



ISSN: 1817-6798 (Print)  
Journal of Tikrit University for Humanities



available online at: [www.jtuh.org/](http://www.jtuh.org/)

**Mohammed Abed Louis**

University of Tikrit Natural Resources Research

**Luay Maher Hammad**

University of Anbar - College of Arts

\* Corresponding author: E-mail :  
[moh.a.l.1290685@tu.edu.iq](mailto:moh.a.l.1290685@tu.edu.iq)  
07711290685

**Keywords:**

Hydrological drought  
water deficit  
spectral moisture index (NDWI)  
NDVI index  
soil moisture levels (MMSI)

**ARTICLE INFO**

**Article history:**

Received 1 Mar 2025  
Received in revised form 25 Mar 2025  
Accepted 2 Mar 2025  
Final Proofreading 29 Dec 2025  
Available online 30 Dec 2025

E-mail [t-jtuh@tu.edu.iq](mailto:t-jtuh@tu.edu.iq)

©THIS IS AN OPEN ACCESS ARTICLE UNDER  
THE CC BY LICENSE

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Journal of Tikrit University for Humanities

**Analysis of Water Deficit Indicators and Their Environmental Impacts in Baiji District (1993-2024) Using Geomatics Techniques**  
**A B S T R A C T**

Water deficit is one of the most critical environmental challenges affecting ecological balance and agricultural systems in arid and semi-arid regions, such as Baiji in Iraq. The impact of water deficit depends on the soil's ability to retain essential moisture to support agricultural activities and ecosystems.

This study aimed to monitor soil vitality and efficiency in Baiji by analyzing satellite images and spectral data to detect soil changes and their effects on agricultural productivity and vegetation cover. A set of spectral indices derived from remote sensing data and Geographic Information Systems (GIS) was used to monitor hydrological drought and its impact on soil and the environment. Among the most important indices used were the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), which assesses vegetation health and degradation due to drought, and the Moisture Stress Index (MMSI), which detects changes in soil and plant moisture content. These indices enabled the classification of soil and identification of the most degraded and most fertile areas based on water deficit variables.

The results demonstrated that spectral indices are effective tools for assessing soil health, allowing for the monitoring of spatial and temporal changes. This provides a foundation for making sustainable decisions in natural resource management. The study found that the NDVI index accurately reflects vegetation vitality, while CI and BSCI help evaluate soil's physical and chemical properties. Additionally, the MMSI index effectively determined soil moisture levels. This research highlights the importance of spectral indices in offering proactive solutions to mitigate water deficit impacts and achieve environmental and economic sustainability in Baiji.

© 2025 JTUH, College of Education for Human Sciences, Tikrit University

DOI: <http://doi.org/10.25130/jtuh.32.12.1.2025.11>

**تحليل مؤشرات العجز المائي وآثارها البيئية في قضاء بيجي للفترة (١٩٩٣-٢٠٢٤) باستخدام تقنيات الجيوماتكس**

محمد عبد لويس / جامعة تكريت - مركز بحوث الموارد الطبيعية

لؤي ماهر حماد / جامعة الانبار - كلية الآداب

**الخلاصة:**

العجز المائي يعد من أهم التحديات البيئية التي تؤثر بشكل كبير على التوازن البيئي والنظم الزراعية في المناطق الجافة وشبه الجافة، مثل قضاء بيجي في العراق. يعتمد تأثير عجز المياه على قدرة التربة على

الاحتفاظ بالرطوبة الضرورية لدعم الأنشطة الزراعية والنظم البيئية. هدفت الدراسة إلى مراقبة حيوية وكفاءة التربة في قضاء بيجي عبر تحليل الصور الفضائية والبيانات الطيفية لتحديد التغيرات الحاصلة في التربة وتأثيرها على الإنتاجية الزراعية والغطاء النباتي. باستخدام مجموعة من المؤشرات الطيفية المستمدة من بيانات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية (GIS) في مراقبة الجفاف الهيدرولوجي وتأثيره على التربة والبيئة. ومن بين أهم هذه المؤشرات: مؤشر الفرق المعياري للنباتات (NDVI) الذي يقيم صحة الغطاء النباتي ومدى تدهوره نتيجة للجفاف، مؤشر الرطوبة الطيفي (NDWI) المستخدم لرصد التغيرات في محتوى الرطوبة في التربة والنباتات. مما أتاح تصنيف التربة وتحديد المناطق الأكثر تدهورًا والأكثر خصوبة بناءً على متغيرات عجز المياه. أظهرت النتائج أن المؤشرات الطيفية تعد أدوات فعالة يوفر تقييم صحة التربة، حيث يمكن استخدامها لرصد التغيرات الزمنية والمكانية، مما يوفر أساسًا لاتخاذ قرارات مستدامة في إدارة الموارد الطبيعية. توصلت الدراسة إلى أن مؤشر NDVI يعكس حيوية الغطاء النباتي بشكل دقيق، بينما يساعد كل من CI وBSCI في تقييم خصائص التربة الفيزيائية والكيميائية. كما ساهم مؤشر MMSI في تحديد مستويات الرطوبة في التربة بشكل فعال. يساعد البحث في استخدام المؤشرات الطيفية على تقديم حلول استباقية للحد من آثار العجز المائي وتحقيق استدامة بيئية واقتصادية في قضاء بيجي.

**الكلمات المفتاحية:** الجفاف الهيدرولوجي ، العجز المائي ، مؤشر الرطوبة الطيفي (NDWI) ، مؤشر (NDVI) ، مستويات الرطوبة التربة MMSI

#### مشكلة الدراسة :

كيف يؤثر العجز المائي على الأنشطة الزراعية والغطاء النباتي وزيادة التصحر في قضاء بيجي ، وما دور تقنيات الجيوماتكس (GIS والاستشعار عن بُعد) في تحليل هذه الظاهرة مكانيًا وزمانيًا وتقديم حلول مستدامة للحد من آثارها البيئية ؟ .

#### فرضية الدراسة :

توجد علاقة طردية بين مؤشرات العجز المائي والتدهور البيئي في قضاء بيجي، حيث يؤثر نقص الموارد المائية بشكل مباشر على الأنشطة الزراعية، وازدياد التصحر، وتغير الغطاء النباتي، ويمكن توظيف تقنيات الجيوماتكس في تحليل هذه العلاقة ووضع استراتيجيات لإدارتها بفعالية.

#### هدف الدراسة :

تهدف هذه الدراسة إلى تحليل العجز المائي في قضاء بيجي باستخدام تقنيات الجيوماتكس، وذلك لتحديد مناطق الشح المائي، وتقييم تأثيره على البيئة، واقتراح حلول مستدامة لإدارة الموارد المائية بطرق فعالة تقلل من تأثيراته السلبية.

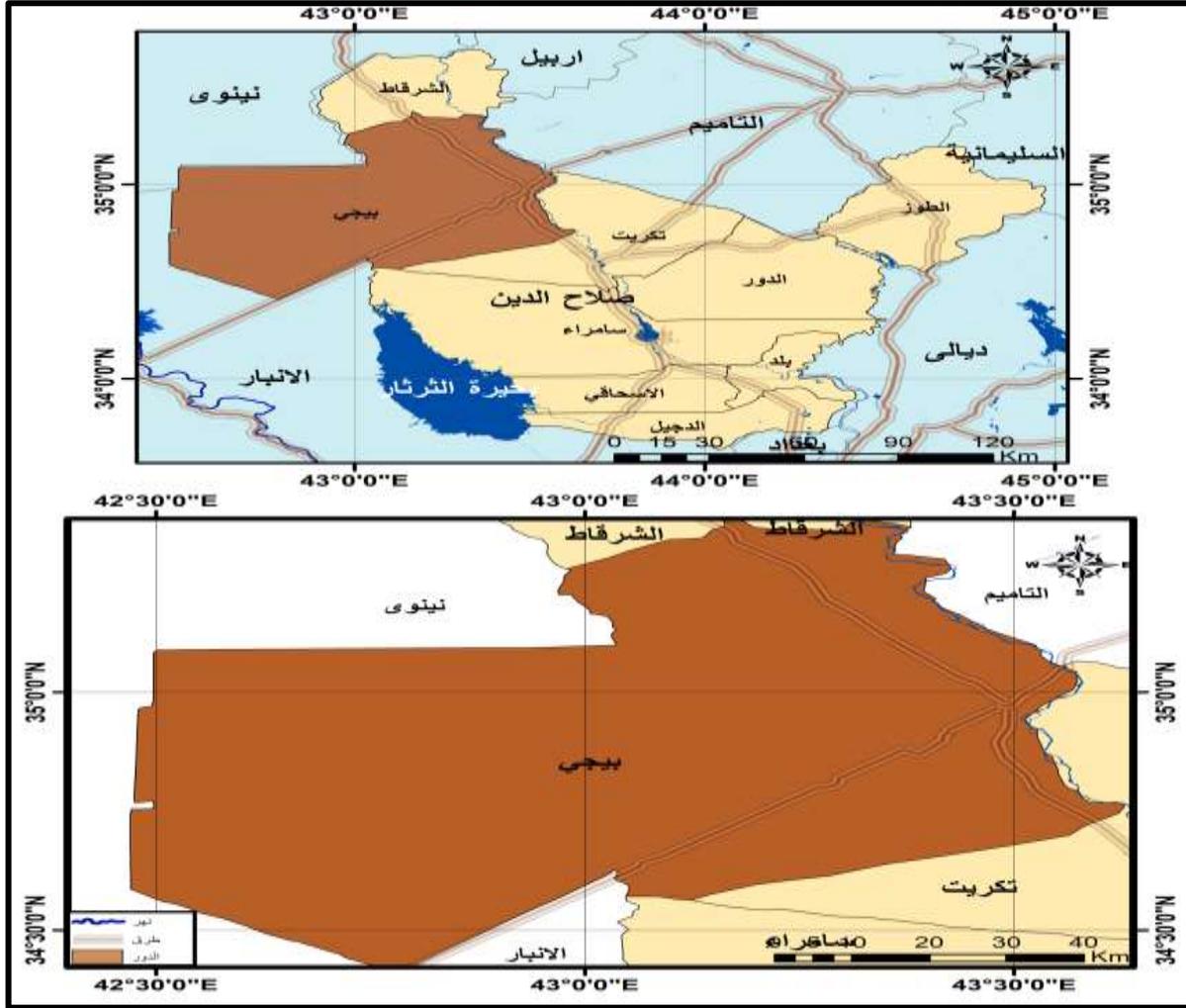
### أهمية الدراسة :

١. تسهم هذه الدراسة في إثراء المعرفة الجغرافية حول العجز المائي وتأثيره على البيئة باستخدام أدوات تحليلية حديثة كـ GIS والاستشعار عن بُعد.
٢. تساعد في فهم العلاقة بين العجز المائي والتغيرات البيئية، مما يساهم في وضع سياسات للحفاظ على التوازن البيئي في المنطقة.
٣. تدعم جهود التخطيط والإدارة المائية من خلال تقديم بيانات دقيقة يمكن استخدامها في رسم استراتيجيات لمواجهة شح المياه وتحقيق التنمية المستدامة في قضاء بيجي.

