

## تحديد كمية الأوزون الكلية ومعامل الأشعة فوق البنفسجية فوق مدينة دمشق لعام 2013

د. حمود العرابي\*

### الملخص

تم تحليل بيانات كمية الأوزون الكلية فوق مدينة دمشق ذات الإحداثيات الفلكية ( $33.5N^{\circ}$ ،  $36.23E^{\circ}$ ) ومدن مختارة واقعة (بيروت، بغداد، الدار البيضاء) على خط العرض نفسه من أجل معرفة التغيرات الزمانية (اليومية والفصلية والسنوية) والمكانية لكمية الأوزون الكلية، وذلك باستخدام طرق إحصائية وبيانية. أخذت القياسات لعام 2013 بواسطة أجهزة قياس كمية الأوزون (TOMS)، (GOME-2) المحمولة على الأقمار الصناعية. أظهرت النتائج تغيرات زمنية ملحوظة لكمية الأوزون، فعلى مستوى التغيرات اليومية التي تتغير بشكل دوري بلغت أعلى قيمة (401 DU) فوق مدينة بيروت وأدنى قيمة (239 DU) فوق مدينة بيروت والدار البيضاء. أما على مستوى التغيرات الفصلية، فإن كمية الأوزون تتغير بشكل واضح خلال السنة حيث تكون أعلى قيم لها في فصل الربيع، وأقل قيم في فصل الخريف للمدن جميعها. وجد أن المعدلات السنوية لكمية الأوزون متقاربة جداً بين المدن المدروسة. تمّ تعيين أيضاً معامل الأشعة فوق البنفسجية UV-Index وقد وجد أن متوسط هذا المعامل يساوي 7.1 في مدينة دمشق، ويقع بذلك ضمن النطاق العالي. تجدر الإشارة إلى تسجيل أعلى قيمة لهذا المعامل في شهر تموز حيث بلغت 11.2 وهو الأعلى بين المدن المدروسة.

**الكلمات المفتاحية:** طبقة الأوزون - الستراتوسفير - الأشعة فوق البنفسجية - الكلوروفلوروكربون - دمشق.

\* مدرس في قسم الفيزياء - كلية العلوم - جامعة دمشق - سورية.

## **Determination of total quantity of ozone and ultraviolet index above of Damascus city for 2013**

**Hammoud AL-OURABI\***

### **Abstract**

Total ozone data above Damascus city (33.5N°, 36.23E°) and some other cities located at the same latitude (Beirut, Baghdad, Casablanca) has been analyzed to examine temporal (daily, seasonal and annual) and spatial variability by employing statistical analyses. Data was obtained by spectrometer (TOMS) and Global Ozone Monitoring Experiment-2 (GOME-2) board on satellites during 2013. Results showed that total ozone layer has a temporal variation. The daily total ozone varied between a maximum value of 401 DU over Beirut, and a minimum value of 239 DU over Beirut, and Casablanca. A seasonal cycle was also demonstrated with a maximum value in spring and a minimum during the fall season. The ultraviolet index was determined, it corresponded to 7.1 in Damascus, which is within the high range. High index values were recorded in July and 11.2 was the highest value among the studied cities.

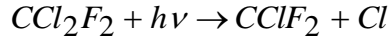
**Key words:** Ozone layer, Stratosphere, Ultraviolet, Chlorofluorocarbons-Damascus.

---

\*Lecturer at the department of physics, faculty of sciences, Damascus University.

**مقدمة:**

تعمل طبقة الأوزون على ترشيح الأشعة فوق البنفسجية الخطرة الآتية من الشمس وهي بذلك تحمي الحياة على كوكب الأرض. ويعتقد العلماء أن طبقة الأوزون تكونت قبل 400 مليون سنة، وظلت هكذا من دون أن تتعرض لأي تدخل لفترة طويلة. ولكن سنة 1974 حيث بين العالمان شيروود رولاند (Sherwood Rowland) وماريو مولينا (Mario Molina) أن انبعاثات مواد الكلوروفلوروكربون (CFCs) التي صنعها الإنسان (المعروفة باسمها التجاري بالفريونات، وهي مجموعة من المواد الكيميائية الصناعية واسعة الاستخدام) قد تهدد طبقة الأوزون، وأن وصولها إلى طبقة الستراتوسفير يؤدي إلى تفكك هذه المواد الكيميائية المستقرة بواسطة الأشعة فوق البنفسجية التي تشعها الشمس؛ مما يسمح بتحرر ذرات الكلور التي تبدأ في سلسلة من التفاعلات المفككة لكميات كبيرة من الأوزون الموجود في طبقة الجو العليا (الستراتوسفير). كما في التفاعل الآتي الذي يبين تفكك أحد مركبات الكلوروفلوروكربون (داي كلورو داي فلورو ميثان أو اختصاراً CFC-12):



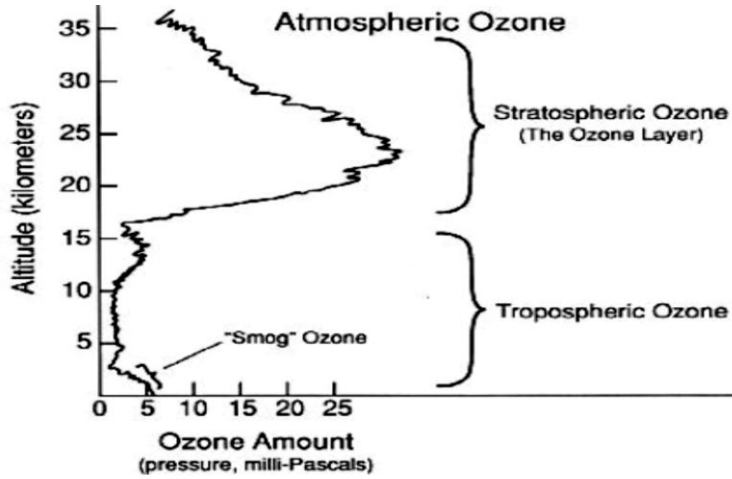
يمكن لذرة الكلور الواحدة؛ وفق تقدير العلماء أن تفكك ما لا يقل عن 100 ألف جزيء أوزون. وظاهرة استنزاف طبقة الأوزون أكدها على مدار السنين العديد من العلماء. كما سجلت القياسات التي أخذت من الأرض وأجراها المسح القطبي البريطاني خسارة كبيرة في طبقة الأوزون (التي تعرف باسم ثقب الأوزون) فوق قارة القطب الجنوبي، وهو الأمر الذي أكد الاكتشاف السابق المتعلق بمركبات CFCs. ثم بعد ذلك تأكدت هذه النتائج بقياسات الأقمار الصناعية [3].

