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

Wasit Journal for Human Sciences

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

OPEN ACCESS

Original article

Geographical Analysis of Selected Environmental Indicators and Their Effects on Soil Contamination in Al-Mahmoudiya Region

Noor Abdul-Zahra Osman[1], Abeer Yahya Ahmed[2]

Mustansiriyah University, College of Education, Department of Geography, Baghdad, Iraq

***Correspondence author**:
ahmed.rheima@uomustansiriyah.edu.iq
Dr.abeer.y.sakini@uomustansiriyah.edu.iq

Received:13 **March** 2026
Accepted: 09 **May** 2026
Published: 01 **August** 2026

DOI:
https://doi.org/10.31185/wjfh.Vol22.Iss3/Pt1.1761

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:
Osman, N. A.-Z., & Ahmed, A. Y. (2026). Geographical Analysis of Selected Environmental Indicators and Their Effects on Soil Contamination in Al-Mahmoudiya Region. Wasit Journal for Human Sciences, 22(3/Pt1). https://doi.org/10.31185/wjfh.Vol22.Iss3/Pt1.1761

ABSTRACT

Soil pollution is one of the most significant environmental challenges affecting the sustainability of ecosystems and agriculture, due to the deterioration of soil's physical and chemical properties resulting from human activities such as the intensive use of fertilizers and pesticides and industrial drainage. This study aims to utilize environmental spectral indices based on remote sensing techniques to indirectly monitor and analyze soil pollution. The methodology relies on spectral reflectance analysis and spectral ratios to detect changes in soil components such as organic matter, moisture, and heavy metals. Vegetation cover indices such as the Natural Difference Vegetation Index (NDVI) and the Enhanced Vegetation Cover Index (EVI) were also used to assess the impact of pollution on plant density and soil health. The results demonstrated the effectiveness of spectral indices in tracking temporal changes in soil and identifying pollution zones, thus confirming their importance as a scientific tool to support sustainable environmental management.

Keywords: Spectral indicators, drought, vegetation cover

التحليل الجغرافي لبعض المؤشرات البيئية وأثرها على تلوث التربة في منطقة المحمودية

م.م. نور عبد الزهرة عصمان[1]، م.م. عبير يحيى احمد[2]
الجامعة المستنصرية ، كلية التربية، قسم الجغرافية، بغداد ، العراق

المُستخلص

يُعدّ تلوث التربة من أبرز التحديات البيئية المؤثرة في استدامة النظم البيئية والزراعية، لما يسببه من تدهور في الخصائص الفيزيائية والكيميائية للتربة نتيجة الأنشطة البشرية كالاستخدام المكثف للأسمدة والمبيدات والتصريف الصناعي. تهدف هذه الدراسة إلى توظيف المؤشرات الطيفية البيئية المعتمدة على تقنيات الاستشعار عن بُعد لرصد تلوث التربة وتحليله بصورة غير مباشرة. تعتمد المنهجية على تحليل الانعكاس الطيفي والنسب الطيفية للكشف عن التغيرات في مكونات التربة مثل المواد العضوية، الرطوبة، والمعادن الثقيلة. كما تم استخدام مؤشرات الغطاء النباتي مثل مؤشر الفرق الطبيعي للنبات ((NDVI)ومؤشر (SI) لبيان ملوحة التربة وتقييم انعكاس التلوث على الكثافة النباتية وصحة التربة. أظهرت النتائج فاعلية المؤشرات الطيفية في تتبع التغيرات الزمنية للتربة وتحديد نطاقات التلوث، مما يؤكد أهميتها كأداة علمية لدعم الإدارة البيئية المستدامة.

الكلمات المفتاحية: المؤشرات الطيفية، الجفاف، الغطاء النباتي ، تلوث التربة ، الاستشعار عن بعد

المقدمة:

تُعد مشكلة تلوث التربة من أخطر المشكلات البيئية المعاصرة، لارتباطها المباشر بصحة الإنسان وسلامة النظام البيئي والإنتاج الزراعي، وتزداد خطورة هذه الظاهرة في المناطق الزراعية القريبة من المراكز الحضرية والصناعية نتيجة تراكم الملوثات الناتجة عن الأنشطة البشرية، مثل المخلفات الصناعية، مياه الصرف الصحي، الاستخدام المفرط للأسمدة والمبيدات، إضافة إلى ترسب الملوثات الجوية.

تقع منطقة المحمودية ضمن الحزام الزراعي الجنوبي لمحافظة بغداد، وتتميز بأهميتها الزراعية وامتداد أراضيها الخصبة على ضفاف نهر الفرات وفروعه، مما يجعلها منطقة حساسة لأي تغيرات بيئية أو تدهور في نوعية التربة.

ونظرًا للتطور الكبير في التقنيات الجغرافية المعاصرة، لاسيما تقنيات الاستشعار عن بعد (RS)ونظم المعلومات الجغرافية (GIS)، فقد أصبح بالإمكان تحليل المؤشرات البيئية المختلفة سواء كانت طيفية (Spectral Indices)مستخرجة من المرئيات الفضائية، أم مؤشرات كيميائية وفيزيائية مستخلصة من التحاليل المختبرية، وربطها مكانيًا للكشف عن أنماط التلوث وتحديد درجته وانتشاره.

اولاً: مشكلة الدراسة: تتمثل مشكلة الدراسة في التساؤل الرئيس الآتي:

هل يمكن للتحليل الجغرافي للمؤشرات البيئية المختلفة أن يكشف عن أنماط تلوث التربة وتباينها المكاني في منطقة المحمودية.

ثانياً: هدف الدراسة: تهدف الدراسة إلى:

1-تحديد وتحليل بعض المؤشرات البيئية ذات العلاقة بتلوث التربة في منطقة المحمودية.

2-الكشف عن التباين المكاني لتلوث التربة باستخدام تقنيات GIS والاستشعار عن بعد.

3-إعداد خرائط رقمية توضح مستويات التلوث ودرجاته.

ثالثاً: فرضية الدراسة:

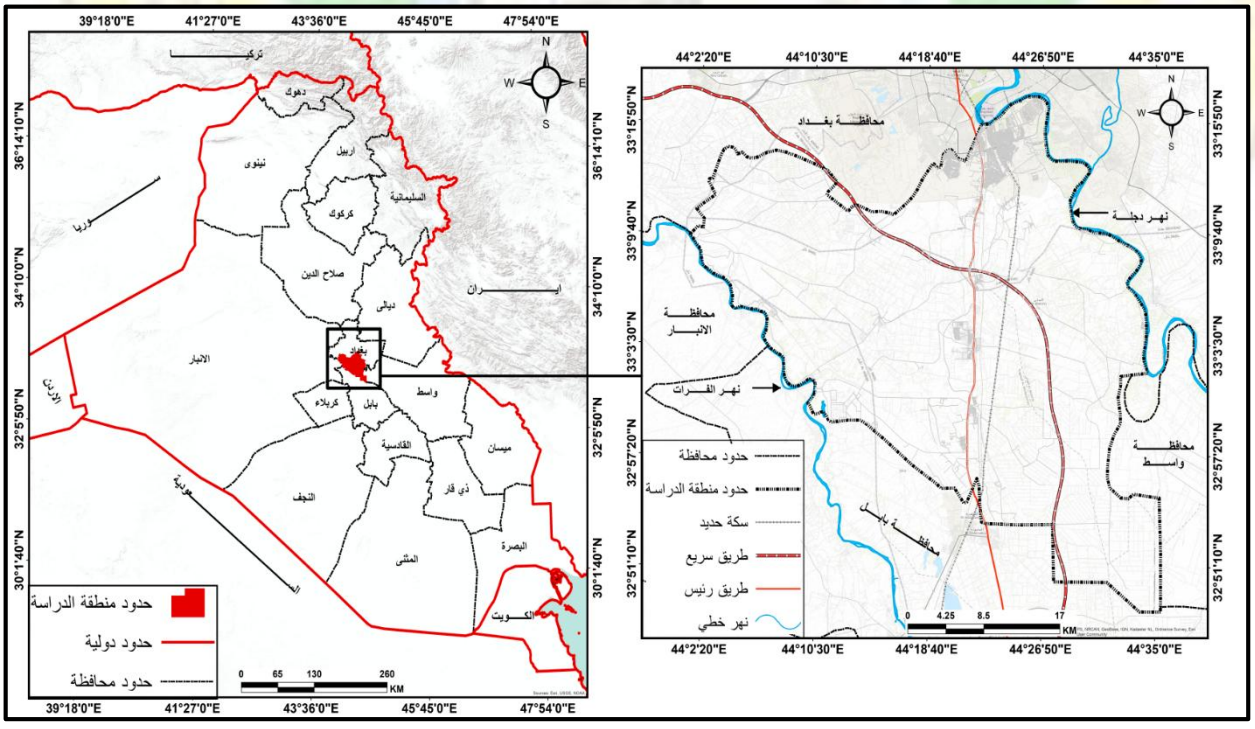
تنطلق الدراسة من الفرضية الآتية:

توجد علاقة مكانية واضحة بين بعض المؤشرات البيئية (الطيفية والكيميائية والفيزيائية) وبين مستويات تلوث التربة في منطقة المحمودية، ويمكن للتقنيات الجغرافية الحديثة المتمثلة بالاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية تحليل هذه العلاقة وتصنيف مناطق التلوث بدقة مكانية عالية.

