

الدكتور علي حسن موسى

# الأوزون الجوي

باري



دار الفكر  
دمشق - سورية



دار الفكر للنشر  
سجل تجاري - ١٥٥٤٤

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

الأوزون الجوى

الأوزون الجوي / علي حسن موسى . - دمشق : دار الفكر ، ١٩٩٩ .

- ١٢٨ ص : مص ؛ ٢٠ سم .

. - ( العلم والحياة ) .

١ - ٥٥١,٥ م وس أ ٢ - العنوان

٢ - موسى ٤ - السلسلة

مكتبة الأسد

ع - ١ / ٣٥ / ١٩٩٩

مَوْسُوعَةُ الْعِلْمِ وَالْحَيَاةِ

# الأوزون الجوي

باري

الدكتور علي حسن موسى  
أستاذ في قسم الجغرافيا بجامعة دمشق

دار الفكر  
دمشق - سورية

دار الفكر المعاصر  
بيروت - لبنان

الرقم الاصطلاحي : ٨٢٢,٠٣١

الرقم الدولي : ISBN 1 - 57547 - 597 - 9

الرقم الموضوعي : ٥٥٠

الموضوع : علوم الأرض

العنوان : الأوزون الجوي

التأليف : د. د. علي موسى

الصف التصويري : دار الفكر - دمشق

التنفيذ الطباعي : المطبعة العلمية - دمشق

عدد الصفحات : ١٢٨ ص

قياس الصفحة : ١٤ × ٢٠ سم

عدد النسخ : ١٠٠٠ نسخة

جميع الحقوق محفوظة

يمنع طبع هذا الكتاب أو جزء منه بكل طرق الطبع  
والتصوير والنقل والترجمة والتسجيل المرئي  
والمسموع والحاسوبي وغيرها من الحقوق إلا بإذن  
خطي من

دار الفكر بدمشق

برامكة مقابل مركز الانطلاق الموحد

ص.ب : (٩٦٢) دمشق - سورية

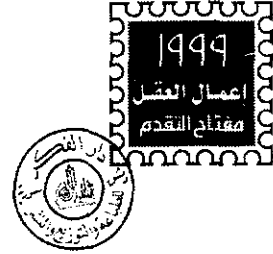
برقياً : فكر

فاكس ٢٢٣٩٧١٦

هاتف ٢٢١١١٦٦.٢٢٣٩٧١٧

<http://www.fikr.com/>

E-mail: info @fikr.com



إعادة

١٤١٩ هـ = ١٩٩٩ م

ط ١ : ١٩٩٠ م

## - المقدمة :

على الرغم من التزايد الكبير في أعداد سكان كوكبنا الأرضي ، وما رافق ذلك من تقدم علمي وتقني يعيشه عالمنا المعاصر اليوم ، فإن الطبيعة لم تقهر بعد ، ويبدو أنها لن تقهر . فما يزال الإنسان يقف عاجزاً أمام العديد من قوى الطبيعة التي تنزل به ضرباتها الموجهة ، وما الزلازل والبراكين ، والعواصف والأعاصير سوى نماذج شاهدة على ذلك .

وإذا كان الإنسان قد نجح في قهر المسافات والأزمان بما توصل إليه من ابتكارات في عالم النقل والاتصال ، فإنه عمل على تسييم أجوائه بما تنفته وسائط النقل ( سيارات ، طائرات ، قطارات ) من غازات ودخان ... وغير ذلك ، ليضيف بذلك خطراً جديداً يهدده ، ويهدد عناصر البيئة الحيوية كافة التي يتعايش معها .. فالإنسان وهو يجتث أشجار الغابة بمساحات شاسعة تقدر بنحو ( ١١ ) مليون هكتار سنوياً بشكل عشوائي ، إما ليقم عليها صناعة - كما في العالم المتقدم - أو ليزرع محلها حاصلات زراعية - كما يفعل في الغابات المدارية المطيرة - ، أو ليستثمر أشجارها في صناعات مختلفة ، يقضي على

التوازن البيئي الحيوي الطبيعي ، ويخلق دون أن يدري مشكلات جسمية في البيئة ؛ مشكلة انقراض العديد من الحيوانات ، ومشكلة التأثير على النظام الجوي المناخي ... وغيرها . كما أن المصانع الضخمة التي أشادها والإنجازات العظيمة التي حققها في سبيل توفير أقصى درجات الرفاهية لنفسه في منزله ومكتبه وسيارته ، انعكست في جانب منها على البيئة بشكل لم يدرك الإنسان بعد مخاطرها المباشرة ، وإن كانت تلك المخاطر بدأت تلوح في الأفق بما ينتاب طبقة الأوزون الجوي من تغيرات ، وبما يحدث من اضطرابات في المناخ العام والمحلي والموضعي .

هناك اتجاهات بيئية عدة تهدد بتغير كوكبنا تغييراً جذرياً ، وتهدد بالخطر حياة العديد من أنواع الكائنات الحية التي تقطنه ومنها الجنس البشري ؛ فجفاف يهدد النبات والحيوان والإنسان ، وأرض تتصحّر ، وملايين البشر تتضور جوعاً ، وأمطار تهطل هنا وهناك محملة بالسموم التي تقضي بها على أنواع مختلفة من الأحياء المائية في الأنهار والبحيرات ، وتبيس النباتات ، وتغير من خواص التربة وإنتاجيتها . ولم يقف الأمر عند هذا الحد ، فأشد ما تخشاه البشرية حالياً هو الخطر الممكن أن ينجم عن نضوب درع الأرض الجوي جزئياً أو كلياً ، ألا وهو الغلاف الأوزوني .

لم يكن الإنسان يفكر يوماً أن أنشطته المختلفة على سطح

الأرض سيكون لها علاقة بما يجري في الأجزاء العليا من الجو . ولم يكن يتوقع أن يكون هناك علاقة تبادلية ما بين أحداث طبقتي التروبوسفير والستراتوسفير ، وأن تبادلاً غازياً يحدث بينهما . بل ولم يتخيل أن ماتطلقه بعض مصانعه ومعامله ومواد حياته اليومية ، وما تنفثه براكين الأرض من مواد سيصل إلى الأجواء العليا التي تتجاوز ٢٠ كم ارتفاعاً ... وستشكل من هناك مصدر خطر على الإنسان وغيره من الأحياء الأرضية . ولكن التقنيات الحديثة ، وضعت الإنسان على مفترق طرق ، فهو الصانع والحرب ، وأخذ يدرك أهمية ما يجري في الستراتوسفير والذي يعود بالدرجة الأولى إليه . فتلك هي ضريبة الحضارة المتطورة ، ضريبة التقدم التقني والمادي .

ومع التقدم العلمي الذي مكن الإنسان من معرفة الآثار السلبية للأشعة فوق البنفسجية على البيئة الحيوية ، أدرك أهمية طبقة الأوزون الستراتوسفيرية ( غلاف الأوزون الأرضي ) وأصبح قلقاً عليها من التخريب والتدمير الممكن أن يحلّ بها . خاصة بعد أن أظهرت القياسات المختلفة لتغيرات نسبة الأوزون من خلال شبكة محطات القياس الأرضية ، والطيران والأقمار الصناعية ، من تذبذب وتبدل مكاني وزماني في نسب غاز الأوزون الجوي . وقد كان لفهم الإنسان المتطور لكيمياء طبقة الستراتوسفير دوراً هاماً في متابعة

التغيرات التي تنتاب الأوزون الجوي .

ويقدم المؤلف هذا الكتاب ضمن سلسلة كتب ( العلم والحياة ) لما لموضوع الأوزون الجوي من أهمية حالية ومستقبلية على الأحياء كافة ، وفي مقدمتهم الإنسان . ولذا حاول المؤلف أن يعرض كافة الجوانب المتعلقة بالأوزون الجوي كغلاف ضمني في الغلاف الجوي المتطبق ( طبقة الستراتوسفير ) ، مسهباً في الحديث عن كيمياء طبقة الستراتوسفير لكون الأوزون وما يعتريه من تفاعلات تغير من نسبته يشكل أحد أهم عناصر هذه الطبقة . ومتناولاً عوامل التخريب والتدمير الأوزوني ، وآلية حدوث ذلك ، والوجهة العامة لمسار الأوزون . بجانب إظهار المؤلف للآثار كافة - الطبيعية والحيوية - التي تترتب على تذبذبات الأوزون . ويختتم كتابه بعرض موجز لأهم الإجراءات والحلول المقترحة للحد من نزيف الأوزون .

وفي الختام لا يسع المؤلف إلا أن يعبر عن جزيل شكره وامتنانه لدار الفكر بدمشق ، لتفضلها في إظهار هذا الكتاب للقراء .

المؤلف

دمشق في ١٩٨٩/١٢/٧ م

د . علي حسن موسى

### طبقة الستراتوسفير : موقعها وبنيتها

لقد شهدت العشرون سنة الماضية تسارعاً كبيراً في معدل الدراسة والبحث في كيميائية الغلاف الجوي ، وخاصة ذلك الجزء من الجو الذي له تأثير مباشر على الإنسان ، والذي للإنسان تأثير بارز في تغيير كيميائته ، وتحديد جوانب هامة من خصائصه . فكانت طبقة الستراتوسفير الجوية هي محط أنظار الباحثين بعد أن أشبعوا طبقة التروبوسفير بالبحث والدراسة ، وبعدها أيقنوا بالعلاقة الوثيقة بين ما يجري في التروبوسفير وبين كيميائية الستراتوسفير ، وبين أي تغيير في كيميائية ومكونات الستراتوسفير وما يحدث من جراء ذلك من تبدلات في الأحوال الجوية عند سطح الأرض ، وما ينجم من آثار مباشرة وغير مباشرة على عالم الأحياء . وقد ساعد في هذا التطور كله ، التقنيات الحديثة التي دخلت مجال سبر الغلاف الجوي من : أقمار صناعية ، وصواريخ ، وطائرات حديثة ... وغير ذلك .

#### - موقع طبقة الستراتوسفير :

تشكل طبقة الستراتوسفير ، ما يعرف بالغلاف المتطبق (Stratosphere) إحدى طبقات الغلاف الجوي التي لها أهمية كبيرة

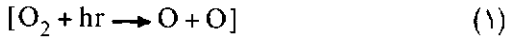
بالنسبة لغلاف أرضنا الجوي القريب من سطحها ( التروبوسفير ) ،  
وحتى بالنسبة لسطح الأرض ذاته . وهذا مرده إلى التبادلات التي  
تحدث ما بين الغلافين ( الطبقتين ) الفرعيين المتصلين مع بعض عبر  
طبقة انتقالية تعرف بالتروبوبوز .

تمتد طبقة الستراتوسفير ما بين مستوى ارتفاع ( ١٢ ) كم - وهو  
المستوى الوسطي لارتفاع سقف التروبوبوز - وحتى مستوى  
( ٥٥ ) كم فوق مستوى سطح البحر ، بسماكة وسطية تقارب من  
( ٤٣ ) كم . غير أن سماكة هذه الطبقة ليست واحدة ، إذ إنها تختلف  
باختلاف درجة العرض ، حيث تكون في العروض المتوسطة والعليا  
( ٤٥ ) كم تقريباً ، أكثر سماكة مما في العروض المنخفضة ( ٣٥ ) كم  
وسطياً .

### - بنية طبقة الستراتوسفير وتركيبها :

تتركب هذه الطبقة من غازات متميزة نسبياً عن غازات  
ومكونات الطبقة التي دونها ( التروبوسفير ) . فنتيجة لبعدها عن  
سطح الأرض مصدر العديد من المكونات الجوية ، ومحقق التوازن  
لأغلبها وأهمها في الجو ، فإن هذه الطبقة تحتوي على مجموعة من  
الغازات الخفيفة ، التي تكون إما بصورة ذرية أو جزيئية ، أو بصورة  
مركبات غازية . ومما يميزها عن الطبقة التي دونها وجود العديد من  
ذرات الغازات في حالة مثارة .

ويكاد أن يكون غاز الأوزون ( $O_3$ ) أهم مكونات هذه الطبقة الغازية . ووجود هذا الغاز بوفرة في هذه الطبقة ما هو سوى دليل كاف على تواجد الأوكسجين بشكله الجزيئي ( $O_2$ ) والذري ( $O$ ) بكثرة في هذه الطبقة أيضاً . فالأوكسجين الجزيئي هو استمرار لأوكسجين التروبوسفير . في حين يتولد الأوكسجين الذري من تفكك الأوكسجين الجزيئي بالأشعة فوق البنفسجية عند الطول الموجي الأقل من ٢٤٣ نانومتر<sup>(١٢)</sup> :



ويمكن لتلك الذرات أن يعاد اتحادها مباشرة مع بعضها مشكلة الأوكسجين الجزيئي من جديد أو أنها تتفاعل مع الأوكسجين الجزيئي ليتولد غاز الأوزون ( $O_3$ ) . كما أن اتحاد الأوكسجين الذري مع الأوزون يتولد عنه جزيئات أوكسجين  $[O + O_3 \rightarrow 2O_2]$  . وبتفكك ( $O_3$ ) تحت تأثير الأشعة فوق البنفسجية ذات الطول الموجي أقل من ٣١٠ نسانومتر يتولد أوكسجين جزيئي وذري  $[O_3 + hr \rightarrow O_2 + O]$  . كما ويمكن أن يتولد الأوكسجين الذري من انشطار بخار الماء ( $H_2O$ ) بفعل الأشعة فوق البنفسجية . والعديد من ذرات الأوكسجين في الستراتوسفير تكون مشارة  $[O(^1D)]$  . والجداول التالي (١) مثال عن التوزع الشاقولي لمركبات الأوكسجين في الجو الأوسط وخاصة الستراتوسفير .

$$(١٢) \quad 10 \text{ نانومتر} = 0,001 \text{ ميكرون} = 1 \times 10^{-6} \text{ م} = 1 \times 10^{-10} \text{ م} .$$

جدول رقم (١)

(O <sup>1</sup> D) (سم <sup>٢</sup> )	(O <sup>3</sup> p) (سم <sup>٢</sup> )	O <sub>3</sub> (سم <sup>٢</sup> )	O <sub>2</sub> (سم <sup>٢</sup> )	الارتفاع كم
—	<sup>٤</sup> ١٠×١,٣	<sup>١٢</sup> ١٠×١,٢	<sup>١٨</sup> ١٠×١,٧	١٠
—	<sup>٤</sup> ١٠×٥,٥	<sup>١٢</sup> ١٠×١,١	<sup>١٧</sup> ١٠×٨,١	١٥
<sup>١</sup> ١٠×٩,٠	<sup>٥</sup> ١٠×٩,٤	<sup>١٢</sup> ١٠×٢,٩	<sup>١٧</sup> ١٠×٣,٦	٢٠
صفر <sup>١</sup> ١٠×٥,٠	<sup>٦</sup> ١٠×٦,٧	<sup>١٢</sup> ١٠×٣,٢	<sup>١٧</sup> ١٠×١,٦	٢٥
<sup>٢</sup> ١٠×١,٢	<sup>٨</sup> ١٠×٢,٤	<sup>١٢</sup> ١٠×٢,٠	<sup>١٦</sup> ١٠×٣,٥	٣٥
<sup>٢</sup> ١٠×٣,٣	<sup>٩</sup> ١٠×١,٢	<sup>١٢</sup> ١٠×١,٠	<sup>١٦</sup> ١٠×١,٧	٤٠
<sup>٢</sup> ١٠×٦,٠	<sup>٩</sup> ١٠×٣,٧	<sup>١١</sup> ١٠×٣,٢	<sup>١٥</sup> ١٠×٨,٩	٤٥
<sup>٢</sup> ١٠×٦,١	<sup>٩</sup> ١٠×٦,٥	<sup>١١</sup> ١٠×١,٠	<sup>١٥</sup> ١٠×٤,٨	٥٠
<sup>٢</sup> ١٠×٤,٤	<sup>٩</sup> ١٠×٨,٤	<sup>١١</sup> ١٠×٣,٢	<sup>١٥</sup> ١٠×٢,٦	٥٥
<sup>٢</sup> ١٠×٢,٦	<sup>٩</sup> ١٠×٦,٥	<sup>٩</sup> ١٠×١,٠	<sup>١٥</sup> ١٠×١,٥	٦٠

عن : (Solomon & Brasseur, P. 211)

كما ويحتوي الستراتوسفير على غاز الأوزون ( النروجين ) وأكسيد  
عدة منه ، من أهمها ؛ أكسيد النترريك ( NO ) الناتج في معظمه عن  
تفكك أكسيد النترروز ( N<sub>2</sub>O ) بتفاعله مع ذرات الأوكسجين  
المثارة : [N<sub>2</sub>O + O(<sup>1</sup>D) → 2NO] .

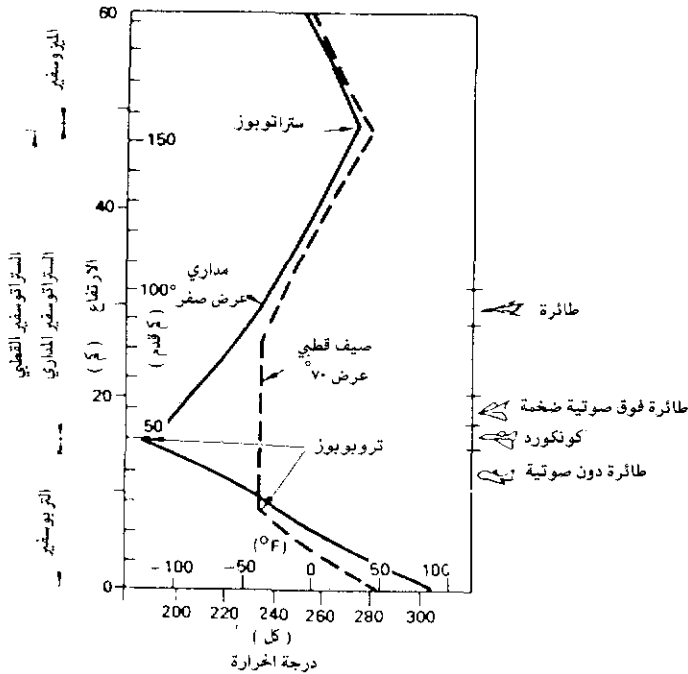
كما يمكن لـ ( N<sub>2</sub>O ) أن يتفكك ضوئياً ليشكل جزيئة آزوت  
وذرة اوكسجين مثارة [N<sub>2</sub> + O(<sup>1</sup>D) + hv → N<sub>2</sub> + O(<sup>1</sup>D)] . ومصدر

(  $N_2O$  ) سطح الأرض بالدرجة الأولى ممثلاً بالعمليات البكتيرية المترافقة بآليات النترة ( التآزت ) ونزع الآزوت في التربة . أما مصدر ثاني أكسيد الآزوت (  $NO_2$  ) فهي الأعمال البشرية المختلفة ( عمليات الاحتراق في السيارات .. وفي العسديسد من المصانع ... إلخ ) . وبصورة عامة فإن الغلاف الجوي يلعب الدور الرئيسي في تزويد الجو بالمركبات الآزوتية .

كما وتحتوي طبقة الستراتوسفير على العديد من مركبات الكربون ، منها : الميثان (  $CH_4$  ) وأول أكسيد الكربون (  $CO$  ) وحتى ثاني أكسيد الكربون (  $CO_2$  ) . بجانب الهيدروجين ومركباته المتعددة ممثلة في : بخار الماء (  $H_2O$  ) وجذور الهيدروكسيد (  $OH$  ، و  $HO_2$  ) . أما مركبات الكلور فتعدده ، منها : ميثيل الكلور (  $CH_3Cl$  ) ورابع كلور الكربون (  $CCl_4$  ) . ومركبات الكلورفلوركربون ، والكلوروفلوروميثان ، وخاصة : الفريون ١١ (  $CFCl_2$  ) والفريون ١٢ (  $CF_2Cl_2$  ) ، و (  $CH_3CCl_3$  ) ... إلخ . يضاف إلى ماتقدم مركبات هالوجينية متعددة ، والكبريت ... وغيرها .

وتعد طبقة الستراتوسفير جافة لاغيوم فيها عموماً ، رغم احتوائها على بعض من بخار الماء ، ورغم انخفاض درجة الحرارة الصغرى أيضاً إلى ما يقارب من  $-80^\circ$  م عند ارتفاع حوالي ١٥ كم قريباً من

قاعدتها ، لتصل درجة الحرارة العظمى فيها إلى حوالي  $+5^{\circ}\text{C}$  عند ارتفاع ٥٠ كم قريباً من سقفاها - عند طبقة الستراتوبوز الانتقالية - كما هو موضح في الشكل ( ١ ) . غير أنه تتشكل في بعض أجوائها ، وخاصة في العروض المرتفعة بعض الغيوم الخاصة بها ، المتجمدة محتوياتها ، كما في أجواء المناطق القطبية . وتلعب تلك الغيوم الستراتوسفيرية دوراً هاماً في التبريد غير المباشر للأوزون هناك .



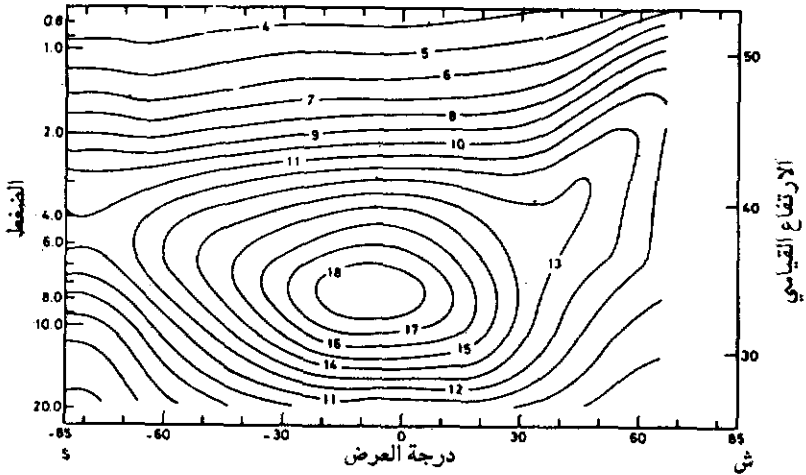
شكل (١) تغير درجة الحرارة مع الارتفاع في الجو الأرضي

## الغلاف الأوزوني الجوي

### - موقع الغلاف الأوزوني :

يوجد الأوزون عموماً في جو الأرض عند الارتفاعات كافة والممتدة من سطح الأرض وحتى ارتفاع لا يقل عن ١٠٠ كم . وتتركز الكتلة العظمى للأوزون في طبقة الستراتوسفير مع تركيز أعظمي له يصل إلى  $15 \times 10^{12}$  جزيئة/سم<sup>3</sup> عند ارتفاع حوالي ( ٢٥ ) كم . وفي الميزوسفير - وهي الطبقة الجوية التالية للستراتوسفير - تكون كثافة الأوزون منخفضة للغاية . وعلى الرغم من أن تركيز الأوزون في التروبوسفير يكون أيضاً أقل بكثير مما في الستراتوسفير ، إلا أنه يلعب دوراً حيوياً هاماً في الكيمياء الجوية في هذه المنطقة ، وله تأثير ملموس على التوازن الحراري الإشعاعي في الجو الأدنى - شكل ( ٢ ) يوضح اختلاف درجة تركيز الأوزون مع الارتفاع .-

وتعرف المنطقة من الجو التي تبلغ كثافة الأوزون فيها أشدها باسم غلاف الأوزون ( Ozonosphere ) ، والذي يتحدد عموماً بين سويتي ارتفاع ( ١٥ - ٣٥ ) كم . غير أن الحديث عن طبقة أوزون في الستراتوسفير يحتوي على بعض التضليل ، بسبب كون نسبة مزج



شكل (٢) المتوسط الشهري لتوزيع الأوزون الستراتوسفيري في شهر كانون الثاني اعتماداً على معطيات قياسات القمر الصناعي الأمريكي نيموس ٤

الأوزون تمثل فقط أجزاء قليلة من المليون<sup>(٥٦)</sup> ، كما أن العمود الشاقولي الكلي للأوزون في الجو المتوافق مع طبقة من الأوزون النقي تقارب سماكته من ٣ مم عند مستوى سطح الأرض ، وهذا يعني أن الأوزون الجوي لو تعرض إلى ضغط جوي مقداره جو واحد ( ١٠١٣,٢ مليار ) كالضغط عند مستوى سطح البحر ، يشكل طبقة سماكته ثلاثة مليمترات تقريباً . وهذا كله يوضح رقة هذه الطبقة ذات الفعالية الكبيرة ، والتي أقلقّت البشرية في أيامنا الحالية ، للتخوف مما يعترها

(٥٦) نسبة المزج هي عبارة عن كتلة الأوزون بالنسبة إلى وحدة حجم الهواء الجاف .

من نقص ، وما ينجم عن ذلك من آثار مباشرة وغير مباشرة على  
أحياء الأرض

## - الخصائص العامة لغاز الأوزون الجوي :

الأوزون عبارة عن صيغة من صيغ الأوكسجين ، يحتوي كل  
جزيء فيه على ثلاث ذرات أوكسجين ، ولذا يعرف بالأوكسجين  
ثلاثي الذرات ( O<sub>3</sub> ) ، مختلفاً عن الأوكسجين الذي تننفسه المؤلف  
كل جزيء منه من ذرتي أوكسجين ( O<sub>2</sub> ) .

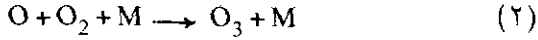
ويشكل الأوكسجين والإشعاع الشمسي فوق البنفسجي عاملي  
تشكل الأوزون . فالأوزون يتولد من الأوكسجين تحت تأثير الأشعة  
فوق البنفسجية ، خاصة ما كان منها بطول موجي يقل عن ٢٤٣  
نانومتر . حيث تقوم تلك الأشعة بتفكيك جزيئات الأوكسجين إلى  
ذراتها المفردة :



وتكون ذرات الأوكسجين المفردة الناتجة من هذه العملية شديدة  
الفعالية ، فيتفاعل بعضها مع جزيئات أوكسجين أخرى لتشكل  
الأوزون . ولا يمكن أن يحصل هذا إلا بوجود جزيء ما آخر ليأخذ  
الطاقة الحركية التي يطلقها التفاعل . ويكون هذا الجزيء الآخر في  
العادة جزيء أزوت . ونظراً لأنه يمكن لأي جزيء آخر أن يقوم

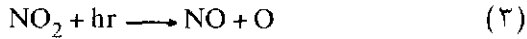
الأوزون الجوي (٢)

مقامه فسنرمز له بالحرف ( M ) . وهكذا فإن :

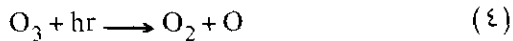


ويوفر هذا التفاعل - بالإضافة إلى صنعها للأوزون - طاقة للجزيء ( M ) تجعله يتحرك بسرعة أكبر . وعندما تتحرك جزيئات الغاز بسرعة أكبر تزداد سخونة الغاز . وهكذا يتم امتصاص الأشعة فوق البنفسجية وتحويل الأوكسجين إلى أوزون ، وتسخين طبقة الستراتوسفير في آن واحد .

