مشكلة ثقب الأوزون

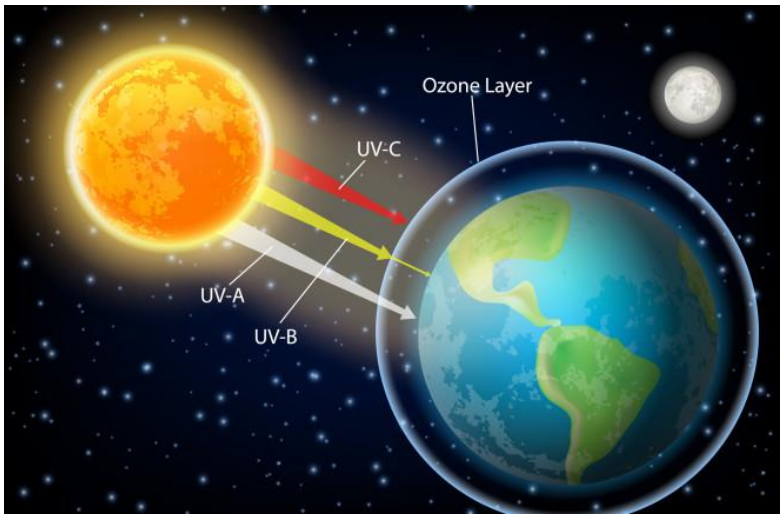
❖ غاز الأوزون:

الأوزون هو أحد الغازات التي يتكون منها الغلاف الجوي للأرض ورمزه الكيميائي (O_3) ويشكل نسبة (0.000007%) من غازات الغلاف الجوي للأرض، وهو غاز شديد التفاعل يتكون من ثلاث ذرات أكسجين، وهو سام للإنسان ويمكن أن يتلف الرئتين عند استنشاقه، لذلك هو ضار عندما يتواجد بالقرب من سطح الأرض، حيث يتواجد بعض الأوزون المُلوث بالقرب من سطح الأرض، ولكن (95%) من غاز الأوزون يتركز في طبقة الستراتوسفير وخاصة على ارتفاع يتراوح ما بين (25–35 كم) فوق مستوى سطح البحر إذ لتركيزه العالي في هذه المنطقة يسمى بطبقة الأوزون (Ozone Layer).

على الرغم من نسبته القليلة في الغلاف الجوي الا ان أهميتها كبيرة جداً لكل كائن حي على سطح الأرض لانه يحجب جزءاً من الأشعة فوق البنفسجية الضارة (UV Rays) وخاصة النوع (UC–B)، ويسمح بمرور كمية مناسبة من هذه الاشعة فوق البنفسجية الى سطح الأرض.

ويتكون غاز الأوزون نتيجة لأتحاد ذرة أوكسجين (O) مع جزيء أوكسجين (O_2) وفق المعادلة الاتية:

$$O + O_2 \longrightarrow O_3$$



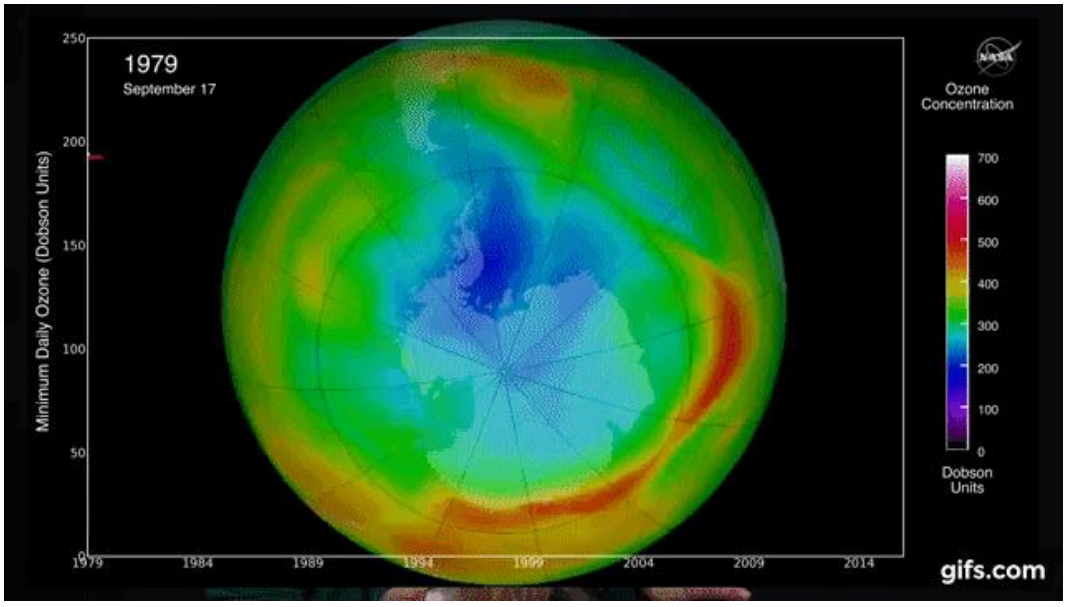
❖ **مفهوم ثقب الأوزون:**

هو نضوب طبقة الأوزون فوق القارة القطبيّة الجنوبيّة بفعل الأنشطة البشرية حيث أدى إطلاق المواد الكيميائيّة التي صنعها الإنسان مثل مركبات الكلوروفلوروكربون، والهالونات، ورابع كلوريد الكربون، وغيرها من الغازات إلى ظهور هذا الثقب، علماً أنّ ثقب الأوزون يعني ترقّق طبقة الأوزون ولا يعني وجود ثقب فعلياً حيث يقل تركيز الأوزون بشكل كبير عن المستويات الطبيعية الموجودة في باقي الغلاف الجوي ويتواجد هذا الثقب فوق القارة القطبية الجنوبية.

أكبر مساحة سُجِّلَت لثقب الأوزون في القارة القطبية الجنوبية كانت في عام 2006، حيث وصلت مساحة الثقب إلى مستويات قياسية. في ذلك العام، وصلت مساحة الثقب إلى أكثر من 29.6 مليون كيلومتر مربع، وهو رقم قياسي لم يتم تجاوزه منذ ذلك الحين.

حدث زيادة حجم ثقب الأوزون في ذلك العام بسبب عوامل متعددة، بما في ذلك انتشار مواد التآكل الكلورية الهالوجينية (مثل CFCs) في الغلاف الجوي وتشكل السحب القطبية الباردة التي تساهم في تعزيز عمليات تدمير الأوزون.

أصغر مساحة سُجِّلَت لثقب الأوزون في القارة القطبية الجنوبية كانت في عام 2019. في ذلك العام، وصلت مساحة الثقب إلى أقل من 3.9 مليون كيلومتر مربع، وهذا يعتبر أحد أصغر الأحجام المسجلة لثقب الأوزون.



❖ **اكتشاف ثقب الأوزون**

بدأ العلماء بقياس الأوزون في الغلاف الجوي للقارة القطبيّة الجنوبية منذ عام 1957، وفي عام 1976 لاحظوا انخفاضاً واضحاً في مستوى الأوزون، في البدايّة اعتقدّ العلماء أنّ الأمر طبيعي، حيث تختلف مستويات الأوزون من موسم أو فصل لآخر وتنخفض بشكلٍ خاص خلال فصل الرّبيع، وقد سجل العلماء بالفعل انخفاض سمك طبقة الأوزون خلال فصل الرّبيع بنسبة 10%، ثم لاحظوا أنّ الأمر يزداد سوءاً في كل ربيع عن سابقه، عندها بدأ العلماء بالقلق، وفي عام 1985 تيقّن العالَم أنّ ثقب الأوزون يمثّل مشكلة كبيرة، وأنّها ناتجة عن البشر أنفسهم، ومن الجدير بالذّكر أن العلماء اكتشفوا ثقب الأوزون بعد بضع سنوات من تشكلّه في أواخر سبعينيات القرن العشرين، وقد أكدّت وكالة ناسا وجوده عام 1985م.