رابعًا: الحدود مكانية:

تقع منطقة الدراسة ضمن اقليم الفرات الاوسط إذ تتبع إدارياً ضمن العاصمة بغداد فضلاً عن وقوعها في اعالي السهل الفيضي وعلى الحافة الشرقية للهضبة الغربية، تقع منطقة الدراسة بين دائرتي عرض(10 َ 51 ْ 32 – ً 50 َ 15 ْ 33) شمالاً، وخطي طول (ً 20 َ 2 ْ 44 – ً 0 َ 35 ْ 44) شرقاً، يحدها من الشمال قضاء الكرخ وأبي غريب تابع لمحافظة بغداد ومن الجنوب قضاء المسيب تابع لمحافظة بابل ومن الشرق قضاء المدائن (بغداد) وقضاء الصويرة (تابع لمحافظة واسط) ومن الشمال الغربي قضاء الفلوجة تابع لمحافظة الانبار وبذلك تنحصر منطقة الدراسة بين تخصر نهري دجلة والفرات فضلاً عن أنها تعد حلقة وصل بين العاصمة وباقي المحافظات، خريطة (1) الشكل (1)، حيث تبلغ مساحة القضاء (1438.39) كم ، موزعة على اربعة نواحي هي مركز قضاء المحمودية التي تبلغ مساحتها (73.74) كم^2 وناحية الرشيد (458.21) كم^2 وناحية اليوسفية (411) كم^2 والطيفية (495.42).

خارطة (1) موقع منطقة الدراسة من العراق ومحافظة بغداد



مؤشر الكثافة النباتية الطبيعي :NDVI: Normalized Difference Vegetation Index

يعد هذا المؤشر من المؤشرات الواسعة الانتشار التي تستخدم بكثرة من قبل الباحثين كمقياس لكثافة الغطاء النباتي ومعرفة حالته، بافتراض ان قيم هذا المؤشر تتناسب ايجابياً مع كثافة الغطاء النباتي أن اغلب هذه المؤشرات تتعامل مع أكثر من نطاق طيفي، والتي تختصر على نطاقات معينة من نطاقات المرئية الفضائية التي تكون مخصصة لتحسس وتسجيل معلومات عن النبات كالأشعة المرئية الحمراء(RED) والاشعة تحت الحمراء القريب (Near infrared) وذلك لكون هذه القنوات تحتوي على (90) (ميكرو متر)من المعلومات الخاصة بالنبات وهي واحدة من المعالجات الرقمية للتحسين الطيفي والتي تفيد بشكل مهم في مراقبة النباتات (Rahman et al., 2011) والتي تبنى على اساس العلاقة بين الاشعة تحت الحمراء القريبة والاشعة الحمراء المرئية، على افتراض أن انعكاسية النبات عالية في نطاق الاشعة تحت الحمراء القريبة، وانخفاض انعكاسيته في النطاق الاحمر المرئي وإن قيم هذا المؤشر تتراوح بين (1) و (−1) اذ تدل القيم الموجبة على أن هناك غطاء نباتي وكلما زادت القيمة الموجبة يدل على خضرة النبات وكثافته، والعكس صحيح فيما يخص القيم السالبة التي تدل على انعدام الغطاء النباتي مؤشر الفرق المعياري للنبات، ويُعد أحد أهم المؤشرات المُستخدمة في تحليل البيانات المستخرجة من صور الأقمار الصناعية لرصد الغطاء النباتي والصحة النباتية.

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

NIR: الإشعاع القريب من الأشعة تحت الحمراء، الذي يعكسه النبات بقوة.

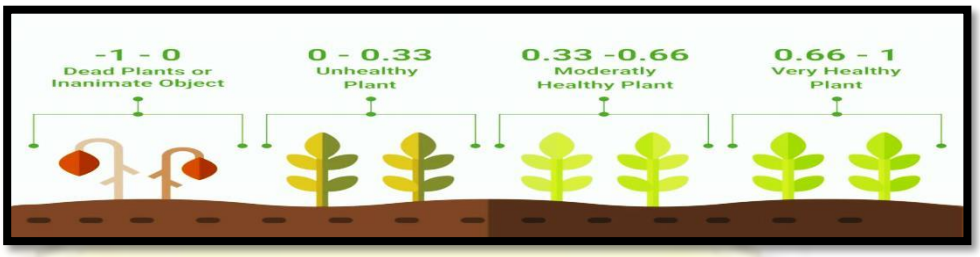
RED: الإشعاع في الطيف الأحمر، الذي يمتصه النبات بسبب عملية التمثيل الضوئي.

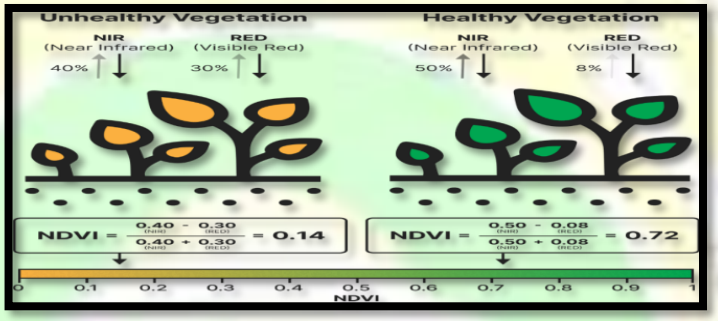
تتراوح قيم NDVI من (−1 إلى +1)، حيث يدل (−1) على عدم وجود نباتات، بينما يشير (0) إلى تربة جرداء أو مياه. القيم القريبة من (+1) تشير إلى كثافة نباتية أكبر وصحة أفضل للنباتات(Gandhi et al., 2015)، كما في الصورة (1).

تبرز أهمية مؤشر NDVI من خلال النقاط الأتية(Khalef et al., 2025):

- تقييم صحة النبات: يُستخدم لتحديد إذا ما كان الغطاء النباتي في منطقة معينة صحّياً أم يعاني من ضغوط بيئية.
- إدارة المحاصيل: يساعد المزارعين في معرفة حالة نمو المحاصيل وتحديد الاحتياجات الزراعية (الري، التسميد).
- رصد تغير الغطاء الأرضي: يُستخدم لرصد التصحر، إزالة الغابات، أو إعادة التشجير.
- التخطيط البيئي: يُستخدم في مراقبة البيئة ومعرفة تغيرات الأنظمة الإيكولوجية.

صورة (1) قيم مؤشر NDVI للغطاء النباتي حسب الطول الموجي (Boukalba et al, 2025)





يوضح جدول (1) والخريطة (2) الأراضي التي تتعرض للتغير في الكتلة الحيوية للنبات، وذلك باعتبارها طريقة للكشف عن تدهور الغطاء النباتي الذي له تأثير مباشر وكبير على تلوث التربة ويعزز من تفاقم العديد من المشاكل البيئية. تم استخدام طريقة التمثيل الكمي، مع الاعتماد على وسيلة المساحات وأسلوب الألوان في تمثيل البيانات، إذ تم تصنيف مؤشر كثافة الغطاء النباتي في منطقة الدراسة إلى ثلاث فئات وفقًا لتصنيف بويان (Bhuiyan)، وهي:

مناطق جرداء او قليلة الغطاء النباتي:

يتبين من بيانات الجدول (1) والخريطة(2) فقد بلغ اعلى تدهور للغطاء النباتي لفئة خالية من التدهور في عام 1990 بمساحة بلغت (83100)كم^2 وبنسبة (57,78%)، وقد انخفضت هذا المساحة بشكل قليل جداً في عام 2024 لتبلغ (84987)كم^2 وبنسبة (59,09%) وبمساحة تغير موجبة بلغت (18,88)كم^2، وتشير الزيادة الطفيفة في المساحة لعام 2024 إلى تحسن نسبي في حماية أو استعادة بعض المناطق النباتية من التدهور، أو ربما تكون نتيجة لجهود في استصلاح الأراضي أو تغيرات بيئية محلية ساعدت في تعزيز الغطاء النباتي. ومع ذلك، تبقى النسبة الإجمالية أقل من قيمتها السابقة مما يدل على أن الغطاء النباتي بشكل عام لا يزال يواجه تحديات.

مناطق منخفضة الكثافة:

أما فئة الاراضي منخفضة الكثافة احتل عام (2024) أعلى مساحة لهذا الفئة نحو (587.11) كم^2 وبنسبة (40.82%)، بينما انخفضت هذا المساحة بشكل طفيف في عام 1990 لتبلغ مساحتها نحو (582.99) كم^2 وبنسبة (40.53%) وبلغت مساحة التغير بين المدتين نحو (4.12)، ويرجع السبب الزيادة الطفيفة في المساحة خلال عام 2024 إلى وجود تغييرات

إيجابية مثل التوسع في الاستخدامات الزراعية أو العمرانية على الأراضي ذات الكثافة المنخفضة، أو استجابة لسياسات تنظيمية جديدة. بينما الانخفاض الطفيف في المساحة في 1990 قد يرجع إلى عوامل مثل التغيرات المناخية أو استخدامات الأراضي غير الزراعية التي قد أدت إلى تقليص المساحة في تلك الفترة.