أقلق اكتشاف ثقب الأوزون عامة الناس والحكومات كثيراً، كما مهد الطريق أمام تبني المعاهدة المعروفة باسم بروتوكول مونتريال بشأن المواد التي تستنفد طبقة الأوزون سنة 1987. ويفضل هذا البروتوكول تم إحراز تقدم سريع نحو القضاء على استخدام

أخطر المواد التي تستنفد طبقة الأوزون، ومن ثم توقع عودة طبقة الأوزون إلى سابق وضعها قبل الثمانينيات من القرن الماضي، وذلك خلال الفترة 2060-2075 [5]. إن زيادة الإنتاج العالمي لمركبات الكلوروفلوروكربون (CFCs)، والهالونات (مركبات البروم) [20]، وازدياد انبعاث الغازات التي تتفاعل كيميائياً مع غاز الأوزون، مثل: غاز الميثان وأكاسيد الآزوت والكبريت والكربون [16]، أدى إلى ترقق طبقة الأوزون الجوي، ونشوء ما يسمى (الثقوب) فيها، وقد لاحظ العلماء في منتصف ثمانينيات القرن الماضي [9] تناقصاً كبيراً وسريعاً في كمية الأوزون الجوي الكلية فوق منطقة القطب الجنوبي كل سنة خلال فصل الربيع القطبي الجنوبي، وسميت تلك الظاهرة بثقب أوزون القارة القطبية الجنوبية (The Antarctic Ozone Hole).

بالمقابل فإن الزيادة الحاصلة في تركيز الملوثات الصادرة عن النشاطات الإنسانية، مثل: أكاسيد الآزوت والمركبات الهيدروكربونية، وخاصة في المدن المزدحمة، أدى إلى زيادة تركيز الأوزون في الطبقة القريبة (التروبوسفير) من سطح الأرض من الغلاف الجوي [14] [15]، في هذه الحالة يعدّ الأوزون من الملوثات الثانوية؛ لأنه ينتج خلال ساعات النهار عن طريق تفاعلات تحصل ما بين الملوثات الغازية بوجود وسيط (الإشعاع الشمسي)، وبسبب الفاعلية الكبيرة للأوزون، فهو في تلك الطبقة يعدّ من الملوثات الخطرة [12] [13].

يوجد غاز الأوزون بشكل طبيعي، وبنسبة قليلة في الطبقة السفلى من الغلاف الجوي التروبوسفير (Troposphere)، أما في طبقة الستراتوسفير (Stratosphere)، فإن نسبته تكون أعلى بكثير. ويتركز وجود ما يسمى بطبقة الأوزون على ارتفاع يقارب (22~25km) عن سطح الأرض [11]. ويتناقص تركيز الأوزون ببطء تدريجياً عند الابتعاد عن طبقة الأوزون نحو الأعلى أو نحو الأسفل [17]، الشكل (1).



الشكل(1): تغير كمية الأوزون الجوي مع الارتفاع عن سطح البحر.

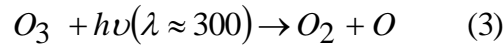
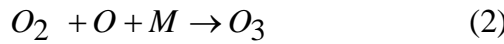
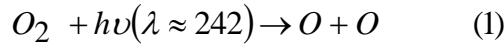
سماكة الأوزون: هي الكمية الإجمالية في عامود رأسي من الهواء؛ بدءاً من سطح البحر، وهي تختلف من خط عرض إلى آخر لأسباب كثيرة، حيث تكون أقل عن خط الاستواء وأكبر مع المرور عند القطبين. وهي تختلف أيضاً حسب المواسم حيث تكون أكثر سماكة في فصل الربيع، وأقل سماكة في فصل الخريف.

وبفرض عزل كامل غاز الأوزون الموجود في الغلاف الجوي (في الشترطين النظاميين)، وحصره في طبقة واحدة تحيط بالأرض لكان سمك هذه الطبقة حوالي 3 mm. إن لهذه الكمية من الأوزون . برغم ضآلتها النسبية . أهمية بالغة للحياة على سطح الأرض [19]؛ وذلك لأنها ترشح الإشعاع الشمسي من الأشعة فوق البنفسجية الخطرة، ولاسيما الجزء UV-B وتتحول طاقة الأشعة فوق البنفسجية التي يمتصها الأوزون الجوي في طبقة الستراتوسفير إلى طاقة حرارية تؤدي إلى ارتفاع درجات الحرارة في تلك الطبقة، ويسهم هذا في جعل طبقة الستراتوسفير مستقرة ديناميكياً؛ وبالتالي عدم التأثير على مناخ الأرض.

آلية تشكل طبقة الأوزون:

يتولد غاز الأوزون ضمن طبقة الستراتوسفير عندما يتفكك الأوكسجين الجزيئي ( $O_2$ ) بامتصاصه للأشعة فوق البنفسجية ذات الطول  $(\lambda \leq 242)$  nm؛ منتجاً ذرتي

أوكسجين حرتين، كما هو موضَّح في التفاعل (1)، يمكن لكل ذرة منهما الاتحاد مع جزيء أكسجين؛ لتشكيل جزيئة أوزون ( $O_3$ )، (2)، ويخضع الأوزون بدوره لعملية تفكك ضوئي (3)، عندما تمتص جزيئة الأوزون الأشعة فوق البنفسجية ذات الأطوال الموجية الواقعة ضمن المجال  $nm (280 \leq \lambda \leq 320)$  ويقترب احتمال حصول هذا التفكك من الواحد عند الطول  $nm (\lambda \approx 300)$ ، تعرف هذه التفاعلات بسلسلة تفاعلات شابمان في إنتاج الأوزون الجوي وتفككه، كما يمكن لجزيئة الأوزون أن تتحد مع ذرة أوكسجين؛ لتشكيل جزيئين من ( $O_2$ )، و(4)، إلا أن احتمال حصول هذا التفاعل الأخير ليس كبيراً [19].

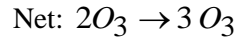
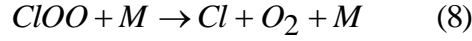
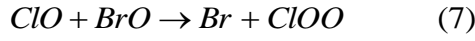
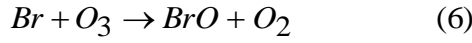
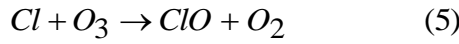


هذا ما كان حاصلًا قبل أن يبدأ المجتمع الإنساني بإنتاج وإطلاق الغازات الملوثة، التي أخلت بهذا التوازن الطبيعي؛ مما أدى إلى خلل في التوازن البيئي للعديد من مظاهر الحياة على الأرض.

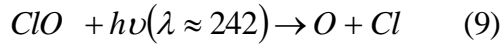
#### استنزاف طبقة الأوزون الجوي:

عند اكتشافها في العشرينيات من القرن الماضي كانت مواد الكلوروفلوروكربون وغيرها من المواد المستنفدة لطبقة الأوزون تعدُّ كيماويات سحرية. فلم تكن تلك المواد قابلة للاشتعال ولا سامة، علاوة على استقرارها لفترات طويلة وملاءمتها للعديد من التطبيقات بشكل مثالي. وتستعمل هذه المركبات بكثرة في المصانع، وفي صناعة التبريد والأجهزة الخاصة بهذا الأمر.

