد نتيجة تراكم النفايات الكيميائية الناتجة من المصانع الى وفاة 60 شخصا إلى جانب اصابة الآف من العمال وعامة الناس بالتهابات مؤلمة في العينين والرئتين، ويرجح خبراء البيئة ان هذه الكارثة هي الأولى من نوعها في العصر الحديث. وفي دونورا بولاية بنسلفانيا في أمريكا عام 1948م تسبب تلوث الهواء الشديد في حدوث ضباب دخاني مميت أدى إلى اختناق 20 شخصًا وإصابة 7000 شخص بأمراض. وسبب تلوث الهواء في مدينة لندن في عام 1952م في الى وفاة ما يقارب 4000 شخص في مدة لا تزيد عن عشرة أيام. وفي عام 1956م تكرر الحدث ومات 1000 شخص. تشير الإحصاءات الى ان ملوثات

الهواء تتسبب في موت حوالي 50.000 شخصا سنويا (اي تمثل هذه النسبة حوالي 2% من النسبة الاجمالية للمسببات الاخرى للموت).

أصبح الهواء في البيئة الخارجية والبيئة الداخلية مشبعا بالملوثات الغازية والجزيئات الصلبة وغيرها. واخذ تاثير هذه الظاهرة يظهر واضحا ليس على مستوى المدينة فقط بل امتدت إلى الريف أيضا.

لذا فانه إذا اراد الانسان ان يحافظ على صحته وسلامة بيئته فلابد من السيطرة على تلوث الهواء وذلك لدوره الرئيسي وصلته المباشرة بحياة الانسان والكائنات الحية الاخرى والبيئة.

تكمن خطورة الهواء عند تلوثه في كونه لا يرى ولكن الإنسان يأخذه عن طريق جهاز التنفس ويدخل مباشرة إلى ثنايا الرئتين وهي أنسجة حساسة وطرية ومهيأة لعمليات التبادل الغازي. وبذلك فإن وجود أي أبخرة او غازات او قطيرات سائلة في الهواء قد يؤدي الى اختراق الأغشية المبطنة للحويصلات الرئوية، وهذا يعني إمكانية وصولها إلى الدم ومن ثم إلى المراكز الحساسة في الجسم خلال عدة ثوان وإحداث تأثير بايولوجي فيه ومن دون إدراك الإنسان لذلك، وبالتالي يجب ان يكون الهواء صالحا للإستنشاق ولا يحتوى على ملوثات من شأنها ان تسبب ضررا بالصحة العامة سواءا على المدى القريب أو البعيد.

لا تعود الآثار الضارة لتلوث الهواء إلى كمية المواد المنبعثة بقدر ما تعود إلى تراكيزها في هذه الأجواء. فقد تتنشر كميات قليلة وبتراكيز عالية ضمن مساحة محدودة فتحدث تلوثا كبيرا تفوق أضراره على الحالة التي لو تنتشر فيها لمساحات أوسع.

اتجهت مشكلة تلوث الهواء نحو الأسوأ بازدياد تطور التقنية الحديثة التي رافقت العمليات الصناعية المعقدة والمصانع التي أصبحت تنتج كميات متزايدة من الفضلات الغازية والصلبة والسائلة وتطرحها إلى البيئة المحيطة بها دون معالجة.

إن تطور التقنيات الجديدة لا يؤدي إلى تكوين الفضلات فحسب بل أنها عملت على ازدياد خطورة هذه الفضلات لكونها تشمل مواد سامة جديدة مما تخلق مشكلة في إيجاد الطرق الملائمة لتصريف هذه السموم. إن الكشف عن ملوثات الهواء يقتضي استخدام أجهزة غاية في الدقة وذلك بسبب دقة التراكيز المحسوسة لهذه الملوثات التي يمكن ان تسبب ضررا على صحة الانسان والتي تقدر ببضعة أجزاء من المليون (ppm) أو حتى أقل من ذلك وربما تقاس بالمايكروغرامات في المتر المكعب (المايكروغرام يعادل جزء بالمليون من الغرام) لذا فإن مسألة تطوير واستخدام الأجهزة

العالية الحساسية لملوثات الهواء تعتبر من أهم التحديات العلمية التي تواجه علماء البيئة والهندسة الكيماوية. وقد ظهر في التسعينات من القرن العشرين عدد من هذه الأجهزة ذات الحساسية العالية جعلت مهمة مراقبة تلوث الهواء بشكل أفضل.

