



د/ مبارك آل سالم

استخدام خوارزمية IDW للتنبؤ بنمط التوزيع المكاني لغاز الأوزون...

Humanities and Educational
Sciences Journal



مجلة العلوم التربوية
والدراسات الإنسانية

ISSN: 2617-5908 (print)

ISSN: 2709-0302 (online)

استخدام خوارزمية IDW للتنبؤ بنمط التوزيع
المكاني لغاز الأوزون O_3 في المنطقة المركزية
لمدينة مكة المكرمة (*)

د/ مبارك سعد آل سالم
تخصص الجغرافيا البيئية بقسم الجغرافيا
كلية الآداب والعلوم الإنسانية
جامعة الملك خالد- السعودية

تاريخ قبوله للنشر 20/9/2023

<http://hesj.org/ojs/index.php/hesj/index>

(*) تاريخ تسليم البحث 28/8/2023

(*) موقع المجلة:

العدد (35)، ديسمبر 2023م

49

مجلة العلوم التربوية والدراسات الإنسانية



استخدام خوارزمية IDW للتنبؤ بنمط التوزيع المكاني لغاز الأوزون O₃ في المنطقة المركزية لمدينة مكة المكرمة

د/ مبارك سعد آل سالم
تخصص الجغرافيا البيئية بقسم الجغرافيا
كلية الآداب والعلوم الإنسانية
جامعة الملك خالد- السعودية

الملخص

يهدف البحث إلى تحديد نمط توزيع غاز الأوزون والتغيرات التي طرأت عليه في مختلف فصول السنة للمدة بين عامي (2013 - 2015) في المنطقة المركزية بمدينة مكة المكرمة باستخدام خوارزمية وزن المسافة المعكوسة (IDW)، وأكدت نتائج البحث تباين توزيع غاز الأوزون في أحياء مدينة مكة المكرمة زمنيًا ومكانيًا، حيث برزت أعلى متوسطات الأوزون في فصل الشتاء في الأحياء السكنية جنوب المسجد الحرام، وانخفضت بالأحياء الواقعة شرق المسجد الحرام، وفي فصل الربيع ظل متوسط الأوزون مرتفع في الأحياء الجنوبية للمسجد الحرام، وانخفض في الأحياء المحاذية للمسجد الحرام من مختلف الجهات، وفي فصل الصيف يلاحظ أن أعلى متوسطات غاز الأوزون ظهرت شرق وجنوب شرق المسجد الحرام، وبرزت أقل المتوسطات بمحيط وغرب المسجد الحرام، وفي فصل الخريف امتدت المنطقة التي تتصف بارتفاع متوسط غاز الأوزون في الأحياء الواقعة شرق وجنوب المسجد الحرام، واتسمت الأحياء المحاذية للمسجد الحرام وشماله بانخفاض معدل غاز الأوزون.

الكلمات المفتاحية: نظم المعلومات الجغرافية، وزن المسافة المعكوسة، الأوزون، الاستيفاء، المنطقة المركزية لمدينة مكة.



Using the IDW algorithm to predict the spatial distribution pattern of ozone O₃ in the central region of the Holy City of Mecca

Dr. Mubarak Saad Al Salem

Specialization in Environmental Geography
in the Department of Geography
Faculty of Arts and Humanities
King Khalid University - Saudi Arabia

Abstract

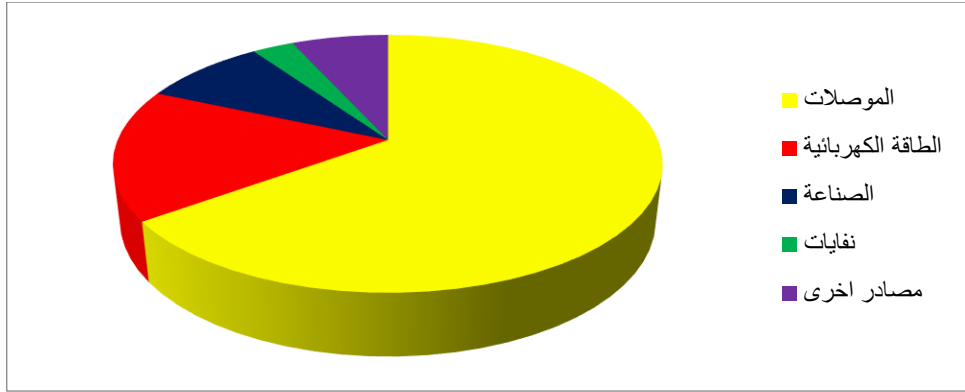
The research aims to determine the distribution pattern of ozone gas and the changes that occurred to it in different seasons of the year for the period between 2013-2015 in the central region of the city of Makkah using the inverse distance weight (IDW) algorithm. And spatially, where the highest average ozone appeared in the winter in the residential neighborhoods south of the Grand Mosque, and decreased in the neighborhoods located east of the Grand Mosque, and in the spring the average ozone remained high in the southern neighborhoods of the Grand Mosque, and decreased in the neighborhoods adjacent to the Grand Mosque from various sides, and in the summer It is noted that the highest averages of ozone gas appeared to the east and southeast of the Grand Mosque, and the lowest averages emerged in the vicinity and west of the Grand Mosque.

Keywords: Geographic information systems, inverse distance weight, ozone, interpolation, central region of Mecca.

مقدمة البحث:

التلوث البيئي يعني الاخلال بالطبيعية وتوازنها نتيجة التغير الكمي أو الكيفي في العناصر الطبيعية التي تؤثر بشكل مباشر في صحة الإنسان ومحيطه، فالتغير الكمي يعني زيادة نسبة بعض المواد التي قد تكون سامه مغيره في تركزها الطبيعي، اما التغير الكيفي فيعني التغير الناتج عن إضافة مركبات صناعية غريبة على الأنظمة البيئية، (الأمين وزيلح، 2015، 1).

ويوضح الشكل رقم (1) مصادر تلوث الهواء، حيث كان لنمو وتطور السكان في جميع مجالات الحياة تأثيراً سلبياً على جودة الهواء في جميع انحاء العالم، ويعد تلوث الهواء وتردي جودته من أهم المشكلات البيئية التي تورق سكان المدن، ويرجع ذلك إلى تفاقم المخلفات الغازية الناتجة عن الأنشطة البشرية مثل عوادم المركبات الناجم عن استهلاك الوقود والتصنيع والتحضر والبناء وتوليد الطاقة، وانتشار الأبراج الشاهقة التي تؤثر على تدفق الهواء، وتشتت وانتشار الملوثات، وتشجع المدن على تعرض السكان للغازات الضارة بسبب تصاعد السكان ونشاط مركباتهم، ويتفاوت تركز الملوثات خلال (24) ساعة مع السمات الطبوغرافية، حيث يؤثر الارتفاع في سرعة الرياح واتجاهها في مكان وزمان معينين (Kanakiya et al, 2015, 1120).



