

دراسة تغير الأوزون الكلي فوق بعض مدن المملكة العربية السعودية خلال عام ٢٠٠٤م

عبد الرحمن خلف الخلف

قسم الأرصاد - كلية الأرصاد والبيئة وزراعة المناطق الجافة - جامعة الملك عبد العزيز
جدة - المملكة العربية السعودية

المستخلص. تمت الدراسة باستخدام بيانات الأوزون الكلية فوق بعض المدن الكبرى في المملكة العربية السعودية لمعرفة التغير الزمني والتغير المكاني باستخدام طرق إحصائية وطرق بيانية، حيث تهدف هذه الدراسة إلى معرفة التغيرات اليومية والشهرية والفصلية والسنوية، كما تشير الدراسة إلى مقارنة قيم الأوزون بين تلك المناطق. وقد أخذت البيانات بواسطة جهاز قياس قيم الأوزون الكلية، Total Mapping Ozone Spec-trometer (TOMS) لعام ٢٠٠٤م على متن القمر الاصطناعي Nimbus-7. حيث تستخدم هذه البيانات لمعرفة تغير الأوزون فوق المدن التي تم اختيارها للدراسة وهي تبوك، الظهران، الرياض، المدينة، جدة، وأبها حيث تقع ما بين خطي عرض ١٨ درجة و ٢٨ درجة شمالاً. لقد وجد أن الأوزون له تغيرات زمنية مختلفة فعلى مستوى التغيرات اليومية تكون متغيرة بشكل متكرر حيث بلغت أعلى قيمة ٣٤٤ دويسون فوق مدينة تبوك وأقل قيمة بلغت ٢٠٩ دويسون فوق مدينة أبها، كما بلغ أعلى متوسط يومي ٢٦٩ دويسون فوق مدينة تبوك وأقل متوسط يومي بلغ ٢٥٧ دويسون فوق مدينة أبها. بلغ المدى اليومي لمدينة تبوك ١٣٤ دويسون أي ما يقارب ٥٠٪ من المتوسط الحسابي بينما يتراوح المدى لبقية

المدن بين ٣٢٪ و ٣٤٪ من المتوسط الحسابي. كما تشير نتائج الانحراف المعياري إلى أن جميع المدن أيضا متقاربة في مقدار التغير حيث تتراوح القيم بين ١٨ دوسون و ٢١ دوسون. وعلى مستوى التغيرات الشهرية والفصلية، فإن الأوزون يتغير بشكل واضح خلال السنة حيث تكون أعلى قيم له في فصلي الربيع والصيف وأقل قيمة له في فصلي الخريف و الشتاء على جميع المناطق، بينما التغيرات الشهرية للأوزون الكلي تكون في الشتاء أعلى منها في الصيف. تتراوح قيم الأوزون ما بين ٢٨٧ دوسون في شهر إبريل فوق مدينة تبوك و ٢٢٤ دوسون في شهر يناير فوق مدينة أبها. كما يبين تحليل البيانات التغيرات الفصلية، حيث أن القيم العظمى في فصلي الربيع والصيف، حيث بلغت ٢٧٧، و ٢٨٢ دوسون فوق مدينتي تبوك والظهران على التوالي، والقيم الصغرى في فصلي الخريف والشتاء، حيث بلغت ٢٥٩، و ٢٢٧ دوسون فوق مدينتي الرياض وأبها على التوالي. تم حساب معامل الارتباط بين قيم الأوزون عند المدن المختلفة، وقد وجد أنه أكبر ما يمكن بين المحطات القريبة من بعضها بالنسبة لخطوط العرض وكذلك التي لها نفس الظروف المناخية.

المقدمة

منذ ظهور الإنسان على سطح الأرض والتطور البشري لم يتوقف، فقد استطاع الإنسان أن يتدرج بنجاح في ميادين التطور المختلفة إلا أن تأثير نشاط الإنسان أصبح اليوم من الضخامة والتعقيد بحيث أصبح يخل بالتوازن الدقيق للبيئة، وظهرت مشاكل التلوث البيئي على نطاق واسع، ومنها مشكلة الأوزون. والأوزون هو أحد الملوثات إذا تواجد في الطبقة السفلية من الغلاف الجوي، أما في الطبقة العليا من الجو فله أهميته القصوى بالنسبة للحياة على سطح الأرض، حيث أنه يمثل الغطاء الواقي للأرض والذي يحمي المخلوقات الأرضية من الأشعة الشمسية ذات الأثر الضار على الإنسان، والتي تتسبب في أمراض خطيرة بالنسبة لتلك المخلوقات، وهي تؤثر على درجة الحرارة نحو الزيادة. وعلى الرغم من أن غاز الأوزون يعتبر من الغازات ذات النسب الضئيلة والمتغيرة في الغلاف الجوي، إلا أن له دوراً رئيساً ومهماً على الطقس والمناخ. يتواجد حوالي ٩٠٪ من الأوزون في طبقة الاستراتوسفير والتي تقع ما بين ارتفاع حوالي ١٠ كيلومتر

إلى ما يقارب ارتفاع ٥٠ كيلومتر، وتبين أن أكبر تركيز له يقع بين ارتفاع ١٩-٢٣ كم (Kowalok, 1993). إن ما حدث في طبقة الأوزون أخذ أنظار دوائر الأبحاث ومراكز الدراسات في شتى فروع العلم المختلفة، وكان محط اهتمام الجهات المعنية التي أولته عناية فائقة، وطالبت بإزالة أسباب حدوث ذلك الثقب في طبقة الأوزون، لأن هذا الخلل في تلك الطبقة يحدث أضراراً غير مضمونة العواقب على المخلوقات الأرضية كلها بلا استثناء، ولذلك يعتبر ثقب الأوزون من قضايا الساعة ذات الأهمية في زماننا الحاضر فالأوزون ضروري لحياة البشر أجمع.

تتأثر طبقة الأوزون بالتفاعلات الكيميائية الناجمة عن الغازات المتصاعدة إلى الطبقات العليا من الغلاف الجوي المحيط بالأرض، حيث أن أغلب الأوزون الجوي موجود في طبقة الاستراتوسفير، وتأتي أشعة الشمس لتكمل العملية الكيميائية التي تحدث تغيراً في تركيز الأوزون. فالأوزون كغاز، هو شكل من أشكال الأكسجين ولونه خام أرزق باهت، وتحتوي جزيئاته على ثلاث ذرات من الأكسجين، بينما يحتوي الأكسجين العادي على ذرتين فقط، ويوجد الأوزون بكميات مختلفة في الغلاف الجوي المحيط بالأرض. وهناك العديد من العمليات الكيميائية تحدث في طبقة الأوزون، فجزيئات الأكسجين (O_2) الموجودة بوفرة في طبقة الاستراتوسفير تنقسم إلى ذرات مفردة ($O+O$) عندما تمتص الإشعاع القادم من الشمس. وهذه الذرات الحرة تتحد بجزيئات أكسجين (O_2) أخرى مكونة الأوزون، (O_3) (Houghton, 1986). وتقوم جزيئات الأوزون بامتصاص الإشعاع الشمسي من الأطوال الموجية فوق البنفسجية التي تضر بالحياة إذا هي نفذت إلى سطح الأرض. على الرغم من التحلل الذي يصيب الأوزون بصورة طبيعية بفعل الأشعة فوق البنفسجية، فإن هذا التحلل وإعادة البناء يتم في دورة متسلسلة تسهم فيها الأشعة فوق البنفسجية نفسها، وهذا التسلسل يحافظ على نسبة متوازنة لغاز الأوزون في طبقة الاستراتوسفير. 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 في الغلاف الجوي.