إن الهواء الجوي هو ذلك الجزء من الغلاف الجوي الاقرب الى سطح الارص والذي عندما يكون جافاً وغير ملوث فانه يتالف من خليط من الغازات التي يشكل النايتروجين الجزء الاكبر منها بنسبة 78% ويليه الاوكسجين بنسبة 21% والاركون بنسبة 0.9% في حين تشكل الغازات الاخرى مثل ثنائي اوكسيد الكاربون، الهايدروجين، الاوزون، النيون، الكربتون، الامونيا، الميثان وبخار الماء نسبة ضيئلة من تركيب الهواء الجوي (جدول 1).

Chemical Composition of Normal Air

Substance	% By Volume in Dry Air
N_2	78.09%
O_2	20.94%
Ar	0.93%
CO_2	0.03%
Ne	0.0018%
He	0.00052%
CH_4	0.00022%
Kr	0.00010%
N_2O	0.00010%
H_2	0.00005%
Xe	0.00008%

Note: 1 ppm by volume = 0.0001% by volume.

جدول 1: مكونات الهواء الجاف الغير ملوث.

عادة يستطيع الهواء ان يحتفظ بمكوناته في الظروف الطبيعية من خلال دورة الحياة في النظام البيئي. فالنبات يأخذ ثنائي اوكسيد الكاربون من الجو فيحتفظ بالكاربون ويطلق الاوكسجين في الجو والذي تتنفسه الكائنات الحية وتطرح ثنائي اوكسيد الكاربون. إذا زادت نسبة ثنائي اوكسيد الكاربون في الجو فان الفائض يذوب في مياه البحار والمحيطات ويتفاعل مع املاح الكالسيوم مكونا كاربونات الكالسيوم (الاحجار الجيرية) وبذلك تحفظ الطبيعة ذاتها.

إن حدوث التغير الكمي او الكيفي في مكونات الهواء الجوي والتي تؤدي الى احداث اضرار للكائنات الحية والبيئة او اخلال في توازن النظام البيئي يمكن ان نطلق عليها مصطلح تلوث الهواء. بعبارة اخرى يعرف تلوث الهواء بانه عبارة عن وجود المواد الملوثة في الهواء والتي تسبب ضرر لصحة الانسان او ممتلكاته او الكائنات الحية الاخرى او التربة او المياه.

ان التغير الكمي قد ينتج عن زيادة بعض العناصر في الهواء عن نسبها الطبيعية المسموح بها وقد تحدث بصورة طبيعية، فمثلا حرائق الغابات تؤدي الى زيادة نسبة ثنائي اوكسيد الكاربون في الهواء عن المعتاد وبالتالي حدوث التلوث. أما بالنسبة للتغير الكيفي فهو يحدث نتيجة اضافة مركبات صناعية الى الهواء مثل المبيدات الحشرية، ولعل اكثرها ضررا وتاثيرا هو مبيد ال دي.دي.تي (D.D.T) الذي استخدم كثيرا في مقاومة الافات المنزلية والزراعية وخاصة اثناء انتشار الاوبئة قبل عام 1950م، وترك اثارا في الماء والهواء والتربة اثرت على الحياة البشرية وعلى كل من الطيور والحيوانات حتى اصبح استخدامه محضورا. كذلك استخدام مركبات الكلوروفلوروكاربون في المكيفات واجهزة التبريد الذي له اليد العليا في ثقب الاوزون.