### موقع منطقة الدراسة :

يقع قضاء بيجي في العراق ضمن محافظة صلاح الدين، وتبلغ مساحته حوالي ٦٦٤٥.٤٦ كم<sup>2</sup>. تحد منطقة الدراسة الحدود الإدارية للقضاء، حيث يحده من الشمال قضاء الشرقاط، ومن الجنوب قضائي تكريت وسامراء، ومن الغرب محافظة نينوى، ومن الشرق محافظة التأميم، كما يظهر في الخريطة (١). يمتد الموقع الجغرافي لقضاء بيجي بين دائرتي عرض ٣٤° ٢٥' ٤١.٥٦١" N و ٣٥° ٢٢' ١٥.٠٩٤" N، وخطي طول ٤٢° ٢٩' ١٢.٦٩٧" E و ٤٣° ٣٨' ١٢.٩٠٨" E. أما امتداد منطقة الدراسة من الشرق إلى الغرب فيبلغ حوالي ١٠٠ كم، ومن الجنوب إلى الشمال حوالي ١١٠ كم، بينما يبلغ محيط المنطقة حوالي ٣٩٩.٧٣ كم.

خريطة (١) موقع منطقة الدراسة



المصدر : من عمل الباحثين بالاعتماد على خريطة العراق الإدارية ١/١٠٠٠٠٠٠٠ وبالاعتماد على المرئية الفضائية لأنموذج الارتفاعات ( DEM ) بدقة ( 30 ) , للقرم الصناعي Aster , وباستخدام برنامج Arc Map 10.8.

المبحث الاول - الخصائص الطبيعية لمنطقة الدراسة :

١-١- الجيولوجيا : إن للتكوينات الجيولوجية أهمية كبيرة في الدراسات الهيدرولوجية من خلال معرفة نوعية التكوينات وعلاقتها بالمحتوى الرطوبي في منطقة الدراسة. تحتوي المنطقة على مجموعة من المكاشف الصخرية التي يعود أغلب تكوينها إلى الزمنين الثالث والرابعي. (وزارة الصناعة والمعادن العراقية) وأهم هذه التكوينات في منطقة الدراسة من حيث مساحة الانتشار هي الرواسب الريفية، التي تشغل نسبة ٣٨.١٪ من مساحة المنطقة، بمساحة تقدر بـ ٢٥٣٣.٣٠ كم<sup>2</sup>، وتسود في معظم أجزاء المنطقة الوسطى والغربية، كما هو موضح في الخريطة (٢). تأتي بعدها تكوينات الفتحة التي تشغل نسبة ١٧.٧٪، تليها الانسيقات الرملية التي تمثل ١٣.٢٪ من مساحة الدراسة. أما أقل التكوينات انكشافاً، فكان من نصيب تكوين المقدادية بنسبة ٠.١٪، وتكوين الفرات بنسبة ٠.٢٪ من المساحة الكلية

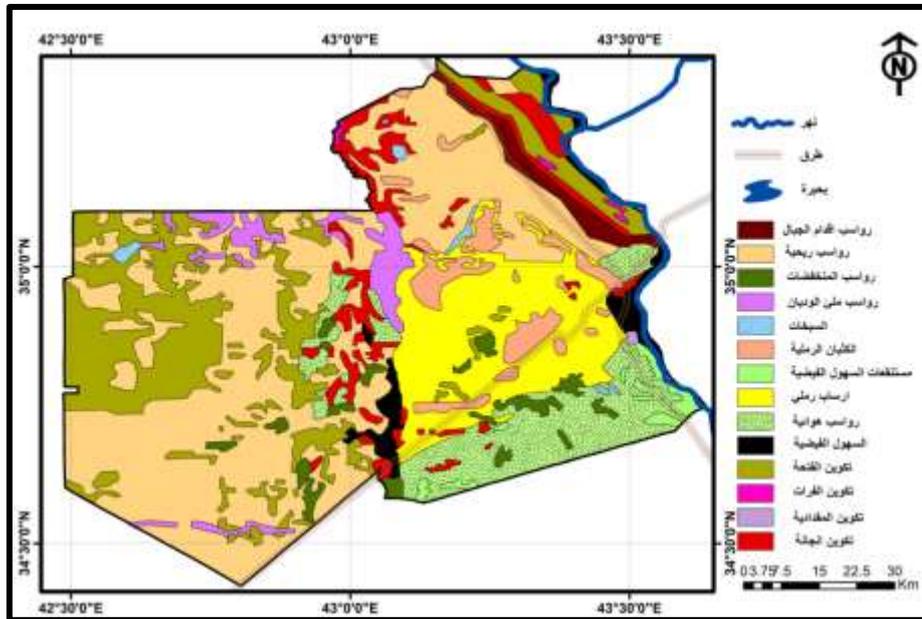
للمنطقة، وذلك الحال بالنسبة لنوعية التكوينات الاخرى كما هو موضحة في الجدول ( ١ ) والخريطة المذكورة اعلاه .

جدول ( ١ ) انواع التكوينات الجيولوجية ومساحتها ونسبها في منطقة الدراسة

اسم التكوين	مساحته	نسبته	موقعه في منطقة الدراسة
Sand Dunes	877.96	13.2	الاجزاء الشرقية الجنوبية
Mountain Foot Deposits	118.37	1.8	الشمالية الغربية
Sand Dunes	262.41	3.9	الاجزاء الوسطى الشمالية
Euphrates Formation	13.54	0.2	اقصى شمال الشرقي
Floodplain Deposits	160.35	2.4	شمال شرق والوسط الجنوبي
Likely related deposits	653.69	9.8	الاجزاء الجنوبية والوسطى
Floodplain Marshes	82.64	1.2	اقصى الجنوب الشرقي
Sabkhas	32.54	0.5	الاجزاء الشمالية الغربية
Valley Filling Deposits	209.00	3.1	الشمال الغربي والجنوب
Aeolian Deposits	2533.50	38.1	اغلب الاجزاء الوسطى والغربية
injana formation	367.05	5.5	يمتد في الوسط الى الشمال
Depression Filling Deposits	154.57	2.3	الاجزاء الجنوبية
fatha Formation	1174.73	17.7	الاجزاء الغربية
Al-Muqaddadiya Formation	5.10	0.1	اقصى الغرب
المجموع	6645.46	100	*

المصدر: من عمل الباحثين بالاعتماد على الخريطة رقم (٢) .

خريطة (٢) التكوينات الجيولوجية في منطقة الدراسة



المصدر : من عمل الباحثين بالاعتماد على الخريطة الجيولوجية ذات المقياس 1/250000 وباستخدام برنامج Arc Map 10.8.

١-٢- الانحدار : يتباين انحدار منطقة الدراسة ما بين ٠ و ٣٢.٢ درجة، موزعاً على خمس فئات انحدارية.

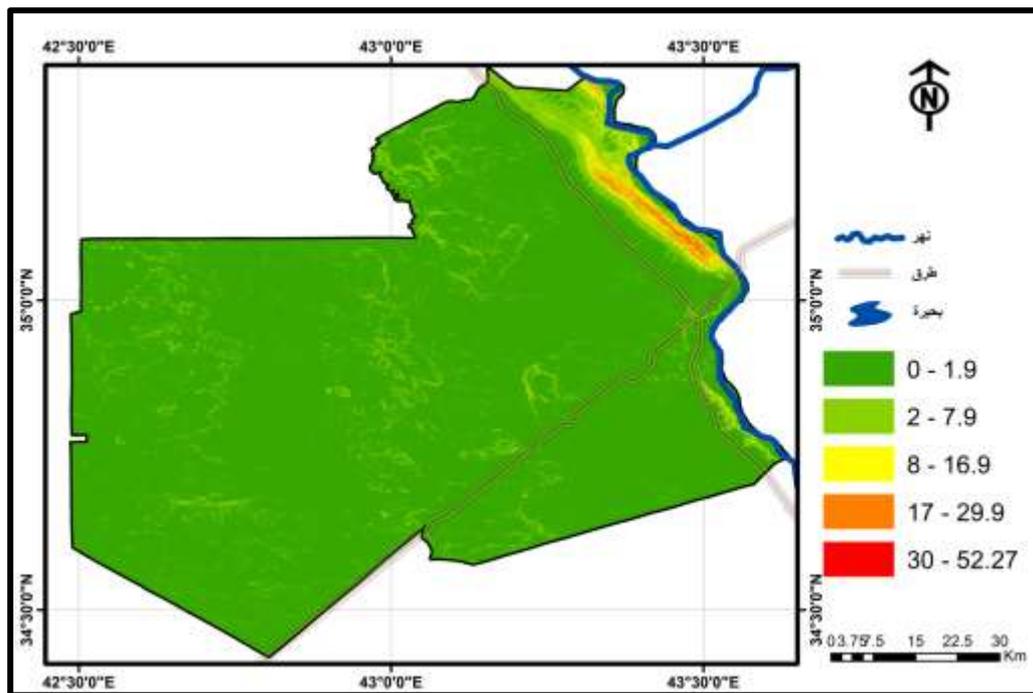
- ١-٢-١- الفئة الأولى: تتراوح درجة انحدارها بين ٠ و ١.٩ درجة، وتشغل أغلب أجزاء منطقة الدراسة بنسبة ٩١.٨%، بمساحة تبلغ ٦٠٩٩.٨٨ كم<sup>٢</sup>.
- ١-٢-٢- الفئة الثانية: تمثل الأجزاء الشمالية الشرقية من المنطقة، وتتراوح درجة انحدارها بين ٢ و ٧.٩ درجة، وتشغل نسبة ٦.٧% من المساحة الكلية، بما يعادل ٤٤٢.٩٧ كم<sup>٢</sup>، كما في الجدول (٢).
- ١-٢-٣- الفئة الثالثة: تشمل المناطق التي يتراوح انحدارها بين ٧.٩ و ١٦.٩ درجة، وتشغل مساحة قدرها ٦٩.٨٨ كم<sup>٢</sup>، أي بنسبة ١.١%، وتوجد في مناطق متفرقة من منطقة الدراسة.
- ١-٢-٤- الفئة الرابعة: تتراوح درجة انحدارها بين ١٧ و ٢٩.٩ درجة، وتشغل نسبة ٠.٤% من المنطقة، بمساحة قدرها ٢٩.٢٤ كم<sup>٢</sup>، وتتركز في الأجزاء الشمالية الشرقية والجنوبية، كما في الخريطة (٣).
- ١-٢-٥- الفئة الخامسة (الأكثر انحداراً): تتراوح درجة انحدارها بين ٢٩.٩ و ٣٢.٢ درجة، وتشغل نسبة صغيرة جداً تقدر بـ ٠.١% من المنطقة، بمساحة تبلغ ٣.٤٩ كم<sup>٢</sup>، وتوجد في أقصى الأجزاء الشمالية الشرقية.

جدول ( ٢ ) الفئات الانحدارية ومساحاتها ونسبها في منطقة الدراسة

الفئة	درجات	مساحة	نسبة %
الأولى	0-1.9	6099.88	91.8
الثانية	1.9 - 7.9	442.97	6.7
الثالثة	7.9 - 16.9	69.88	1.1
الرابعة	16.9-29.9	29.24	0.4
الخامسة	29.9 - 32.2	3.49	0.1
المجموع		6645.46	100

المصدر: من عمل الباحثين بالاعتماد على الخريطة رقم (٢) .

خريطة (٣) نطاقات الارتفاع المتساوية في منطقة الدراسة



المصدر: من عمل الباحثين بالاعتماد على المرئية الفضائية لإنموذج الارتفاعات (DEM) بدقة (30), للقمر الصناعي Aster , وباستخدام برنامج Arc Map 10.8.

١-٣- الخصائص المناخية : للخصائص المناخية أهمية كبيرة في الدراسات الطبيعية والهيدرولوجية، لأنها تعكس مقدار الفائض والعجز المائي للمحتوى الرطوبي للتربة. ومن خلال تحليل الجدول (٢)، تبين أن معدل درجات الحرارة بلغ أعلى قيمة له في شهري تموز وآب، بواقع (٣٥.٤/٣٤.١) م°، في حين سجل أدنى معدل لها في شهر كانون الثاني بواقع ٩.٣ م°.