تؤثر حركة الهواء في طبقة الاستراتوسفير بشكل رئيس في تحديد التوزيع المكاني والزمني للأوزون، حيث يرتفع الهواء إلى طبقة الاستراتوسفير في المناطق المدارية، ثم

يتوجه نحو القطبين الشمالي والجنوبي. وبذلك تقوم الرياح بنقل الأوزون من المناطق المدارية حيث يكون إنتاج الأوزون، إلى المناطق القطبية (James, 1994). وبناءً على هذه الدورة للرياح، فإن سمك طبقة الأوزون في الأوضاع الطبيعية يكون أكبر في العروض العليا منه في العروض السفلى. والمعدل العالمي للأوزون حوالي ٣٠٠ دوبسون، ويتغير جغرافياً من حوالي ٢٣٠ إلى ٥٠٠ وحدة دوبسون، وأقل قيمة لعمود الأوزون الكلي في المتوسط فوق الحزام الاستوائي، ويزداد مع خطوط العرض نحو القطبين، وبعض القياسات تشير إلى أن أعلى قيمة وصلت إلى ٤٧٥ دوبسون، وأقل قيمة إلى ٣٠٠ دوبسون (WMO, 2003). وقد وجد Kawahira, et al. (2002) أن بعض قيم الأوزون الكلية منخفضة بشكل كبير حيث وصلت هذه القيم إلى أقل من ٢٠٠ دوبسون في المناطق فوق الاستوائية.

تم عمل عدة دراسات وبحوث عن الأوزون وتغيراته في المناطق المدارية (Shiotani, 1992; Shiotani and Hasebe, 1994; Randel and Cobb, 1994) كما أوضحت الدراسات خلال العشرين سنة الماضية والبيانات الواردة من الأقمار الاصطناعية والبيانات الأرضية أن الأوزون الكلي يتناقص فوق النصف الشمالي والنصف الجنوبي للكرة الأرضية (WMO, 2003)، وخاصة وجود نقص كبير في طبقة الأوزون فوق الدائرة القطبية الجنوبية خلال أشهر الربيع (Farman, et al., 1985; Stolarski, et al., 1986). أما بالنسبة للمنطقة التي يحدث فيها النقص الكبير في الأوزون فتسمى ثقب الأوزون وهي تغطي تقريباً كامل القارة القطبية الجنوبية. ولاحظ الباحثون أن انخفاض كمية الأوزون يكون في فترة موسمية معينة أكثر من باقي أيام السنة، وأن مساحته تفوق مساحة القارة القطبية الجنوبية بكاملها ويتراوح ارتفاع طبقة الأوزون ما بين ١٢-٢٤ كيلو متراً. إن هذا التناقص في قيم كمية الأوزون أصبح ظاهرة عامة ولكن ليس بشكل متماثل حيث يتناقص في العروض الوسطى والعليا، ويكون متذبذباً فوق المناطق الواقعة في الحزام المداري (Stolarski, et al., 1991, 1992). كما أن الزيادة في الأشعة الضارة فوق البنفسجية والتي رصدت على سطح الأرض تشير إلى النقص في طبقة الأوزون (Kerr and McElroy, 1993). تهدف هذه الدراسة إلى معرفة التغير الزمني في كمية الأوزون الكلية فوق بعض مدن المملكة وذلك خلال عام ٢٠٠٤ م ومقارنة قيمته

على المدن المختارة للتعرف على التغير المكاني، وبالتالي يتم التوصل إلى فهم تغيرات الأوزون ومسلكه خلال هذا العام على المناطق المختلفة للمملكة العربية السعودية.

البيانات المستخدمة وطريقة البحث

يتوفر لدى وكالة الفضاء الأمريكية سجل من بيانات الأوزون الكلية يقوم بقياسها جهاز Total Mapping Ozone Spectrometer (TOMS) على سلسلة من الأقمار الاصطناعية (McPeters, *et al.*, 1998)، حيث أن درجة تمثيل البيانات على سطح الأرض هي $1^\circ \times 2.5^\circ$ خط عرض 1° خط طول. تم أخذ بيانات قيم الأوزون الكلية اليومية فوق المملكة العربية السعودية من جهاز (TOMS) خلال عام ٢٠٠٤م المثبت على متن القمر الاصطناعي Nimbus-7. تسجل كميات الأوزون بانتظام كسمك لعمود الأوزون الكلي و تعرف بوحدات دوسون. وتعرف الكمية الكلية للأوزون بأنها تساوي كمية الأوزون الموجودة في عمود رأسي من الهواء قاعدته ١ سم^٢ عند معدل ١ ضغط جوي ودرجة صفر مئوي. وإذا أحضرنا ١٠٠ دوسون إلى مستوى سطح الأرض فإنها تشكل طبقة سمكها يساوي ١ ميليمتر.

تعتمد طريقة البحث على استخراج بيانات كمية الأوزون اليومية لكل عمود الغلاف الجوي فوق بعض مدن المملكة المختلفة، حيث تم اختيار المدن الرئيسة من حيث الموقع الجغرافي ومن حيث النهضة العمرانية والصناعية. تستخدم بيانات قيم الأوزون اليومية الكلية خلال هذا البحث لمعرفة التغيرات اليومية والشهرية والفصلية، وذلك من أجل دراسة التغير الزمني في طبقة الأوزون على بعض المدن الكبرى في المملكة العربية السعودية، ومقارنة كمية الأوزون بين هذه المدن، وذلك من أجل التوصل إلى معرفة التغير في قيم الأوزون على المناطق التي تمثلها هذه المدن.

منطقة الدراسة

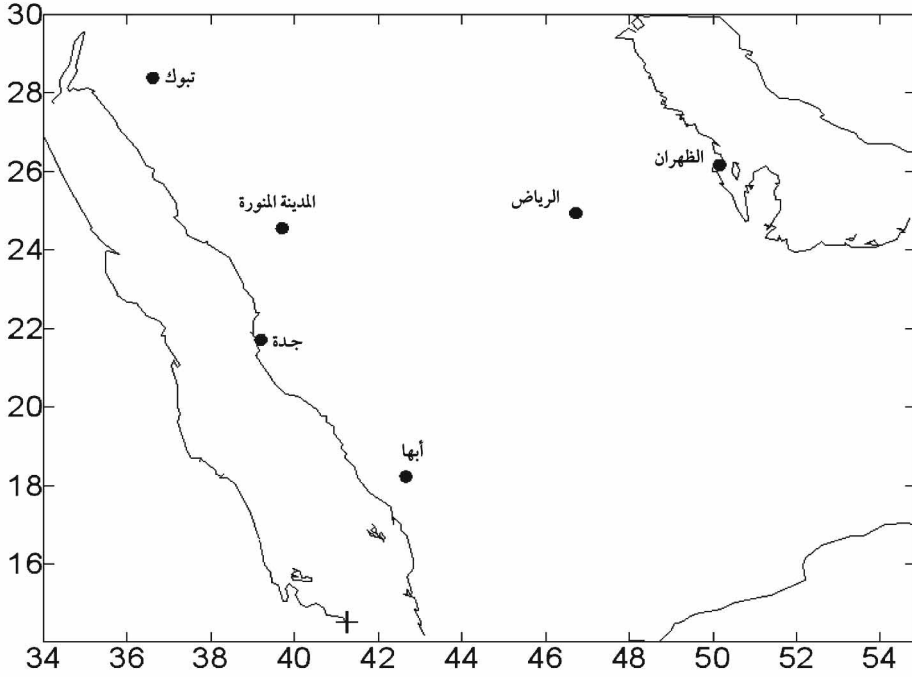
تقع المملكة العربية السعودية في جنوب غرب آسيا بين خطي عرض ١٦ و ٢٨ درجة شمالاً وخطي طول ٣٤ و ٥٦ درجة شرقاً والواقع بعضها في النطاق المداري والبعض الآخر في النطاق فوق المداري والتي تقع أيضاً تحت مؤثرات جوية مختلفة خلال العام،

