

تأثير الملوثات الغازية العالقة المنبعثة من المدن الصناعية الأردنية على درجة الحرارة المحلية (2013-2020)
دراسة في الجغرافيا البيئية

The effect of suspended gaseous pollutants emitted from the Jordanian industrial cities on the local temperature (2013-2020): A Study in Environmental Geography

أ.د. قاسم محمد الدويكات*، جامعة اليرموك (الأردن)، dweikatq@yahoo.com
أ.د. ريم عدنان الخاروف، جامعة اليرموك (الأردن)، alkharaoufreem@gmail.com
رهف عدنان كليب، rahaf.adnan.kuliab@gmail.com

تاريخ القبول: 2023 11 21 تاريخ النشر: 2023/12/ 31

تاريخ الاستلام: 2023 07 18

ملخص:

تهدف هذه الدراسة إلى التعرف على نمط توزيع المدن الصناعية الأردنية، والكشف عن مدى تأثير الملوثات الصناعية على درجة الحرارة المحلية. وقد استخدمت الدراسة المنهج الوصفي التحليلي، والأساليب الإحصائية كتحليل الانحدار للكشف عن تأثير ملوثات المصانع الغازية على درجة الحرارة المحلية. كما استخدمت بيانات مناخية من محطات الأرصاد الجوية، وبيانات من وزارة البيئة عن تركيز غازات: ثاني أكسيد الكبريت SO_2 ، وأول أكسيد الكربون CO، و ثاني أكسيد النيتروجين NO_2 ، والجسيمات الدقيقة العالقة ذات القطر 2.5 ميكروغرام/م³ في هواء المناطق الصناعية. وتوصلت الدراسة إلى أن سجل المتوسطات الحسابية الكلية للجسيمات الدقيقة العالقة في هواء المدن الصناعية الأردنية، أظهر أعلى القيم بالمقارنة مع نسب الملوثات والغازات الأخرى خلال فترة الدراسة. وتبين من خلال تحليل معامل الانحدار المتعدد أن لغاز ثاني أكسيد الكبريت SO_2 ، والجسيمات الدقيقة العالقة دور في رفع درجات حرارة المناطق المحيطة بنسبة تتراوح بين 50-70%. **كلمات مفتاحية:** المدن الصناعية، الملوثات الغازية، درجة الحرارة المحلية، الجغرافيا البيئية.

Abstract:

This study aims to identify the distribution pattern of the Jordanian industrial cities, and to reveal the extent of the impact of industrial pollutants on the local temperature. The study used the descriptive analytical method, and statistical methods such as regression analysis to detect the effect of gaseous factory pollutants on the local temperature. It also used climatic data from meteorological stations, and data from the Ministry of Environment on the concentration of gases: sulfur dioxide (SO_2), carbon monoxide (CO), nitrogen dioxide (NO_2), and fine suspended particles with a diameter of $PM_{2.5} \mu g/m^3$ in the air of industrial areas. The study concluded that the record of the total arithmetic averages of fine particles suspended in the air of the Jordanian industrial cities showed the highest values in comparison with the percentages of pollutants and other gases during the study period. It was found through the analysis of the multiple regression coefficients, that sulfur dioxide, SO_2 , and suspended fine particles have a role in raising the temperatures of the surrounding areas by 50-70%.

Keywords: Industrial cities, Gaseous pollutants, local temperature, Environmental Geography.

* المؤلف المرسل: رهف عدنان كليب

. مقدمة:

يُعد التلوث من المشكلات الكبيرة والخطيرة التي تواجه الإنسان على سطح الأرض، وتلوث الهواء هو أحد أهم أنواع التلوث التي يواجهها الإنسان في المدن. فالهواء المفقّر للأكسجين، أو المحمل بالغبار والمواد الصلبة، يعرض حياة الإنسان والحيوان والنبات للخطر. ويتناسب التلوث طردياً مع التقدم الصناعي، وزيادة التحضّر

(دعاء، سماعنة، 2013)، والتلوث إما مادي كتلوث الهواء أو التربة أو الماء، وإما معنوي كالضوضاء. ولا شك أن رفع درجة حرارة الهواء أو الماء عن المألوف هو أحد أشكال التلوث. الأمر الذي دفع المنظمات البيئية للمطالبة بضرورة إجراء قياسات لمستويات التلوث المنبعثة من المدن الصناعية، وتقديم إفصاح سنوي عن تلك المستويات (الغامدي، 2009)

والتلوث اصطلاحاً يعني كل تغيّر كمي في مكونات البيئة الحية وغير الحية، لا تقدر البيئة على استيعابه دون أن يختل توازنها. ومن وجهة نظر القانون الدولي للأمم المتحدة لعام (1974) فإن التلوث هو: إدخال ملوثات في البيئة تسبب عدم استقرار واضطراب، أو إضرار بالنظام البيئي بشكل عام (العزیز، 2013)، وتؤدي الملوثات إلى ارتفاع درجات الحرارة؛ وإلى تغيير طويل الأجل في المناخ. الأمر الذي من شأنه في النهاية، أن يضر بالحياة على سطح الكرة الأرضية. ولذلك قامت وكالة حماية البيئة الأمريكية (EPA) بتتبع عناصر أساسية ملوثة للهواء على كوكب الأرض مثل: أول أكسيد الكربون، الرصاص، أكاسيد النيتروجين، المركبات العضوية المتطايرة، ثاني أكسيد الكبريت، والمخلفات الصلبة، لتحديد حجم تأثيرها السلبي على البيئة (حياة، 2022).

وتقوم الحكومات بإنشاء المدن الصناعية من أجل تشجيع الاستثمار الأجنبي، وزيادة حجم الإنتاج. وتحرص على إبعادها عن المناطق المأهولة بالسكان (البريفافي، 2006)، وتعد المصانع ومحطات توليد الكهرباء، من أهم مصادر التلوث التي تؤدي إلى انبعاث غازات وجسيمات دقيقة تنتشر في الهواء، وتؤثر بصورة مباشرة على البيئة (التنير، 1978)، ونتيجة لأهمية اختيار الموقع الصناعي، ولتفادي أي مشكلة بيئية تتعرض لها المنطقة التي تتواجد بقربها أو ضمنها المنطقة الصناعية، وضعت أسس تخطيطية للمناطق الصناعية الأردنية منها (شبكة الإعلام المجتمعي، 2011): توزيعها بما لا يؤثر على القدرة الاستيعابية للبيئة. ويعتمد التوطن الصناعي حسب نظرية الفرد فيبر التي وضعها عام 1959، على ثلاثة عناصر هي: تكلفة النقل، وعوامل التكتل، وتوفر المواد الخام، والأيدي العاملة (Bendix, 1977). وحسب نظرية التوطن الصناعي، أنشئت المناطق الصناعية الأردنية بالقرب من المدن أو التجمعات الحضرية الكبيرة؛ لا لتكون سوقاً لهذه المنتجات، كون إنتاج معظم هذه المناطق خصص للسوق الخارجية، بل لتكون مصدراً للأيدي العاملة. ولم يهتم أديجار هوفر صاحب نظرية التوطن الصناعي (1963) بالأيدي العاملة، كما فعل فيبر، كون المواد الخام اللازمة لتشغيل الصناعات في المناطق الحرة، هي في الغالب مستوردة. بل أن توفر الأيدي العاملة هو العنصر الأهم في معظم الصناعات في المناطق الصناعية (Hoover, 2016)

وتحليل هذه الدراسة عناصر ملوثات المصانع الغازية في ثلاث من أهم المدن الصناعية الأردنية (مدينة الحسن الصناعية، مدينة عبد الله الثاني ابن الحسين، مدينة الحسين بن عبد الله الثاني). لاحتوائها على عدد كبير من المصانع، (154)، و(467)، و(39)، ولتوفر البيانات عنها. وتصنف الملوثات إلى غازات مثل: أول أكسيد الكربون، ثاني أكسيد الكربون، ثاني أكسيد الكبريت، ثاني أكسيد النيتروجين، ومواد صلبة عالقة بالهواء. وقُسِّمت هذه الدراسة إلى أربعة أجزاء: احتوى الأول منها على الإطار العام للدراسة؛ وتضمن الثاني: الدراسات السابقة؛ واشتمل الثالث على التعريف بالمدن الصناعية الأردنية؛ وخصص الرابع لتحليل البيانات المتعلقة بالتلوث، وتأثيرها على درجات الحرارة المحلية.