مناطق متوسطة الكثافة:

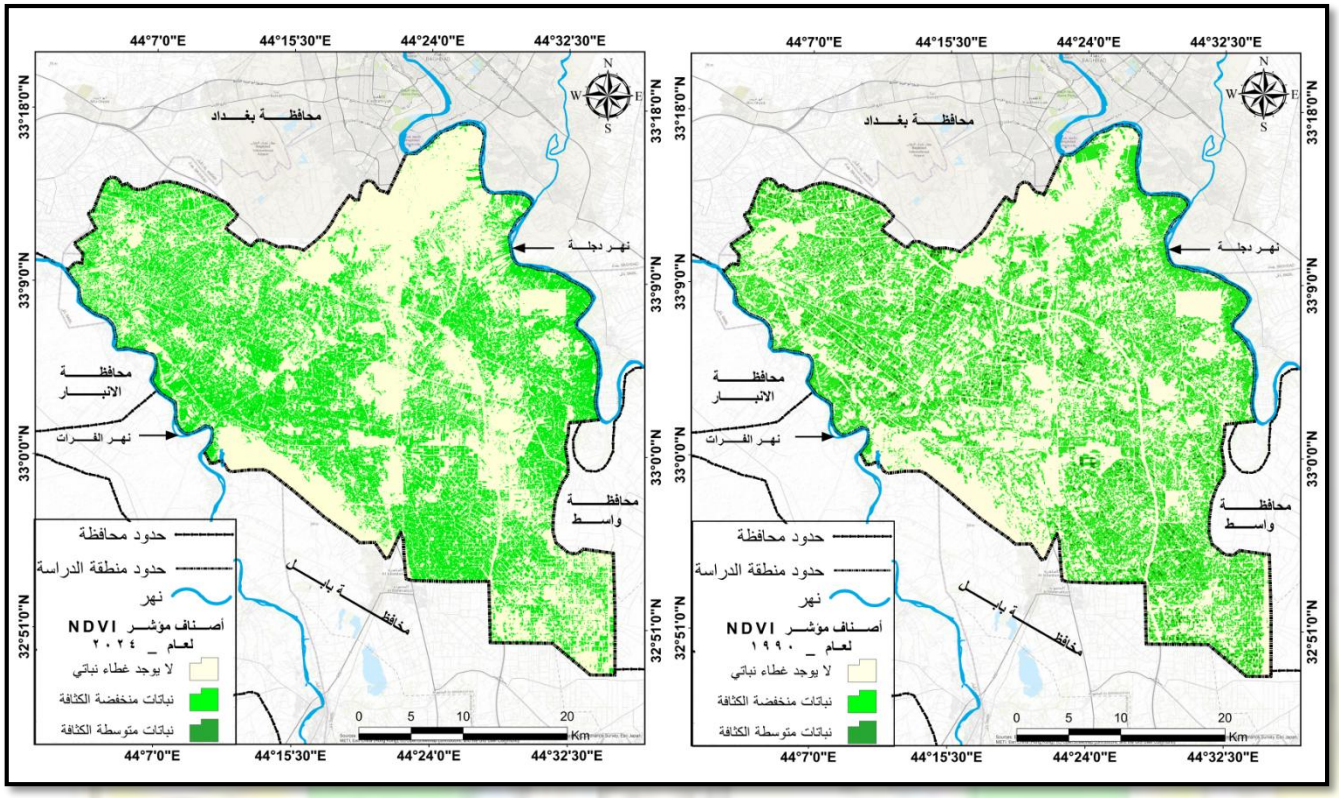
يتضح من بيانات جدول (1) والخريطة (2) أن أعلى مساحة لفئة "التدهور المتوسط" كانت في عام 1990 بمساحة بلغت (24.27) كم^2 وبنسبة (62.62%)، في عام 2024، انخفضت هذه المساحة بشكل كبير لتصل إلى (1.31) كم^2 وبنسبة (0.09%)، وبلغت مساحة التغير بين الفترتين نحو(−22.96)كم^2، يشير الانخفاض الكبير في المساحة بين عامي 1990 و2024 إلى تراجع ملحوظ في فئة "التدهور المتوسط"، وهو ما قد يرتبط بتأثيرات تلوث التربة. فمن المعروف أن التلوث الناتج عن الملوثات الكيميائية والبيئية يؤثر بشكل كبير على جودة التربة وخصوبتها، مما يساهم في تفاقم تدهور الأراضي. ومع ذلك، قد يكون التراجع في هذه الفئة نتيجة لتحسين إدارة الأراضي، واستراتيجيات إعادة التأهيل البيئي، مثل برامج الاستصلاح وتحسين استخدام الموارد الطبيعية، التي ساعدت في تقليل آثار تلوث التربة وتحسين القدرة على استعادة الأراضي المتدهورة. كما يمكن أن يكون للتغيرات المناخية المحلية دور في التأثير على تلوث التربة واستعادتها.

جدول (1) مساحة ونسب مؤشر (NDVI) في قضاء المحمودية للمدة (1990 – 2024)

الصنف	عام 1990		عام 2024		مساحة التغير كم^2
	المساحة كم^2	%	المساحة كم^2	%	
لا يوجد غطاء نباتي	831.00	57.78	849.87	59.09	18.88
نباتات منخفضة الكثافة	582.99	40.53	587.11	40.82	4.12
نباتات متوسطة الكثافة	24.27	1.69	1.31	0.09	22.96−
المجموع	**1438.26**	**100**	**1438.29**	**100**	**0.03**

المصدر: من عمل الباحثة بالاعتماد على خريطة (2).

خريطة (2) أصناف مؤشر (NDVI) للمدة (1990 -2024)



1- مؤشر الرطوبة الموحد (Modified Soil Moisture Index – MSMI):

هو مؤشر يتم استخدامه لتقييم محتوى الرطوبة في التربة والنباتات بناءً على بيانات الاستشعار عن بُعد. يهدف هذا المؤشر إلى تحسين القدرة على تقدير مستوى الرطوبة مقارنة بالمؤشرات التقليدية، وذلك من خلال دمج معلومات متعددة النطاقات الطيفية.

يعتمد MSMI على انعكاسات الطيف الكهرومغناطيسي ضمن نطاقات الأشعة تحت الحمراء القريبة (NIR) ومتوسطة الأشعة تحت الحمراء (MIR)، وذلك لالتقاط تأثيرات التربة والنبات على محتوى الرطوبة، ويتم حساب هذاالمؤشر وفق المعادلة الأتية:(wang et al,. 2022)

$$MSMI = \frac{NIR - MIR}{NIR + MIR}$$

حيث أن:

NIR: الانعكاس في نطاق الأشعة تحت الحمراء القريبة.

MIR: الانعكاس في نطاق الأشعة تحت الحمراء المتوسطة.

يظهر قيم مؤشر MSMI مستويات مختلفة من رطوبة التربة. عندما تكون القيم أقل من (−0.2)، فإنها تشير إلى مستويات منخفضة جداً من الرطوبة، وغالباً ما تُلاحظ هذه الحالة في التربة الجافة تماماً بالمناطق الصحراوية أو القاحلة. إذا كانت القيم تقع بين (−0.2) و(0)، فإن ذلك يعكس مستويات رطوبة منخفضة إلى متوسطة، وغالباً ما تتواجد هذه الحالة في التربة الرملية أو المناطق التي تعاني من جفاف نسبي، أما إذا كانت القيم بين (0) و(0.2)، فهي تشير إلى مستويات رطوبة متوسطة إلى مرتفعة، وهذه الحالة تتناسب عادةً مع التربة الزراعية التي تتلقى الري المنتظم. وأخيراً، القيم التي تزيد عن 0.2 تعكس مستويات رطوبة مرتفعة جداً، كما هو الحال في الأراضي الرطبة أو التربة المشبعة تماماً، وربما تشير أيضاً إلى وجود مياه سطحية (Al−khalidi,. 2025) كما في الجدول (2).

الجدول (2) قيم المؤشر وتفسيرها في مؤشر الرطوبة الموحد.

القيمة	التفسير	المثال
0.2− >	مستويات منخفضة جداً من الرطوبة، تربة جافة تماماً.	الصحارى والمناطق القاحلة.
0.2− إلى 0	مستويات رطوبة منخفضة إلى متوسطة.	التربة الرملية أو المناطق ذات الجفاف النسبي.
0 إلى 0.2	مستويات رطوبة متوسطة إلى مرتفعة.	تربة زراعية تتلقى ري منتظم.
0.2 <	مستويات رطوبة مرتفعة للغاية، أو مياه سطحية.	الأراضي الرطبة أو التربة المشبعة تماماً.

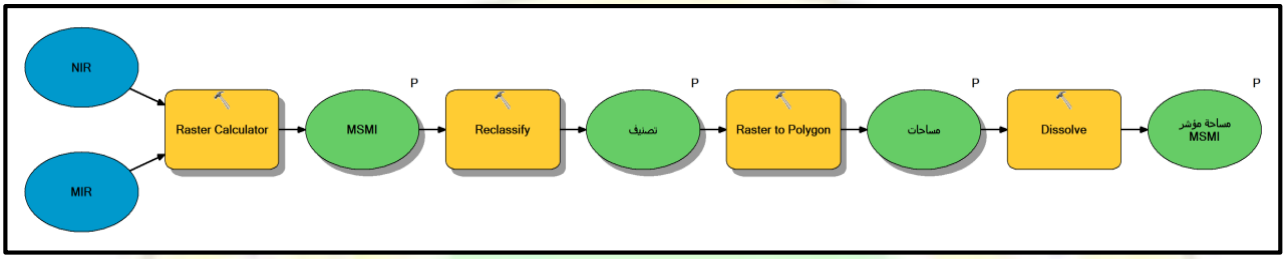
المصدر: من عمل الباحثة.