شكل (1) مصادر تلوث الهواء

المصدر: الأمين وزيلح، (2015، 1)

وتلوث الهواء ظاهرة مكانية وزمنية ظهرت في العقود القليلة الماضية، وعلى الرغم من تسجيل مستويات عالية من تلوث الأوزون في مناطق المرور والمدن الصناعية المكثفة، لذلك لوحظ وصول تأثيراته إلى المناطق الريفية، ويعد التلوث بالأوزون عابر للحدود الطبيعية، وفي المدة الأخيرة تم استخدام أجهزة حساسية لمراقبة تركز الأوزون، وأصبح من الواضح أن تلوث الأوزون لا يقتصر على البيئات الحضرية، بل امتد على المستويات الإقليمية والعالمية، بسبب حركة الرياح، وتقلب الظروف الجوية، وتباين درجات الحرارة إقليمياً (Kethireddy, et al, 2014, 984).



وتسبب الملوثات الهوائية بعض الأمراض النفسية وأمراض القلب والشرابين والتهاب الرئة، وتزداد خطورة هذه التأثيرات الصحية مع تغيرات الرطوبة النسبية، وارتفاع درجات الحرارة كما هو الحال في مدينة مكة المكرمة، أو زيادة الجهد المبذول الذي يتطلبه أداء نسك الحج والعمرة (الغامدي وآخرون، 2017، 46). الأوزون ملوث ثانوي لا ينبعث مباشرة إلى الجو، ولكن ينشأ بواسطة تفاعلات كيميائية لأنواع أخرى منبعثة، ويتشكل الأوزون في الغلاف الجوي بواسطة تفاعلات كيميائية ضوئية (Wang, et al, 2017, 1)، ويتكون من تفاعلات ضوئية كيميائية تشمل أكاسيد النيتروجين والمركبات العضوية المتطايرة خاصة الهيدروكربونات في وجود الاشعاع الشمسي ينبثق ثاني أكسيد النيتروجين لتشكيل أكسيد النيتريك وذرة الأكسجين، ويتكون الأوزون بواسطة الأكسجين الجزيئي (O_2) الذي يتفاعل مع ذرة الأكسجين (O) (Salve, et al, 2007).

ويعد الأوزون أحد ملوثات الهواء الأكثر إثارة للقلق، وينتج أساسًا عن طريق العمليات الكيميائية الضوئية التي تشمل أكاسيد النيتروجين والمركبات العضوية المتطايرة في الأجزاء السفلية من الغلاف الجوي، وتصبح مستويات الأوزون عالية بشكل خاص في المناطق القريبة من انبعاث الأوزون خلال فصل الصيف عندما يكون هناك ركود في حالات الأرصاد الجوية، وارتفاع معدلات درجات الحرارة (García, et al, 2010, 919).

ويعد غاز الأوزون من أهم العناصر الملوثة لهواء المدن، وتطورت العديد من النماذج لتقييم تلوث الهواء داخل المدن في إطار البحوث الصحية التي تشكل أولوية في الأبحاث المستقبلية، وزاد الاهتمام بتقييم مدى تعرض الهواء للتلوث في النطاق الداخلي للمدن بسبب مساهمة حركة المرور، حيث تتفق معظم الدراسات على أن الطلب على النقل يتجاوز التحسينات في تقنيات خفض الانبعاث (Jerrett, et al, 2005, 185).

أصبح تركيز الأوزون واحدًا من أهم ملوثات الهواء، ويتكون في الغلاف الجوي عندما تقوم أشعة الشمس بتقسيم جزيئات الأكسجين إلى ذات مفردة، وتتحد هذه الذرات مع الأكسجين لتشكيل جزيئي ثلاثي الأكسجين، والمكون الرئيس من الضباب الدخاني، ويقود تركيز الأوزون إلى الاضرار بصحة الإنسان، كما يمكن أن يتسبب في التأثير السلبي على النظم البيئية والمواد الملباني والأعمال الفنية والنبات والتربة ومدى الرؤية، كما أن تركيز الأوزون بمعدل يتجاوز (40) جزء في المليون يلحق الاضرار في المحاصيل وإنتاج الكتلة الحيوية، ويصل تركيز الأوزون في طبقة التروبوسفير بنحو (10) جزء من المليون على المحيطات الاستوائية، إلى (100) جزء من البليون فوق الأرض، ويمكن أن يتجاوز ذلك في المناطق الحضرية الملوثة، ويعتمد هذا التغير في زيادة تركيز الأوزون على توافر الإشعاع الشمسي ودرجة الحرارة والرياح والارتفاع، ويزداد متوسط مستوى الأوزون السطحي بسرعة في البلدان النامية، ويتناقص ببطء في البلدان المتقدمة (Sulaiman, et al, 1-2).



وقد وضعت منظمة الصحة العالمية حدًا أقصى قدره (100 ميكروجرام/م³) لمعدل التعرض اليومي للأوزون عند مستوى سطح الأرض، لأن تلوث الهواء تحت هذا المعدل يوفر حماية كافية للصحة العامة، وعلى الرغم من أن بعض الآثار الصحية قد تحدث دون هذا المستوى، حيث أكدت الأدلة العلمية الحديثة المتعلقة بالجوانب الصحية لتلوث الهواء الآثار الضارة للأوزون على صحة الإنسان عند مستويات أقل من القيم التي وضعتها منظمة الصحة العالمية، ويؤدي تركيز الأوزون على المستوى الأرضي إلى خلل وظيفي في القلب والأوعية الدموية والجهاز التنفسي، وتسهم في زيادة معدلات الوفيات خاصة بالنسبة للأشخاص المسنين، فقد أدت زيادة قدرها (21.3 ميكروجرام/م³) خلال ثلاثة أيام إلى زيادة الوفيات بنسبة (6.6%) في الموسم الحار بسبب أمراض الجهاز التنفسي بمونتريال، وفي الصين انعكست زيادة قدرها (10 ميكروجرام/م³) من الحد الأقصى لمتوسط الأوزون في (8) ساعات إلى تزايد معدل وفيات القلب والأوعية الدموية، ووفيات الجهاز التنفسي بنسبة (0.42%) (Wang, et al, 2017).

وينتج عن تناول طبقة الأوزون الواقية من أشعة الشمس ارتفاع حالات الإصابة بسرطان الجلد وبعض الأمراض الجلدية الأخرى، بسبب التعرض للأشعة فوق البنفسجية (عبدالسلام، 2009، 139)، وعلى الرغم من أن متوسط غاز الأوزون في المنطقة المركزية لمدينة مكة لم يتجاوز الحد المسموح به من قبل منظمة الصحة العالمية، حيث تراوح المتوسط بين (20.3 - 30 ميكروجرام /م³)، لكن يلاحظ من خلال عملية التحليل المكاني لتوزيع غاز الأوزون باستخدام نظم المعلومات الجغرافية أن هناك تباين في التوزيع من مكان لآخر ومن فصل إلى آخر في مدينة مكة المكرمة.