2. إشكالية الدراسة:

تفرض الدراسة تأثيراً سلبياً للملوثات المنبعثة عن هذه المصانع، على البيئة المحيطة بهذه المدن. وتسعى هذه الدراسة لتحليل تأثير المصانع على البيئة المحيطة بها من حيث رفع درجة حرارة الهواء. والإجابة على سؤال رئيس هو: هل لملوثات المصانع في المدن الصناعية الأردنية دور في رفع درجة حرارة الهواء المحيط بها؟

3. أهمية الدراسة:

استخدمت الدراسة تقنيات الاستشعار عن بعد، ونظم المعلومات الجغرافية، لمقارنة درجات الحرارة المحيطة بالمدن الصناعية، من خلال الكشف عن حجم الملوثات المنبعثة من المصانع. وتحديد مدى تأثيرها على البيئة،

يساعد على بذل الجهد للحد من تلك الملوثات وتأثيرها. وقد تكون هذه الدراسة هي الأولى التي تحاول الكشف عن التأثير البيئي للمصانع على زيادة معدلات حرارة الهواء المحيط بهذه المدن.

4. أهداف الدراسة:

- تحديد نمط التوزيع الجغرافي للمدن الصناعية الأردنية.
- الكشف عن حجم الملوثات المنبعثة و المسببة لارتفاع درجة الحرارة المحيط.
- الكشف عن مدى تأثير تلك الملوثات على درجات الحرارة المحيطة.

5. منهجية الدراسة:

استخدمت الدراسة المنهج الوصفي التحليلي للكشف عن نمط التوزيع الجغرافي للمدن الصناعية، باستخدام برمجية نظم المعلومات الجغرافية (اختبار الجار الأقرب، واختبار المسافة المعيارية). واستخدمت الأسلوب الكمي في حساب المتوسطات الحسابية لحجم الملوثات المنبعثة من المصانع المختلفة في المدن الصناعية الخاضعة للدراسة، فضلاً عن الانحرافات المعيارية لتلك الملوثات عن المتوسط العام لها في المنطقة. واستُخدم معامل الانحدار للكشف عن تأثير ملوثات المصانع على درجة الحرارة المحلية. ومعامل الاختلاف، للكشف عن حجم الاختلاف في التلوث، بين فترتي الدراسة 2013 و 2020. واستخدم معامل ارتباط بيرسون لقياس حجم العلاقة بين نسب الملوثات، وارتفاع الحرارة. واستخدمت تقنية الاستشعار عن بعد (مرئيات القمر الصناعي Land Sat)، للكشف عن التباين في درجات الحرارة فوق مناطق المدن الصناعية، وفي محيطها، بعد أن تم تحليل تلك المرئيات بواسطة برمجية نظم المعلومات الجغرافية Arc Gis10.7.

6. مصادر الدراسة:

اعتمدت الدراسة على البيانات الخاصة بالملوثات، من محطات الرصد التابعة لكل مدينة من المدن الصناعية الخاضعة للدراسة. وتم الحصول على قائمة بأنواع الصناعات في المدن الصناعية من وزارة البيئة الأردنية. مثلما تم الحصول على البيانات المناخية الخاصة بدرجات الحرارة من المحطات المناخية التابعة لدائرة الارصاد الجوية، لمقارنتها بدرجات الحرارة في البيئة المحيطة بالمدن الصناعية. كما تم الحصول على بيانات تتعلق بنسب تركيز الغازات في الهواء المحيط بالمدن الصناعية، من خلال مقابلات شخصية مع رئيس قسم الرصد البيئي في وزارة البيئة، ورئيس الإدارة في مديرية حماية البيئة.

7. مصطلحات الدراسة:

1.1. التلوث:

هو الإضرار بالكفاءة العملية الإنتاجية، نتيجة للتأثير السلبي والضرر على سلامة الوظائف المختلفة لكل الكائنات الحية على الأرض، الأمر الذي يؤدي إلى زيادة تكاليف العناية بها وحمايتها (إبراهيم، السيد، 2013).

2.2. التلوث الهوائي:

هو وجود شوائب في الهواء، سواء وجدت طبيعياً أو بفعل الإنسان، وبكميات ولفترات تكفي لإقلاق راحته، أو للإضرار بالصحة العامة، للإنسان والحيوان والنبات، وتؤثر سلباً على الاستمتاع بالرياح والمناسب بالحياة (الشرنوبلي، 1989).

3.3. المنطقة الصناعية:

هي مساحة جغرافية يتم تقسيمها إلى مساحات تشغلها المصانع، بما يوافق أنواع الصناعات المراد إنشائها، وخصائصها، والأرض التي تستخدمها واحتياجاتها من المرافق والخدمات (مخلف، 2000)

4.4. المنطقة الحرة:

هي مساحة من أرض الدولة، تقع غالباً عند أحد المنافذ البحرية أو البرية أو الجوية أو بالقرب منه، وتوضع فيها البضائع لغايات التخزين والتصنيع مع تعليق استيفاء الضرائب و الرسوم المترتبة عليها، وتعامل هذه البضائع على أنها خارج الدولة (خبابة، 2012)

5.5. ظاهرة الدفينة:

مصطلح يطلق على ظاهرة الاحترار العالمي، حيث يقوم مبدأ هذه الظاهرة على الاحتفاظ بالغازات المنبعثة من سطح الأرض، مما يؤدي إلى ارتفاع درجة حرارة الأرض (المناخي، 2009)

6.7. المدن الصناعية:

هي قطعة من أرض واسعة تُطور وتُقسّم لاستعمال المشاريع الصناعية، وتكون تحت سيطرة فرد أو مؤسسة، ويقوم ببناء مصانع للبيع أو التأجير (البيئة، 2017)

8. حدود الدراسة:

الحدود الزمنية: 2013- 2020

الحدود المكانية: مدينة الحسن الصناعية/ اربد، مدينة عبد الله الثاني ابن الحسين/ سحاب، مدينة الحسين بن عبد الله الثاني/ الكرك. الشكل (1)

تضم الأراضي الأردنية ثلاث عشر منطقة صناعية مؤهلة، منها ثلاث حكومية، والباقي خاصة. منها سبع مدن قائمة وعاملة، وأربع مدن غير قائمة، واثنان قيد التأهيل. (الجدول 1) و (الشكل 2)

جدول 1. المناطق الصناعية المؤهلة في الأردن

اسم المدينة/ المنطقة الصناعية	الموقع	الجهة المسؤولة	الوضع
مدينة الحسن الصناعية	إربد	مؤسسة المدن الصناعية	قائمة
مدينة الحسين بن عبد الله الثاني الصناعية	الكرك	مؤسسة المدن الصناعية	قائمة
مدينة العقبة الصناعية	العقبة	مؤسسة المدن الصناعية	غير قائمة
شركة التجمعات الاستثمارية المتخصصة	سحاب	قطاع خاص	قائمة
شركة الشرق الاوسط للزراعة والتجارة (مجمع الضليل الصناعي)	الضليل	قطاع خاص	قائمة
شركة معبر وادي الأردن للمشاريع المتعددة	وادي الأردن	قطاع خاص	غير قائمة
مجمع القسطل الصناعي (عدة مصانع)	القسطل	قطاع خاص	قائمة
المستثمرون والشرق العربي للاستثمارات الصناعية العقارية (المشتى)	القيطرة	قطاع خاص	غير قائمة
شركة الزي لصناعة الالبسة	الرصيفة	قطاع خاص	قائمة
شركة تطوير مدن تقنية المعلومات و الصناعة cyber City	جامعة العلوم والتكنولوجيا	قطاع خاص	قائمة
العالمية للاستثمار في المناطق الصناعية والتكنولوجية Hill wood Hashemite University	الجامعة الهاشمية	قطاع خاص	غير قائمة
منطقة الحلابات الصناعية	الضليل	قطاع خاص	قيد التأهيل
منطقة المورد الصناعية	الموقر	قطاع خاص	قيد التأهيل

المصدر: شركة المدن الصناعية الأردنية، 2021

وقد بدأت فكرة المدن الصناعية في القرن العشرين، في بريطانيا وإيطاليا والولايات المتحدة، بهدف نقل الصناعات من الأماكن المكتظة بالسكان. وتأخرت الدول النامية في إنشاء مثل هذه المدن، فأقامت الهند أول

مدينة صناعية عام 1960 (رناد، 2017) وبدأ إنشاء المدن الصناعية الأردنية في العقد الثامن من القرن العشرين. وتعمل مؤسسة المدن الصناعية على توفير جميع الخدمات والتسهيلات، والبنية التحتية الملائمة على نحو يحافظ على البيئة والصحة العامة. وكانت مدينة عبد الله الثاني بن الحسين الصناعية في عمان، أول مدينة أنشئت في الأردن عام 1984، وبلغت مساحتها نحو 2.530 دونم. وفي عام 1991 أنشئت مدينة الحسن الصناعية في إربد، كأول منطقة صناعية مؤهلة في الأردن، ومساحتها 1.178 كم². أما مدينة الحسين بن عبد الله الثاني الصناعية في الكرك، فقد تم انشاؤها عام 2000م، على مساحة 1.856 كم². وقد اختيرت المناطق الصناعية الثلاث السابقة لإجراء الدراسة، لتوفر البيانات عنها، نتيجة توفر أجهزة قياس مكونات وحجم التلوث المنبعث منها. فضلاً عن كونها أكبر ثلاث مناطق صناعية، وأقدمها. مثلما أنها تحتوي على أكبر الاستثمارات، والأيدي العاملة.