وبصورة عامة فإن الأوكسجين الذري ينتج عند الارتفاعات فوق ٢٠ كم تقريباً من التفكك الضوئي للأوكسجين الجزيئي بواسطة الأشعة فوق البنفسجية قصيرة الموجة . أما في الارتفاعات الأدنى وبوجه خاص في التروبوسفير ، فإن الأوكسجين الذري يتشكل من جراء التفكك الضوئي لأكاسيد النتروجين بواسطة الأشعة فوق البنفسجية ، ما كان منها بطول موجي يزيد عن ٢٤٣ نانومتر :

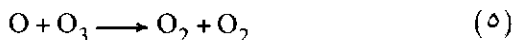


ويمكن للأوزون نفسه أن يتفكك ضوئياً بتأثير الأشعة فوق البنفسجية ذات الموجات الأطول ، وخصوصاً ما كان منها بطول موجي يتراوح بين ٢٣٠ - ٢٩٠ نانومتر ، وتساهم أيضاً الأشعة المرئية في ذلك :

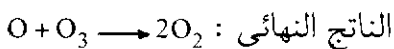
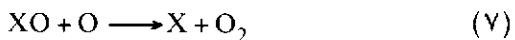
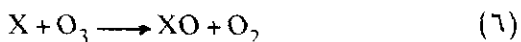


وينجم من التفاعلين (٤) و (١) تشكل الأوكسجين الأحادي الذرات والممثل في O و O<sub>3</sub> .

أما الناتج عن عمليتي التفاعلين (٢) و (٣) فيكون متوازناً بفعل عمليات الفقد الطبيعي والكيميائي . وحتى الخمسينات من هذا القرن فإن الفقد الكيميائي للأوكسجين المفرد ( الأحادي الذرات ) كان يعزى فقط إلى التفاعل :



غير أن شابمان ( Chapman ) في عام ١٩٣٠ كان قد افترض وجود دورات مساعدة - أو كما يسميها البعض دورات حافزة - Catalytic Cycles تنطوي على تفاعلات مرحلية للغاز مع أنواع من الجذور الحرة ممثلة في المجموعات : HO<sub>x</sub> ، NO<sub>x</sub> ، ClO<sub>x</sub> و BrO<sub>x</sub> .



كما أن ( شابمان ) كان أول من قدم في عام ١٩٣٠ وصفاً للعمليات الكيمائضوية الأساسية للأوكسجين ، وعملياته الأربعة الأساسية هي الممثلة في التفاعلات السابقة ( ١ ، ٢ ، ٤ ، ٥ ) . ويعتبر التفاعلات

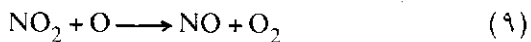
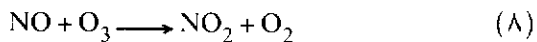
من النوع الأول (١) والرابع (٤) هما المسؤولان عن تسخين الستراتوسفير ، حيث يتم خلال ذلك تحول سريع ذو دورة رجعية لكل من الأوكسجين المفرد ( $O_3$ ) والذري ( $O$ ) . فالأوكسجين الذري المتشكل في التفاعل رقم (١) يعاد تحوله إلى أوكسجين جزيئي ( $O_2$ ) بواسطة التفاعل البطيء رقم (٥) الذي يطلق طاقة عالية تصل إلى ٢٠ كيلوجول/جزيئة (٥ كيلو حريرة/جزيئة) ، مع أن الحرارة المنتشرة عن ذلك قد تصل إلى حوالي ٤٠٠ كيلوجول/جزيئة ( فوق ٩٠ كيلوحريرة/جزيئة )<sup>(١)</sup> .

ومن الممكن حساب معدل تشكل الأوزون ( الأوكسجين المفرد ) في الجو من خلال التفاعل (١) بدقة مقبولة . كما يمكن الاستدلال من القياسات المخبرية على معدل التفاعلات ( ٢ ، ٣ ، ٥ ) ، ويعمل التفاعل (٥) على إزالة حوالي ٢٠٪ من الأوكسجين المفرد من الجو . ويعزى زوال الباقي من الأوكسجين المفرد إلى التفاعلات المساعدة التي تنطوي على أنواع نادرة . ومن الممكن تصور عمل تلك الأنواع النادرة بشكل مبسط جداً في هيئة دورات مساعدة ، تعود إلى النتيجة نفسها دون أن يدمر العنصر نفسه ، كما أوضحنا ذلك في التفاعلين رقم ( ٦ ، ٧ ) ، وحيث ينجم عنها انطلاق طاقة حرارية .

---

Thrush , B.A; (Stratospheric Chemistry). Chlorofluorocarbons in the (١)  
Environment ; 1980, London, P.22.

وهناك تفاعلات أخرى تؤثر على الأوزون ، منقصة منه ، ممثلة في أكسيد الآزوت (  $\text{NO}$  و  $\text{N}_2\text{O}$  ) التي تعمل كوسيط لتحويل الأوزون وذرات الأوكسجين إلى جزيئات أوكسجين :

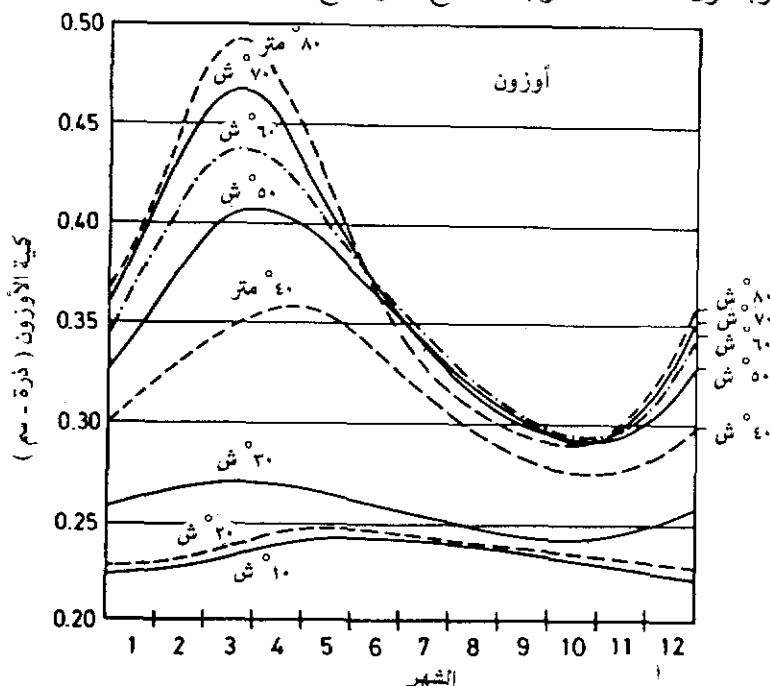


والتي تكافئ التفاعل (  $\text{O} + \text{O}_3 \longrightarrow 2\text{O}_2$  ) .

ولأن أوكسيد النترك (  $\text{NO}$  ) يعود إلى حالته الأصلية في نهاية الدورة ، فهذا يعني أن باستطاعته أن ينقي العديد من جزيئات الأوزون قبل أن يتحول من خلال ثاني أوكسيد الآزوت (  $\text{NO}_2$  ) إلى حمض الآزوت (  $\text{HNO}_3$  ) .

وتكون النتيجة الإجمالية لهذه التفاعلات وغيرها استمرار توليد الأوزون واستمرار تسدميره في الستراتوسفير بشكل دائم وبتوازن ديناميكي . ولو كانت عمليات التحول الغازي من أوكسجين إلى أوزون ، ومن أوزون إلى أوكسجين بفعل العمليات الكيمائية هي الوحيدة ، لكان التوازن في نسبة تواجد غاز الأوزون محققة إلى درجة كبيرة . غير أن نسب الأوزون في حالة تبدل وتذبذب بفعل المكونات الغريبة التي أخذت تدخل إلى طبقة الستراتوسفير وتلوثها مؤثرة بذلك على تركيبها ، وعلى أهم مكون لها وهو الأوزون - وهذا ماسنراه فيما بعد ..

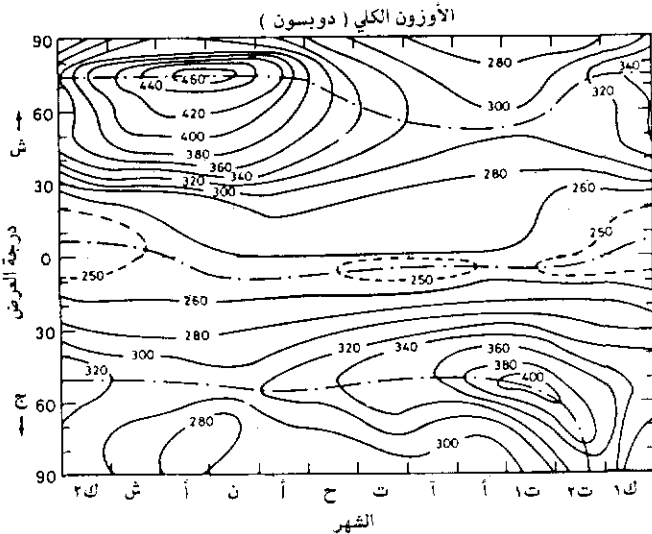
لمن المعروف أن كمية الأوزون الجوية الستراتوسفيرية تتميز بالاختلافات الفصلية والعرضانية في توزيعها فوق مناطق العالم المختلفة ، والمتميزة بوفرة عظمى في منطقة إنتاجه الصغرى . ويتبين من الشكل ( ٣ ) أن عمود الأوزون الإجمالي يعاكس الشهر في عدة محطات من نصف الكرة الشمالي - معبر عن تلك القيم بواحدات دوبسون Dobson المرتبطة مع الارتفاع . كما يبدو أن الأوزون



شكل (٣) الاتجاه الوسطي لوفرة الأوزون الكلي خلال السنة عند عروض مختلفة في نصف الكرة الشمالي

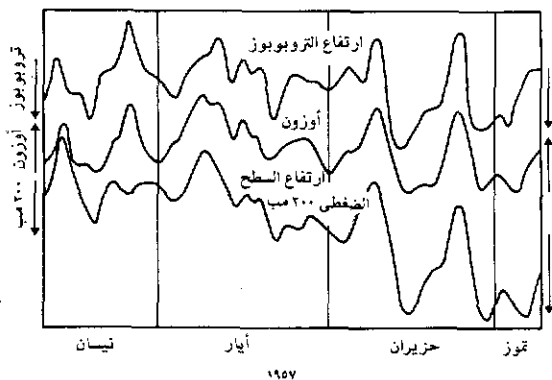
يكون أكثر وفرة في العروض الأعلى خلال الفصول كافة ، ويكون هذا التزايد مع العرض أكثر بروزاً في الشتاء والربيع عندما يصل الأوزون إلى أعظمه . وتأخذ الاختلافات الفصلية شكلاً ظاهراً في العروض الواقعة إلى الشمال من خط عرض ٣٠ تجاه القطب . فعند خط عرض ٨٠ شمالاً - كمثل - يصل الاختلاف النسبي في الأوزون إلى حوالي ٥٠% لمدة ستة أشهر .

ويعاكس توزيع الأوزون الإجمالي خط العرض والزمن ، كما أظهرت ذلك شبكة المحطات الأرضية لقياس الأوزون الموزعة في مناطق طولانية مختلفة ، كما هو موضح في الشكل ( ٤ ) الذي يظهر



شكل ( ٤ ) اختلاف كمية الأوزون مع العرض والفصل

فيه أن قمة الأوزون تبدو واضحة بين خطي عرض ٧٠ - ٧٥ شمالاً عند نهاية شهر آذار ، كما يلاحظ تركيز أعظمي آخر في النصف الجنوبي ، لكنه أضعف ، وموقعه في عروض أخفض ، ويظهر أبكر في السنة مما في نصف الكرة الشمالي . ويعود التباين في توزيع الأوزون بين نصفي الكرة إلى الاختلاف في ديناميكية الستراتوسفير في نصفي الكرة . ولقد أشار دوبسون ( Dobson ) عام ١٩٦٨ إلى أن هذا السلوك من التوزيع يرتبط بانتقال الأوزون في الأعاصير ( السيكلونات ) وأضداد الأعاصير ( الأنتيسكلونات ) التي تنشره ضمن الستراتوسفير الأدنى . ولقد دعمت التجارب وجهة النظر هذه ، لتكشف عن ترابط قوي بين وفرة الأوزون وأنظمة الضغط المنخفض ، كما هو موضح في الشكل ( ٥ ) .



شكل ( ٥ ) العلاقة بين الاختلافات في الأوزون الإجمالي وارتفاعات التروبوبوز والسطح الضغطي ٢٠٠ م

## الفصل الثالث :

### كيميائية الستراتوسفير

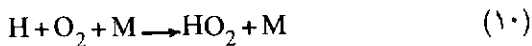
تعد كيميائية هذه الطبقة التي نحن بصدها معقدة ، لكثرة التداخلات والتفاعلات والدورات الوسيطة . ومما لاشك فيه ، فإن معرفة مكونات الستراتوسفير ، والتفاعلات الكيميائية والكميائية بين تلك المكونات ، ونشاط التحلل والتفكك الضوئي للعديد من المركبات ، ذو أهمية كبيرة في إبراز بعض تلك المكونات أو التقليل منها . ونتيجة لما تتميز به هذه الطبقة من نشاط التفاعلات الكميائية من جهة ، ودور العديد من الذرات المثارة وجذور العناصر في التفاعلات الكيميائية ، ولما يجري من تبادل نسي ونوعي في المكونات بين هذه الطبقة والتي دونها ( التروبوسفير ) ، لذا باتت تلك الطبقة وفيرة بعناصرها ومكوناتها ، وسرعة التفاعلات فيها .

وسنناقش بشيء من الإيجاز كيميائية أهم العناصر الداخلة في هذه الطبقة التي لها تأثير مباشر أو غير مباشر على أهم مكون غازي فيها ألا وهو غاز الأوزون ( $O_3$ ) :

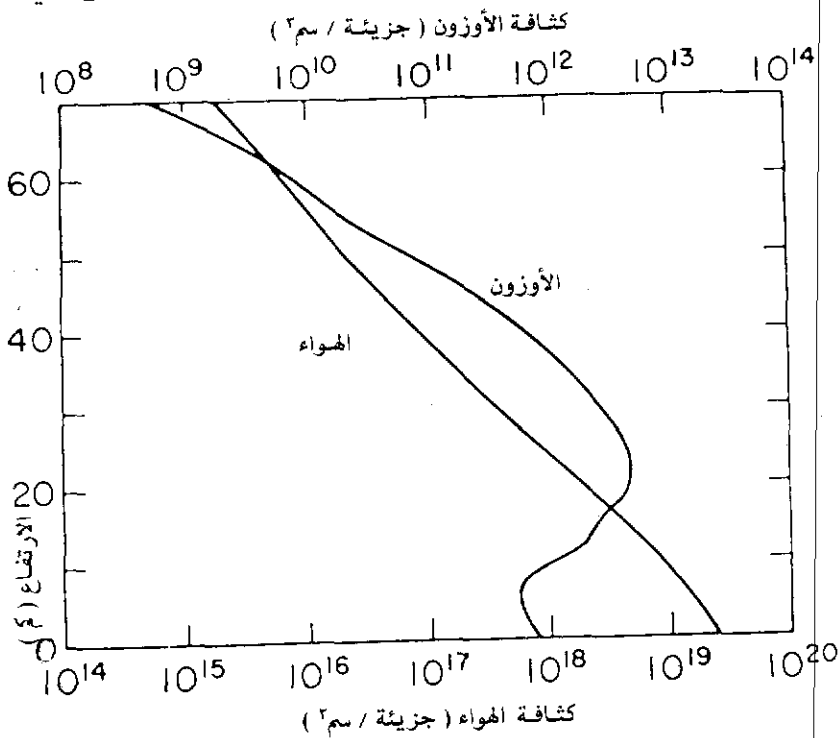
#### ١ - أنواع الأوكسجين ( $O_x$ ) :

كنا أوضحنا فيما تقدم جوانب عدة من كيميائية أنواع الأوكسجين

في هذه الطبقة . وبالإضافة إلى تلك العمليات السابقة ، فإن التفاعل :

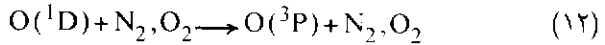
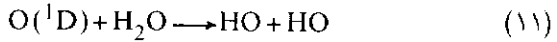
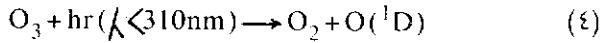


يكون هاماً في عملية تحويل أنواع الهيدروجين المفرد ( $HO_2$ ,  $HO$ ,  $H$ ) (شكل ٦) - التي تكون سريعة بالمقارنة مع تشكل هذه الأنواع التي



شكل ( ٦ ) تغير كثافة الهواء والأوزون مع الارتفاع في الجو الأرضي

تحدث بشكل رئيسي بواسطة تفاعل بخار الماء مع ذرات الأوكسجين المثارة [O(<sup>1</sup>D)] الناتجة عن التحلل الضوئي بالموجات القصيرة للأوزون :



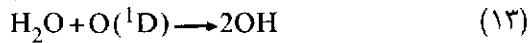
## ٢ . مركبات الهيدروجين :

إن تأثير مركبات الهيدروجين على سلوك العناصر الكيميائية الأخرى ، وبوجه خاص الأوزون ، قد تمت دراسته من قبل العديد من الباحثين . إذ إن الفاعلية العالية لجذور الهيدروجين الحرة ، وخاصة (OH) تمنح تلك العناصر أهمية مميزة في الكيمياء الجوية . ويمثل غاز الميثان ، وبخار الماء ، والهيدروجين ، العناصر التي تتولد منها جذور الهيدروجين .

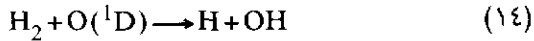
ولقد أظهرت بعض الدراسات (Brewer, 1949) أن بمقدور بخار الماء الأرضي الوصول حتى الستراتوسفير عبر حجرة هادلي . كما أن هناك آليات أخرى تسمح بوجود بخار الماء في الستراتوسفير ، منها غيوم الركام . بجانب ما يمكن أن يتشكل من بخار ماء ضمن طبقة

الستراتوسفير ذاتها بواسطة أكسدة غاز الميثان عبر سلسلة من التفاعلات .

وبتفاعل بخار الماء مع ذرات الأوكسجين المفردة تتولد جذور الهيدروكسيد :



ويمكن لذرات الهيدروجين أن تقدم مصدراً للجذور الحرة للهيدروجين (H) والهيدروكسيد ، من خلال تفاعلها السريع مع ذرات الأوكسجين المفردة :



ومصادر الهيدروجين الجوي متعددة ، منها ما هو طبيعي ( البراكين ، المحيطات ) ، ومنها ما هو بشري ( السيارات ، الصناعة ، حرائق الغطاء النباتي ) ، ومنها ما هو كيميائي ( أكسدة الميثان ) . وتقدر كمية الهيدروجين الإجمالية في الجو بحوالي ٢٠٠ مليون طن ؛ منها ١٧٠ مليون طن في التروبوسفير ، و ٣٠ مليون طن فوق ذلك .

ويعتمد سلوك جذور الهيدروجين الناتجة من تفكك  $\text{H}_2\text{O}$  ، و  $\text{H}_2$  ، و  $\text{CH}_4$  على الارتفاع . ففي الميزوسفير والستراتوسفير تكون فترة بقاء الهيدروجين الذري قصيرة جداً بسبب تفاعل الجسم الثالث

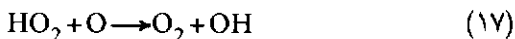
مع الأوكسجين بسرعة لينتج جذر فوق الهيدروكسيد :



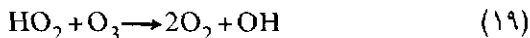
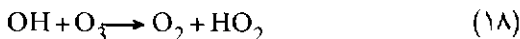
ويمكن للهيدروجين الذري أن يتفاعل أيضاً مع الأوزون ،  
ومثل هذا التفاعل يصبح هاماً في الستراتوسفير العلوي والميزوسفير :



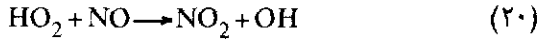
وفي الارتفاعات التي تزيد عن ٤٠ كم فإن تفاعلات الجذور OH  
و HO<sub>2</sub> مع الأوكسجين الذري تكون هامة :



ومن جهة أخرى ، يجب الأخذ بعين الاعتبار التفاعلات التي تتم  
في الستراتوسفير الأوسط والأدنى بين جذور الهيدروجين والأوزون :



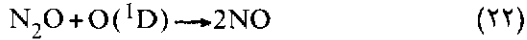
وتمثل التفاعلات الأربعة السابقة الذكر دوراً مهماً في عمليات فقد  
الأوكسجين المفرد . وبالقرب من التروبوبوز فإن جذور  
الهيدروكسيد OH وفوق الهيدروكسيد HO<sub>2</sub> تتفاعل بصورة رئيسية  
مع أول أوكسيد الكربون وأوكسيد النترريك :



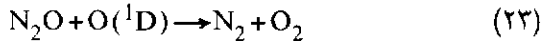
وفي الستراتوسفير الأدنى يساهم وجود كميات كبيرة من حمض الآزوت ( $\text{HNO}_3$ ) و  $\text{HO}_2\text{NO}_2$  و  $\text{H}_2\text{O}_2$  في تخريب نسبة من جذور الهيدروكسيد . بجانب ما يمكن أن يتخرب بتفاعله مع  $\text{HO}_2$  .. وغيره .

### ٣ - مركبات النتروجين ( الآزوت ) :

تبع أهمية مركبات النتروجين في الستراتوسفير من قيامها بالعديد من الدورات المساعدة الوسيطة المؤثرة على غاز الأوزون مباشرة . وخاصة أوكسيد النتريك ( $\text{NO}$ ) الذي ينتج معظمه من تفكك  $\text{N}_2\text{O}$  بتفاعله مع ذرة أوكسجين مثارة :



ويمكن أن يكون ناتج التفاعل ما يلي أيضاً :



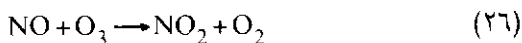
وفي طبقة الستراتوسفير ، فإن كامل النتروجين الذري ( $\text{N}$ ) تقريباً ينتج من التحلل الضوئي لأوكسيد النتريك :



والذي يتخرب بسرعة بتفاعله مع الأوكسجين الجزيئي :



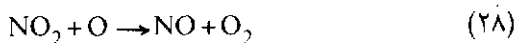
وبدوره ، فإن أوكسيد النتريك الناتج يمكن أن يتحول إلى ثاني أوكسيد النتروجين بتفاعله مع الأوزون :



كما يمكن له أيضاً أن يتخرب ، ولكن ببطء ، بتفاعله مع النتروجين الذري :



أما جزيئة ثاني أوكسيد النتروجين فتتفاعل بسرعة خلال النهار مع الأوكسجين الذري لتعيد تشكل أوكسيد النتريك :

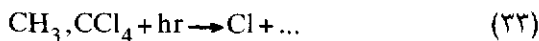
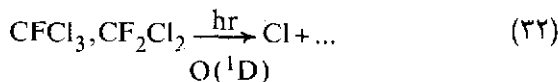


أو بالتحلل الضوئي بالأشعة ذات الطول الموجي الأقل من ٤٥٠ نانومتر :

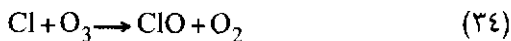


ويمثل تفاعل NO مع  $O_3$  ، والمتبوع بتفاعل  $NO_2$  مع O الدورة الوسيطة التي تقدم عملية الفاقد الرئيسي للأوكسجين المفرد في الستراتوسفير .

المناطق المدارية . أيضاً فإن رابع كلور الكربون ( $CCl_4$ ) ينطلق إلى الجو من معامل الصناعات الكيماوية . أما مركبات الكلوروفلوروكربون (CFC.s) والكلورفلورميتان (CFM.s) وخاصة فريون ١١ ( $CFCl_3$ ) وفريون ١٢ ( $CF_2Cl_2$ ) وميثيل الكلوروفورم ( $CH_3CCl_3$ ) فتنتقل بكميات كبيرة نسبياً من خلال استعمالها المتعددة : كدافعات في علب الرش ، وفي الثلجات ... وغير ذلك . وتتصف تلك المركبات بدرجة استقرار وثبات كبيرين في التروبوسفير ، حيث يمكن لها أن تتجمع في الجو السفلي لفترات من الزمن بعد انطلاقتها دون أن يصيبها أي تغير أو تدخل في أي تفاعل ، ولتنتقل أخيراً إذا ما أتاحت لها الظروف مرتفعة نحو الأعلى إلى طبقة الستراتوسفير لتتحلل هناك إما ضوئياً بفعل الأشعة فوق البنفسجية ، أو بتفاعلها مع ذرات الأوكسجين المثارة ( $O(^1D)$  ، متولداً عن ذلك ذرات الكلور النشطة تفاعلياً :

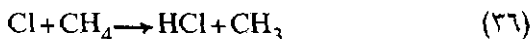


لتشكل تلك الذرات الكلورية عاملاً مساعداً في دورات وسيطية تدمر خلالها الأوكسجين المفرد وخاصة الأوزون ، كما في التفاعلين التاليين :



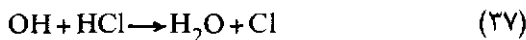
صافي التفاعلين :  $\text{O} + \text{O}_3 \rightarrow 2\text{O}_2$

ويتفاعل غاز الميثان مع الكلور لينتج حمض الكلور :

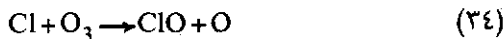
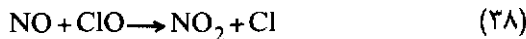


الذي يمكن له أن ينتقل إلى الأسفل ( طبقة التروبوسفير ) حيث يزال مع المطر .