بشكل عام يمكن تعريف الهواء الملوث بانه الهواء الذي يحوي في مكوناته مادة او اكثر بتركيز كاف لكي يترك اثاراً مضرة على صحة الانسان او الحيوان او النبات او الممتلكات (جدول 2)، يضاف الى هذا التعريف تاثير الزمن (فاذا كانت فترة التعرض للهواء الملوث طويلة فانه سيترك اثاراً ضارة حتى اذا كان تركيز المواد الملوثة قليلاً، بالاضافة الى ذلك سوف يترك اثاراً ضارة اذا كان تركيز المواد الملوثة كبيراً حتى ان كان زمن التعرض قصيرا).

Trace species concentrations in clean and polluted air

Parameter	Concentration (ppb)		Approximate residence time
	Clean air	Polluted air	
Particulates		>100 g/m^3	
CO	120	1 000-10 000	65 days
CO_2	320 000†	400 000	15 years
SO_2	0.2–10	20–200	40 days
NO	0.01–0.6	50–750	1 day
NO_2	0.1–1	50–250	1 day
HNO_2	0.001	1–8	
HNO_3	0.02–0.3	3–50	1 day
O_3	20–80	100–500	
NH_3	1–6	10–25	20 days
CH_4	1500	2500	8–10 years
N_2O	300		10–150 years
H_2S	0.2		
Pb	5×10^{-3} $\mu g/m^3$	0.5–3 $\mu g/m^3$	

† Carbon dioxide is not a pollutant in the strict sense, as its damage is to the upper stratosphere and not to the air quality at ground level.

Adapted in part from Seinfeld, 1986. Copyright © 1986. Reprinted by permission of John Wiley & Sons, Inc.

جدول 2: يوضح تراكيز الغازات في الهواء الملوث والهواء النظيف.

يتميز التلوث الهوائي عن غيره من اشكال التلوث في انه سريع الانتشار حيث لايقتصر تاثيره على منطقة المصدر وانما يمتد الى المناطق المجاورة والبعيدة. كذلك وبعكس اشكال التلوث الاخرى(المياه العادمة والنفايات الصلبة وغيرها) فان التلوث الهوائي لايمكن السيطرة عليه بعد خروجه من المصدر لذا يجب التحكم به ومعالجته قبل خروجه الى الجو، كما انه غالبا ما لايرى بالعين المجردة بالاضافة إلى انه متعدد المصادر. كل هذه الصفات تجعل من تلوث الهواء القضية البيئية الكبرى.

الغلاف الجوي The Atmosphere

يعرف الغلاف الجوي او مايعرف بالغلاف الهوائي بانه تلك الطبقة الشفافة التي تحيط بالارض (يابسها ومائها) احاطة تامة، وتفصل سطحها عن الفراغ الكوني، ممتدا بذلك بعيدا عن سطحها بضعة مئات او الاف الكيلومترات. حيث يبلغ اقصى عمقه عند خط الاستواء ويتضائل تدريجيا عند القرب من القطبين. ان 99.9% من كتلة الهواء توجد دون ارتفاع 50 كم و 0.1 % تتواجد بين ارتفاع 50–100 كم. يتركز وجود الكائنات الحية المختلفة في طبقة رقيقة من الكرة الارضية

تسمى بالمحيط الحيوي Biosphere ويشمل جزءا من الغلاف الجوي Atmosphere وجزءا من القشرة الارضية وكامل الغلاف المائي Hydrosphere، ويرتفع الى 26 كم فوق سطح الارض. يميل العلماء الى تحديد الغلاف الحيوي بالمجال الذي يحدث فيه نشاط مركز للكائنات الحية، وتمتد حدوده الى 20–50 مترا فوق سطح التربة والى 10–12 مترا تحت سطح التربة، كما يشمل كل عمق البحيرات والبحار والمحيطات الى عمق 250–400 متر.