وتم الكشف عن طبيعة توزيع المدن الصناعية الأردنية من خلال برمجية نظم المعلومات الجغرافية. فاستُخدم اختبار المسافة المعيارية (Standard Distance)، للكشف عن مدى تشتتها أو تجمعها حول مركزها. وأظهرت نتائج الاختبار تشتت نسبي للمدن الصناعية في المملكة. فضلاً عن أن الموقع الجغرافي لدائرة المسافة المعيارية يقع في شمال الوسط، في دلالة على أن معظم المدن الصناعية تقع في الوسط والشمال. الشكل (3)

وللكشف عن نمط توزيع المدن الصناعية، استُخدم الاختبار الإحصائي الكارتوغرافي المسمى "الجار الأقرب" (Average Nearest Neighbor)، والذي يكشف طبيعة توزيع هذه المدن على صفحة اللاندسكيب (مشتت، متجمع، عشوائي). وأظهرت نتائج تطبيق الاختبار أن نمط توزيع المدن الصناعية كان مشتتاً. الشكل (4).

9. تصنيف الصناعات حسب آثارها البيئية:

تقسم الصناعات حسب تأثيرها البيئي إلى صناعات: ثقيلة ومتوسطة وخفيفة. والصناعات الثقيلة هي الصناعات التي تُعد مصدراً للتلوث البيئي، لما تخلفه من أتربة وغبار وروائح. ويظهر الجدول 2 بعض الأمثلة على الصناعات الموجودة في المناطق الصناعية الأردنية.

جدول 2. أمثلة على الصناعات النشطة في المدن الصناعية الأردنية حسب تصنيف الآثار البيئية

المدينة الصناعية	صناعات خفيفة	صناعات متوسطة	صناعات ثقيلة
مدينة الحسن الصناعية / إربد	شركة لافانت للمنتجات الغذائية	مصنع ملابس الجاهزة	الشركة لصناعة المبيدات والأدوية
جوهرة الشام للصناعات الغذائية	شركة للشام	شركة لصناعة الجاهزة	شركة لصناعة الأدوية البيطرية
شركة عمار الأردن لصناعة الغذائية	شركة عمار الأردن	مصنع أبواب الخيزر	مد ماك لإنتاج الأسمدة والأدوية الزراعية البيطرية
مصنع الدرة للمنتجات الغذائية	مصنع الدرة	شركة لصناعة الملابس	الشركة لصناعة الأدوية البيطرية ومبيدات الحشرية
شركة الصناعية الغذائية	شركة العائلة للمواد	شركة الحيوية للألبسة	مصنع أرابيلا للدهانات والمعاجين
		مصنع حيفا لصناعة الألبسة الجاهزة	مصنع الهلال للقطن الطبي

شركة الأعمال المخالصة لصناعة الملابس	مصنع أنت للبلستيك		
شركة الأردنية الألبسة	شركة الرداء لصناعة الهندسية العربية		
شركة المسيرة لصناعة الأنسجة	شركة اربد لصناعة الفلاتر		
مصنع أم القرى للحلويات والساكر	شركة الشرق الأوسط الألبسة	مصنع الهنوف للمستلزمات الطبية المخبرية	مدينة عبدالله الثاني الحسين الصناعية/عمان
مصنع زهرة كايد للساكر	شركة النور للألبسة	مستودع أدوية مصنع شركة الرام للأدوية	
مصنع نبيل للمنتجات الغذائية	شركة GS لصناعة الألبسة	مصنع فيلادلفيا للصناعات الغذائية	
شركة بدر الدين للكود للأدوات الحرفية	الأردنية المعاصرة للألبسة	شركة عمرة لصناعة الألمنيوم والزجاج	
الابتكار لصناعة الورق	مصنع الصافي للألبسة	مستودع أدوية شركة عمان للصناعات الدوائية	
القبطان لماكينات الخيطة ولوازمها	مصنع أبو شعبان لصناعة التبغ والمعسل	شركة محي الدين للهيكل المعدنية	
	الدولية لصناعة الأسفنج والفرشاة	البصمة العالمية لقطع المعدات الإنشائية	
	مصنع الشرق الأوسط لصناعة العبوات	مصنع الشوري للصناعات البلاستيكية	
مصنع ألبان أدر	مصنع مؤاب للألبسة	شركة القزوم لمواد البناء (حديد، اسمنت)	مدينة الحسين بن عبدالله الثاني الصناعية/ الكرك
مصنع زحوم للجميد الكركي	مصنع الطباشير مصنع السماد الطبيعي	مصنع الريادي لإعادة تدوير مخلفات مصانع الألبسة	

المصدر: (والتجارة، 2016)

1.9. الملوثات الناتجة عن مصانع المدن الصناعية :

ينص قانون حماية البيئة رقم 6 لعام 2017، ونظام حماية الهواء رقم 28 لعام 2005، على وجوب قيام المصانع برصد الملوثات البيئية المختلفة. ولذلك فإن وزارة البيئة تقوم برصد نوعية الهواء المحيط بالمدن الصناعية بصورة مستمرة، ومقارنة نتائج الرصد بالمواصفات الأردنية رقم 2008/1140. ويتم توقيع محطات رصد الهواء في مناطق قريبة من المدن، بحيث تكون في مهب الريح القادم فوق هذه المدن، وضمن خصائص محدّدة تضعها الوزارة (الجدول 3).

جدول 3. معلومات عن موقع الرصد في المدن الصناعية

موقع الرصد	الأحداثيات (UTM)	بُعد واتجاه موقع الرصد للمدينة الصناعية بالنسبة	الملوثات التي تم رصدها	ارتفاع مدخل العينات عن سطح الأرض (م)	بعد موقع الرصد عن أقرب مبنى (م)	بعد موقع الرصد عن أقرب شجرة (م)	بعد موقع الرصد عن أقرب شارع (م)
أربد	E: 36°014' 49.92" N:32°29' 47.51"	على الحدود الجنوبية لمدينة الصناعية	SO2 CO NO2 PM2.5	3	50	لا يوجد أشجار قريبة	>5
سحاب	E: 31°551' 24" N:36°00' 36"	شمال شرق مدينة عبد الله الثاني ابن الحسين الصناعية	SO2 CO NO2 PM2.5	7	20	10	>5
الكرك	E: 31°39'2 1" N:35°49' 55"	على الحدود الجنوبية الشرقية لمدينة الحسين بن عبد الله الثاني الصناعية	PM2.5	3	15	2	<20

المصدر: (البيئة و.، 2013-2020)

وتستخدم محطات الرصد المذكورة، أجهزة تحليل غازات اتوماتيكية، لعينات من الهواء. وتخزن نتائج التحليل على شكل معدلات ساعية. وتتم المعايرة الدورية للأجهزة للتأكد من دقة عملها. بينما يتم رصد الجسيمات الدقيقة التي يساوي قطرها 2.5 مايكرون أو يزيد، باستخدام أجهزة اتوماتيكية تعمل على مبدأ (Beta Attenuation)، معتمدة من قبل وكالة حماية البيئة الأمريكية (US EPA). (الجدول 4).

جدول 4. أنواع أجهزة قياس نوعية الهواء المحيط

اسم الجهاز	عمل الجهاز
Sulfur Dioxide Analyzer	رصد غاز ثاني أكسيد الكبريت في الهواء المحيط
Nitrogen Oxides (NO1, NO2, NOX) Analyzer	رصد غازات أكاسيد النتروجين في الهواء المحيط
Carbon Monoxide (CO) Analyzer	رصد غاز أول أكسيد الكربون في الهواء

المحيط	
رصد الجسيمات الدقيقة في الهواء المحيط	Particulate Matter (pm2.5) Monitor

المصدر: (البيئة و.، 2013-2020)

2.9. نسب ملوثات الهواء في مناطق الدراسة:

أشرنا سابقاً أن الجسيمات الدقيقة العالقة هي الوحيدة المنبعثة عن مدينة الحسين بن عبد الله الثاني شرق مدينة الكرك. ويظهر الجدول (6)، (7)، (8)، و(9)، والأشكال (5)، (6)، و(7)، نسب تركيز ملوثات الهواء التالية في محيط مدينتي الحسن، وعبد الله الثاني بن الحسين: ثاني أكسيد الكبريت (SO_2)، وأول أكسيد الكربون CO، وثاني أكسيد النتروجين NO_2 ، والجسيمات الدقيقة العالقة $PM_{2.5}$. في فترة الدراسة 2013-2020. ومن خلال مقارنة الأرقام الموجودة في الجداول المذكورة، مع المواصفات الأردنية للهواء، والواردة في الجدول (5)، يظهر الجدول (6) أن مدينة عبد الله الثاني قد التزمت بالمعايير الأردنية لكميات ثاني أكسيد الكبريت في جميع سنوات الدراسة 2013-2020. أما مدينة الحسن الصناعية، فقد تجاوزت الحد المسموح به في بعض سنوات الدراسة (الشكل 5).