ويمكن عودة تشكل ذرات الكلور في دورة عكسية من خلال تفاعل حمض الكلور مع جذر الهيدروكسيد :



وتلعب أكاسيد النتروجين في أجزاء كبيرة من الستراتوسفير دوراً كبيراً في تجديد تولد ذرات الكلور الفعالة في تخريب الأوزون :



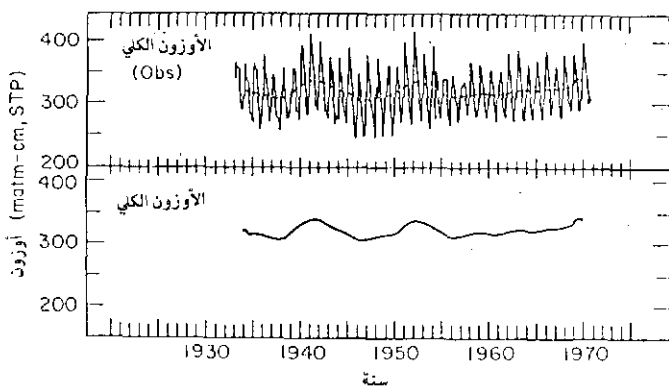
ويجب الأخذ بعين الاعتبار أنواع أخرى من المركبات الكلورية المتشكلة ، مثل :  $\text{ClOO}$  و  $\text{OCIO}$  و  $\text{ClO}_3$  و  $\text{ClONO}_2$  و  $\text{HOCl}$  ...

إلخ ، وخاصة نترات الكلور  $ClONO_2$  التي تشكل خزاناً وظيفياً لإطلاق الكلور في الأوقات الملائمة ، والتي يعود تشكلها إلى التفاعل التالي :



وحيث يعزى تحللها وتفككها بالدرجة الأولى إلى فاعلية الأشعة فوق البنفسجية عليها .

وبسبب التذبذبات القصيرة الأمد في عمود الأوزون ، خاصة في العروض المعتدلة ، التي تتوفر فيها القياسات المناسبة ، فإنه لمن الصعب الكشف عن التغيرات البطيئة في معدل غطاء الأوزون .



شكل ( ٨ ) معدل التغيرات السنوية للأوزون عند أروزا في سويسرا ( الأعلى ) والاتجاه العام للتغير الطويل الأمد الذي كما يبدو أنه مرتبط بدورة البقع الشمسية ( الأسفل )

ويبين الشكل (٨) معدل التغيرات السنوية للأوزون عند أروزا في سويسرا ، والاتجاه العام للتغير الطويل الأمد الذي كما يبدو أنه مرتبط بدورة البقع الشمسية .

إن فترات بقاء مركبي الفريون (١١) والفريون (١٢) مستقرين في الجو ، هامة جداً لآثارها البارزة ، بما تحمله في طياتها من القدرة على التنبؤ والكشف عن التبدد الأوزوني . ولقد اجريت بحوث عدة حول ذلك ، منها ما قامت به مؤسسات حكومية ، ومنها ما قامت به مؤسسات صناعية ، كما قامت بمثل هذه الأبحاث أكاديمية العلوم الأمريكية ، ووكالة ناسا NASA الأمريكية ، حيث ألفت تلك البحوث مزيداً من الضوء على كيميائية طبقة الستراتوسفير .

ولقد تطور فهمنا لكيمياء طبقة الستراتوسفير خلال الخمسة عشرة سنة الماضية ، مساعداً في ذلك برنامج C.I.A.P في الولايات المتحدة الأمريكية الذي ركز على تقدير تبدد الأوزون من قبل أساطيل طائرات الكونكورد العملاقة التي تطير على ارتفاع ١٧ كم ، واستنزافه أيضاً من قبل الطائرات الأمريكية الأسرع من الصوت والتي تطير على ارتفاع ٢٠ كم . والشكل (٩) الذي أعدته إدارة الطيران الفيدرالية الأمريكية يبين المعرفة المتطورة لمعدلات التفاعل ، ويظهر أيضاً بعض عمليات التفاعل الإضافية التي كان لها دورٌ في تبدد الأوزون نتيجة انتشار NO و NO<sub>2</sub> في الستراتوسفير . حيث سمحت



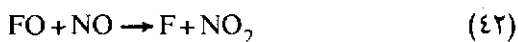
و  $CF_2Cl_2$  - وأنواع أخرى كما في  $SF_6$  يمثل مصدر الفلور الجوي .  
ويمكن لذرات الفلور الناتجة من هذا التفكك أن تتفاعل بسرعة مع  
الأوزون :



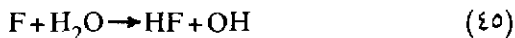
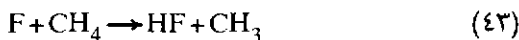
ناتجاً عنها أول أكسيد الفلور الذي يدخل في تفاعلات مشابهة لأول  
أكسيد الكلور ، فهو إما أن يتفاعل مع الأوكسجين الذري :



او مع أكسيد النترك :

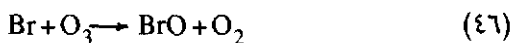


ويشبه الفلور ، الكلور من حيث استطاعته أيضاً أن ينتج  
حمضاً ، هو حمض فلور الهيدروجين (HF) :

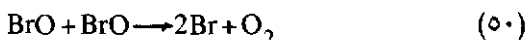
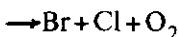
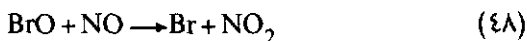


وبسبب استقرارية حمض فلور الهيدروجين (HF) ، فإن الكثافة  
الجوية لأول أكسيد الفلور وذرات الفلور منخفضة جداً ، وتأثير  
الفلور على الأوكسجين المفرد قليل الأهمية .

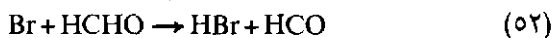
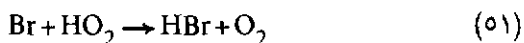
ويشبه البروم (Br) نظيره الفلور ، في أن كليهما يشبه أيضاً الكلور ، وبالتالي فيامكانها التأثير على توازن الأوزون :



ويدخل أوكسيد البروم في سلسلة من التفاعلات :



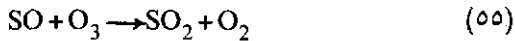
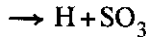
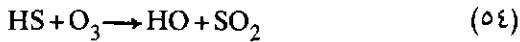
وهكذا نجد أن دور البروم لا يقف فقط عند الدورة الوسيطة التخريبية للأوزون ، ولكنه أيضاً يؤثر على دورة الكلور . ويمكن للبروم أن يدخل في تفاعل مع (H<sub>2</sub>O) متولد من ذلك حمض بروم الهيدروجين (HBr) :



## ٦ - مركبات الكبريت :

ينتج الكبريت الجوي عند مستوى الأرض من عدة مصادر ؛  
البعض منها طبيعي - كبريتيد الهيدروجين  $H_2S$  كثنال ينتج من  
تحلل المادة العضوية ، ديميتيل الكبريت  $(CH_3)_2S$  و  $CS_2$  ينتجان في  
المحيطات ،  $SO_2$  ينطلق من البراكين - والبعض من مصادر أنشطة  
الإنسان المختلفة .

ويدخل الكبريت ومركباته المتعددة في سلسلة من التفاعلات  
الكيميائية سواء مع الأوكسجين المفرد أو مع جذور الهيدروكسيد :

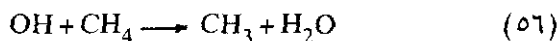


كما أن بعض مركباته تخضع للتحلل الضوئي ، كما في كربونيل  
الكبريت  $COS$  وحمض الكبريت  $H_2SO_4$  .

## ٧ - تفاعلات الأكسدة الكيميائية للهيدروكربونات :

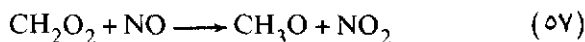
تمثل أكسدة الهيدروكربونات مجموعة شبه مميزة في الكيمياء الجوية  
التي ترتبط بشكل وثيق مع أنواع الغازات النادرة التفاعلية كافة  
(  $HO_x$  ،  $O_x$  ،  $NO_x$  و  $ClO_x$  ) والتي تؤثر بالتالي على الأوزون

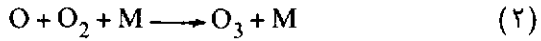
الجوي . فغاز الميثان ( CH<sub>4</sub> ) الذي يعد الهيدروكربون المسيطر في الستراتوسفير ، دوره كبير ورئيسي في إنتاج بخار الماء ( H<sub>2</sub>O ) من أكسدته وتحويله لمركبات الكلور النشطة إلى حمض كلور الهيدروجين ( HCl ) غير النشط بتفاعل عكسي [ Cl + CH<sub>4</sub> → HCl + CH<sub>3</sub> ] . ويتمثل الدور الرئيسي للهيدروكربونات الأعلى ( C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> ، C<sub>3</sub>H<sub>8</sub> ، C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> و C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> ... إلخ ) في قيامها بعمل مستهلك إضافي للكحول النشط . ويبرز الاستهلاك السائد لغاز الميثان في تفاعله مع جذر الهيدروكسيد ( OH ) :



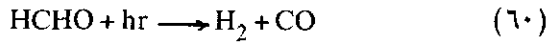
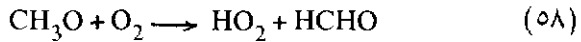
وجذر ( CH<sub>3</sub> ) الناتج يتأكسد إلى غاز ثاني أوكسيد الكربون ( CO<sub>2</sub> ) ضمن منتجات وسيطة عدة ( CH<sub>3</sub>O و CH<sub>3</sub>O<sub>2</sub> و HCHO و CO ) .

وفي الستراتوسفير السفلي ( دون ٣٥ كم ) فإن مخطط الأوكسدة يكون بسيطاً بوجود كفاية من أوكسيد النتريك ( NO ) للتحويل التام للجذور البيروكسيدية بتفاعلها مع ( NO ) . وهكذا فإن أكسدة ( CH<sub>4</sub> ) تشكل مصدراً صافياً لأنواع الأوكسجين ( O<sub>x</sub> ) عبر التفاعلات التالية :

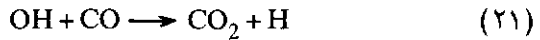




ويشكل هذا المخطط أيضاً مصدراً للهيدروكسيدات ( HO<sub>x</sub> ) من خلال التحلل الضوئي للفورمالدهيد المتشكلة من أكسدة ( CH<sub>3</sub>O ) :



والتفاعل النهائي في سلسلة أكسدة الميثان ، هو :



والذي كما يعرف أنه يعتمد على الضغط ودرجة الحرارة .

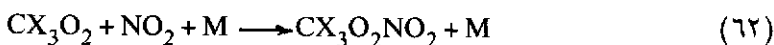
## ٨ - تفاعلات الأكسدة الكيميائية للهالوكربونات :

تتأكسد الهالوكربونات في الستراتوسفير في سلسلة من التفاعلات الجذرية التي تبتدئ بالتحلل الضوئي للجزيء أو بتفاعله مع ذرات الأوكسجين المفردة المثارة O(<sub>1</sub>D) . فجزر الكلورفلوروميثيل ينتج أولاً بالتحلل الضوئي لمركبات الكلوروفلوروميثان ( CFM<sub>s</sub> ) أو بتفاعلاتها مع ذرات الأوكسجين المثارة O(<sub>1</sub>D) ، محدثاً اتحاداً سريعاً مع الأوكسجين ليشكل جذر البروكسي CX<sub>3</sub>O<sub>2</sub> ( X = ForCl ) . وضمن الظروف الستراتوسفيرية فإن هذا الجذر

يتفاعل بشكل رئيسي مع أوكسيد النترك ( NO ) :



وعلى كل حال ، فإن هذا يخالف الجذر ( CH<sub>3</sub>O<sub>2</sub> ) ، إذ إن الجذر ( CX<sub>3</sub>O<sub>2</sub> ) يتحد مع ثاني أوكسيد النتروجين :



ويتم ذلك التفاعل بسرعة كافية تحت الضغوط ودرجات الحرارة الستراتوسفيرية المنخفضة ليشكل بيروكسي نترات بمقادير كبيرة . غير أن ( CH<sub>3</sub>O<sub>2</sub>NO<sub>2</sub> ) لا يشابه بيروكسي نترات الهالوجينية التي يمكن أن تعمل كستودع مؤقت لكل من : ( ClO<sub>x</sub> ) وأكسيد النتروجين ( NO<sub>x</sub> ) في الستراتوسفير الأدنى . ويمكن للجذور الكلوروفلوروميثوكسي ( CX<sub>2</sub>ClO ) أن تتحلل بسرعة إلى CL + CX<sub>2</sub>O المنخفضة . حتى ضمن مدى درجة الحرارة الستراتوسفيرية المنخفضة . ويمكن لذرات الكلور الباقية أن تنطلق من خلال التحلل الضوئي للنواتج الوسيطة ، CFCIO و CCl<sub>2</sub> ( الفوسجين ) ، أو بتفاعلها مع ذرات الأوكسجين المفردة المثارة . ويمكن لمركبات الهيدروكربونات الهالوجينية ( CH<sub>3</sub>Cl ، CH<sub>3</sub>CCl ... إلخ ) أن تتأكسد في التروبوسفير بتفاعلها مع ( OH ) ، غير أن هذا التفاعل يكون بطيئاً في معظم تلك المركبات .

## عوامل تخريب الأوزون الجوي

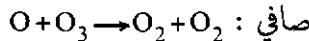
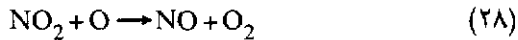
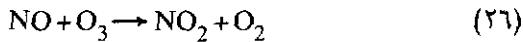
على الرغم من التحلل الضوئي Photodissociation الذي يصيب الأوزون بصورة طبيعية بفعل الأشعة فوق البنفسجية Ultraviolet (u.v) ، فإن هذا التحلل ( التفكك ) وإعادة البناء في دورة متسلسلة تسهم به الأشعة فوق البنفسجية نفسها يحافظ على نسبة متوازنة لغاز الأوزون في الجو الستراتوسفيري . غير أن بعض المركبات والعناصر الكيميائية التي بدأت تدخل الجو بشكل ملحوظ منذ بداية الثورة الصناعية في العالم أحدثت وما زالت تحدث تغيرات ملحوظة في نسب هذا الغاز .

وعلى الرغم من الدور الذي تلعبه بعض الحوادث الطبيعية ممثلة في البراكين ، إلا أن دورها يكاد أن يكون ثانوياً بالمقارنة مع المواد المنطلقة إلى الجو من فعل الإنسان التي تبلغ في النهاية طبقة الستراتوسفير ، لتدخل في سلسلة من التفاعلات الكيميائية المباشرة وغير المباشرة مخربة بذلك غاز الأوزون .

وتتمثل أهم عوامل التخريب الأوزوني في الآتي :

## ١ - الطائرات :

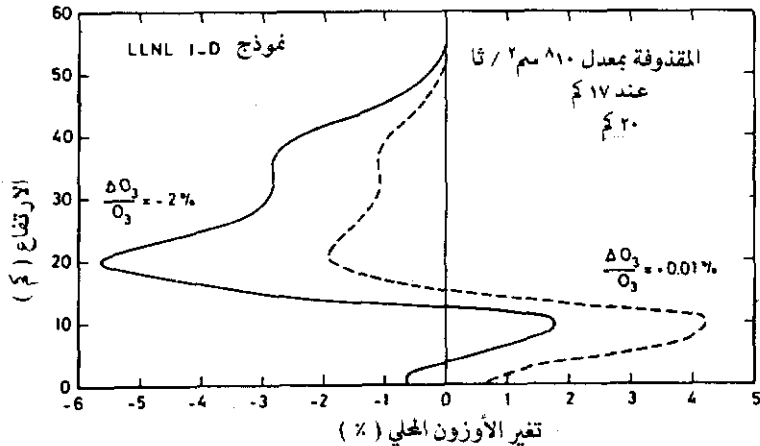
يقوم الطيران النفاث ذو السرعات العالية التي تفوق سرعة الصوت ، الذي يطير على ارتفاعات تزيد على (١٢) كم لتصل إلى (٣٠) كم ( طائرات الكونكورد الفرنسية البريطانية المشتركة ، الطيران الحربي النفاث ، وطائرات البوينغ ... ) بإطلاق كميات كبيرة من الملوثات الكيميائية عبر عوادمه إلى الجو الستراتوسفيري (  $H_2O$  ،  $CO_2$  ،  $CO$  ،  $NO_x$  ،  $SO_2$  ، والهيدروكربونات ) . وبجانب الدور الذي يمارسه كل من  $H_2$  و  $CO_2$  كدفينة ستراتوسفيرية مساهماً في رفع درجة الحرارة وإحداث تغيرات في النماذج المناخية . فإن  $CO$  و  $NO_x$  و  $SO_2$  تساهم في تحريب غاز الأوزون ، وخاصة أكسيد الآزوت . حيث تنفث الطائرات كميات من أكسيد النتريك ( $NO$ ) وأوكسيد النتروز ( $NO_2$ ) التي تدخل في سلسلة من التفاعلات الوسيطة ، خاصة أكسيد النتريك الذي يعمل على تفكيك غاز الأوزون :



فنتيجة لهذا التفاعل يتخرب غاز الأوزون متحولاً إلى جزيئات

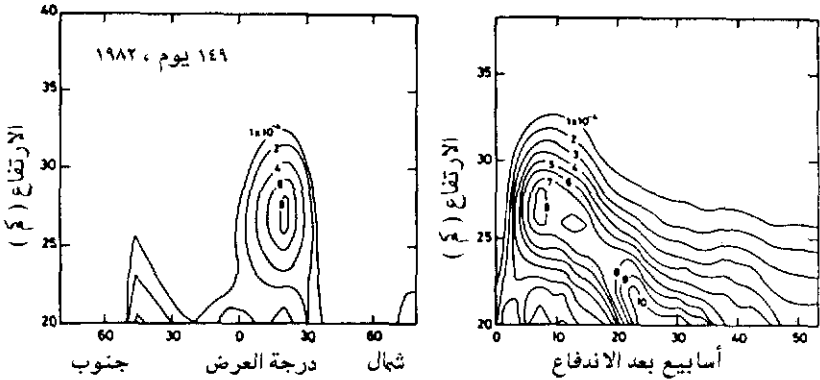
أوكسجين ، في حين يحافظ أوكسيد النترريك (NO) على تركيزه في طبقة الأوزون ، داخلاً في العديد من التفاعلات ، بحيث يستمر التفاعل فعالاً .

ولقد أظهرت بعض الدراسات (Liu et al, 1980) أن تأثير أكسيد الآزوت ( $NO_x$ ) على الأوزون يعتمد مباشرة على مستوى ارتفاع الطيران . فمقذوفات الارتفاعات العليا الآزوتية بإمكانها تخفيض عمود الأوزون ، أما منطلقات الارتفاعات الدنيا ( التروبوسفير الأعلى ) فإنها تعمل على وفرة الأوزون الإجمالي ( شكل ١٠ ) . ويبدو أن ذلك يعتمد على كثافة أنواع الجذور المتعددة ، كما في جذور الهيدروكسيد



شكل ( ١٠ ) الاختلاف النسبي في تركيز الأوزون مع ارتفاع كمية المقذوفات من ( $NO_x$ ) بمعدل  $1 \times 10^{-10}$  مول / سم<sup>٢</sup> / ثا عند ارتفاع ١٧ و ٢٠ كم

وتبدو مركبات الكبريت ذات أهمية خاصة بسبب كونها تقدم المصدر الرئيسي للإيروسول في الجو الأوسط . ويمكن للمقدوفات البركانية أن تبلغ ارتفاعاً في الجو يصل إلى أكثر من ٣٠ كم ( شكل ١١ ) . وإذا كانت البراكين تشكل مصدراً هاماً من مصادر الإيروسول والكبريتات ، فإنه لمن الواضح والمهم في حديثنا هذا الإشارة إلى أن البراكين في بعض الأحيان تشكل أحد المصادر المعتبرة للكور الجوي . وليست المقدوفات البركانية كافة تبلغ الستراتوسفير ، وإنما نسبة منها فقط ؛ فكمية المادة المتطايرة قبل اندفاع الماغما تختلف من بركان إلى آخر ، كما أن كمية الكلور في المادة المتطايرة تختلف هي أيضاً ، والمواد القابلة للإذابة والمركبات الغازية ، كما في حمض كلور الهيدروجين HCl-



شكل ( ١١ ) مدى الامتداد الشاقولي والمكاني للمقدوفات البركانية التي أطلقها بركان الشيسون في شهر نيسان عام ١٩٨٢ . (أ) درجة تركيزها في نهاية شهر أيار عام ١٩٨٢ . (ب) كثافة المقدوفات البركانية في الجو خلال فترة سنة أعقبت الاندفاع البركاني الذي حدث في يوم ٤ نيسان عام ١٩٨٢

ولقد قام بعض الباحثين بحساب كمية الكلور المنطلقة أثناء اندفاع بركان أغوستين ( الآسكا ) عام ١٩٧٦ ، فوجدوا أن هذا البركان قد قذف بحوالي ( ٨٢ - ١٧٥ )  $\times 10^9$  غرام من HCl إلى الستراتوسفير . كما أن باحثين آخرين قاموا في عمل مماثل بالنسبة لبركان الشيسون ( المكسيك ) الذي انطلق عام ١٩٨٢ م ، فوجدوا تزايداً يقارب من ٤٠ % في عمود (HCl) الستراتوسفيري بين خطي عرض ٢٠ - ٤٠° شمالاً . وتشير التقديرات إلى أن البركان أطلق حوالي  $4 \times 10^9$  غرام من (HCl) إلى الستراتوسفير .

إن المركبات الكلورية - بالدرجة الأولى - التي تطلقها البراكين ، تدخل - كما ذكر سابقاً - في سلسلة من التفاعلات الكيميائية ضمن طبقة الستراتوسفير ، مؤثرة من خلالها على طبقة الأوزون فيها .

#### ٤ - الأسمدة الآزوتية :

لقد توجه العلماء أخيراً إلى الأسمدة الآزوتية التي انتشرت بشكل كبير كمخصبات للترب الزراعية بغية تأمين حاجة النبات من الآزوت ، مشكلة بذلك مصدراً من مصادر الآزوت الجوي ، بخاصة  $N_2O$  . حيث يؤدي تفكك مالم يتم امتصاصه من النبات إلى انطلاق  $N_2O$  بفعل البكتريا المزيللة للنروجين من النتريت والنترات في التربة والمياه .

وعلى الرغم من أن استعمال الأسمدة الآزوتية لا يشكل مصدراً مهماً لغاز  $N_2O$  في الستراتوسفير ، إلا أن بعض الآراء تؤكد على دور ذلك في تخريب طبقة الأوزون . وإنه لمن الممكن أن يصبح ذو أهمية أكثر من الآن في الأمد البعيد إذا استمرت الزيادة المضطردة في استخدام الأسمدة الآزوتية ، التي تزيد سنوياً عن ٤٠ مليون طن .

#### ٥ - المواد المطلقة للكلوروفلوروكربونات (CFC's) :

تتركب الكلوروفلوروكربونات من ثلاثة عناصر ، هي : الكلور Cl والفلور F والكربون C . وتدخل هذه المركبات الكلوروفلوروكربونية في العديد من الاستخدامات الصناعية والمنزلية . فهي تستعمل كإداة تبريد ممتازة في الثلاجات وأجهزة تكييف الهواء ( في المنزل والسيارة ) ، وكدافعات propellants في علب الرش ( سبراي ) - كما في زجاجات العطور ، والروائح الأخرى ، ومثبتات الشعر ... وغيرها - ، كما دخلت كإداة أساسية في صناعة خام البلاستيك الرغوي ، مثل الاستيرين الرغوي . بالإضافة إلى استخدامها كمنظفات جيدة للقطع الإلكترونية .

وتعد المركبات التالية : فريون ١١ CFC.11 ( $CCl_3F$ ) ، فريون ١٢ CFC.12 ( $CCl_2F_2$ ) ، وفريون ١١٤ CFC.114 ، من أكثر المركبات الكلوروفلوروكربونية استخداماً في أجهزة التبريد

والتكييف والضغط ( الدفع ) ، لكونها تتبخر عند درجات حرارة منخفضة . والجدول التالي (٢) يبين الخصائص الطبيعية لتلك المركبات الثلاثة .

جدول (٢) الخصائص الطبيعية لمركبات الكلورفلوروكربونات ( فريون ١١ ، ١٢ ، و ١١٤ )

ضغط البخار بوحدة البار عندحرارة		كثافة السائل غ/سم <sup>٣</sup> (٢٠°م)	نقطة الغليان (°م)	المركب
٥٠°م	٢٠°م			
١,٤	٠,١	١,٤٩	٢٣,٨	CFC.11, CCl <sub>3</sub> F
١١,٢	٤,٧	١,٣٣	٢٩,٨-	CFC.12, CCl <sub>2</sub> F <sub>2</sub>
٣,٥	٠,٨	١,٤٧	٣,٦	CFC.114
			١٥,٢-	CFC.11+CFC.12

وبالإضافة إلى مايتسرب من تلك المركبات أثناء عملية التصنيع ، إلا أن النسبة الكبرى المنطلقة منها إلى الجو تحدث عند الاستخدام ( علب الرش ، التنظيف ، ارتشاح أجهزة تكييف هواء السيارات ، وترك المادة في أوعية حيث تتبخر ) ، وفي أثناء حدوث عطب في الأجهزة التي تعمل بتلك المركبات ( الثلاجات ، أجهزة التبريد ... ) ورميها في العراء ، لتعرض تلك الأجهزة للكسر ، ولتسرب المركبات الكلورفلوروكربونية الموجودة ضمنها نحو الجو ( شكل ١٢ ) .