أما معدل الأمطار في المنطقة، فقد بلغت أعلى كميات مستلمة خلال أشهر كانون الأول، كانون الثاني، شباط، آذار، ونيسان، حيث تراوحت القيم الشهرية الإجمالية بين ٣٥.٥ و ٢٠.١ ملم. في المقابل، انعدمت الأمطار في أشهر حزيران، تموز، آب، وأيلول.

بالنسبة للرياح، فقد سجلت أعلى سرعة لها خلال أشهر الصيف (حزيران، تموز، آب)، حيث تراوحت سرعتها بين ٥.٦ و ٦.٢ م/ثا بسبب جفاف الهواء، مما أدى إلى زيادة نشاط التبخر المائي. في حين سجلت أدنى سرعة للرياح خلال أشهر الشتاء، حيث تراوحت بين ٤.٤ و ٤.٦ م/ثا.

أما التبخر، فقد بلغ أقصاه خلال أشهر أيار، حزيران، تموز، وآب، حيث تراوح بين ٢٨٢ و ٤١٩ ملم نتيجة لانعدام الأمطار وارتفاع درجات الحرارة. بينما سجلت أدنى قيم للتبخر في شهري كانون الأول وكانون الثاني بواقع ٤٩ و ٤٦ ملم على التوالي.

جدول (٢) الخصائص المناخية في منطقة الدراسة ( البيجي ) للمدة من ١٩٩٤-٢٠٢٤

الاشهر	معدل حرارة م°	الامطار ملم	الرياح م/ثا	التبخر / ملم	الرطوبة النسبية %	التبخر / النتح	الميزان المائي
كانون ٢	9.3	29.2	4.4	47	75	6.8	22.4
شباط	11.4	35.3	4.8	76	68	10.8	24.5
اذار	12.3	30.1	4.7	134	60	16.1	14
نيسان	21.2	20.1	5.1	203	50	80	-59.9
مايس	27.5	11.9	5.4	304	37	181	-169.1
حزيران	32.1	0.4	5.6	282	28	279	-278.6
تموز	35.4	0	6.2	419	27	363	-363
اب	34.1	0	5.8	394	28	327	-327
ايلول	33.5	0.6	5.5	288	34	206	-205.4
تشرين ١	31	8.7	5.3	182	46	105.6	-96.9
تشرين ٢	16.5	26.2	5.4	83	64	31	-4.8
كانون ١	11.3	35.5	4.6	49	76	10.5	25

المصدر : وزارة النقل والمواصلات , الهيئة العامة لأنواع الجوية والرصد الزلزالي , قسم المناخ , بيانات غير منشورة , للمدة من ١٩٩٤-٢٠٢٤ .

اما الصفة المناخية لقرينة الجفاف الهيدرولوجي لمنطقة الدراسة فهي بلغت حسب قرينة ثورنثويت (٨/جافة) وكذلك اعتمد على هذه القرينة في حساب التبخر / النتح , وبحسب قرينة يوريسوف (٧٤.٧/قارية جداً) المزيد من ذلك ينظر الى

اشواق عبدالكريم محمد , التحليل الجغرافي لظاهرة التصحر في البيجي , كلية التربية - جامعة تكريت , ٢٠١٣ , ص ٥٩ .  
وبالنسبة للرطوبة النسبية، فقد بلغت أقصى قيمها خلال شهري كانون الأول وكانون الثاني بواقع ٧٥% و٧٦% على التوالي، في حين سجلت أدنى قيمها خلال أشهر حزيران، تموز، وآب، حيث تراوحت بين ٢٧% و٢٨%.

هذا التباين في الخصائص المناخية بين أشهر السنة انعكس بدوره على الميزان المائي والمحتوى الرطوبي للتربة، حيث سجل فائضاً مائياً خلال أشهر كانون الأول، كانون الثاني، شباط، وآذار بسبب زيادة الأمطار، قلة التبخر والنتح، وارتفاع محتوى الرطوبة النسبية مع انخفاض درجات الحرارة. وعلى العكس من ذلك، سجلت الأشهر الصيفية عجزاً مائياً، وبلغ أقصاه -٣٦٣ ملم في شهر تموز.

#### ١-٤- خصائص الترب الهيدرولوجية في منطقة الدراسة :

تم تصنيف ترب منطقة الدراسة وفق تصنيف الفاو، حيث كان الصنف السائد في الأجزاء الوسطى والغربية من منطقة الدراسة هو الصنف Yy10-2ab، الذي شغل نسبة ٥٣.٨% من المنطقة بمساحة بلغت ٣٥٧٣.٥٧ كم<sup>2</sup>. في حين يليه الصنف Yy13-a، الذي يوجد في الأجزاء الجنوبية الشرقية باتجاه الشمال، حيث شغل مساحة ٢٣٤٣.٧٥ كم<sup>2</sup> بنسبة ٣٥.٣% من منطقة الدراسة.

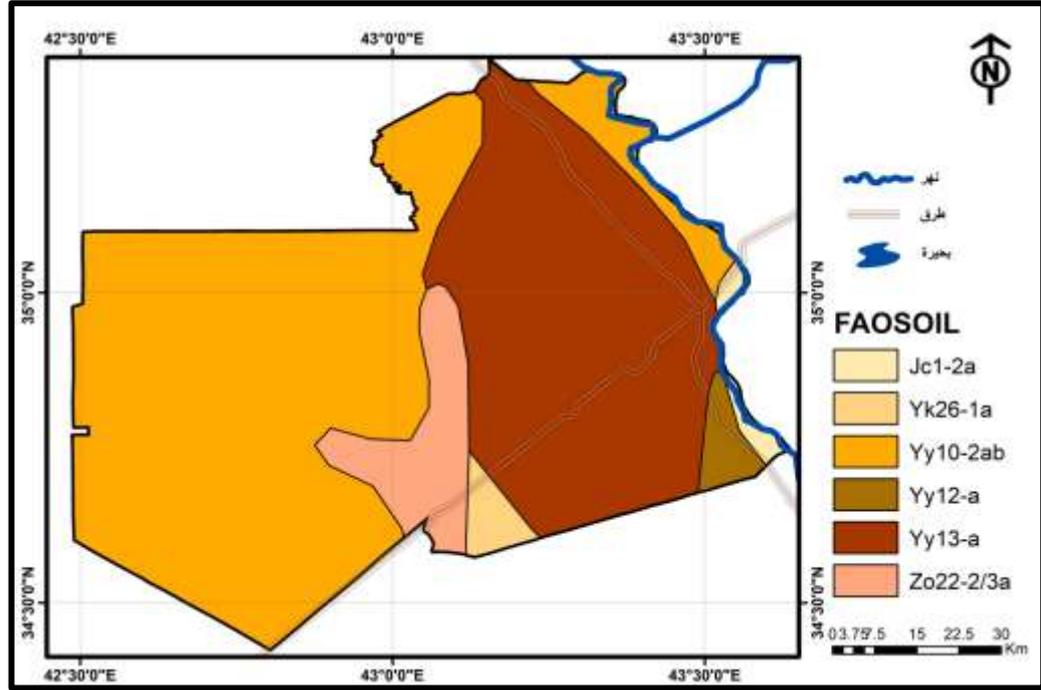
أما الأجزاء الجنوبية الوسطى، فقد ساد فيها النوع Zo22-2/3a بمساحة بلغت ٤٤٦.٩٩ كم<sup>2</sup> ونسبة ٦.٧% . أما تربة الشريط الشرقي الجنوبي من المنطقة، فهي ضمن الصنف Yy12-a بمساحة بلغت ١٠٨.٨٤ كم<sup>2</sup> ونسبة ١.٦% من المنطقة. وفي أقصى جنوب المنطقة، نجد الصنف Yk26-1a، الذي شغل مساحة قليلة بلغت ١٠٢.٩١ كم<sup>2</sup> بنسبة ١.٥% من المنطقة كما في الجدول ( ٣ ) . أما بعض الأجزاء المحاذية للنهر، فهي ضمن الصنف Jc1-2a، حيث يشغل هذا الصنف نسبة ١% من المنطقة بمساحة تبلغ ٦٩.٤٠ كم<sup>2</sup>) كما في الخريطة ( ٦ ) .

جدول ( ٣ ) اصناف الترب الرئيسية في منطقة الدراسة

نوع التربة	النسبة %	مساحة كم <sup>٢</sup>	نوع التربة
التربة الجبسية الملى بالحجارة	35.3	2343.75	Yy13-a
التربة الفيضية الجيرية	1	69.40	Jc1-2a
التربة المالحة النموذجية	6.7	446.99	Zo22-2/3a
الجبس الصخري/الحجري	1.6	108.84	Yy12-a
التربة الكلسية	1.5	102.91	Yk26-1a
التربة الجبسية الصخرية	53.8	3573.57	Yy10-2ab
*	100	6645.46	المجموع

Food and Aglcl ture organization of the united natons , the dlgltal soil map of the world, version 3.6 january 2003.

خريطة (٣) اصناف التربة في منطقة الدراسة



المصدر: من عمل الباحثين بالاعتماد على :

Food and Agriculture organization of the United Nations, the digital soil map of the world, version 3.6 January 2003.

١-٥- خصائص الغطاء الأرضي في منطقة الدراسة : تم إجراء تصنيف ودراسة الغطاء الأرضي في منطقة الدراسة لفترتين زمنيتين (علي مخلف سبع ٢٠١٨)، هما عام ١٩٩٣ وعام ٢٠٢٤، لمعرفة مقدار التغيرات الحاصلة، لكونه يمثل انعكاساً للظروف البيئية والمائية السائدة في منطقة الدراسة عبر الزمن . ومن خلال تحليل الجدول (٣) والخرائط (٤ و ٥)، تبين ما يلي:

جدول (٣) أنواع الغطاءات الأرضية ونسبها ومساحتها ونسبة تغيرها في منطقة الدراسة

نسبة التغير	2024		1993		السنة
	نسبة %	مساحة كم <sup>٢</sup>	نسبة %	مساحة كم <sup>٢</sup>	
٢ كم					نوع الغطاء الأرضي
-45	30	1994.24	75	4984.66	Barren
45	51.3	3408.04	6.3	419.85	Saline
8	13.3	886.83	5.4	355.72	Sand
0.5	2.7	177.43	2.2	144.70	Urban
-8	2.5	166.3	10.9	726.96	Plant
-0.01	0.19	12.63	0.20	13.57	Water
*	100	6645.46	100	6645.46	المجموع

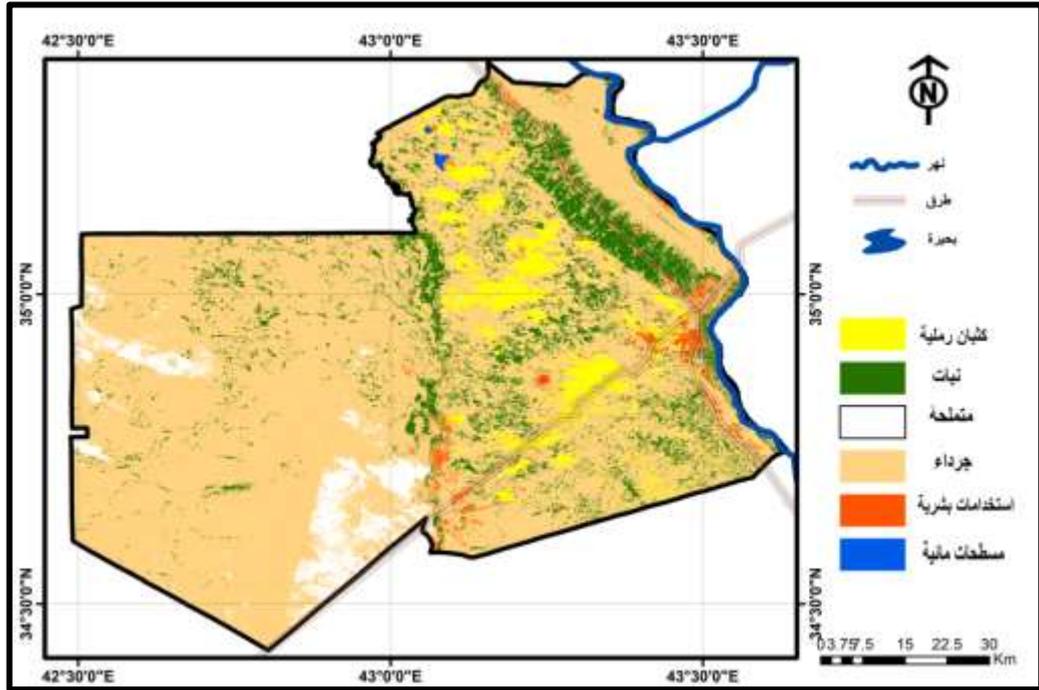
المصدر: من عمل الباحثين بالاعتماد على الخرائط (٤ و ٥) .