جدول 5. المواصفات الأردنية لنوعية الهواء المحيط رقم 2006/1140

الملوثات	زمن المعدل المأخوذ	الحد الأقصى المسموح به جزء في المليون (PPM)	عدد مرات التجاوز المسموحة
ثاني أكسيد الكبريت SO_2	ساعة واحدة	0.3	3 مرات في فترة أي 12 شهراً في السنة
	24 ساعة	0.14	مرة واحدة في السنة
	سنوياً	0.04	-
أول أكسيد الكربون CO	ساعة واحدة	26	3 مرات في فترة أي 12 شهراً في السنة
	8 ساعات	9	3 مرات في فترة أي 12 شهراً في السنة
ثاني أكسيد النتروجين NO_2	ساعة واحدة	0.21	3 مرات في فترة أي 12 شهراً في السنة
	24 ساعة	0.08	3 مرات في فترة أي 12 شهراً في السنة
	سنوياً	0.05	-
الجسيمات الدقيقة العالقة PM_{10}	24 ساعة	65 ميكرو غرام/م ³ (ug/m ³)	3 مرات في فترة أي 12 شهراً في السنة
	سنوياً	15 ميكرو غرام/م ³ (ug/m ³)	-

المصدر: (البيئة و.، مراقبة نوعية الهواء في المملكة، 2020)

جدول 6. تركيز غاز ثاني أكسيد الكبريت SO_2 (جزء في المليون) في مصانع المدن الصناعية

الفترة	مدينة الحسن الصناعية (جزء في المليون)	مدينة عبد الله الثاني (جزء في المليون)
2013	0.03	0.01
2014	0.05	0.01
2015	0.06	0.04
2016	0.06	0.02
2017	0.07	0.02

2018	0.01	0.05
2019	0.04	0.11
2020	0.02	0.09

المصدر: (البيئة و، 2013-2020)

أما فيما يتعلق بنسب أول أكسيد الكربون (CO)، فيظهر الجدول (7) والشكل (6) أن مدينة الحسن الصناعية في إربد، قد تجاوزت الحد المسموح به، وفقاً للمعايير الأردنية في جميع السنوات، مقارنة بمدينة عبد الله الثاني بن الحسين، التي تجاوزت تلك الحدود في عام 2019 فقط.

جدول 7. تركيز غاز أول أكسيد الكربون CO (جزء في المليون) في مصانع المدن الصناعية

مدينة الحسن الصناعية	مدينة عبد الله الثاني بن الحسين	الفترة
0.22	0.11	2013
0.14	0.05	2014
0.22	0.01	2015
0.22	0.09	2016
0.20	0.07	2017
1.35	0.08	2018
0.69	1.96	2019
1.02	0.07	2020

المصدر: (البيئة و، 2013-2020)

كما تجاوزت مدينة الحسن الصناعية الحد المسموح به لإنبعاث غاز ثاني أكسيد النتروجين (NO_2) في جميع سنوات الدراسة، مقارنة بمدينة عبد الله الثاني بن الحسين، التي بدأت بتجاوز الحدود المسموحة لها منذ عام 2016 وحتى 2020، ولكن بنسب ضئيلة، الجدول (8) والشكل (7).

جدول 8. تركيز غاز ثاني أكسيد النتروجين NO_2 (جزء في المليون) في مصانع المدن الصناعية

مدينة الحسن الصناعية	مدينة عبد الله الثاني بن الحسين	الفترة
0.05	0.05	2013
0.05	0.02	2014
0.06	0.03	2015
0.08	0.05	2016
0.16	0.07	2017
0.16	0.06	2018
0.07	0.06	2019
0.08	0.06	2020

المصدر: (البيئة و، 2013-2020)

وتجاوزت كافة المدن الصناعية المدروسة نسب تركيز الجسيمات الدقيقة في كافة سنوات الدراسة. غير أن النسبة الأعلى للتجاوز سُجلت في مدينتي عبد الله الثاني بن الحسين، والحسين بن عبد الله الثاني الصناعيتين. وذلك في الفترة بين عامي 2013-2016. وبعد عام 2016 بدأت مدينة الحسن الصناعية تتجاوز المعدلات التي سجلتها مدينتا عمان والكرك، جدول (9) وشكل (7)

جدول 9. تركيز الجسيمات الدقيقة (ميكرو غرام/م³) في مصانع المدن الصناعية

الحسن	م. عبد الله الثاني بن	م. الحسين بن عبد الله الثاني	الفترة
-------	-----------------------	------------------------------	--------

الصناعية	الحسين	الصناعية
40	43	45
25	37	29
20	37	24
21	25	26
32	31	25
38	28	26
35	30	25.5
37	29	26

المصدر: (البيئة و.، 2013-2020)

ولإعطاء صورة أوضح عن نسب ومعدلات الملوثات المنبعثة من مصانع المدن الصناعية المدروسة، تم استخراج المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية، ومعامل الاختلاف. ويظهر الجدول (10)، أن متوسطات الجسيمات العالقة كانت هي الأعلى في جميع المدن. فبلغت 32.00 في مدينة عبد الله الثاني/سحاب، و 31.50 في مدينة الحسن/إربد، و 28.31 في مدينة الحسين بن عبد الله/ الكرك. وقد أظهر معامل الاختلاف (الانحراف المعياري/الانحراف المعياري *100) ارتفاعاً ملحوظاً لنسبة انبعاث أول أكسيد الكربون خلال فترة الدراسة 2020-2013، بمعدل 2.19% في مدينة الحسين/ سحاب، و 0.91% في مدينة الحسن/ إربد. وكان معامل الاختلاف منخفضاً في باقي الملوثات (جدول 10، وشكل 8)

جدول 10. التحليل الإحصائي للملوثات الناتجة من مصانع المدن الصناعية للفترة (2013- 2020)

المحطة	اسم الغاز الناتج من مصانع	عدد السنوات	المتوسط للملوثات جزء في المليون	الانحراف المعياري	معامل الاختلاف
إربد الرمثا	ثاني أكسيد الكبريت SO_2	8	0.0650	0.0251	0.39
	ثاني أكسيد النتروجين NO_2	8	0.0888	0.0455	0.51
	أول أكسيد الكربون CO	8	0.5075	0.4603	0.91
	الجسيمات الدقيقة $PM_{2.5}$ (ميكرو غرام/م ³)	8	31.00	7.928	0.26
عمان سحاب	ثاني أكسيد الكبريت SO_2	8	0.0212	0.0125	0.59
	ثاني أكسيد النتروجين NO_2	8	0.500	0.0169	0.03
	أول أكسيد الكربون CO	8	0.305	0.6694	2.19
	الجسيمات الدقيقة $PM_{2.5}$ (ميكرو غرام/م ³)	8	32.50	5.952	0.18
الكرك	الجسيمات الدقيقة $PM_{2.5}$ (ميكرو غرام/م ³)	8	28.31	6.891	0.24

					(غرام/م3)
--	--	--	--	--	-----------

المصدر: (إعداد الباحثين)

3.9. تأثير الملوثات على درجة حرارة السطح:

تم اختيار شهر حزيران للكشف عن العلاقة بين حجم الملوثات في الهواء، ودرجات الحرارة فوق المدن الصناعية. واختير شهر حزيران بسبب توفر المرئيات الفضائية لكافة سنوات الدراسة. ومن خلال أدوات برمجية نظم المعلومات الجغرافية، أجريت عملية اقتطاع لمناطق الألوية التي تقع فيها المدن الصناعية، واستُخرجت درجات الحرارة فوق اللواء من المرئيات الفضائية. ثم أُجريت عملية التصنيف Classification. بعدها تم اختيار عدد الفئات، واللون المناسب لإظهار درجة الحرارة. والجدول (11) يوضح درجة الحرارة فوق كل لواء، وفوق المحطة الصناعية فيه. والشكل (9) يظهر درجة الحرارة فوق مدينة الحسن الصناعية، و الشكل (10) يظهر درجة الحرارة فوق مدينة عبد الله بن الحسين، والشكل (11) يظهر درجة الحرارة فوق مدينة الحسين بن عبد الله الثاني.