❖ أسباب ثقب الأوزون:

أولًا: أسباب بشرية:

يستخدم البشر الكثير من المنتجات التي تؤدي إلى استنفاذ طبقة الأوزون ومن أهمها:

- مركبات كلوروفلوروكربون: تستخدم مركبات كلوروفلوروكربون (Chlorofluorocarbons) :في أجهزة التّبريد، وكمادة دافعة، ولإنتاج الرّغوة، وتوجد أيضاً في الهباء الجوي، وهي مركبات ضارة لأنها تُنتج عناصر تستنفذ الأوزون مثل الكلور، والبروم.
- مركبات الهيدروكلوروفلوروكربون: تُستخدم مركبات الهيدروكلوروفلوروكربون (Hydrochlorofluorocarbons) كبديل مؤقت لمركبات كلوروفلوروكربون، وبالرّغم من عمرها القصير إلا أنّها تعمل على تدمير الأوزون بسرعة أكبر مما تفعل مركبات كلوروفلوروكربون.
- بروميد الميثيل: يتم استخدام بروميد الميثيل (Methyl bromide) : في مبيدات الآفات الزراعية، ومن مساوئه أنّه يطلق البروم الذي تفوق قدرته على تدمير الأوزون قدرة الكلور بـ 40 مرة.
- مركبات هيدروبرموفلوروكربون: تُطلق مركبات هيدروبرموفلوروكربون (Hydrobromofluorocarbons) البروم إلى الجو، وتدخل في تركيب والمنظفات، ومثبطات الحرائق.
- مركبات بروموكلوروميثان: يتم استخدام مركبات بروموكلوروميثان (Bromochloromethane) :في طفايات الحريق، ومن مساوئها أنّها تنتج كل من البروم والكلور الضّار بالأوزون.

- رباعي كلوريد الكربون: يدخل رباعي كلوريد الكربون (Carbon tetrachloride) في تركيب طفايات الحريق، والتبريد، والمنظفات، ومن أضراره أنّه يطلق الكلور إلى الغلاف الجوي.
- الهالونات: تُستخدم مركبات الهالونات (Halons) في طفايات الحريق، والثّلاجات، ومكيفات الهواء، وفي التّنظيف، ومواد التّنظيف الجاف، والمواد الدافعة، ومن مساوئها أنّها تطلق البروم إلى الغلاف الجوي.
- ثلاثي ورباعي كلور الإيثان: يتم استخدام مركب رباعي كلور الإيثان (Tetrachloroethane) مركب يُستخدم في تركيب المبيدات الحشريّة، والدّهانات، ومن أضراره إطلاق الكلور للغلاف الجوي.
- كلوروفورم الميثيل: يدخل مركب كلوروفورم الميثيل (Methyl chloroform) في تركيب مذيبات التّنظيف، ومن سلبياته أنّه يحرر الكلور في الغلاف الجوي.
- أكاسيد النيتروجين: تحمل أكاسيد النيتروجين (Nitrogen oxide): الرّمز (NOx) ، ومن الأمثلة عليها أحادي أكسيد النّيتروجين(NO) ، وثنائي أكسيد النّيتروجين(NO_2) ، وأكسيد النيّتروس(N_2O) ، وتنبعث هذه الأكاسيد من عوادم المركبات، والطّائرات ، والفضلات الصّناعيّة السّائلة، وتطلقه أيضاً بكتيريا نزع النّيتروجين من الأسمدة، كما أنّه ينطلق أثناء الانفجارات النّووية.

ثانياً: أسباب طبيعية:

تساهم الانفجارات البركانيّة بإطلاق حمض الهيدروكلوريك الذي يساهم في نضوب طبقة الأوزون إذا كان تركيزه مرتفعاً (15–20 جزء في المليون)، فعلى سبيل المثال تسبّبَ انفجار بركان الشّيكون في الاسكا بتكوين سحابة تحتوي على 40% من حمض الهيدروكلوريك، ومع ذلك فهناك عوامل تقلّل من تأثير حمض الهيدروكلوريك المباشر على طبقة الأوزون، منها: قد ينحصر وجوده على طبقة التروبوسفير، ومنها أنّه يتكثّف في العمود البركاني المتصاعد مما يسهّل التّخلص منه عن طريق تحوله إلى مطر، أو ثّلج . وفي الحقيقة فإنّ البراكين تُنتج فقط 3% من الكلور الذي يصل إلى السّتراتوسفير . وجد العلماء أنّ الغازات البركانيّة قد تساهم بطريقة غير مباشرة بالإضرار بطبقة الأوزون، وذلك لأنّ الهباء الجوي الذي ينتج عن الانفجارات البركانيّة الكبيرة لا تدمّر الأوزون مباشرةً، وإنما توفّر سطحاً ملائماً يمكن أن تحدث الّتفاعلات الكيميائيّة عليه، مما يعزّز دور الكلور في استنفاذ الأوزون، ومع ذلك فإنّ الآثار الضّارة للبراكين تدوم فقط من عامين إلى ثلاثة أعوام، تستقر الجزيئات البركانيّة بعدها خارج الغلاف الجوي.