وتكمن أهمية الغلاف الجوي للأرض بأنه يزود الكائنات الحية بالغازات التي تحتاجها من أجل عملية التنفس، وبما أن الغلاف الجوي يتكون من عدد من الغازات الشفافة فإنه يسمح للأشعة المرئية والحرارية بالمرور من خلاله كما أنه يقوم بوقاية الأرض بالوقت ذاته من الإشعاعات الضارة كالأشعة فوق البنفسجية التي تقوم طبقة الأوزون بامتصاصها .كما أن دور الغلاف الجوي لا يقتصر على حمايتنا من الأشعاعات الضارة بل ويتعدى ذلك إلى حمايتنا من النيازك والشهب التي يقوم بتفتيتها قبل وصولها إلى سطح الأرض، بالإضافة إلى قيامه بتوزيع الأشعة الضوئية وبخار الماء والحرارة في العالم بالإضافة إلى كونه الوسط الناقل للصوت على سطح الأرض. يعمل الغلاف الجوي على المحافظة على ثبات درجات الحرارة اليومية على سطح الارض وتقليل مدى الاختلاف بين درجاتها في اليل والنهار، كما ويعمل على حفظ حرارة الارض ليلا ومنعها من التسرب الى الفضاء الخارجي. يعتبر الغلاف الجوي مستودعا كبيرا للمياه يستخدم لنقل الماء حول الأرض، إذ يصل حجم الماء الموجود في الغلاف الجوي إلى حوالي 12.900 كيلومتر مكعب يتساقط معظمها على شكل أمطار في المحيطات والبحار حيث أنه إذا حدث وسقطت كل المياه الموجودة في الغلاف الجوي في آن واحد كأمطار فإنها ستغطي الكرة الأرضية بعمق يصل إلى 2.5 سم. ويقدر ثقل السحب التي يحتويها بآلاف المليارات من الأطنان. .ويتميز الغلاف الجوي للأرض بنسب الغازات التي تدخل في تركيبه إذ إنها تناسب الكائنات الحية على سطح الأرض وهو من الأسباب الرئيسية لعدم وجود الحياة في الكواكب الأخرى غير كوكب الأرض. لقد قسم العلماء الغلاف الجوي إلى سبع طبقات تقل سماكتها بالابتعاد عن سطح الارض وهي:

1- التروبوسفير Troposphere

وهي الطبقة السفلى من الغلاف الجوي والتي نعيش فيها الكائنات الحية وتمتد من سطح الأرض الى إرتفاع 12 كم تقريبا. وتحدث فيها معظم التغيرات الجوية والتقلبات المناخية من رياح وسحب وامطار وعواصف والتي تؤثر على حياة الانسان تاثيرا مباشرا. يقدر وزن

هذه الطبقة بنحو 80% من وزن الغلاف الجوي بسبب عظم كثافة عناصر الهواء فيها من ناحية وبسبب ضغط الطبقات التي تعلوها من ناحية اخرى. وهي من اهم الطبقات لانها تضم اهم الغازات اللازمة للحياة مثل الوكسجين وثنائي اوكسيد الكاربون. تقل درجة الحرارة في هذه الطبقة كلما ارتفعنا إلى الأعلى. هذه الطبقة هي الأكثر عرضة للتغيرات المناخية وكذلك للتأثيرات السلبية المباشرة لأنشطة الإنسان ويرى علماء المناخ والأرصاد الجوية أن طبقة التروبوسفير قد ظهر فيها طبقة كثيفة من الملوثات تشاهد من فوق المحيطات والقطب الشمالي، بل أحيانا تظهر مثل هذه الطبقة عند النظر من بناية مرتفعة في منطقة صناعية أو سكنية.

2- التروبوبوز Tropopause

هي طبقة انتقالية قليلة السمك تتسم بدرجات حرارتها المنخفظة جدا.