لقد أظهرت الدراسات والأبحاث المخبرية مسؤولية الصناعة ومنتجاتها عن هذا التدمير؛ نظراً للتطور التقني السريع في عالمنا المعاصر، فقد تبين أن مركبات الكلوروفلوروكربون هي المسؤولة عن تدهور هذه الطبقة عن طريق تفاعل جزيئاتها مع جزيئات الأوزون؛ إذ تتحرر هذه المركبات (CFCs) ضمن الطبقة السفلى من الغلاف الجوي (الستراتوسفير) وتكون مستقرة إلا أنها عندما تنتقل إلى الطبقة التي تليها (الستراتوسفير)، فإنها تتفكك بفعل الأشعة فوق البنفسجية (UV-C) محررة ذرات الكلور (Cl) [16] التي بإمكانها أن تؤدي دوراً محفزاً في استنزاف الأوزون في تلك الطبقة. ويقوم البروم (Br) الذي تستخدم مركباته في مواد إطفاء الحرائق وغيرها [18]، بدور مشابه للكلور، كما هو وارد في المعادلات الآتية (5،6،7،8):

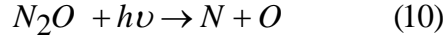


كما يمكن لـ ClO أن ينفكك وفق التفاعل (9) بوجود الأشعة فوق البنفسجية القصيرة كما يأتي:

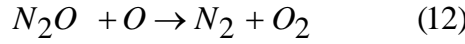


يضاف إلى ما سبق دور أكاسيد الآزوت في استنزاف طبقة الأوزون، حيث توجد في الغلاف الجوي بصورة N<sub>2</sub>O (أكسيد النتروز) و NO<sub>x</sub> (NO+NO<sub>2</sub>)، وهناك مصادر بشرية أساسية عدّة تعمل على توليد هذه الأكاسيد والتي تنتقل إلى طبقة الستراتوسفير

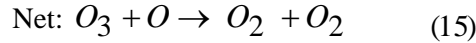
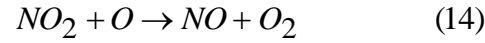
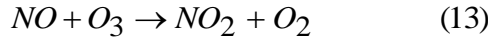
كالتفجيرات النووية التي تولد كمية كبيرة من أكاسيد الأوزون التي تصعد إلى طبقة الستراتوسفير، والملاحة الجوية (الطائرات فوق الصوتية)، والأسمدة الآزوتية؛ فضلاً عن المصادر الطبيعية عن طريق تحلل المواد العضوية في التربة. ويعد أكسيد النتروز غازاً غير فاعل نسبياً، وينتشر باتجاه الأعلى عبر التريوسفير إلى الستراتوسفير، ويتناقص تركيزه في الستراتوسفير وحوالي 90% منه يتفكك ضوئياً؛ وفق التفاعل الآتي [15]:



والباقي يتفاعل مع الأوكسجين الحر وفق التفاعلات الآتية:



وتنقص هذه التفاعلات من تركيز الأوزون بسبب استفادها للأوكسجين الحر المشارك بتشكيل الأوزون؛ وفق التفاعلات الآتية [19]:



إن ما يحدث حالياً لطبقة الأوزون يتطلب التحرك المستمر، وذلك لمنع استخدام المواد التي يمكن الاستغناء عنها، كما أن الأمر يتطلب سن بعض التشريعات المحلية، وعقد الاتفاقات الدولية التي تحول دون استخدام هذه المركبات ذات التأثير السلبي على طبقة الأوزون التي تعد الدرع الواقي للأرض. ومنذ اكتشاف طبيعتها المدمرة بدأ الاستغناء التدريجي عن المواد المستفدة للأوزون بمواد أخرى.



ومن بين البدائل الأكثر شيوعاً مواد الهيدروكلوروفلوروكربون (HCFC) والتي تستخدم أيضاً في العديد من القطاعات؛ كصناعة الفوم والعزل الحراري، وقطاع التبريد والتكييف، وقطاع المذيبات، وبالرغم من أنها ذات قدرات منخفضة على استنفاد طبقة الأوزون و Ozone Depletion Potential (ODP)، فإن لها قدرات مرتفعة تساعد على تفاقم ظاهرة الاحتباس الحراري Green House Warming Potential (GWP)، وقد أدى ازدياد إجمالي الكميات المستخدمة على مستوى العالم إلى تراكم غازات الهيدروكلوروفلوروكربون بدرجة تجعلها تشكل خطراً مماثلاً على طبقة الأوزون والمناخ بشكل عام. حيث تعدُّ هذه الغازات في نهاية المطاف من الغازات الحرارية (الدفينة) التي تزيد قوتها آلاف المرات على قوة غاز ثاني أكسيد الكربون. وبدون اتخاذ التدابير اللازمة للرقابة على غازات HCFC تحديداً، فإنها سوف تؤدي إلى أضرار سلبية هائلة على المناخ [5].

وبافتراض أن انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون تستمر في النمو بمعدلها الحالي فسوف تعدُّ غازات HCFC مسؤولة عن 10 إلى 20% من زيادة درجة الحرارة مع حلول عام 2050 [4].

#### الأشعة فوق البنفسجية:

الأشعة فوق البنفسجية جزء من الطيف الشمسي الكهرومغناطيسي، وهي تمتد تقريباً من الطول الموجي 390nm إلى 40nm، ويقسم إلى ثلاث حزم أو ثلاثة مجالات حسب التأثيرات البيولوجية [9] [19] كما يأتي:

الحزمة (UV-A): تمتد من 320 nm إلى 390 nm ، وتمثل هذه الأشعة 90% من الأشعة فوق البنفسجية التي تصل إلى سطح الأرض؛ لأن طبقة الأوزون تسمح بمرورها، لكنها تعدُّ قليلة الفاعلية البيولوجية، وهي تسهم بحدوث حوالي 20% من الآثار الضارة للإشعاع فوق البنفسجي على سطح الأرض.

الحزمة (UV-B): تمتد من 280 nm إلى 320 nm ، وتشكل هذه الأشعة 10% من الأشعة فوق البنفسجية التي تصل إلى سطح الأرض، وهي شديدة الفاعلية البيولوجية، فمثلاً الإشعاع ذو الطول الموجي 305nm أكثر فاعلية بألف مرة من الإشعاع ذي

الطول الموجي 350nm في إحداث الأثر نفسه، وهو يسهم بنسبة 80% من الآثار الضارة للإشعاع فوق البنفسجي على سطح الأرض [10].  
ومن هذه الآثار إصابة الإنسان بسرطان الجلد وحروق الجلد والاضطرابات في شبكية العين وإضعاف نظام المناعة، وتؤثر هذه الإشعاعات أيضاً في عملية التمثيل الضوئي (Photosynthesis) للنباتات الخضراء؛ مما يقلل من نمو النبات وإنتاج المحاصيل الزراعية. وتؤثر على نظم البيئة المائية، ويؤدي هذا إلى إحداث خلل في توازن النظام العام للطبيعة والحياة على الأرض، وارتباط ذلك بتأثيرات على تغير المناخ العالمي؛ الأمر الذي يهدد صحة الإنسان وسلامة البيئة. يتم امتصاص الإشعاعات (UV-B) جزئياً في طبقات الجو العليا، وتؤدي طبقة الأوزون الجوي دوراً رئيساً في هذه العملية.

