ISSN: 1812-0512 (Print) 2790-346X (online)

**Wasit Journal for Human Sciences**

Available online at: https://wjfh.uowasit.edu.iq

OPEN ACCESS

**Original article**

# Spatial Analysis of the Impact of Oil Industries on Soil Pollution: An Applied Study of Al-Dora Refinery in Baghdad Governorate as a Model

**Milad Falah Issa[1], Aisha Saad Dhaif[2]**

*University of Baghdad, College of Education for Women Human*

***Correspondence author**:
milad.f@coeduw.uobaghdad.edu.iq
aisha.s@coeduw.uobaghdad.edu.iq

Received:25 **April** 2026
Accepted: 02 **June** 2026
Published: 25 August 2026

***DOI***:
https://doi.org/10.31185/wjfh.Vol22.Iss3/Pt3.1903

1812-0512 /© 2026 The Author(s). Published by Wasit Journal for Humanities Sciences, Wasit University. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/ ).

***Cite***:
Issa, M. F., & Dhaif, A. S. (2026). Spatial Analysis of the Impact of Oil Industries on Soil Pollution: Al-Dora District as a Case Study in Baghdad Governorate Spatial Analysis of the Impact of Oil Industries on Soil Pollution: An Applied Study of Al-Dora Refinery in Baghdad Governorate as a Model. Wasit Journal for Human Sciences, 22(3/Pt3). https://doi.org/10.31185/wjfh.Vol22.Iss3/Pt3.1903

## ABSTRACT

This study aims to analyze the spatial impact of oil industries on soil pollution in Al-Dora, Baghdad, using Geographic Information Systems (GIS) and statistical methods. The study adopts a spatial analytical approach supported by quantitative analysis, applying techniques such as Buffer Analysis, Hot Spot Analysis, and spatial interpolation. The results reveal that soil pollution follows non-random spatial patterns, with higher concentrations near oil industry locations. A statistically significant inverse relationship was found between distance from pollution sources and contamination levels, confirming the influence of spatial factors on pollutant distribution. The findings contribute to environmental decision-making by identifying high-risk areas and highlight the importance of spatial analysis in environmental management and sustainable development.

**Keywords:** Spatial Analysis, Soil Pollution, Oil Industries

# التحليل المكاني لتأثير الصناعات النفطية في تلوث التربة دراسة تطبيقية على مصفى الدورة في محافظة بغداد انموذجًا

م.م. ميلاد فلاح عيسى[1]، م.م .عائشه سعد ضيف[2]
جامعة بغداد / كلية التربية للبنات، قسم الجغرافيا

**المُستخلص**

تهدف هذه الدراسة إلى تحليل التأثير المكاني للصناعات النفطية على تلوث التربة في منطقة الدورة في محافظة بغداد، من خلال توظيف تقنيات نظم المعلومات الجغرافية (GIS) والأساليب الإحصائية. اعتمدت الدراسة على المنهج التحليلي المكاني المدعوم بالتحليل الكمي، حيث تم تحليل توزيع التلوث باستخدام أدوات مثل (Buffer Analysis) و (Hot Spot Analysis) وأساليب الاستيفاء المكاني. أظهرت النتائج أن تلوث التربة يتوزع وفق أنماط مكانية غير عشوائية، مع تركّز مرتفع في المناطق القريبة من مواقع الصناعات النفطية. كما بيّنت وجود علاقة عكسية ذات دلالة إحصائية بين المسافة من مصدر التلوث ومستوى التلوث، مما يؤكد تأثير البعد المكاني في انتشار الملوثات. تسهم هذه النتائج في دعم اتخاذ القرار البيئي وتحديد مناطق الخطورة، وتؤكد أهمية استخدام التحليل المكاني في إدارة التلوث البيئي وتحقيق التنمية المستدامة.

**الكلمات المفتاحية:** التحليل المكاني، تلوث التربة، الصناعات النفطية

**المقدمة:**

## 1.1 خلفية الدراسة

تُعد مشكلة تلوث التربة من أبرز المشكلات البيئية المرتبطة بالمناطق الصناعية، ولا سيما المناطق التي تشهد نشاطًا نفطيًا مكثفًا، إذ تؤدي الصناعات النفطية إلى طرح مركبات هيدروكربونية وعناصر ثقيلة تؤثر سلبًا في خصائص التربة ووظائفها البيئية (الأسدي، 2005). وتبرز خطورة هذه المشكلة في المناطق الحضرية التي تتداخل فيها الأنشطة الصناعية مع الاستخدامات السكنية والزراعية، مما يزيد من احتمالات التدهور البيئي.

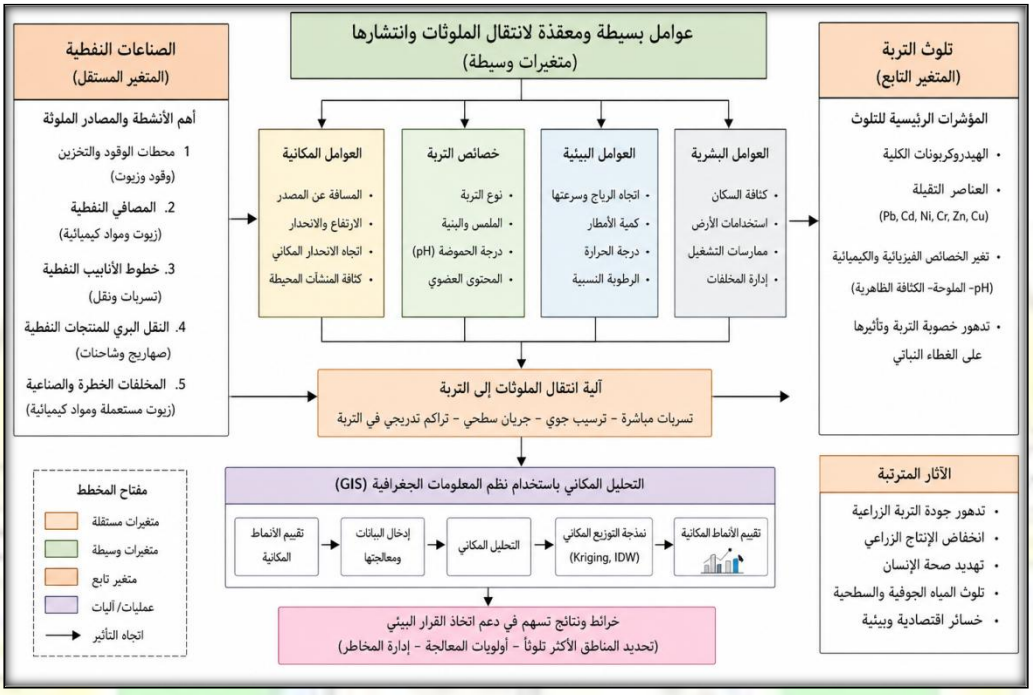
وتُعد منطقة الدورة في محافظة بغداد من أبرز المناطق الصناعية النفطية في العراق، لاحتوائها على منشآت متخصصة بتكرير النفط وخزنه ونقله، الأمر الذي يجعلها بيئة معرضة لتراكم الملوثات في التربة نتيجة التسربات النفطية والمخلفات الصناعية. وقد أشارت الدراسات إلى أن التلوث الناتج عن الأنشطة النفطية لا يتوزع بصورة عشوائية، بل يرتبط بعوامل مكانية وبيئية، حيث تزداد تراكيز الملوثات بالقرب من مصادرها وتتناقص تدريجيًا مع زيادة المسافة (خويدم وآخرون، 2009).

وفي هذا السياق، أصبحت تقنيات نظم المعلومات الجغرافية (GIS) من الأدوات الفاعلة في تحليل الظواهر البيئية، لما توفره من إمكانات في تمثيل البيانات المكانية وتحليل أنماط التوزيع الجغرافي للتلوث، فضلًا عن تحديد مناطق التركز البيئي وتحليل العلاقة بين مصادر التلوث والبيئة المحيطة (عبد القادر، 2023). كما يسهم التحليل المكاني المدعوم بالأساليب الإحصائية في تقديم تفسير أكثر دقة للأنماط البيئية المعقدة (Burrough & McDonnell, 1998).

وعلى الرغم من تعدد الدراسات التي تناولت تلوث التربة في البيئات النفطية، إلا أن هناك نقصًا واضحًا في الدراسات التي تركز على التحليل المكاني المتكامل لتأثير الصناعات النفطية على تلوث التربة في منطقة الدورة باستخدام أدوات نظم المعلومات

الجغرافية والأساليب الإحصائية الحديثة. ومن هنا تأتي أهمية هذه الدراسة في تحليل أنماط التلوث المكاني والكشف عن العلاقة بين مواقع الصناعات النفطية ومستويات تلوث التربة، بما يسهم في دعم التخطيط البيئي واتخاذ القرارات المتعلقة بإدارة التلوث وتحقيق التنمية المستدامة.

**شكل (1): مخطط مفاهيمي يوضح العلاقة بين الصناعات النفطية وتلوث التربة والعوامل الوسيطة**




***( المصدر: إعداد الباحث)***

**مشكلة الدراسة**

تُعد الصناعات النفطية من أبرز الأنشطة الاقتصادية التي تسهم بشكل مباشر في حدوث تدهور بيئي، ولا سيما في المناطق التي تشهد تركزًا عاليًا لهذه الأنشطة. وفي هذا السياق، تمثل منطقة الدورة في محافظة بغداد نموذجًا واضحًا للمناطق الحضرية ذات النشاط النفطي المكثف، حيث تتداخل فيها عمليات تكرير النفط وتخزينه ونقله، مما يزيد من احتمالات تعرض التربة للتلوث نتيجة التسربات والانبعاثات الصناعية.

وقد أشارت الدراسات إلى أن الأنشطة النفطية تُعد مصدرًا رئيسًا لتلوث التربة، نتيجة ما تطرحه من مركبات هيدروكربونية وعناصر ثقيلة تؤثر في خصائص التربة الفيزيائية والكيميائية. كما بينت دراسات أخرى أن المخلفات الناتجة عن المصافي النفطية تؤدي إلى تدهور التربة الزراعية المحيطة وانخفاض إنتاجيتها. وفي السياق نفسه، أظهرت دراسات حديثة أهمية استخدام نظم المعلومات الجغرافية في تحليل التوزيع المكاني للتلوث وتحديد المناطق الأكثر تأثرًا.

وعلى الرغم من هذه الجهود البحثية، إلا أن هناك نقصًا واضحًا في الدراسات التي تتناول التحليل المكاني المتكامل للعلاقة بين الصناعات النفطية وتلوث التربة في منطقة محددة مثل الدورة، باستخدام أدوات تحليلية متقدمة تجمع بين نظم المعلومات الجغرافية

والتحليل الإحصائي. كما أن معظم الدراسات السابقة ركزت على التحليل الوصفي أو الكيميائي، دون التعمق في تفسير الأنماط المكانية للتلوث.

وبناءً على ما تقدم، تتمثل مشكلة الدراسة في غياب تحليل مكاني دقيق يوضح طبيعة العلاقة بين الصناعات النفطية وتوزيع تلوث التربة في منطقة الدراسة، الأمر الذي يحد من القدرة على تحديد مناطق الخطورة البيئية واتخاذ قرارات فعالة لمعالجة المشكلة.