تبرز أهمية مؤشر MSMI كالاتي:

- تحسين فهم رطوبة التربة: يقدم تصوراً دقيقاً لمحتوى الرطوبة في التربة والمناطق النباتية، كما يقلل من التداخل الناتج عن العوامل غير النباتية مثل نوعية التربة.
- تقييم الزراعة وإدارة الموارد: إذ يساعد المزارعين في تتبع مستوى الرطوبة لتحسين الري، كما يساهم في تقييم تأثيرات التغير المناخي على توفر المياه في التربة.
- مراقبة الجفاف والفيضانات: يساعد في رصد حالات الجفاف واكتشاف المناطق المهددة، كما يساهم في تحديد المناطق ذات التربة المشبعة لرصد احتمالات الفيضانات.

- الدراسات البيئية والهيدرولوجية: يساعد في فهم توزيع المياه وتأثيره على الأنظمة البيئية، ويساهم في التقييم المستدام للمناطق الرطبة الطبيعية، ويمكن توضيح بناء نموذج مؤشر (MSMI)في الشكل (1).

شكل (1) نمذجة مؤشر (MSMI) باستخدام نظم المعلومات الجغرافية



المصدر: من عمل الباحثة بالاعتماد على مخرجات برنامج (ARC.GIS).

الجدول (3) يوضح تحولات كبيرة في مستويات الرطوبة بين عامي 1990 و2024، حيث يظهر انخفاض ملحوظ في المساحات ذات الرطوبة المرتفعة والمتوسطة، وزيادة مقلقة في المساحات الجافة تمامًا والأسباب الرئيسة هي (التغيرات المناخية (ارتفاع درجات الحرارة، انخفاض الأمطار)، سوء إدارة الموارد المائية، التوسع العمراني على حساب الأراضي الزراعية، عدم وجود خطط فعالة لمكافحة التصحر واستصلاح الأراضي.

1-مناطق ذات رطوبة تربة مرتفعة: بلغت المساحة في عام 1990 في هذا الصنف(241,40)كم وبنسبة (16,78%) لتنخفض الى(172,12) كم في عام 2024 وبنسبة(11,97%) وبفارق مساحة (69,28) كم الانخفاض في مستويات الرطوبة المرتفعة قد يكون نتيجة عوامل مناخية مثل انخفاض معدلات الأمطار وزيادة درجات الحرارة نتيجة التغير المناخي، مما قلل من الاحتفاظ بالرطوبة في التربة تزايد الاعتماد على المياه الجوفية لأغراض الزراعة والصناعة أدى إلى خفض مستويات المياه القريبة من سطح التربة الأنشطة البشرية مثل إزالة الغطاء النباتي قد زادت من فقدان التربة للرطوبة نتيجة التبخر السريع .

2-مناطق ذات رطوبة تربة متوسطة: تنخفض مستويات الرطوبة انخفاض كبير في هذا الصنف ففي عام 1990 كانت تشكل المساحة(826,37)كم وبنسبة(57,46%) لتنخفض المساحة في عام 2024 حتى تصل المساحة الى(359,69)كم وبنسبة (25,01%) وبفارق مساحة(466,68) كم التراجع الكبير في مستويات الرطوبة المتوسطة قد يكون مرتبطًا بتدهور الأراضي الزراعية بسبب التصحر أو الممارسات الزراعية غير المستدامة انتقال مساحات كبيرة من هذه الفئة إلى فئة الرطوبة المنخفضة أو الجافة تمامًا نتيجة نقص الري وزيادة الضخ العشوائي للمياه الجوفية الأنشطة العمرانية والتوسع في الأراضي غير المزروعة أدى إلى تقليل المساحات القادرة على الاحتفاظ بالرطوبة للحفاظ على هذه الفئة، يجب التركيز على تطبيق أنظمة ري حديثة ومنع تدهور الأراضي الزراعية..

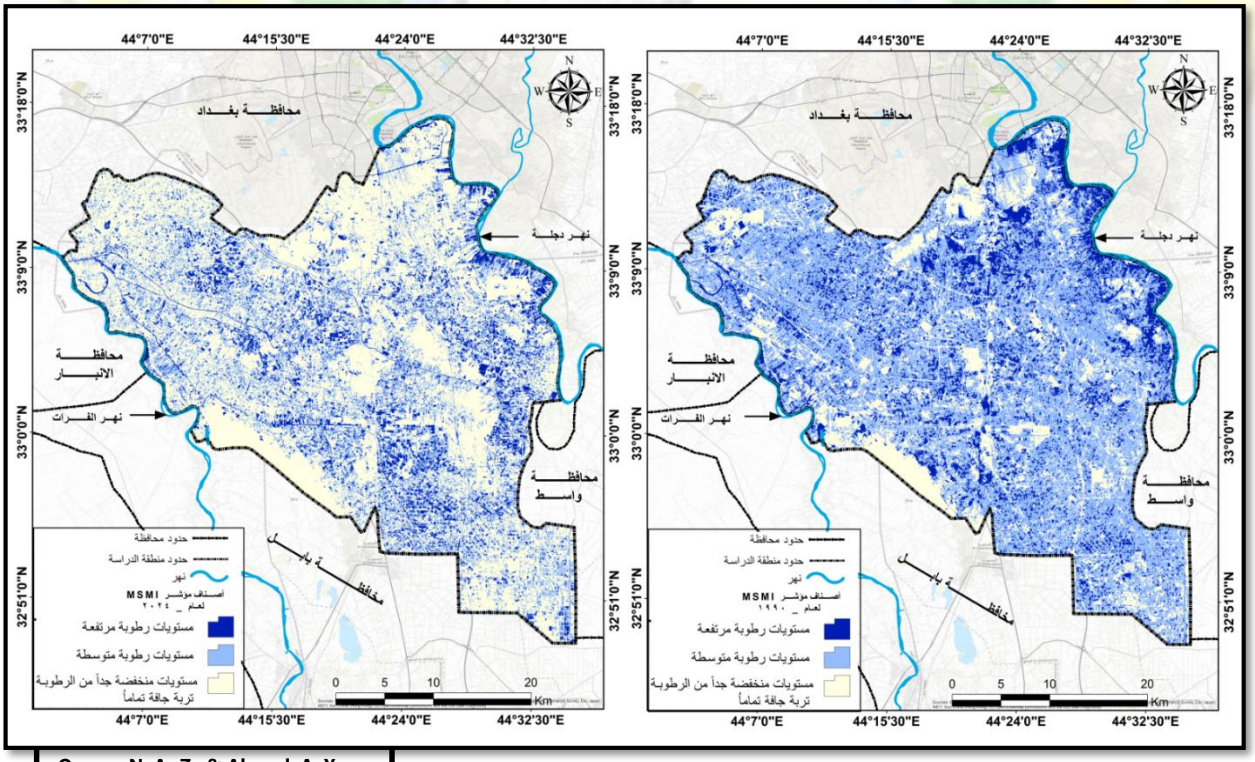
3-مناطق منخفضة الرطوبة: في عام 1990 كانت المساحة تبلغ(370,49)كم وبنسبة (25,76%) لتزداد نسبة الرطوبة المنخفضة في عام 2024 لتصبح المساحة(906,47)كم وبنسبة (63,02%) وبفارق مساحة(535,98)كم الزيادة الكبيرة في المساحات ذات التربة الجافة تشير إلى تفاقم ظاهرة التصحر والتدهور البيئي في المنطقة العوامل المناخية مثل زيادة الجفاف وارتفاع معدلات التبخر نتيجة الاحتباس الحراري قد ساهمت بشكل كبير في هذه الزيادة الأنشطة البشرية، مثل الاستخدام المفرط للتربة دون برامج استصلاح أو تحسين، قد ساعدت في انتقال مساحات من الفئات الأخرى إلى هذه الفئة استعادة هذه الأراضي تتطلب برامج استصلاح مكثفة تشمل تحسين خصوبة التربة وإعادة زراعة الغطاء النباتي.

جدول (3) مساحة ونسب مؤشر (MSMI) في قضاء المحمودية للمدة (1990 – 2024)

الصنف	عام 1990		عام 2024		مساحة التغير كم^2
	المساحة كم^2	%	المساحة كم^2	%	
مستويات رطوبة مرتفعة	241.40	16.78	172.12	11.97	69.28-
مستويات رطوبة متوسطة	826.37	57.46	359.69	25.01	466.68-
مستويات منخفضة3 جداً من الرطوبة تربة جافة تماماً	370.49	25.76	906.47	63.02	535.98
المجموع	1438.27	100	1438.28	100	

المصدر: من عمل الباحثة بالاعتماد على مساحات المؤشر (MSMI).

خريطة (3) أصناف مؤشر (MSMI) للمدة (1990 -2024)



المصدر: من عمل الباحثة بالاعتماد على مؤشر (MSMI)، ومخرجات برنامج (ARC.GIS).