مشكلة البحث:

تمكن مشكلة البحث فيما توصلت إليه نتائج الدراسات الحديثة لارتفاع تركيز الملوثات التي يتعرض لها السكان والحجاج والمعتمرين في أماكن تواجدهم وتنقلاتهم وخاصة بالمنطقة المركزية والشوارع والطرق والأنفاق المؤدية للمسجد الحرام (الغامدي، وآخرون، 2017، 47)، في الوقت نفسه تشهد مدينة مكة المكرمة نموًا سكانيًا وتطورًا عمرانيًا سنويًا، ويرافق ذلك تزايد احتياجات السكان من المنتجات الصناعية ووسائل النقل وغيرها، وينعكس ذلك سلبيًا على جودة الهواء بين مده وأخرى، وهذا يؤثر على صحة سكان المدينة وزوارها، حيث تستقبل المدينة ما يقارب ثلاثة ملايين حاج سنويًا، وتوجد في المدينة ثلاث محطات للرصد البيئي للملوثات (الحرم - العزيزية - المسفلة)، وتتركز هذه المحطات وسط المدينة، مما يعني أن هناك مشكلة أخرى تمكن في عدم معرفة نمط توزيع الملوثات في المدينة، وبأبي غاز الأوزون في مقدمتها.

أهمية البحث:

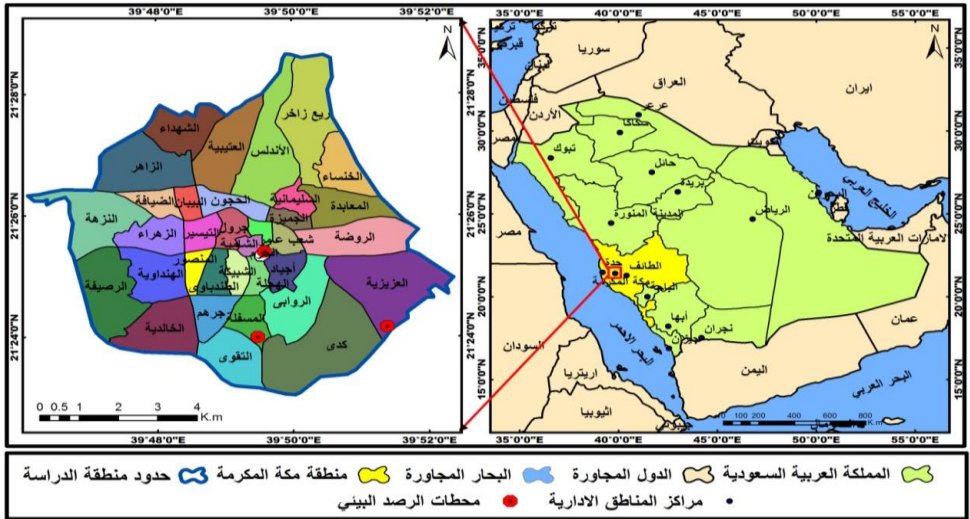
يحتل البحث توزيع الأوزون باهتمام كبير بين علماء البيئة فإنتاج خريطة لتلوث الهواء بغاز الأوزون تعد مصدرًا هامًا للمعلومات لدى صانع القرار، وبذلك تكمن أهمية البحث في استخدام خوارزمية (IDW) في بيئة نظم المعلومات الجغرافية للتنبؤ والحصول على معلومات حيوية لنمط توزيع غاز الأوزون في المنطقة المركزية لمدينة مكة المكرمة، والتغيرات التي تطرأ على هذا التوزيع بين فصل وآخر بين عامي (2013 - 2015) بما يساعد على وضع الخطط الملائمة لمواجهة الآثار التي قد تنعكس على الإنسان والبيئة في المدينة.

هدف البحث:

التنبؤ بنمط توزيع غاز الأوزون وتغيراته في المنطقة المركزية لمدينة مكة المكرمة خلال فصول السنة الأربعة للمدة بين عامي (2013 - 2015) باستخدام خوارزمية (IDW) في بيئة نظم المعلومات الجغرافية.

منطقة البحث:

تقع منطقة البحث مكانيًا كما يوضح الشكل رقم (2) غرب المملكة العربية السعودية ضمن المنطقة الإدارية لمكة المكرمة، وتقع المنطقة فلكيًا بين دائرتي عرض (21.38° - 21.48°) شمالًا، وبين خطي طول (39.77° - 39.88°) شرق خط غرينتش، وتبلغ مساحة منطقة البحث (62.29 كم²)، وتضم المنطقة المركزية لمدينة مكة المكرمة (33) حيًا سكنيًا تتباين من حيث المساحة وعدد السكان، ويقع في إطار منطقة البحث المسجد الحرام الذي تهوي إليه افئدة المسلمين من مختلف بقاع الأرض، مما يعطي أهمية إضافية لموضوع البحث في منطقته.





دراسات سابقة:

من ضمن دراسات تلوث الهواء في مدينة مكة المكرمة دراسة (نصر الله، 2008) برنامج تعرض الحجاج والمعتمرين للملوثات الهواء، ودراسة (سروجي، 2010) عن الضوضاء في المسجد الحرام، ودراسة (تركي حبيب الله، 2011) البرنامج البحثي لتعرض الحجاج والمعتمرين للملوثات الهواء بمكة المكرمة والمشاعر المقدسة، ومن الدراسات الأخرى طبق (Matějíček, et al, 2006) منهج قائم على نظم المعلومات الجغرافية لتحليل المكاني والزمني للتلوث البيئي في المناطق الحضرية: دراسة حالة مدينة براغ، وأكدت نتائج استخدام خوارزمية (kriging) تركيز غاز الأوزون في مفترق الطرق مع حركة المرور الكثيفة مقارنة بالمناطق المحيطة، واستخدم (García, et al, 2010) التحليل الاحصائي الجغرافي في رسم خرائط توزيع الأوزون حيث تم اشتقاق خرائط توزيع الأوزون التنبؤية لجميع نقاط منطقة الدراسة التجريبية باستخدام خوارزمية (kriging)، وبالتالي تم توفير معلومات مفيدة لتقييم مخاطر الأوزون عن طريق الخرائط، واستخدم (Kethireddy, et al, 2014) الاستقراء الجغرافي المكاني في رسم خرائط تلوث الأوزون في طبقة التروبوسفير، حيث استخدم البحث خوارزمية (kriging) في التنبؤ بتوزيع غاز الأوزون، ورسم خرائطها المكانية شرق ولاية تكساس، واستخدم (Kanakiya et al, 2015) خوارزيات الاستيفاء (kriging, Spline, IDW) ضمن بيئة نظم المعلومات الجغرافية في التحليل المكاني والزمني للملوثات الهواء بالأتربة الصدرية والأوزون وأكاسيد النيتروجين في مدينة بونه، ورسم (Adedeji, et al, 2016) خرائط التلوث الجوي ذات الصلة بحركة المرور باستخدام تقنية نظم المعلومات الجغرافية، وتم تحديد الخصائص المكانية والزمانية للملوثات الهواء في نيجيريا بالاعتماد على عينات تم أخذها من تقاطع الطرق، وتم تحليل توزيع تركيز العناصر المختلفة في الهواء باستخدام خوارزمية (kriging)، وتطرق (Sulaiman, et al, 2017) لتوزيع الأوزون في وادي كلانج في ماليزيا باستخدام أدوات التحليل المكاني في نظم المعلومات الجغرافية، وأوصى البحث في أن يتم رصد استخدام الأراضي الطبيعية، والتحكم فيها من قبل الحكومة للتأكد من أن إنتاج الأوزون يوميًا لا يتجاوز المسموح فيه، وتناول (Wang, et al, 2017) تقييم الأنماط المكانية والزمانية للأوزون المرصود في مستوى سطح الأرض في الصين، وتم في البحث تحليل التنوع اليومي والشهري والسنوي لتركيزات الأوزون في المناطق التي تتصف بكثافة سكانية عالية، وأظهرت نتائج البحث لست مدن التباين، حيث يرتفع في الصيف، ويصل أدنى مستوياته في الشتاء.

منهجية البحث:

يركز البحث على دراسة نمط توزيع الأوزون في المنطقة المركزية لمدينة مكة المكرمة المحيطة بالمسجد الحرام، أي المنطقة التي يتركز فيها السكان وزوار بيت الله الحرام، وتتركز فيها محطات الرصد البيئي، فبعد جمع البيانات ثم حساب المتوسطات الفصلية؛ ومن ثم تم استخدام خوارزمية (IDW) للتنبؤ بتوزيع غاز الأوزون، وبالتالي تدرجت منهجية البحث كما يأتي:



1- جمع بيانات غاز الأوزون لمحطات الرصد البيئي المتاحة في مدينة مكة المكرمة للأعوام بين عامي (2013 - 2015).

2- حساب المتوسط الشهري لغاز الأوزون في محطات الرصد البيئي.

3- إسقاط المحطات المناخية بمواقعها على شكل نقاط (Point) بالاعتماد على بيانات خطوط الطول ودوائر العرض بالدرجات والدقائق والثواني باستخدام برنامجي (Excel, Arc Map).

4- ادراج بيانات المتوسطات الفصلية لغاز الأوزون المحسوبة بالخطوة الثانية ضمن قاعدة البيانات الوصفية لكل محطة في برنامج (Arc Map).

5- استخدام خوارزمية (IDW) ضمن أدوات الاستكمال (interpolation) ببرنامج (Arc map) للتنبؤ بنمط توزيع غاز الأوزون في المنطقة المركزية لمدينة مكة المكرمة بالمعادلة.

$$IDW = \frac{\sum_{i=1}^N z_i * d_i^{-n}}{\sum_{i=1}^N d_i^{-n}} . (Setianto \& Triandini, 2013, p24).$$

حيث:

IDW = قيمة التقدير للمتغير z في النقطة I.

z_i = قيمة العينة في النقطة I.

d_i = المسافة من نقطة العينة إلى النقطة المقدرة.

N = المعامل الذي يحدد الوزن على أساس المسافة.

n = إجمالي عدد التنبؤات.

6- إعادة تصنيف الطبقات الناتجة عن استخدام خوارزمية (IDW).

7- حساب مساحة كل فئة من خلال انشاء عمودين ضمن كل طبقة العمود الأول يمثل المساحة،

وبتطبيق الصيغة الرياضية في (Field calculator) تم حساب المساحة كم²، ويمثل العمود الثاني

نسبة المساحة (%)، وبتطبيق الصيغة الرياضية، وتم حساب نسبة المساحة (%).

مناقشة نتائج البحث:

يرتبط توزيع الملوثات في المدن ومنها غاز الأوزون بالعديد من المتغيرات المكانية لاسيما توزيع الطرق

وكثافة حركة النقل اليومي، والمنشآت الصناعية، وعادة ما يتم استخدام (GIS) لنمذجة كل هذه

المتغيرات للتنبؤ بتوزيع الملوثات المكانية، ودمجها مع نتائج القياسات الميدانية للملوثات، وربطها بتوزيع

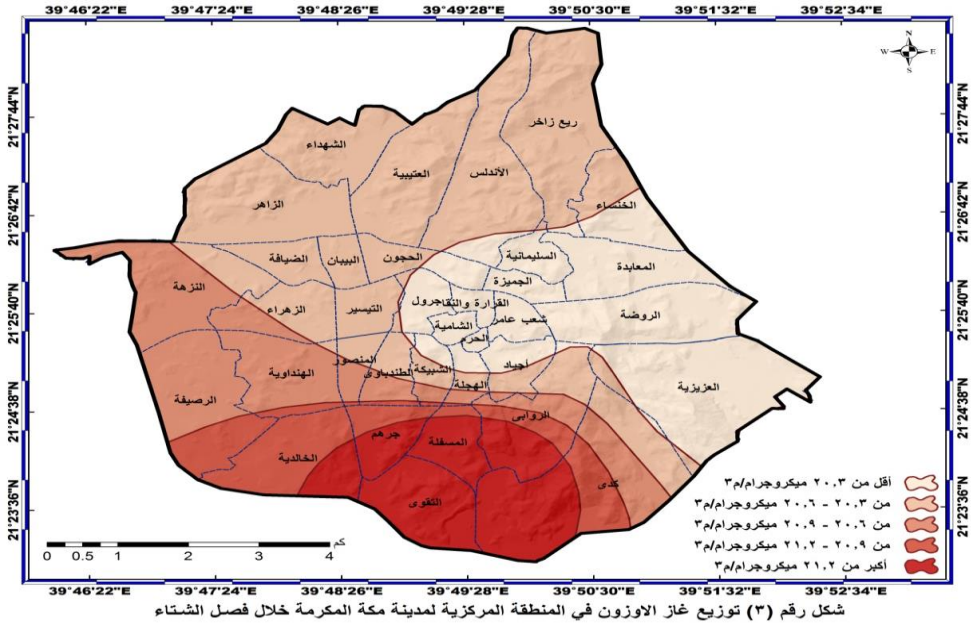
البيانات الصحية لتحديد مدى تأثير تلوث الهواء على السكان بمناطق سكنهم وأعمالهم، وبما أن هدف