كما أن بعض المدن تقع على السواحل البحرية والبعض الآخر يقع بعيداً عن السواحل، إضافة إلى التطور الصناعي لبعض المدن والذي بدوره يؤدي إلى الزيادة في كمية الغازات والأبخرة المنبعثة نحو الغلاف الجوي. تم اختيار بعض مدن المملكة بناءً على موقعها الجغرافي وبناءً على التأثيرات الجوية التي تتأثر بها، فقد تم اختيار مناطق تمثل شمال وجنوب وشرق وغرب ووسط المملكة. يوضح جدول (١) المدن التي تم اختيارها للدراسة مع تحديد مواقعها من خلال خطوط الطول والعرض، كما يوضح الشكل (١) مواقع هذه المدن على خريطة المملكة العربية السعودية، وبعد الموقع الجغرافي من العوامل المؤثرة في مناخ المملكة لا سيما موقعها بالنسبة لدوائر خطوط العرض والمسطحات المائية وكذلك بالنسبة لاتجاهات الرياح والحوارج الجبلية. وتقع المملكة في وسط منطقة شاسعة من الأرض اليابسة، مما يعني أنها تقع ضمن النطاق الصحراوي الجاف الذي يمتد من شمال أفريقيا حتى غرب آسيا، ويمر مدار السرطان الذي تتعامد عليه أشعة الشمس في منتصف أرض المملكة تقريباً، وهذا يفسر الارتفاع الشديد في درجات الحرارة صيفاً.

يسيطر على مناخ المملكة الضغط المنخفض الحار الذي يسود معظم المناطق الشرقية والشمالية والوسطى صيفاً، كما تسيطر على المملكة الكتلة الهوائية المدارية القارية الجافة، وتكون الأحوال الجوية مستقرة، وليس هناك تغير يذكر حتى شهر سبتمبر، إذ يكون الجو صحواً شديداً الحرارة جافاً جداً، ما عدا القسم الجنوبي الغربي من المملكة

جدول (١). المدن التي تم اختيارها للدراسة مع تحديد خط الطول والعرض لكل مدينة.

المدينة	خط العرض	خط الطول
تبوك	٢٨, ٣٨ شمالاً	٣٦, ٦١ شرقاً
الظهران	٢٦, ١٦ شمالاً	٥٠, ١٦ شرقاً
الرياض	٢٤, ٩٣ شمالاً	٤٦, ٧٢ شرقاً
المدينة المنورة	٢٤, ٥٥ شمالاً	٣٩, ٧٠ شرقاً
جدة	٢١, ٧١ شمالاً	٣٩, ١٩ شرقاً
أبها	١٨, ٢٣ شمالاً	٤٢, ٦٦ شرقاً



شكل (١). خريطة المملكة العربية السعودية موضحةً عليها المدن التي تم اختيارها للدراسة.

بسبب تقدم الجبهة الهوائية المدارية الرطبة، وما يصاحبها من منخفضات مدارية مطيرة وعواصف رعدية، وهي التي تسقط الأمطار بإذن الله صيفاً على جبال السروات. أما في فصل الشتاء فتسيطر على المملكة كتلة قارية جافة باردة تتقدم نحوها من أواسط آسيا وسيبيريا، مما يتسبب في ارتفاع الضغط الجوي وانخفاض درجات الحرارة وصفاء الجو وجفافه، كما تتقدم الجبهات الهوائية المصاحبة لهذه الكتل مسببة بعض سقوط الأمطار بإذن الله تعالى، وقد يتشكل الصقيع خاصة في الأجزاء الشمالية من المملكة. وحين يخف تأثير هذه الكتلة الهوائية فإن كتلة هوائية أخرى من مصدر أطلسي وأوربي تتقدم نحو المملكة عبر البحر المتوسط، وتتصف هذه الكتلة بأنها أكثر دفئاً ورطوبة من الكتلة القادمة من أواسط آسيا وسيبيريا، وتسبب سقوط بعض الأمطار بإذن الله تعالى على شمال المملكة وغربها ووسطها.

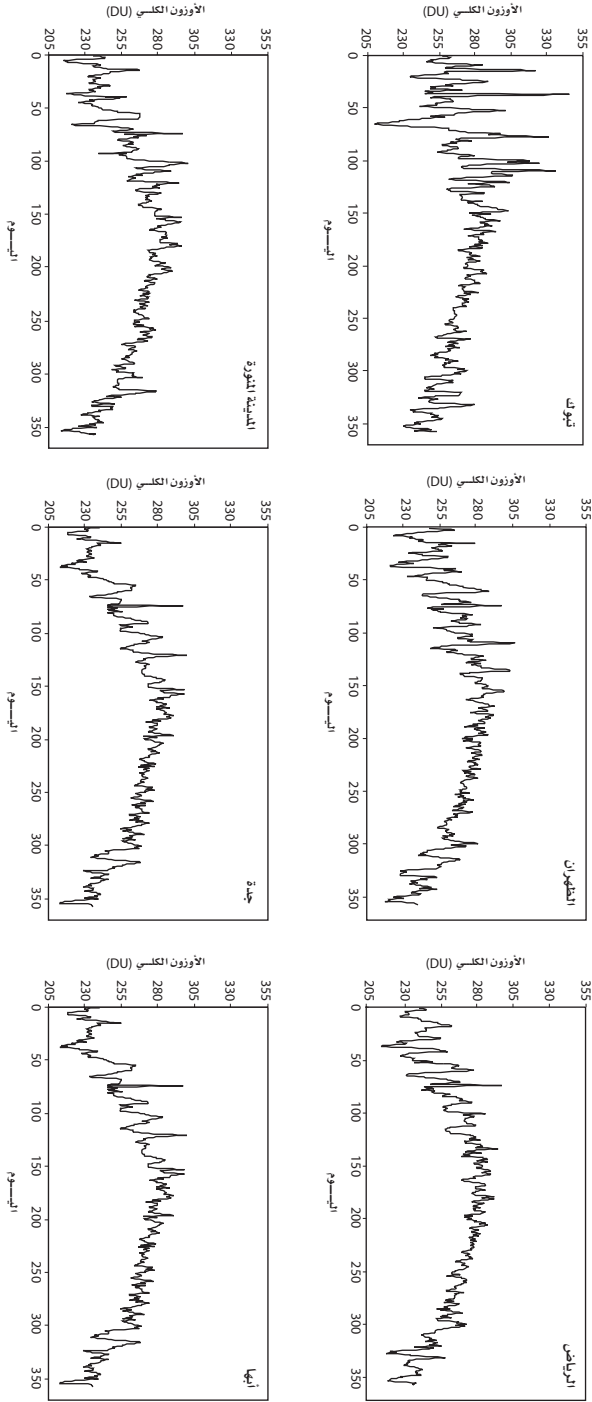
يمثل الربيع الفترة الانتقالية بين الشتاء والصيف، ولهذا كانت الفترة الأولى من فصل الربيع ذات سمة شتوية من حيث زيادة سقوط الأمطار، وانخفاض درجة الحرارة،