2- **مؤشر الطيفي لملوحة التربة (SI) – (Soil Salinity Index)**

هو مقياس يستخدم لاكتشاف وتحليل ملوحة التربة باستخدام بيانات الاستشعار عن بعد. يعتمد هذا المؤشر بشكل رئيسي على القيم الطيفية المستخلصة من صور الأقمار الصناعية، حيث يتم دراسة أطياف الأشعة المنعكسة من سطح الأرض وتحليلها لتحديد تركيز الأملاح في التربة. يعد هذا المؤشر أداة فعالة في تقييم صحة الأراضي الزراعية وملوحتها خاصة في المناطق الواسعة التي يصعب تقييمها ميدانياً، ويتم حساب هذا المؤشر من خلال المعادلة الآتية(Zhang et al,. 2023) :

$$SI = \frac{B - NIR}{B + NIR}$$

B= هو الإشعاع المنعكس من النطاق الأزرق (450–495) (Blue نانومتر).

NIR= هو الإشعاع المنعكس من الأشعة تحت الحمراء القريبة (750–1300) (Near Infrared نانومتر).

يعتمد تفسير قيم مؤشر ملوحة التربة (SI) على النطاق الذي تقع فيه هذه القيم. عندما تتراوح القيمة الطيفية للمؤشر بين (−1) و (−0.2)، فهذا يدل على أن التربة تحتوي على ملوحة عالية تؤثر بشكل كبير على نمو النباتات والأنشطة الزراعية. أما إذا كانت القيم بين (0.0) و (0.2)، فإن ذلك يشير إلى أن الملوحة في التربة متوسطة أو منخفضة، مما يعني أن التأثيرات السلبية على التربة والنباتات ليست شديدة، ولكن من الأفضل أن يتم مراقبة الوضع. في حين أن القيم التي تتراوح بين (0.2) و (0.5) تعكس تربة خصبة غير ملوثة بالملوحة ولها قدرة جيدة على دعم المحاصيل الزراعية. وفي الحالات التي تتجاوز القيم (0.5)، فهذا يشير إلى وجود تربة صحية أو مناطق تتمتع بملوحة منخفضة جداً أو قد تحتوي على مياه سطحية، مما يحسن من خصوبتها ويجعلها مثالية لدعم النمو الزراعي(Rodriguez et al,.2022) .

أهم تطبيقات المؤشر(SI) هي كالتالي:

رصد التغيرات في ملوحة التربة: باستخدام هذه المعادلة يمكن تحليل التغيرات الطيفية عبر فترات زمنية لمراقبة تأثير الملوحة في الأراضي الزراعية(Zhang et al,. 2023) .

- إدارة الأراضي الزراعية: يساعد في تحديد المناطق ذات التربة عالية الملوحة التي تتطلب معالجة خاصة مثل تحسين الري أو إدخال أنواع نباتات مقاومة للملوحة(Huang et al,.2021) .
- دراسات البيئة: يساعد في دراسة التدهور البيئي بسبب الملوحة ومعالجة تدهور الأراضي(Chen et al,.2020) .
- وإن تغير تصنيف التربة من حيث الملوحة بين عامي 1990 و2024 تُظهر انتقال مساحات كبيرة من التربة غير المالحة أو منخفضة الملوحة إلى درجات ملوحة أعلى، مما يعكس تأثير الممارسات البشرية والظروف المناخية على التربة وكالتالي:

1-**مناطق ذات ملوحة المنخفضة** : بلغت مساحة المنطقة منخفضة الملوحة في المنطقة(780،83) كم وبنسبة(54,92%) في عام 1990 اما في عام 2024(679,07)كم وبنسبة(47,22%) وبفارق مساحة (101,76)كم ان التراجع في المساحة يظهر تدهور واضح في هذه الفئة، حيث فقدت حوالي(101.76)كم² من التربة الجيدة أو ذات الملوحة المنخفضة وقد ترجع الأسباب الى الأنشطة البشرية، مثل الإفراط في استخدام الأسمدة الكيميائية، الري بمياه مالحة أو شبه مالحة، وتدهور إدارة الموارد المائية أو التغيرات المناخية، قلة الأمطار وزيادة معدلات التبخر أدت إلى تراكم الأملاح في التربة فلابد من تحسين إدارة المياه عبر اعتماد تقنيات الري الحديثة مثل الري بالتنقيط لتقليل تراكم الأملاح و تطبيق برامج إصلاح التربة باستخدام الجبس الزراعي وتحسين الصرف الزراعي لتقليل تركيز الأملاح.

2-مناطق ذات ملوحة متوسطة: تشكل مساحة المناطق ذات الملوحة المتوسطة 657,45كم وبنسبة (45,71%) في عام 1990 اما في عام 2024 فبلغت المساحة (560,28) كم لتقل المساحة وتشكل نسبة (38,96%) وبفارق مساحة (97,17) كم بالرغم من التدهور، تشير الأرقام إلى أن جزءًا من هذه الأراضي قد تم تحسينه بشكل طفيف لذلك لابد من تطبيق برامج استصلاح للتربة المتوسطة الملوحة لتجنب تحولها إلى ملوحة مرتفعة تقنيات الغسل الدوري للتربة باستخدام مياه منخفضة الملوحة لتخفيف تراكم الأملاح.

3-**مناطق ذات ملوحة مرتفعة** : تخلو منطقة الدراسة من مناطقة ملوحة مرتفعة في عام 1990 لترتفع المساحة وتبلغ(198,85)كم في عام 2024 وبنسبة(13,83%) بفارق مساحة (198,85) كم زيادة كبيرة في الملوحة: تمثل هذه الفئة الظاهرة الأكثر وضوحًا في الجدول، حيث أضيفت حوالي (198.85) كم² من التربة إلى هذه الفئة خلال 34 عامًا قد ترجح الأسباب الى استخدام مياه غير معالجة للري أو مياه جوفية مالحة او الجفاف والتبخر مما أدى إلى زيادة تركيز الأملاح في المناطق السطحية للتربة لذلك يتوجب تنفيذ مشاريع شاملة لاستصلاح التربة شديدة الملوحة، مثل تحسين الصرف واستبدال المياه المستخدمة في الري بمصادر ذات جودة أفضل و دعم المزارعين ببرامج توعية حول تأثير الملوحة وطرق معالجتها كما في الجدول

والخريطة (4).

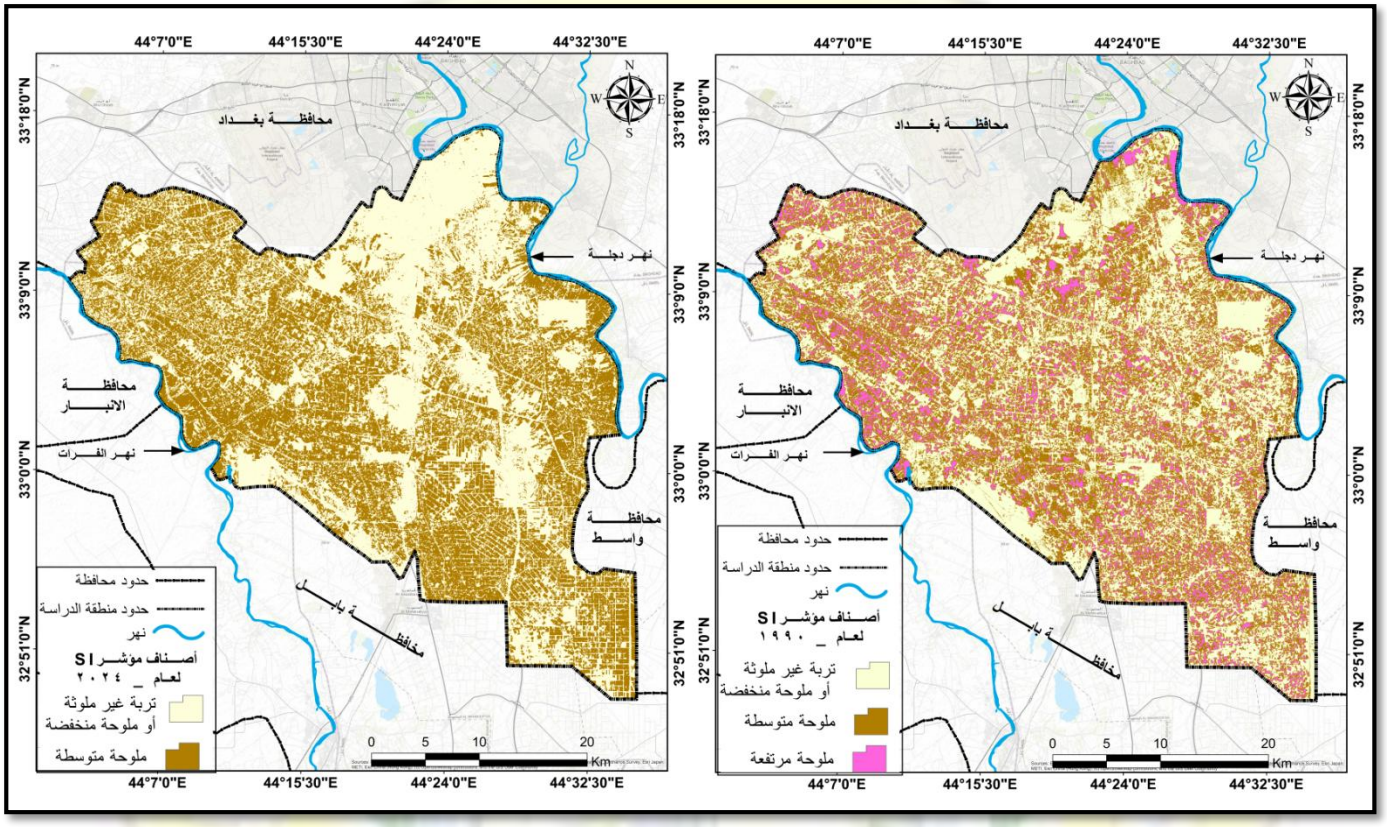
جدول (4) مساحة ونسب مؤشر (SI) في قضاء المحمودية للمدة (1990 – 2024)

الصنف	عام 1990		عام 2024		مساحة التغير كم²
	المساحة كم²	%	المساحة كم²	%	
تربة غير ملوثة أو ملوحة منخفضة	780.83	%54.29	679.07	%47.22	101.76-
ملوحة متوسطة	657.45	%45.71	560.28	%38.96	97.17-

ملوحة مرتفعة	0	0	198.85	%13.83	198.85
المجموع	1438.28	%100.00	1438.20	%100.00	

المصدر: من عمل الباحثة بالاعتماد على مساحات المؤشر (SI).