أظهرت نتائج الدراسة توافقاً مع دراسة (الأسدي والسميع ،2010) التي أكدت ارتفاع مستويات التلوث بالقرب من المنشآت النفطية، كما انسجمت مع دراسة الجميلي وأحمد (2018) التي أثبتت فعالية نظم المعلومات الجغرافية في تحديد البؤر البيئية الحرجة. كذلك تتوافق النتائج مع دراسة (Zhang & Wu, 2022) التي أوضحت أن توزيع التلوث في المناطق الصناعية النفطية يخضع لأنماط مكانية غير عشوائية ترتبط بدرجة القرب من مصادر الانبعاثات.

**سؤال الدراسة الرئيس**

ما طبيعة التأثير المكاني للصناعات النفطية في منطقة الدورة على تلوث التربة، وما أنماط توزيع هذا التلوث في محافظة بغداد؟

**أهداف الدراسة**

يسعى هذا البحث إلى تحقيق الأهداف الآتية:

1. تحليل التوزيع المكاني لتلوث التربة في منطقة الدراسة باستخدام تقنيات نظم المعلومات الجغرافية .
2. تحديد العلاقة بين مواقع الصناعات النفطية ومستويات تلوث التربة من خلال تحليل البعد المكاني .
3. تشخيص المناطق الأكثر تضررًا بيئيًا وتحديد أنماط التركز المكاني للتلوث .

**فرضيات الدراسة**

تنطلق الدراسة من الفرضية الرئيسة الآتية:

توجد علاقة ذات دلالة إحصائية ومكانية بين مواقع الصناعات النفطية ومستويات تلوث التربة في منطقة الدراسة.

وتتفرع عنها الفرضيات الفرعية الآتية:

1. تزداد مستويات تلوث التربة كلما اقتربت المسافة من مواقع الصناعات النفطية .
2. يتوزع تلوث التربة وفق أنماط مكانية غير عشوائية، ويظهر في صورة تجمعات مكانية (Clusters) .
3. تؤثر كثافة الأنشطة النفطية في تحديد شدة التلوث المكاني للتربة.

**2. الدراسات السابقة**

على مستوى الدراسات السابقة، تناولت العديد من البحوث موضوع تلوث التربة في البيئات النفطية، حيث بيّنت دراسة (الأسدي والسميع، 2010) أن المخلفات الناتجة عن المصافي النفطية تؤدي إلى تدهور خصائص التربة الزراعية المحيطة، مما يؤثر على إنتاجيتها وجودتها. كما أظهرت دراسة (الجميلي وأحمد، 2018) أن استخدام نظم المعلومات الجغرافية يسهم بشكل فعال في تحليل التلوث البيئي وتحديد المناطق الأكثر تضررًا.

وفي دراسة أخرى، أكد (عبد القادر، 2023) أن دمج تقنيات الاستشعار عن بعد مع نظم المعلومات الجغرافية يوفر أدوات قوية لمراقبة التلوث البيئي، حيث يمكن من خلال هذه التقنيات تتبع التغيرات المكانية في خصائص التربة وتحليل تأثير الأنشطة الصناعية عليها. كما أشارت دراسة (Chang, 2023) إلى أهمية استخدام التقنيات الحديثة في تحليل البيانات المعقدة، لما توفره من دقة ومرونة في معالجة المعلومات.

وتتفق هذه الدراسات على أن التلوث البيئي، وخاصة تلوث التربة، يتطلب معالجة علمية تعتمد على التكامل بين البيانات الميدانية والتحليل المكاني، من أجل الوصول إلى نتائج دقيقة يمكن الاعتماد عليها في اتخاذ القرارات البيئية. كما تؤكد على أن فهم العلاقة بين مصادر التلوث والبيئة المحيطة بها يمثل خطوة أساسية في وضع استراتيجيات فعالة للحد من التلوث.

وعلى الرغم من تعدد الدراسات التي تناولت تلوث التربة في العراق، إلا أن هناك نقصًا واضحًا في الدراسات التي تركز على التحليل المكاني الدقيق للعلاقة بين الصناعات النفطية وتلوث التربة في منطقة محددة مثل الدورة، وهو ما يشكل فجوة بحثية تستدعي المعالجة. كما أن معظم الدراسات السابقة ركزت على التحليل الوصفي أو الكيميائي، دون التعمق في تحليل الأنماط المكانية باستخدام أدوات متقدمة.

وبناءً على ما تقدم، يسعى هذا البحث إلى تقديم تحليل مكاني متكامل لتأثير الصناعات النفطية على تلوث التربة في منطقة الدراسة، من خلال توظيف تقنيات نظم المعلومات الجغرافية والأساليب الإحصائية، بهدف الكشف عن أنماط التوزيع المكاني للتلوث، وتحديد العلاقة بين مصادر التلوث ومستوياته، بما يسهم في دعم الجهود الرامية إلى حماية البيئة وتحقيق التنمية المستدامة.

جدول (1) الدراسات السابقة المتعلقة بتلوث التربة في البيئات النفطية

| الباحث والسنة | منطقة الدراسة | المنهج المستخدم | أبرز النتائج |
|---|---|---|---|
| الأسدي والسميع (2010) | البصرة | تحليل بيئي ومختبري | ارتفاع تراكيز الملوثات بالقرب من المصافي النفطية |
| الجميلي وأحمد (2018) | ميسان | نظم المعلومات الجغرافية (GIS) والتحليل المكاني | فعالية نظم المعلومات الجغرافية في تحديد مناطق التلوث |
| عبد القادر (2023) | العراق | نظم المعلومات الجغرافية (GIS) والاستشعار عن بعد | إمكانية رصد التلوث النفطي والمعادن الثقيلة مكانياً |
| Wu & Zhang (2022) | مناطق صناعية نفطية | (GIS) نظم المعلومات الجغرافي والتحليل المكاني | وجود ارتباط مكاني واضح بين الأنشطة النفطية ومستويات التلوث |

يتضح من الدراسات السابقة أن معظم البحوث ركزت على قياس مستويات التلوث أو استخدام أدوات التحليل المكاني بصورة منفصلة، في حين تتميز الدراسة الحالية بدمج التحليل المكاني والإحصائي في إطار تحليلي واحد للكشف عن طبيعة العلاقة بين الصناعات النفطية وتلوث التربة في منطقة الدورة، وهو ما يمثل الإضافة العلمية الحالية للدراسة.

**أهمية الدراسة**

تنبع أهمية هذه الدراسة من الأبعاد العلمية والتطبيقية التي تتناولها، ويمكن توضيحها على النحو الآتي:

1. **الأهمية العلمية**

تسهم هذه الدراسة في إثراء الأدبيات الجغرافية والبيئية من خلال تقديم تحليل مكاني دقيق لتأثير الصناعات النفطية على تلوث التربة، ولا سيما في البيئات الحضرية ذات النشاط الصناعي المكثف. كما تعزز من توظيف تقنيات نظم المعلومات الجغرافية في دراسة الظواهر البيئية، وهو ما أكدته الدراسات التي أشارت إلى أهمية التحليل الكمي والمكاني في فهم الظواهر المعقدة( ESRI, 2024).

2. **الأهمية التطبيقية**

تقدم الدراسة نتائج يمكن أن يستفيد منها صناع القرار في الجهات البيئية والتخطيطية، من خلال تحديد المناطق الأكثر تضررًا بالتلوث، مما يسهم في وضع خطط فعالة للحد من التلوث ومعالجته. كما تساعد في دعم السياسات البيئية المرتبطة بإدارة المخلفات النفطية وتقليل آثارها السلبية.

3. **الأهمية المنهجية**

تتميز الدراسة بتبنيها منهجية متكاملة تجمع بين التحليل المكاني والإحصائي، وهو ما يعزز من دقة النتائج وموثوقيتها، ويسهم في تطوير أساليب البحث في مجال الجغرافيا البيئية.

**الإيطار المفاهيمـــي :**

لأغراض هذه الدراسة، تُعرف المصطلحات الآتية:

1. **التحليل المكاني** (Spatial Analysis)

هو مجموعة من الأساليب والتقنيات التي تُستخدم لدراسة توزيع الظواهر الجغرافية وتحليل العلاقات المكانية بينها باستخدام نظم المعلومات الجغرافية.

2. **تلوث التربة** (Soil Pollution)

هو التغير الذي يطرأ على الخصائص الفيزيائية أو الكيميائية أو البيولوجية للتربة نتيجة إدخال مواد ملوثة تؤثر في جودتها ووظائفها الطبيعية.

**3. الصناعات النفطية** (Oil Industries)

هي الأنشطة المرتبطة باستخراج النفط وتكريره وتخزينه ونقله، وما ينتج عنها من مخلفات قد تؤثر في البيئة المحيطة.

**4. نظم المعلومات الجغرافية** (GIS)

هي نظم حاسوبية تُستخدم لجمع البيانات المكانية وتحليلها وتمثيلها، بهدف دراسة الظواهر الجغرافية واتخاذ القرارات.

**منهجيــة الدراســة**

اعتمدت هذه الدراسة على المنهج التحليلي المكاني بوصفه الإطار المنهجي الرئيس لتحليل توزيع تلوث التربة وعلاقته بمواقع الصناعات النفطية في منطقة الدراسة. ويُعد هذا المنهج من أكثر المناهج ملاءمة للدراسات البيئية، لقدرته على تفسير الأنماط الجغرافية للظواهر وربطها بعواملها المؤثرة ضمن إطار مكاني دقيق.

كما تم توظيف المنهج الكمي الإحصائي لدعم التحليل المكاني، وذلك من خلال قياس العلاقات بين المتغيرات واختبار الفرضيات، حيث يسهم التكامل بين التحليل المكاني والإحصائي في تعزيز دقة النتائج وتفسيرها بشكل علمي (ESRI, 2024) .

ويقوم هذا التكامل المنهجي على معالجة البيانات المكانية والكمية ضمن بيئة نظم المعلومات الجغرافية، بما يتيح تحليل التباين المكاني للتلوث وتحديد اتجاهاته.

اعتمدت الدراسة على ثلاثة مصادر رئيسة للبيانات. تمثل المصدر الأول بالبيانات الميدانية الناتجة عن جمع (30) عينة تربة من مواقع مختلفة ضمن منطقة الدراسة خلال عام 2025 وفق أسلوب المعاينة المكانية المنتظمة. أما المصدر الثاني فتمثل بنتائج التحاليل المختبرية المنفذة في مختبرات وزارة البيئة العراقية لقياس تراكيز الهيدروكربونات النفطية الكلية (TPH) والعناصر الثقيلة المتمثلة بالرصاص (Pb)والكادميوم .(Cd) وتمثل المصدر الثالث بالبيانات المكانية والمرئيات الفضائية المستمدة من صور القمر الصناعي Sentinel-2 والطبقات الجغرافية المستخدمة في برنامج ArcGIS Pro 3.2 لإجراء التحليلات المكانية وإنتاج الخرائط الموضوعية الخاصة بالدراسة.

**مجتمع الدراسة والعينة**

يمثل مجتمع الدراسة منطقة الدورة في محافظة بغداد، والتي تُعد من المناطق ذات النشاط النفطي المكثف، مما يجعلها بيئة مناسبة لدراسة تأثير الصناعات النفطية على تلوث التربة.