الحزمة (UV-C): تمتد من 40nm إلى 280nm ويتم امتصاص الجزء الواقع في المجال (200-280) nm كلياً قبل وصوله إلى سطح الأرض في طبقة الستراتوسفير الجوي (بما فيها طبقة الأوزون) وما فوقها، أما الإشعاعات ذات الأطوال الموجية الأصغر، القريبة من 200nm فيتم امتصاصها في طبقات الجو العليا المتأينة على ارتفاع (100-160) km مساهمةً في تأين الغازات: O<sub>2</sub> و O و N<sub>2</sub> و N [11] [19]. الإشعاع (UV-C) خطر جداً بحيث يمكن أن يقضي على الكائنات الحية كلها التي يصل إليها.

#### أهمية البحث وأهدافه:

يعدُّ تلوث الهواء الناتج عن النشاطات الإنسانية من أهم المشاكل التي تواجه الحياة على كوكب الأرض [3] [8]، فهو يسبب عدداً من المشاكل البيئية، منها: استنزاف طبقة الأوزون الجوي (Ozone depletion)، الدفيئة العالمية أو الاحتباس الحراري (Global warming)،... الخ [6]، والتي تتعكس سلباً على الإنسان، والكائنات الحية كلها.

لدراسة أثر تلوث الهواء على الأوزون الجوي، لابد من قياس تركيزه في أكبر عدد ممكن من محطات القياس، وفي أماكن مختلفة من العالم ولفترات زمنية طويلة، ولتحقيق هذا الهدف تشترك هيئات ومنظمات ومخابر دولية عدة.

عملية التنبؤ بمستقبل طبقة الأوزون ليست مهمة سهلة، وتتطلب بيانات يتم جمعها على مدار عقود من الزمن. لا تعدّ التغيرات اليومية، وحتى السنوية مؤشرات جيدة للسلوك طويل الأمد. ومن أجل القيام وبدقة بتقييم صحة طبقة الأوزون، يحتاج العلماء إلى رصد الستراتوسفير خلال تغيره على مدار فترة طويلة من الزمن.

تكمن أهمية هذا البحث في استمرار قياس كمية الأوزون الجوي الكلية فوق مدينة دمشق، والتي بدأ القياس فيها ولفترة قصيرة من الزمن [2]، تمتد من تموز 1994 إلى حزيران 1995، علماً أن أولى القياسات لكمية الأوزون الكلية قد أجريت في سورية فوق محطة حلب عام 1991 [3].

ويهدف البحث إلى بيان ما يأتي:

1. القياسات اليومية لكمية الأوزون الجوي الكلية، فوق مدينة دمشق خلال العام 2013 التي استمر فيها هذا البحث.
2. دراسة تغيرات المتوسط الشهري والسنوي لكمية الأوزون الجوي الكلية فوق مدينة دمشق.
3. تعيين معامل الأشعة فوق البنفسجية (UV-Index).
4. مقارنة القياسات بين المدن الأربع الواقعة على خط العرض نفسه.

#### طريقة البحث:

أخذت في هذا البحث قياسات (بيانات) يومية، على مدى العام 2013، لكمية الأوزون الجوي الكلية فوق مدينة دمشق ذات الإحداثيات الفلكية ( $33.5N^{\circ}, 36.32E^{\circ}$ ) والارتفاع عن مستوى سطح البحر 750m. بواسطة أجهزة قياس كمية الأوزون total ozone mapping spectrometer (TOMS) و Global Ozone (GOME-2).

Monitoring Experiment-2 والمحمولة على الأقمار الصناعية، حيث إن درجة تمثيل البيانات على سطح الأرض هي  $1^\circ$  خط عرض  $\times 1.25^\circ$  خط طول، وتمّ تسجيل كمية الأوزون الكلية بانتظام كسماكة لطبقة الأوزون، وتعرف بوحدة الدوبسون (DOUBSON) حيث تمثل 100 DU سماكة قدرها 1mm في الشرطين النظاميين. وتعتمد طريقة البحث على استخراج بيانات كمية الأوزون الكلية اليومية فوق مدينة دمشق بعد إدخال الإحداثيات الفلكية لمدينة دمشق على موقع حساب كمية الأوزون الكلية، وللمدن الواقعة على خط العرض نفسه (بيروت، بغداد، الدار البيضاء)، كما تمّ أيضاً أخذ قيم لمعامل الأشعة فوق البنفسجية الواصلة إلى المدن الأربع والمبيّنة في الجدول (1).

الجدول (1): الموقع الفلكي للمدن التي تم القياس فوقها:

المدينة	خط العرض	خط الطول
بيروت	33.87 N°	35.50 E°
دمشق	33.50 N°	36.23 E°
الدار البيضاء	33.32 N°	-7.41 W°
بغداد	33.14 N°	44.22 E°

#### النتائج والمناقشة:

أولاً- دراسة تغيرات الأوزون:

إن تغيرات كمية الأوزون الكلية خلال العام الواحد تتبع . كما يلاحظ . مناخي عدّة، منها: اليومي، وقصير الأمد، والفصلي، وارتفاع كمية الأوزون في فصلي الشتاء والربيع وانخفاضها في فصلي الصيف والخريف يظهر جلياً على الأشكال (2)،(3)،(4)،(5) (الخط المستمر). وتعود تموجات قيم الأوزون فوق الخط الفصلي وتحتة في المقام الأول إلى التغيرات اليومية التي تسببها أوضاع الطقس المحلي. إن وجود قيم عظمى في فصلي الشتاء والربيع وقيم صغرى في فصلي الصيف والخريف يعود إلى تمدد الغلاف الجوي، وتقلصه نتيجة التسخين والتبريد النسبيين بسبب تغير ميل الأشعة الشمسية. فيخضع الغلاف الجوي إلى التمدد من الربيع إلى الخريف، وإلى التقلص من الخريف

إلى الربيع. في الغلاف الجوي المتقلص تتناقص سماكة طبقة التروبوسفير، ويهبط الاحتياطي الأوزوني إلى ارتفاعات أقل بحيث تتناقص شدة تحطمه بواسطة الإشعاع الشمسي؛ مما يؤدي إلى زيادة كمية الأوزون في الشتاء والربيع. بينما تزداد سماكة طبقة التروبوسفير في الغلاف الجوي المتمدّد؛ دافعة الاحتياطي الأوزوني إلى ارتفاعات أعلى، حيث تزداد شدة تحطمه بواسطة الإشعاع الشمسي؛ مما يؤدي إلى تناقص مستويات الأوزون في الصيف والخريف. وبالنسبة إلى التغيرات قصيرة الأمد في مستويات الأوزون والتي تستمر من أيام إلى أكثر من أسبوعين فهي بشكل عام تغيرات طارئة قد تسببها العواصف البروتونية الشمسية.