3- الستراتوسفير Stratosphere

هي الطبقة التي تعلو التروبوسفير وتمتد من ارتفاع 20-50 كيلومتر تقريبا فوق سطح الارض. تعتبر طبقة الستراتوسفير مستقرة نسبيا مع تواجد الهواء الساخن فوق الهواء البارد حيث تزداد درجة الحرارة فيها تدريجيا مع الارتفاع، لهذا فإن الحركة الرأسية تكون ضعيفة نسبيا وبالتالي خلوها من التقلبات الجوية والعواصف مما يجعلها مناسبة لحركة الطيران. تتميز طبقة الستراتوسفير أيضا بأنها تحتوي على القليل من الرطوبة لذلك يقل وجود الغيوم، أو أنه يحدث فقط في مناطق محدودة جدا، مثل القارة القطبية المتجمدة في الجنوب خلال الشتاء. كما ان كثاف الهواء تنخفض في طبقة الستراتوسفير، ولهذا فإنه عندما يحدث أي امتصاص وإن كان محدودا لأشعة الشمس تؤدي إلى زيادة كبيرة في درجات الحرارة. يتجمع ويتولد في هذه الطبقة غاز الاوزون (O_3)، حيث يتركز 91٪ منه بين ارتفاع 22-30 كم وتبلغ اقصى كثافة للاوزون عند ارتفاع 22 كم، لذا فانه يطلق عليها طبقة الاوزون. تتمثل مهمة هذا الغاز في هذه الطبقة في حماية البيئة وما عليها من احياء من خطر الاشعة فوق البنفسجية(Ultraviolet) ذات الطول الموجي القصير التي لو قدر لها ان تصل الى سطح الارض بكامل قوتها لدمرت كل مظاهر الحياة. اذ يقوم هذا الغاز بامتصاص هذه الاشعة ولا يسمح إلا بمرور نسبة ضئيلة منها ضرورية من اجل الحياة.

4- الميزوسفير Mesosphere

تقع هذه الطبقة فوق الستراتوسفير مباشرة وتمتد من ارتفاع 50–80 كم تقريبا فوق سطح الارض، فسمكها حوالي 30 كم. تتميز هذه الطبقة بضغط جوي منخفض جدا وتحتوي على كتل غازية أقل من الطبقات التي تقع أسفلها. وتكون هذه الطبقة خالية من بخار الماء وتتميز بالانخفاض التدريجي لدرجة حرارتها مع الارتفاع حيث تصل إلى 90 ـ درجة مئوية عند ارتفاع 85 كم، وبذلك تكون من أبرد طبقات الغلاف الجوي. هذه الطبقة تلعب دور وقائي مهم حيث يحترق فيها ويتحول الى رماد كل من الشهب والنيازك والاجرام السماوية التي تضل طريقها وتقع في مصيدة الجاذبية الارضية.