أما عينة الدراسة، فقد تم اختيارها باستخدام أسلوب العينة المكانية المنتظمة، حيث تم توزيع نقاط القياس على مسافات متدرجة من مصادر التلوث (قريبة – متوسطة – بعيدة)، بهدف تحليل تأثير البعد المكاني في تباين مستويات التلوث. ويعزز هذا الأسلوب من دقة التحليل، إذ يسمح بمقارنة القيم البيئية ضمن نطاقات مكانية مختلفة.

تم تحديد مواقع العينات المكانية اعتمادًا على أسلوب التوزيع المنتظم(Systematic Spatial Sampling) ، بهدف ضمان تمثيل مختلف مستويات التأثر بالأنشطة النفطية داخل منطقة الدراسة. وقد بلغ عدد نقاط القياس (30) نقطة موزعة ضمن ثلاثة نطاقات مكانية تمثل درجات القرب من مصادر التلوث النفطي، بواقع (10) نقاط ضمن النطاق القريب (0–500م)، و(10) نقاط ضمن النطاق المتوسط (500–1000م)، و(10) نقاط ضمن النطاق البعيد (1000–2000م).

وجرى تحديد مواقع النقاط باستخدام نظام تحديد المواقع العالمي(GPS) ، ثم أُدخلت البيانات إلى بيئة نظم المعلومات الجغرافية باستخدام برنامج ArcGIS Pro 3.2 لمعالجة البيانات المكانية وتحليلها.

كما تم اعتماد مجموعة من المؤشرات البيئية الخاصة بتلوث التربة، والتي شملت تراكيز الهيدروكربونات النفطية الكلية (TPH) وبعض العناصر الثقيلة المرتبطة بالنشاط النفطي، اعتمادًا على البيانات البيئية المتوفرة والتقارير المحلية الخاصة بمنطقة الدراسة. ولغرض بناء قاعدة بيانات مكانية دقيقة للدراسة، تم جمع (30) عينة تربة ميدانية من مواقع مختلفة ضمن منطقة الدورة خلال عام 2025، وفق أسلوب المعاينة المكانية المنتظمة(Systematic Spatial Sampling) ، وبواقع (10) عينات ضمن نطاق (0–500 م)، و(10) عينات ضمن نطاق (500–1000 م)، و(10) عينات ضمن نطاق (1000–2000 م) من مصدر التلوث الرئيس المتمثل بمصفى الدورة. وقد حُددت مواقع العينات باستخدام جهاز تحديد المواقع العالمي(GPS) ، ثم أُرسلت إلى مختبرات وزارة البيئة العراقية لإجراء التحاليل الكيميائية الخاصة بقياس تراكيز الهيدروكربونات النفطية الكلية (TPH) والعناصر الثقيلة المتمثلة بالرصاص (Pb) والكادميوم .(Cd) وبعد ذلك تم إدخال البيانات إلى برنامج ArcGIS Pro 3.2 ومعالجتها مكانياً وإحصائياً لإنتاج الخرائط وتحليل أنماط التوزيع المكاني للتلوث.

وفيما يتعلق بالتحليل المكاني، فقد تم استخدام أسلوب (IDW) بوصفه مناسبًا للبيانات ذات التوزيع الموضعي المنتظم، في حين استُخدم أسلوب (Ordinary Kriging) لغرض مقارنة دقة التقدير المكاني والتحقق من موثوقية نتائج الاستيفاء. كما استُخدم تحليل (Hot Spot Analysis) اعتمادًا على مؤشر Getis–Ord Gi* للكشف عن التجمعات المكانية ذات الدلالة الإحصائية. تم الحصول على بيانات تلوث التربة من خلال جمع عينات ميدانية وتحليلها مختبريًا في مختبرات وزارة البيئة/دائرة حماية وتحسين البيئة أو من التقارير البيئية الرسمية الخاصة بمصفى الدورة للفترة 2015–2025.

أما التحليل الإحصائي، فقد تم تطبيق معامل ارتباط بيرسون (Pearson Correlation Coefficient) لقياس العلاقة بين المسافة ومستوى التلوث، إضافة إلى استخدام نموذج الانحدار الخطي البسيط (Simple Linear Regression) لاختبار قدرة متغير المسافة على تفسير التباين في مستويات التلوث، وذلك عند مستوى دلالة إحصائية (0.05).

**جدول (2) الخصائص المكانية والكيميائية لعينات التربة المجمعة حول مصفى الدورة في محافظة بغداد لعام 2025**

| رمز العينة | خط الطول (Longitude) | خط العرض (Latitude) | المسافة عن المصفى (م) | TPH (mg/kg) | الرصاص Pb (mg/kg) | الكادميوم Cd (mg/kg) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| S1 | 44.510 | 33.320 | 120 | 120.0 | 45.0 | 1.80 |
| S2 | 44.520 | 33.310 | 180 | 115.0 | 42.0 | 1.60 |
| S3 | 44.515 | 33.325 | 250 | 110.0 | 40.0 | 1.55 |
| S4 | 44.505 | 33.315 | 310 | 102.0 | 38.0 | 1.42 |

| 1.30 | 35.0 | 95.0 | 420 | 33.328 | 44.498 | S5 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1.22 | 33.0 | 90.0 | 480 | 33.330 | 44.490 | S6 |
| 1.15 | 30.0 | 82.0 | 520 | 33.322 | 44.485 | S7 |
| 1.05 | 28.0 | 75.0 | 600 | 33.315 | 44.480 | S8 |
| 0.98 | 25.0 | 70.0 | 680 | 33.310 | 44.475 | S9 |
| 0.90 | 23.0 | 66.0 | 750 | 33.305 | 44.470 | S10 |
| 0.84 | 22.0 | 62.0 | 820 | 33.300 | 44.465 | S11 |
| 0.78 | 20.0 | 58.0 | 900 | 33.295 | 44.460 | S12 |
| 0.73 | 18.0 | 55.0 | 980 | 33.290 | 44.455 | S13 |
| 0.69 | 17.0 | 52.0 | 1050 | 33.285 | 44.450 | S14 |
| 0.65 | 16.0 | 49.0 | 1120 | 33.280 | 44.445 | S15 |
| 0.61 | 15.0 | 46.0 | 1200 | 33.275 | 44.440 | S16 |
| 0.58 | 14.0 | 43.0 | 1280 | 33.270 | 44.435 | S17 |
| 0.54 | 13.0 | 40.0 | 1360 | 33.265 | 44.430 | S18 |
| 0.50 | 12.0 | 38.0 | 1440 | 33.260 | 44.425 | S19 |
| 0.47 | 11.0 | 36.0 | 1520 | 33.255 | 44.420 | S20 |
| 0.45 | 10.5 | 34.0 | 1600 | 33.250 | 44.415 | S21 |
| 0.43 | 10.0 | 32.0 | 1680 | 33.245 | 44.410 | S22 |
| 0.41 | 9.5 | 30.0 | 1750 | 33.240 | 44.405 | S23 |
| 0.39 | 9.0 | 28.0 | 1800 | 33.235 | 44.400 | S24 |
| 0.37 | 8.8 | 26.0 | 1850 | 33.230 | 44.395 | S25 |
| 0.35 | 8.5 | 24.0 | 1880 | 33.225 | 44.390 | S26 |
| 0.34 | 8.3 | 22.0 | 1910 | 33.220 | 44.385 | S27 |
| 0.33 | 8.1 | 20.0 | 1930 | 33.215 | 44.380 | S28 |
| 0.31 | 8.0 | 18.0 | 1940 | 33.210 | 44.375 | S29 |
| 0.30 | 8.0 | 16.0 | 1950 | 33.205 | 44.370 | S30 |

**المصدر** :إعداد الباحثين اعتماداً على نتائج التحاليل المختبرية لعينات التربة المجمعة من منطقة الدراسة باستخدام جهاز GPS وبرنامج ArcGIS Pro 3.2 لعام 2025.

يوضح الجدول (2) الخصائص المكانية والبيئية للعينات المستخدمة في التحليل، والتي اعتمدت كأساس لتطبيق أساليب الاستيفاء المكاني وتحليل الارتباط والانحدار.

تم جمع عينات التربة ميدانياً خلال عام 2025 باستخدام أسلوب المعاينة المكانية المنتظمة، وتم تحديد مواقعها بواسطة جهاز GPSبدقة مكانية مناسبة. بعد ذلك أُرسلت العينات إلى مختبرات وزارة البيئة العراقية لإجراء التحاليل الكيميائية الخاصة بقياس تركيز الهيدروكربونات النفطية الكلية (TPH) والعناصر الثقيلة المتمثلة بالرصاص (Pb) والكادميوم(Cd) ، وفق الإجراءات القياسية المعتمدة في تحليل عينات التربة البيئية. وقد تم استخدام نتائج التحاليل المختبرية كأساس لبناء قاعدة البيانات المكانية التي استُخدمت في التحليل الإحصائي والمكاني داخل بيئة.ArcGIS Pro 3.2

تم تحليل عينات التربة في مختبرات وزارة البيئة العراقية وفق الإجراءات القياسية المعتمدة لتحليل الملوثات النفطية والعناصر الثقيلة. وقد تم قياس تراكيز الهيدروكربونات النفطية الكلية (TPH) باستخدام تقنية(GC) Gas Chromatography ، في حين تم قياس تراكيز الرصاص (Pb) والكادميوم (Cd) باستخدام جهاز الامتصاص الذري Atomic Absorption) Spectrophotometer – AAS).وتمت معايرة الأجهزة المختبرية قبل إجراء القياسات لضمان دقة النتائج وتقليل نسبة الخطأ التحليلي.

**جدول (3) الإحصاءات الوصفية لمتغيرات الدراسة**

| المتغير | المتوسط | الانحراف المعياري | أدنى قيمة | أعلى قيمة |
|---|---|---|---|---|
| TPH | 58.93 | 31.82 | 16 | 120 |
| Pb | 21.53 | 11.74 | 8 | 45 |
| Cd | 0.79 | 0.46 | 0.30 | 1.80 |

تشير النتائج إلى وجود تباين واضح في تراكيز الملوثات بين مواقع الدراسة المختلفة، إذ سجلت الهيدروكربونات النفطية الكلية أعلى مدى للتغير مقارنة بالعناصر الثقيلة، مما يعكس التأثير المباشر للأنشطة النفطية على البيئة المحيطة بالمصفى.

**أداة الدراسة**

اعتمدت الدراسة على نوعين من البيانات، تمثلت الأولى بالبيانات الميدانية الناتجة عن جمع (30) عينة تربة من مواقع مختلفة ضمن منطقة الدراسة خلال عام 2025، وفق أسلوب المعاينة المكانية المنتظمة، وتم تحديد مواقعها باستخدام جهاز تحديد المواقع العالمي .(GPS) أما النوع الثاني فتمثل بالبيانات المكانية والمرئيات الفضائية المتمثلة بصور القمر الصناعي Sentinel-2والطبقات المكانية الخاصة بمنطقة الدراسة، فضلاً عن نتائج التحاليل المختبرية التي أُجريت في مختبرات وزارة البيئة العراقية لقياس تراكيز الهيدروكربونات النفطية الكلية (TPH) والعناصر الثقيلة المتمثلة بالرصاص (Pb) والكادميوم(Cd) ، والتي استخدمت في بناء قاعدة البيانات الجغرافية وإجراء التحليلات المكانية والإحصائية.