إضافة إلى تغيرات الأوزون الفصلية منخفضة التردد والتغيرات قصيرة الأمد، هناك تغيرات عالية التردد (يومية) تسببها مجموعة من العوامل، أهمها: تغيرات الطقس. فالطقس العاصف (ضغط منخفض في طبقة التروبوسفير) يوافق طبقة رقيقة نسبياً للتروبوسفير، ويحدث هذا زيادة نسبية في مستويات كمية الأوزون، وبالعكس، فالطقس الصافي (ضغط مرتفع في طبقة التروبوسفير) يوافق طبقة سميكة نسبياً للتروبوسفير، وهذا يحدث نقصاناً في مستويات كمية الأوزون. ويلاحظ من الأشكال (2،3،4،5) أيضاً أنه يمكن لتغيرات الطقس أن تسبب تغيرات في مستوى كمية الأوزون من 50 DU إلى 100 DU خلال فترة أيام عدّة، لكن ما أن يستقر الطقس حتى تعود سوية كمية الأوزون إلى مستواها المعتاد في المنطقة نفسها، وهناك تغيرات طفيفة تتراوح من 10DU إلى 30DU ناتجة عن اختلاف في الضغط الجوي اليومي. كما أنه يمكن لكمية الأوزون الكلية أن تتغير بتأثير عوامل عدّة طارئة أخرى؛ كالفاعلية البركانية حيث تؤدي إلى تغيرات قصيرة الأمد في مستويات الأوزون، وكذلك توجد عوامل أخرى تؤدي إلى تغيرات طويلة الأمد في كمية الأوزون، كفاعلية البقع الشمسية، ودورة الهواء العلوي، وهي تستمر لأكثر من سنة، ثم تعود طبقة الأوزون إلى مستواها الطبيعي حالما تزول الأسباب المؤثرة في ذلك.

يظهر الجدول (2) نتائج القياسات لكمية الأوزون الكلية الشهرية التي تم أخذها خلال العام 2013؛ ممثلة بالشكل (6) حيث  $x$  المتوسط الشهري لكمية الأوزون الجوي الكلية بوحدة الدوبسون (DU).

الجدول (2): بيانات كمية الأوزون الوسطية خلال أشهر عام 2013 المقيسة فوق المدن الأربع:

شهر	دمشق x(DU)	بيروت x (DU)	بغداد x(DU)	الدار البيضاء x(DU)
1	297.4	304.4	292.5	287.8
2	281.5	288.3	280.7	290.9
3	306.6	310.8	306.8	296.1
4	328.8	333.6	322.8	328.3
5	323.6	326.2	315.9	330.0
6	300.6	303.5	296.0	319.5
7	293.9	296.0	291.8	308.4
8	295.2	297.1	294.1	306.4
9	291.5	293.6	286.6	303.6
10	292.2	293.9	285.0	282.4
11	289.6	290.4	287.4	290.1
12	319.6	322.2	311.3	298.8

يلاحظ من الجدول (3) أن المتوسطات السنوية X لكمية الأوزون الكلية متقاربة جداً، وكذلك الانحراف المعياري بين المدن المدروسة، وقد سجلت قيمة كمية الأوزون الوسطية في لمدينة بغداد في الفترة (1997 إلى 2008) قيمة تقارب القيمة المسجلة في الجدول (3)، وهي  $296 \pm 24$  DU وهذه القيمة أعلى مما تم تسجيله في فترة سابقة في مدينة بغداد، وربما يعزى ذلك لمدى تطبيق حظر المواد المخربة لطبقة الأوزون [7] [10]، ورغم وجود قيم منخفضة تصل إلى 239 DU، كما يبين الجدول والأشكال، إلا أنه لا يوجد ما يشير إلى فجوة أوزونية، وأعلى قيمة اختلاف عن القيمة المتوسطة سجلت في بيروت.

الجدول(3): المتوسطات السنوية X والانحراف المعياري SD والمدى R والاختلاف عن المدى B

المدينة	X	SD	Max	Min	R	B
دمشق	302	23	394	242	153	51%
بيروت	305	24	401	239	162	53%
بغداد	298	20	376	245	131	44%
الدار البيضاء	304	23	377	239	138	45%

يمثل الجدول (4) والشكل (7) مقارنة التغيرات الشهرية لمدينة دمشق ضمن فترتين متباعدتين، حيث أخذت قياسات أرضية، وأخرى من الأقمار الصناعية [2]، امتدت من

تموز 1994 إلى حزيران 1995، وقد وضعت بشكلٍ متتاليٍّ ضمن أشهر عام واحد لسهولة المقارنة مع القياسات المأخوذة خلال عام 2013، حيث نلاحظ أن قيمة كمية الأوزون الشهرية أقل مما كانت عليه في الفترة الأولى، حيث توافقت القيمة العظمى واختلفت الصغرى، لذلك لا بد من مراقبة دراسة القياسات ومتابعتها على المدى الطويل لمعرفة المستويات الطبيعية لطبقة الأوزون بعد إيقاف استعمال المواد المخربة لها.

الجدول (4): المتوسطات الشهرية لكمية الأوزون المقيسة فوق مدينة دمشق،

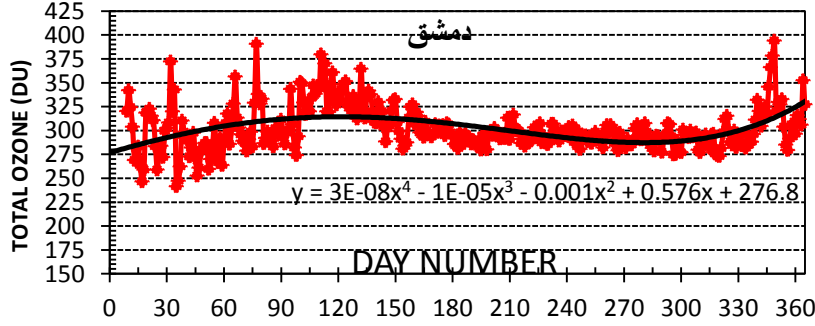
للفترة 1994 - 1995 وعام 2013م.

شهر	قياسات TOMS x(DU)	قياسات أرضية x(DU)	قياسات 2013 x(DU)
1	315.1	330.5	297.4
2	330.4	338.5	281.5
3	342.8	343.3	306.6
4	339.9	361.5	328.8
5	334.5	349.4	323.6
6	313.6	325.6	300.6
7	301.9	311.8	293.9
8	294.6	307.4	295.2
9	294.4	311.4	291.5
10	285.8	305.8	292.2
11	288.8	309.7	289.6
12	302.8	319.9	319.6

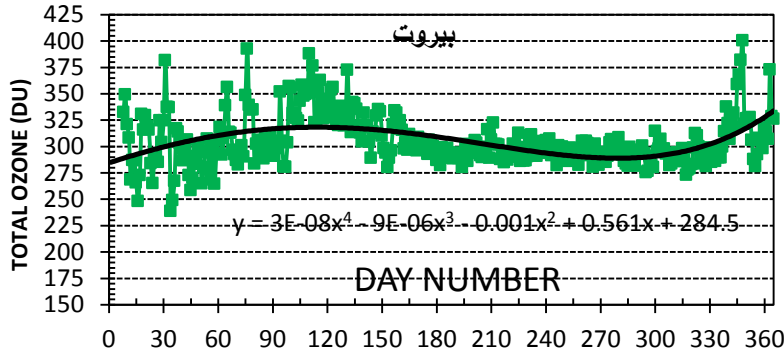
نلاحظ من الجدول (5) أن هناك علاقة ارتباط قوية جداً لكمية الأوزون بين مدن دمشق، بيروت، بغداد، والواقعة على خط العرض نفسه والمتجاورة أيضاً، بينما هناك ارتباط متوسط تقريباً مع الدار البيضاء على الرغم من وقوعها على الخط العرض نفسه، وهنا يظهر تأثير مركبة النقل (الحركة الديناميكية) للأوزون؛ وبالتالي تأثير خط الطول في هذه الحالة، من جهة أخرى يفيد وجود علاقة ارتباط قوية في توقع كمية الأوزون للمواقع القريبة جغرافياً من تلك المدن والتي لا تتوفر كمية الأوزون فيها.