البحث كشف نمط توزيع غاز الأوزون وتغيراته في المنطقة المركزية لمدينة مكة المكرمة، وبالتالي سيتم مناقشة

نتائج البحث على النحو الآتي:

أ- توزيع الأوزون في فصل الشتاء:

تظهر نتائج تحليل نمط توزيع متوسط غاز الأوزون في المنطقة المركزية لمدينة مكة المكرمة خلال فصل الشتاء للمدة بين عامي (2013 - 2015) كما يوضح الشكل رقم (3) ارتفاع متوسط غاز الأوزون في الأحياء السكنية جنوب المسجد الحرام (التقوى وكدي والمسفلة وجرهم والخالدية)، وينخفض المتوسط كلما اتجهنا نحو الأحياء السكنية الواقعة شمال وغرب المدينة، وينخفض المتوسط إلى أدنى مستوياته في منطقة المسجد الحرام والأحياء السكنية الواقعة شرق وشمال وغرب المسجد الحرام (العزيزية والروضة والمعابدة والخنساء والسليمانية والجميزة وشعب عامر وأجياد والقرارة والنقاء وجرول والشامية). وبذلك تؤكد نتائج البحث أن إجمالي مساحة المنطقة الأولى التي يقل فيها غاز الأوزون عن (20.3 ميكروجرام/م³)، بلغت (15.26 كم²)، بنسبة (24.5%) من إجمالي مساحة المنطقة، وتقع في الأحياء السكنية وسط وشرق منطقة البحث.



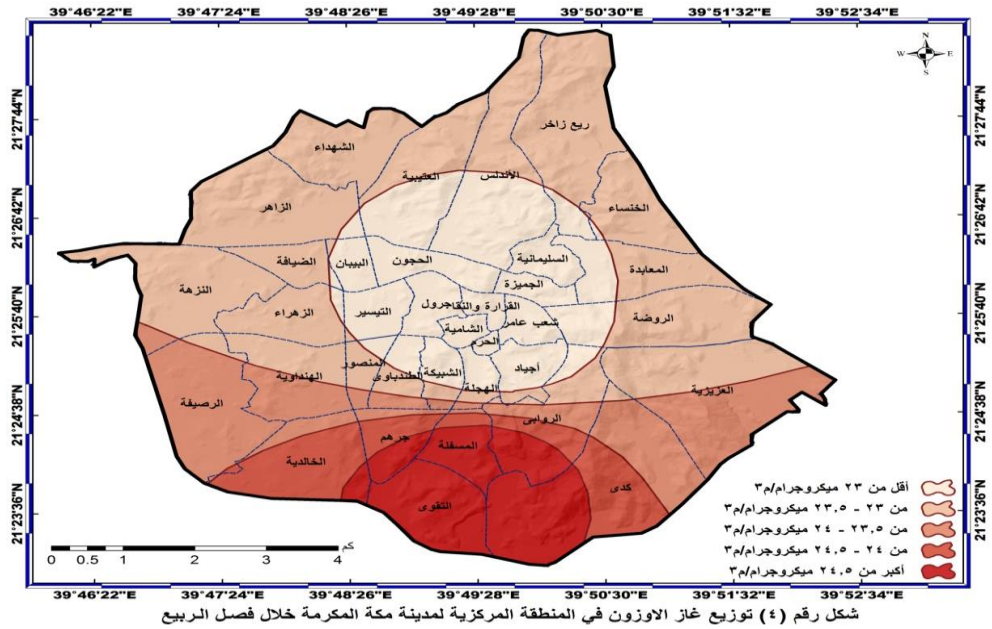
وبلغت مساحة المنطقة الثانية حيث يتراوح غاز الأوزون بين (20.3 - 20.6 ميكروجرام/م³) نحو (24.34 كم²)، بنسبة (39.1%) من إجمالي مساحة المنطقة، ويمتد على شكل حزام من الأحياء الشمالية نحو الوسط والجنوب الشرقي لمنطقة البحث.

وبلغت مساحة المنطقة الثالثة حيث يتراوح غاز الأوزون بين (20.6 - 20.9 ميكروجرام/م³) نحو (9.63 كم²)، بنسبة (15.45%) من إجمالي مساحة المنطقة، ويمتد على شكل نطاق بدءاً بالأحياء الغربية مروراً بالأحياء الوسطى والجنوبية الشرقية للمنطقة.

وبلغت مساحة المنطقة الرابعة حيث يتراوح غاز الأوزون بين (20.9 - 21.2 ميكروجرام/م³) نحو (5.37 كم²)، بنسبة (8.61%) من الإجمالي، ويمتد على شكل نطاق جنوب ووسط المنطقة. كما بلغت مساحة المنطقة الخامسة حيث يتجاوز غاز الأوزون (21.2 ميكروجرام/م³) نحو (7.68 كم²)، بنسبة (12.31%) من إجمالي مساحة منطقة البحث، ويمتد على شكل قوس في الأحياء الجنوبية من المنطقة.

ب- توزيع الأوزون في فصل الربيع:

توضح نتائج تحليل نمط توزيع متوسط غاز الأوزون في المنطقة المركزية لمدينة مكة المكرمة خلال فصل الربيع للمدة بين عامي (2013 - 2015) كما يوضح الشكل رقم (4) ارتفاع متوسط غاز الأوزون في الأحياء السكنية جنوب منطقة البحث كما هو الحال في أحياء: التقوى وكدي والمسلفة وجرهم والخالدية والرصيفة والروابي وجنوب أحياء الهنداوية والمنصور والشبكية والمجلة والعزيرية، وينخفض المتوسط قليلاً كلما اتجهنا نحو الأحياء السكنية الواقعة شمال وغرب وشرق منطقة البحث، وينخفض المتوسط إلى أدنى مستوياته في المسجد الحرام والأحياء السكنية المحاذية للمسجد الحرام كأحياء والشامية وشعب عامر وجرول والتيسير والحجون والسليمانية والبيان والجميزة والسليمانية وجنوب الأندلس والعتيبية وغرب الخنساء والمعابدة والروضة.



وتؤكد نتائج البحث أن إجمالي مساحة المنطقة التي يقل فيها غاز الأوزون عن (23 ميكروجرام/م³) نحو (13.72 كم²)، بنسبة (22%) من إجمالي مساحة المنطقة، وتمتد ضمن أحياء المسجد الحرام



وأحياد والشامية وشعب عامر وجرول واليسير والحجون والسليمانية والبيان والجميزة والسليمانية وجنوب الأندلس والعتيبية وغرب الخنساء والمعابدة والروضة.