جدول 11. درجات الحرارة في منطقة الدراسة

السنة	لواء الرمثا	مدينة الحسن الصناعية	لواء سحاب	مدينة الله بن الحسين	لواء قصبه الكرك	الحسين بن عبد الله الثاني
2013	24.2	15.9	27	15.07	29.5	15.89
2014	24	16.01	26.3	16.54	29.2	17.10
2015	22.9	17.35	26.4	17.57	27.5	15.88
2016	21.8	17.83	27.7	16.70	27.4	22.12
2017	20.7	15.15	26.5	18.29	26.5	22.65
2018	19.6	14.87	24	13.37	28.6	19.71
2019	18.5	12.02	24.9	12.94	29.7	22.90
2020	17.4	13.01	30.1	17.61	29.8	24.54

المصدر: إعداد الباحثين، مرئيات LST

من خلال الجدول السابق، تبين أن تواجد المدن الصناعية في اللواء لها دور في رفع درجة الحرارة. فدرجات الحرارة فوق المدن الصناعية خلال شهر حزيران، مرتفعة نسبياً عن درجة حرارة اللواء بشكل عام. بمعنى أن تواجد المدن في اللواء أسهم في رفع درجة حرارة الهواء المحيط بها.

4.9. قياس تأثير ملوثات المصانع في المدن الصناعية على درجات الحرارة المحيطة:

لقياس حجم تأثير ملوثات المصانع (SO², NO², CO, PM_{2.5}) على الحرارة المحلية فوق المدن الصناعية الخاضعة للدراسة، تم تطبيق معامل الانحدار المتعدد من خلال المعادلة التالية.

$$Y = a + x_1 + x_2 + x_3 + x_4$$

Y : تمثل درجة الحرارة ، a : القيمة التقريبية لنسبة الملوثات، X₁: غاز ثاني أكسيد الكبريت SO₂
X₂: غاز ثاني أكسيد النيتروجين NO₂، X₃: غاز أول أكسيد الكربون CO، X₄: الجسيمات الدقيقة العالقة PM_{2.5}

معادلة الانحدار لمدينة الحسن الصناعية/ إربد

$$Y = 0.978 + 0.80 X_1 + 0.92 X_4$$

معادلة الانحدار لمدينة عبد الله بن الحسين/ سحاب

$$Y = 0.609 - 0.68 X_1 - 0.55 X_4$$

معادلة الانحدار لمدينة الحسين بن عبد الله/ الكرك

$$Y = 0.520 + 0.73 X_4$$

والجدول (12) يبين لنا قيمة معامل الانحدار R، ومعامل التحديد R²، ومن خلالها يمكن التعرف على أكثر الملوثات تأثيراً على درجات الحرارة. بالإضافة إلى توضيح معادلة الانحدار المتعدد الناتجة من التحليل.

جدول 12. معامل الانحدار في المدن الصناعية الأردنية للفترة 2013- 2020

المتغير	المتغير	R	R ²	الخطأ	قيمة	قيمة	مستوى
---------	---------	---	----------------	-------	------	------	-------

التابع	المستقل	معامل الانحدار	معامل التحديد	المعياري المقدر	T	F	الدلالة
درجة الحرارة في لواء الرمنا	SO ²	0.80	0.64	1.62	3.20	10.66	0.017
	CO	0.76	0.57	1.76	-	8.21	0.002
	NO ²	0.42	0.18	2.45	-	1.33	0.292
	PM2.5	0.92	0.77	2.68	1.15	1.29	0.001
درجة الحرارة في لواء سحاب	SO ²	0.68	0.59	1.57	1.14	1.53	0.012
	CO	0.52	0.28	1.39	0.75	2.33	0.007
	NO ²	0.42	0.18	1.48	1.16	1.34	0.027
	PM2.5	0.55	0.62	1.59	-	0.31	0.053
درجة الحرارة في لواء الكرك	PM2.5	0.73	0.58	2.53	1.49	2.22	0.001

المصدر: إعداد الباحثين

يتضح من خلال الجدول السابق أن معامل الانحدار يفسر مدى تأثير المتغير المستقل المتمثل بملوثات المدن الصناعية على المتغير التابع المتمثل بدرجة الحرارة المحلية. ويظهر من الجدول أن تأثير الجسيمات الدقيقة العالقة PM2.5 في مدينة الحسن الصناعية في لواء الرمنا على درجات الحرارة المحيطة، كانت الأعلى، ووصل معامل التحديد فيها 77%. في حين تأثر هواء مدينة سحاب أكثر بغاز ثاني أكسيد الكبريت SO²، وبمعامل تحديد وصل إلى 59%، وكان تأثير هذه الجسيمات بنسبة 58% في المدينة الصناعية في الكرك. ويدل ذلك على أن لملوثات المصانع دور بالتأثير على درجة الحرارة المحلية وخاصة الجسيمات الدقيقة العالقة. غير أن نسبة تأثير تلك الملوثات تُعد متوسطة، ومقبولة إلى حد ما. ولقياس قوة تأثير أنواع الملوثات على درجة حرارة الهواء المحيط بالمدن الصناعية، فقد تم استخدام معامل ارتباط بيرسون الجدول (13)

جدول 13. نتائج تحليل معامل ارتباط بيرسون لقياس حجم العلاقة بين نسب الملوثات وارتفاع الحرارة

الغازات	مدينة الحسن الصناعية	مدينة عبد الله بن الحسين	مدينة الحسين بن عبد الله الثاني
So2	.800	.851	-
No2	.760	.581	-
CO	.421	.763	-
PM2.5	.821	.860	.958

المصدر: إعداد الباحثين

ويتبين من الجدول السابق وجود ارتباط قوي بين غاز ثاني أكسيد الكبريت والجسيمات الدقيقة العالقة، وارتفاع درجات الحرارة في مدينة الحسن الصناعية. في حين كان تأثير غاز ثاني أكسيد النيتروجين على درجات الحرارة متوسطاً. أما تأثير غاز أول أكسيد الكربون على درجة الحرارة، فقد كان ضعيفاً. أما في مدينة عبد الله بن الحسين الثاني فقد كان تأثير غاز ثاني أكسيد النيتروجين، والجسيمات العالقة، الأكثر تأثيراً على رفع درجات الحرارة المحيطة. بينما كان تأثير غاز ثاني أكسيد الكبريت الأقل تأثيراً. وبالطبع فإن الجسيمات الدقيقة كانت الأكثر تأثيراً في مدينة الحسين بن عبد الله الثاني، كونها المكون الوحيد المتاح قياسه في هذه المدينة.

10. الخاتمة:

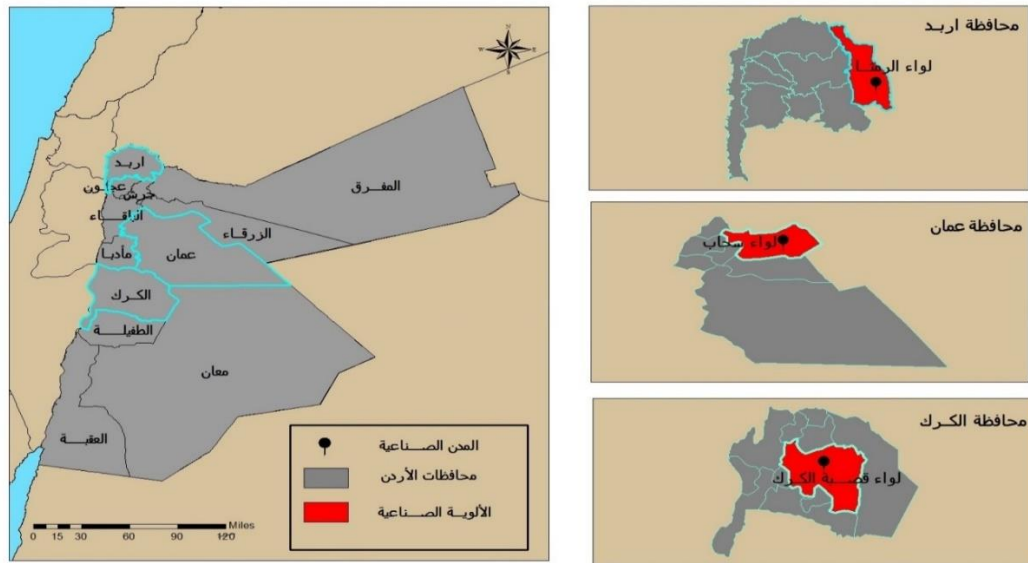
من خلال هذه الدراسة الجغرافية البيئية، التي تمت باستخدام المنهج الوصفي التحليلي، وفي ضوء استخدام تقنيات نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد والمعالجة الإحصائية للملوثات الناجمة من مصانع المدن الصناعية الأردنية على درجة الحرارة المحلية، تم استنتاج ما يلي:

- تسهم غازات (SO_2 , NO_2 , CO)، والجسيمات العالقة الدقيقة ($PM_{2.5}$)، برفع درجات حرارة البيئة المحيطة بالمدن الصناعية، غير أن تأثيرها ليس حرجاً.
- تجاوزت مدينة الحسن الصناعية في محافظة إربد الحدود المسموح به لإنبعاث غاز SO_2 في المواصفات الأردنية. كما سجلت أعلى نسبة لإنبعاث غاز أكسيد الكربون CO ، متجاوزة أيضاً الحد المسموح به ضمن المواصفات الأردنية.
- تجاوزت مدينة الحسن الصناعية حدود المواصفات الأردنية المسموح بها فيما يتعلق بغاز NO_2 ، وذلك بضعفي النسبة المسموح بها، خاصة في الفترة بين عامي 2017 و2018. مثلما تجاوزت مدينة عبدالله الثاني بن الحسين نسب الحد المسموح، ولكن بنسب ضئيلة.
- أما فيما يتعلق بالجسيمات الدقيقة $PM_{2.5}$ موضوع الدراسة، فقد كانت كافة المدن الصناعية المدروسة مصدر انبعاث لهذه الجسيمات، وتسهم في رفع درجات حرارة البيئة المحيطة بالمدن الصناعية خلال فترة الدراسة. وتصدرت مدينة الحسن الصناعية أعلى المعدلات، تلاها مدينة عبدالله بن الحسين، ثم مدينة الحسين بن عبدالله الصناعية.
- سجلت المدن الصناعية تجاوزات لنسبة تراكيز الجسيمات الدقيقة العالقة $PM_{2.5}$ خلال فترة الدراسة 2013-2020، متمثلة بـ 15 ميكرو غرام /م³. وحققَت مدينة الحسن الصناعية أعلى النسب للجسيمات، تلتها مدينة عبد الله بن الحسين، ثم مدينة الحسين بن عبد الله الصناعية.
- سجلت المتوسطات الحسابية الكلية للجسيمات الدقيقة العالقة في المدن الصناعية الأردنية أعلى القيم، بالمقارنة مع نسب الملوثات والغازات الناتجة خلال فترة الدراسة.
- تراوحت درجة الحرارة في لواء الرمثا ما بين (17.4 - 24.2)°م لشهر حزيران. وتبين من تحليل درجة الحرارة للقمر LST، أن موقع نقطة الرصد البيئي التابعة لمدينة الحسن الصناعية كانت تقع ضمن درجات الحرارة المرتفعة بالمقارنة مع درجة حرارة اللواء ككل.
- تراوحت درجة الحرارة في لواء سحاب ما بين (26 - 30.1)°م لشهر حزيران، وتبين من تحليل درجة الحرارة للقمر LST، أن موقع نقطة الرصد البيئي التابعة لمدينة عبد الله الثاني بن الحسين الصناعية كانت تقع ضمن درجات الحرارة المتوسطة، بالمقارنة مع درجة حرارة اللواء ككل.
- تراوحت درجة الحرارة في لواء الكرك ما بين (24 - 29.4)°م لشهر حزيران، وتبين من تحليل درجة الحرارة للقمر LST، أن موقع نقطة الرصد البيئي التابعة لمدينة الحسين بن عبد الله الثاني الصناعية كانت تقع ضمن درجات الحرارة المتوسطة، مقارنة مع درجة حرارة اللواء ككل.
- تبين من خلال تحليل معامل الانحدار المتعدد أن لغاز SO_2 والجسيمات الدقيقة العالقة تأثير متوسط ما بين (50-70%) على رفع درجة الحرارة المحلية في مناطق تواجد المدن الصناعية، بالمقارنة مع المناطق المحيطة.

وبناءً على هذه النتائج يمكن الخروج بالاقتراحات على النحو التالي:

- زيادة المراقبة والمتابعة لانبعاث الجسيمات الدقيقة من المصانع، ووضع عقوبات مالية في حال تم التجاوز عن الحدود المنصوص عليها، وهي 15 ميكرو غرام/م³.
- الأخذ بعين الاعتبار نتائج هذه الدراسة من قبل مديرية حماية البيئة، لإجراء المزيد من الرقابة والحرص على عدم تجاوز الحدود المنصوص عليها، لتفادي الوصول إلى درجات حرارة مرتفعة تساهم في زيادة ظاهرة الدفينة.

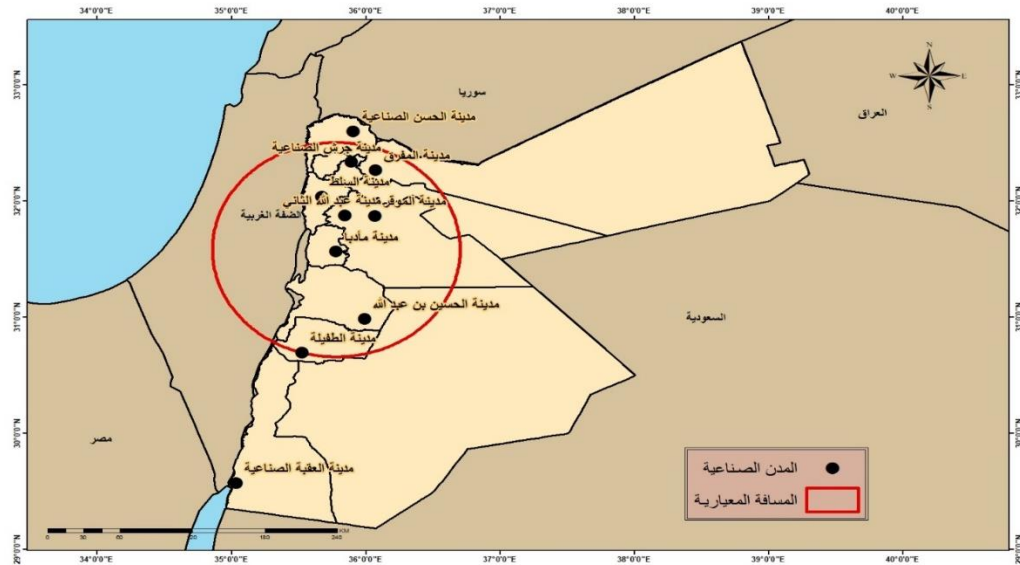
11. الأشكال والرسومات البيانية: شكل 1. المدن الصناعية الأردنية الخاضعة للدراسة



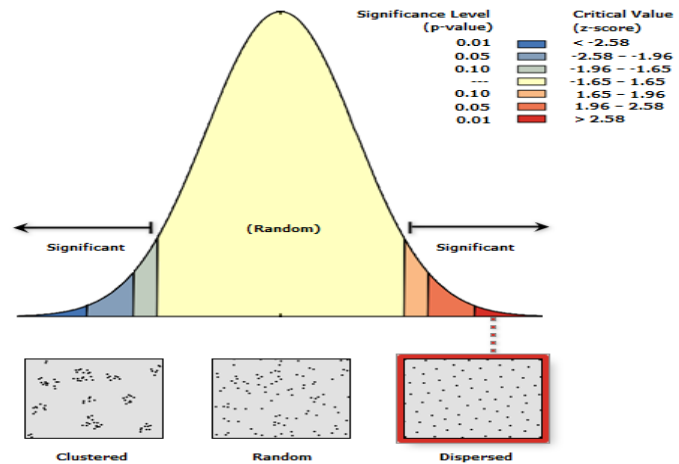
المصدر: إعداد الباحثين شكل 2. التوزيع الجغرافي للمدن الصناعية الأردنية



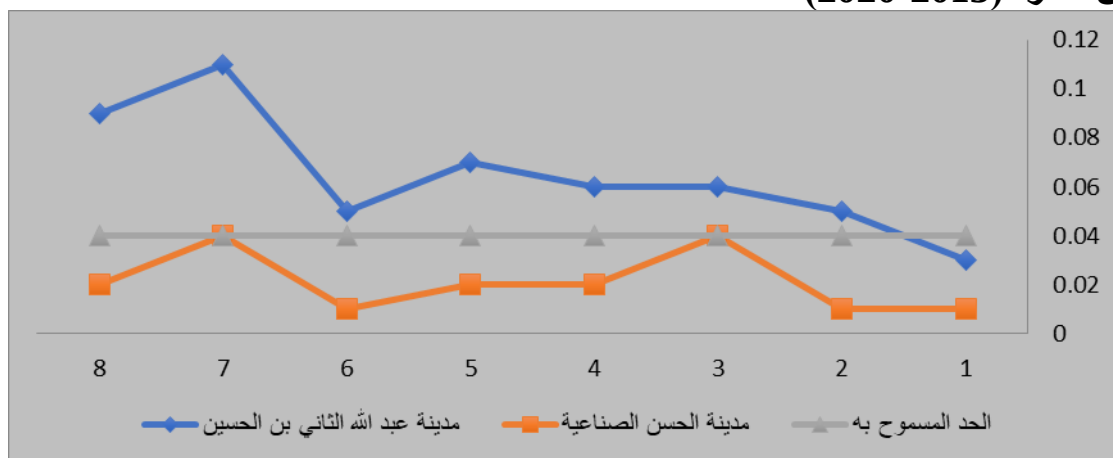
المصدر: إعداد الباحثين شكل 3. المسافة المعيارية للمدن الصناعية الأردنية