الجدول (5): معاملات الارتباط بين قيم الأوزون الستراتوسفيري في المدن الأربع:

	دمشق	بيروت	بغداد	الدار البيضاء
دمشق	1	0.98	0.97	0.46
بيروت	0.98	1	0.97	0.43
بغداد	0.97	0.96	1	0.48
الدار البيضاء	0.46	0.43	0.48	1

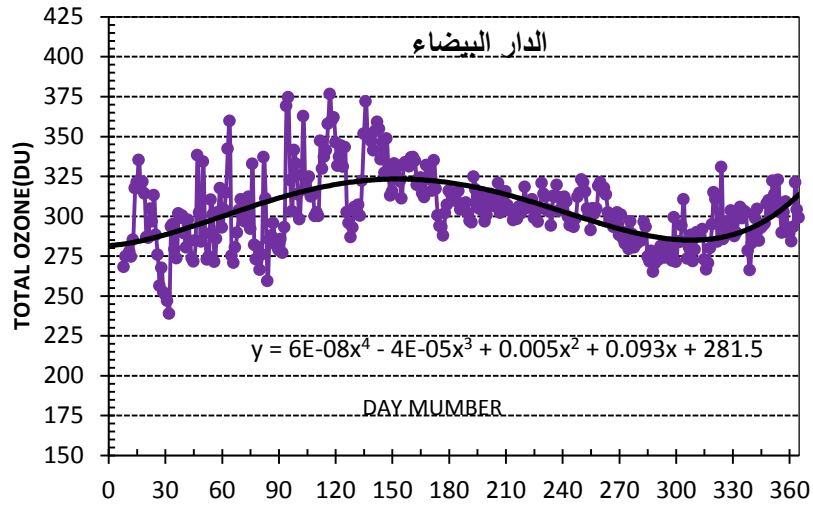
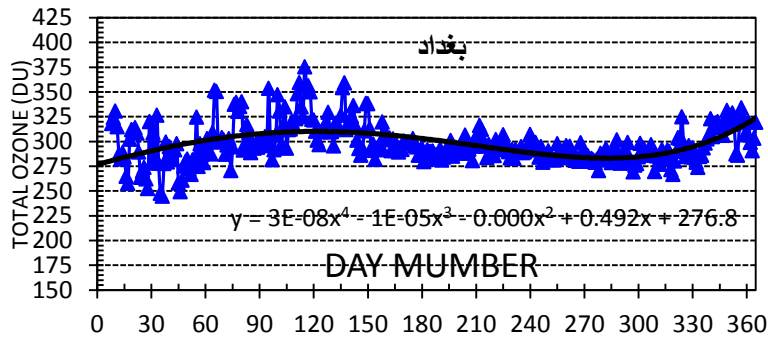


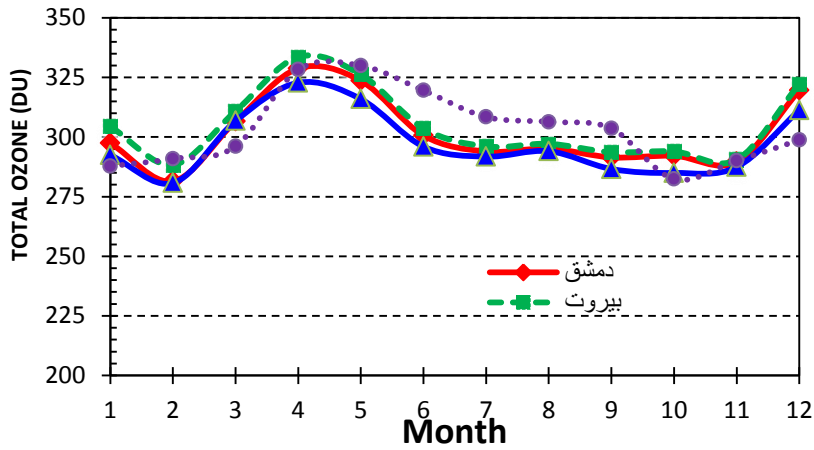
الشكل (2): التغيرات اليومية لكمية الأوزون الكلية فوق مدينة دمشق خلال عام 2013:



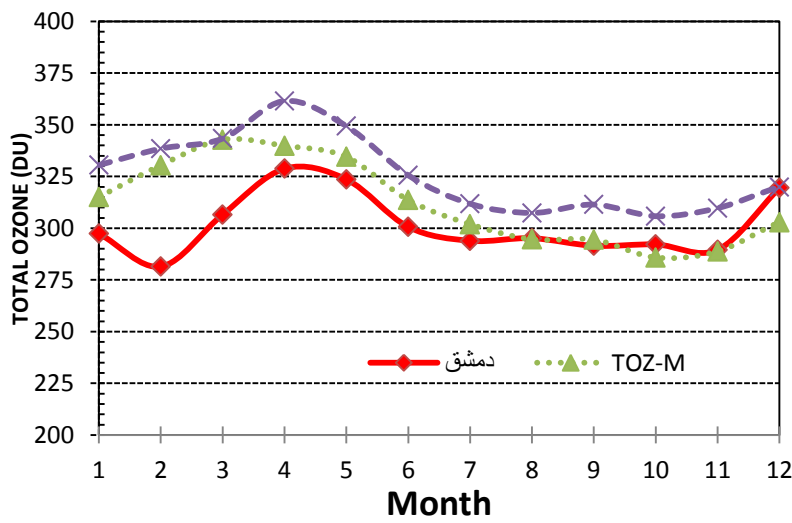
الشكل (3): التغيرات اليومية لكمية الأوزون الكلية فوق مدينة بيروت خلال عام 2013.







الشكل (6): التغيرات الشهرية لكمية الأوزون الكلية فوق المدن المدروسة خلال عام 2013.



الشكل (7): التغيرات الشهرية لكمية الأوزون الكلية فوق مدينة دمشق خلال فترتين متباعدتين.

الأشكال (2،3،4،5) تم فيها رسم المنحنيات المعبرة عن تغيرات اليومية لكمية الأوزون

الجوي الكلية فوق المدن الأربع خلال العام 2013. حيث نلاحظ ما يأتي:

1. مع بداية العام تزداد كمية الأوزون الجوي الكلية، وتكون قيمها مرتفعة خلال العام في أواخر فصل الشتاء وكامل فصل الربيع، ويعود ذلك إلى الدورة العامة للرياح في طبقة الستراتوسفير التي تقوم بنقل الهواء الغني بالأوزون من مناطق التوليد (المناطق المدارية) باتجاه مناطق العروض المتوسطة والعليا (القطبية).