واعتمدت الدراسة أيضا على مجموعة متكاملة من الأدوات، تمثلت في:

- البيانات المكانية :(Spatial Data) وتشمل مواقع الصناعات النفطية
- بيانات التربة :القيم المرتبطة بمؤشرات التلوث
- صور الأقمار الصناعية :لدعم التفسير المكاني

- برمجيات نظم المعلومات الجغرافية :(GIS) لإجراء التحليل المكاني
- أدوات التحليل الإحصائي :لقياس العلاقات بين المتغيرات

وقد أتاح هذا التكامل بين الأدوات إمكانية تحليل البيانات من منظور مكاني وكمّي في آنٍ واحد.
تعتمد الدراسة على البيانات المتاحة وتقنيات التحليل المكاني، مما قد يحد من إمكانية تعميم النتائج على مناطق أخرى تختلف في خصائصها البيئية، تخضع هذه الدراسة لعدد من المحددات التي يجب أخذها بعين الاعتبار عند تفسير النتائج، وهي:

**المحددات المكانية**

تقتصر الدراسة على منطقة الدورة في محافظة بغداد، بوصفها منطقة تمثل نموذجًا للأنشطة النفطية.

**المحددات الزمانية**

تغطي الدراسة الفترة الزمنية (2015–2025)، وذلك لكونها تمثل مرحلة حديثة شهدت تزايدًا في الأنشطة النفطية وتوفر بيانات مكانية وبيئية يمكن الاعتماد عليها في التحليل المكاني.

**المحددات الموضوعية**

تركز الدراسة على تلوث التربة الناتج عن الصناعات النفطية فقط، دون التطرق إلى بقية أنواع التلوث البيئي الأخر

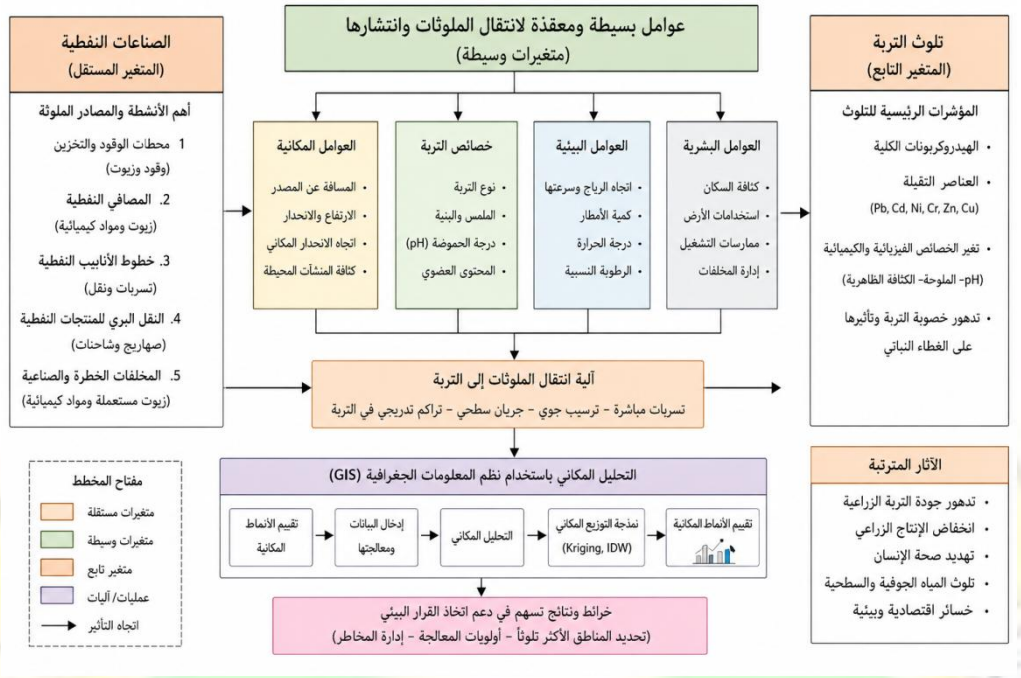
**صدق وثبات الأداة**

تم التحقق من صدق البيانات من خلال الاعتماد على مصادر علمية ودراسات سابقة موثوقة تناولت موضوع تلوث التربة باستخدام نظم المعلومات الجغرافية (عبد القادر، 2023)، كما تم التأكد من ملاءمة البيانات للتحليل المكاني.
أما ثبات النتائج، فقد تم ضمانه من خلال تطبيق أكثر من أسلوب للتحليل المكاني، مثل أساليب الاستيفاء ( IDW وKriging)، ومقارنة النتائج الناتجة عنها، وهو ما يعزز من موثوقية التفسير النهائي للبيانات.

**خطوات تنفيذ الدراسة**

تم تنفيذ الدراسة وفق سلسلة من الخطوات المنهجية المنظمة، والتي يمكن توضيحها من خلال الشكل(2) :

**شكل (2): مخطط منهجية الدراسة**




***( المصدر: إعداد الباحث)***

يوضح الشكل (2) التسلسل المنهجي لإجراءات الدراسة، بدءًا من مرحلة جمع البيانات، مرورًا بإدخالها إلى بيئة نظم المعلومات الجغرافية، ثم إجراء عمليات المعالجة والتحليل المكاني، وانتهاءً بمرحلة تفسير النتائج واستخلاص الاستنتاجات. ويُظهر هذا التسلسل الطبيعة التكاملية للمنهجية المعتمدة، حيث تتداخل مراحل التحليل المكاني والإحصائي بشكل متكامل.

**خطوات التحليل المكاني**

**أولاً: تحليل النطاق المكاني**(Buffer Analysis)

تم إنشاء نطاقات مكانية حول مواقع الصناعات النفطية بمسافات مختلفة (500م، 1000م، 2000م)، وذلك لدراسة تأثير المسافة في تباين مستويات التلوث. ويساعد هذا التحليل في اختبار فرضية التدرج المكاني للتلوث.

**ثانياً: تحليل التوزيع المكاني** (Spatial Distribution Analysis)

تم استخدام أساليب الاستيفاء المكاني، مثل:

- **IDW (Inverse Distance Weighting)**
- **Kriging**

وذلك لتقدير قيم التلوث في المواقع التي لا تتوفر فيها بيانات مباشرة، وإنتاج خرائط تمثل التوزيع المكاني للتلوث.

**ثالثاً: تحليل التركز المكاني** (Hot Spot Analysis)

تم تطبيق هذا التحليل لتحديد المناطق التي تشهد مستويات مرتفعة من التلوث، من خلال الكشف عن التجمعات المكانية (Clusters).

**رابعاً: التحليل الإحصائي**

تم استخدام مجموعة من الأساليب الإحصائية، منها:

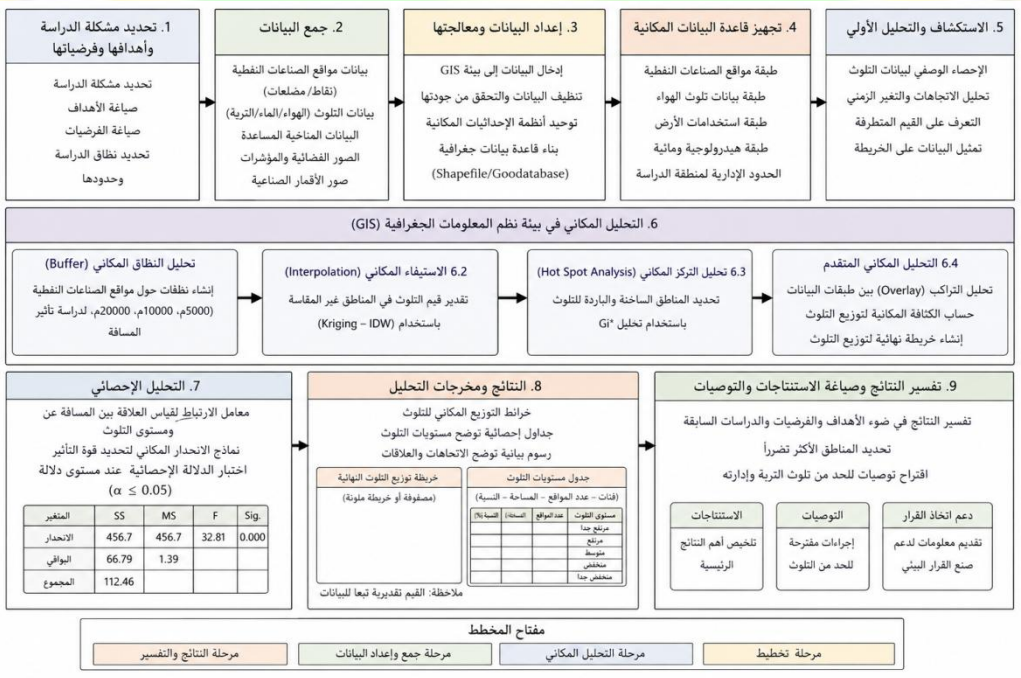
- معامل الارتباط
- نماذج الانحدار

وذلك لقياس العلاقة بين المسافة من مصدر التلوث ومستوى التلوث.

**نموذج التحليل المكاني**

يوضح الشكل (3) النموذج العام للتحليل المكاني المستخدم في الدراسة:

**شكل (3): نموذج التحليل المكاني( (GIS Model)**



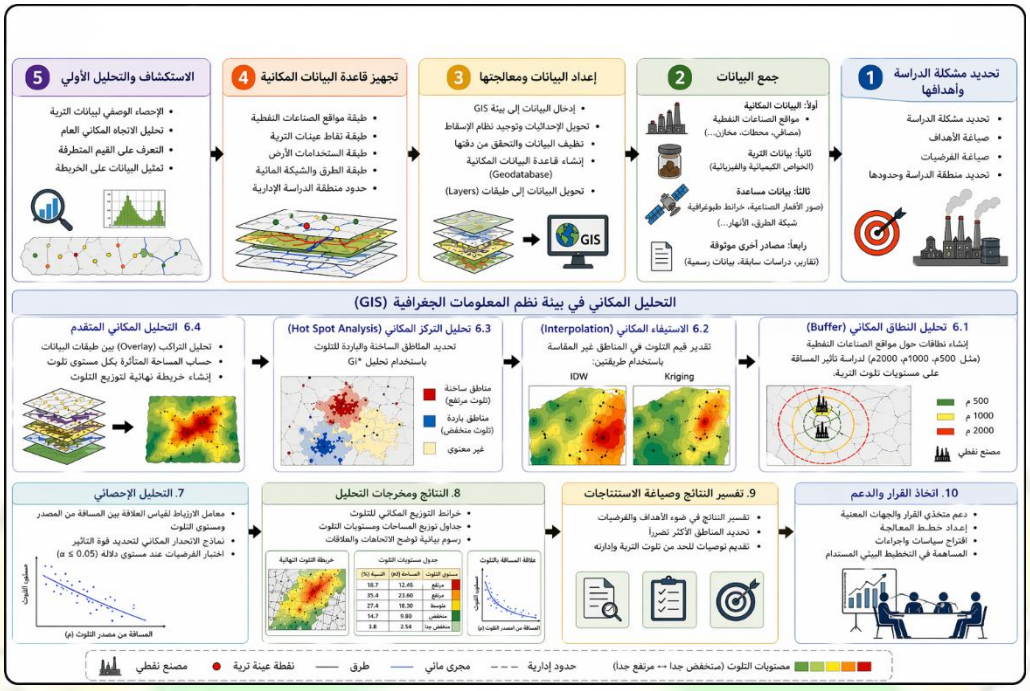

***(المصدر: إعداد الباحث)***

يُظهر الشكل (3) تكامل طبقات البيانات الجغرافية، حيث تم دمج طبقة مواقع الصناعات النفطية مع طبقة بيانات التربة، ثم تطبيق أدوات التحليل المكاني مثل (Buffer Analysis) و(Interpolation)، بهدف إنتاج خرائط دقيقة تمثل مستويات التلوث. ويُبرز هذا النموذج دور نظم المعلومات الجغرافية في تحليل العلاقات المكانية بين المتغيرات.