١-٥-١- الأراضي الجرداء: شهدت الأراضي الجرداء تقلصاً في نسبتها بنسبة -٤٥%، حيث كانت تمثل ٧٥% من مساحة المنطقة بمساحة ٤٩٨٤.٦٦ كم<sup>٢</sup> في عام ١٩٩٣، وانخفضت إلى ٣٠% بمساحة ١٩٩٤.٢٤ كم<sup>٢</sup> في عام ٢٠٢٤.

١-٥-٢- الأراضي المتملحة: ازدادت نسبة الأراضي المتملحة بمقدار ٤٥% في عام ٢٠٢٤، لتصل مساحتها إلى ٣٤٠٨.٠٤ كم<sup>2</sup> بنسبة ٥١.٣% من مساحة المنطقة، مقارنة بعام ١٩٩٣، حيث كانت مساحة الأراضي المتملحة أقل بمقدار ٤١٩.٨٥ كم<sup>2</sup>، وبنسبة ٦.٣% من مساحة المنطقة.

١-٥-٣- الأراضي الرملية: ارتفعت مساحة الأراضي الرملية بمقدار ٨٨٦.٨٣ كم<sup>2</sup>، بنسبة زيادة بلغت ٨% من إجمالي مساحة المنطقة، مقارنة بنسبة ٥.٤% في عام ١٩٩٣، حيث كانت مساحة الأراضي الرملية حينها تُقدر بـ ٣٥٥.٧٢ كم<sup>2</sup>.

خريطة (٤) تصنيف الغطاءات الارضية في منطقة الدراسة لعام ١٩٩٣



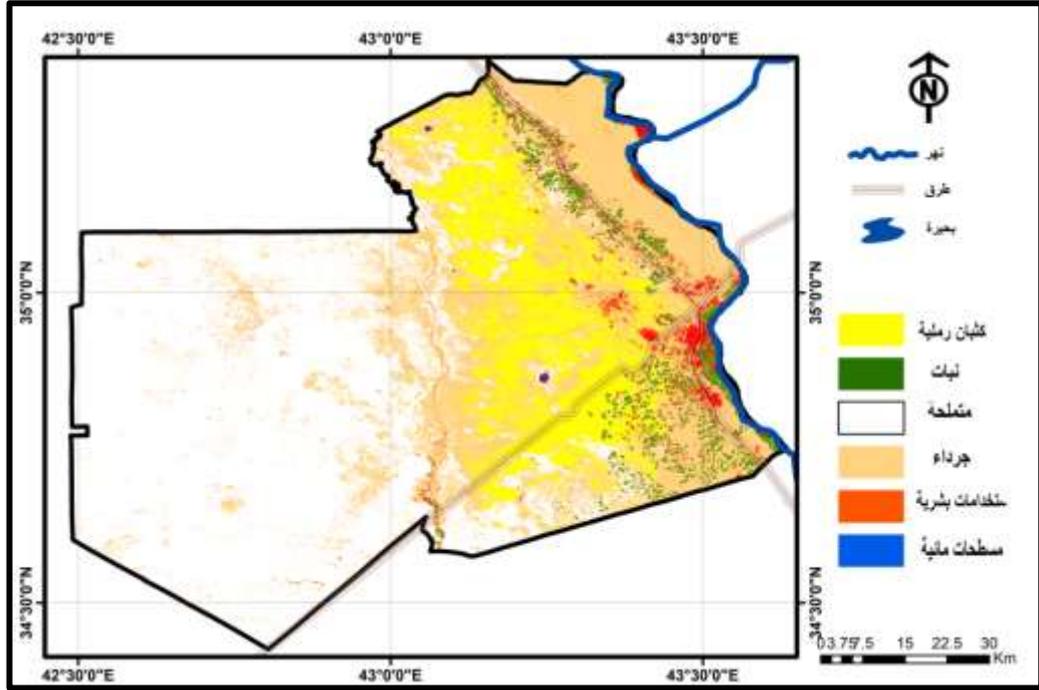
المصدر: من عمل الباحثين بالاعتماد على المرئية الفضائية الاندسات 5 بتاريخ ٢٠ و ٣/٢٧ / ١٩٩٣ وباستخدام برنامج Arc Map 10.8 . ( تم دمج المرئيتين لغرض عمل موزائيك من اجل تغطية منطقة الدراسة ) .

١-٥-٤- المناطق الحضرية: شهدت المناطق الحضرية زيادة طفيفة بنسبة ٠.٥%، حيث كانت تشغل ٢.٢% من مساحة المنطقة في الماضي، وارتفعت إلى ٢.٧% بمساحة بلغت ١٧٧.٤٣ كم<sup>2</sup> في عام ٢٠٢٤.

١-٥-٥- الغطاء النباتي: تقلصت مساحة الغطاء النباتي بشكل ملحوظ في عام ٢٠٢٤، حيث بلغت مساحته ١٦٦.٣ كم<sup>2</sup> بنسبة ٢.٥% من مساحة المنطقة، بعدما كان يشغل نسبة ١٠.٩% بمساحة تُقدر بـ ٧٢٦.٩٦ كم<sup>2</sup> في عام ١٩٩٣.

١-٣-٦- المسطحات المائية: ظلت نسبة المياه شبه ثابتة بالرغم من التغيرات الحاصلة في النظام البيئي والغطاء الأرضي في منطقة الدراسة، حيث تراوحت نسبتها بين ٠.١٩% و ٠.٢٠%.

خريطة (٥) تصنيف الغطاءات الارضية في منطقة الدراسة لعام ٢٠٢٤



المصدر: من عمل الباحثين بالاعتماد على المرئية الفضائية الاندسات 8 بتاريخ ٢٥ / ٣ / ٢٠٢٤ / ٤ / ٢٠٢٤ وباستخدام برنامج Arc Map 10.8 . ( تم دمج المرئيتين لغرض عمل موزائيك من اجل تغطية منطقة الدراسة ) .

المبحث الثاني- تحليل مؤشرات الجفاف الهيدرولوجي والمحتوى الرطوبي للتربة في منطقة الدراسة:  
يُعتبر الجفاف الهيدرولوجي ظاهرة طبيعية تؤثر على الموارد المائية والزراعية. وقد تم استخدام مؤشرات الجفاف الهيدرولوجي لتحليل شدة عجز المياه وانعكاساته على الواقع البيئي. يلعب المحتوى الرطوبي للتربة دوراً مهماً في تقييم تأثير شح المياه على الأراضي الزراعية، حيث يعكس قدرة التربة على الاحتفاظ بالماء وإنتاجية المحاصيل. إن تحليل العلاقة بين مؤشرات العجز المائي والمحتوى الرطوبي يعزز استراتيجيات إدارة المياه واستدامتها لمواجهة تحديات التغير المناخي. ومن أهم هذه المؤشرات:

٢-١- مؤشر NDVI :

تم تقسيم قيم مؤشر الفرق النباتي الطبيعي (NDVI) في منطقة الدراسة إلى أربع فئات رئيسية (إيهاب علي حسين الجبوري ٢٠٢٣) بناءً على بيانات تعود لعامي ١٩٩٣ و ٢٠٢٤، وذلك لتحديد المناطق التي تعاني من العجز المائي ومدى انعكاس ذلك على بيئة الغطاء النباتي. وفيما يلي تفاصيل هذه الفئات:

الفئة الأولى: تمثل هذه الفئة أعلى درجات العجز المائي، إذ تتراوح قيم مؤشر NDVI بين (-٠.٤٤) و(٠.١٦). بلغت مساحة هذه الفئة في عام ١٩٩٣ حوالي ٢٦٠١.٩٥ كم<sup>2</sup>، ما يعادل ٣٩.٢٪ من إجمالي مساحة منطقة الدراسة. ومع تفاقم أزمة العجز المائي بحلول عام ٢٠٢٤، توسعت مساحة هذه الفئة لتصل إلى ٣٠٦٧.٥٥ كم<sup>2</sup>، بنسبة ٤٦.٢٪. وتتركز هذه الفئة في الأجزاء الوسطى والغربية من منطقة الدراسة.

الفئة الثانية: تتراوح قيم مؤشر NDVI في هذه الفئة بين (-٠.١٦١) و(-٠.٠٦٢)، وهي أقل شدة من الفئة الأولى. في عام ١٩٩٣، شغلت هذه الفئة مساحة قدرها ٢٣٤٣.٩٢ كم<sup>2</sup>، بنسبة ٣٥.٣٪ من إجمالي المنطقة. أما في عام ٢٠٢٤، فقد انخفضت مساحتها إلى ١٨٥٥.٥٥ كم<sup>2</sup>، بنسبة ٢٧.٩٪. تنتشر هذه الفئة في المناطق الوسطى، متجهة نحو الشمال والغرب من منطقة الدراسة.

الفئة الثالثة: تتميز هذه الفئة بانخفاض نسبي في العجز المائي وارتفاع نسبة الغطاء النباتي مقارنةً بالفئتين السابقتين. تتراوح قيم مؤشر NDVI لهذه الفئة بين (-٠.٠٦٢١) و(-٠.٠١٥). في عام ١٩٩٣، شغلت مساحة قدرها ١٤٤٤.٩٧ كم<sup>2</sup>، بنسبة ٢١.٧٪ من إجمالي المنطقة. ومع ذلك، انخفضت مساحة هذه الفئة في عام ٢٠٢٤ إلى ١٢١٣.٥٣ كم<sup>2</sup>، بنسبة ١٨.٣٪ كما في الجدول (٤). تنتشر هذه الفئة بشكل رئيسي في الأجزاء الشمالية والجنوبية الشرقية، ممتدة باتجاه المناطق الوسطى.