وهبوب الرياح الشمالية الشرقية الجافة الباردة نسبياً، والرياح الغربية والشمالية الغربية الممطرة. أما نهاية الربيع فهي ذات سمة صيفية تزداد فيها الحرارة وتقل الأمطار. ويأخذ فصل الخريف كذلك سمة الفترة الانتقالية بين الصيف والشتاء، وبالتالي فإن الملامح الصيفية تتضح في أول هذا الفصل، والسمة الشتوية تكون في آخره، حيث تقل معدلات الحرارة ويبدأ نشاط الرياح الشمالية والشمالية الشرقية مع تبدل مناطق الضغط المجاورة وتوزيعها بشكل تدريجي، خاصة الضغط المرتفع الآسيوي، ومنخفض السودان، ومنخفضات البحر المتوسط القادمة من الغرب إلى الشرق، والتي يظهر أثرها الواضح في مناخ المملكة. هذا التداخل بين السمات الشتوية والصيفية لفصلي الربيع والخريف في المملكة صفة الوسط الانتقالي التدريجي مما خفف كثيراً من تأثيرات مفاجآت المناخ الصحراوي القاري، بالإضافة إلى أن تنوع الأقاليم الطبيعية في المملكة، مع اتساع مساحتها أكسبها تنوعاً مناخياً ممثلاً في وجود مناطق ممطرة على مدار العام في بعض المرتفعات الجنوبية، كما أن تباين الارتفاع أوجد تنوعاً آخر من حيث اعتدال الحرارة على المناطق المرتفعة وزيادة الدفء والحرارة في المناطق المنخفضة والأودية والسواحل.

التغير الزمني والمكاني لكمية الأوزون الكلي

توضح الرسوم البيانية التالية (الأشكال ٢-٦) التغيرات الزمنية للأوزون الكلي فوق المدن التي تم اختيارها للدراسة خلال عام ٢٠٠٤م. ويعرف ثقب الأوزون عند هبوط قيم الأوزون الكلية عن المستويات الاعتيادية، حيث يتراوح مستوى الأوزون في المناطق المدارية عادة ما بين ٢٥٠ و ٣٠٠ دوبسون على مدار السنة. تبين القيم اليومية (شكل ٢) لكمية الأوزون الكلي بعضاً من التغيرات الفصلية، حيث أن القيم العظمى تكون في فصلي الربيع والصيف وتتناقص قيم الأوزون في فصلي الخريف والشتاء مع وجود تغير يومي بشكل واضح (شكل ٢)، بينما يكون التغير الفصلي كبيراً على جميع المناطق، وذلك بسبب التغيرات الجوية الناجمة عن الدورة العامة للرياح (شكل ٤).

يوضح الشكل (٢) التغير اليومي للأوزون الكلي فوق جميع المدن خلال عام ٢٠٠٤م، وعلى الرغم من قصر الفترة الزمنية لهذه الدراسة، إلا أن التغير اليومي واضح



شكل (٢). الأوزون الكلي اليومي للمدن المختلفة خلال عام ٢٠٠٤م.

خلال تلك الفترة. يتراوح التغير اليومي للأوزون الكلي ما بين ٢٠٩، و ٣٤٤ دوسون في المناطق التي تم اختيارها للدراسة مع وجود أعلى قيمة في مدينة تبوك وأقل قيمة في مدينة أبها. ويوضح الجدول (٢) أيضاً البيانات الإحصائية المستخرجة من البيانات اليومية للأوزون خلال عام ٢٠٠٤م مثل المتوسط الحسابي، الانحراف المعياري، القيم العظمى، القيم الصغرى، وأخيراً المدى لجميع المدن خلال عام ٢٠٠٤م. ويتبين من هذا الجدول أن أعلى متوسط بلغ ٢٦٩ دوسون فوق مدينة تبوك وأقل متوسط بلغ ٢٥٧ فوق مدينة أبها، بينما يتراوح الانحراف المعياري بين ١٨ و ٢١ دوسون مما يشير إلى أن التغير في قيم الأوزون متماثلاً تقريباً فوق هذه المناطق. ويلاحظ أن القيمة العظمى لمدينة تبوك بلغت ٣٤٤ دوسون بينما بلغت القيمة الصغرى لنفس المدينة ٢١٠ دوسون، حيث يكون المدى لهذه المدينة ١٣٤ دوسون (مايقارب ٥٠٪ من المتوسط الحسابي)، بينما يتراوح المدى لبقية المدن بين ٨٣ و ٨٩ دوسون (مايقارب ٣٢٪ و ٣٤٪ من المتوسط الحسابي).