2. أخفض قيمة لكمية الأوزون الجوي الكلية خلال العام تكون في فصل الخريف الذي يقابله فصل الربيع في نصف الكرة الجنوبي، حين يتشكل ثقب أوزون في القارة القطبية الجنوبية والذي ينتج عنه استنزاف المخزون الأوزوني فوق مناطق العروض الوسطى، حيث تقع مدينة دمشق.

3. تميل كمية الأوزون الكلية خلال فصل الصيف إلى التناقص، ويتوافق ذلك مع زيادة شدة الإشعاع الشمسي الكلي؛ وبالتالي زيادة شدة الإشعاعات فوق البنفسجية الواردة من الشمس، وبسبب تناقص كمية الأوزون يزداد خطر الأشعة فوق البنفسجية الواصلة إلى سطح الأرض.

4. لم يلاحظ ما يشير إلى وجود فجوة أوزونية واضحة خلال العام 2013 رغم وجود أيام تكون فيها قيم الأوزون منخفضة نسبياً.

يظهر الشكل (6) مدى تطابق منحى التغيرات الشهرية لكمية الأوزون الكلية لدى المواقع الأربعة (دمشق، بيروت، بغداد، الدار البيضاء)، حيث تكون القيمة العظمى واقعة في شهر نيسان وتكون قيمها على التوالي (338.8، 333.6، 326.8، 328.3)، وظهرت القيمة الصغرى في شهر تشرين الثاني لدى المواقع المتجاورة (دمشق، بيروت، بغداد) بينما ظهرت القيمة العظمى في أيار والصغرى في تشرين الأول في الدار البيضاء.

ثانياً- تحديد معامل الأشعة فوق البنفسجية:

نتيجة لتزايد خطورة التعرض للأشعة الشمسية وللأشعة فوق البنفسجية وحدوث إصابات بشرية عديدة في العالم، وبسبب ذلك قامت جهات ودول عديدة بتوضيح الأخطار للسكان ومنها نشأت فكرة التعامل مع الأشعة فوق البنفسجية؛ وفق معاملات عالمية قياسية (UV-Index) توضح مدى خطورتها حسب المكان، وكذلك الإشارة إلى احتمالية الآثار الصحية

السلبية المترتبة، ومن أجل تشجيع الناس على حماية أنفسهم. كلما زادت قيم المعامل زادت احتمالية الضرر على الجلد والعينين، وقل الزمن الذي تستغرقه الأشعة قبل إحداث الضرر، كما وضع جدول من قبل المنظمة العالمية للأرصاد الجوية WMO ومنظمة الصحة العالمية WHO، الجدول (7) يوضح المعاملات القياسية للأشعة فوق البنفسجية [1].

الجدول (7): معاملات الأشعة فوق البنفسجية ودرجة خطورتها.

الحالة	المعامل
قليل	0-2
وسط	3-5
عالٍ	6-7
عالٍ جداً	8-10
متطرفة	+11

يمثل الصفر انعدام وجود ضوء الشمس، أما القيمة التي تزيد على 10.5، فهي الحد الخطر جداً، ويكون كحد أقصى في فترة الظهيرة، ويبين هذا المعامل مدى إمكانية تأثير الأشعة فوق البنفسجية على الجلد. وبحسب هذا المعامل اعتماداً على قيم الأوزون وحساب مرور الأشعة عبر الأغلفة الغازية؛ فضلاً عن عوامل أخرى كالغيوم ونسبتها وارتفاع المدن والموقع الفلكي (خطوط الطول والعرض).

يلاحظ من الجدول (8) والشكل (8) أن هناك تغيراً واضحاً في قيمة معامل الأشعة فوق البنفسجية؛ وبالتالي شدتها عبر فصول السنة تزداد مع ازدياد حرارة الجو؛ وخاصة في فصل الصيف، حيث تصل الشدة إلى أعلى قيمها 11.1 في شهر تموز في مدينة دمشق وهي الأعلى بين المدن المقارنة، 10.8 في مدينة بغداد و10.7 في مدينة بيروت و10.0 مدينة الدار البيضاء. تبدأ بعد ذلك الشدة في الانخفاض مع انخفاض درجة

الحرارة اليومية والشهرية، وقد سجلت قيم عالية لمعامل الأشعة فوق البنفسجية ابتداءً من شهر آذار إلى شهر أيلول في المدن الأربع المدروسة.

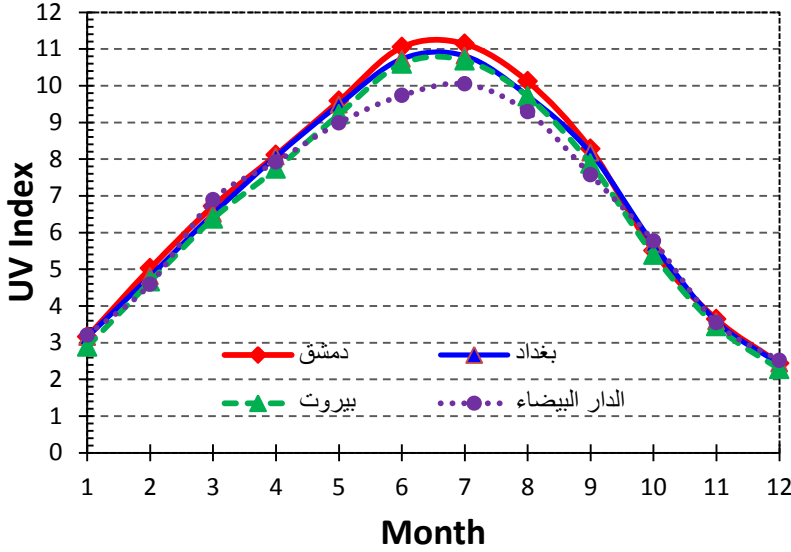
الجدول (8): المتوسطات الشهرية لمعامل الأشعة فوق البنفسجية UV-I للمدن الأربع

شهر	دمشق	بغداد	بيروت	الدار البيضاء
1	3.2	3.2	2.9	3.2
2	5.0	4.8	4.7	4.6
3	6.7	6.5	6.4	6.9
4	8.1	8.1	7.7	7.9
5	9.6	9.5	9.2	9.0
6	11.1	10.7	10.6	9.7
7	11.1	10.8	10.7	10.0
8	10.1	9.7	9.7	9.3
9	8.3	8.2	7.9	7.6
10	5.5	5.7	5.4	5.8
11	3.6	3.6	3.5	3.5
12	2.4	2.4	2.3	2.5

ومن الجدول (9) نلاحظ أن قيم المتوسطات السنوية لمعامل الأشعة فوق البنفسجية UV-I مقارنة، وكذلك الانحراف المعياري لها، والمدى R والاختلاف عن القيمة للمتوسط السنوي B إلا أنها كبيرة، وسجلت أعلى قيمة لمتوسط معامل الأشعة فوق البنفسجية في مدينة دمشق، كما وجد أن القيمة المتوسطة في عام 2005 لهذا المعامل في مدينة بغداد [1] 6.9. وهذه القيمة قريبة أيضاً لما تمّ تسجيله في هذا الجدول.