جدول (٤) مساحات ونسب الغطاءات النباتية ومناطق العجز المائي حسب مؤشر NDVI لمنطقة الدراسة

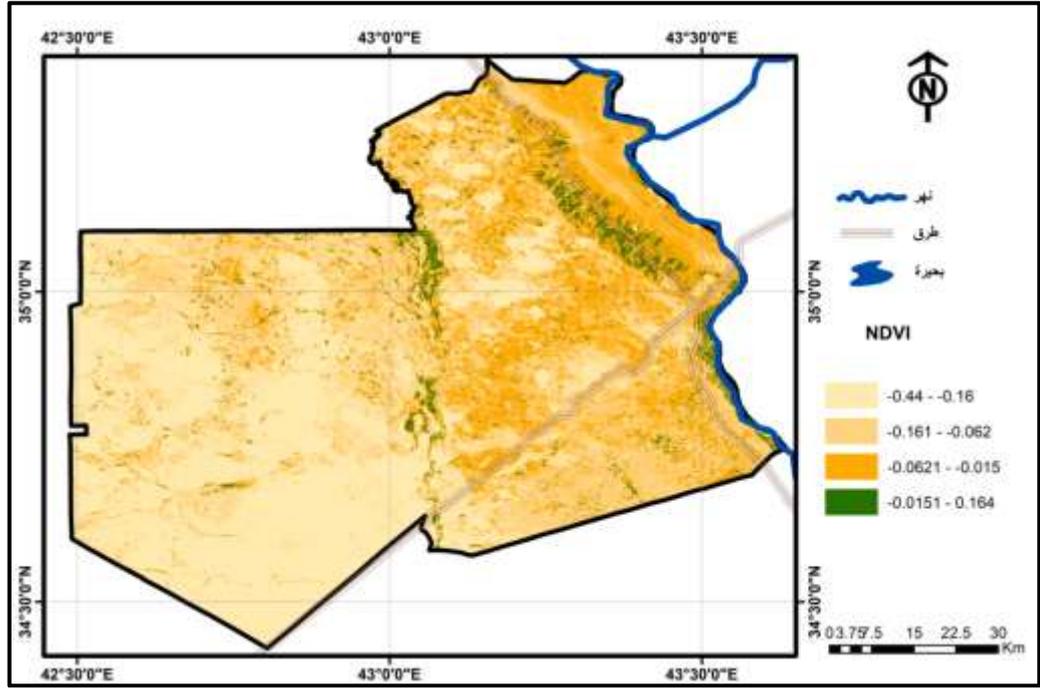
نسبة التغير %	2024		1993		السنة / الفئة
	النسبة %	المساحة	النسبة %	المساحة	
7	46.2	3067.55	39.2	2601.95	-0.44- -0.16
-7.3	27.9	1855.55	35.3	2343.92	-0.161- -0.062
-3.5	18.3	1213.53	21.7	1444.97	-0.0621- -0.015
3.8	7.7	508.83	3.8	254.62	-0.0151- -0.164
*	100	6645.46	100	6645.46	المجموع

المصدر: من عمل الباحثين بالاعتماد على الخرائط (٦ و ٧).

الفئة الرابعة: تمثل هذه الفئة المناطق ذات الغطاء النباتي الكثيف والمناطق الرطبة، حيث تتراوح قيم مؤشر NDVI بين (-٠.٠١٥١) و(٠.١٦٤). في عام ١٩٩٣، كانت مساحة هذه الفئة محدودة، حيث بلغت ٢٥٤.٦٢ كم<sup>2</sup>، بنسبة ٣.٨٪. ومع تحسن ظروف الغطاء النباتي بحلول عام ٢٠٢٤، ارتفعت مساحتها إلى ٥٠٨.٨٣ كم<sup>2</sup>، بنسبة ٧.٧٪. تتركز هذه الفئة في المناطق الشرقية القريبة من النهر، بالإضافة إلى بعض البقع المتفرقة في الوسط. ومع ذلك، لا تزال مساحة هذه الفئة صغيرة نسبيًا مقارنةً بالمساحة الكلية لمنطقة الدراسة كما في الخرائط (٦ / ٧).

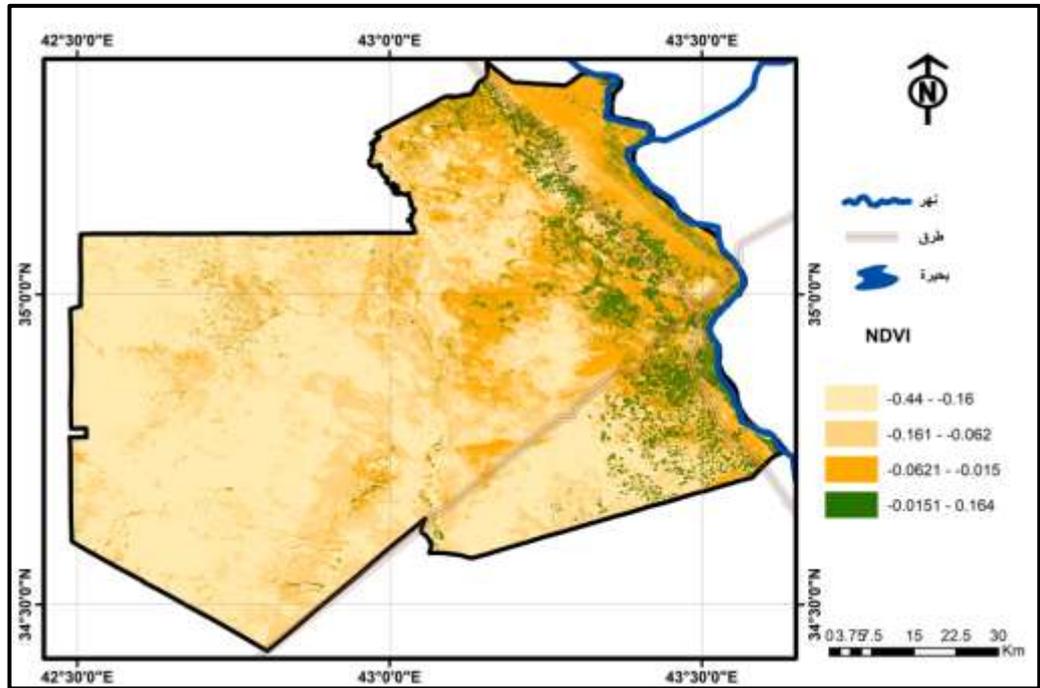
تشير النتائج السابقة لهذا المؤشر إلى تغيرات ملحوظة في توزيع العجز المائي والغطاء النباتي في منطقة الدراسة بين عامي ١٩٩٣ و ٢٠٢٤، مع تقادم العجز المائي في الفئات الأكثر ضعفًا وزيادة طفيفة في مساحة الفئات ذات الغطاء النباتي الكثيف.

خريطة (٦) تصنيف العجز المائي بحسب مؤشر الغطاءات النباتي NDVI في منطقة الدراسة لعام ١٩٩٣



المصدر: من عمل الباحثين بالاعتماد على المرئية الفضائية الاندسات 5 بتاريخ ٢٠ و ٣/٢٧ / ١٩٩٣ وباستخدام برنامج Arc Map 10.8 . ( تم دمج المرئيتين لغرض عمل موزائيك من اجل تغطية منطقة الدراسة ) .

خريطة (٧) تصنيف العجز المائي بحسب مؤشر الغطاءات النباتي NDVI في منطقة الدراسة لعام ٢٠٢٤



المصدر: من عمل الباحثين بالاعتماد على المرئية الفضائية الاندسات 8 بتاريخ ٢٥ / ٣ و ٤/١ / ٢٠٢٤ وباستخدام برنامج Arc Map 10.8 . ( تم دمج المرئيتين لغرض عمل موزائيك من اجل تغطية منطقة الدراسة ) .

٢-٢- مؤشّر BSCI علاقته بالعجز المائي :

يُعدّ مؤشّر خواص التربة (BSCI) أداةً علمية مهمة لتحليل التفاعلات بين التربة والظروف البيئية المختلفة، حيث يُستخدم لقياس خصائص التربة المرتبطة بسلوكها المائي وتأثيرها في التوازن الهيدرولوجي. ويرتبط هذا المؤشّر بشكلٍ وثيق بمفهوم العجز المائي الذي يُشير إلى الفجوة بين الطلب على المياه والتوافر الفعلي لها في النظام البيئي.

تشير الدراسات الحديثة إلى أن العلاقة بين مؤشّر BSCI والعجز المائي ليست مجرد علاقة سطحية، بل تعكس التفاعل المعقد بين المكونات الفيزيائية والكيميائية للتربة. على سبيل المثال، كلما انخفض مؤشّر BSCI في التربة، زادت احتمالية حدوث عجز مائي نتيجة لانخفاض قدرة التربة على تخزين المياه. وفي المقابل، يرتبط ارتفاع المؤشّر بتحسين قدرة التربة على الاحتفاظ بالماء وتقليل الفاقد نتيجة للتبخر أو الجريان السطحي. إن تحليل العلاقات بين مؤشّر خواص التربة BSCI والعجز المائي والمحتوى الرطوبي يُعتبر أداةً أساسية في تخطيط إدارة الموارد المائية، حيث يُمكن أن يدعم القرارات المتعلقة بتحسين كفاءة استخدام المياه في الأنظمة الزراعية والحد من آثار الجفاف. وهي كالآتي :

الفئة الأولى (-٠.٠٤ إلى -٠.١٩٥): في عام ١٩٩٣، بلغت مساحة هذه الفئة ٣١١٢.٧١ كم<sup>2</sup>، ما يعادل ٤٦.٨٪ من إجمالي مساحة المنطقة، مما يجعلها الفئة الأكثر تضرراً. إلا أن مساحتها شهدت انخفاضاً ملحوظاً بحلول عام ٢٠٢٤ لتصل إلى ١٦٥٠.٠٤ كم<sup>2</sup> كما في الجدول (٥) ، أي بنسبة ٢٤.٨٪ من مساحة المنطقة، مسجلةً بذلك تغيراً نسبته -٢٢٪. تمثل هذه الفئة غالبية الأجزاء الوسطى والغربية من منطقة الدراسة ، كما في الخريطة (٨) .

الفئة الثانية (-٠.١٩٥١ إلى -٠.١٥٩): تأتي هذه الفئة في المرتبة الثانية من حيث شدة الضرر. بلغت مساحتها في عام ١٩٩٣ نحو ٢٧٣٢.٩٥ كم<sup>2</sup>، أي ما يعادل ٤١٪ من مساحة المنطقة. ومع مرور الزمن، ازدادت مساحة هذه الفئة بنسبة ٧.٥٪ من إجمالي مساحة المنطقة، لتصل في عام ٢٠٢٤ إلى ٣٢٢٨.٧ كم<sup>2</sup>، ما يعادل ٤٨.٦٪. تتداخل هذه الفئة مع أراضي الفئة الأولى في الأجزاء الوسطى والشمالية والجنوبية الغربية .

الفئة الثالثة (-٠.١٥٩١ إلى -٠.٠٣٨): تُعدّ هذه الفئة الأقل ضرراً من حيث محتوى التربة. بلغت مساحتها في عام ١٩٩٣ نحو ٧٠١.٥٤ كم<sup>2</sup>، أي ما يعادل ١٠.٦٪ من مساحة المنطقة. بحلول عام ٢٠٢٤، ازدادت مساحة هذه الفئة بنسبة ١٢.٦٪ من مساحة المنطقة، لتصل إلى ١٥٣٩.٣٨ كم<sup>2</sup>، ما يعادل ٢٣.٢٪ من إجمالي المساحة. تتركز هذه الأراضي بشكل أساسي في الأجزاء الشمالية الشرقية وتمتد باتجاه وسط المنطقة كما في الخريطة (٩) .