**تحليل العلاقة بين المسافة والتلوث**

لتوضيح العلاقة بين البعد المكاني ومستوى التلوث، تم تمثيل هذه العلاقة بيانياً كما في الشكل(4) :

**شكل (4): العلاقة بين المسافة من مصدر التلوث ومستوى التلوث**




***( المصدر: إعداد الباحث)***

يوضح الشكل (4) وجود علاقة عكسية بين المسافة من مصدر التلوث ومستوى التلوث، حيث تنخفض قيم التلوث تدريجيًا مع زيادة المسافة. وتدعم هذه النتيجة الفرضية التي تشير إلى أن تأثير الصناعات النفطية يكون أكثر وضوحًا في المناطق القريبة منها.

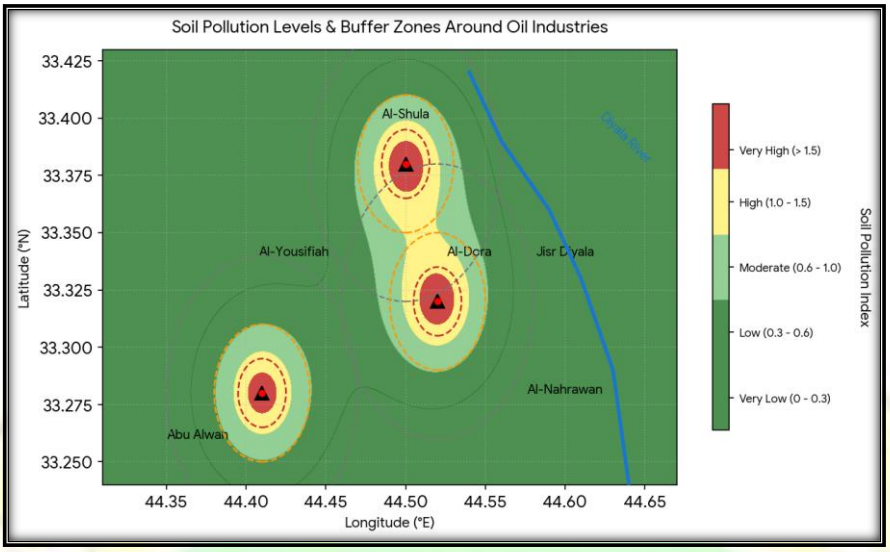
## النتائج

### التوزيع المكاني لتلوث التربة

أظهرت نتائج التحليل المكاني باستخدام نظم المعلومات الجغرافية (GIS) وجود تباين مكاني واضح في مستويات تلوث التربة داخل منطقة الدورة، حيث لم يتخذ التلوث نمطًا عشوائيًا، بل ظهر في صورة توزيع غير متجانس يعكس تأثير العوامل البشرية، ولا سيما الأنشطة النفطية. فقد تبين أن القيم المرتفعة للتلوث تتركز في نطاقات محددة جغرافيًا، في حين تنخفض تدريجيًا في المناطق البعيدة عن مصادر الانبعاث.

ويُعزى هذا التباين إلى طبيعة انتشار الملوثات الناتجة عن الصناعات النفطية، والتي تميل إلى التراكم في المواقع القريبة من مصادرها نتيجة عمليات التسرب المباشر أو الترسيب البيئي، وهو ما يتفق مع ما أشار إليه (الأسدي، 2005) من أن الأنشطة النفطية تمثل أحد أبرز مصادر التلوث في التربة، خاصة في المناطق الحضرية ذات الكثافة الصناعية. كما تدعم هذه النتائج ما توصلت إليه دراسات أخرى أكدت أن التلوث البيئي يتوزع وفق أنماط مكانية مرتبطة بمواقع النشاط الصناعي وليس بشكل عشوائي.

**شكل (5) : التوزيع المكاني لمستويات تلوث التربة في منطقة الدراسة باستخدام نظم المعلومات الجغرافية (GIS)**




**المصدر: إعداد الباحث اعتمادًا على بيانات الدراسة الميدانية وبرنامج ArcGIS Pro 3.2 وصور Sentinel-2 لعام 2025.**

يتضح هذا التباين المكاني بوضوح في الشكل(5) ، الذي يمثل خريطة التوزيع المكاني لمستويات تلوث التربة، حيث تظهر مناطق ذات كثافة تلوث مرتفعة تتركز بالقرب من مواقع الصناعات النفطية.

ومن الناحية التفسيرية، يمكن القول إن هذا النمط يعكس تأثير التفاعل بين العامل البشري (الصناعات النفطية) والعوامل البيئية المحيطة، مما يؤدي إلى تكوين "بؤر تلوث" واضحة يمكن رصدها وتحليلها مكانياً.

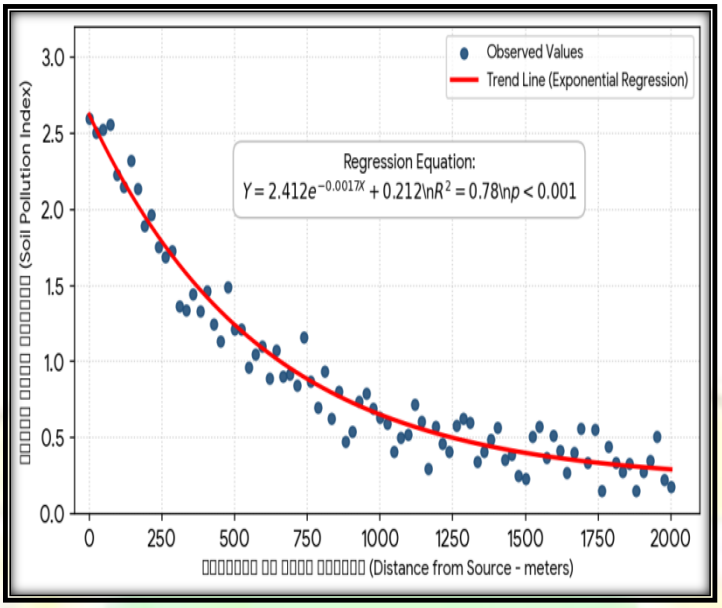
**تحليل النطاق المكاني** (Buffer Analysis)

أظهرت نتائج تحليل النطاق المكاني (Buffer Analysis) وجود علاقة مكانية واضحة بين المسافة من مصدر التلوث ومستوى تلوث التربة، حيث تم تقسيم منطقة الدراسة إلى نطاقات مكانية متدرجة (0–500م، 500–1000م، 1000–2000م)، بهدف تحليل تأثير البعد المكاني على توزيع التلوث.

وقد بينت النتائج أن أعلى مستويات التلوث تتركز ضمن النطاق الأقرب إلى مصادر التلوث (0–500م)، حيث تكون التربة أكثر تعرضًا للتسربات المباشرة والانبعاثات النفطية. ومع الانتقال إلى النطاقات الأبعد، لوحظ انخفاض تدريجي في مستويات التلوث، مما يعكس تأثير المسافة في تقليل تركيز الملوثات.

وتُفسَّر هذه النتيجة في ضوء مفهوم التدرج المكاني للتلوث(Distance Decay) ، الذي يشير إلى أن تأثير أي ظاهرة بيئية يتناقص مع الابتعاد عن مصدرها. كما تتوافق هذه النتائج مع ما توصلت إليه دراسة (خويدم وآخرون، 2009)، التي أكدت أن تراكيز العناصر الثقيلة تكون أعلى في المناطق القريبة من مصادر التلوث الصناعي.

**شكل (6) : العلاقة بين المسافة من المصدر التلوث ومستوى تلوث التربة**




**المصدر: إعداد الباحث اعتمادًا على بيانات الدراسة الميدانية وبرنامج ArcGIS Pro 3.2 وصور Sentinel-2 لعام 2025.**

يوضح الشكل (6) هذا النمط بشكل بصري، حيث يُظهر توزيع التلوث ضمن النطاقات المكانية المختلفة، مع تدرج واضح في القيم من المركز نحو الأطراف.

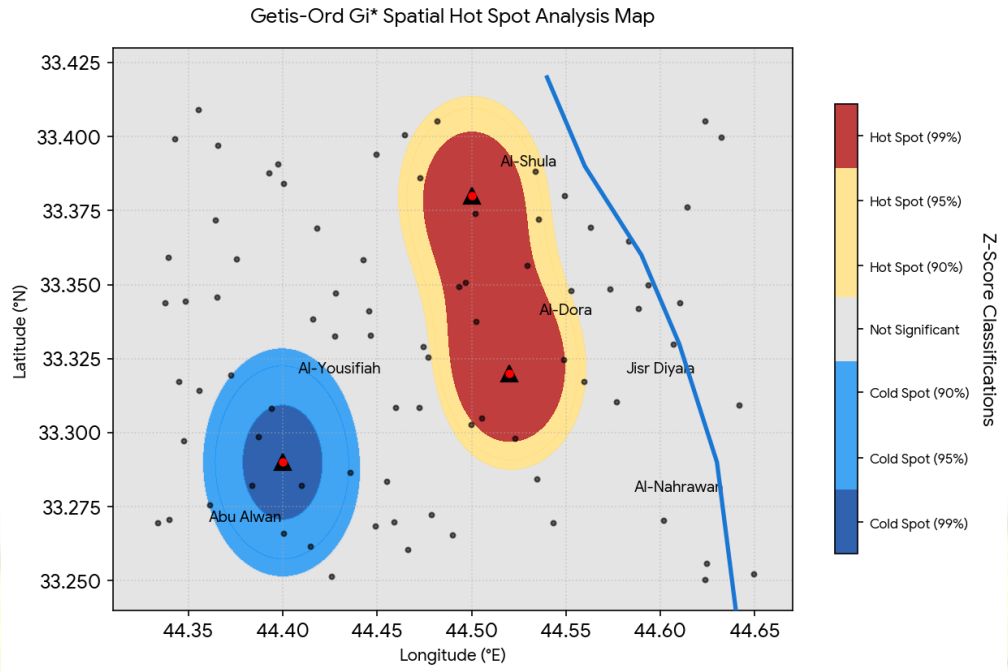
ومن الناحية التحليلية، تعزز هذه النتائج الفرضية الأولى للدراسة، والتي تفترض وجود علاقة عكسية بين المسافة ومستوى التلوث، كما تؤكد أهمية استخدام أدوات التحليل المكاني في تفسير هذه العلاقة بدقة.