الجدول (9): المتوسطات السنوية لمعامل الأشعة فوق البنفسجية في المدن الأربع المدروسة

المدينة	UV-I	SD	Max	Min	R	B
دمشق	7.1	3.0	12.1	1.9	10.2	143%
بيروت	6.8	2.9	11.8	1.7	10.1	148%
بغداد	7.0	2.9	11.6	2.1	9.5	135%
الدار البيضاء	6.8	2.7	11.3	1.8	9.5	141%



الشكل (8): التغيرات الشهرية لمعامل الأشعة فوق البنفسجية للمدن المدروسة خلال عام 2013.

أخيراً وبناءً على ما سبق، نؤكد أهمية هذه الدراسة من حيث كونها جزءاً من القياسات العالمية من ناحية، ومساهمتها في تحديد سماكة طبقة الأوزون وتغيراتها من ناحية أخرى. يحدث ذلك على اتخاذ الخطوات اللازمة للحد من استنزاف هذه الطبقة؛ وبالتالي حدوث ظواهر بيئية ومناخية خطيرة. تسهم النتائج التي حصلنا عليها في إعطاء فكرة واضحة عن حالة الأوزون الجوي الكلية فوق مدينة دمشق، والذي يشكل جزءاً من الأوزون الذي يحيط بكوكبنا؛ مما يسمح بتكوين رأي أشمل وأدق عن طبقة الأوزون التي تحميها من خطر الأشعة فوق البنفسجية الضارة، ولا بد من متابعة القياسات لمعرفة تغير كمية الأوزون الكلية على المدى الطويل ومعرفة إمكانية استرجاعها إلى سماكتها الطبيعية قبل حقن الغلاف الجوي بالملوثات من صنع الإنسان (CFCs، HCFCs، ...) وكذلك مراقبة تغيرات شدة الأشعة فوق البنفسجية UV-B الواصلة إلى سطح الأرض، ومقارنة ذلك مع تغيرات كمية الأوزون الكلية، وكذلك دراسة تأثيرات هذه الأشعة في البيئة المحيطة بنا.

**الاستنتاجات:**

- 1- تبلغ القيمة الوسطية لكمية الأوزون الكلية المقيسة فوق مدينة دمشق  $302 \pm 23$  DU ، وهي قريبة جداً مع القيمة الوسطية لكمية الأوزون الكلية المقيسة فوق بيروت، وبغداد، والدار البيضاء، الواقعة على خط العرض نفسه. وتعدّ هذه القيمة لطبقة الأوزون حامية من خطر الإشعاعات فوق البنفسجية.
- 2- وجد أن القيمة العظمى لكمية الأوزون توافقت شهر نيسان، أما القيمة الصغرى فتوافقت شهر تشرين الثاني.
- 3- وجد أن قيمة المتوسط السنوي لمعامل الأشعة فوق البنفسجية هو 7.1 وهو ضمن النطاق العالي، وهو أعلى من قيم معاملات الأشعة فوق البنفسجية في المدن الأخرى المقارن بها والواقعة على خط العرض نفسه.
- 4- أعلى قيمة سجلت لمعامل الأشعة فوق البنفسجية كانت في شهر تموز، وقد بلغت 12.1 وهي الأعلى بين قيم معاملات الأشعة فوق البنفسجية في المدن المدروسة.

## المراجع:

1. الجراح، عمر برهان، والقزويني، ميادة بدري، 2009. قياس وحساب معامل الأشعة فوق البنفسجية الواصلة لجزء من مدينة بغداد، مجلة جامعة الأنبار للعلوم الصرفة، العدد الثاني. ISSN:1991-8941.
2. الجغامي، عصام، 2003. قياس الكمية الكلية للأوزون والإشعاعات فوق البنفسجية UV-B في مدينة دمشق طيفياً، مجلة بحوث جامعة حلب، سلسلة العلوم الأساسية، العدد 40، صفحة 87-116.
3. العرابي، حمود، 1996. مساهمة في دراسة كمية الأوزون الكلية فوق مدينة حلب، منشورات جامعة حلب، 171 صفحة.
4. برنامج الأمم المتحدة للبيئة UNEP، 2009. نشاط الأوزون / ماذا بعد، نشرة خاصة، 36 صفحة.
5. برنامج الأمم المتحدة للبيئة UNEP، 2010. الأوزون / مجموعة بيانات الأوزون وعلاقتها بالمناخ، الإصدار الثاني، 54 صفحة.
6. Alpert P., Kishcha P., Kaufman YJ., Schwarzbard R., 2005. Global dimming or local dimming?: Effect of urbanization on sunlight availability, Geophysical Research Letters 32.
7. Al-Salihi A.M., Hassan Z. M., 2014. Total ozone column trends over five Iraqi selected provinces using TOMS data, IOSR journal of applied Physics, vol.6, Issue 2, ver.III, pp 46-57.
8. El-hussainy F., 2003. Surface ozone observations over Egypt, Idojars, Vol. 107, No. 2, pp: 133-152.
9. Farman j.c., and Gardiner B.G., and Shanklin j.d., 1985. Large losses of total ozone in Antarctica reveal seasonal ClOx /NOx interaction, Nature,315, 207-210.
10. Halos S. Hasan,2012. Temporal and spatial variabilities of total ozone column over Iraq, Asian Transactions on Science & Technology (ATST ISSN: 2221-4283) Volume 02 Issue 02.



11. Khragian A. KH., 1973. The physics of atmospheric ozone. Leningrad .259 pages .
12. Kuonan L., 1980. An introduction to atmospheric radiation, academic press, New York, 230 pages.
13. Lucas R. et al., 2006. Solar Ultraviolet Radiation/Global burden of disease from solar ultraviolet radiation, Environmental Burden of Disease Series, No. 13, Geneva,pp:250.
14. McDERMID I.S. and WALSH T.D.,1995. Surface ozone level at Table Mountain during STOIC 1989, Geophysical Research,100,9301-9302.
15. Nevison C., and Holland E., 1997. A reexamination of the impact of anthropogenically fixed nitrogen on atmospheric N<sub>2</sub>O and the stratospheric O<sub>3</sub> layer, J. Geophys. Res. 102: 25519-25536.
16. Prather M.J., and Watson R.T., 1990. Stratospheric ozone depletion and future levels of atmospheric chlorine and bromine, Nature. 344:729-734.
17. Reid S.J., and Vaughan G., 1991. Lamination in ozone profiles in the lower stratosphere, Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 117:825-844.
18. Rex M., and Gathen P., 2007. Match campaigns to measure stratospheric ozone loss, Bulletin vol.56 No. 4, pp:257-262.
19. Seinfeld J.H., Pandis S.N., 1998. Atmospheric chemistry and physics. A Wiley-Interscience publication.1309 pages.
20. Simpson W.R., et al., 2007. Halogens and their rol in polar boundary –layer ozone depletion. ACPD, pp:4375-7718.