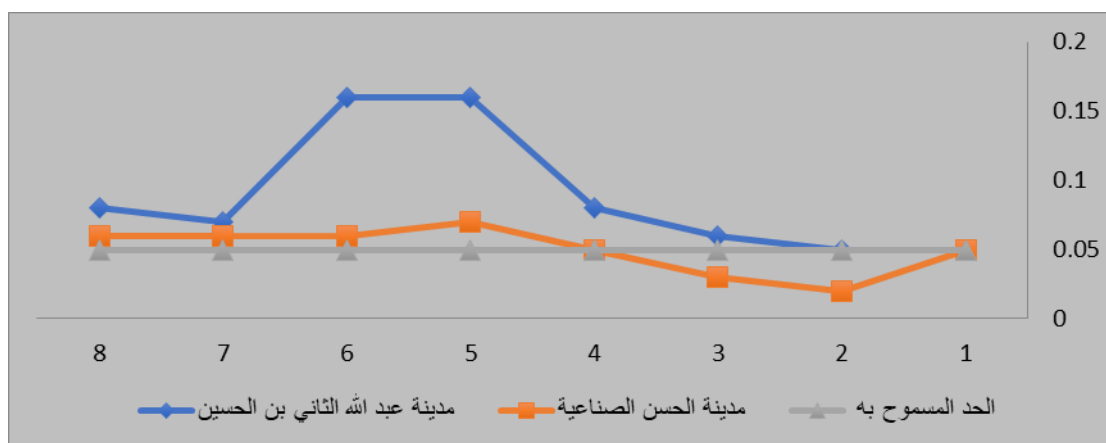
المصدر: إعداد الباحثين
شكل 4. نمط توزيع المدن الصناعية الأردنية- نتائج اختبار الجار الأقرب



المصدر: إعداد الباحثين
شكل 5. تركيز غاز أول أكسيد الكربون الناتج في مدينة الحسن الصناعية ومدينة عبد الله الثاني بن الحسين للفترة (2013-2020)

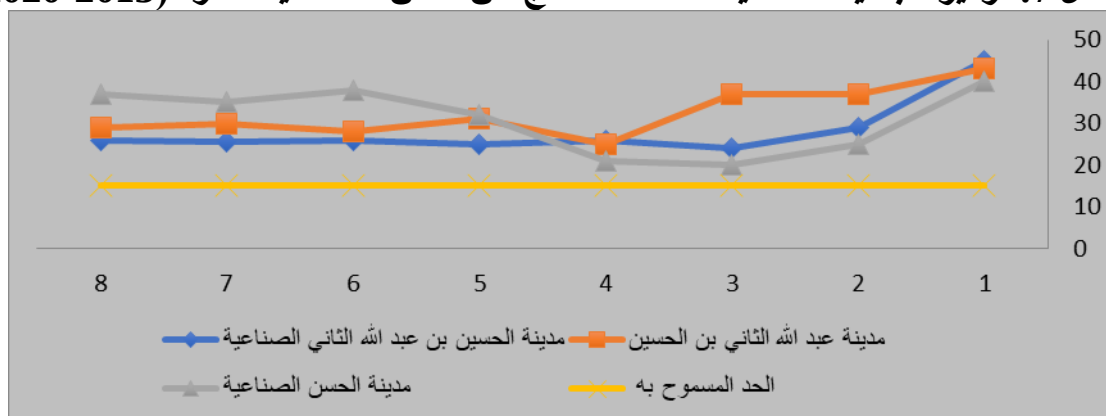


المصدر: إعداد الباحثين
شكل 6. تركيز غاز ثاني أكسيد النتروجين الناتج في مدينة الحسن الصناعية ومدينة عبد الله الثاني بن الحسين للفترة (2013-2020)



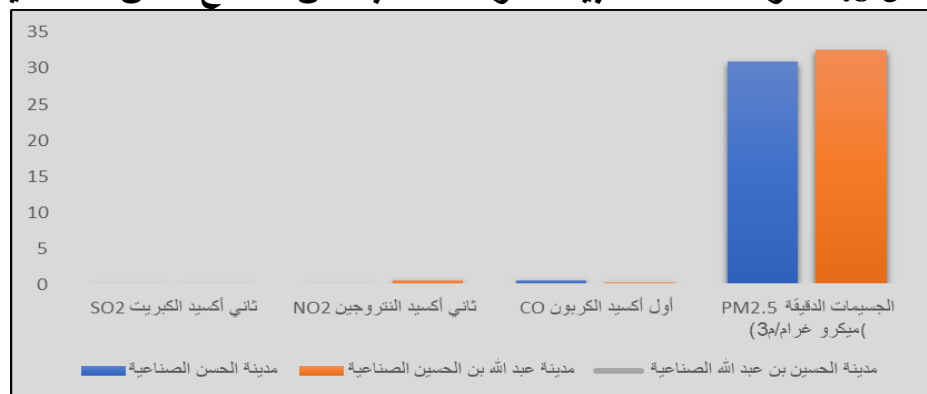
المصدر: إعداد الباحثين

شكل 7. تركيز الجسيمات الدقيقة العالقة، الناتج عن المدن الصناعية للفترة (2020-2013)