( ب ) فضلات الأكل السريع ،  
ورغوة الألعاب البلاستيكية  
الفاصلة تعطي (CFCs)

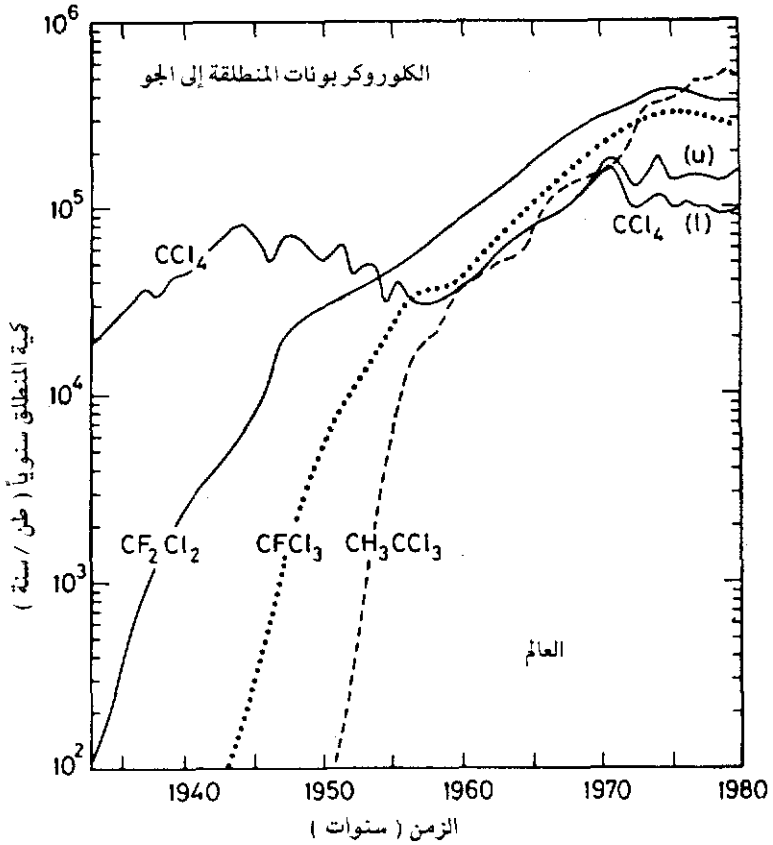


( أ ) البرادات المهملة المهجورة :  
المادة المبردة ومحلول التبريد  
جميعها تطلق المركبات الخربة للأوزون

شكل ( ١٢ ) صورتين لبعض المواد المطلقة لمركبات الكلوروفلوروكربون

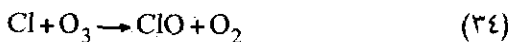
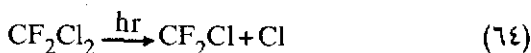
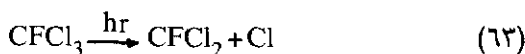
ولقد بدأ العالم الصناعي في إنتاج هذه المركبات منذ العشرينات من هذا القرن مترافقاً ذلك بانطلاق نسب منها إلى الجو ، متعاضمة تلك الكمية المنطلقة مع الكميات المنتجة من تلك المركبات ، خاصة وقد دخلت في الاستخدامات الحياتية في شتى أنحاء العالم المتقدم منها والنامي وحتى المتخلف - والشكل (١٣) يوضح تطور الكمية المنطلقة سنوياً من مختلف المركبات المؤثرة على الوسط الجوي الستراتوسفيري . -

وعندما تنطلق تلك المركبات نحو الجو ، فإنها تحدث آثاراً كبيرة



شكل ( ١٣ ) تطور الكمية المنطلقة سنوياً من مختلف مركبات الكوروكربونات والكوروفلوروكربونات المؤثرة على الوسط الجوي الستراتوسفيري

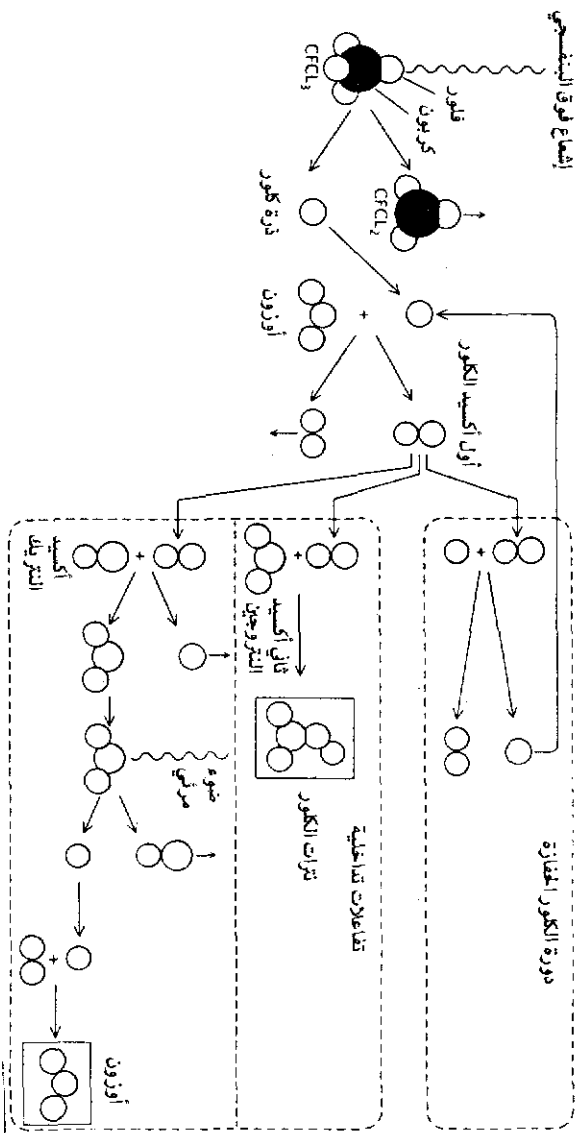
ليس في الطبقة الجوية القريبة من سطح الأرض ، لكون هذه المركبات خاملة كيميائياً ، فهي لا تتفكك إلا تحت تأثير الأشعة فوق البنفسجية ، ولذا فإنها لا تشكل أية خطورة في طبقة التروبوسفير . وتبقى على حالها في طبقة التروبوسفير دون أن تتحلل إلى عناصرها الأولية ، وما أن تبلغ في صعودها طبقة الستراتوسفير حتى تتحلل بفعل الأشعة فوق البنفسجية ، متولداً عنها عنصر الكلور النشط الفعالية في التعامل مع الأوزون مخرباً إياه ( الشكل ١٤ ) :



ومما يزيد من مخاطر الكلوروفلوروكربونات في الجو ، ما يلي :

١ - طول فترة حياتها دون أن يصيبها التبدد الذاتي أو التفاعلي ، إذ يتراوح طول فترة حياتها وسطياً بين ٥٠ - ١٠٠ سنة لكل من المركبين : فريون (١١) ، وفريون (١٢) .

٢ - خولها الكيميائي في طبقة التروبوسفير ، وانتقالها البطيء إلى طبقة الستراتوسفير ، لتصل في صعودها حتى أعالي تلك الطبقة . مما يعطي الفرصة لتلك المركبات كي تمارس دورها في التأثير على



شكل ( ١٤ ) آلية التفاعلات المتزنة للأوزون

طبقة الأوزون بعد عدة سنوات من انطلاقها من سطح الأرض ، فقد تصل المدة إلى عشرات السنوات ، إذ إنه لمن الممكن أن يكون ما انطلق منذ ٣٠ أو ٥٠ أو ٧٠ سنة هو الذي يمارس تأثيره الفعال الآن .

٣ - قيام الكلور الناتج عن تلك المركبات بدور الوسيط التفاعلي ( المحفز Catalyst ) ، أي أنه لا يتغير في أثناء عمليات التفاعل التي يدخل فيها .

٤ - قدرة الكلور الناتج الكبيرة على تحطيم الأوزون ، إذ يمكن لكل ذرة واحدة من الكلور أن تقوم بتحطيم حوالي ١٠٠ ألف جزيئة أوزون في سلسلة كبيرة من التفاعلات الرجعية ، قبل أن تفقد فعاليتها أو تعود إلى طبقة التروبوسفير .

وفيا يلي عرض لأهم مركبات (CFC's) وإنتاجها السنوي :

١ - مركبات فريون (١١) CFC,11 (CFCl<sub>3</sub>) وفريون (١٢) CFC,12 (CF<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>) :

إن الإنتاج السنوي لهذين المركبين في حالة تزايد منذ مطلع الثلاثينات وحتى الآن . ففيا كان إنتاج كلا هذين المركبين محدود مليون كيلوغرام في عام ١٩٣٥ وصل إلى ٤,٧ مليون كغ في عام ١٩٤٠ م ، وإلى حوالي ٤١,٦ م كغ في عام ١٩٥٠ م ، لتصل الكمية إلى ١٤٩,١ م كغ في عام ١٩٦٠ م وإلى ٥٧٨,٠ م كغ في عام ١٩٧٠ م ،

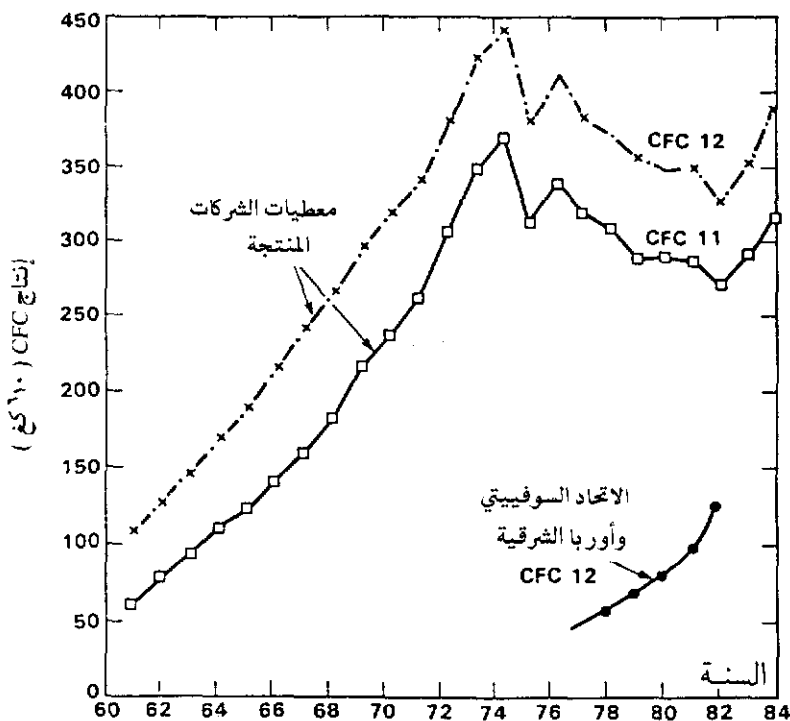
ولتبلغ ٧٥٤ م كغ في عام ١٩٨٢ م ، والجدول التالي (٣) يبين ذلك  
بوحدة (١٠ كغ) .

جدول (٣) تطور إنتاج مركبي الفريون (١١) ، والفريون (١٢)  
خلال الفترة ( ١٩٣١ - ١٩٨٢ م ) وكمية المنطلق منها إلى الجو

السنة	المركب CFC.11		المركب CFC.12		المجموع	
	الإنتاج	المنطلق للجو	الإنتاج	المنطلق	الإنتاج	المنطلق
١٩٣١	٠	٠	٠,٥	٠	٠,٥	٠
١٩٣٥	٠	٠	١,٠	٠,٢	١,٠	٠,٢
١٩٤٠	٠,٢	٠,١	٣,٩	١,٣	٤,١	١,٤
١٩٤٥	٠,٤	٠,٣	٢٠,١	٦,١	٢٠,٥	٦,٤
١٩٥٠	٦,٦	٥,٤	٣٤,٦	٢٧,١	٤١,٢	٣٢,٥
١٩٥٥	٢٦,٣	٢٢,٦	٥٧,٦	٤٥,٢	٨٣,٩	٦٧,٨
١٩٦٠	٤٩,٧	٣٩,٧	٩٩,٤	٨٣,٨	١٤٩,١	١٢٣,٥
١٩٦٥	١٢٢,٨	١٠٦,٣	١٩٠,١	١٦٥,٦	٣١٢,٩	٢٧١,٩
١٩٧٠	٢٤١,١	٢٠٥,١	٣٣٦,٩	٢٩٦,٢	٥٧٨,٠	٥٠١,٣
١٩٧٤	٣٧٧,٦	٣٢٠,٩	٤٧٣,٦	٤٢٠,٣	٨٥١,٢	٧٤١,٢
١٩٧٥	٣٢٢,٥	٣١٢,٤	٤١٩,٧	٤١٢,٦	٧٤٢,٢	٧٢٥,٠
١٩٧٧	٣٣٠,٧	٣٠٥,٦	٤٢٤,٤	٣٧٦,٥	٧٥٥,١	٦٨٢,١
١٩٨٢	٣١٠,٠	—	٤٤٤,٠	—	٧٥٤,٠	—

ويوضح الشكل (١٥) معدل الإنتاج السنوي لهذين المركبين منذ

عام ١٩٦٠ - ١٩٨٤ م على ضوء تقارير الإنتاج المقدمة من أهم الشركات الصناعية العالمية المنتجة والمستخدمة لهذين المركبين . ويتبين أن إنتاج هذين المركبين ( فريون ١١ ، وفريون ١٢ ) قد هبط بمقدار ٧ % في عام ١٩٨٢ م بالنسبة إلى عام ١٩٨١ م ، ليرتفع بمقدار ٨ % في عام ١٩٨٣ م ، وليرتفع ٨ % أخرى إضافة في عام ١٩٨٤ م . وفي هاتين



شكل ( ١٥ ) تطور إنتاج مركبي الفريون ( ١١ ) ، والفريون ( ١٢ ) خلال الفترة ١٩٦٠ - ١٩٨٤

السنتين ازداد الإنتاج بمقدار ١٦ ٪ ، ولكنه بقي دون ما وصل إليه في عام ١٩٧٤ م بحدود ١٣ ٪ ، حيث مثلت سنة ١٩٧٤ م القمة في إنتاج هذين المركبين .

## ٢ - مركبات CFC's أخرى :

إن تبدد الأوزون الستراتوسفيري ليس محصوراً فقط فيما ينطلق إلى الجو من مركبات فريون (١١) و (١٢) . ذلك أن هناك العديد من المركبات الهالوكربونية الأخرى التي تعمل على زيادة ذرات الكلور في الستراتوسفير ، والتي يتصف بعضها بمدة حياة طويلة تصل إلى أكثر من ٢٠٠ سنة كما في فريون (١٣) ، CFC.13 ( $CF_3Cl$ ) الذي تصل مدة بقائه إلى ٤٠٠ سنة ، وفريون (١١٥) CFC.115 (٢٨٠ سنة) ، وفريون (١١٦) CFC.116 (أكثر من ٥٠٠ سنة) . ويمثل إنتاج CFC.113 ما يقارب ١٥ ٪ من الإنتاج الجاري للهالوكربونات الطويلة الأمد ، والتي تسارع نموها منذ عام ١٩٧٤ م . وإذا استمر تزايد إنتاج CFC.113 مع الفريون (١١) و (١٢) فلا بد أن تظهر قمة ثانية في إنتاج الكلورفلوروكربونات تفوق قمة عام ١٩٧٤ م .

## أ - مركب فريون ٢٢ ( $CHClF_2$ ) CFC.22 :

تشكل الثلجات المستخدم الرئيسي لفريون ٢٢ . غير أن جزءاً هاماً منه ، بما يقارب ٣٥ ٪ من إنتاجه العالمي يستعمل كوسيط

كيمياوي في تحضير التيترافلوروتيلين Tetrafluoroethylene ، والذي يتحد بدوره مع نفسه - في عملية تعرف بالهجرة ليشكل الفلوروبلمير - .

إن إنتاج الفريون ٢٢ كما تشير التقديرات بلغ ١٠٢ ، ١٦٣ ، و ٢٠٦ × ٦٠ كغ في أعوام ١٩٧٧ م ، ١٩٨١ م ، ١٩٨٤ م على التوالي .

ب - مركب فريون ١١٣ (  $\text{CFC.113} (\text{Ccl}_2\text{FCclF}_2)$  :

يستعمل الفريون (١١٣) بصورة كبيرة بشكل محلول لتنظيف القطع الإلكترونية . ولقد قدر إنتاج هذا المركب بحدود ٧٠ × ٦٠ ، ٧٩ × ٦٠ ، ٩١ × ٦٠ كغ في أعوام ١٩٧٧ ، ١٩٧٨ ، و ١٩٧٩ على التوالي . ولقد تزايد إنتاج هذا المركب بصورة سريعة في السنوات الأخيرة ، حيث قدر إنتاجه العالمي بحوالي ١٤٠ × ٦٠ كغ في عام ١٩٨٤ م .

ج - مركب فريون ١١٤ (  $\text{CFC.114} (\text{CclFCclF}_2)$  :

إن هذا المركب محدود الاستعمال ، فهو يستخدم كضاغط في علب الرش (سبراي) وكمبرد ، وكوسيط لإعداد الكلوروبنتا فلوروتان Chloropentafluoroethane ( الفريون ١١٥ ، CFC.115 ) . وإنتاجه السنوي العالمي بحدود ١٣ × ٦٠ كغ .

د - ميتيل الكلوروفورم (CH<sub>3</sub>CCl<sub>3</sub>) :

لقد بدأ تسويق ميتيل الكلوروفورم منذ أوائل الستينات من هذا القرن . ويمثل الاستعمال الرئيسي في إزالة الشحوم من القطع المعدنية أو المعدنية البلاستيكية . كما أنه يستعمل بشكل واسع في عمليات التنظيف الباردة في الصناعات الهندسية ، ويستعمل أيضاً كزيت ( محل ) للمواد الدبقة ( adhesive ) ، والدهانات ، والورنيش . ويتصف بسمية منخفضة وقابلية للاحتراق ضعيفة . ولقد تنامت تجارته بشكل سريع في العشرين سنة ماضية ، حيث أخذ يحل بدل العديد من المركبات في التطبيقات الصناعية . ولقد وصل إنتاجه في عام ١٩٨٣ م إلى ٥٤٥ × ٦٠ كغ .

هـ - رابع كلور الكربون ( CCl<sub>4</sub> ) :

من الصعوبة تحديد الإنتاج الإجمالي لرابع كلور الكربون - الذي يعرف أيضاً باسم فريون ١٠ - بسبب إنتاجه متحداً مع كيميائيات أخرى . غير أن صناعته الوحيدة تعطي تقديراً لإنتاجه السنوي بحدود ١١٥٠ × ٦٠ كغ . ويستعمل هذا المركب بشكل واسع كوسيط كيميائي في إنتاج الفريون (١١) والفريون (١٢) ، والذي يقود بالتالي إلى انطلاق نسبة منه أثناء ذلك إلى الجو . وتشير التقديرات لإنتاجه الكلي في عام ١٩٨٣ - باستثناء إنتاج الاتحاد السوفيتي وأوروبا الشرقية والصين الشعبية - بحدود ٨٣٠ × ٦٠ كغ ، انطلق إلى الجو

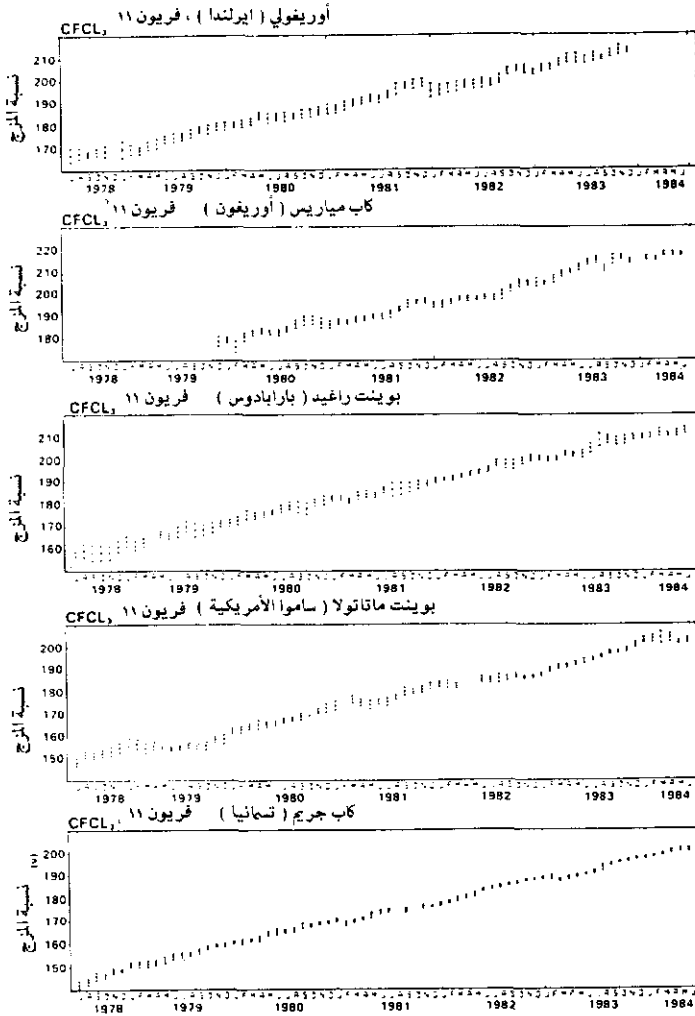
منها ما يقارب من ( ٤٠ - ٨٠ )  $\times 10^6$  كغ  
ويستعمل هذا المركب أيضاً ككذيب ( محل ) في عمليات الإنتاج  
الكيمائية والصيدلانية ، غير أن استخدامه كمطهر بالتدخين  
انخفضت . وتشير التقديرات إلى أن ما ينطلق إلى الجو من هذا  
المركب سنوياً في العالم لا يقل عن  $90 \times 10^6$  كغ .  
وبين الجدول التالي (٤) درجة تركيز أهم المركبات  
الكلوروفلوركربونية في الجو ، وإنتاجها ومدة حياتها .

جدول (٤) :

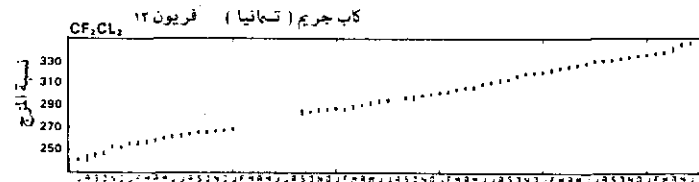
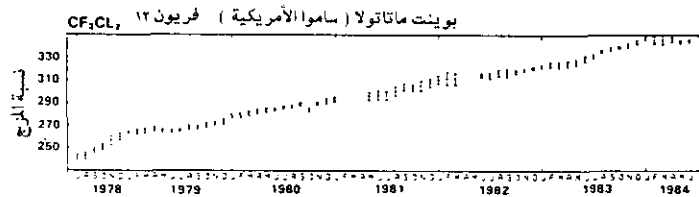
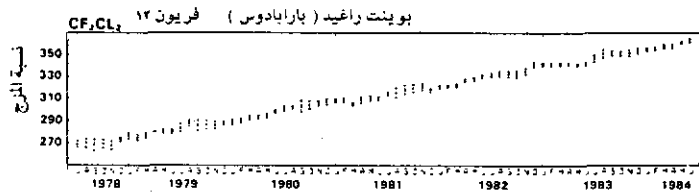
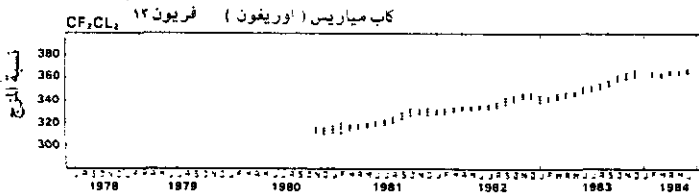
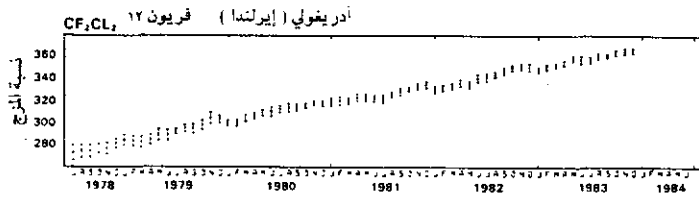
المركب	التركيز	السنة	الإنتاج الصناعي العالمي المقدر ( $10^6$ كغ)	السنة	فترة حياة (مدة البقاء) سنوات
CFC. 11 ( $CCl_3F$ )	٢٠٠	١٩٨٣	٣١٠	١٩٨٢	٦٥
CFC. 12 ( $CCl_2F_2$ )	٣٢٠	١٩٨٣	٤٤٤	١٩٨٣	١٣٠
CFC. 13 ( $CF_3Cl$ )	٣,٤	١٩٨٠	-	-	٤٠٠
CFC. 22 ( $CHCl_2F$ )	٥٢	١٩٨٠	٢٠٦	١٩٨٤	٣٠
CFC. 113	٣٢	١٩٨٥-٨١	١٤١-١٣٨	١٩٨٤	٩٠
CFC. 114	-	-	١٤-١٣	١٩٨٤	١٨٠
CFC. 115	٤	١٩٨٠	-	-	٣٨٠
$CH_3CCl_3$	١٢٠	١٩٨٣	٥٤٥	١٩٨٣	٦,٥
CFC. 116	٤	١٩٨٠	-	-	أكثر من ٥٠٠
$CCl_4$	١٤٠	١٩٧٩	٨٣٠	١٩٨٣	٥٠
$CH_3Cl$	٦٣٠	١٩٨٠	٥٠٠	١٩٨٤	١,٥

ويعود إنتاج ذرات الكلور المفردة في الستراتوسفير بصورة رئيسية إلى تفكك الفريون ١١ (  $CFCl_3$  ) والفريون ١٢ (  $CF_2Cl_2$  ) - كما أوضحنا سابقاً - وبدرجة أقل إلى ميثيل الكلوروفورم .. وغيرهم من المركبات التي تبلغ الستراتوسفير . ولقد أشار إلى أهمية المركبين الأوليين ، كل من : مولينا Molina ورولانـد Rowland عام ١٩٧٤ ، في حين لم يؤخذ دور ميثيل الكلوروفورم بعين الاعتبار حتى عام ١٩٨٠ ، غير أنه لمن الممكن لميثيل الكلوروفورم أن يتخرب في التروبوسفير بتفاعله مع جذر الهيدروكسيد ( OH ) ، وفترة حياته عموماً قصيرة لاتزيد عن عشر سنوات ، إلا أنه من الممكن له أن يتفكك ضوئياً في الستراتوسفير . ويبين الشكل ( ١٦ ) تطور نسبة المركبات الكلورفلوركربونية في الجو ( فريون ١١ ، وفريون ١٢ ) في أجواء مناطق متفرقة من العالم . والتي يظهر فيها تزايداً مضطرباً منذ عام ١٩٧٨ م وحتى عام ١٩٨٤ م وبمعدل ٥٪ سنوياً .

وعلى الرغم من الحظر الذي فرضته الولايات المتحدة في عام ١٩٧٨ م على استخدام المركبات الكلورفلوركربونية في صفائح الرش الترابية ، والذي حذت حذوها بعض الدول الأخرى ( كندا ، السويد ، النرويج ، الدانمارك ، واليابان ) ، إلا أن صفائح الرش المضغوطة المثقلة بالكلورفلوركربون ما زالت تنتج وتستخدم بكثرة . وما زالت تلك المركبات تستخدم في صناعة معلبات الأغذية سريعة الأوزون الجوي (٥)



شكل ( ١٦ ) التغيرات في نسب الفريون ١١ ( أ ) والفريون ١٢ ( ب ) في أجواء بعض مناطق العالم خلال الفترة ١٩٧٨ - ١٩٨٤  
 ( أ - ١٦ ) التغيرات في نسب الفريون ١١



شكل (١٦ - ب) التغيرات في نسب الفريون ١٢

التحضير ورقائق الكمبيوتر ... وعدد من المنتجات الأخرى ،  
وما يزال إنتاج تلك المركبات في حالة تزايد . وتشير الدراسات إلى  
أن معدل النمو في إنتاج مركبي فريون ( ١١ و ١٢ ) سيبلغ بمحدود  
١,٥ ٪ سنوياً خلال العشر سنوات الباقية من هذا القرن إذا ما اتخذت  
إجراءات صارمة للحد من ذلك . إذ أشار متحدثو شركة ( دوبون )  
الأمريكية أكبر الشركات المصنعة للكورفلوروكربونات في العالم إلى  
أنهم ليسوا في صدد إقفال صناعة قيمتها مليارات الدولارات قبل أن  
يبرز دليل قاطع على أن هذه المركبات قادرة على ابتلاع أكثر من  
قضة تافهة من الستراتوسفير . إذ لم يقتنع بعد أصحاب تلك الصناعة  
على أن تكون مادة كيميائية تستخدم في أمان على الأرض قادرة على  
تشكيل خطر في الجو سيرك آثاره إن عاجلاً أو آجلاً على الأرض .