كما بلغت مساحة المنطقة حيث يتراوح غاز الأوزون بين (23 - 23.5 ميكروجرام/م³) نحو (26.96 كم²)، بنسبة (43.3%) من إجمالي مساحة المنطقة، ويمتد على شكل حزام يحيط بالمنطقة الأولى ضمن أحياء: ريع ذاخر، والشهداء، والزهرا، والضيافة، والنزهة، والزهراء، وشمال أحياء الأندلس، والعتيبية، والهنداوية، والروابي، والعزيرية، وجنوب أحياء المنصور، والطنطاوي، والشبكية، والهجلة، وأحياد، وشرق أحياء الخنساء، والمعابدة، والروضة.

وبلغت مساحة المنطقة الثالثة حيث يتراوح غاز الأوزون بين (23.5 - 24 ميكروجرام/م³) نحو (10.16 كم²)، بنسبة (16.32%) من إجمالي مساحة المنطقة، وتمتد على شكل حزام عريض في الأطراف وأقل سمكاً في الوسط ليمتد من حي الروضة غرباً إلى حي العزيرية شرقاً.

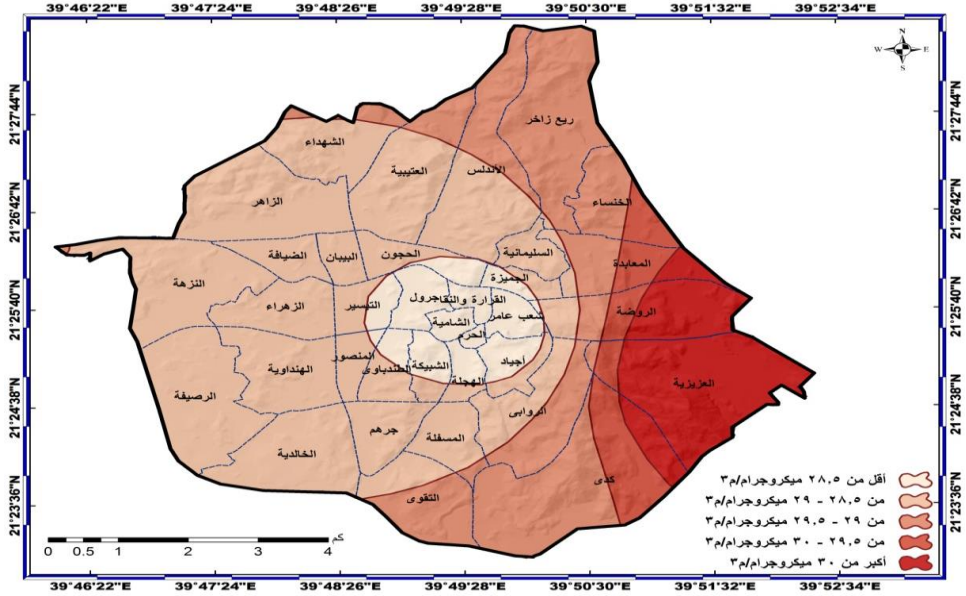
وبلغت مساحة المنطقة الرابعة حيث يتراوح غاز الأوزون بين (24 - 24.5 ميكروجرام/م³) نحو (4.76 كم²)، بنسبة (6.64%) من إجمالي مساحة المنطقة، ويمتد على شكل قوس يبدأ من حي الخالدية غرباً، وحتى حي كدي شرقاً.

وبلغت مساحة المنطقة الخامسة حيث يتجاوز (24.5 ميكروجرام/م³) نحو (6.67 كم²)، بنسبة (10.7%) من إجمالي مساحة المنطقة، ويمتد على شكل نصف دائرة في الأحياء السكنية جنوب منطقة البحث.

ج- توزيع الأوزون في فصل الصيف:

تؤكد نتائج حساب متوسط غاز الأوزون في منطقة البحث ارتفاع متوسط غاز الأوزون في فصل الصيف مقارنة ببقية فصول السنة، الأمر الذي يتفق مع ما توصلت إليه عدد من الدراسات السابقة لغاز الأوزون في مدن أخرى.

وعليه تشير نتائج تحليل نمط توزيع متوسط غاز الأوزون في المنطقة المركزية لمدينة مكة المكرمة خلال فصل الصيف للمدة بين عامي (2013 - 2015) كما يوضح الشكل رقم (5) ارتفاع متوسط غاز الأوزون في الأحياء السكنية شرق منطقة البحث كما هو الحال في أحياء: العزيرية، والروضة، والمعابدة، والخنساء، وكدي، وينخفض المتوسط كلما اتجهنا غرباً في أحياء: ريع ذاخر، وغرب الخنساء، والمعابدة، والروضة، وكدي، والتقوى، وينخفض المتوسط أكثر في الأحياء السكنية الواقعة غرب منطقة البحث، ويصل المتوسط إلى أدنى مستوياته في منطقة المسجد الحرام والأحياء السكنية المحاذية للمسجد الحرام كما هو الحال في أحياء: أحياد، والشامية، وشعب عامر وجرول، والقرارة، والنقاء، والهجلة، والشبكية، وشرق اليسير، وشرق الحجون، وغرب الجميزة، وشمال الطنطاوي.



وتوضح نتائج البحث أن إجمالي مساحة المنطقة التي يقل فيها غاز الأوزون عن (28.5 ميكروجرام/م³) بلغت (5 كم²)، بنسبة (8.11%) من إجمالي مساحة المنطقة، ضمن منطقة المسجد الحرام والأحياء المحيطة به كما هو الحال في أحياء: أجياد، والشامية، وشعب عامر، وجرول، والقرارة، والنقاء، والهجلة، والشبكية، وشرق التيسير، وشرق الحجون، وغرب الجميزة، وشمال الطنطاوي.

وبلغت مساحة المنطقة الثانية حيث يتراوح غاز الأوزون بين (28.5 - 29 ميكروجرام/م³) نحو (32.12 كم²)، بنسبة (51.59%) من إجمالي مساحة المنطقة، وتمتد على شكل حزام يحيط بالمنطقة الأولى في أحياء: الشهداء، والزاهر، والضيافة، والبيان، والحجون، والنزهة، والزهران، والهنداوية، والرصيصة، والخالدية، وجرهم، والسليمانية، وجنوب أحياء: الأندلس، والعتيبة، والطنطاوي، والشبكية، والهجلة، وأجياد، وغرب أحياء: التيسير والمنصور، والمعابدة، والروضة، والروابي، وشرق حي الجميزة.