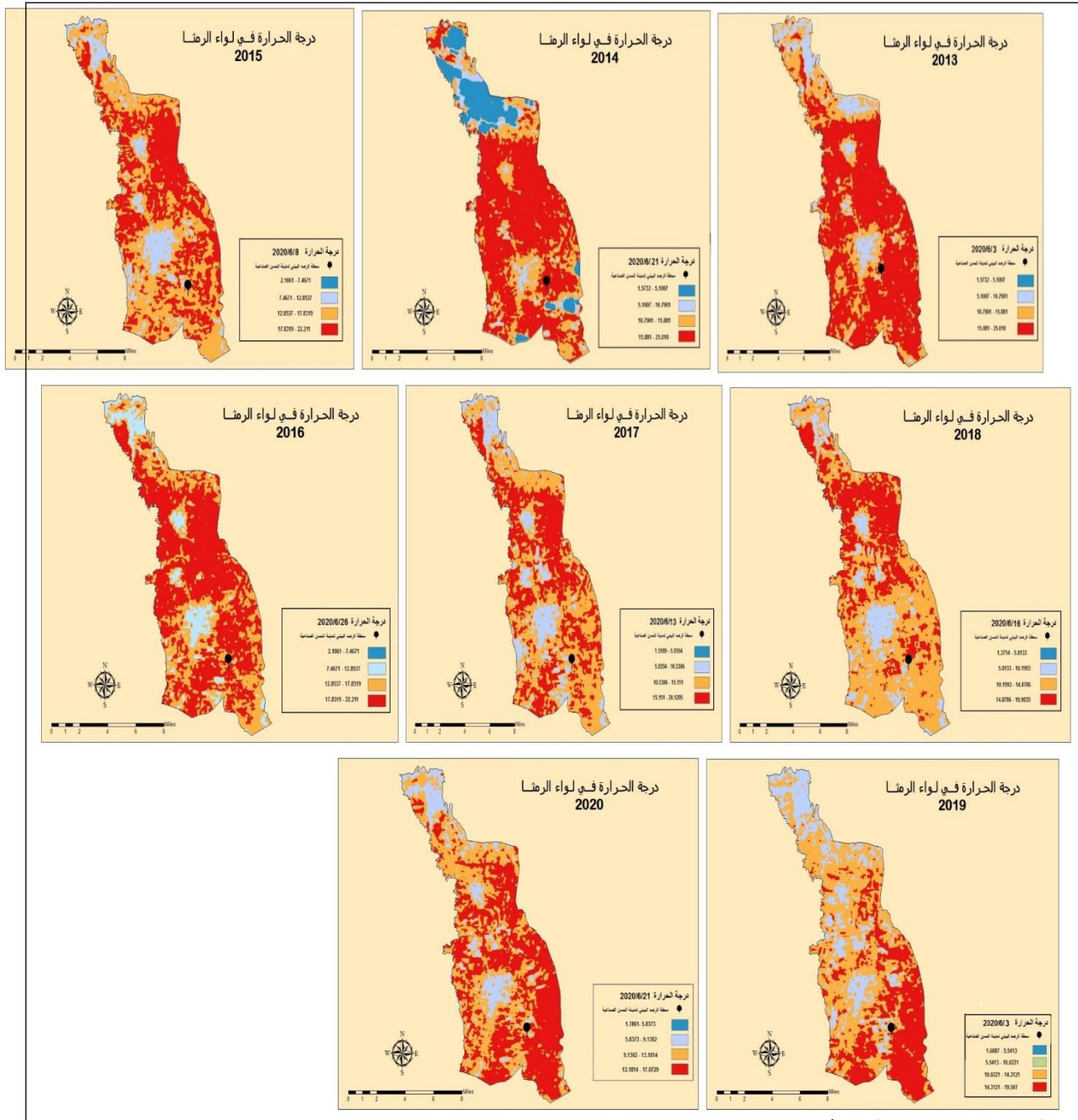
المصدر: إعداد الباحثين

شكل 8. المتوسطات الحسابية للملوثات الناتجة عن مصانع المدن الصناعية



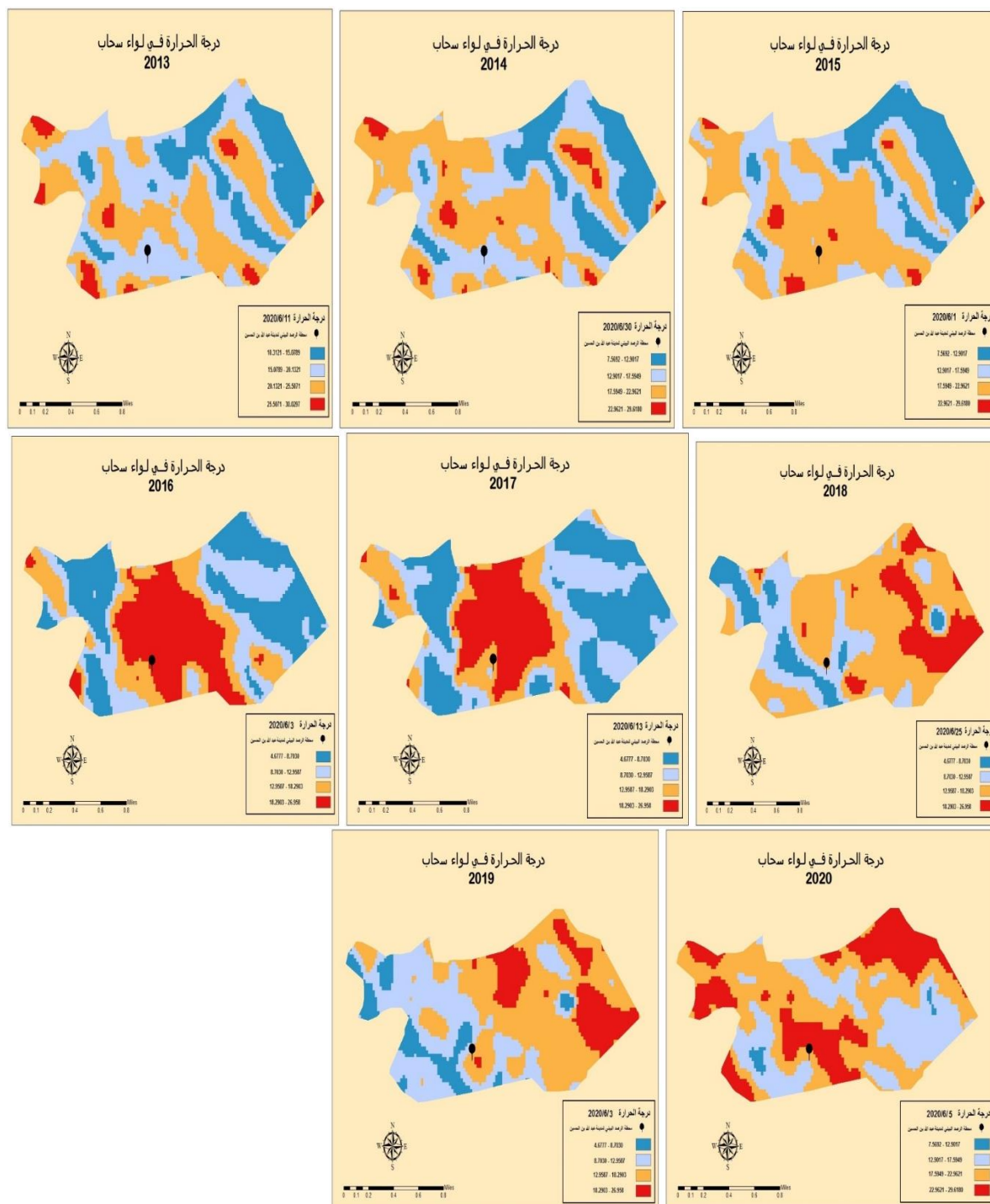
المصدر: إعداد الباحثين

شكل 9. درجة الحرارة في لواء الرمثا (2020- 2013)



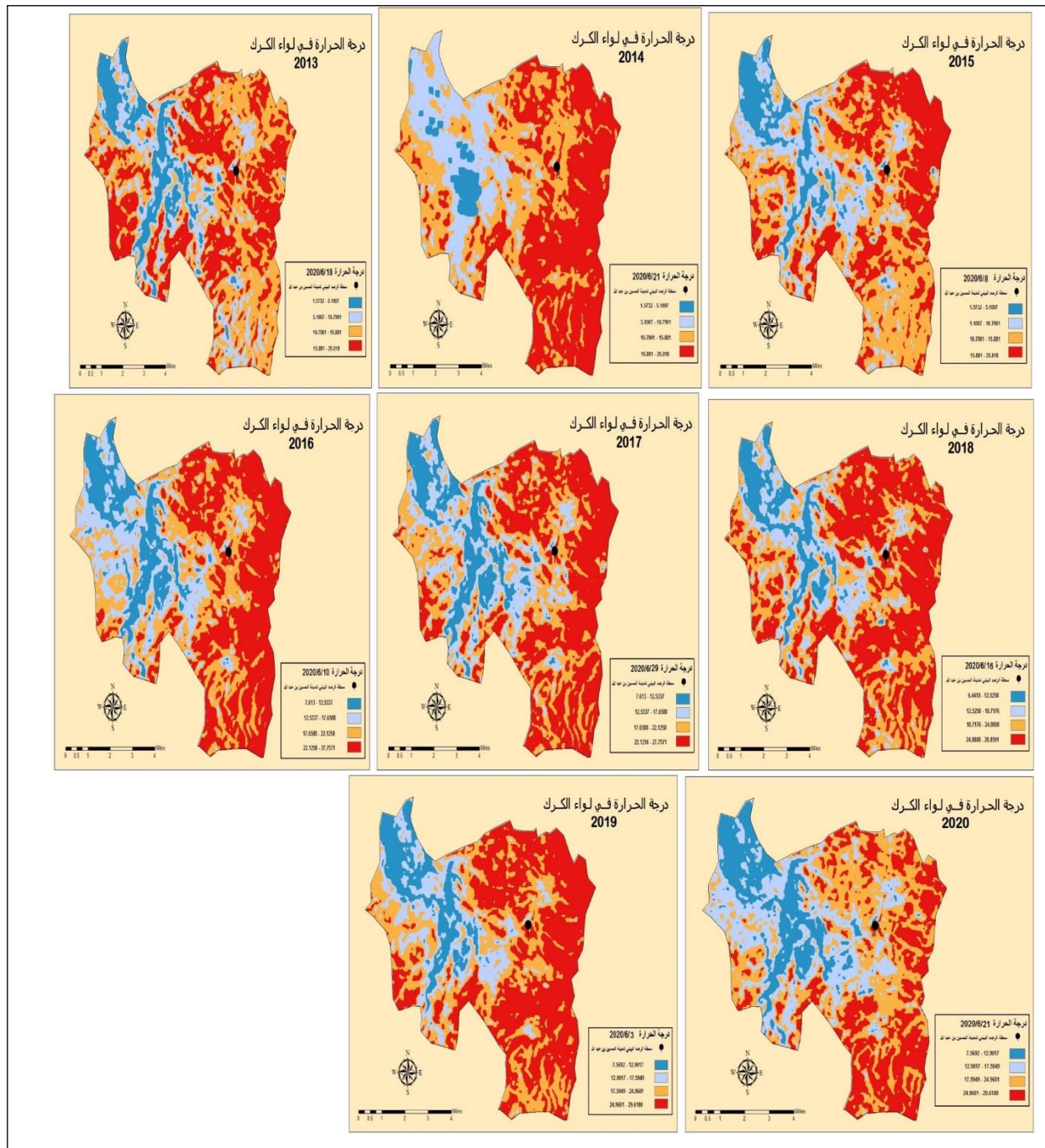
المصدر: إعداد الباحثين

شكل 10. درجة الحرارة في لواء سحاب (2013- 2020)



المصدر: إعداد الباحثين

شكل 11. درجة الحرارة في لواء قصبه الكرك (2020- 2013)



المصدر: إعداد الباحثين

12. قائمة المراجع:
1.12 باللغة العربية
1.1.12 المقالات

54