## آلية تخريب الأوزون الجوي الستراتوسفيري

تتخرب طبقة الأوزون بوسائل وطرق متعددة . وتشكل الأشعة فوق البنفسجية عماد آلية بناء الأوزون الستراتوسفيري وتخريبه في الوقت نفسه ، غير أن التوازن قائم ما بين المتشكل من الأوزون والمتخرب منه اعتماداً على الآلية الطبيعية التي تحدث في طبقة الستراتوسفير والتي ركائزها الأوكسجين الجزيئي والأشعة فوق البنفسجية ، على الرغم من حدوث بعض التذبذبات الدورية في كمية الأوزون التي مردها إلى التغيرات في شدة الأشعة الشمسية المؤثرة على هذا الغاز المرتبطة مع دورة الشمس ، ودورة البقع الشمسية . ولكن مع دخول الملوثات المنطلقة إلى الجو من خلال أنشطة الإنسان المختلفة واستخداماته المتنوعة ، وبلوغ بعضها طبقة الأوزون ، بدأت مع ذلك مرحلة جديدة من مراحل الإخلال بتوازن الأوزون المعهود ، وبات الأوزون - كما تشير الدراسات والتقارير المختلفة - الآن يعاني من التبدد والتخريب ، ونقصان نسبته .

### ١ - آلية التخريب الطبيعية :

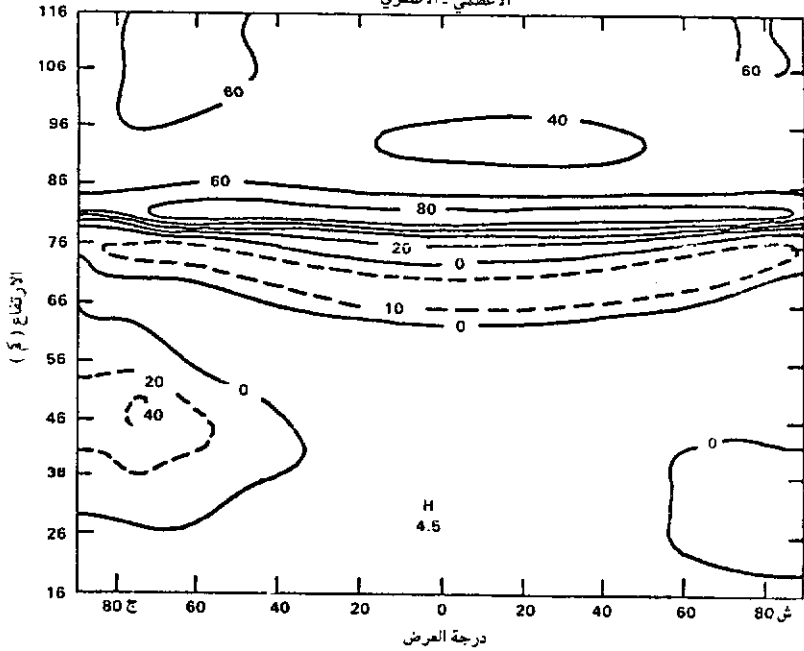
تمثل تلك الآلية في التغيرات التي تحدث في النشاط الشمسي ،

وما يصحبها من تذبذب في قيمة الثابت الشمسي ، وتغير في كمية الأشعة فوق البنفسجية . إن تأثير الاختلافات في تدفق الأشعة فوق البنفسجية ضمن المدى الموجي بين ١٨٠ - ٣٤٠ نانومتر على كمية الأوزون الستراتوسفيري وتوزعه الشاقولي ، وعلى درجات الحرارة الستراتوسفيرية ، أمر أصبح مسلماً به .

وتشير بعض الدراسات ، إلى أن كمية الأوزون تختلف بحوالي ٣٪ بين النشاط الأعظمي والأصغري للشمس ضمن دورة النشاط الشمسي ( شكل ١٧ ) ، مع اختلاف أعظمي في تركيز الأوزون بمحدود ١٠٪ عند الارتفاع ٤٥ كم . وقد حسبت الاختلافات في درجة الحرارة عند ذلك الارتفاع فكانت بمحدود ٢ - ٤ °م ، كما بلغ التغير في تركيز ( N<sub>2</sub>O ) بمحدود ٣٠٪ أو أكثر .

وتؤثر الاختلافات الشمسية على الأوزون الجوي ودرجة الحرارة من خلال تأثير الجزيئات المكهربة في ذرات النتروجين والهيدروجين المفردة في الستراتوسفير ، والتي تدمر الوسطاء الكيميائيين للأوزون عند تلك الارتفاعات . وهناك ثلاثة مصادر للإشعاع الجزيئي المكهرب : الأشعة الكونية المجرية ( GCR ) التي تخفف بواسطة الرياح الشمسية ضمن دورة البقع الشمسية ( ١١ سنة ) ، والتي تقدم مصدراً مسيطراً للنتروجين المفرد فوق المناطق القطبية ، كما أن لها تأثير هام على تركيز الأوزون عند الارتفاعات المنخفضة أيضاً .

نسبة التغير في الأوزون  
الاعظمي - الأصغري



شكل ( ١٧ ) اختلاف كثافة الأوزون خلال دورة ١١ سنة للنشاط الشمسي

والبروتونات الشمسية الفعالة Energetic Solar Protons التي تنطلق أثناء الأوهاج الشمسية ، بحيث تؤدي إلى زيادة سريعة في تركيز ( NO ) وبالتالي تدمير للأوزون . وعلى الرغم من أن تلك الأحداث البروتونية الشمسية ( SPE ) قصيرة المدة ، إلا أن فترة البقاء الطويلة لـ ( NO ) في الستراتوسفير الأوسط تؤكد أن لتلك الأحداث دوراً هاماً في التوازن العام للأوزون . والمصدر الثالث هو السقوط

الإلكتروني النسبي ( REP ) من الحزم الإشعاعية الخارجية للأرض ( حزم فان ألين ) إلى الميزوسفير والستراتوسفير العلوي خلال فترات الاضطراب المغناطيسي للأرض ، وهذا يقود إلى زيادة إنتاج ( NO ) و ( OH ) ، ولكن من وجهة نظر مدة البقاء الأقصر عند تلك الارتفاعات فإن تأثيراتها الطويلة الأمد تكون قليلة<sup>(١)</sup> .

بالإضافة إلى ماتقدم ، فإن كمية الأوزون تتأثر ببعض الأحداث الطبيعية الهامة الأخرى ، كالنشاط البركاني ، وتيار النينو المشهور في المحيط الهادي . وتشير الدراسات إلى أن كمية الأوزون الإجمالية كانت على أدناها في شتاء ١٩٨٢ - ١٩٨٣ م ، فيما يشبه الثقب الأوزوني عندئذٍ . وقد ارتبطت توقيت هذه الظاهرة بكلا الحدثين أو إحداها : اندفاع بركان الشيسون المكسيكي في آذار - نيسان عام ١٩٨٢ م . والشذوذات الكبيرة في الحركة الجوية المرتبطة بتيار النينو ELNino في تلك الفترة .

ففيما يتعلق بالشيسون ؛ دلت الدراسات المتعددة إلى تناقص في الأوزون بنسبته ١٠% بين مستوى ١٠٠ - ٣٠ ميلبار ، والتي اعتمدت على المعلومات التي قدمها المسبار المنطادي Balloonsonde في فترة الاندفاع البركاني . ومن جهة أخرى فقد أشارت الدراسات أيضاً إلى

Pitcock, A.B; (Solar Variability , Weather and Climate: an Update). (١)

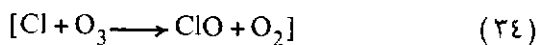
Quart.J.R.Met.Soc, 1983, PP.23-55.

أن فترة ١٩٨٢ - ١٩٨٣ م كانت متطابقة مع ظهور تيار النينو بأوج نشاطه ، والذي ترافق بشذوذات مناخية غير عادية في التروبوسفير .

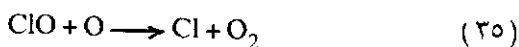
## ٢ - آلية التخريب البشرية :

إن العديد من الملوثات المنطلقة من سطح الأرض نتيجة أنشطة الإنسان المختلفة في مجال التصنيع ، واستخداماته للعديد من التقنيات الحديثة الملوثة ، وتلك التي تقذفها البراكين أثناء ثورانها ممثلة في أكاسيد الآزوت ، والمركبات الكلوروفلوروكربونية ، والمواد الهيدروكربونية ، والأكاسيد الكبريتية ... وغير ذلك ، تؤثر بشكل مباشر أو غير مباشر على الأوزون الجوي في طبقة الستراتوسفير .

لقد أظهرت الدراسات المخبرية أن الكلور يحطم الأوزون بسرعة . ولما كانت ملايين الأطنان من مركبات الكلوروفلوروكربون ( ما يزيد على ثلاثة ملايين طن ) تنطلق إلى الجو المحيط بنا سنوياً ، لتنتقل ببطء إلى طبقة الستراتوسفير متراكمة هناك ، لتدخل في سلسلة من التفاعلات التي تكون نهايتها تآكل الدرع الأوزوني . ويشكل مركبي فريون ( ١١ )  $CFCl_3$  وفريون ( ١٢ )  $CF_2Cl_2$  أهم مركبي الكلورفلوروكربون . فعندما يصل هذين المركبين إلى طبقة الستراتوسفير يتعرضان إلى الأشعة فوق البنفسجية التي تعمل على تفكيكها وتحرير مساهمها من ذرات الكلور الفردية التي تدخل في تفاعل مع ذرات الأوزون مبددة إياه ومتولدا من التفاعل :

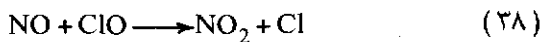


أول أكسيد الكلور وجزء أو كسجين مستقر . ولدى اصطدام أول أكسيد الكلور بذرة أو كسجين مفردة أخرى تتحد ذرتا الأوكسجين بسرعة محررة ذرة الكلور كي تدخل في تفاعل جديد مع الأوزون لتبدد ذرة أخرى منه :



إذ إنه بوسع ذرة الكلور تحطيم الأوزون بالتحفيز ( Catalyst ) دون أن تستهلك الذرة نفسها .

وهكذا يمكن القول أن أي ملوث يبلغ الستراتوسفير ويحتوي على الكلور ، سيتحرر الكلور منه بالتفكك ( التحلل ) الضوئي ، مبتدئاً دورته التفاعلية في التأثير على الأوزون . على أن دورة الكلور الوسيطة ( الحفازة ) لاتم عادة دون قيود ومداخلات . ففي أجزاء من الستراتوسفير تحدث تفاعلات يتولد فيها ( Cl ) ، أو تشكل مخزوناً له ضمن بعض المركبات . ففي الارتفاعات المتوسطة من الستراتوسفير ، يمكن أن يحدث تفاعل بين أكسيد النترريك ( NO ) وأول أكسيد الكلور :

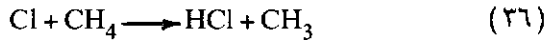


متولداً من ذلك ثاني أكسيد الآزوت والكلور . وعندما يمتص ثاني أكسيد الآزوت الضوء يتحلل بسرعة محرراً ذرة أو كسجين التي تعيد

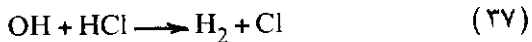
خلق الأوزون مما يساعد نوعاً ما على تحقيق التوازن في نسبة الأوزون .



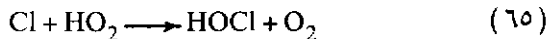
وفي حالة أخرى ، فإن اتحاد ذرات الكلور بجزيئات بعض المواد ، كالميتان مثلاً ( CH<sub>4</sub> ) ، أو اتحاد جزيء أول أوكسيد الكلور بثاني أوكسيد الآزوت أو بجذور الهيدروكسيد يتشكل عندئذ مستودعاً مهماً من حمض كلور الهيدروجين ( HCl ) ونترات الكلور ( ClONO<sub>2</sub> ) :



ومن الممكن أن تعاد دورة الكلور في حال تفاعل حمض كلور الهيدروجين مع جذر هيدروكسيد :

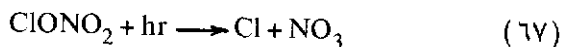


غير أن تفاعل ( ClO ) مع جذر فوق هيدروكسيد يكون أقل أهمية :

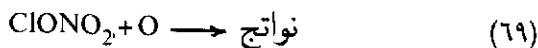
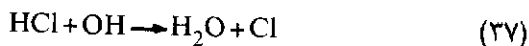


والدورة الرجعية لأول أوكسيد الكلور من أي من المستودعين

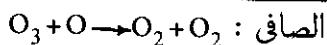
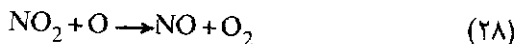
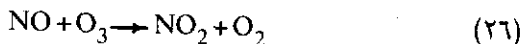
يمكن أن تتم بواسطة التحلل الضوئي :



إذ إنه في نهاية المطاف ، فإن مستودعي HCl ، و ClONO<sub>2</sub> إما أن يمتصا فوتوناً ، أو يتفاعلا مع مواد كيميائية أخرى ، متفككين ومتحرراً منها الكلور الذي يعاود دوره في تحطيم الأوزون :

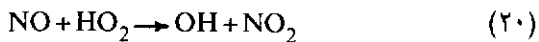
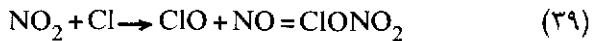


أما الآلية الثانية لتخريب الأوزون فتم بواسطة أكسيد الآزوت (NO<sub>x</sub>) . وكنا ذكرنا في الفصل السابق العمليات التي تؤدي إلى انطلاق أكسيد الآزوت إلى الجو ، وخاصة أكسيد النتروز N<sub>2</sub>O وثاني أكسيد الآزوت NO<sub>2</sub> وما يتعرضان إليه من تفكك ضوئي وتفاعل كيميائي مع عناصر أخرى متولداً منها أكسيد النتريك (NO) النشط تفاعلياً مع الأوزون والذي يقوم بدور المحطم له :

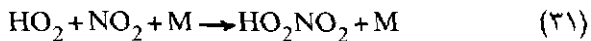
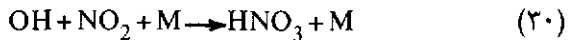


ذلك أن أوكسيد النتريك يعود إلى حالته الأصلية في نهاية الدورة ليدخل في تفاعل جديد .. وهكذا . وهذا يعني أن باستطاعته أن يخرب العديد من جزيئات الأوزون قبل أن يتحول من خلال (NO<sub>2</sub>) إلى حامض الآزوت (HNO<sub>3</sub>) - راجع الفصل السابق ما يخص كيمياء الستراتوسفير - .

وعلى الرغم من دور أكسيد الآزوت في تخريب الأوزون ، إلا أن بعض الدراسات الحديثة أظهرت أن باستطاعة تلك الأكاسيد التفاعل مع الكلور بطرق يمكنها في الواقع أن تعطل قدرة الكلور على مهاجمة الأوزون :



ويمكن لتلك النواتج من التفاعل أن تدخل في تفاعلات جديدة ، إما مع الأوزون مخربة إياه ، أو مع جذور من الهيدروكسيد لتكون منها أحماض متوقفة بذلك عن التخريب :



كما أن وجود قدر معقول من البروم ، وأول أوكسيد البروم في الستراتوسفير يؤدي إلى تخريب الأوكسجين المفرد بطريقة مشابهة

للكلور ومركباته . وتنطلق مادة البروم (Br) إلى الجو من مركب ميثيل البروم methyl Bromide الموجود في الطبيعة ، ومن مصادر الدخان والغازات وبعض مطفئآت الحريق . ويمكن لذرات البروم أن تتفاعل مع الأوزون مكونة أول أوكسيد البروم (Bro) وجزئي أوكسجين ( راجع الفصل السابق ) . كما يمكن لأول أوكسيد البروم أن يتفاعل بدوره مع أول أوكسيد الكلور كي يتكون جزئي أوكسجين آخر وتنطلق ذرات حرة من البروم والكلور .

وباستطاعة مثل دورة الكلور - البروم الحفازة ( المساعدة ) أن تعمل بسلاسة ، حتى عندما تكون ذرات الأوكسجين الطليقة نادرة نسبياً في المنطقة المحيطة . والبروم في حد ذاته فعال أيضاً في تحطيم الأوزون ، إذ إنه يجرى على سلسلة من التفاعلات شبيهة بتلك التي يولدها الكلور ، لكنها لا تتطلب ذرات أوكسجين طليقة - راجع الفصل السابق - .

وهناك مركبات أخرى ( كبريتية وكربونية ) تدخل في تفاعلات في الستراتوسفير تساهم في تحطيم الأوزون ولكن بقدر ضئيل ، لم يتحقق منه بعد . غير أن أهم عنصرين يساهمان في تحريب الأوزون هما : الكلور الناتج بالدرجة الأولى من تحلل مركبات الكلوروفلوروكربون ضوئياً ، وأوكسيد النتريك (NO) .

## إلى أين وصل تخريب الأوزون وتدميره ؟

لقد تنبه العالم مؤخراً إلى التدمير الذي يَحِقُّ بطبقة الأوزون ، التي تشكل درعاً واقياً يحمي سطح الأرض من الدمار . وعلى الرغم من بعض التذبذبات التي كانت تعتري نسب الأوزون الجوي والتي مردها إلى عوامل طبيعية بحتة ؛ كالتغيرات في شدة الأشعة الشمسية ، والاندفاعات البركانية - خاصة تلك الاندفاعات الكبيرة - . إلا إنه لم تكن هناك قياسات لمستوى الأوزون وتبدلاته ، ولم يكن العالم قد وصل إلى المرحلة التي أصبح يخاف على نفسه من نفسه .

ولكن ما إن باتت الملوثات المنطلقة من جراء أنشطة الإنسان واستخداماته المختلفة تشكل خطراً يهدد عالم الأحياء على سطح الأرض ، وأصبح الغلاف الجوي في حالة خطر في العديد من أجزاء العالم ، حتى تنبه العلماء أخيراً إلى دور تلك الملوثات المنطلقة إلى الجو في التأثير على درع الأرض السوقي ألا وهو طبقة الأوزون (Ozonospher) .

وعلى الرغم من المعرفة الدقيقة حالياً بخواص طبقة الأوزون

ووظيفتها ، وما يمكن أن يطرأ من تغيرات على سطح الأرض في حال حدوث تغير سلبي في مستوى نسبة الأوزون فيها ، إلا أن العالم لم يتنبه إلى ما يجري من استنزاف لهذه الطبقة حتى بداية الثمانينات ، على الرغم من أن الملوثات السابق ذكرها تمارس فعاليتها منذ عشرات السنين ، خاصة منذ أوائل الثلاثينات بعد أن دخل الطيران عالم المواصلات الجوية وبدأ تصنيع المواد الكلورفلوروكربونية ، وأخذت الأسمدة الآزوتية تنتشر بشكل متسارع في مجال الزراعة .

إن الذي أثار تأثير تلك الملوثات على طبقة الأوزون في الثمانينات من هذا القرن ، هي تلك الفجوة الأوزونية التي تم اكتشافها عام ١٩٨٥ م فوق القارة القطبية الجنوبية . فلقد كشفت البيانات التي جمعت منذ عام ١٩٥٦ م أن هناك فجوة واسعة نسبياً في طبقة الأوزون فوق القارة القطبية الجنوبية تقدر بنصف مساحة الولايات المتحدة . وفي خلال ست سنوات ( ١٩٧٩ - ١٩٨٥ م ) انخفض الأوزون فوق القارة القطبية الجنوبية بنسبة ٤٠ ٪ . وكان هذا الاكتشاف أول من لاحظته علماء الجو العاملون في خليج هالي ( القارة القطبية الجنوبية ) عام ١٩٨٢ م وأكدوه في عام ١٩٨٥ م . ولقد تبين في عام ١٩٨٥ م أن منطقة نضوب الأوزون كانت في الواقع أوسع من القارة ، وأنها امتدت في ارتفاعها مسافة تراوحت بين ١٢ - ٢٤ كم تقريباً ، طاغية على قسم كبير من الجزء الأسفل من الستراتوسفير .

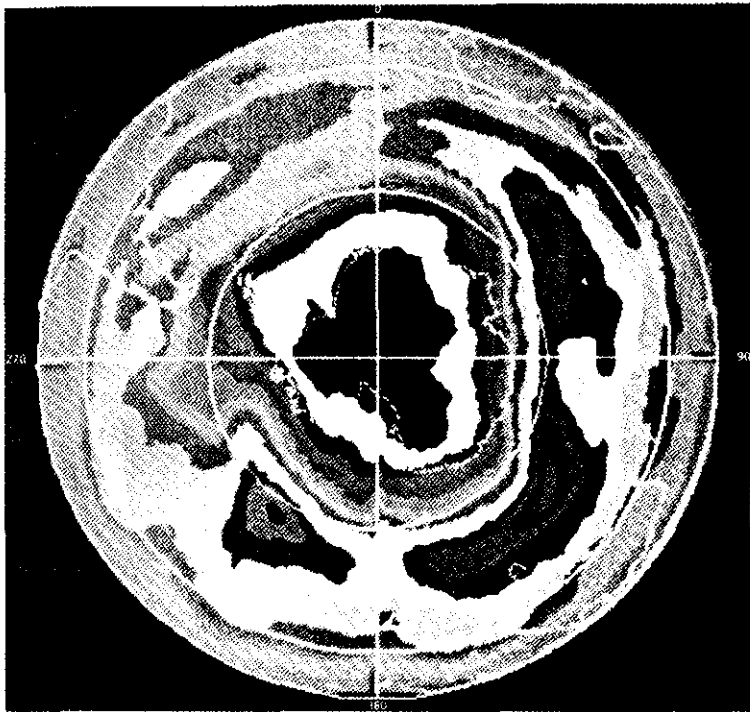
فمنذ عام ١٩٥٧ م كان ( فارمن Joseph C. Farman ) وفريقه يراقبان مستويات الأوزون من خلال أجهزة مركزها خليج هالي . ويتعقب ( فارمن ) مستويات الأوزون في خليج هالي بواسطة مقياس ( دوبسون ) للضوء الطيفي ( بيسكروفوتومتر ) ، وهو جهاز يستخدم منشوراً من الكوارتز لتوزيع ضوء الشمس على أطواله الموجية المختلفة . وتقارن الأطوال الموجية التي تمتص الأوزون بقوة بتلك التي لا تمتصه ، لتشير النسبة الناتجة إلى كمية الأوزون في خط عمودي يبدأ من الأرض وينتهي بعيداً في داخل الستراتوسفير . ولقد لاحظ ( فارمن ) انخفاضاً حاداً في مستويات أوزون العمود كل أيلول وتشرين الأول بدءاً من عام ١٩٧٤ م وصل إلى ٤٠ ٪ . وفي تشرين الثاني عام ١٩٨٤ م ، قدم ( فارمن ) بحثاً مفصلاً عن ذلك إلى مجلة ( Nature ) تم نشره في عام ١٩٨٥ م .

هذا وتؤكد النتائج التي تم التوصل إليها من خلال نظام التصوير الشامل للأوزون ( TOMS ) بواسطة القمر الصناعي الأمريكي ( نيبوس ٧ ) أن النقص في حجم الفجوة مستمر ومتواصل . إذ إنه بمقارنة البيانات التي سجلت في تشرين أول عام ١٩٨٤ م وتشرين أول عام ١٩٨٥ م لوحظ انخفاضاً بنسبة ١٦ ٪ .

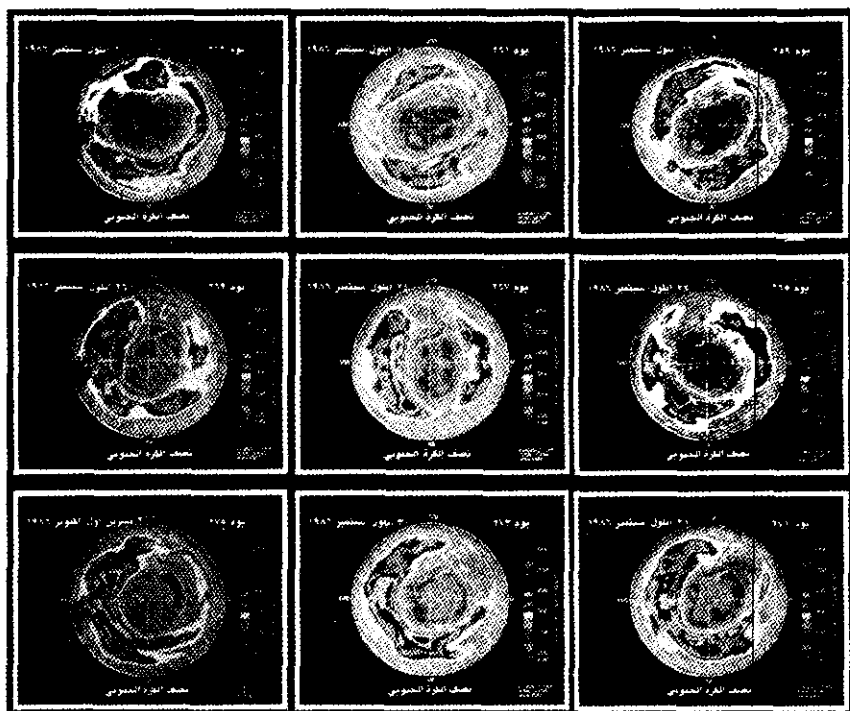
كما قام علماء وكالة الفضاء الأمريكية ( ناسا NASA ) بالكشف عن فجوة أخرى في طبقة الأوزون فوق القطب الشمالي . وبدراسة الأوزون الجوي (٦)

معطيات الفترة ( ١٩٧٩ - ١٩٨٥ م ) وجد أن معدل الانخفاض السنوي تراوح بين ١,٥ - ٢ ٪ ، مما يدل على أن القطب الشمالي يتعرض لأخطار مماثلة للقطب الجنوبي .