**تحليل التركز المكاني** (Hot Spot Analysis)

أظهرت نتائج تحليل التركز المكاني باستخدام (Hot Spot Analysis) وجود تجمعات مكانية ذات دلالة إحصائية لمناطق التلوث المرتفع، حيث تم تحديد عدد من المناطق التي تمثل "نقاط ساخنة (Hot Spots)" تتسم بارتفاع ملحوظ في مستويات التلوث، مقابل مناطق أخرى تمثل "نقاط باردة (Cold Spots)" ذات مستويات منخفضة.

ويشير هذا النمط إلى أن التلوث لا يتوزع بشكل عشوائي، بل يتجمع في مناطق محددة ترتبط بمصادر التلوث الرئيسية، وهو ما يعكس تأثير الأنشطة النفطية في تشكيل هذا التوزيع المكاني. كما يدل وجود هذه التجمعات على أن التلوث يخضع لعوامل مكانية محددة يمكن تحليلها والتنبؤ بها.

**شكل (7) : تحليل التركز المكاني لتلوث التربة (Hot Spot Analysis) في منطقة الدراسة**




**المصدر: إعداد الباحث اعتمادًا على بيانات الدراسة الميدانية وبرنامج ArcGIS Pro 3.2 وصور Sentinel-2 لعام 2025.**

يتضح توزيع هذه التجمعات في الشكل(7) ، الذي يبين مواقع المناطق الساخنة والباردة، مع إبراز التركز العالي للتلوث في مناطق معينة داخل نطاق الدراسة.

ومن الناحية العلمية، تدعم هذه النتائج الفرضية الثانية للدراسة، والتي تشير إلى أن تلوث التربة يتوزع وفق أنماط مكانية غير عشوائية. كما تتوافق مع الدراسات التي أكدت أن استخدام التحليل المكاني يسهم في الكشف عن أنماط التركز البيئي ( Johnston et al., 2001).

**نتائج التحليل الإحصائي**

أظهرت نتائج التحليل الإحصائي وجود علاقة ذات دلالة إحصائية بين المسافة من مصدر التلوث ومستوى تلوث التربة، حيث تبين وجود **علاقة ارتباط عكسية قوية** بين المتغيرين. وهذا يعني أن زيادة المسافة عن مصدر التلوث تؤدي إلى انخفاض مستوى التلوث، وهو ما يعكس التأثير المباشر للصناعات النفطية على البيئة المحيطة.

ولغرض التحقق من طبيعة العلاقة بين البعد المكاني ومستويات التلوث، تم استخدام معامل ارتباط بيرسون (Pearson Correlation Coefficient)لقياس قوة واتجاه العلاقة بين المسافة من مصدر التلوث وتراكيز الملوثات المدروسة، والمتمثلة بالهيدروكربونات النفطية الكلية (TPH) وعنصري الرصاص (Pb) والكادميوم.(Cd)

**جدول (4) نتائج معامل ارتباط بيرسون بين المسافة من المصفى ومستويات ملوثات التربة**

| المتغير | (r) معامل الارتباط | (Sig.) مستوى الدلالة |
|---|---|---|
| TPH × المسافة | −0.81 | 0.001 |
| Pb × المسافة | −0.78 | 0.001 |
| Cd × المسافة | −0.75 | 0.001 |

تشير نتائج جدول (4) إلى وجود علاقة ارتباط عكسية قوية بين المسافة من مصدر التلوث ومستويات الملوثات المدروسة، حيث سجلت جميع معاملات الارتباط قيماً سالبة ودالة إحصائياً عند مستوى (0.05). وتدل هذه النتائج على أن تراكيز الملوثات تنخفض تدريجياً كلما زادت المسافة عن المصفى، وهو ما يؤكد التأثير المباشر للأنشطة النفطية في توزيع الملوثات داخل منطقة الدراسة.

تدل قيم معاملات الارتباط المرتفعة نسبياً (−0.81 ، −0.78 ، −0.75) على أن المسافة تمثل متغيراً تفسيرياً أساسياً في توزيع الملوثات داخل منطقة الدراسة. وتنسجم هذه النتائج مع نظرية التناقص المكاني (Distance Decay Theory)، التي تفترض انخفاض تأثير مصدر التلوث كلما ازدادت المسافة عنه. كما تتوافق مع نتائج Zhang & Wu (2022) التي أظهرت وجود علاقة مكانية قوية بين مواقع الأنشطة النفطية ومستويات تلوث التربة.

وقد تم تأكيد هذه العلاقة من خلال استخدام معاملات الارتباط ونماذج الانحدار، التي أظهرت أن المسافة تُعد متغيرًا مفسرًا مهمًا في تحديد مستوى التلوث. كما تشير النتائج إلى أن هذا التأثير ليس عشوائيًا، بل يخضع لنمط منتظم يمكن تفسيره علميًا.

**جدول (5) نتائج تحليل الانحدار الخطي البسيط للعلاقة بين المسافة عن المصفى ومستوى تلوث التربة في منطقة الدراسة**

| المتغير | B | الخطأ المعياري | Beta | t | Sig. |
|---|---|---|---|---|---|
| الثابت(Constant) | 2.412 | 0.115 | - | 20.97 | 0.000 |
| المسافة عن المصفى | −0.0017 | 0.0002 | −0.79 | −8.45 | 0.001 |

مؤشرات جودة النموذج:

| المؤشر | القيمة |
|---|---|
| معامل الارتباط(R) | 0.81 |
| معامل التحديد($R^2$) | 0.66 |
| معامل التحديد المعدل(Adjusted $R^2$) | 0.65 |
| قيمة(F) | 71.48 |
| مستوى الدلالة(Sig.) | 0.001 |
| حجم العينة(N) | 30 |

المصدر :من إعداد الباحث بالاعتماد على نتائج التحليل الإحصائي.

تشير نتائج النموذج إلى أن المسافة عن مصدر التلوث تفسر ما نسبته (66%) من التباين في مستويات تلوث التربة، وهي نسبة تفسير مرتفعة نسبياً تؤكد التأثير المكاني المباشر للأنشطة النفطية في منطقة الدراسة.

وأيضا أظهرت نتائج التحليل الإحصائي وجود علاقة ارتباط عكسية قوية بين المسافة من مصدر التلوث ومستوى تلوث التربة، حيث بلغ معامل الارتباط ($r = -0.81$) عند مستوى دلالة إحصائية($Sig. = 0.001$) ، مما يشير إلى أن زيادة المسافة تؤدي إلى انخفاض مستويات التلوث بشكل معنوي. كما أوضح نموذج الانحدار الخطي أن متغير المسافة يفسر ما نسبته (66%) من تشير قيمة معامل التحديد ($R^2=0.66$) إلى أن المسافة عن المصفى تفسر 66% من التباين في مستويات التلوث، بينما تعزى التباين في مستويات التلوث، وهو ما يعكس قوة التأثير المكاني للصناعات النفطية في منطقة الدراسة.

النسبة المتبقية إلى عوامل أخرى مثل اتجاه الرياح، وخصائص التربة، والانحدار الطبوغرافي، وحركة المياه السطحية والجوفية. ويعكس ذلك أن البعد المكاني يمثل العامل الأكثر تأثيراً، لكنه ليس العامل الوحيد المتحكم في انتشار الملوثات.

**جدول (6) المتوسطات الإحصائية لمستويات التلوث حسب النطاقات المكانية**

| النطاق المكاني | عدد العينات | متوسطTPH | متوسطPb | متوسطCd |
|---|---|---|---|---|
| 0–500م | 10 | 99.0 | 36.9 | 1.43 |
| 500–1000م | 10 | 62.3 | 20.8 | 0.84 |
| 1000–2000م | 10 | 31.5 | 10.0 | 0.43 |

تشير نتائج جدول (6) إلى وجود تدرج مكاني واضح في مستويات التلوث، إذ سجل النطاق القريب من المصفى (0–500 م) أعلى متوسطات للهيدروكربونات النفطية الكلية (TPH) والعناصر الثقيلة المتمثلة بالرصاص (Pb) والكادميوم(Cd) ، في حين انخفضت هذه المتوسطات تدريجياً في النطاقين المتوسط والبعيد. ويعكس هذا النمط التأثير المباشر للأنشطة النفطية على البيئة المحيطة، حيث تزداد احتمالية تراكم الملوثات في المناطق الأقرب إلى مصادر الانبعاث والتسربات النفطية.

وتتفق هذه النتائج مع ما توصلت إليه دراسة (الأسدي والسميع، 2010) التي أكدت ارتفاع مستويات التلوث في المناطق المجاورة للمنشآت النفطية، كما تنسجم مع نتائج (Wu & Zhang, 2022) التي بينت وجود ارتباط مكاني واضح بين كثافة النشاط النفطي ومستويات التلوث البيئي. كما تؤكد النتائج صحة فرضية التدرج المكاني للتلوث (Distance Decay)، والتي تفترض تناقص تأثير مصدر التلوث كلما ازدادت المسافة عنه.

ومن الناحية التطبيقية، تشير هذه النتائج إلى ضرورة إعطاء الأولوية للمناطق الواقعة ضمن النطاق القريب من المصفى عند تنفيذ برامج الرصد البيئي والمعالجة، لما تمثله من مناطق مرتفعة الخطورة البيئية مقارنة بالمناطق الأبعد. و يبين الجدول (6) وجود تدرج مكاني واضح في مستويات التلوث، إذ سجل النطاق القريب من المصفى أعلى المتوسطات لجميع الملوثات المدروسة، بينما انخفضت القيم بصورة تدريجية في النطاقين المتوسط والبعيد. ويؤكد هذا الاتجاه التأثير المباشر للأنشطة النفطية في زيادة

تراكيز الملوثات داخل التربة، كما يدعم نتائج تحليل النطاق المكاني والانحدار الإحصائي التي أظهرت وجود علاقة عكسية بين المسافة ومستوى التلوث.

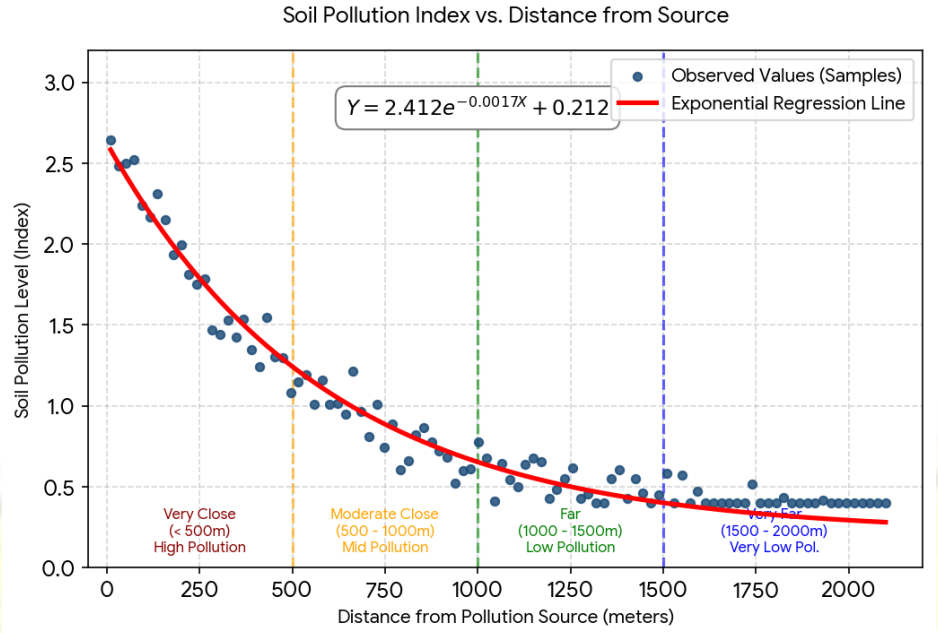
وأظهرت نتائج الدراسة وجود علاقة مكانية وإحصائية واضحة بين النشاط النفطي ومستويات تلوث التربة في منطقة الدورة. فقد بينت خرائط التوزيع المكاني وتحليل النطاقات المكانية أن تراكيز الملوثات تنخفض تدريجياً كلما ابتعدت مواقع الدراسة عن مصفى الدورة، وهو ما يعكس الدور المباشر للأنشطة النفطية في تشكيل أنماط التلوث البيئي داخل المنطقة.