خريطة (4) أصناف مؤشر (SI) للمدة (1990 -2024)



3- مؤشر الجفاف القياسي (DSI)- Drought Standardized Index):

مؤشر(DSI) هو مؤشر يُستخدم لتقييم شدة الجفاف بناءً على تحليل البيانات الطيفية للأقمار الصناعية، ويتم تطويره لمراقبة الجفاف عبر مقارنة الفرق بين خصائص انعكاسات التربة والنباتات عبر نطاقات طيفية محددة. يتم استخدام هذا المؤشر بشكل رئيسي لتحديد مناطق الجفاف الزراعي والجفاف البيئي بناءً على العوامل الطيفية والمناخية، ويتم حساب المؤشر وفق المعادلة الأتية(Meer et al,.2012) :

$$DSI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

NIR: الأشعة تحت الحمراء القريبة (Near-Infrared).

RED: الأحمر المرئي (Visible Red).

يتم تفسير قيم مؤشر الجفاف القياسي DSI على النحو الآتي: إذا كانت قيمة المؤشر أكبر من (0.5)، فإن ذلك يدل على عدم وجود جفاف وتعكس القيم وجود نباتات صحية ونشاط نباتي عالٍ في المنطقة. عندما تكون القيم بين (0.2) و(0.5)، فإنها تشير إلى وجود رطوبة كافية وغياب مؤشرات للجفاف. أما إذا كانت القيم بين (0) و(0.2)، فإن ذلك يعني بداية ظهور الجفاف مع بعض العلامات على تدهور النباتات بسبب نقص المياه. في حالة كانت القيم بين (−0.2) و(0)، فإن ذلك يشير إلى جفاف خفيف يظهر فيه نقص مياه واضح يؤثر على النباتات. وأخيراً، إذا كانت القيم أقل من (−0.2) فإنها تدل على جفاف شديد مع مستويات مرتفعة من الإجهاد المائي الذي يؤدي إلى ذبول النباتات وتدهور الأراضي الزراعية (Zargar et al,.2011).

استخدامات مؤشرDSI (Peters et al,.2002):

- رصد الجفاف الزراعي: تحديد تأثير نقص المياه على الإنتاج الزراعي.
- مراقبة الجفاف طويل المدى: تتبع الأنماط الزمنية للجفاف باستخدام بيانات الأقمار الصناعية.
- الإدارة المائية: تحسين إدارة الري وتوزيع الموارد المائية في المناطق الجافة أو المهددة بالجفاف.
- الأرقام تشير إلى نتائج سلبية واضحة رغم وجود تحسن طفيف في المساحات غير الجافة، إلا أن مساحة الأراضي المتأثرة بالجفاف الشديد لا تزال مرتفعة للغاية، مما يعكس استمرار المشكلة البيئية الوضع يتطلب استراتيجيات مستدامة للتعامل مع تغير المناخ وتقليل تأثيرات الجفاف ويمكن تقسيم منطقة الدراسة الى:

1-مناطق الجفاف الشديد: تعاني منطقة الدراسة من جفاف شديد في اغلب أراضيها حيث شكلت مساحة المناطق الجافة في عام 1990(1376,99) كم وبنسبة (95,73%) لتزداد النسبة في عام 2024 الى (1432,91) كم وبنسبة (99,62%) حيث بلغت مساحة التغير (55,91) كم وبذلك يتبين إن معظم الأراضي لا تزال تعاني من تأثيرات الجفاف، مما يعكس استمرار التدهور البيئي.

2-مناطق الجفاف القليل:

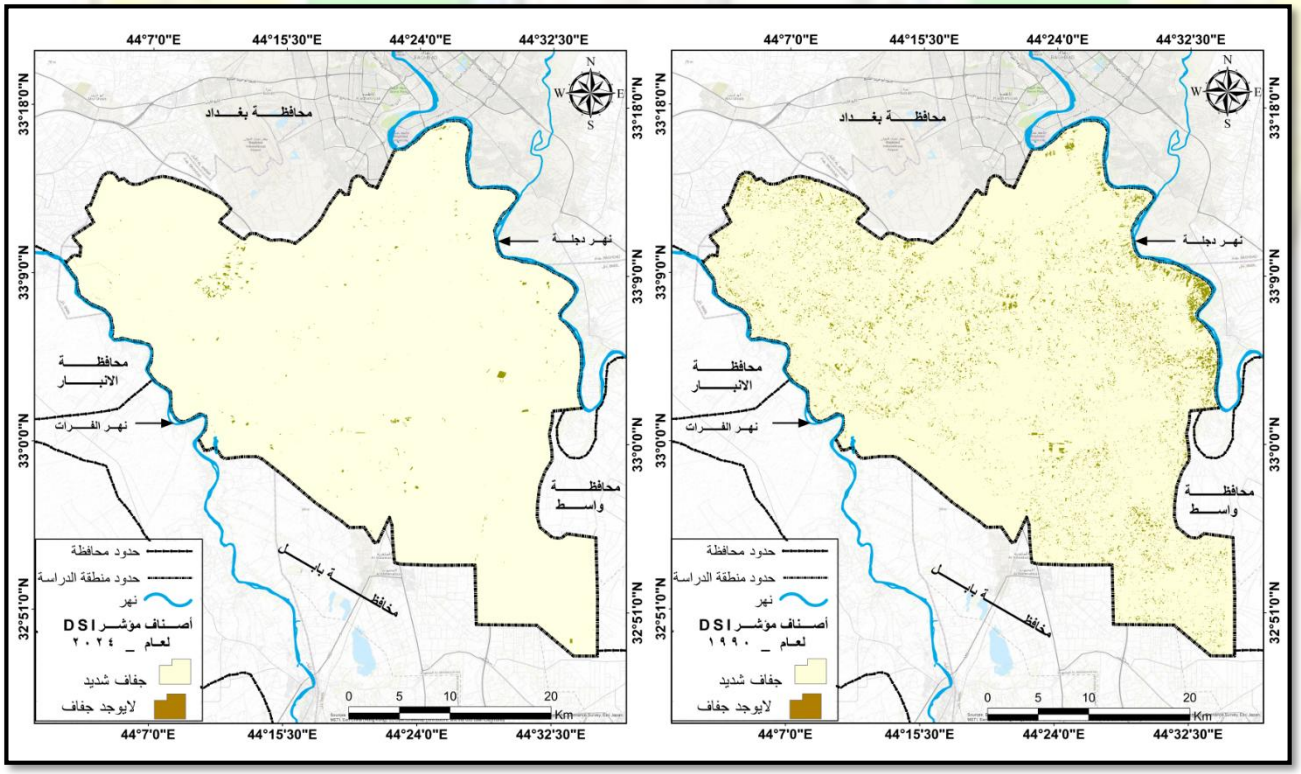
بلغت مساحة الجفاف في هذا الصنف (61,37) كم وبنسبة (4,27%) في عام 1990 اما في عام 2024 تقل المساحة لتبلغ (5,46) كم وبنسبة (0,38) % وبفارق مساحة بلغت (55,91) كم قد تكون هذه الزيادة ناجمة عن تحسينات محدودة أو تغيرات ظرفية في بعض المناطق، لكنها لا تعكس تحسنًا كبيرًا في الوضع البيئي العام. على الرغم من وجود تغيرات طفيفة، تبقى غالبية المساحة تحت تصنيف الجفاف الشديد، مما يعني أن المنطقة تعاني من أزمة مائية او تدهور بيئي وان النتائج تشير إلى تفاقم محتمل للتحديات المناخية مثل ارتفاع درجات الحرارة أو نقص هطول الأمطار أو نقص الغطاء النباتي، مما يشير إلى تدهور النظام البيئي المحلي ، إن هذه الأرقام تسلط الضوء على احتمالية انخفاض الإنتاجية الزراعية نتيجة الجفاف الحاد من الضروري استقصاء التداعيات على المجتمعات المحلية التي تعتمد على الزراعة أو الموارد المائية تشير البيانات إلى الحاجة الملحة لتدخلات بيئية قوية مثل تعزيز إدارة المياه وتطبيق تقنيات حديثة للري وبرامج للتشجير وإعادة تأهيل الأراضي كما في الجدول (5) والخريطة (5).