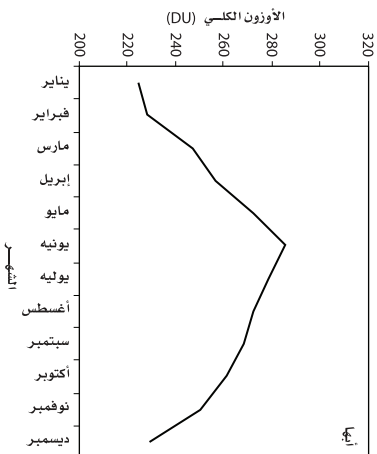
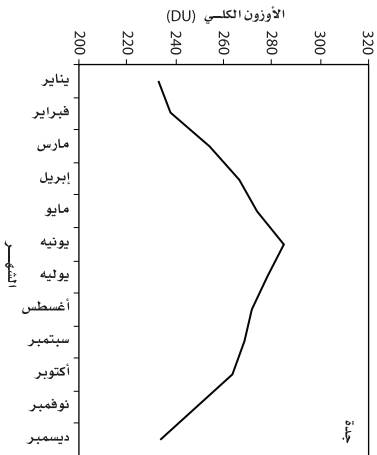
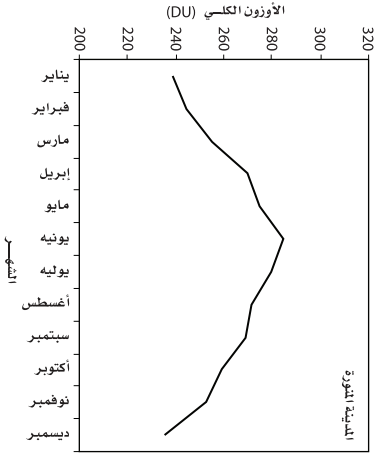
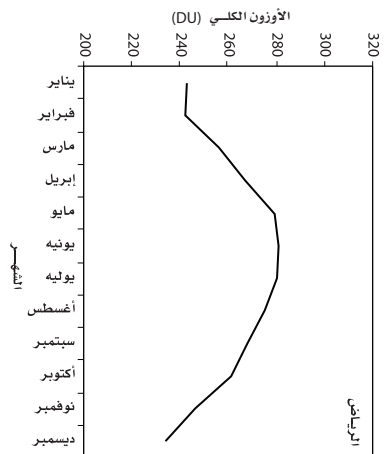
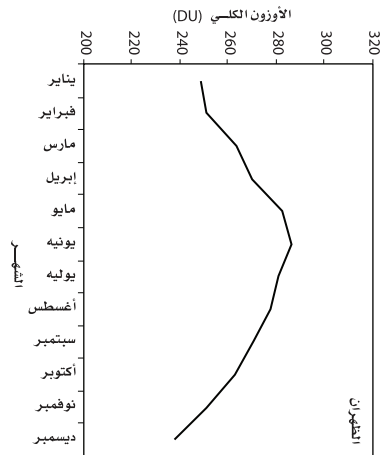
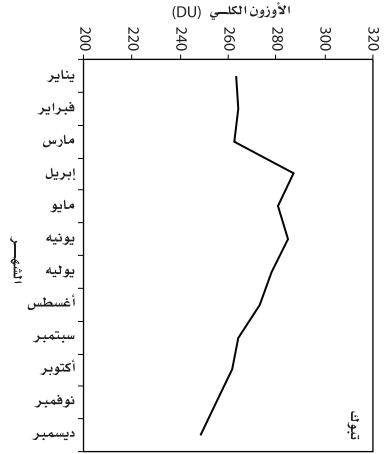
لتحديد التغيرات الشهرية لبيانات الأوزون اليومية، تم حساب القيم الإحصائية التالية: المتوسط الحسابي، الانحراف المعياري، القيم العظمى، القيم الصغرى، وأخيراً المدى لجميع المدن خلال الأشهر المختلفة للعام ٢٠٠٤م (شكل ٣ أ و ٣ ب). يتبين من شكل (٣ أ) أن التغيرات الشهرية للأوزون الكلي تتراوح ما بين ٢٨٧ دوسون في شهر

جدول (٢). البيانات الإحصائية (المتوسط الحسابي، الانحراف المعياري، القيمة الكبرى، القيمة الصغرى والمدى) لقيم الأوزون الكلية اليومية خلال عام ٢٠٠٤م.

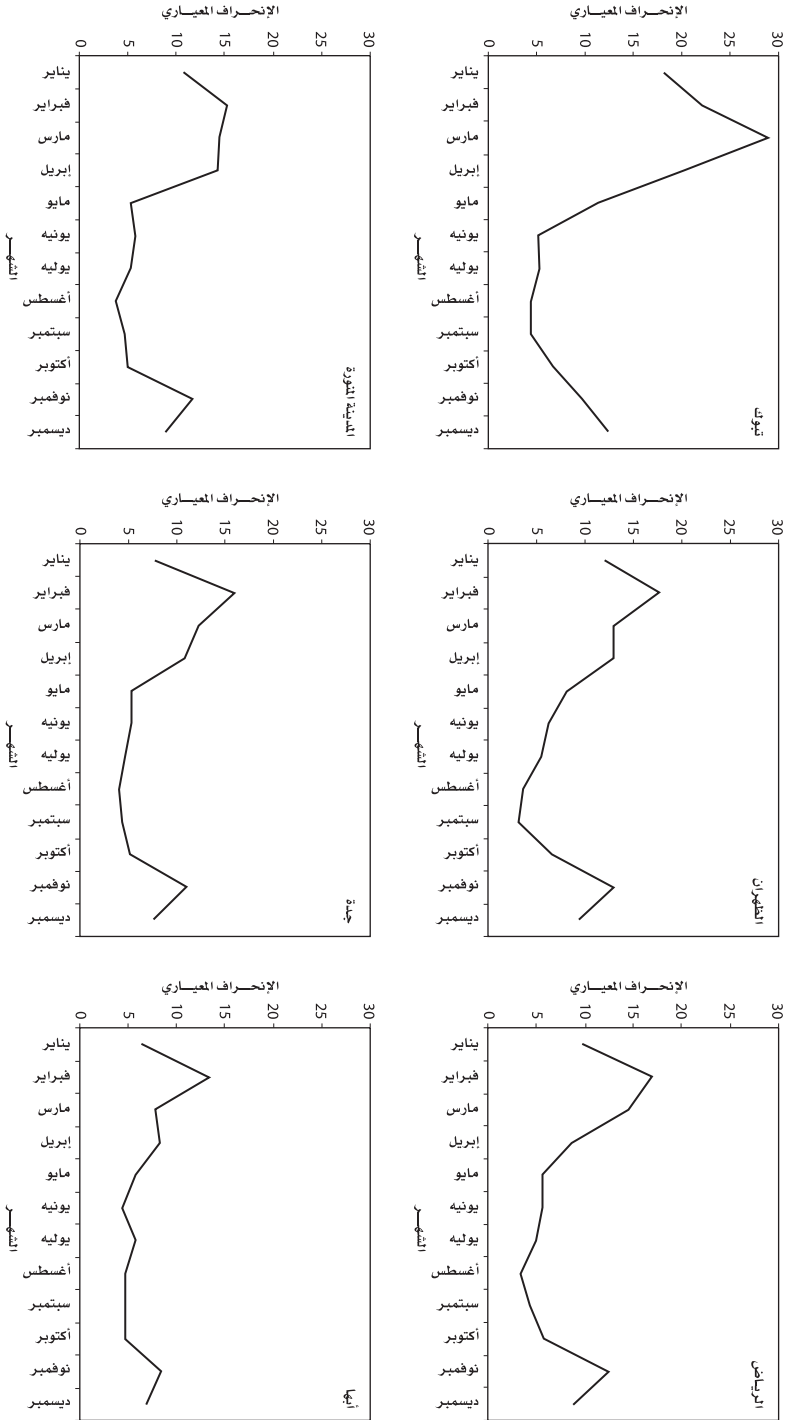
المدينة	المتوسط (DU)	الانحراف المعياري (DU)	القيمة القصوى (DU)	القيمة الصغرى (DU)	المدى (DU)	تغير المدى بالنسبة للمتوسط
تبوك	٢٦٩	١٨,٤	٣٤٤	٢١٠	١٣٤	٥٠٪
الظهران	٢٦٥	١٨	٣٠٧	٢١٨	٨٩	٣٤٪
الرياض	٢٦١	١٨	٢٩٧	٢١٤	٨٣	٣٢٪
المدينة المنورة	٢٦١	١٨	٣٠١	٢١٣	٨٨	٣٤٪
جدة	٢٦٠	١٩	٣٠٠	٢١٣	٨٧	٣٣٪
أبها	٢٥٧	٢١	٢٩٧	٢٠٩	٨٨	٣٤٪

إبريل فوق مدينة تبوك و ٢٢٤ دوبسون في شهر يناير فوق مدينة أبها. كما يوضح شكل ٣ أن قيم الأوزون تكون منخفضة في شهر يناير، ثم تأخذ في الزيادة إلى أن تصل إلى أعلى ما يمكن في فصل الصيف، ثم تتناقص خلال أشهر الخريف، ثم تعود مرة أخرى إلى أدنى مستوياتها في فصل الشتاء. ويتبين من شكل (٣ب) أن هناك اختلافاً بين الأشهر المختلفة لكل مدينة مع ملاحظة الفروق الناتجة عن تغير الفصول من خلال قيم الانحراف المعياري والمدى، حيث وجدت في فصل الصيف أقل منها في فصل الشتاء، وتكون التغيرات قليلة في كل من فصلي الربيع والخريف، وتتوافق هذه النتيجة مع ما توصل إليه الباحثان (Chen and Nunez 1998).