الفئة الرابعة (-٠.٠٣٨١ إلى -٠.٠٣٩): تمثل هذه الفئة الأراضي الأكثر خصوبة في منطقة الدراسة. في عام ١٩٩٣، بلغت مساحتها ٩٨.٢٦ كم<sup>2</sup>، أي ما يعادل ١.٥٪ من مساحة المنطقة. شهدت مساحة هذه الفئة زيادة ملحوظة بحلول عام ٢٠٢٤، حيث ارتفعت إلى ٢٢٧.٣٤ كم<sup>2</sup>، ما يعادل ٣.٤٪ من

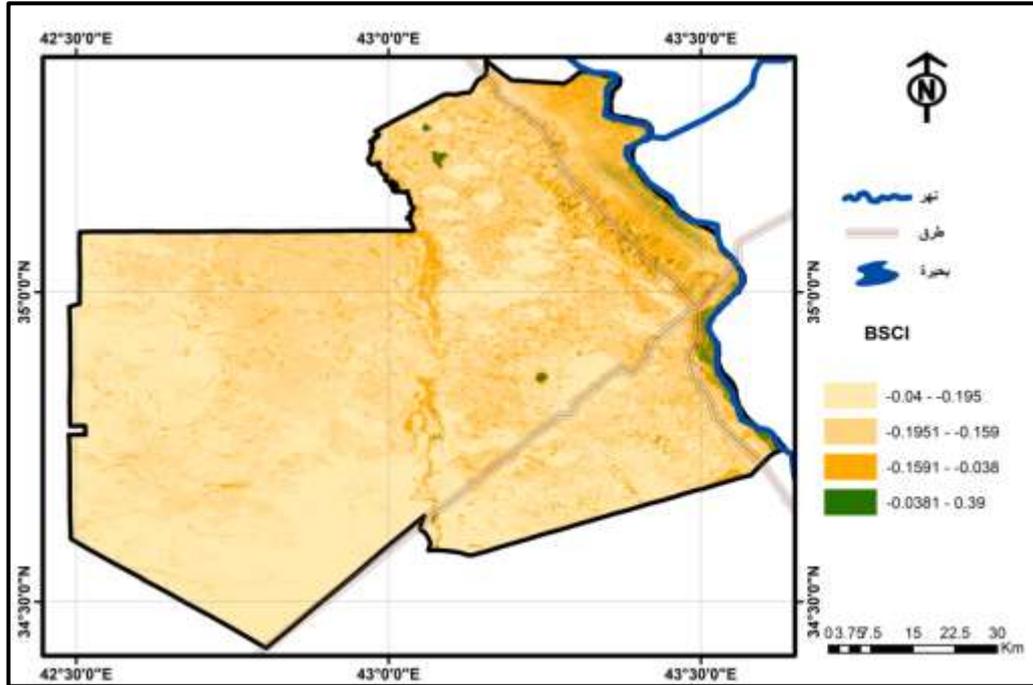
إجمالي مساحة المنطقة. تنتشر هذه الأراضي بشكل رئيسي في المناطق القريبة من ضفاف النهر، وتقل كلما ابتعدنا عن مجرى النهر نتيجة نقص المياه في التربة.

جدول (٥) مساحات ونسب مؤشر BSCI وعلاقته بالعجز المائي لمنطقة الدراسة

نسبة التغير %	2024		1993		السنة / الفئة
	النسبة %	المساحة	النسبة %	المساحة	
-22	24.8	1650.04	46.8	3112.71	-0.04- -0.195
7.5	48.6	3228.7	41.1	2732.95	-0.1951- -0.159
12.6	23.2	1539.38	10.6	701.54	-0.1591- -0.038
1.9	3.4	227.34	1.5	98.26	-0.0381- 0.39
*	100	6645.46	100	6645.46	المجموع

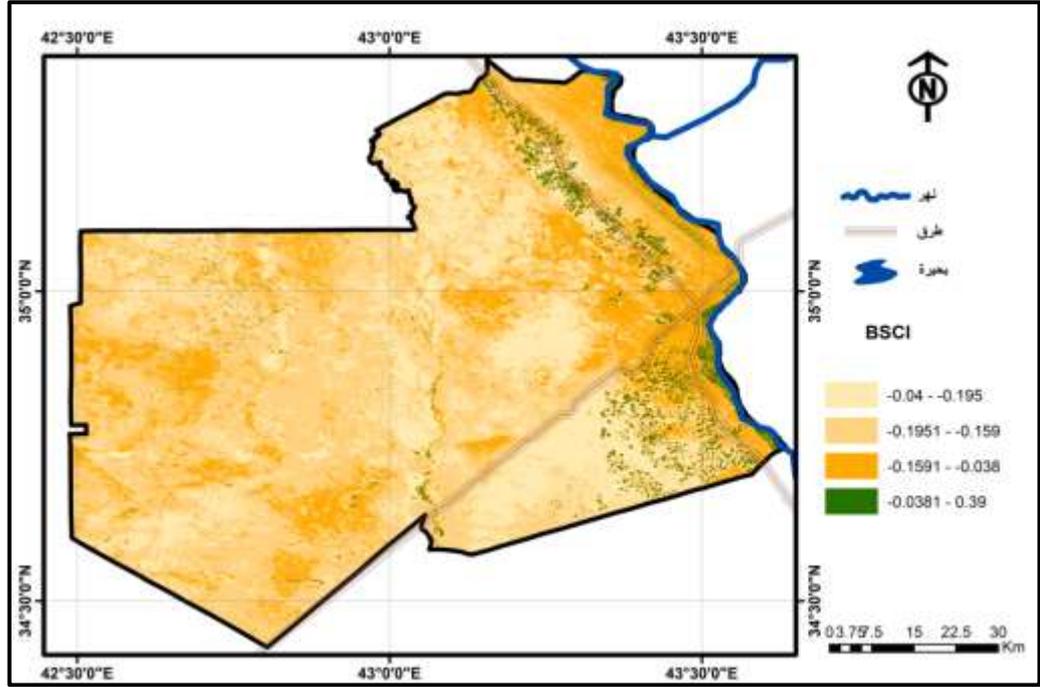
المصدر: من عمل الباحثين بالاعتماد على الخرائط (٨ و ٩)

خريطة (٨) تصنيف مناطق العجز المائي بحسب مؤشر BSCI لمنطقة الدراسة لعام ١٩٩٣



المصدر: من عمل الباحثين بالاعتماد على المرئية الفضائية الاندسات 5 بتاريخ ٢٠ و ٣/٢٧ / ١٩٩٣ وباستخدام برنامج Arc Map 10.8 . ( تم دمج المرئيتين لغرض عمل موزائيك من اجل تغطية منطقة الدراسة ) .

خريطة (٩) تصنيف مناطق العجز المائي بحسب مؤشر BSCI لمنطقة الدراسة لعام ٢٠٢٤



المصدر: من عمل الباحثين بالاعتماد على المرئية الفضائية الاندسات 8 بتاريخ ٢٥ / ٣ / ٢٠٢٤ / ٤ / ١ وباستخدام برنامج Arc Map 10.8 . ( تم دمج المرئيتين لغرض عمل موزائيك من اجل تغطية منطقة الدراسة ) .

### ٢-٣- مؤشر شدة نقص المياه (MMSI) وعلاقته بمستوى الرطوبة الفعالة :

يُعدّ وصفاً دقيقاً لمدى العجز المائي في التربة أو الأنظمة البيئية. يُظهر هذا المؤشر قدرة التربة أو النظام البيئي المحدودة على الاحتفاظ بالرطوبة اللازمة لدعم العمليات الحيوية، خاصةً في ظل التغيرات المناخية المتسارعة. كلما زادت قيمة هذا المؤشر، ارتفعت مخاطر العجز المائي، مما يؤدي إلى تدهور النظام البيئي. سيتم تناول دراسة هذا المؤشر وفق المحاور التالية:

الفئة الأولى - الأكثر تضرراً: بلغ مؤشر الضرر لهذه الفئة بين -٠.٣٣ و-٠.٠٢٥، حيث كانت مساحة المناطق المتضررة ضمن هذه الفئة في عام ١٩٩٣ حوالي ٣٧٣٦.١٥ كم<sup>2</sup>، وهو ما يمثل ٥٦.٢٪ من إجمالي مساحة المنطقة. ومع مرور الوقت، اتسعت نطاقات هذه الفئة وزادت الأراضي الأكثر تضرراً، حيث بلغت مساحتها في عام ٢٠٢٤ حوالي ٤٠٠٧.٢٩ كم<sup>2</sup>، ما يعادل ٦٠.٣٪ من مساحة المنطقة. تُركّز هذه الفئة بشكل رئيسي في المناطق الوسطى، وتمتد نحو الشمال والجنوب الغربي من المنطقة.

الفئة الثانية - شدة الضرر المتوسطة: يتراوح مؤشر الضرر في هذه الفئة بين -٠.٢٥١ و-٠.٠٤٧. بلغت نسبة المناطق المتضررة ضمن هذه الفئة حوالي ٣١.٢٪ من مساحة المنطقة، بمساحة تُقدّر بحوالي ٢٠٧٤.٧١ كم<sup>2</sup> في عام ١٩٩٣. ومع زيادة العجز المائي، ارتفعت مساحة الأراضي المتضررة بنسبة ٣.٧٪ لتصل إلى حوالي ٢٣٢٣.٧٩ كم<sup>2</sup> كما في الجدول (٦) ، وهو ما يعادل ٣٥٪ من مساحة

المنطقة في عام ٢٠٢٤. تتركز هذه الفئة بشكل رئيسي في الجهات الغربية، ممتدة نحو الوسط الشمالي والغربي من منطقة الدراسة.

جدول (٦) مساحات ونسب مؤشر MMSI وعلاقته بالعجز المائي لمنطقة الدراسة

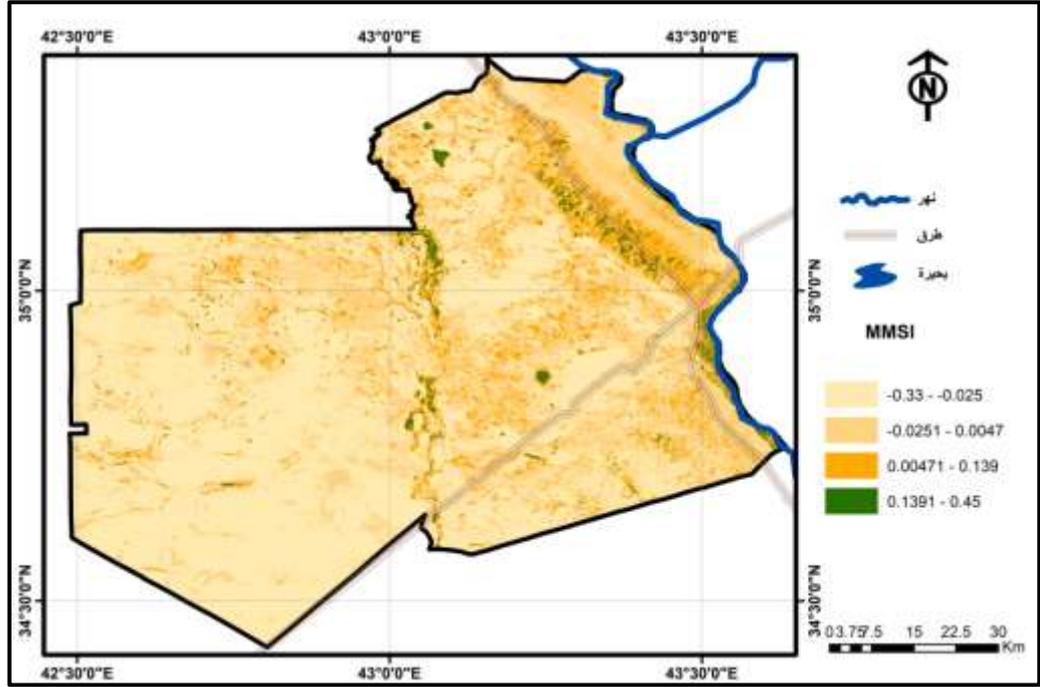
نسبة التغير %	2024		1993		السنة / الفئة
	النسبة %	المساحة	النسبة %	المساحة	
4	60.3	4007.29	56.2	3736.15	-0.33- -0.025
3.7	35.0	2323.79	31.2	2074.71	-0.0251- 0.0047
-7.5	2.8	188.6	10.3	685.16	0.00471- 0.139
-0.4	1.9	125.78	2.2	149.44	0.1391- 0.45
*	100	6645.46	100	6645.46	المجموع

المصدر: من عمل الباحثين بالاعتماد على الخرائط (١٠ و ١١) .