جدول (5) مساحة ونسب مؤشر (DSI) في قضاء المحمودية للمدة (1990 – 2024)

الصنف	عام 1990		عام 2024		مساحة التغير كم^2
	المساحة كم^2	%	المساحة كم^2	%	
جفاف شديد	1376.99	95.73	1432.91	99.62	55.91
لا يوجد جفاف	61.37	4.27	5.46	0.38	55.91-
المجموع	1438.36	95.73	1438.37	100	

المصدر: من عمل الباحثة بالاعتماد على مؤشر (DSI).

خريطة (5) أصناف مؤشر للمدة (1990 -2024)



المصدر: من عمل الباحثة بالاعتماد على مؤشر (**DSI**)، ومخرجات برنامج (ARC.GIS).

مؤشر الغطاء النباتي الأخضر (GNDVI) Green Normalized Difference Vegetation Index

هو إحدى المقاييس المستخدمة في تحليل الغطاء النباتي باستخدام بيانات الأقمار الصناعية، وهو يعتمد على تحليل الفرق بين الأشعة تحت الحمراء القريبة (NIR) وطيف الضوء الأخضر (Green). يهدف هذا المؤشر إلى مراقبة صحة النباتات وكثافة الكلوروفيل في الأوراق، مما يجعله أداة فعّالة في فهم نمو النباتات وتطور المحاصيل، ويتم حساب المؤشر وفق المعادلة التالية (Meer et al,.2012)

$$GNDVI = \frac{NIR - Green}{NIR + Green}$$

NIR: Near Infrared: الطيف الذي يقع في المنطقة الأشعة تحت الحمراء القريبة.

Green: الطيف الضوئي الأخضر المرئي.

يتم تفسير قيم مؤشر (GNDVI) من خلال مجموعة من النطاقات التي تعكس حالة النباتات الصحية. عندما تكون قيمة (GNDVI) بين (0.7) إلى (1.0)، فهذا يشير إلى صحة النبات الجيدة، حيث يكون النبات غنياً بالكلوروفيل ونموه مثالي. يعكس هذا النوع من النباتات حالة صحية ممتازة عادةً، إذا كانت القيمة تتراوح بين (0.3) إلى (0.7)، فهذا يدل على أن صحة النباتات متوسطة، حيث قد تواجه بعض الضغوط البيئية مثل نقص المياه أو المغذيات. في هذه الحالة، على الرغم من أن النباتات لا تبدو مثالية، إلا أنها لا تزال في حالة نمو جيدة نسبياً، أما إذا كانت قيمة (GNDVI) بين (0) إلى (0.3)، فهي تشير إلى أن النباتات قد تكون في حالة سيئة أو تعاني من إجهاد شديد. هذه الحالة يمكن أن تكون بسبب نقص العناصر الغذائية، أو الآفات، أو التأثيرات البيئية السلبية مثل الجفاف، إذا كانت القيمة أقل من (0)، فإن ذلك يشير عادةً إلى نباتات تالفه أو ميتة. في هذه الحالة، غالباً ما تكون الأسباب قد تتضمن أمراضاً خطيرة أو تلفاً بيئياً أدى إلى موت النبات.

يمكن تحديد أهمية مؤشر GNDVI كالآتي(Zhang et al,.2023) :

- تحليل دقيق لصحة النباتات: بما أن GNDVI يستند إلى الأشعة تحت الحمراء القريبة والضوء الأخضر، فإنه يمكن أن يقدم معلومات دقيقة حول حالة النباتات بشكل لا يتوفر في مؤشرات أخرى مثل NDVI.
- قياس أفضل للكلوروفيل: يُعد GNDVI أكثر حساسية لوجود الكلوروفيل مقارنة بـ NDVI، ويُعد ذلك مهماً في دراسة صحة النباتات.
- تقييم الغطاء النباتي في الأراضي الزراعية والبيئة: نظراً لحساسيته على مستوى النباتات الفردية، يستخدم GNDVI لتقدير الغطاء النباتي في مناطق محددة بدقة أعلى من المؤشرات الأخرى.

استخدامات مؤشر GNDVI :(Nguyen et al,.2022)

- مراقبة صحة النباتات والمحاصيل: يستخدم GNDVI لمراقبة صحة المحاصيل الزراعية من خلال قياس مستوى الكلوروفيل، وبالتالي مدى قدرة النباتات على التمثيل الضوئي والنمو.
- تقدير إنتاجية المحاصيل: نظراً لحساسيته لمستوى الكلوروفيل، يمكن استخدام GNDVI لتقدير إنتاجية المحاصيل مثل الذرة والقمح.
- الكشف عن الإجهاد النباتي: يساعد المؤشر في تحديد النباتات التي تعاني من إجهاد بيئي، سواء كان نتيجة للجفاف أو الأمراض أو نقص المواد الغذائية.
- الزراعة الذكية: يتم استخدامه في الزراعة الدقيقة لمراقبة المحاصيل وتوجيه الري والمبيدات والتسميد بشكل أكثر فعالية.
- البحث البيئي والغطاء النباتي: يستخدم في دراسة التغيرات البيئية وتقييم الغطاء النباتي في الأنظمة البيئية الطبيعية مثل الغابات والحدائق.
- **تطبيقات(GNDV) وهي كما يلي:**
- في الزراعة: يمكن أن يسهم GNDVI في تقليل استخدام الأسمدة والمبيدات في الزراعة عن طريق تقديم صورة أوضح عن صحة النباتات وحاجاتها(Liu et al,.2024) .
- إدارة الموارد الطبيعية: يستخدمه العلماء لتتبع تغيرات الغطاء النباتي في المناطق الطبيعية مثل الغابات والجبال والصحاري.(Al-Saidi , 2026)
- الكشف عن آثار التغير المناخي: يمكن أن يساعد GNDVI في فحص تأثيرات التغير المناخي على الأنظمة البيئية.

ويمكن تقسيم منطقة الدراسة الى ثلاثة أصناف على ضوء المؤشر (GNDVI) وكما يلي:

1-منطقة تدهور او موت النبات: بلغت مساحة المنطقة في عام 1990(242,83) كم وبنسبة (16,88%) لتنخفض المساحة في عام 2024 وتبلغ (44,55) كم وبنسبة (3,10%) وبفارق مساحة (198,28) كم هذا يشير إلى انخفاض كبير في المساحة المصنفة، مما قد يعكس جهودًا لإعادة تأهيل الأراضي المتدهورة أو تغيرات في أنماط استخدام الأراضي.

2-منطقة اجهاد نباتي: بلغت مساحة المنطقة التي تعاني من اجهاد نباتي في عام 1990 الى (1051,43) كم وبنسبة (73,10%) اما في عام 2024 ارتفعت النسبة لتصل الى (1251,13) كم وبنسبة (86,99) % وبفارق مساحة 199,70كم هذا يعكس زيادة كبيرة في المناطق التي تعاني من الإجهاد النباتي، وهو مؤشر سلبي على زيادة الضغوط البيئية مثل الجفاف أو الملوحة أو نقص الموارد المائية.

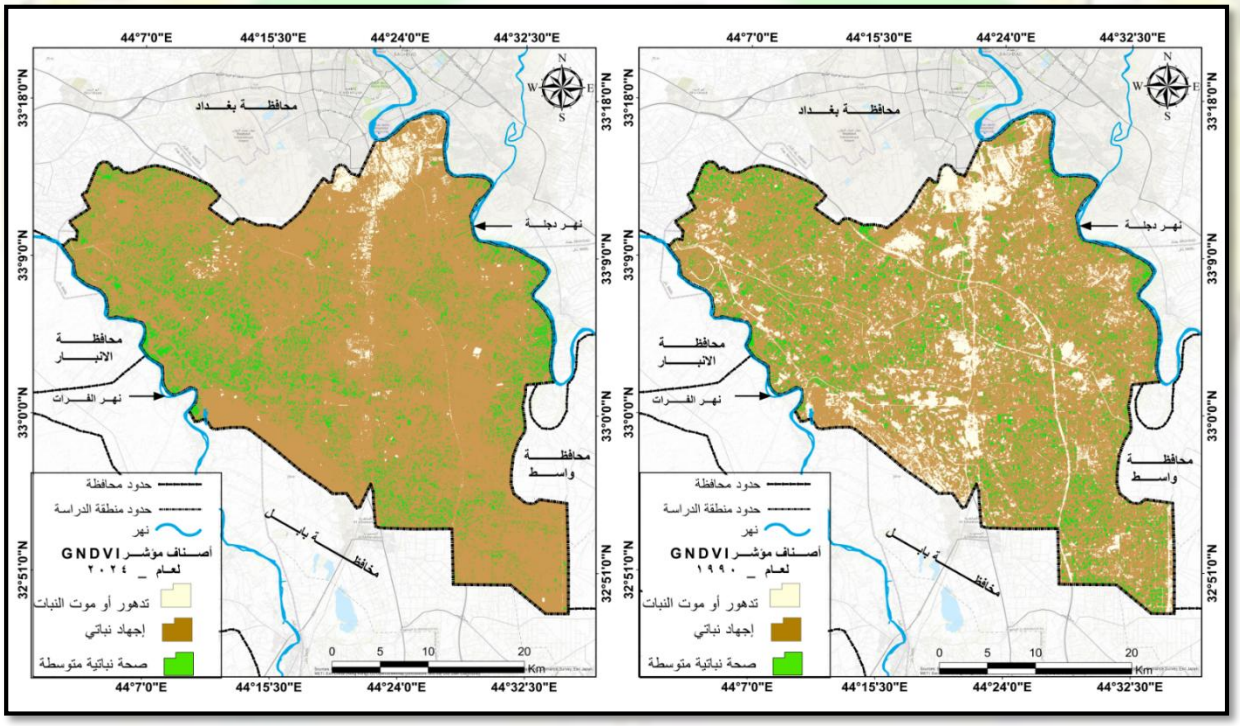
3-منطقة صحة نباتية متوسطة: بلغت المساحة المنطقة (144,01) كم وبنسبة (10,01%) في عام 1990 اما في عام 2024 تغيرت النسبة تغيير طفيف حيث بلغت النسبة (142,63) كم وبنسبة مؤدية بلغت (9,92%) وبفارق مساحة (1,38) كم هذا التغيير طفيف جدًا (انخفاض بنسبة 0.54%)، مما يشير إلى استقرار نسبي في المساحات التي تتمتع بصحة نباتية متوسطة، لكن دون تحسن يُذكر.