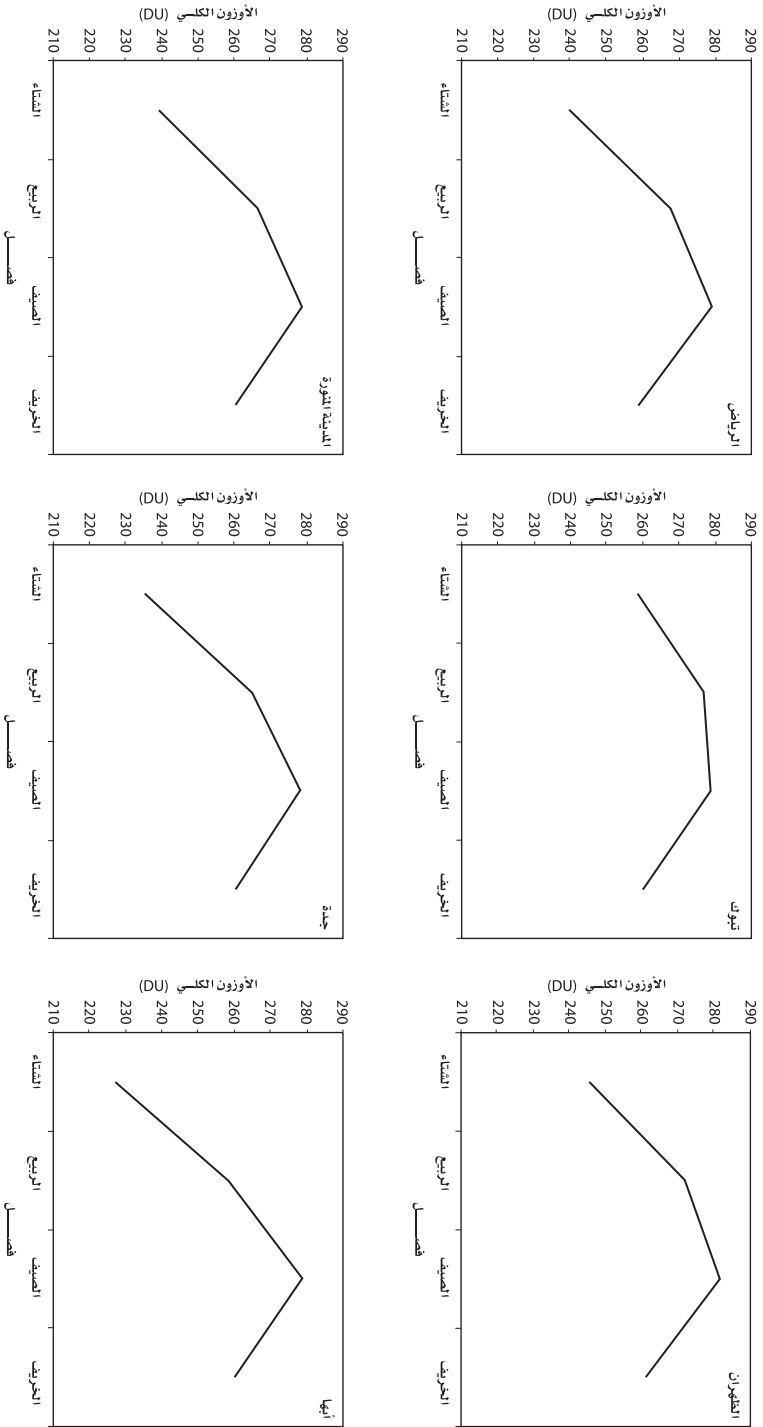
يوضح شكل (٤) التغير الفصلي لقيم الأوزون على مختلف المدن خلال السنة حيث يتبين أن هناك دورة فصلية للأوزون ما عدا مدينة تبوك. ويتبين من الشكل أن أعلى قيم للأوزون الكلي تكون في فصل الصيف فوق جميع المدن التي تم اختيارها بغض النظر عن موقعها الجغرافي، ثم بعد ذلك ويأتي في الدرجة الثانية فصل الربيع، ثم يتبعه فصل الخريف في الدرجة الثالثة وتكون القيم الصغرى لقيم الأوزون على جميع المناطق خلال فصل الشتاء، حيث أن معظم منطقة الدراسة واقعة بين المناطق المدارية وفوق المدارية. كما يبين تحليل البيانات التغيرات الفصلية، حيث وجد أن القيم العظمى في فصل الصيف تبلغ ما بين ٢٧٩ دوبسون و ٢٨٢ دوبسون، والقيم الصغرى في فصل الشتاء تبلغ ما بين ٢٢٧ دوبسون و ٢٥٨ دوبسون فوق مدينة أبها و تبوك على التوالي (شكل ٥). ويوضح شكل (٥) أيضاً تأثير الموقع الجغرافي من حيث خطوط العرض على الأوزون في كل من المدن الواقعة في جنوب وشمال المملكة في فصلي الشتاء والربيع، حيث أن مدينة أبها الأقل في قيم الأوزون والواقعة على خط عرض ١٨ درجة شمالاً، بينما نجد مدينة تبوك والواقعة على خط العرض ٢٨ درجة شمالاً الأعلى في قيم الأوزون، وهذا نتيجة الاختلاف النوعي في حركة الغلاف الجوي خلال هذين الفصلين، من خلال حركة الرياح بسبب الموقع الجغرافي التي تتميز به كل منطقة. إضافة إلى تكون الأوزون على مدار السنة فوق الحزام الاستوائي، ومن ثم ينتقل نحو العروض القطبية بواسطة حركات الهواء في طبقة الاستراتوسفير، وبذلك يكون في أدنى قيمه



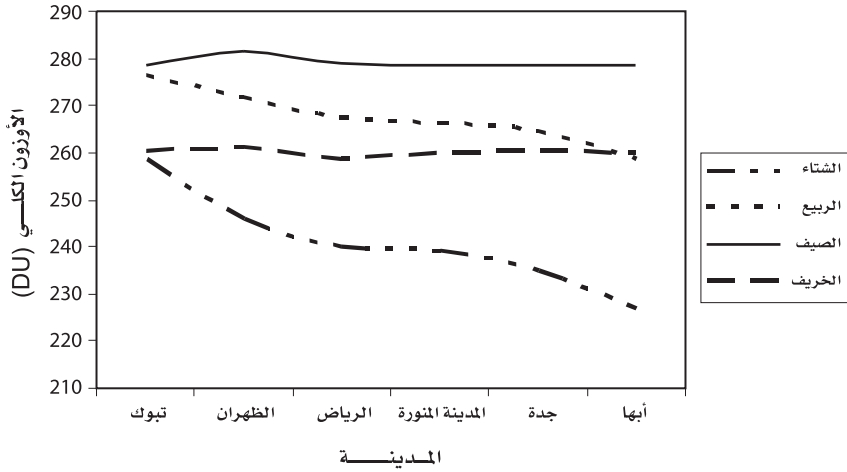
شكل (٣١). متوسط كمية الأوزون الكلي الشهري للمدن المختلفة خلال عام ٢٠٠٤م.