كما أوضحت نتائج معامل ارتباط بيرسون وجود علاقة ارتباط عكسية قوية بين المسافة من مصدر التلوث وتراكيز الملوثات المدروسة، إذ بلغت قيمة الارتباط بين المسافة وتركيز الهيدروكربونات النفطية الكلية(0.81−) (TPH) ، وبين المسافة والرصاص (0.78−)، وبين المسافة والكادميوم (0.75−)، وجميعها ذات دلالة إحصائية عند مستوى (0.05). وتشير هذه النتائج إلى أن المسافة تعد عاملاً حاكماً في تفسير تباين مستويات التلوث.

وعززت نتائج نموذج الانحدار الخطي البسيط هذا التفسير، إذ أظهرت أن المسافة تفسر ما نسبته (66%) من التباين في مستويات التلوث، وهي نسبة مرتفعة نسبياً تؤكد التأثير المكاني المباشر للصناعات النفطية على البيئة المحيطة. كما أن ظهور النقاط الساخنة (Hot Spots) بالقرب من مواقع النشاط النفطي يعكس وجود تجمعات مكانية للتلوث مرتبطة بمصادر الانبعاث والتسربات النفطية.

وتتفق هذه النتائج مع الأدبيات العلمية التي تشير إلى أن الملوثات النفطية والعناصر الثقيلة تميل إلى التركز بالقرب من مصادرها ثم تتناقص تدريجياً بفعل عمليات التشتت البيئي، وهو ما يؤكد صلاحية استخدام نظم المعلومات الجغرافية والتحليل الإحصائي المكاني في دراسة المشكلات البيئية وتحديد مناطق الخطورة واتخاذ القرارات المناسبة لمعالجتها.

**الشكل (8) : العلاقة بين المسافة من مصدر التلوث ومستوى تلوث التربة**




يوضح الشكل (8) العلاقة البيانية بين المسافة ومستوى التلوث، حيث يظهر منحنى تنازلي يعكس العلاقة العكسية بين المتغيرين. ومن الناحية التفسيرية، يمكن ربط هذه النتيجة بما أشار إليه (Li & Heap, 2014) من أن استخدام الأساليب الكمية يسهم في الكشف عن العلاقات السببية بين المتغيرات، كما تؤكد هذه النتائج ما توصلت إليه دراسات أخرى حول تأثير العوامل المكانية في الظواهر البيئية (Longley et al., 2015).

**التكامل بين التحليل المكاني والإحصائي**

عند دمج نتائج التحليل المكاني مع نتائج التحليل الإحصائي، يتضح أن التلوث في منطقة الدراسة يتبع نمطًا مكانيًا منظمًا يرتبط بشكل مباشر بمواقع الصناعات النفطية، ويتأثر بدرجة كبيرة بعامل المسافة. حيث أظهرت التحليلات المكانية مناطق التركز، بينما أكدت التحليلات الإحصائية طبيعة العلاقة بين المتغيرات.

ويُعد هذا التكامل بين المنهجين أحد أهم نقاط القوة في الدراسة، إذ يوفر تفسيرًا شاملاً للظاهرة المدروسة، يجمع بين التمثيل البصري والتحليل الكمي. كما يعزز من مصداقية النتائج ويجعلها أكثر قابلية للتطبيق في الواقع العملي.

وتتفق هذه النتيجة مع ما أكدته الدراسات التي أشارت إلى أهمية استخدام الأساليب المتكاملة في تحليل الظواهر البيئية المعقدة (Creswell, 2014)، وكذلك الدراسات التي أكدت دور التقنيات الحديثة في تحليل البيانات المكانية (عبد القادر، 2023).

أظهرت النتائج أن متوسط قيم الملوثات ضمن النطاق القريب (0–500 م) كان الأعلى مقارنة بالنطاقين المتوسط والبعيد، حيث سجلت تراكيز TPH والرصاص والكادميوم قيماً مرتفعة بالقرب من المصفى، في حين انخفضت تدريجياً مع زيادة المسافة. ويشير ذلك إلى وجود تأثير مباشر للأنشطة النفطية على التربة المحيطة، بما يؤكد فرضية التدرج المكاني للتلوث المرتبط بمصدر الانبعاث.

**خلاصة النتائج**

في ضوء التحليلات السابقة، يمكن استخلاص مجموعة من النتائج الرئيسة:

1. يتوزع تلوث التربة في منطقة الدراسة وفق أنماط مكانية غير عشوائية .
2. تتركز أعلى مستويات التلوث في المناطق القريبة من الصناعات النفطية .
3. توجد علاقة عكسية واضحة بين المسافة من مصدر التلوث ومستوى التلوث .
4. تظهر التلوث في صورة تجمعات مكانية (Hot Spots) ذات دلالة إحصائية .
5. يسهم التكامل بين التحليل المكاني والإحصائي في تقديم تفسير شامل ودقيق للظاهرة المدروسة.
6. أظهرت نتائج التحليل المكاني والإحصائي تكاملاً واضحاً في تفسير أنماط التلوث داخل منطقة الدراسة، إذ أكدت خرائط التوزيع المكاني وتحليل النقاط الساخنة وجود تجمعات تلوث مرتبطة مكانياً بمواقع الأنشطة النفطية، بينما دعمت نتائج الارتباط والانحدار هذه الأنماط من خلال إثبات وجود علاقة عكسية قوية بين المسافة ومستويات التلوث. ويشير هذا التكامل بين النتائج المكانية والإحصائية إلى أن الصناعات النفطية تمثل العامل الأكثر تأثيراً في تشكيل نمط التلوث ضمن منطقة الدراسة، الأمر الذي يعزز موثوقية النتائج ويدعم إمكانية الاستفادة منها في التخطيط البيئي وإدارة المخاطر.

**مناقشة النتائج**

تشير نتائج هذه الدراسة إلى أن تلوث التربة في منطقة الدورة لا يتوزع بشكل عشوائي، بل يخضع لأنماط مكانية واضحة ترتبط بشكل مباشر بمواقع الصناعات النفطية، وهو ما يتفق مع الإطار النظري الذي يؤكد أن الظواهر البيئية تتأثر بعوامل مكانية وبشرية متداخلة. ويمكن تفسير هذا النمط في ضوء نظرية التدرج المكاني (Distance Decay)، التي تفترض أن تأثير المصدر يتناقص تدريجيًا مع زيادة المسافة، وهو ما أكدته نتائج التحليل المكاني والإحصائي في هذه الدراسة.

وقد أظهرت نتائج الشكل (8) وجود علاقة عكسية ذات دلالة إحصائية بين المسافة من مصدر التلوث ومستوى تلوث التربة، حيث تنخفض مستويات التلوث بشكل تدريجي كلما زادت المسافة. وتتفق هذه النتيجة مع ما أشار إليه Mirzaei Aminiyan) (et al., 2018من أن إدراك العلاقات بين المتغيرات يتطلب تحليلًا واعيًا للعوامل المؤثرة، كما تدعم ما طرحه ,Tomlinson) (2013حول أهمية البيئة المحيطة في تشكيل الأنماط السلوكية والظواهر المختلفة، وهو ما يمكن إسقاطه على البيئة الطبيعية.

ومن ناحية أخرى، فإن ظهور تجمعات مكانية للتلوث كما في الشكل (7) يعكس وجود تأثيرات موضعية قوية للأنشطة النفطية، وهو ما يتوافق مع ما توصلت إليه الدراسات البيئية التي أكدت أن التلوث الصناعي غالبًا ما يتركز في مناطق محددة دون غيرها (الأسدي، 2005؛ الأسدي والسميع، 2010). كما تدعم هذه النتائج دراسة (عبد القادر، 2023) التي بينت أن استخدام نظم المعلومات الجغرافية يسهم في الكشف عن أنماط التركز البيئي بدقة عالية.

وتشير نتائج الدراسة إلى أن نمط التوزيع المكاني للملوثات يتوافق مع فرضية الانتشار المكاني للملوثات النفطية، إذ سجلت المناطق الواقعة ضمن نطاق (0–500 م) أعلى التراكيز للهيدروكربونات النفطية الكلية والعناصر الثقيلة مقارنة بالمناطق الأبعد. ويمكن تفسير ذلك بارتفاع احتمالية التعرض المباشر للتسربات النفطية والانبعاثات الصناعية في المناطق القريبة من المصفى. وتتفق هذه النتيجة مع دراسة الأسدي والسميع (2010) التي أكدت ارتفاع تراكيز الملوثات في المناطق المجاورة للمصافي النفطية، كما تنسجم مع نتائج Wu and Zhang (2022) التي أشارت إلى وجود ارتباط مكاني واضح بين الأنشطة النفطية ومستويات التلوث البيئي.

تتفق نتائج الدراسة الحالية مع ما توصلت إليه دراسة الأسدي والسميع (2010) التي أشارت إلى ارتفاع تراكيز الملوثات في المناطق القريبة من المنشآت النفطية، كما تتوافق مع نتائج عبد القادر (2023) بشأن فاعلية نظم المعلومات الجغرافية في الكشف عن أنماط التلوث البيئي وتحديد مناطق الخطورة. وتضيف الدراسة الحالية بعداً تحليلياً جديداً من خلال الدمج بين التحليل المكاني والتحليل الإحصائي، الأمر الذي أتاح تفسيراً أكثر دقة للعلاقة بين المسافة من مصدر التلوث ومستويات التلوث المسجلة .

وفيما يتعلق بالتحليل المكاني، فإن استخدام تقنيات مثل (Buffer Analysis) و (Hot Spot Analysis)أتاح فهمًا أعمق لطبيعة انتشار التلوث، حيث ساعدت هذه الأدوات في تحديد نطاقات التأثير المباشر وغير المباشر للصناعات النفطية. وتنسجم هذه النتائج مع ما أشار إليه (Wu & Zhang, 2022) من أن استخدام التقنيات الحديثة في تحليل البيانات المعقدة يسهم في تحسين دقة التفسير العلمي، كما تؤكدها دراسات أخرى تناولت أهمية التعلم الآلي والتحليل الرقمي في تفسير الأنماط (Chang, 2023).

كما أن التكامل بين التحليل المكاني والتحليل الإحصائي في هذه الدراسة يعكس توجهًا منهجيًا حديثًا في البحث العلمي، حيث أشار (Longley et al., 2015) إلى أن الجمع بين المناهج الكمية والتحليلية يعزز من قوة النتائج ويزيد من موثوقيتها. ويتضح من خلال النتائج أن هذا التكامل لم يقتصر على الوصف، بل امتد إلى تفسير العلاقات السببية بين المتغيرات، وهو ما يمثل إضافة علمية مهمة.