جدول (6) مساحة ونسب مؤشر (GNDVI) في قضاء المحمودية للمدة (1990 – 2024)

الصنف	عام 1990		عام 2024		مساحة التغير كم^2
	المساحة كم^2	%	المساحة كم^2	%	
تدهور أو موت النبات	242.83	16.88	44.55	3.10	198.28-
إجهاد نباتي	1051.43	73.10	1251.13	86.99	199.70
صحة نباتية متوسطة	144.01	10.01	142.63	9.92	1.38-
المجموع	1438.27	100	1438.32	100	

المصدر: من عمل الباحثة بالاعتماد على مؤشر (GNDVI).

خريطة (6) أصناف مؤشر (GNDVI) للمدة (1990 –2024)



المصدر: من عمل الباحثة بالاعتماد على مؤشر (DSI)، ومخرجات برنامج (ARC.GIS).

الاستنتاجات

1. أثبتت تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية كفاءتها العالية في تحليل المؤشرات البيئية المختلفة ورصد التباين المكاني والزماني لتلوث التربة في منطقة المحمودية.

2. أظهرت نتائج مؤشر الرطوبة المعدل ((MSMIانخفاضًا واضحًا في المساحات ذات الرطوبة المتوسطة والمرتفعة خلال مدة الدراسة (1990–2024)، مقابل توسع كبير في المساحات الجافة، مما يعكس تزايد مظاهر الجفاف وتدهور التربة في المنطقة.

3. بين تحليل مؤشر ملوحة التربة ((SIحدوث زيادة ملحوظة في المساحات ذات الملوحة المرتفعة، نتيجة لعوامل طبيعية وبشرية أهمها التغيرات المناخية وسوء إدارة الموارد المائية والاستخدام المكثف للأسمدة والري بمياه ذات نوعية منخفضة.

4. أظهرت نتائج مؤشر الجفاف القياسي ((DSIأن أغلب مساحة منطقة الدراسة تقع ضمن نطاق الجفاف الشديد، مع ارتفاع نسبته في عام 2024 مقارنة بعام 1990، مما يشير إلى استمرار الضغوط البيئية والمناخية المؤثرة في التربة والغطاء النباتي.

5. بينت مؤشرات الغطاء النباتي (NDVI و (GNDVIزيادة في مناطق الإجهاد النباتي وتراجع في المناطق ذات الصحة النباتية الجيدة، وهو ما يعكس تأثير الجفاف وملوحة التربة وتدهور الظروف البيئية في المنطقة.

التوصيات

1. ضرورة توظيف تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية بشكل دوري لرصد التغيرات البيئية ومتابعة تطور تلوث التربة في منطقة المحمودية.

2. اعتماد استراتيجيات فعالة لإدارة الموارد المائية، من خلال تطبيق أنظمة الري الحديثة وترشيد استخدام المياه للحد من تفاقم الجفاف وتقليل تراكم الأملاح في التربة.

3. تنفيذ برامج استصلاح الأراضي المتدهورة، خصوصًا الأراضي المتأثرة بالملوحة والجفاف، باستخدام أساليب علمية مثل تحسين الصرف الزراعي واستخدام المواد المحسنة للتربة.

4. دعم برامج إعادة تأهيل الغطاء النباتي والتشجير للحد من ظاهرة التصحر وتحسين الخصائص البيئية للتربة في منطقة الدراسة.

5. تعزيز التوعية البيئية لدى المزارعين بضرورة الاستخدام المتوازن للأسمدة والمبيدات وتطبيق أساليب الزراعة المستدامة للحفاظ على خصوبة التربة وتقليل تلوثها.

المصادر:

Md. R. Rahman, A. H. Hedayutul, Md. A. Rahman, NDVI Derived Sugarcane Area Identification and crop condition Assessment, University of Rajshahi, Bangladesh, 2011.

Meera Gandhi.G, bS.Parthiban, cNagaraj Thummalu d Christy, Ndvi: Vegetation change detection using remote sensingand gis–A case study of Vellore District, Procedia Computer Science 57 (2015).

Ehsan Khalef, Nicholas Pepin,Richard Teeuw, Long-term vegetation trends and driving factors of NDVI change on the slopes of Mount Kilimanjaro, INTERNATIONAL JOURNAL OF ENVIRONMENTAL STUDIES2024, VOL. 81, NO. 5 (2025).

Boukalba, E. (2025). Vegetation cover degradation and decline in pastoral productivity in the steppes of eastern Morocco: The Tafraout Plain in the Guercif Basin as a case study. Arabian Journal of Scientific Research, 2025(2), 7.

Hao Wang, Zongshan Li, Weijuan Zhang, Xin Ye & Xianfeng Liu, A Modified Temperature-Vegetation Dryness Index (MTVDI) for Assessment of Surface Soil Moisture Based on MODIS Data, Chinese Geographical Science, Volume 32, 14 July 202.

Rafid Saleh Mahdi Al-Khalidi. (2025). Analysis of the impact of climate change on the quantitative characteristics of daily rainfall and drought in Iraq. Wasit Journal of Human Sciences, 21(2), 227-193. Doi: https://doi.org/10.31185/wjfh.Vol21.Iss2.895

Zhang, H., Zhao, J., & Li, Z. (2023). "Evaluation of soil salinity in arid regions using spectral indices derived from Landsat 8 OLI imagery." Remote Sensing of Environmen..

Rodriguez, I., Lasserre, B., & Juarez, F. (2022). "Assessment of soil salinity in coastal agricultural regions using hyperspectral data." International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, .

Wang, H., Li, F., & Xu, Y. (2021). "A review of remote sensing techniques for soil salinity mapping: From traditional methods to spectral indices." Geoderma, 382, 114664.

Huang, J., Liu, H., & Du, H. (2021). "Remote sensing estimation of soil salinity using the normalized difference salinity index and its relationship with spectral indices." International Journal of Remote Sensing, 42(7), 2520–2539.

Chen, L., Yu, H., & Han, Z. (2020). "Mapping soil salinity distribution in irrigated regions using multispectral and hyperspectral remote sensing data." Remote Sensing, 12(2), 396.

Van der Meer, F.D. (2012).Remote Sensing of Natural Resources: Concepts and Applications". CRC Press, First Edition. ISBN: 9781466571065

Zargar, A., Sadiq, R., Naser, B., & Khan, F.I. (2011). "A Review of Drought Indices". Environmental Reviews, 19(NA).

Peters, A.J., Walter-Shea, E.A., Ji, L., Vina, A., Hayes, M., & Svoboda, M.D. (2002)."Drought Monitoring with NDVI-Based Standardized Vegetation Index". Agricultural and Forest Meteorology.

Nguyen, H. D., Minh, P. H., & Dao, T. V. (2022). "Monitoring vegetation health and productivity using remote sensing techniques." International Journal of Remote Sensing, 43(17), 6159-6175. https://doi.org/10.1080/01431161.2022.2068233.

Liu, Y., Tang, H & ،.Zhao, H. (2024). "Utilization of vegetation indices for assessing vegetation responses to environmental stressors ".*Environmental Monitoring and Assessment, 196*.182 ،

Zainab Hadi Jaber Al-Saidi. (2026). Analysis of rural health development indicators in Wasit Governorate. Wasit Journal of Human Sciences, 22(1), 406-389 **DOI:** https://doi.org/10.31185/wjfh.Vol22.Iss1.1437.

Alloway, B. J. (2012). Sources of heavy metals and metalloids in soils. In *Heavy metals in soils: trace metals and metalloids in soils and their bioavailability* (pp. 11-50). Dordrecht: Springer Netherlands.

Hakanson, L. (1980). An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach. *Water research*, *14*(8), 975-1001.

Kabata-Pendias, A. (2000). *Trace elements in soils and plants*. CRC press.

Rodríguez-Eugenio, N., McLaughlin, M., & Pennock, D. (2018). *Soil pollution: a hidden reality*.