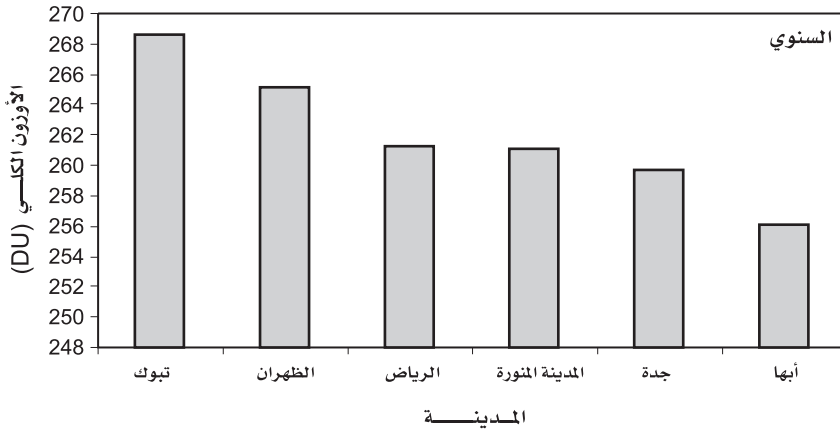
شكل (٣). الانحراف المعياري للأوزون الكلي الشهري للمدن المختلفة خلال عام ٢٠٠٤م.



شكل (٤). الأوزون الكلي الفصلي للمدن المختلفة خلال عام ٢٠٠٤م.



شكل (٥). التغيرات الفصلية للأوزون فوق جميع المدن خلال عام ٢٠٠٤م.



شكل (٦). متوسط كمية الأوزون الكلي لجميع المدن تحت الدراسة خلال عام ٢٠٠٤م.

فوق الحزام المداري، ويزداد مع خطوط العرض. ويوضح شكل (٦) المتوسط السنوي لجميع المدن حيث كانت أعلى قيمة ٢٦٩ دوبسون فوق مدينة تبوك، وأقل قيمة ٢٥٦ دوبسون فوق مدينة أبها.

لمعرفة العلاقة بين قيم الأوزون عند المحطات المختلفة تم حساب معامل الارتباط بين قيم الأوزون عند هذه المحطات (جدول ٣). وقد وجد أن قيم معامل الارتباط تتراوح

من ٤٣٪ (بين مدينة أبها ومدينة تبوك) إلى ٩٤٪ (بين مدينة أبها ومدينة جدة). واتضح أيضاً أن معامل الارتباط يكون أكبر ما يمكن بين المحطات القريبة من بعضها البعض بالنسبة لخطوط العرض، ولها نفس الظروف المناخية، ويتضح ذلك جلياً من ملاحظة قيم معامل الارتباط بين جدة وكل من المدينة وأبها (٩٣٪ و ٩٤٪) على التوالي. هذه النتيجة المهمة تمكنا في المستقبل من حساب قيم الأوزون لمدن لا يقاس بها من أقرب مدن لها في خط العرض ولها نفس الظروف المناخية وبها أجهزة لقياس الأوزون.

تعتبر قيم الأوزون على مدينة أبها من حيث القيمة الصغرى اليومية أو المتوسطات الشهرية منخفضة بشكل ملحوظ. ويعود السبب إلى التغيرات الفصلية إلى الدورة العامة للغلاف الجوي وخاصة في منطقة الاستراتوسفير وذلك بسبب حركة الهواء وما يحمله من أوزون من مكان إلى آخر إضافة إلى عملية التفاعلات الكيميائية الضوئية (Aesawy, et al., 1994). وبما أن السبب في عملية إنتاج وتدمير الأوزون يعتمد على الأشعة الشمسية، فإن الأوزون الناتج بسبب التفاعلات الكيميائية الضوئية يعتمد على شدة الأشعة الشمسية، وهذا ما يفسر قيم الأوزون العظمى في فصل الصيف، حيث تكون الأشعة الشمسية أعلى ما يمكن وقيم الأوزون الصغرى في فصل الشتاء، حيث أن الأشعة الشمسية أقل ما يمكن، إضافة إلى التدرج في التغير خلال أيام وشهور السنة. أما بالنسبة للتغيرات اليومية فهي مرتبطة بتغيرات حالة الطقس.

جدول (٣). معامل الارتباط بين المدن التي تم اختيارها للدراسة.

أبها	جدة	المدينة المنورة	الرياض	الظهران	تبوك	المدينة
٠,٤٣	٠,٥٠	٠,٦٢	٠,٥١	٠,٤٧	١	تبوك
٠,٨٣	٠,٨٥	٠,٨٥	٠,٩٣	١	٠,٤٧	الظهران
٠,٨٨	٠,٩١	٠,٨٩٥	١	٠,٩٣	٠,٥١	الرياض
٠,٨٧	٠,٩٣	١	٠,٨٩٥	٠,٨٥	٠,٦٢	المدينة المنورة
٠,٩٤	١	٠,٩٣	٠,٩١	٠,٨٥	٠,٥٠	جدة
١	٠,٩٤	٠,٨٧	٠,٨٨	٠,٨٣	٠,٤٣	أبها

الخاتمة

تعتبر دراسة تغير الأوزون على المستوى المحلي والإقليمي من القضايا المهمة والشائعة في بحوث ودراسات الغلاف الجوي، حيث أن طبقة الأوزون التي تمثل الدرع الواقي من الأشعة الضارة آخذة في التناقص تدريجياً بسبب زيادة النشاط الصناعي والاقتصادي خلال العقود الماضية، مما ساهم في زيادة انبعاث الملوثات التي تدمر الأوزون، ومن أهمها أكاسيد النيتروجين ومركبات الكلور، والحد من انبعاث هذه الملوثات هو الحل الوحيد لمشكلة تناقص طبقة الأوزون. إن دراسة هذه المشكلة من جميع الجوانب ومراعاة الدقة عند أخذ القيم المختلفة ودراستها دراسة وافية تسهل علينا معرفة حجم المشكلة وأبعادها المختلفة، مما يساعد على إيجاد الحلول المناسبة والعملية. تم عرض ومناقشة التغيرات الزمنية المختلفة خلال عام ٢٠٠٤م فوق بعض مدن المملكة العربية السعودية، حيث يوجد تغير واضح في قيم الأوزون فوق جميع المناطق، سواء كان التغير يومياً، أو شهرياً، أو فصلياً، حيث تكون القيم أعلى ما يمكن في الصيف، وأقل ما يمكن في الشتاء، ويرجع السبب في هذا التغير إلى التفاعلات الكيميائية الضوئية إضافة إلى حركة الرياح، حيث يتكون الأوزون بشكل أساسي فوق المناطق المدارية، ومن ثم ينتقل إلى العروض العليا عن طريق الدورة العامة للرياح، حيث تؤدي دوراً مهماً نحو ارتفاع الأوزون في تلك المناطق. وقد وجد تغير يومي بشكل واضح على جميع المدن، حيث كانت القيم العظمى في فصل الصيف والقيم الصغرى في فصل الشتاء، وكانت أعلى نسبة للتغير بين الصيف والشتاء بالنسبة للمتوسط على مدينة تبوك، وأقل نسبة على مدينة الرياض. أظهرت الدراسة أيضاً أنه يوجد اختلاف ملحوظ في قيم الأوزون بين مدينة وأخرى، حيث اتضح أن قيم الأوزون تقل تدريجياً من الشمال إلى الجنوب نحو خط الاستواء، بما يعني أنه دالة في خطوط العرض. واتضح ذلك جلياً عند حساب معامل الارتباط بين قيم الأوزون عند المحطات المختلفة، حيث وجد أنه أكبر ما يمكن بين المحطات التي لها نفس خط العرض، أو الأقرب من حيث خط العرض، ولها نفس الظروف المناخية. وهذه النتيجة تمكننا مستقبلياً من حساب قيم الأوزون عند بعض المدن من أقرب مدينة لها من حيث خط العرض، ولها نفس الظروف المناخية وبها قياسات للأوزون. وتبقى كمية الأوزون في جميع فصول السنة تنحصر بين ٢٠٠ دوسون