مخاطر ثقب الأوزون

ينتج عن ثقب الأوزون العديد من الآثار الضّارة على أشكال الحياة المختلفة على سطح الأرض، ومن هذه الآثار:

- الإضرار بصحة الإنسان: يؤدي ثقب الأوزون إلى زيادة الأشعة فوق البنفسجيّة التي يتعرّض لها البشر، والتي تسبّب سرطان الجلد، وسرطان الخلايا الصبغية، وذلك بحسب دراسات علم الأوبئة والدّراسات المخبريّة، كما أنّها تسبّب إعتام العين، وتُضعف جهاز المناع.
- الإضرار بالنّباتات: تتعرّض النّباتات عند زيادة تعرضّها للأشعة فوق البنفسجيّة لتغيرات تشمل الشّكل ، وأوقات النّمو والتّطور، وإصابة النّباتات بالأمراض، مما يؤدي إلى الإضرار بالحيوانات التي تتغذى عليها.
- تضرّر النّظم البيئية البحريّة: يؤدي ثقب الأوزون إلى زيادة تعرّض العوالق النّباتيّة –التي تُعدُّ أساس الشّبكات الغذائيّة المائيّة – للأشعة فوق البنفسجيّة، الأمر الذي يؤثر على توزيعها وقدرتها على الحركة، و يؤدي بالتّالي إلى نقص إنتاجيتها، ويقلّل من فرص بقائها على قيد الحياة، ومن جهة أخرى يؤدي تعرّض الكائنات الحيّة الصّغيرة مثل الأسماك، والرّوبيان، وسرطان البحر، والبرمائيات للأشعة فوق البنفسجيّة إلى أضرار خطيرة مثل انخفاض القدرة الإنجابيّة، وضعف اليرقات، ويمتد تأثير هذه الأضرار للكائنات الحيّة التي تتغذى عليها فتنخفض أعدادها.
- تلف المواد البلاستيكية: تؤثر الأشعة فوق البنفسجّية على بعض المواد ذات الأهميّة التّجاريّة مثل البوليميرات الصّناعيّة، فتصبح أكثر قابليّة للتلف، وتقل مدة صلاحيّتها عند استخدامها في الهواء الطّلق خارج المنزل، لذلك تُضاف إلى هذه المواد إضافات خاصة تحميها نوعاً ما من التّأثير الضّار للأشعة فوق البنفسجيّة
- تغيّر المناخ: تشير الدّراسات أنّ وجود ثقب الأوزون في منطقة القطب الجنوبي أدى إلى تغيّر المناخ، وأثرّ على دوران الغلاف الجوي في المنطقة الممتدة من نصف الكرة الجنوبي إلى خط الاستواء، الأمر الذي أدى إلى زيادة هطول الأمطار في المناطق شبه الإستوائيّة.

❖ حل مشكلة ثقب الأوزون:

نظراً لخطورة ثقب الأوزون، وتفاقم المشاكل التي تنتج عنه، قررّت الأمم المتحدة اتخاذ إجراءات صارمة لحماية طبقة الأوزون، وتم التّوصل لاتفاقيّة مونتريال عام 1987 والتي تنّص على أهمية البدء بالتّخلّص

التّدريجي من مركبات الكلورو فلوروكربون، وقد تم التّصديق على الاتفاقية ودخلت حيز التّنفيذ في عام 1989، وقد انضّم إليها منذ ذلك الوقت 197 دولة، وتُعدُّ اتفاقية مونتريال واحدة من أنجح الاتفاقيات الدّوليّة حتى الآن، إذ تشير التّقارير أنّ تركيز مركبات الكلوروفلوروكربون بدأت بالتّراجع بالفعل، ومن المتوقع تعافي طبقة الأوزون بحلول منتصف هذا القرن.

بمرور الوقت، تم تحديث البروتوكول ليشمل المزيد من المواد التي يمكن أن تسبب ضررًا لطبقة الأوزون والمناخ. على سبيل المثال ، في عام 2016 ، تمت إضافة الهيدروفلوروكربون إلى قائمة المواد الخاضعة للرقابة، لأنه تم تحديد هذه الغازات على أنها غازات دفيئة قوية.