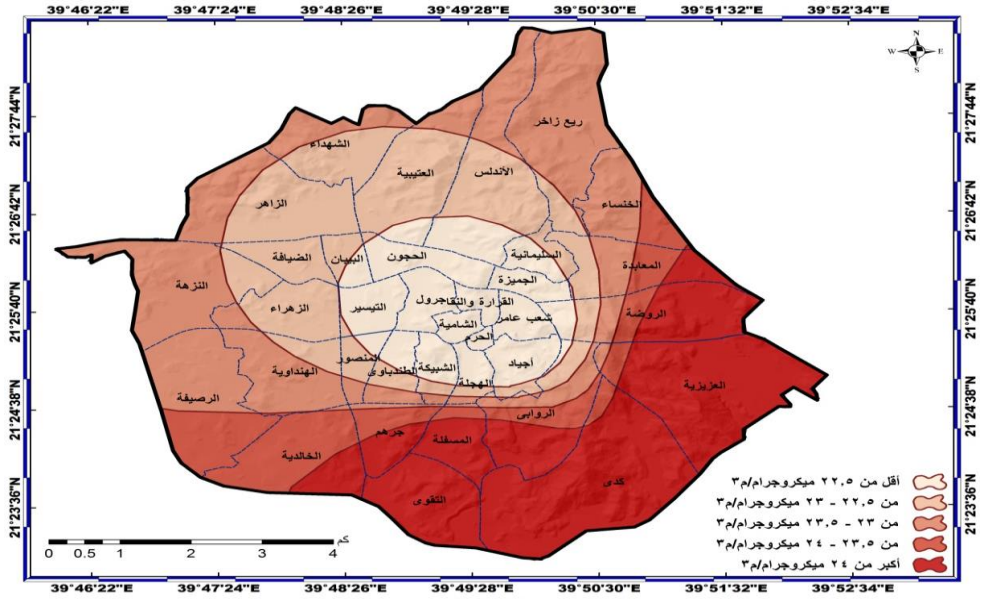
وبلغت مساحة المنطقة الثالثة حيث يتراوح غاز الأوزون بين (29 - 29.5 ميكروجرام/م³) نحو (14.9 كم²)، بنسبة (23.93%) من إجمالي مساحة المنطقة، ويمتد على شكل حزام عريض في الأطراف الشمالية والجنوبية، وأقل سمكاً في الوسط، ويمتد هذا النطاق من حيي ريع ذاخر والأندلس شمالاً، وحتى حي كدي والتقوى جنوباً.

كما بلغت مساحة المنطقة الرابعة حيث يتراوح غاز الأوزون بين (29.5 - 30 ميكروجرام/م³) نحو (3.37 كم²)، بنسبة (5.4%) من إجمالي مساحة المنطقة، ويمتد على شكل نطاق ضيق يبدأ من أحياء: الخنساء، والمعابدة، وينتهي شرق حي كدي.

وبلغت مساحة المنطقة الخامسة حيث يتجاوز غاز الأوزون (30 ميكروجرام/م³) نحو (6.83 كم²)، بنسبة (10.95%) من إجمالي مساحة المنطقة، وتمتد هذه المنطقة ضمن الأحياء السكنية الواقعة شرق منطقة البحث كما هو الحال في حي العزيزية، وشرق أحياء المعابدة، والروضة، وكدي.

د- توزيع الأوزون في فصل الخريف:

تشير نتائج تحليل نمط توزيع متوسط غاز الأوزون في المنطقة المركزية لمدينة مكة المكرمة خلال فصل الخريف للمدة بين عامي (2013 - 2015) كما يوضح الشكل رقم (6) ارتفاع متوسط غاز الأوزون في الأحياء السكنية جنوب شرق وجنوب منطقة البحث كما هو الحال في أحياء: العزيزية وكدي والتقوى وجنوب المسفلة والروابي وشرق الخالدية وجرهم والمعابدة والروضة، وينخفض المتوسط كلما اتجهنا شمالاً، ويصل المتوسط إلى أدنى مستوياته في منطقة المسجد الحرام والأحياء السكنية المحاذية له كما هو الحال في أحياء: أجياد والشامية وشعب عامر وجرول والقرارة والنقاء والمهجلة والشبكية والتميسير والحجون والسليمانية والجميزة والطنطاوي، وشرق حيي البيان والمنصور، وجنوب حيي الأندلس والعتيبية.



شكل رقم (٦) توزيع غاز الأوزون في المنطقة المركزية لمدينة مكة المكرمة خلال فصل الخريف

وتوضح نتائج البحث أن إجمالي مساحة المنطقة التي يقل فيها غاز الأوزون عن (22.5 ميكروجرام/م³) نحو (8.8 كم²)، بنسبة (14.14%) من إجمالي مساحة المنطقة، وتقع هذه المنطقة ضمن المسجد الحرام والأحياء المحيطة به كما هو الحال في أحياء: أجياد والشامية وشعب عامر وجرول والقرارة والنقاء والمهجلة والشبكية والتميسير والحجون والسليمانية والجميزة والطنطاوي وشرق البيان والمنصور وجنوب الأندلس والعتيبية.



وبلغت مساحة المنطقة الثانية حيث يتراوح غاز الأوزون بين (22.5 - 23 ميكروجرام/م³) نحو (13.45 كم²)، بنسبة (51.59%) من إجمالي مساحة المنطقة، ويمتد على شكل حزام يحيط بالمنطقة الأولى كما هو الحال في أحياء: الأندلس والعتيبية والشهداء والزاهر والبيان والضيافة والنزهة والزهراء والمنصور، وجنوب أحياء الطنطباوي والهجلة وأجياد، وشمال أحياء الروابي وغرب الروضة والمعابدة والخنساء، وجنوب غرب ريع ذاخر.

وبلغت مساحة المنطقة الثالثة حيث يتراوح غاز الأوزون بين (23 - 23.5 ميكروجرام/م³) نحو (16.73 كم²)، بنسبة (26.86%) من إجمالي مساحة المنطقة، وتمتد على شكل نطاق يلتف حول المنطقة الثانية ليمتد في أحياء: ريع ذاخر وشمال الأندلس والعتيبية والشهداء، وغرب الزاهر والنزهة والرصيفة والهنداوية، وجنوب الطنطباوي والهجلة والشبكية، وشمال حي الروابي، وغرب العزيزية والروضة والمعابدة والخنساء.

كما بلغت مساحة المنطقة الرابعة حيث يتراوح غاز الأوزون بين (23.5 - 24 ميكروجرام/م³) نحو (6.23 كم²)، بنسبة (10%) من إجمالي مساحة المنطقة، وتمتد على شكل حزام ضيق يبدأ من حي الخنساء شرقاً مروراً بأحياء المعابدة والروضة والعزيزية والروابي والمسفلة وجرهم والخالدية والروضة غرباً. وبلغت مساحة المنطقة الخامسة حيث يتجاوز غاز الأوزون (24 ميكروجرام/م³) نحو (17 كم²)، بنسبة (27.36%) من إجمالي مساحة المنطقة، وتمتد في الأحياء السكنية جنوب وجنوب شرق منطقة البحث.