ولقد اهتم العديد من المؤسسات العلمية والمنظمات الدولية بقضية الأوزون . ففي عام ١٩٨٧ م اجتمع في بونتا أريناس بجمهورية الشيلي نحو ( ١٥٠ ) عالماً يمثلون ( ١٩ ) منظمة وأربع دول للقيام بأعظم دراسة طموحة ، ألا وهي تجربة فحص أوزون القارة القطبية الجنوبية بالأجهزة المحمولة جواً ، إذ قامت طائرتان إحداها من طراز (DC.8) والأخرى من طراز (ER.2) - وهي معدلة من الطائرة العسكرية الأمريكية U.2 - بعدة اختراقات لمنطقة نضوب الأوزون ، من أجل جمع عينات وإجراء بحوث ودراسات لتحديد حجم هذه المنطقة وكميائتها ( شكل ١٨ ) . وفي العام السابق لذلك ( ١٩٨٦ م ) قام القمر الصناعي الأمريكي ( نيموس ٧ ) بالتقاط مجموعة من الصور ( شكل ١٩ ) تظهر التطورات في فجوة الأوزون خلال فترة تمتد من ١٦ أيلول وحتى ٢ تشرين الأول عام ١٩٨٦ م . وفي عام ١٩٨٦ م أيضاً أرسلت وكالة الفضاء الأمريكية ( ناسا ) طائرة ER.2 لتقوم بحوالي ١٢ طلعة إلى قلب فجوة الأوزون في القارة القطبية الجنوبية على مدى شهرين ونصف ، لتأخذ العينات في كل طلعة من فجوة الأوزون .



شكل ( ١٨ ) متوسط مستويات الأوزون خلال شهر تشرين الأول عام ١٩٨٧



شكل ( ١٩ ) مجموعة من الصور تكشف عن التطورات في فجوة الأوزون فوق القارة القطبية الجنوبية خلال فترة تمتد من ١٦ أيلول وحتى ٢ تشرين الأول عام ١٩٨٦

كما أن البحوث التي أجرتها ( سوزان سولومون S. Solomon ) في ربيع النصف الجنوبي عام ١٩٨٦ م من محطة ماكوردو ( القارة القطبية ) ، والدراسات التي أجراها ( دايفيد هوفمان D. Hofmann ) من جامعة ويومينغ ، باستخدام بالونات مملوءة بالهليوم ، تؤكد الانخفاض الشديد في مستويات الأوزون في شهري أيلول وتشرين الأول قياساً بشهر آب . كما تبين أن الفجوة غير متجانسة ؛ ففي بعض الأماكن كان نضوب الأوزون محدود ٩٠ ٪ ، في حين لم تظهر مناطق أخرى أية خسارة . ويشير ( هوفمان ) إلى أن الانخفاضات الأكبر في معدل الأوزون تحدث في المناطق التي تشكلت فيها الغيوم الستراتوسفيرية ؛ بمعنى أن البقع الخالية من الغيوم ستظل غنية بالأوزون . ويضيف ( هوفمان ) إلى أن بعض الاختلافات قد تكون ناجمة عن اندفاع الهواء الغني بالأوزون من أطراف فجوة الأوزون .

إن سماء القارة القطبية الجنوبية تنفرد بانخفاض الحرارة فيها إلى درجة كافية لتشكيل غيوم ستراتوسفيرية ، موفرة تلك السحب - التي تحتوي على قدر معقول من البروم Br - طوراً مكثفاً للكيمياء الستراتوسفيرية حيث وجدت فجوة الأوزون . إذ اعتبر أن وجود هذه الغيوم سبباً في نزع الاستقرار من الجزيئات الخازنة للكلور ( HCl و  $ClONO_2$  ) وبالتالي زيادة تركيز أول أوكسيد الكلور ( ClO ) النشط وساطياً . وهكذا فإن تركيزاً عالياً من ( ClO ) يشكل دلالة

إضافة على أن الكلور متهاً رئيسياً بإحداث فجوة الأوزون .

وعلى الرغم من تعدد الآراء في تعليل وجود الفجوة الأوزونية الربيعية في ستراتوسفير القارة الجنوبية ، والتدني العام نسبياً في نسبة الأوزون الجوي العالمي بشكل عام ، فإنه لمن الممكن تلخيصها في ثلاثة ، هي :

### ١ - الكلور هو المتهم الأول :

لقد أظهرت النتائج الأولية من تجربة فحص أوزون القارة القطبية الجنوبية بالأجهزة المحمولة جواً عام ١٩٨٧ م ، إن مقادير أول أكسيد الكلور (ClO) في الفجوة الأوزونية خلال فصل الربيع الجنوبي ترتفع مستوياته في درجات العرض الوسطى . كما وجد أن مستويات أكاسيد الآزوت في الفجوة الأوزونية تنخفض انخفاضاً حاداً قياساً مع المستويات الموجودة في العروض الوسطى .

وقد أشار ( لوفلوك J. E. Lovelock ) في عام ١٩٧٤ م إلى الدور الكبير لمركبات (CFC's) في تآكل الأوزون ، وهذا ما كشفت عنه أبحاث كل من ( مولينا و رولاند M. Molina & F.S Roland, 1974 ) بعد أن تبين لهما أن مركبات (CFC's) لم تجد مكاناً تذهب إليه غير الصعود إلى أعلى ، وهذا ما أكد تخمين ( لوفلوك ) أن كل المركبات الكلورفلوروكربونية التي أنتجت حتى الآن ما زالت تطوف في الغلاف

الجوي لا يعترضها شيء في التروبوسفير لتبلغ في النهاية طبقة الأوزون متعرضة إلى الأشعة فوق البنفسجية الشمسية مفككة إياها إلى عناصرها الأساسية من كربون وفلور وكلور . ووفقاً لحسابات ( رولاند ، ومولينا ) فإن الكلور المتحرر ينشط تفاعلياً متسلسلاً بدءاً بتكون أول أكسيد الكلور وانتهاءً بتفكك ( ١٠٠ ) ألف جزيئة أوزون . ولقد توقع ( رولاند ، ومولينا ) على ضوء ذلك تقلص الأوزون الستراتوسفيري على ارتفاع ( ٤٠ ) كم بمعدل ٥٠ ٪ مع حلول عام ( ٢٠٥٠ م ) إذا استمر إنتاج (CFC's) دون حدود .

إن خطر مركبات (CFC's) قد لا يثير القلق والخوف في الوقت الحاضر على الأقل ، ولكنه سيكون مثير قلق في القرن الحادي والعشرين . ويبدو أن ما حصل فوق القارة القطبية الجنوبية لم يكن لتراكم الكلور فيه أكثر من تأثير ضئيل جداً على الأوزون حتى الوصول إلى نقطة حساسة معينة صارت بعدها أية زيادة في معدل الكلور تسبب تغيراً كبيراً في كيمياء الستراتوسفير .

لقد حدد أنصار نظرية مركبات الكلور فلور كربون في تحليل الفجوة الأوزونية ، عمليات عدة بمقدورها التقليل إلى حد كبير من تأثير هذه المركبات . فيإزالة أكاسيد الآزوت من الستراتوسفير من شأنها أن تسهل تحطيم الأوزون . فإذا لم تكن هذه الأكاسيد متوفرة ، فلا يمكنها الاتحاد بالكلور لتكوين مستودع نترات الكلور .

وبالإضافة إلى ذلك ، فقد تغير عملية ما مستودعات الكلور فتجعلها تطلق كلوراً نشطاً على شكل ذرات فردية ، أو على شكل أوكسيد الكلور .. وهذا سيحطم الأوزون .

ويرى بعض الباحثين في أن الغيوم الستراتوسفيرية القطبية تسهم في مثل هذه العمليات . فهذه الغيوم التي تنتشر فوق القارة الجنوبية على نحو أوسع من انتشارها فوق القطب الشمالي ، تتشكل في فصل الشتاء عندما يحل الظلام القطبي وتنخفض الحرارة غالباً إلى دون ( - ٨٠ ° م ) . فمركبات الآزوت تتكثف وتتجمد أثناء الشتاء ، وتغدو مقيدة إلى جسيمات الغيوم ، وتصبح عندئذ غير جاهزة للتفاعل مع الكلور . وفي الوقت ذاته ، فقد تسهل الجسيمات الغيمية تحويل مستودعات الكلور إلى كلور نشط . وفي ظلام الشتاء القطبي ، فإن العديد من العمليات الكيميائية تتوقف في واقع الأمر تماماً . وعلى أية حال ، فمن الممكن لجسيمات غيوم القطب الستراتوسفيرية أن تلتقط وتعديل مخزون الكلور الرئيسي تعديلاً بطيئاً ، وبذا تهيب الإفلات السريع لأول أوكسيد الكلور حين تأخذ الشمس بالسطوع .

## ٢ - النشاط الشمسي :

يعزو بعض العلماء ظاهر التبدد الأوزوني إلى دورة النشاط الشمسي . ويعتمد هؤلاء على أن محيط الأرض الجوي يتكون من

نتروجين وأوكسجين بصورة أساسية . ونتيجة لنشاط الشمس بشكل دوري كل ١١ سنة ، يجري تفاعل هذين العنصرين ، مما يسفر عن ظهور أكاسيد الآزوت . وخلال الدورة الشمسية الحالية للبقع الشمسية التي توشك الآن على الانتهاء ، كان يجري على ارتفاع ( ٤٨ - ٥٠ ) كم ، وبصورة مكثفة نشوء هذه الشوائب النشطة التي تتراكم ، ثم تهبط إلى الطبقات السفلى حتى تدخل في طبقة الأوزون حيث تتفاعل معه مما يسفر عن تحلله وتجري هذه العملية بشدة وخاصة في فترة الأوج في النشاط الشمسي ، وتقل بالنتيجة كثافة درع الأرض . ومن نقاط ضعف هذه الفرضية : أن الرقم المتسلسل للدورة الشمسية الحالية هو (٢١) ، ومعدل استمرار الدورة الواحدة هو (١١) سنة . وإبان الدورة الشمسية التاسعة عشرة كان النشاط الشمسي أكثر شدة من الدورة الحالية . غير أن أحداً لم يلاحظ آنذاك وجود فجوة في الأوزون . ولا يمكن الحكم على صواب هذه الفرضية إلا بعد مراقبة وضع طبقة الأوزون خلال الدورة الشمسية التالية .

ومثل هذه الفرضية تحظى بتأييد عدد غير قليل من الباحثين ، لاسيما بعد التجارب السوفيتية الأمريكية المشتركة في ميدان دراسة الطبقات العليا من محيط الأرض الجوي التي أجريت مؤخراً في مدينة ريلسك السوفيتية حيث يقع ميدان التجارب التابع للمرصد المركزي المختص بدراسة المحيط الجوي ، وحيث استخدمت مناطيد أطلقت إلى

ارتفاع قدره عدة عشرات الكيلومترات ، وهي محملة بأجهزة لتحديد نسبة الملوثات . وفي حين سجلت نسبة مرتفعة من الملوثات الصناعية في أجواء مدينة ريلسك ، فإن فجوة الأوزون توجد فوق القارة القطبية الجنوبية التي تبعد عن هذه المدينة آلاف الكيلومترات .

### ٣ - الحركات الجوية :

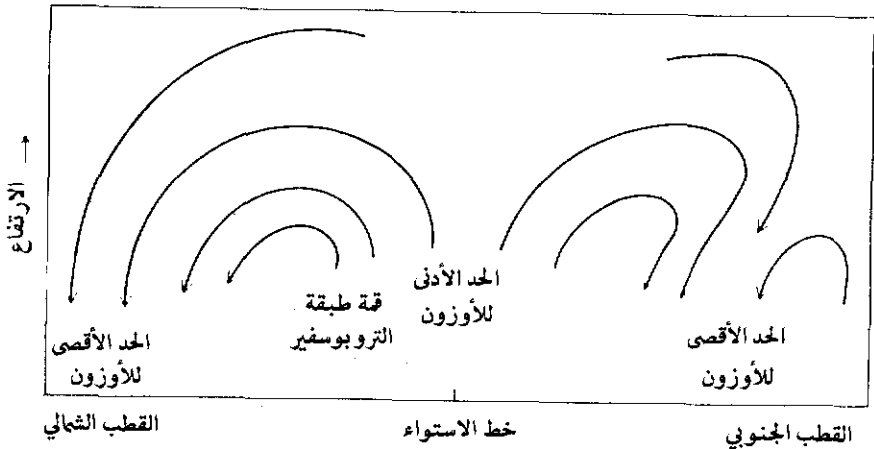
رغم وقوع دول العالم المتطورة صناعياً في نصف الكرة الشمالي ، التي تنفث في محيطها الجوي كميات هائلة من مختلف الملوثات التي تزيد بما لا يقارن عما ينفث في أجواء نصف الكرة الجنوبي . وهذا ما يستوجب تلوث أكبر وتأثير على بنية جو نصف الكرة الشمالي ومحيطه الحيوي يزيد كثيراً عما في نصف الكرة الجنوبي ، وهذا ما يلاحظ فعلاً في طبقة الجو القريبة إلى سطح الأرض . غير أن الأمر يبدو متعاكساً في الأجواء العليا ، حيث أخذت تظهر آثار تلك الملوثات بشكل أكثر بروزاً في نصف الكرة الجنوبي ، وما ظهور فجوة الأوزون فوق القارة الجنوبية سوى دليل على ذلك ، وهنا لا بد من وجود أسباب لا تتعلق بكمية الملوثات المنطلقة ، التي بفعلها يجب أن تكون مثل هذه الفجوة في نصف الكرة الشمالي ، وإنما تتعلق بديناميكية الجو .

إن ظهور فجوة الأوزون الجنوبية يمكن تفسيره بالدوران الأكثر ثباتاً لما يدعى بالإعصار القطبي الذي يحيط بالقارة الجنوبية .

فالشوائب الناجمة عن نشاط الشمس أو نشاط الإنسان تلتقطها التيارات القوية للإعصار القطبي وتجربها لمسافات بعيدة جداً . وبهذا يفسر أنصار الفرضية الثالثة الظاهرة المشاهدة فوق القارة القطبية الجنوبية . كما أن التفسير الكيميائي للفجوة الأوزونية الجنوبية لا يلغي أن تكون للعمليات الحركية الجوية دوراً ليس في تحطيم الأوزون ، وإنما في إعادة توزيعه وتركيزه .

إن القول في أن التغير في الحركية الجوية له دور فعال في توزيع الأوزون ، ينبع من حقيقة كون الجو في حالة حركة دائبة ، تتداخل في أعاليه الحركات الطولانية مع الحركات العرضانية ، وتبدو الحركات الإعصارية فعالة في بعض مواقعه ، وهذا ما يغير بالتالي ليس من مكان الأوزون وكميته فحسب ، وإنما أيضاً من مكان وتركيز جميع المواد الكيميائية التي تؤثر فيه . فلو كانت مستويات الأوزون التي تتأرجح دائماً إلى درجة معينة ، تتأثر بالشمس وحدها دون غيرها ، لتوقعنا أن نجد أعلى المستويات حيث تكون الشمس أقوى ما يمكن ، وهذا يتم عند الارتفاعات العالية جداً ودرجات العرض المنخفضة . وفي الواقع فإن مستويات الأوزون لا تبلغ ذروتها في أعالي الستراتوسفير ، بل في وسطها . إضافة إلى أن أكبر الكميات من الأوزون لا توجد فوق خط الاستواء ( شكل ٢٠ ) حيث تبلغ مستويات الأوزون النموذجية حوالي ( ٢٦٠ ) وحدة دوبسون ، بل

توجد قرب القطبين . وينجم هذا التوزع من أن طبقة الستراتوسفير تنحو إلى الانتقال من الارتفاعات العالية في المنطقة الاستوائية نحو الارتفاعات الدنيا في المناطق القطبية ، حاملة معها الأوزون المصنوع حديثاً . وفي نصف الكرة الشمالي ، يكون دوران الهواء في الستراتوسفير على امتداد الطريق إلى القطب الشمالي ، حيث يصل متوسط مستوى الأوزون إلى قرابة (٤٥٠) وحدة دوبسون في أواخر فصل الشتاء أو أوائل فصل الربيع ( انظر شكل ٢٠ ) . أما في نصف الكرة الجنوبي فإن دوران الهواء لا يتعدى درجة عرض (٦٠) جنوباً معظم السنة ، لتصل مستويات الأوزون هناك ذروتها التي تقارب من (٤٠٠) وحدة دوبسون . وتعمل الأحوال الجوية السائدة في القارة



شكل ( ٢٠ ) أهمية الدوران الستراتوسفيري في ارتفاع نسبة الأوزون في أجواء المناطق القريبة من القطبين

القطبية الجنوبية ، كالدوامة القطبية ، في إعاقه الهواء الغني بالأوزون عن الحركة جنوباً حتى وقت متأخر في الربيع .

ترتب جزئياً على مثل هذه النماذج الدورانية أن كمية الأوزون في جو القارة الجنوبية بقيت في الماضي مستقرة تقريباً حول الرقم (٣٠٠) وحدة دوبسون خلال معظم فصلي الشتاء والربيع ، لتزداد هذه الكمية بعد ذلك إلى قرابة (٤٠٠) وحدة دوبسون في ربيع عام ١٩٨٧ م عندما تددت الدوامة القطبية مفسحة المجال لدفق سريع من الهواء آت من درجات عرض أدنى . أما الآن ، فإن كمية الأوزون مستقرة تقريباً في غضون فصل الشتاء ، لكنها تهبط سريعاً في الربيع إلى أقل من (٢٠٠) وحدة دوبسون .

وثمة دليل فيه بعض الإيهام على أن نمطاً معيناً من العمليات الديناميكية يسهم في إحداث الفجوة الأوزونية ، مارواه المشرفون على تجربة فحص أوزون القارة القطبية بالأجهزة المحمولة جواً عام ١٩٨٧ م ؛ أنه في أحد الأيام ، وهو الخامس من أيلول ، هبطت مستويات الأوزون نحو ١٠ ٪ فوق منطقة مساحتها زهاء ثلاثة ملايين كيلومتر مربع . وقد استنتج الباحثون أن العمليات الكيميائية لا تقدم تعليلاً محتملاً لمثل هذا الهبوط السريع والمثير ، لكن حركة الهواء توفر التعليل المعنوي . ويبدو من المحتمل في هذه الحالة أن الهواء الفقير بالأوزون تحرك إلى المنطقة مؤقتاً ، ربما من الجزء الأدنى من

الستراتوسفير . ومن ناحية أخرى ، فحين قاس الباحثون تركيزات الغازات التي من خلال فحصها يمكن معرفة حركة الهواء ، لم يجدوا دليلاً لاندفاع علوي مستديم على نطاق واسع في طبقة الستراتوسفير . وتختبر النظريات الديناميكية والكيميائية أيضاً في تفسيراتها للغز علمي آخر مرتبط بالأوزون ، يتلخص في الاكتشاف بأن الكميات الربيعية من أوزون الستراتوسفير قد هبطت في كامل المنطقة الواقعة جنوب درجة العرض (٤٥) في نصف الكرة الجنوبي . إن الانخفاض في دوران الهواء من درجات العرض المتوسطة لابد أن يكون قد أسهم في هذا الهبوط ، بيد أن الكيمياء يمكن أن تلعب دوراً أيضاً . وعلى سبيل المثال ، فإن الهواء المستنزف كيميائياً من الدوامة القطبية قد يمتزج بالهواء في المنطقة المحيطة ، الأمر الذي ينجم عنه خسارة صافية في الأوزون .

وبأخذ المعطيات كافة حول موضوع تبدد الأوزون ، يتعزز الشك المتنامي في أن مركبات الكلوروفلوروكربون تسهم إسهاماً هاماً في فجوة الأوزون . وتشير النتائج أيضاً إلى أن هذه الظاهرة تتأثر بالأحوال الجوية الفريدة التي تسود منطقة الفجوة ، وهي : الدوامة القطبية ، درجات الحرارة الستراتوسفيرية الشديدة الانخفاض ، والغيوم الستراتوسفيرية القطبية . كما يحتمل أن تتأثر أيضاً بتغير في أنماط جريان الهواء في نصف الكرة الجنوبي .

## الاتجاه العام لتغير الأوزون

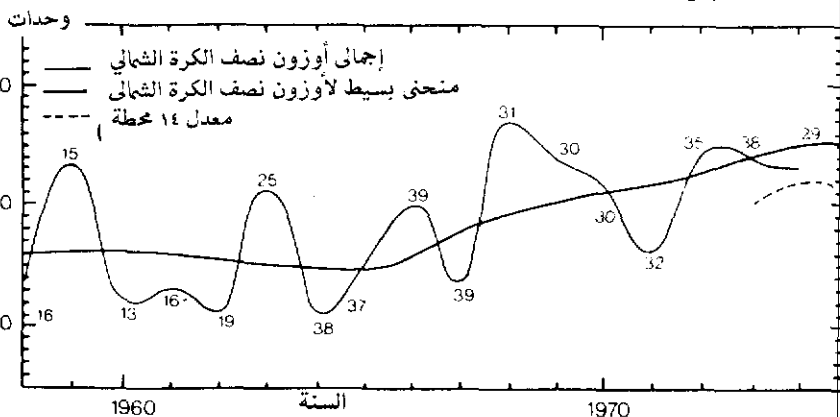
على الرغم من أهمية كل عامل من العوامل المحطمة للأوزون الجوي التي ذكرناها سابقاً ، غير أن نتائج فعل تلك العوامل لم تكن سلبية تماماً وباستمرار ، نتيجة لعدم التوافق ما بين الزيادة في إنتاج المواد المدمرة للأوزون والنقص في نسبة الأوزون ، وهذا دليل على وجود عوامل أخرى تعاكس تأثير الكيمياءات المحربة .

إن الزيادة المضطردة في إنتاج المركبات الكلوروفلوروكربونية (CFC's) منذ أوائل الثلاثينات وحتى الآن لم ترافق بزيادة مضطردة في نقص نسبة الأوزون سواء فوق نصف الكرة الشمالي الصناعي ، أو فوق نصف الكرة الجنوبي . بل شهد الأوزون فترات من الانخفاض في نسبته أعقبها فترات من الارتفاع ، وهكذا تذبذبات من سنة إلى أخرى ، مع ميل عام نحو الزيادة أو النقصان . فلو أخذنا الفترة التي توفرت فيها قياسات لمستوى الأوزون ، لوجدنا في نصف الكرة الشمالي انخفاض مستوى الأوزون عام ١٩٥٨ م ، ليرتفع في عام ١٩٥٩ م ، وليسجل مستوى منخفض خلال الفترة ١٩٦٠ - ١٩٦٢ م ، ومن ثم قمأ متعددة في أعوام ١٩٦٣ ، ١٩٦٦ ، ١٩٦٨ ، ١٩٧٢ م - شكل (٢١) يبين منحنى التغيرات في مستوى الأوزون في نصف الكرة

الشمالي خلال الفترة ١٩٥٨-١٩٧٥ م ، مسجلاً اتجاهها عاماً نحو التناقص حتى عام ١٩٦٥ م ، يتبع ذلك ميلاً عاماً نحو التزايد حتى عام ١٩٧٣ م ، ليسير بعدها في اتجاه عام نحو التناقص ( شكل ٢٢ ) .

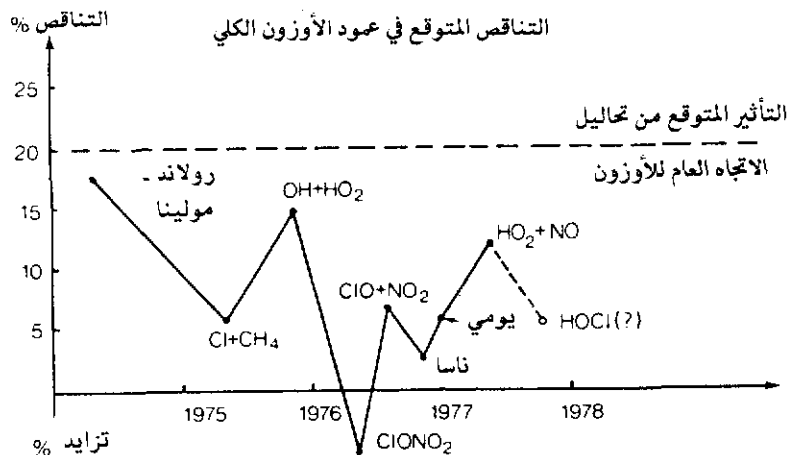
كما أن الشكل (٢٣) الذي بني على بيانات الأوزون العالمية خلال الفترة ١٩٥٨ - ١٩٧٧ م ، يكشف عن أن نسبة الأوزون كانت دون المعدل العام له في الستراتوسفير منذ عام ١٩٥٨ م وحتى عام ١٩٦٥ م ، ليتزايد فوق المعدل خلال الفترة من عام ١٩٦٥ - ١٩٧٣ م ، وليهبط دون المعدل في عام ١٩٧٤ م .. وهكذا هبوط .. فصعود . وكما يظهر من الشكل السابق (٢٣) فإن مستوى التبدد والانخفاض في الاتجاه العام للأوزون وصل إلى ٢٠ ٪ في عام ١٩٧٧ م .

وتؤكد الدراسات الحالية كافة على أن الأوزون يسير في اتجاه

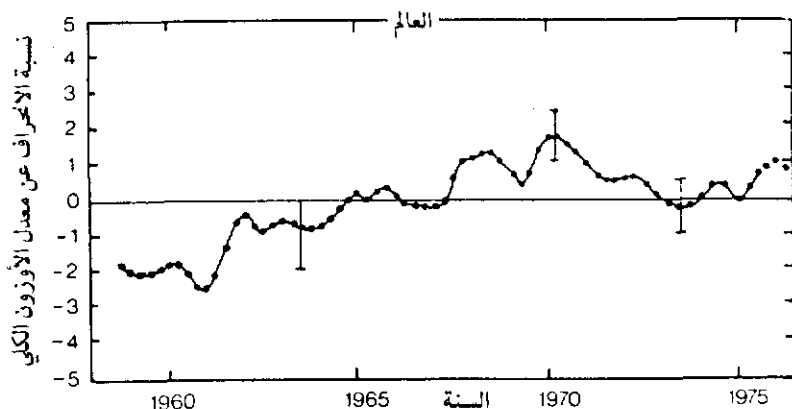


شكل ( ٢١ ) منحنى التغير في نسبة الأوزون السنوية في نصف الكرة الشمالي خلال الفترة ( ١٩٥٨ - ١٩٧٥ )

التناقص ، وسيستمر هذا الاتجاه مادامت العوامل الخربة والمدمرة له نشطة في دفع كميات متزايدة نحو الجو من مقذوفاتها الغازية .