الفئة الثالثة - الأقل ضرراً: تمثل هذه الفئة المناطق الانتقالية بين المناطق الرطبة والجافة، ويبلغ مؤشرها بين ٠.٠٠٤٧١ و ٠.١٣٩. في عام ١٩٩٣، بلغت مساحة هذه الفئة حوالي ٦٨٥.١٦ كم<sup>2</sup>، وهو ما يعادل ١٠.٣٪ من مساحة المنطقة. ومع مرور الوقت، تقلصت مساحة هذه الفئة بنسبة سلبية بلغت - ٧.٥٪، لتصل في عام ٢٠٢٤ إلى ١٨٨.٦ كم<sup>2</sup>، وهو ما يمثل ٢.٨٪ من مساحة المنطقة. تتركز هذه الفئة في الأجزاء الوسطى، ممتدة نحو الشمال الشرقي والجنوب كما في الخريطة (١٠) .

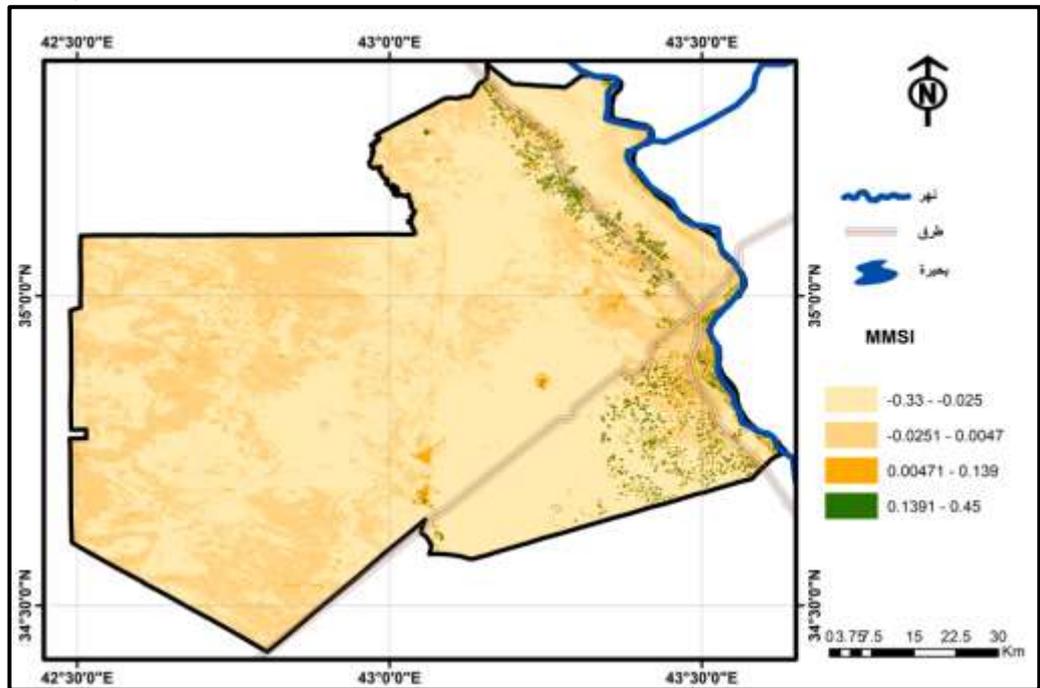
الفئة الرابعة - الأكثر رطوبة وحيوية: تشكل هذه الفئة المناطق الأكثر حيوية ورطوبة، وتمثل نسبة صغيرة من مساحة المنطقة، حيث بلغت ٢.٢٪ في عام ١٩٩٣، بمساحة تُقدّر بحوالي ١٤٩.٤٤ كم<sup>2</sup>. ومع تراجع كمية المياه، تقلصت مساحة هذه الأراضي الرطبة بنسبة -٠.٤٪، لتصل في عام ٢٠٢٤ إلى حوالي ١٢٥.٧٨ كم<sup>2</sup>، وهو ما يعادل ١.٩٪ من مساحة المنطقة. تتركز هذه الفئة بالقرب من ضفاف النهر وفي الأجزاء الجنوبية الشرقية من منطقة الدراسة كما في الخريطة (١١) .

خريطة (١٠) تصنيف المنطقة بحسب مؤشر MMSI وعلاقته بالعجز المائي لعام ١٩٩٣



المصدر: من عمل الباحثين بالاعتماد على المرئية الفضائية الاندسات 5 بتاريخ ٢٠ و ٣/٢٧ / ١٩٩٣ وباستخدام برنامج Arc Map 10.8 . ( تم دمج المرئيتين لغرض عمل موزائيك من اجل تغطية منطقة الدراسة ) .

خريطة (١١) تصنيف المنطقة بحسب مؤشر MMSI وعلاقته بالعجز المائي لعام ٢٠٢٤



المصدر: من عمل الباحثين بالاعتماد على المرئية الفضائية الاندسات 8 بتاريخ ٢٥ / ٣ و ١ / ٤ / ٢٠٢٤ وباستخدام برنامج Arc Map 10.8 . ( تم دمج المرئيتين لغرض عمل موزائيك من اجل تغطية منطقة الدراسة ) .

### المبحث الثالث - اقتراحات التوسع التنموي وتخفيض العجز المائي لتحقيق الاستدامة البيئية في قضاء البيجي :

تناولت هذه الدراسة العلاقة بين تنمية الموارد المائية والتنمية البيئية في منطقة الدراسة، حيث تم تطوير آليات فعالة لتنمية المنطقة من خلال تحليل المؤشرات الطيفية. وقد تم تصنيف المناطق وفقاً لدرجة خطورتها من حيث العجز المائي، وذلك عبر إنتاج أربع مستويات لكل مؤشر بناءً على طبيعته. أظهرت نتائج التحليل أن بعض المؤشرات الطيفية المدروسة تعكس مستويات خطورة مرتفعة، مما يشير إلى وجود عجز مائي كبير، وهو ما يُعقد إمكانية تنفيذ مشاريع تنموية في تلك المناطق نظراً لمتطلباتها المائية العالية على مدى فترات زمنية ممتدة. بناءً على ذلك، تم استبعاد هذه المناطق من الخطط المقترحة.

في المقابل، أوصت الدراسة بالاعتماد على المؤشرين الثالث والرابع، نظراً لانخفاض احتياجاتهما المائية، مما يجعلهما أكثر توافقاً مع متطلبات التنمية البيئية المستدامة. وقد تم تحديد المناطق التي تعاني من عجز مائي أقل وتصنيفها كأولوية للتنمية.

تم تحويل المؤشرات الطيفية إلى طبقات بيانات رقمية ودمجها باستخدام نظم المعلومات الجغرافية (GIS) عبر برنامج Arc Map، مع تطبيق أوزان مرجحة لاختيار الحلول المثلى. وأسفر هذا التحليل عن إنتاج خريطة توضح توزيع المناطق تبعاً لدرجة العجز المائي، حيث تركزت المناطق ذات العجز الشديد في مواقع محددة، بينما تم تحديد المناطق الأقل تأثراً كأولوية للتنمية في قضاء البيجي.

وبالاستناد إلى تطابق الطبقات الجغرافية، تم تطوير نموذج تمثيلي جديد لتصنيف درجات الخطورة، حيث تم تحويل هذا النموذج إلى بيانات متجهيه (Vector Data) على شكل مضلعات، مما أسهم في إنتاج خريطة نهائية تعكس توزيع المخاطر المائية في المنطقة بدقة عالية.

استناداً إلى هذه النتائج، تم اقتراح مجموعة من التوصيات والاستراتيجيات الهادفة إلى تعزيز التنمية المستدامة في المنطقة، مع توسيع نطاقها بما يضمن تحقيق توازن بين تنمية الموارد المائية وحفظ البيئة.

#### ١- المقترح التنموي الاول :

تم تشخيص المواقع المناسبة للتنمية، حيث وقع الاختيار على منطقة تمتد من شمال قضاء البيجي باتجاه الجنوب الشرقي، بمحاذاة النهر وسلسلة جبال حميرين، نظراً لكونها أكثر تأهيلاً للتنمية، إضافة إلى حاجتها إلى كميات مياه أقل مقارنة بالمناطق الأخرى، وهو أمر بالغ الأهمية نظراً لشح الموارد المائية في البلاد. أظهرت الدراسات أن هذه المنطقة تعاني من عجز مائي خلال فترات انقطاع الأمطار، والتي قد تمتد لأكثر من تسعة أشهر سنوياً، مما يجعل عملية التنمية فيها معرضة للمخاطر.

لذا كان من الضروري اعتماد حلول تتطلب أقل جهد مائي ممكن من حيث الكمية والنوعية مقارنة بالمناطق الأخرى. فعلى سبيل المثال، يمكن استخدام متر مكعب واحد من المياه في هذا الموقع لري

١٠٠ متر من الأراضي الزراعية باستخدام أنظمة الري الحديثة، بينما في المناطق ذات المحتوى الرطوبي المنخفض والمستعبدة من المقترحات والمتمثلة في الفئات الخطرة الاولى والثانية، فإن الكمية نفسها من المياه تكفي لري ١٠ أمتار فقط .

وبناءً على هذه المعطيات، ارتأى الباحثون ضرورة اختيار مواقع ملائمة للتنمية الزراعية وفقاً لأقل جهد مائي ممكن. يتمثل المقترح الأول في إنشاء شبكة نقل مياه تتكون من أنبوبين رئيسيين: الأول يمتد بمحاذاة شمال غرب جبال حميرين، ليغطي الأجزاء الجنوبية والشمالية من المنطقة، بينما يتجه الأنبوب الثاني نحو الأجزاء الجنوبية الشرقية لقضاء بيجي بمحاذاة الطريق.

بالإضافة إلى ذلك، سيتم حفر ستة آبار موزعة على المواقع المحددة ، وهي المواقع (P1، P2، P3، P4، P5، P6). بالقرب من هذه الآبار، سيتم إنشاء ١٣ حوضاً مائياً بأبعاد ٣٠ × ٣٠ متراً وعمقه متران، موزعة وفقاً للمواقع المثلى المحددة في الخريطة والإحداثيات المدرجة في الجدول (٧) ، لضمان تغطية المنطقة المرشحة للتنمية.

سيتم سحب المياه من الآبار وتخزينها في الأحواض، مع توصيل أنبوب فرعي من أنبوب مياه النهر إلى هذه الأحواض لضمان خلط المياه وتحسين جودتها قبل استخدامها في الري. سيتم تنفيذ عملية الري باستخدام أنظمة الري الحديثة، مما يسهم في معالجة مشكلة العجز المائي، وتحقيق التنمية المستدامة، وتحسين خصائص المياه الجوفية، مع تقنين استخدام مياه النهر لأغراض الري الزراعي.