الخاتمة:

من خلال دراسة توزيع غاز الأوزون يمكن الخروج بعدد من النتائج التي تؤكد اختلاف التوزيع من فصل لآخر وذلك يعود لتأثر غاز الأوزون بدرجة الحرارة والتي تلعب دور كبير في زيادة تركيز غاز الأوزون في الهواء كما أكدت كثير من الدراسات في هذا المجال:

- 1- التباين المكاني والزمني لتوزيع غاز الأوزون في المنطقة المركزية بمدينة مكة المكرمة، حيث برزت أعلى معدل لغاز الأوزون خلال فصول الشتاء والربيع والخريف في المسفلة، وبرزت أدنى معدلات الأوزون في محطة الحرم، ومعديات مختلفة من فصل إلى آخر، وبرزت أعلى معدلات الأوزون خلال فصل الصيف في العزيزية، كما برزت أدنى معدلات الأوزون في محطة الحرم.
- 2- في فصل الشتاء حيث بلغت مساحة المنطقة الخامسة حيث يتجاوز غاز الأوزون (21.2 ميكروجرام/م³) نحو (7.68 كم²)، بنسبة (12.31%) من إجمالي مساحة منطقة البحث، ويمتد على شكل قوس في الأحياء الجنوبية من المنطقة.



3- وتوضح في فصل الربيع مساحة المنطقة التي يتجاوز غاز الأوزون (24.5 ميكروجرام/م³) نحو (6.67 كم²)، بنسبة (10.7%) من إجمالي مساحة المنطقة، ويمتد على شكل نصف دائرة في الأحياء السكنية جنوب منطقة البحث.

4- في فصل الصيف حيث بلغت مساحة المنطقة التي يتجاوز غاز الأوزون (30 ميكروجرام/م³) نحو (6.83 كم²)، بنسبة (10.95%) من إجمالي مساحة المنطقة، وتمتد هذه المنطقة ضمن الأحياء السكنية الواقعة شرق منطقة البحث كما هو الحال في حي العزيزية وشرق أحياء المعابدة والروضة وكدي وهذا يؤكد بأن درجة الحرارة تلعب دور كبيراً في تغير نسبة غاز الأوزون غي الهواء.

5- في فصل الخريف بلغت إجمالي مساحة المنطقة التي يتجاوز غاز الأوزون (24 ميكروجرام/م³) نحو (17 كم²)، بنسبة (27.36%) من إجمالي مساحة المنطقة، وتمتد في الأحياء السكنية جنوب وجنوب شرق منطقة البحث.

ويمكن الخروج بالتوصيات الآتية:

من خلال هذا البحث والذي ركز على نمط توزيع غاز الأوزون في المنطقة المركزية بمدينة مكة المكرمة نخرج ببعض التوصيات ومنها:

- 1- دراسة تأثير درجة الحرارة على نسبة وتركيز غاز الأوزون لفترات أطول لتأكيد نسبة التأثير بالزيادة أو النقصان لهذا الغاز وتطبيقه في عدد من المدن والمواقع المختلفة.
- 2- يوصي البحث بزيادة محطات الرصد البيئي في منطقة البحث لمكاتها الدينية وتزايد أعداد الزوار لها في فترات مختلفة ليتسنى رصد دقيق لكثير من الملوثات البيئية وخاصة الملوثات الجوية ومنها غاز الأوزون.
- 3 - تطبيق آلية هذا البحث في العديد من المناطق والمدن التي تكون مقصد للزوار في أوقات مختلفة من العام.

المراجع:

- الأمين، فتحى، زيلح، عوض. (2015). الهواء والمخاطر البيئية الناتجة عن عوادم المركبات في مدينة مصراته. *المجلة الدولية المحكمة للعلوم الهندسية وتقنية المعلومات*، (2) 1.
- عبد السلام، عبدالاله محمد. (2009). الأثار البيئية والصحية المتوقعة لظاهرة التغيرات المناخية في السودان. *مجلة اسبوط للدراسات البيئية*، 33.
- الغامدي، خالد وآخرون. (2017). الرياح وجودة الهواء في مدينة مكة المكرمة والمشاعر المقدسة دراسة في المناخ التطبيقي باستخدام تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية. *المجلة المصرية للتغير البيئي*، (1).
- معهد خادم الحرمين الشريفين لأبحاث الحج، بيانات محطات الرصد الآلي، قسم البحوث الصحية والبيئية، بيانات غير منشورة.



- Adedeji. O. H, et al. (2016). Mapping of Traffic - Related Air Pollution Using GIS Techniques in Ijebu - Ode, Nigeria, The Indonesian Geographers Association, 48,1, 73 - 83.
- García.F.J.M et al. (2010). Geostatistical Analysis and Mapping of Groundlevel Ozone in a Medium Sized Urban Area, World Academy of Science, Engineering and Technology, 37, 919-930.
- Jerrett. M, et al. (2005). A review and evaluation of intraurban air pollution exposure models, Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology, 15, 185 - 204.
- Kanakiya. R.S, Singh.S.K, Shah, U. (2015). GIS Application for Spatial and Temporal Analysis of the Air Pollutants in Urban Area, International Journal of Advanced Remote Sensing and GIS, Volume 4, Issue 1, 1120 - 1129.
- Matějčiček.L, Engst.P, Jaňour.Z. (2006). A GIS - based approach to spatio - temporal analysis of environmental pollution in urban areas: A case study of Prague's environment extended by LIDAR data, Ecological Modelling, Volume 199, Issue 3, 261 - 277.
- Kethireddy. S.R, et al. (2014). Geospatial Interpolation and Mapping of Tropospheric Ozone Pollution Using Geostatistics, Int J Environ Res Public Health, Vol, 11, 983 - 1000.
- Salve. P. R. (2007). Assessing Spatial Occurrence of Ground Level Ozone around Coal Mining Areas of Chandrapur District, Maharashtra, India, Environmental Monitoring and Assessment, Volume, 133, Issue 1-3, 87 - 98.
- Setianto. A, Triandini. T. (2013). Comparison of Kriging and Inverse Distance Weighted (IDW) Interpolation Methods in Lineament Extraction and Analysis, J. SE Asian Appl. Geol., Vol. 5(1), 21 -29.
- Sulaiman.A, et al. (2017). Distribution ozone concentration in Klang Valley using GIS approaches, International Conference on Space Science and Communication, urnal of Physics: Conf. Series 852, 1 - 8.
- Wang. L. (2017). Spatiotemporal Patterns of Ozone and Cardiovascular and Respiratory Disease Mortalities Due to Ozone in Shenzhen, Sustainability, Vol, 9.
- Wang. W.N, et al. (2017). Assessing Spatial and Temporal Patterns of Observed Ground - level Ozone in China, Scientific Reports, volume 7, Article number: 3651.