شكل ( ٢٢ ) النسبة المئوية لدرجة نضوب الأوزون خلال الفترة ١٩٧٤ - ١٩٧٨



شكل ( ٢٣ ) الاختلافات الزمانية في الأوزون على مستوى العالم خلال الفترة

١٩٥٨ - ١٩٧٧

الأوزون الجوي (٧)

## الآثار المناخية الناجمة عن تذبذبات الأوزون

إذا استثنينا فجوة الأوزون القطبية الجنوبية التي تتصف بموسمية ظهورها ، كونها تظهر فقط في فصل الربيع الجنوبي . فإنه لم يتم التأكيد بعد من أن الاتجاه العام للأوزون يسير بشكل عام نحو التناقص وبشكل مضطرب ، وأن العناصر التي ذكرناها سابقاً ذات التأثير على الأوزون ينحصر عملها في تخريبه فقط ، أو أن لبعض تلك العناصر دوراً توازانياً في إعادة خلق الأوزون والمحافظة على نسبته ثابتة نسبياً في الطبيعة ، أو أن البعض منها يبطل فعل الآخر ، والنتيجة نفسها استقرار نسي في الأوزون أو تغير طفيف فيه .

وعلى الرغم من الأهمية المعتبرة لتذبذبات الأوزون في التأثير على الظروف المناخية السائدة عند سطح الأرض ، فإن لها تأثيراً كبيراً على مناخ طبقة الستراتوسفير نفسها

ولقد شهد النصف الثاني من العقد الحالي ( الثمانينات ) إثارة للعديد من المخاوف ، عما هو منتظر ومتوقع من تغيرات في مناخ الأرض من جراء النزيف الذي يحصل في طبقة الأوزون ، ونشرت حول هذا الموضوع العديد من الدراسات والبحوث التي وضعت

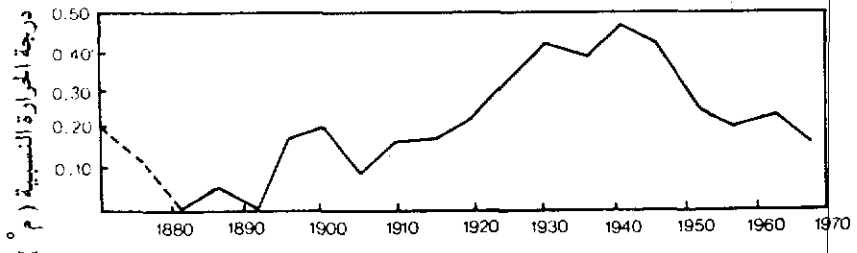
توقعات واحتمالات لما يمكن حدوثه من تغيرات في الحرارة والأمطار .. وغير ذلك ، وما سيتولد عن ذلك من آثار على البيئة الأرضية والحيوية . وما لاشك فيه ، أن أهم عنصر من عناصر المناخ التي يتوقع حدوث تغيير فيه ، بل اعتبرت بعض الدراسات أن التغيير أصابه ، هو درجة الحرارة ، التي حدد هؤلاء وجهة تغيرها إيجابية . وتغير درجة الحرارة على مستوى العالم سيصحبه بالتالي ترحح في الأنظمة المناخية ، وتبدل ملحوظ في مناخات الأرض المتباينة . وسنتعرض فيما يلي آثار الأوزون المباشرة على عنصرين هامين ، هما : درجة الحرارة ، والأشعة الشمسية .

#### ١ - درجة الحرارة :

إن المركبات الغازية المتضمنة الكلوروفلوروكربونات (CFC's) والميتان ( $CH_4$ ) وأوكسيد النتروز ( $N_2O$ ) وثاني أوكسيد الكربون ( $CO_2$ ) المتواجدة في طبقتي التروبوسفير والستراتوسفير التي تلعب دوراً هاماً في تحديد نسبة الأوزون الستراتوسفيري ، تؤثر على مناخ الكرة الأرضية من خلال خواصها الطبيعية كغازات دفيئات ( بيوت زجاجية ) من جهة ، ولكونها تؤثر على نسبة الأوزون ، مخفضة إياها ، وما يترتب على ذلك من انخفاض حراري ستراتوسفيري - إذا أخذ الأوزون فقط بعين الاعتبار - وارتفاع حراري عند مستوى سطح الأرض .

ولقد تمكن العلماء من وضع تنبؤات رياضية للتغيرات المحتملة لدرجة حرارة سطح الأرض عام ( ٢٠٣٠ م ) نتيجة للزيادة في تركيز الكلورفلوروكربونات بنسبة ٣ ٪ سنوياً ، و  $CO_2$  بنسبة ٠,٥ ٪ ، وأوكسيد النتروز بنسبة ٠,٢٥ ٪ ، والميثان بنسبة ١ ٪ ، وأفادوا أن هذه التغيرات مجتمعة ستكون بمثابة ارتفاع متوسط حرارة سطح الأرض بمقدار ٣ - ٥,٤ ° م .

ومما لاشك فيه ، فإن التغيرات في نسبة الأوزون الستراتوسفيري سينعكس على درجة الحرارة السطحية والعلوية . فانخفاض نسبة الأوزون سستيح الفرصة لمزيد من الأشعة فوق البنفسجية من العبور تجاه سطح الأرض ، مؤدية إلى ازدياد درجة الحرارة . ومقارنة الشكل (٢٤) الذي يوضح مسار درجة الحرارة بدءاً من عام ١٨٨٠ م وحتى عام ١٩٨٠ م ، مع منحنى تغير الأوزون العالمي ( شكل سابق رقم ٢٣ ) من عام ١٩٥٨ م وحتى عام ١٩٧٧ م ، تتكشف العلاقة العكسية ما بين



شكل ( ٢٤ ) الاختلافات في درجة حرارة الهواء السطحية خلال الفترة

١٨٨٤ - ١٩٦٩

الأوزون الستراتوسفيري ودرجة حرارة الهواء القريب من سطح الأرض . وعلى ضوء ذلك أخذت تثار مخاوف العالم مما يتوقع أن يساهم به تدني مستوى الأوزون الستراتوسفيري من تزايد في درجة الحرارة العامة للككرة الأرضية .

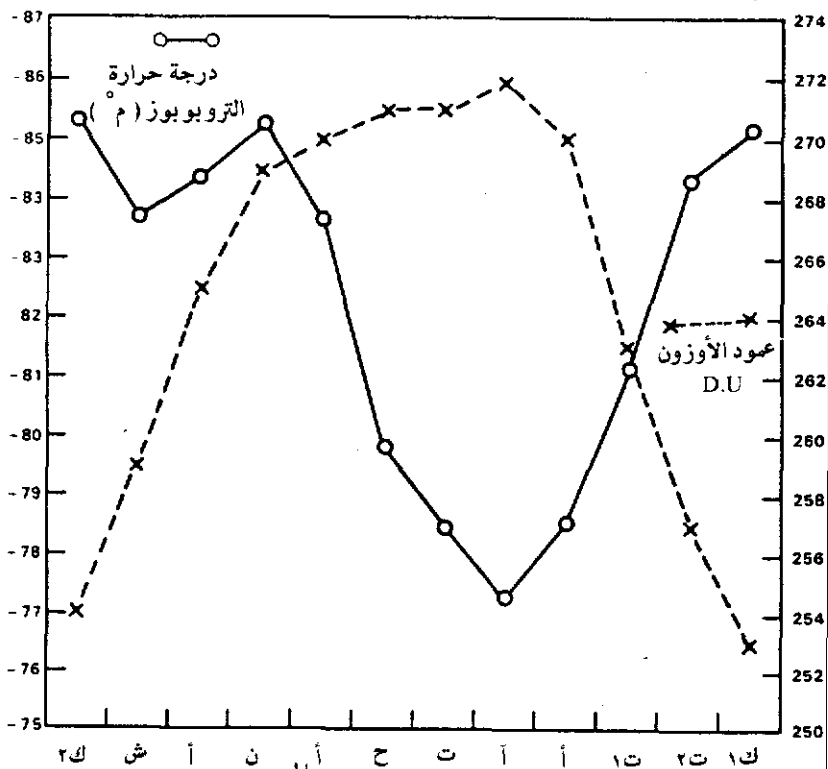
وتشير بعض الحسابات أنه في حال تدني نسبة الأوزون بمقدار ٤ ٪ فسيولد عنه ارتفاع في درجة حرارة سطح الأرض بمقدار ( ٠,٥ م ) . أما في حال نضوب حوالي ٥٠ ٪ من الأوزون الستراتوسفيري ، فيكون الارتفاع في درجة حرارة سطح الأرض بمقدار ( ٢ م ) .

وإذا أخذنا الأوزون فقط بعين الاعتبار ، بعناصره الأساسية المكونة له ( الأوكسجين الجزيئي والذري ) ، فإن نقصانه في الستراتوسفير ، سيؤدي إلى انخفاض في درجة حرارة هذه الطبقة ، والعكس صحيح . غير أن الأمر لا يسير كما يبدو على هذا المنوال ، لأن معنى تبدد جزء من الأوزون الجوي ، أن طبقة التبدد هذه أصبحت تحتوي على العديد من الملوثات المتلفة للأوزون ، والتي تقوم بدور الدفيئات ، مما قد يرفع من حرارة الستراتوسفير ، وليس العكس - شكل ( ٢٥ ) يبين العلاقة بين درجة الحرارة عند قاعدة الستراتوسفير وكثافة الأوزون الجوي - . وتشير بعض الدراسات إلى أن انعدام

الأوزون الستراتوسفيري كلياً - وهذا غير متوقع حدوثه - سيرفع  
 حرارة الستراتوسفير بضعة درجات ( القول هو  $24^{\circ}\text{م}$  أي  $40^{\circ}\text{ف}$  ) .

( ١٩٦٤ - ١٩٧٣ )

المتوسطات الشهرية



شكل ( ٢٥ ) العلاقة ما بين تغير نسبة الأوزون ودرجة حرارة سقف  
 التروبوسفير - أوقاع الستراتوسفير - في موقع وضع على خط عرض ١  
 جنوباً وخط طول ٧٣ شرقاً

## ٢ - الأوزون وتغير الإشعاع :

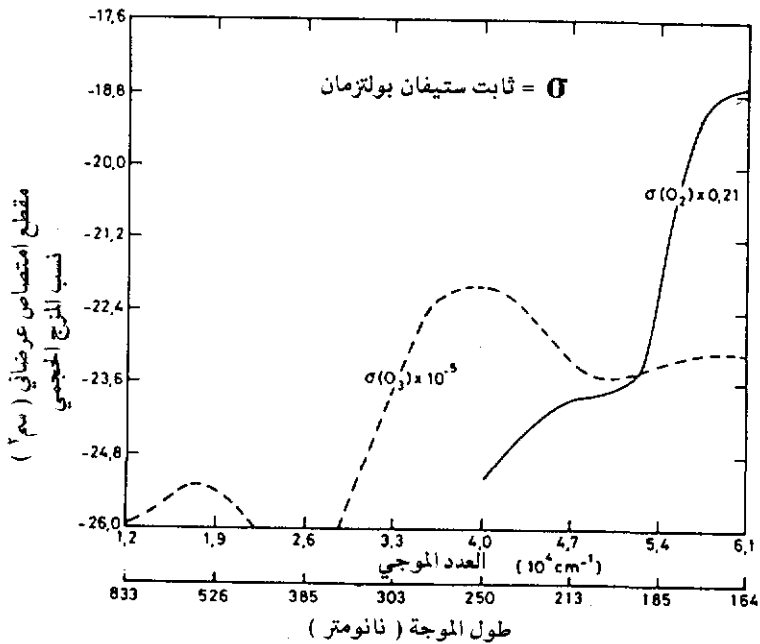
إن العلاقة وثيقة بين أية تغيرات في نسبة الأوزون وشدة الإشعاع الشمسي . وخاصة تلك الأشعة التي تقع في المجال بين ٢٤٠ - ٣٢٠ نانومتر لدورها أولاً في تكوين الأوزون نفسه ( شكل ٢٦ ) ولامتصاص الأوزون لتلك الأشعة . ولذا فإنه مع نقصان نسبة الأوزون في الجو ، فإن النسبة من الأشعة فوق البنفسجية الواصلة إلى سطح الأرض ستزداد . والواقع أن بعضاً من هذه الأشعة يصل اليوم إلى سطح الأرض بموجات تعرف بالرمز uv-B وتتراوح أطوالها الموجية بين ٢٩٠ - ٣٢٠ نانومتر . ولا يصل الإشعاع الذي تتراوح أطوال موجاته بين ٢٤٠ - ٢٩٠ نانومتر إلى الأرض إطلاقاً حالياً ، والمعروف بالرمز uv-C .

وعلى الرغم من خاصية الأوزون الامتصاصية القوية للأشعة فوق البنفسجية بمعظم أطوالها الموجية ، خاصة ما كان منها ضمن المدى الموجي السابق ذكره . إلا أنه يعد هاماً أيضاً في الأطوال الموجية الواقعة خارج ذلك المدى<sup>(٥٦)</sup> . ومما تجدر الإشارة إليه ، أن غاز

---

(٥٦) يقسم طيف الأشعة فوق البنفسجية إلى عدة حزم إشعاعية هي : ١ - حزمة سكومان - رونج ( Schumann-Runge ) ( ١٠٠ - ٢٠٠ نانومتر ) . ٢ - حزمة هيرزبرغ ( Herzberg ) ( ٢٠٠ - ٢٤٢ نانومتر ) . ٣ - حزمة هارتلي ( Hartley ) ( ٢٤٢ - ٣١٠ نانومتر ) . ٤ - حزمة هوجنس ( Huggins ) ( ٣١٠ - ٤٠٠ نانومتر ) .

الأوزون ليس وحيداً في تلك الخاصة - ولكنه الأهم - ، إذ يشاركه فيها أيضاً الأوكسجين والنتروجين ، ويبرز دور الأوكسجين الجزيئي ( $O_2$ ) في الحزم الإشعاعية التي تتراوح أطوالها الموجية بين ١٠٠ - ٢٠٠ نانومتر ، ويشاركه النتروجين الجزيئي ( $N_2$ ) ضمن المدى الموجي ١٠٠ - ١٥٠ نانومتر .



شكل ( ٢٦ )

## الفصل التاسع :

### الآثار الحيوية الناجمة عن تذبذبات الأوزون

إن الآثار الحيوية المترتبة على نقص الأوزون الجوي الستراتوسفيري هي محصلة للآثار المباشرة وغير المباشرة التي تحدثها الأشعة فوق البنفسجية التي تتاح لها الفرصة للوصول بكميات كبيرة إلى الغلاف الحيوي للأرض . ذلك أن طبقة الأوزون هي الدرع الواقي لإحياء الأرض من تلك الأشعة القاتلة إذا بلغت الأرض بكميات كبيرة ، وبأنواع معينة منها . فاستنزاف طبقة الأوزون هو تهديد مباشر وخطير لعالم الأحياء كافة ؛ فالإنسان سيتعرض إلى أمراض خبيثة - منها سرطان الجلد - وإلى تشوهات جينية ، والمحاصيل الزراعية سيصيبها التلف ، وحتى النظام البيئي المائي لا ينجو من آثار الأشعة فوق البنفسجية .

#### ١ - التأثير على الإنسان :

إن الأشعة فوق البنفسجية التي تتسرب بوفرة في حال نقص الأوزون ذات طاقة عالية لدرجة تكفي لتحطيم جزيئات حيوية هامة ، بما فيها الدنا (DNA) ، ويمكنها زيادة الإصابة بسرطانات

الجلد ، والسد العيني ( Cataract ) ، ( وهي عتمة تصيب عدسة العين البلورية أو محفظتها ) ، وتقص المناعة .

#### أ - تأثيرات الأشعة فوق البنفسجية على الجلد :

إن ما يعرف بحرقة الشمس أو ضربة الشمس (Sunburn) ماهي إلا نتاج وقوع الإنسان تحت تأثير شديد لأنواع معينة من أشعة الشمس ، خاصة تلك التي تقع ضمن المجال الموجي ٢٨٠ - ٣٢٠ نانومتر والمعروفة باسم الأشعة فوق البنفسجية - ب (UV-B) . أما بالنسبة للموجات الإشعاعية ذات الطول الموجي الذي يفوق الأشعة فوق البنفسجية - ك في الأشعة المرئية وتحت الحمراء - فبمقدورها الانتقال ضمن البشرة لتبلغ الأجزاء الوسطى والداخلية من الجلد (Sub-dermis) . وما الاحمرار الذي يحدث في الجلد سوى نتيجة لامتلاء الأوعية الدموية بالدم وتوسعها. من جراء السخونة الشديدة ؛ فعند ملامسة الجلد لمصدر تسخين ، يحدث ازدياد في معدل تدفق الدم ، ومن ثم ارتفاع في درجة حرارة الجلد . ومن المعتقد أن امتصاص الأشعة فوق البنفسجية من قبل خلايا الجلد الخارجية يقود إلى تحرير المواد المنتشرة ضمن الأجزاء الوسطى من الجلد (dermis) مؤثرة على قطر الأوعية الدموية ومعدل تدفق الدم فيها . وضربة الشمس بحد ذاتها ، ليست بالضرورة جزءاً من عملية إحداث السرطان

الجلدي ، غير أن المناطق من الجلد التي تعرضت سابقاً للإصابة بضربة شمس تكون مهئية أكثر من غيرها للإصابة بالسرطان .

وتتمص الأشعة فوق البنفسجية بشكل متميز من قبل الأحماض النووية التي تحتوي على المادة الوراثية في الخلية . ويكون الامتصاص عند قمته في الدنا (DNA) للطول الموجي بين ٢٥٠ - ٢٧٠ نانومتر ، وإن كانت تحدث تغيرات كيميائية نوعية ضمن الأطوال الموجية الواقعة بين ٢٤٠ - ٢٨٠ نانومتر . وتتوافق فعالية الطيف في تغير الدنا (DNA) مع المناطق المعرضة للإصابة بالبكتريا والالتهابات . وسواء كان الطيف الإشعاعي هو المسبب للطفح الوردى في الجلد (erythema) أم لا ، فإن مظهر الحمرة الجلدية هو صورة من صور تأثير الأشعة فوق البنفسجية . غير أنه يجب الأخذ بعين الاعتبار الاختلاف في درجة امتصاص الأشعة فوق البنفسجية مع اختلاف طول الموجة ، إذ أن الامتصاص يكون على أشده للمدى الموجي للأشعة الواقع بين ٢٨٠ - ٣٢٠ نانومتر .

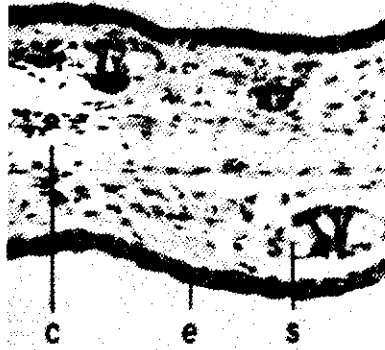
وبصورة عامة ، فإن الأشعة فوق البنفسجية لاتشبه الأشعة المؤينة ، خاصة ، فيما يخص التأثير على الأزواج الأساسية المتتابعة الانشطاري في ال DNA . غير أنها تشبه الأشعة المؤينة في إنتاجها لسلسلة من الأنواع المتباينة من الانحرافات ( الشذوذات ) في

الكروموسومات ( الصبغيات ) ولكن بنسب مختلفة . وإذا كانت الجرعة أكبر قليلاً فقط من تلك التي تحدث الانحرافات بتعدد معقول ، فإنه بإمكان الأشعة فوق البنفسجية أن تحطم - أو تفكك - الصبغيات ( الكروموسومات ) إلى قطع صغيرة جداً ، ومثل هذا الشيء نادر الحدوث مع الأشعة السينية (X) أو أشعة غاما  $\gamma$  رغم أنها توصف عادة كأشعة شديدة التأين كما في جزيئات ألفا  $\alpha$  . ومثل هذه التغيرات المحطمة للصبغيات ليست هي المسؤولة مباشرة عن حدوث السرطان .

وعلى كل حال ، فإن بعضاً من الأذى الذي يصيب الدنا (DNA) يبدو أنه مسؤول جزئياً عن إحداث السرطان . وهناك دليل واحد قاطع على الترددات العالية الشاذة من حيث كثرتها في سرطانات الجلد عند الأشخاص الذين يندر وراثياً إصابتهم بمرض جفاف الجلد ( جفاف المجموع الصبغي للجلد Xeroderma Pigmentosum ) . وتؤدي الحماية الأصولية من التعرض للأشعة الشمسية إلى انخفاض واضح في التغيرات التي تعترى الجلد ، والتي منها سرطانات الجلد . وفي بعض من تلك الحالات تتأثر خلايا الجسم بإصابتها في نقص واضح بقدرتها العامة على إعادة إصلاح ( ترميم ) الضرر الذي أحدثته الأشعة فوق البنفسجية في الدنا . بجانب ما تقدم ، هناك آليات كيميائية أخرى تعمل من خلال الأشعة فوق البنفسجية في سرطنة الجلد .

ولقد أظهرت التجارب التي أجريت على الحيوانات ، أن السرطان عادة ما يصيب الجلد المعرض أكثر من غيره للأشعة فوق البنفسجية . وهذا يبدو أنه ناتج عن التعرض الطويل والكمي ( المكثف ) لتلك الأشعة ، التي تقود عادة إلى فقدان كامل للجزء الخارجي من الجلد (epidermis) ، ومن ثم نشوء الأورام الخبيثة في الجلد . وفي حال تعرض موقع واحد للأشعة فوق البنفسجية ، فإنه لمن الممكن عندئذ أن تصل التأثيرات البيولوجية بعيداً عما يمكن توقعه ، لتقوم بتعديل عمل المنطقة المعرضة على المستويات الفيزيائية والبيولوجية : وجود سماكة في البشرة المعرضة للإشعاع ( وزيادة في عدد الخلايا فيها ) ، وأيضاً في المنطقة القريبة منها ، دون أن يشاهد مثل ذلك في البشرات غير المعرضة ( شكل ٢٧ ) .

وبصورة عامة ، هناك اختلافات هامة في أورام الجلد الناتجة تجريبياً بفعل كل من الأشعة المؤينة والمواد الكيميائية السرطنة . فسرطان الجلد الناتج عن الأشعة فوق البنفسجية ، والذي يظن أنه يعتمد على التفاعلات الكيميائية يزيداد عادة مع الكميات أكثر مما مع الأشعة المؤينة . فإذا كان التعرض للأشعة المؤينة فقط يكفي للإصابة بالسرطان ، غير أن التعرض الطويل الأمد للأشعة فوق البنفسجية ، وتوفر المواد الكيميائية الملائمة لذلك ، أمراً يبدو أنه ضروري لتحقيق الإصابة والتسريع فيها .



شكل ( ٢٧ ) تأثير الأشعة فوق البنفسجية على جلد فأر : الصورة العلوية ؛  
 مقطع في أذن فأر ( c = غضروف ، e = البشرة ، s = الغدة الدهنية في  
 الجلد ) . الصورة السفلية : البشرة بعد ٩ أيام من تعرضها الوحيد  
 لـ  $٧,١ \times ١٠^{-٥}$  ارغمة / سم<sup>٢</sup> من الطول الموجي ٠,٢٥٤ ميكرون إلى السطح  
 العلوي

ومع ذلك ، فإن الأشعة فوق البنفسجية المحدثة لأورام الجلد الحبيثة في الفئران ، تشبه تلك التي تحدثها الكيماويات التي بإمكانها أن تعمل على توليد مضادات بقوة . ومثل هذه المضادات تجاه الأورام الحبيثة الناجمة عن الأشعة فوق البنفسجية ، تم تأكيدها في الأنواع البشرية ، بفعل التكرار المتزايد في سرطان الخلايا الحشرية في جلد الإنسان ، مع إمكانية نقل الأعضاء الماثلة للذين عندهم مناعة زائدة .

ب - سرطان الجلد في الإنسان :

إن تشكل السرطان في الطبقة الوسطى من الجلد ليس شائعاً جداً بالمقابل مع السرطان الذي يصيب البشرة ( الطبقة الخارجية من الجلد ) . وهناك ثلاثة أنواع رئيسية من سرطانات البشرة ، موضحة في الجدول التالي (٥) الذي يبين أيضاً التكرار النسبي لها ، ومدى ما تسببه من وفاة .

جدول (٥) أنواع السرطانات الجلدية ، ومدى تكرارها النسبي ، وما تسببه من وفيات

النوع	الوفيات	التكرار النسبي
سرطان العنشاء الخلوي الرئيسي	٠,٠٠١	٣,٦
ورم ظاهري قرني	خراجات تلقائية (ذاتية)	٠,٣
سرطان الخلية الحشرية	٠,٠٠١	١,٠
تصبغ خبيث	٠,٣٥ - ٠,٧٠	٠,١ فأقل

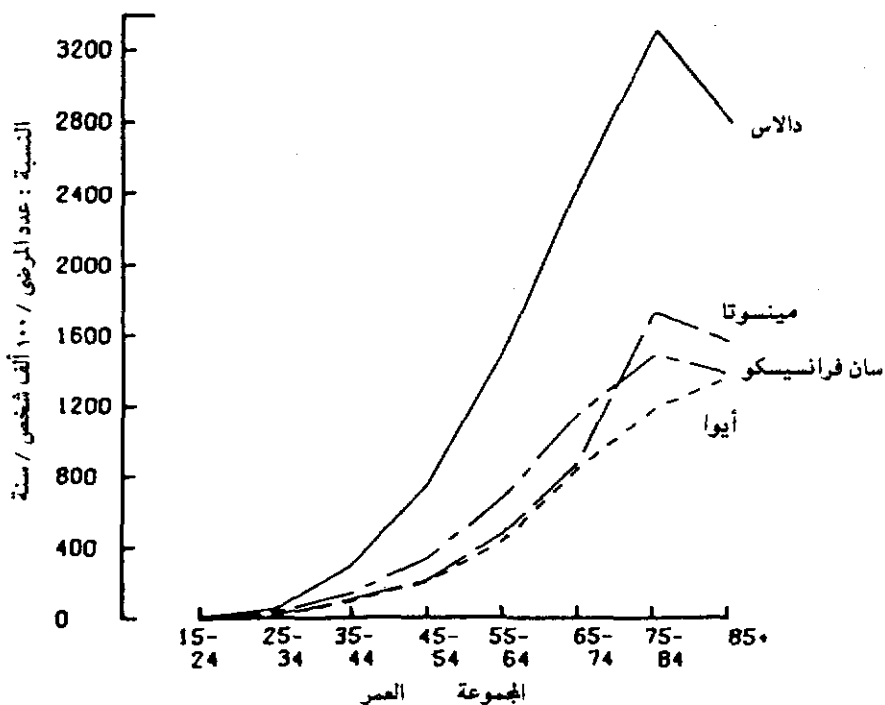
وكل نوع من الأنواع الواردة أعلاه في الجدول السابق يقسم في الأغراض الطبية إلى أنواع ثانوية لها مظاهرها المميزة في الجلد . وهناك أشكال مميزة من التعرض المهني - إلى الكيمياء ويات والأشعة فوق البنفسجية أو الأشعة المؤينة - من الممكن أن ترافق بأنواع خاصة من السرطان في مناطق محددة من الجلد .