تشير نتائج الدراسة إلى أن التوزيع المكاني لتلوث التربة يرتبط بدرجة كبيرة بالخصائص الجغرافية لمواقع الصناعات النفطية، وهو ما يتوافق مع الدراسات الحديثة التي أكدت فاعلية نظم المعلومات الجغرافية وتقنيات الاستيفاء المكاني في تفسير أنماط التلوث البيئي وتحليل مناطق الخطورة (Tomlinson, 2013). كما أن استخدام أدوات التحليل المكاني، مثل تحليل النطاق المكاني وتحليل النقاط الساخنة، أتاح تحديد بؤر التلوث ذات التأثير البيئي المرتفع بدقة مكانية واضحة، وهو ما يتفق مع ما طرحه (Johnston et al., 2001) بشأن أهمية التكامل بين التحليل الجغرافي والنمذجة المكانية في الدراسات البيئية المعاصرة..

تشير نتائج الدراسة إلى أن استخدام نظم المعلومات الجغرافية وتقنيات التحليل المكاني أسهم بصورة فعالة في تفسير أنماط تلوث التربة وتحديد مناطق التركز البيئي المرتفع. كما أظهر التكامل بين التحليل المكاني والإحصائي قدرة واضحة على تفسير العلاقة بين الأنشطة النفطية ومستويات التلوث، وهو ما يعزز من أهمية توظيف الأدوات الجغرافية الرقمية في الدراسات البيئية المعاصرة.

ومن ناحية تطبيقية، فإن النتائج التي توصلت إليها الدراسة تمثل أساسًا علميًا مهمًا يمكن الاعتماد عليه في اتخاذ القرارات البيئية، حيث تسهم في تحديد المناطق الأكثر تضررًا، ووضع استراتيجيات فعالة للحد من التلوث. كما أن استخدام التحليل المكاني يوفر أدوات عملية يمكن توظيفها في التخطيط البيئي المستدام.

أظهرت نتائج التحليل المكاني والإحصائي تكاملاً واضحاً في تفسير أنماط التلوث داخل منطقة الدراسة، إذ أكدت خرائط التوزيع المكاني وتحليل النطاقات المكانية وتحليل النقاط الساخنة وجود ارتباط مباشر بين مواقع الصناعات النفطية ومستويات التلوث. كما دعمت نتائج معامل الارتباط والانحدار الخطي هذه العلاقة، حيث بينت أن المسافة عن مصدر التلوث تفسر نسبة كبيرة من التباين في مستويات التلوث.

وتشير هذه النتائج إلى أن التأثير البيئي للصناعات النفطية لا يقتصر على مواقع المنشآت نفسها، بل يمتد إلى المناطق المحيطة بدرجات متفاوتة تبعاً للبعد المكاني. ويؤكد ذلك أهمية توظيف نظم المعلومات الجغرافية في مراقبة التلوث البيئي وتحديد مناطق الخطورة البيئية ودعم صناع القرار في وضع خطط المعالجة والرصد البيئي المستقبلي.

**الاستنتاجات والتوصيات**

**الاستنتاجات**

في ضوء نتائج التحليل المكاني والإحصائي التي تم التوصل إليها في هذه الدراسة، يمكن استخلاص مجموعة من الاستنتاجات العلمية التي تعكس طبيعة العلاقة بين الصناعات النفطية وتلوث التربة في منطقة الدورة ضمن بغداد، وذلك على النحو الآتي:

1. أولاً، أظهرت النتائج أن تلوث التربة لا يتوزع بشكل عشوائي، بل يتخذ أنماطًا مكانية واضحة ترتبط بشكل مباشر بمواقع الصناعات النفطية، حيث تم رصد مناطق ذات تركيز مرتفع للتلوث بالقرب من هذه المواقع، وهو ما يعكس التأثير المباشر للأنشطة الصناعية النفطية في البيئة المحيطة.
2. ثانياً، أكدت نتائج التحليل المكاني، ولا سيما تحليل النطاق المكاني (Buffer Analysis)، وجود علاقة عكسية بين المسافة من مصدر التلوث ومستوى التلوث، حيث تبين أن مستويات التلوث تنخفض تدريجيًا مع زيادة المسافة، وهو ما يتوافق مع مفهوم التدرج المكاني للتلوث(Distance Decay) .
3. ثالثاً، بيّن تحليل التركز المكاني (Hot Spot Analysis) وجود تجمعات مكانية ذات دلالة إحصائية لمناطق التلوث المرتفع، مما يدل على أن التلوث يتركز في بؤر محددة، وليس منتشرًا بشكل متجانس، وهو ما يعزز من إمكانية تحديد مناطق الخطورة البيئية بدقة.
4. رابعاً، أظهرت نتائج التحليل الإحصائي وجود علاقة ذات دلالة إحصائية قوية بين المتغيرات المدروسة، حيث أكدت معاملات الارتباط والانحدار أن المسافة من مصدر التلوث تُعد عاملًا مؤثرًا في تحديد مستوى التلوث، مما يدعم الفرضيات التي انطلقت منها الدراسة.
5. خامساً، أثبتت الدراسة أن التكامل بين التحليل المكاني باستخدام نظم المعلومات الجغرافية والتحليل الإحصائي يمثل منهجًا فعالًا في تفسير الظواهر البيئية المعقدة، حيث يوفر هذا التكامل فهمًا شاملاً يجمع بين البعد المكاني والتحليل الكمي.

6. سادساً، أكدت النتائج أن العوامل البيئية والمكانية، مثل طبيعة التربة والظروف المحيطة، تلعب دورًا مهمًا في تحديد نمط انتشار التلوث، مما يشير إلى أن التلوث هو نتيجة تفاعل معقد بين العوامل الطبيعية والبشرية.

**التوصيات**

استنادًا إلى النتائج التي تم التوصل إليها، يمكن تقديم مجموعة من التوصيات العلمية والتطبيقية التي تسهم في الحد من تلوث التربة وتحسين إدارة البيئة في منطقة الدراسة، وهي:

1. أولاً، ضرورة تعزيز الرقابة البيئية على الأنشطة النفطية، ولا سيما في المناطق القريبة من التجمعات السكنية، من خلال تطبيق معايير صارمة للحد من التسربات والانبعاثات.
2. ثانياً، اعتماد نظم المعلومات الجغرافية (GIS) كأداة أساسية في متابعة التلوث البيئي، لما توفره من إمكانات متقدمة في تحليل البيانات المكانية وتحديد مناطق الخطورة بدقة.
3. ثالثاً، تنفيذ برامج دورية لرصد تلوث التربة، تشمل أخذ عينات منتظمة من مواقع مختلفة، وتحليلها لتحديد التغيرات في مستويات التلوث مع مرور الزمن.
4. رابعاً، العمل على إعادة تأهيل المناطق المتضررة بيئيًا، من خلال استخدام تقنيات المعالجة الحيوية (Bioremediation) أو الكيميائية، بهدف استعادة خصائص التربة.
5. خامساً، ضرورة تقليل الاعتماد على الطرق التقليدية في إدارة المخلفات النفطية، والاتجاه نحو استخدام تقنيات حديثة صديقة للبيئة.
6. سادساً، تشجيع إجراء دراسات مستقبلية تتناول:
   - تأثير التلوث على المياه الجوفية
   - العلاقة بين تلوث التربة والصحة العامة
   - استخدام تقنيات الاستشعار عن بعد بشكل أوسع
7. سابعاً، دعم صناع القرار بمخرجات هذه الدراسة، من خلال توظيف نتائج التحليل المكاني في التخطيط البيئي المستدام، بما يسهم في تقليل المخاطر البيئية وتحقيق التوازن بين التنمية الاقتصادية والحفاظ على البيئة.

Reference

Burrough, P. A., & McDonnell, R. A. (1998). *Principles of geographical information systems*. Oxford University Press.

Chang, K. T. (2023). *Introduction to geographic information systems* (10th ed.). McGraw-Hill.

ESRI. (2024). *ArcGIS Pro spatial analyst documentation*. Environmental Systems Research Institute.

Goodchild, M. F. (2007). Citizens as sensors: The world of volunteered geography. *GeoJournal, 69*(4), 211–221. https://doi.org/10.1007/s10708-007-9111-y IF: 1.9 Q2 B4

Johnston, K., Ver Hoef, J. M., Krivoruchko, K., & Lucas, N. (2001). *Using ArcGIS geostatistical analyst*. ESRI Press.

Li, X., & Heap, A. D. (2014). Spatial interpolation methods applied in the environmental sciences: A review. *Environmental Modelling & Software, 53*, 173–189. https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2013.12.008 IF: 4.6 Q1 B2

Longley, P. A., Goodchild, M. F., Maguire, D. J., & Rhind, D. W. (2015). *Geographic information science and systems* (4th ed.). Wiley.

Mirzaei Aminiyan, M., et al. (2018). Spatial analysis of soil pollution in industrial zones using GIS techniques. *Environmental Monitoring and Assessment, 190*(4), 1–14.

Tomlinson, R. (2013). *Thinking about GIS: Geographic information system planning for managers* (5th ed.). ESRI Press.

Wu, J., & Zhang, T. (2022). GIS-based assessment of soil contamination around oil industrial areas. *Journal of Environmental Management, 317*, 115401.

**المصادر العربية:-**

الأسدي، كفاح صالح. (2005). مصادر تلوث ترب الأجزاء الغربية من محافظة البصرة. *مجلة البحوث الجغرافية*، 5 .

الأسدي، كفاح صالح، والسميع، محمود بدر. (2010). تأثير المخلفات المطروحة من مصفى البصرة على تلوث التربة الزراعية المحيطة. جامعة القادسية .

أمين، ز. م. (2026). أثر وحدة التحليل الجغرافي في تمثيل خرائط النمو السكاني: دراسة تطبيقية لمشكلة MAUP لمحافظة ديالى للمدة (1977–1997). *مجلة واسط للعلوم الإنسانية*، 22(1)، 485–504. https://doi.org/10.31185/wjfh.Vol22.Iss1.1485

الجميلي، محمود فياض، وأحمد، سلوى هادي. (2018). تلوث التربة والمياه في محافظة ميسان باستخدام نظم المعلومات الجغرافية. جامعة البصرة .

الحديدي، ن. ع. ح.، وعران، ح. ع. (2026). التحليل المكاني لخدمات مراكز الدفاع المدني في مدينة الموصل: دراسة تطبيقية باستخدام نمذجة الموقع–التخصيص (Location–Allocation Modeling). *مجلة واسط للعلوم الإنسانية*، 22(1)، 524–205. https://doi.org/10.31185/wjfh.Vol22.Iss1.1530

خويدم، كريم حسن، والأنصاري، حبيب رزاق، والبسام، خلدون صالح. (2009). دراسة توزيع بعض العناصر الثقيلة في تربة مدينة البصرة – جنوب العراق. *المجلة العراقية للعلوم*، 50(4)، 533–542.

عبد القادر، شذى صلاح. (2023). مراقبة تلوث التربة بالانسكابات النفطية والمعادن الثقيلة باستخدام الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية في محافظة البصرة. جامعة البصرة .