5- الايونوسفير Ionosphere

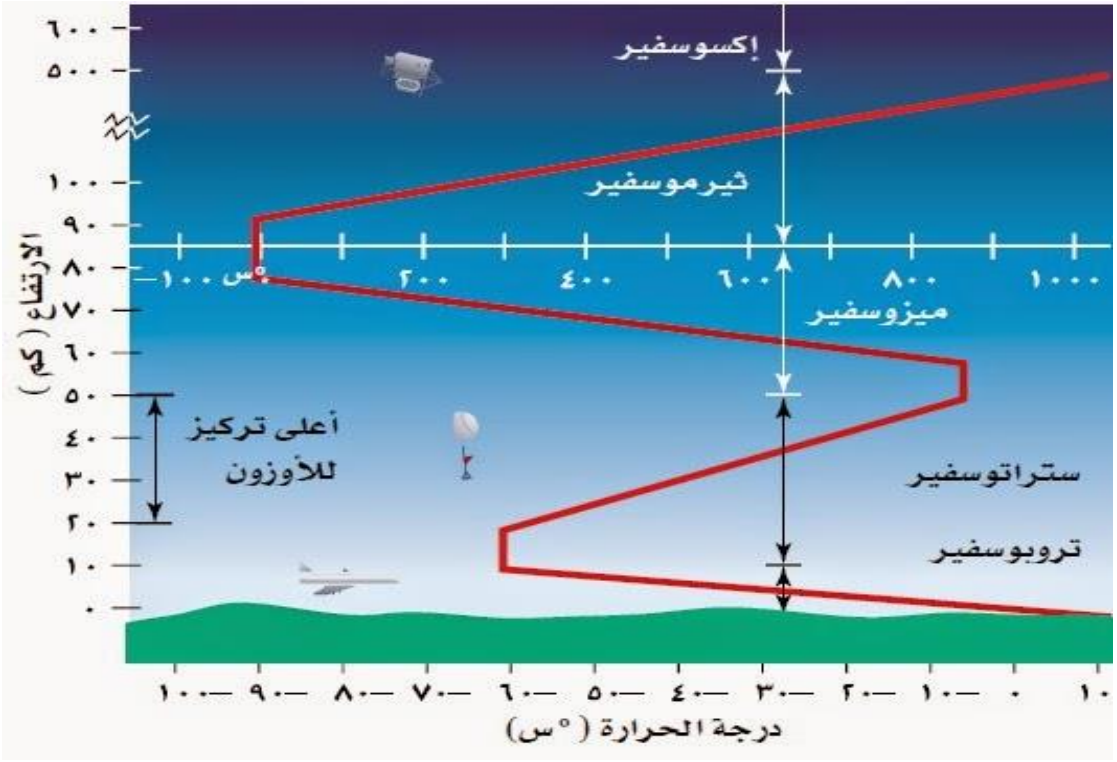
هي الطبقة التي تعلو الميزوسفير من ارتفاع 80 كم تقريبا وحتى 360 كم او اكثر. وتتميز هذه الطبقة بخفة غازاتها (التي تكون بشكل ايونات حرة) ويسود فيها غاز الهيدروجين والهليوم. تكون فيها جزيئات الغازات المكونة للجو متشردة نتيجة التعرض لاشعة الشمس، هذا التشرد يعكس امواج الراديو مما يجعل البث الاذاعي والاتصالات اللاسلكية ممكنة. وهذه الطبقة تمتص أشعة إكس الضارة على ارتفاع حوالي مئة كيلومتر فوق سطح البحر، وتمتص جزءا من الأشعة فوق البنفسجية ذات الطاقة العالية القادمة من الشمس.

6- الثرموسفير Thermosphere

تقع هذه الطبقة فوق طبقة الايونوسفير حيث تقل الكثافة الجوية بشكل شديد وتمتد هذه الطبقة حتى ارتفاع 500 كم تقريبا فوق سطح الارض. تمتاز بالتزايد التدريجي في درجات الحرارة كلما ارتفعنا إلى الأعلى منها، ومن هنا فقد سميت بهذا الاسم. درجة الحرارة في هذه الطبقة تتعرض للعديد من الاختلافات الفصلية واليومية، وبشكل كبير جدا، وذلك بسبب أن الغازات تكون ذات كثافة قليلة جدا، حيث تزداد درجات الحرارة في فترة ما بعد الظهر عن فترة الصباح الباكر. تؤثر طبقة الثيرموسفير على أحوال الطقس اليومية لكن بشكل خفيف، لكنها تؤثر على موجات الراديو بشكل كبير.

7- الاكزوسفير او طبقة الغلاف الخارجي Exosphere

هي الطبقة الخارجية من طبقات الغلاف الجوي تمتد فيما بين 500–700 كم وحتى نهاية الغلاف الجوي و تتصل بالفضاء الخارجي. تكون كثافة هذه الطبقة قليلة جدا بسبب بعدها عن سطح الأرض وقلة قوة الجاذبية فيها مما يؤدي إلى هروب العديد من جزيئات الهواء من هذه الطبقة.



شكل (1) يوضح طبقات الغلاف الجوي