وتختلف درجة الإصابة بسرطان الجلد مع اختلاف درجة العرض ، ومع اختلاف الارتفاع عن سطح البحر . فع تزايد درجة العرض والارتفاع تزداد نسبة الأشعة فوق البنفسجية ، وتزداد فرص الإصابة بالسرطانات ، خاصة سرطانات الغشاء الخلوي الرئيسي ؛ إذ كشف العلماء عن وجود علاقة ترابطية بين الارتفاع عن سطح البحر - بما يحمل في طياته من زيادة في درجة التعرض للأشعة فوق البنفسجية - وزيادة الإصابة بأنواع سرطانات الجلد وخاصة من النوع غير الميلانومي . أما بالنسبة لسرطان الجلد من النوع الميلانومي melanomas فبالرغم من أنه نادر إلا أنه يعتبر من الأنواع الخطيرة لأورام الجلد ، ولم يتمكن العلماء بعد من إيجاد علاقة تربط بين الإصابة بهذا النوع من السرطان والتعرض للأشعة فوق البنفسجية من نوع (ب) .

يضاف إلى ماتقدم عوامل أخرى مساعدة على الإصابة بالسرطان الجلدي ، البعض منها يتعلق بالعمر والآخر يتعلق بالجنس . فلقد

أشارت بعض الدراسات إلى أن معدل الإصابة بسرطان العشاء الخلوي وسرطان الخلية الحرشفية يتزايد مع تقدم العمر ، وأكثر فرص الإصابة تتحقق في الأعمار بين ٦٥ - ٧٥ سنة ( شكل ٢٨ ) .

وإذا كان سرطان الجلد ينجم بصورة رئيسية عن التعرض



شكل ( ٢٨ ) العلاقة بين معدل الإصابة بالسرطان الجلدي وفئات الأعمار في بعض المناطق الأمريكية

للأشعة فوق البنفسجية الطبيعية ، فإن مدة التعرض ، ونوع المنطقة من الجلد المعرضة ، واختلاف درجة حساسية الجلد للإصابة بالسرطان بواسطة UV تلعب دوراً بارزاً في ذلك . فسرطان الخلية الحرشفي يعتمد على التعرض البيئي إلى الأشعة فوق البنفسجية أكثر من سرطان الغشاء الخلوي . وثمة فارق واضح في استجابة الجلد للإصابة ، حيث أن سماكة البشرة قد تختلف ، ومن ثم فإن نسبة الأشعة فوق البنفسجية التي يتلقاها الجلد وتمتص من قبل الخلايا تختلف حسب عمق طبقات البشرة .

ومن خلال الملاحظات المتكررة وجد العلماء أن جلد الأنف يتأثر في معظمه بضربة الشمس ، ومن ثم فهو بالتالي أكثر من غيره عرضة للإصابة بسرطان الغشاء الخلوي الرئيسي في السم<sup>2</sup> من الجلد والجدول التالي ( ٦ ) يبين توزيع الأغشية الخلوية الرئيسية على الجانب الأمامي من الرأس ، وإمكانية التعرض للأشعة ، وفرص تشكل الأورام .

كما وتختلف درجة الإصابة ما بين الذكور والإناث ، ولكنه ليس اختلافاً بيئياً . ويكون الإنسان المدمن على شرب الكحول والتدخين معرضاً أكثر من غيره للإصابة بسرطان الجلد المعرض للأشعة فوق البنفسجية .

جدول رقم (٦)

الأورام بالنسبة لـ N سم <sup>٢</sup>	عدد الأورام	مساحة الجلد (شخص/سم <sup>٢</sup> )	Code nos. for area	المنطقة
				المنطقة المعرضة بأكملها
١,٠	١٢٥	١٣٠	٧,٨	الجبين (الجهة)
١,٥	١٠٨	٧٣	١٤,١٣	الحدود (الوجنات)
٧,٦	٢٩٠	٢٨	٢٦-١٥	الأنف
٠,١	٢١	٣٤	٣٦,٣٥	الذقن
				المنطقة المظللة
٠,٢	٤٠	٢١٤	-	حاجب العين
-	-	-	-	جفن العين
٠,٠٣	٣	١٠٨	٤٠,٣٩	تحت الذقن

ولقد دلت حسابات وكالة حماية البيئة الأمريكية أن كل زيادة عند سطح الأرض بنسبة ١٪ في تركيز الأوزون ستؤدي إلى زيادة بنسبة ٥٪ في الإصابة بسرطان الجلد غير الخبيث في السنة .

جـ - أمراض أخرى تسببها الأشعة فوق البنفسجية :

لقد دلت الأعمال المخبرية على أن الأشعة فوق البنفسجية بطول موجي بين ٢٤٠ - ٢٩٠ نانومتر تدمر الأحماض النووية ( الدنا DNA والرنا RNA ) والبروتين وهي الجزيئات الأساسية للحياة . بالإضافة

إلى ما تسببه تلك الأشعة من حدوث تشوهات جينية لتأثيرها على الكروموسومات . وما ينجم عنها أيضاً من نقص في المناعة ؛ إذ أشارت التجارب التي أجريت على بعض الحيوانات ، أن التعرض لهذه الأشعة يسبب في تغيير نمط استجابة جهاز المناعة ، أي تقليل قدرة الحيوان برفض الورم المحدث بواسطة هذه الأشعة . كما تشير النتائج التجريبية أن الأمراض المعدية الجلدية وخاصة داء الليشمانيات ( Leishmaniasis ) والحلأ ( Herpes ) تتفاقم نتيجة ازدياد التعرض للأشعة فوق البنفسجية . يضاف إلى ما تقدم ، ازدياد فرص الإصابة بانسداد العين .

## ٢ - الآثار على النبات والحيوان :

استناداً إلى بعض النتائج التي تم التوصل إليها من خلال تجارب مخبرية ودراسات ميدانية ، تتعرض النباتات البرية إلى آثار مدمرة عند التعرض للأشعة فوق البنفسجية ( ب ) ، ويكون الضرر متميزاً في أجزاء النباتات التي تتم فيها العمليات الفيزيولوجية الضرورية لنمو وتكاثر النباتات ، مما يؤدي إلى تغيير شامل لتكوينها الوراثي ، وبالتالي يجعلها أكثر عرضة للأمراض الناجمة عن غزو الحشرات والكائنات الدقيقة المعدية . وأما بالنسبة للمحاصيل الزراعية الهامة ، فقد كشفت الدراسات ، أن التعرض لجرعات متزايدة من الإشعاع

ينجم عنها مخاطر جسيمة في محاصيل القمح والبطاطا والأرز وفول الصويا والكرنب . فلقد تم اختبار بعض النباتات المحصولية بإخضاعها لتأثير الأشعة فوق البنفسجية ما كان منها بطول يتراوح بين ٢٩٠ - ٣٢٠ نانومتر ، فظهر أن فول الصويا يعطي منتجاً منخفضاً بنسبة ٢٥% عندما تزداد تلك الأشعة بنسبة ٢٥% .

أما قطعان المواشي فكانت - كال بشر - تصاب بأمراض في العينين إذا زادت كمية الأشعة ذات الطول ٢٩٠ - ٣٢٠ نانومتر ، بما في ذلك المرض المسمى بسرطان العين أو التهاب الملتحمة النزلي ( Pink eye ) .

أما الآثار التي تحدث في العضويات المائية عند تعرضها للأشعة فوق البنفسجية - ب . فقد تبين من التجارب المخبرية التي أجريت أن هذه الأشعة تؤدي إلى اختفاء المراحل اليرقية للأسماك والحلزونات والرخويات . فضلاً عما يصيب البلاكتونات من دمار - وهي تلك الكائنات المائية الدقيقة التي تعتبر أساساً في بقاء الأحياء المائية - كما يترتب على تلك الأشعة أضعاف في القدرة التكاثرية للأحياء المائية وتقليل حركتها وتنقلها إلى الأماكن التي تتوفر فيها الظروف البيئية المناسبة ، مما يؤدي إلى فقدان أنواع مختلفة من هذه الأحياء ، وبالتالي إلى اختلال في التوازن البيئي في النظام البيئي .

## الإجراءات والحلول المقترحة للحد من نزيف الأوزون

على الرغم من أن ما يعتري طبقة الأوزون من تغيرات سلبية كانت أم إيجابية لاتعزى إلى عامل واحد فقط ، بل إلى عدة عوامل منها ما هو بشري ومنها ما هو طبيعي . ورغم السماكة المحدودة لهذه الطبقة إذا كان أوزونها متضاعفاً في حال تعرضه لضغط جوي أرضي واحد ، فإن هذه الطبقة الممتدة بين سويتي ارتفاع ( ٢٠ - ٣٥ ) كم تلعب دوراً مهماً بالنسبة للغلاف الحيوي الأرضي . وقد أُلِفَ سطح الأرض منذ آلاف السنين نوعاً من الاستقرار النسبي في مناخه غير الخطر على عالم الأحياء ، ونوعاً من التوازن في مركبات جوه القريب منه والبعيد عنه عندما كانت العوامل الطبيعية هي القوى المؤثرة الوحيدة .

إن العوامل الطبيعية مازالت تقوم بدورها مؤثرة على تركيب غلافنا الجوي القريب من سطح أرضنا والبعيد نسبياً عنه ، خاصة البراكين التي تقذف موادها عالياً في الجو . ويندر أن تمر سنة دون ثوران بركاني ضخم . كما وتلعب التغيرات في النشاط الشمسي دوراً بارزاً في التأثير على الأوزون الجوي . وهذين العاملين لادخل

للإنسان فيها ، وبالتالي لا يمكن اتخاذ أية إجراءات تجاهها ، فيها سبقيان يؤثران على الأوزون الجوي ، وإن كان تأثير أحدهما لا يماثل تأثير الآخر .

تبقى العوامل البشرية هي الخاضعة لسيطرة الإنسان ، والقادر على التحكم فيها ، وحماية طبقة الأوزون منها ، وبالتالي وقاية سطح الأرض من الأخطار الناجمة عن التدمير الذي تلحقه بتلك الطبقة ، والتي تنعكس سلباً على سطح الأرض . وعلى الرغم من أن آثار العوامل البشرية في تدمير طبقة الأوزون لم تظهر إلا منذ سنوات قليلة ، ولن تظهر بشكل مقلق إلا في المستقبل لخاصية المواد المدمرة للأوزون في البقاء مدة زمنية طويلة في الجو ( ٥٠ - ١٠٠ سنة فأكثر ) مهياً لتدمير الأوزون - خاصة المركبات الكلوروفلوروكربونية - ولكن العالم أخذ يتنبه لمخاطر ما يحيق طبقة الأوزون من نزيف ، بعد أن ظهرت الفجوة الأوزونية بشكل صارخ فوق القارة القطبية الجنوبية ، وبدأت تظهر فجوات مثلها فوق العروض العليا الشمالية ، وبدأ العالم يحسب لاستنزاف الأوزون ألف حساب . وهذا ما حدا بالعديد من دول العالم لاتخاذ بعض الإجراءات للحد من دور الإنسان في تفاقم هذه الظاهرة . وعقدت في سبيل ذلك العديد من الندوات والمؤتمرات العالمية ، كان آخر مؤتمر لندن في أوائل عام ١٩٨٩ م .

ومن أهم الإجراءات والحلول المقترحة للحد من نزيف الأوزون

وتجنب أخطار ذلك المستقبلية ، نذكر مايلي :

١ - التأكد من دور المركبات الكلوروفلوروكربونية ، وأكاسيد الآزوت ، و  $CO_2$  ، وغاز الميثان في استنزاف طبقة الأوزون . وهذا يتطلب بالطبع إجراء العديد من القياسات والرصدات المتواصلة بواسطة الأقمار الصناعية ، والطائرات ، والمحطات الأرضية . ومثل ذلك ما قام به مجموعة من العلماء في شهري آب وأيلول عام ١٩٨٧ م ، مستخدمين مكان إقامة وانطلاق لهم مدينة بوتنا أريناس في جنوبي الشيلي ، حيث قاموا بـ ( ٢٥ ) رحلة جوية علمية في أجواء القارة الجنوبية على ارتفاع ١٣ كم و ٢٣ كم . ليخلصوا من ذلك في أن طبقة الأوزون آخذة في التدهور ، وأن هذا التدهور عام ، وإن كان أعظم ما يكون عليه في جو هذه القارة .

٢ - إجراء التجارب المخبرية للكشف الدقيق عن الآثار الحيوية المحتملة للأشعة فوق البنفسجية . وقد أجريت العديد من أمثال تلك التجارب التي أكدت جميعها على الآثار المدمرة للنظام الحيوي لهذه الأشعة إذا ما بلغت الغلاف الحيوي بكميات كبيرة .

٣ - إجراء التجارب المخبرية للكشف عن دور التغير في نسبة الأوزون في التأثير على التغيرات في درجة الحرارة .

٤ - تعزيز الوعي بأهمية طبقة الأوزون وضرورة الحفاظ عليها ، وذلك بغية الحد من إطلاق الملوثات المدمرة لها ، والتي يمارسها

الإنسان في بيته من خلال علب الرش المضغوطة ( العطور ) ... ومن خلال ثلاجته التي إذا ما أصابها عطب تسرب منها المركب الفريوني . وهذا كله يتم من خلال حلقات دراسية وندوات تنظمها المنظمات الدولية والإقليمية .

٥ - الحدّ من استخدام الأسمدة الآزوتية ، والعمل على استبدال المركبات الكلورفلوروكربونية ( CFC'S ) بمركبات كيميائية أخرى ، أو التقليل من استخدامها . وفي هذا السبيل خطت الولايات المتحدة الأمريكية أول خطوة ، حيث قامت في عام ١٩٧٨ م بحظر استعمال مركبات الكلوروفلوروكربون في المنتجات التي تسوق على شكل حلالات هوائية ، مثل بعض مزيلات الروائح ( Deodorants ) ، ورشاشات الشعر ( Hair Sprays ) ، وصفائح العطور . بيد أن الجهود التي بذلت للتحكم في استعمالات أخرى أحرزت نجاحاً محدوداً ، ويرجع ذلك إلى المعرفة المتزايدة عن تعقيد كيمياء الستراتوسفير .

وفي شهر أيلول عام ١٩٨٧ م عقدت في مدينة مونتريال بكندا أول اتفاقية بيئية حول موضوع الأوزون وقعت عليها ( ٢٣ ) دولة - بالإضافة إلى الولايات المتحدة ودول السوق الأوروبية المشتركة - قضت بتخفيض إنتاج واستهلاك المركبات الكلورفلوروكربونية . وهذه الاتفاقية التي يجب إقرارها من قبل ( ١١ ) دولة على الأقل ، قبل أن تصبح قانونية في بداية عام ١٩٨٩ م ، تتطلب من الدول المتقدمة أن تجمد استهلاك هذه المواد عند مستويات عام ١٩٨٦ م بحلول منتصف

عام ١٩٩٠ م ، وأن تخفض استعمالها إلى النصف بحلول عام ١٩٩٠ م .

وفي عام ١٩٨٨ م تقدم في واشنطن كل من السناتور ( رودايلند ، جون شافي ) والسناتور ( موتا ، ماكس باوكوكس ) بمشروعين يدعوان إلى التخلص تدريجياً من ٩٥% من مركبات الكلورفلوروكربون ، وهي الخطوة التي ستقوض أسس صناعة تحقق ( ١٠ ) مليارات دولار سنوياً . ويدعو مشروع ( شافي ) إلى فرض حظر على الواردات التي تحتوي على الكلورفلوروكربونات ، وهي تشمل السيارات الأوربية والرقائق الميكروية اليابانية .

وبالطبع ليس هناك من طريقة لإصلاح الخلل في طبقة الأوزون بعد أن تكون قد خربت ، إلا أن هناك عدد من المركبات الكلورفلوروكربونية البديلة ، التي ستكون أقل إخلالاً في البيئة من الكلورفلوروكربونات الموجودة حالياً . وتقول شركة دوبون ، أنه نظراً لوجود الحوافز الكاملة ، كالحظر الدولي المرتقب على الكلورفلوروكربونات الحالية ، فإن البديل يمكن أن يكون متوفراً لديها في غضون خمس سنوات . وأبرز مركبين احتياطيين لديها : ( CFC.134-A و CFC.123 ) اللذان يتعرضان إلى التفكك قبل أن يبلغا طبقة الستراتوسفير ، مما يحد من أثرهما بشكل كبير على الأوزون . وما زالت هاتان المادتان الكيميائيتان في مرحلة التجريب للتأكد من سلامتهما وفعاليتها .

## المراجع

- الين روبل شل ( ثقب في سقف العالم ) . ترجمة : علي شعيب ، مجلة الصفر ،  
مجلة ، عدد ٢٥ ، قبرص ، ، ص ٢١ - ٢٦ ،
- إيفني بوريشينكوف ( ثغرة في طبقة الأوزون فوق القارة القطبية  
الجنوبية ) . مترجم . الثقافة العالمية ، عدد ٤٠ ، ١٩٨٨ م ،  
ص ٢١٥ - ٢١٧
- برعي محمد حمزة ( طبقة الأوزون مهددة ) . المجلة العربية للعلوم ، عدد ١٠ ،  
المنظمة العربية للتربية والثقافة والعلوم ، تونس ، ١٩٨٧ م ،  
ص ٦٦ - ٧٠
- ر.س. ستولارسكي ( الثقب الأوزوني فوق القارة القطبية الجنوبية ) .  
مترجم . مجلة العلوم ، مجلد ٤ ، عدد ٣ ، الكويت ، ١٩٨٨ م ،  
ص ٦ - ١٣
- علي موسى ( البيئة والتلوث ) جامعة دمشق ، ١٩٨٨ م .
- Brasseur , G & Solomon , S ; « Aeronomy of the Middle  
Atmosphere » . D. Reidel Publishing Company ,  
Dordrecht , Holland , 1984 .
- Dix , H. M ; « Environmental Pollution » . John Willey &  
Sons , Newyork , 1984 .
- Duffus , J. H ; « Environmental Toxicology » . E. Arnold ,  
London , 1980 .

- Kuo-Nan , L ; « An Introduction to Atmospheric Radiation » Academic Press , Inc , Newyork , 1980 .
- Molina , M & Rowland , F . S ; « Stratospheric Sink For Chlorofluoromethanes : Chlorine atom Catalyzed destruction of Ozone » . Nature , 249 , 1974 , P . 810 .
- Sugden , J . M and Others ; « Chlorofluorocarbons in the Environment : The Aerosol Controversy » . Ellis Horwood LTD , Chichester , England , 1980 .
- W . M . O ; « Atmospheric Ozone » . Volum , I , II , 1985 .

## فهرس الجداول

الرقم	الموضوع	الصفحة
١	التوزع الشاقولي لمركبات الأوكسجين في الجو الأوسط وخاصة الستراتوسفير	١٢
٢	الخصائص الطبيعية لمركبات الكلوروفلوروكربونات المؤثرة على الأوزون	٥٣
٣	تطور إنتاج مركبي الفريون ١١ ، والفريون ١٢ خلال الفترة ١٩٣١ - ٥٩ م وكية المنطلق منها إلى الجو	٥٩
٤	درجة تركيز أهم المركبات الكلوروفلوروكربونية في الجو وإنتاجها ومدة حياتها	٦٤
٥	أنواع السرطانات الجلدية ومدى تكرارها النسبي ، وما تسببه من وفيات	١١١
٦	توزع الأغشية الخلوية الرئيسية على الجانب الأمامي من الرأس ، وإمكانية التعرض للأشعة ، وفرص تشكل الأورام	١١٥

## فهرس الأشكال

الصفحة	الموضوع	الرقم
١٤	تغير درجة الحرارة مع الارتفاع في الجو الأرضي	١
١٦	اختلاف درجة تركيز الأوزون مع الارتفاع	٢
٢٢	الاتجاه الوسطي لوفرة الأوزون الكلي خلال السنة عند عروض مختلفة في نصف الكرة الشمالي	٣
٢٣	اختلاف كمية الأوزون مع العرض والفصل	٤
٢٤	العلاقة بين الاختلافات في الأوزون الإجمالي وارتفاعات التروبوبوز ومستوى ٢٠٠ ميلليبار	٥
٢٦	تغير كثافة الهواء والأوزون مع الارتفاع في الجو الأرضي	٦
٢٣	الدورة الجوية لأكسيد النتروجين	٧
٣٦	معدل التغيرات السنوية للأوزون عند أروزا في سويسرا، والاتجاه العام للتغير الطويل الأمد الذي كما يبدو وأنه مرتبط بدورة البقع الشمسية	٨
٣٨	الاستنفاد المتوقع للأوزون بواسطة الأستطول الضخم من طائرات الكونكورد (تطير على مستوى ١٧ كم) وبواسطة الأستطول الكبير من الطيران الأمريكي فوق الصوقي (يطير عند ٢٠ كم)	٩
٤٧	الاختلاف النسبي في تركيز الأوزون مع ارتفاع كمية المقذوفات من (NOx) بمعدل $10 \times 10^{-10}$ مول/سم <sup>٢</sup> /ثا عند ارتفاع ١٧ و ٢٠ كم	١٠
٥٠	مدى الامتداد الشاقولي والمكاني للمقذوفات البركانية التي أطلقها بركان الشيشون في شهر نيسان عام ١٩٨٢. (أ) درجة تركيزها في نهاية شهر أيار عام ١٩٨٢. (ب) كثافة المقذوفات البركانية في الجو خلال فترة سنة أعقبت الاندفاع البركاني الذي حدث في يوم ٤ نيسان عام ١٩٨٢	١١
٥٤	صورتين لبعض المواد المطلقة لمركبات الكلوروفلوروكربون	١٢

الرقم	الموضوع	الصفحة
١٣	تطور الكمية المنطلقة سنوياً من مختلف المركبات المؤثرة على الوسط الجوي الستراتوسفيري	٥٥
١٤	آلية التفاعلات الحرة للأوزون	٥٧
١٥	تطور إنتاج مركبي الفريون ١١، والفريون ١٢ خلال الفترة (١٩٦٠-١٩٨٤ م)	٦٠
١٦	التغيرات في نسب الفريون ١١، ١٢ في أجواء بعض مناطق العالم خلال الفترة (١٩٧٨-١٩٨٤ م)	٦٦
١٧	اختلاف كثافة الأوزون خلال دورة ١١ سنة للنشاط الشمسي	٧١
١٨	متوسط مستويات الأوزون خلال شهر تشرين الأول عام ١٩٨٧ م	٨٣
١٩	مجموعة من الصور تكشف عن التطورات في فجوة الأوزون فوق القارة القطبية الجنوبية خلال فترة امتدت من ١٦ أيلول وحتى ٢ تشرين الأول عام ١٩٨٦ م	٨٤
٢٠	أهمية الدوران الستراتوسفيري في ارتفاع نسبة الأوزون في أجواء المناطق القريبة من القطبين	٩٢
٢١	منحنى التغير في نسبة الأوزون السنوية في نصف الكرة الشمالي خلال الفترة (١٩٥٨-١٩٧٥ م)	٩٦
٢٢	النسبة المئوية لدرجة نضوب الأوزون خلال الفترة (١٩٧٤-١٩٧٨ م)	٩٧
٢٣	الاختلافات الزمانية في الأوزون على مستوى العالم خلال الفترة (١٩٥٨-١٩٧٧ م)	٩٧
٢٤	الاختلافات في درجة حرارة الهواء السطحية خلال الفترة (١٨٨٤-١٩٦٩ م)	١٠٠
٢٥	العلاقة ما بين تغير نسبة الأوزون ودرجة حرارة الستراتوسفير	١٠٢
٢٦	المساهمة النسبية للأوزون والأكسجين الجزيئي في امتصاص الأطوال الموجية ١٦٤-٨٣٣ نانومتر في الجو	١٠٣
٢٧	تأثير الأشعة فوق البنفسجية على الجلد	١١٠
٢٨	العلاقة بين معدل الإصابة بالسرطان الجلدي وفئات الأعمار في بعض المناطق الأمريكية	١١٣

# الفهرس

الصفحة	الموضوع
٥	- المقدمة
٩	- الفصل الأول : طبقة الستراتوسفير : موقعها وبنيتها
١٥	- الفصل الثاني : الغلاف الأوزوني الجوي
٢٥	- الفصل الثالث : كيميائية الستراتوسفير
٤٥	- الفصل الرابع : عوامل تخريب الأوزون الجوي
٦٩	- الفصل الخامس : آلية تخريب الأوزون الجوي الستراتوسفيري
٧٩	- الفصل السادس : إلى أين وصل تخريب الأوزون وتدميره
٩٥	- الفصل السابع : الاتجاه العام لتغير الأوزون
٩٨	- الفصل الثامن : الآثار المناخية الناجمة عن تذبذبات الأوزون
١٠٥	- الفصل التاسع : الآثار الحيوية الناجمة عن تذبذبات الأوزون
	- الفصل العاشر : الإجراءات والحلول المقترحة للحد من نزيف الأوزون
١١٨	
١٢٣	- مراجع الكتاب
١٢٥	- فهرس الجداول
١٢٦	- فهرس الأشكال
١٢٨	- محتويات الكتاب



## THE ATMOSPHERIC OZONE

Al-Ūzūn al-Jawwī

Dr. 'Alī Ḥasan Mūsā

ما هو الأوزون الجوي ؟ وكيف  
يتشكل ؟ وأين يتركز ؟ وكيف يتخرب ؟  
وماذا يخربه ، وما درجة التخريب التي وصل  
إليها ؟ وما هي الآثار المترتبة على تغير  
نسبته ؟ وماذا اتخذ العالم من إجراءات  
للحفاظ على نسبته من التغير والتبديل ؟  
هذه التساؤلات ، وأخرى غيرها ، تجد الإجابة  
عليها في هذا الكتاب ، الذي صاغ مؤلفه  
موضوعاته بشكل مبسط وبأسلوب علمي .



DAR AL-FIKR

3520 Forbes Ave., #4254

Pittsburgh, PA 15212

U.S.A

Tel: (412) 441-5220

Fax: (412) 441-0198

E-mail: fikr@fikr.com

<http://www.fikr.com>

ISBN 1-57547-597-9



9 781575 475974