و٣٥٠ دويسون على جميع مناطق المملكة، فلا يوجد انخفاض خطير في تركيز غاز الأوزون، وهذا هو المعدل الطبيعي لغاز الأوزون. من نتائج البحوث التي تتعلق بدراسة الأوزون نرى بوضوح أهمية هذا الموضوع سواء للمختصين أو لغيرهم، فهو يتعلق بهذا الدرع الواقى الذي وضعه الله سبحانه لحمايةنا من أضرار الأشعة. فيجب علينا معرفة وسائل علاج هذه المشكلة والحلول المناسبة لها للمحافظة على طبقة الأوزون من التدمير المستمر لها.

قائمة المراجع

- Aesawy, A.M., Mayhoub, A.B. and Sharobim, W.M.** (1994) Seasonal variation of photochemical and dynamical components of ozone in subtropical regions, *Theor. Appl. Climatol.*, **49**: 241-247.
- Chen, D. and Nunez, M.** (1998) Temporal and spatial variability of total ozone in southwest Sweden revealed by two ground-based instruments, *Int. J. Climatol.*, **18**: 1237-1246.
- Farman, J.C., Gardiner, B.G. and Shanklin, M.R.** (1985) Large losses of total ozone in Antarctica reveal seasonal ClOx:NOx interaction, *Nature*, **315**: 207-210.
- Houghton, T.J.** (1986) *The Physics of Atmospheres*, Cambridge University Press, Cambridge, U.K., 271p.
- James, N.I.** (1994) *Introduction to Circulating Atmospheres*, Cambridge University Press, Cambridge, U.K., 422p.
- Kawahira, K., Iwasaka, Y. and Shi, G.Y.** (2002) The western pacific ozone low in December 2001, *International Symposium on Stratospheric Variations and Climate*, pp: 220-221.
- Kerr, J.B. and McElroy, C.T.** (1993) Evidence for large upward trends of ultraviolet B radiation linked to ozone depletion, *Science*, **262**: 1032-1034.
- Kowalok, M.E.** (1993) Common threads — research lessons from acid rain, ozone depletion, and global warming, *Environment*, **35**(6): 13-38.
- McPeters, R.D.** (1998) *Earth Probe Total Ozone Mapping Spectrometer (TOMS) Data Products User's Guide*, NASA technical publication No. 206895.
- Randel, W.J. and Cobb, J.B.** (1994) Coherent variations of monthly mean total ozone and lower stratospheric temperature, *J. Geophys. Res.*, **99**: 5433-5447.
- Shiotani, M.** (1992) Annual, quasi-biennial, and El Nino-Southern Oscillation (ENSO) time-scale variations in equatorial total ozone, *J. Geophys. Res.*, **97**: 7625-7633.
- Shiotani, M. and Hasebe, F.** (1994) Stratospheric ozone variations in the equatorial region as seen in stratospheric aerosol and gas experiment data, *J. Geophys. Res.*, **99**: 575-584.
- Stolarski, R.S., Bloomfield, P., McPeters, R.D. and Herman, J.R.** (1991) Total ozone trends deduced from Nimbus 7 TOMS data, *Geophys. Res. Lett.*, **18**: 1015.
- Stolarski, R.S., Bojkov, R., Bishop, L., Zerefos, C., Stachelm, J. and Zaaurodny, J.** (1992) Measured trends in stratospheric ozone, *Science*, **256**: 342-349.
- Stolarski, R.S., Krueger, A.J., Schoeberl, M.R., McPeters, R.D., Newman, P.A. and Alpert, J.C.** (1986) Nimbus 7 satellite measurements of the springtime Antarctic ozone decrease, *Nature*, **322**: 808-811.

Taalas, P., Fioletov V. and Supperi, A. (1992) *Long-Term Morphology of Total Ozone Anomalies in the Northern Hemisphere During Winter and Spring*, Quadrennial ozone symposium, Charlottesville, USA, p. 289.

World Meteorological Organization (WMO) (2003) *Scientific Assessment of Ozone Depletion: Global Ozone Research and Monitoring Project*. Geneva, Report No. 47, 498 p.

A Study of Total Ozone Variation over Some Cities in Kingdom of Saudi Arabia during 2004

A.K. Al-Khalaf

Dept. of Meteorology, Faculty of Meteorology, Environment, and Arid Land Agriculture, King Abdulaziz University, Jeddah, Saudi Arabia

Abstract. The study was done using total ozone data for major cities of Saudi Arabia to examine spatial and temporal variability using statistical and graphical analysis. The main purpose of this study was to gain some understanding of total ozone variability in different time scales (daily, monthly, and seasonally) and to compare different cities with each other to study the spatial variability. The data presented from the Total Mapping Ozone Spectrometer (TOMS) for the year 2004 were used to study total ozone column amounts for a number of different locations including Tabouk, Dhahran, Riyadh, Madinah, Jeddah, Abha in the range of latitudes between 18°N- 28°N. It was found that ozone has temporal and spatial variations. The daily total ozone varied between a maximum value of 344 Dobson (DU) in Tabouk to a minimum value of 209 DU in Abha. The maximum daily average value equaled 269 DU over Tabouk and the minimum daily average value equaled 257 over Abha. The daily range of Tabouk was 134 DU which was approximately 50% of the mean value, whereas the daily range for other cities was between 32% and 34% of the mean value, and the standard deviation for all cities was between 18 and 21 DU. There was a clear seasonal variation with a maximum in spring and summer; and a minimum in fall and winter; whereas the variability was greatest in winter and least in summer for all locations. On a monthly basis, ozone values varied between 287 DU in April over Tabouk and 224 DU in January over Abha. Seasonal values reached maximum in spring and summer with 277 and 282 DU in Tabouk and Dhahran respectively; and minimum values in fall and winter with 259 and 227 DU in Riyadh and Abha respectively. The correlation coefficient was computed among cities for total ozone values. Results showed that correlation coefficient values were high among the stations that are close to each other by latitude circles and have similar climatic conditions.