جدول (٧) الاحواض التنموية المقترحة في قضاء البيجي

دائرة عرض	خط طول	الحوض	
35° 19' 8.881" N	43° 8' 26.655" E	w1	المنطقة المقترحة الاولى
35° 16' 50.254" N	43° 10' 39.843" E	w2	
35° 13' 33.009" N	43° 13' 10.460" E	w3	
35° 10' 40.349" N	43° 16' 18.211" E	w4	
35° 4' 31.896" N	43° 17' 49.546" E	w5	
35° 0' 22.693" N	43° 21' 16.579" E	w6	
34° 55' 34.835" N	43° 24' 34.214" E	w7	
34° 50' 19.266" N	43° 21' 7.889" E	w8	
34° 48' 33.796" N	43° 29' 26.394" E	w9	
34° 43' 28.943" N	43° 34' 2.135" E	w10	
34° 39' 4.461" N	43° 20' 58.078" E	w11	
35° 19' 23.701" N	43° 15' 28.779" E	w12	
35° 13' 47.606" N	43° 20' 57.236" E	w13	
35° 3' 6.698" N	43° 0' 32.688" E	w14	
34° 59' 33.887" N	43° 5' 45.646" E	w15	
34° 54' 14.671" N	42° 57' 49.951" E	w16	
34° 50' 29.341" N	43° 7' 13.274" E	w17	
34° 44' 32.570" N	42° 55' 0.954" E	w18	
34° 44' 7.534" N	43° 8' 3.347" E	w19	
34° 36' 18.098" N	42° 57' 12.396" E	w20	

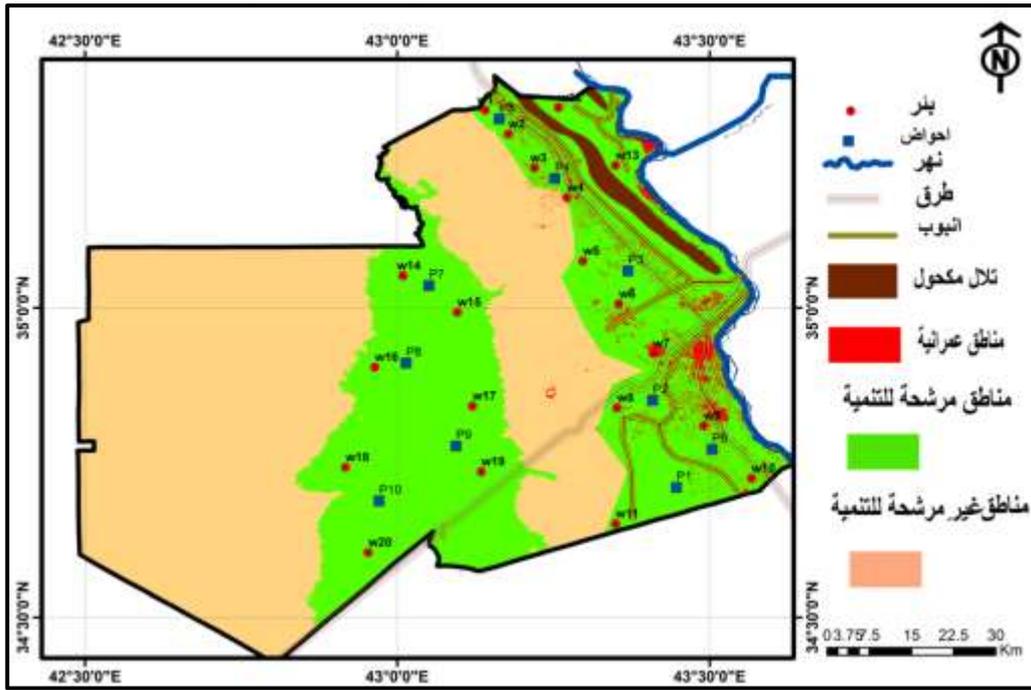
المصدر: من عمل الباحثين بالاعتماد على الخريطة (١٢) .

٢- المقترح التنموي الثاني :

المنطقة الثانية المرشحة للتنمية تقع في وسط قضاء بيجي، وتمتد من جنوب وسط المنطقة باتجاه شمالها على شكل شريط تنموي، كما هو موضح في الخريطة السابقة. تتميز هذه المنطقة بكونها منخفضًا طبيعيًا يتجمع فيه ماء الأمطار خلال موسم الهطول، وذلك نتيجة لجريان المياه من المناطق المجاورة داخل القضاء. ونظرًا لطبوغرافية المنطقة، فإن تمديد الأنابيب المقترحة من النهر إلى هذه المواقع سيكون مكلفًا للغاية من الناحية المالية، مما يجعل تنفيذ هذا المقترح غير مجدٍ. لذلك، اقترح الباحثون استراتيجية بديلة لتنمية هذه المنطقة عبر حفر أربعة آبار، تبدأ من البئر P7 وتنتهي بالبئر P10، وفقًا للمواقع والإحداثيات المذكورة في الجدول (٨) .

بالإضافة إلى ذلك، سيتم إنشاء ستة أحواض تخزينية، تبدأ بالحوض W14 وتنتهي بالحوض W20، بحيث تُبنى على هيئة سدود ترابية ركامية تهدف إلى احتجاز مياه الأمطار داخل المنطقة التنموية في بيجي، استنادًا إلى الإحداثيات المحددة في جدول الأحواض السابق في الخريطة (١٢) .

خريطة (١٢) الخريطة التنموية في قضاء البيجي



المصدر: من عمل الباحثين بالاعتماد على الخرائط السابقة وبالإستعمال برنامج GIS10.8 .

تكمن أهمية هذه الأحواض في قدرتها على حجز المياه لفترة زمنية أطول داخل منطقة التنمية، نظرًا لأن المنطقة تعاني من انحدار طبوغرافي يؤدي إلى تدفق المياه نحو الأفضية المجاورة، مما يسهم في فقدان كميات كبيرة من مياه الأمطار. ومن خلال هذه الأحواض، يمكن الحفاظ على المياه داخل المنطقة، مما يسمح بتغذية الآبار المحفورة بمياه الأمطار، الأمر الذي يحسن من جودة المياه الجوفية.

إضافة على ذلك، فإن هذه الأحواض تتيح إمكانية استخدام المياه المخزنة لفترة أطول بعد انتهاء موسم الأمطار، مما يسهم في تقنين الضخ من الآبار وإدارة الموارد المائية بكفاءة أعلى. وتجدر الإشارة إلى أن إنشاء سدود طولية في هذه المنطقة لن يكون مجدياً نظراً لطبيعة الانحدار والتضاريس الطبوغرافية.

جدول (٨) الاحواض التنموية المقترحة في قضاء البيجي .

دائرة عرض	خط طول	البنر	المنطقة المقترحة الاولى
43° 26' 50.186" E	34° 42' 37.170" N	P1	
43° 24' 32.701" E	34° 51' 4.145" N	P2	
43° 22' 10.920" E	35° 3' 36.015" N	P3	
43° 15' 8.315" E	35° 12' 32.498" N	P4	
43° 9' 47.941" E	35° 18' 19.025" N	P5	
43° 30' 14.709" E	34° 46' 18.152" N	P6	
43° 3' 2.908" E	35° 2' 10.366" N	P7	المنطقة المقترحة الثانية
43° 0' 51.466" E	34° 54' 39.707" N	P8	
43° 5' 39.386" E	34° 46' 37.753" N	P9	
42° 58' 14.987" E	34° 41' 18.537" N	P10	

المصدر: من عمل الباحثين بالاعتماد على الخريطة (١٢) .

وعلاوة على ذلك، فإن تنفيذ المقترحات البحثية التنموية السابقة، استناداً إلى المشكلات المحددة، يمكن أن يسهم في تحقيق تنمية بيئية مستدامة وتقليل البصمة المائية في المواقع المستهدفة. ووفقاً للنتائج، من المتوقع أن يؤدي هذا التنفيذ إلى زيادة المساحات التنموية بنسبة ٣٧.٤٢%، لتصل إلى ٢٤٨٦.٩٠ كم<sup>2</sup>، مما سيرفع إجمالي المساحات التنموية في القضاء إلى ٢٩٩٥.٧٣ كم<sup>2</sup>، أي ما يعادل ٤٥.١٢% من إجمالي مساحة المنطقة، كما هو موضح في الجدول (٩).

ومن الجدير بالذكر أن نسبة الأراضي المصنفة كمناطق تنموية قبل إجراء هذه الدراسة لم تكن تتجاوز ٧.٧%، حيث كانت تقتصر على ٥٠٨.٨٣ كم<sup>2</sup> فقط، مما يعكس الأثر الكبير المتوقع من تطبيق هذه المقترحات.

جدول (٩) نتائج المساحات التنموية في القضاء البيجي الحالية والمقترحة

المساحة الاجمالية التنموية	لتنمية مساحة الارض المرشحة بحسب الجدوى المائية المقترحة	الحالية مساحة الارض المستصلحة بحسب وفرة المياه	التنمية من مقدار المساحة الكلية
2995.73	2486.90	508.83	مساحتها كم <sup>2</sup>
45.12	37.42	7.7	% نسبتها

المصدر: من عمل الباحثين بالاعتماد على النتائج السابقة .

### الاستنتاجات :

١. أظهرت الدراسة زيادة ملحوظة في مساحة الأراضي الرملية، حيث ارتفعت بمقدار ٨٨٦.٨٣ كم<sup>2</sup>، ما يمثل ٨% من إجمالي مساحة المنطقة، مقارنة بنسبة ٥.٤% في عام ١٩٩٣، حينما كانت مساحة الأراضي الرملية تُقدر بـ ٣٥٥.٧٢ كم<sup>2</sup>.
٢. أشارت الدراسة إلى أن نسبة المياه ظلت شبه ثابتة، حيث تراوحت بين ٠.١٩% و ٠.٢٠%. في المقابل، شهد الغطاء النباتي تراجعًا حادًا في عام ٢٠٢٤، حيث تقلصت مساحته إلى ١٦٦.٣ كم<sup>2</sup>، بعدما كان يغطي ٧٢٦.٩٦ كم<sup>2</sup> في عام ١٩٩٣.
٣. وفقًا لمؤشر NDVI، تبين أن الفئة الأكثر خطورة تتراوح بين (-٠.٤٤) و (-٠.١٦). في عام ١٩٩٣، بلغت مساحة هذه الفئة ٢٦٠١.٩٥ كم<sup>2</sup>، أي ٣٩.٢% من إجمالي مساحة المنطقة. ومع تفاقم أزمة العجز المائي بحلول عام ٢٠٢٤، توسعت هذه الفئة لتشمل ٣٠٦٧.٥٥ كم<sup>2</sup>، أي ما يعادل ٤٦.٢% من مساحة المنطقة.
٤. أظهرت الدراسة انخفاض مؤشر BSCI في التربة بين (-٠.٠٤) و (-٠.١٩٥)، حيث بلغت مساحة الفئة المتضررة ٣١١٢.٧١ كم<sup>2</sup> في عام ١٩٩٣، ما يمثل ٤٦.٨% من إجمالي مساحة المنطقة، مما يجعلها الأكثر تضررًا وتعاني من عجز مائي حاد.
٥. بحسب مؤشر MMSI لشدة نقص المياه، كانت المناطق الأكثر تضررًا تتراوح بين -٠.٣٣ و -٠.٢٥، وبلغت مساحتها ٣٧٣٦.١٥ كم<sup>2</sup> في عام ١٩٩٣، أي ٥٦.٢% من إجمالي مساحة المنطقة. ومع مرور الوقت، توسعت هذه المناطق المتضررة لتصل مساحتها إلى ٤٠٠٧.٢٩ كم<sup>2</sup> في عام ٢٠٢٤، ما يعادل ٦٠.٣% من إجمالي مساحة المنطقة.
٦. توصلت الدراسة إلى أن تنفيذ مقترحات البحث من شأنه أن يرفع المساحات التنموية بنسبة ٣٧.٤٢%، لتصل إلى ٢٤٨٦.٩٠ كم<sup>2</sup>، مما سيزيد إجمالي المساحات التنموية في القضاء إلى ٢٩٩٥.٧٣ كم<sup>2</sup>، أي ٤٥.١٢% من إجمالي مساحة المنطقة، مقارنةً بالوضع الحالي حيث لا تتجاوز المساحات التنموية ٧.٧%، أي ٥٠٨.٨٣ كم<sup>2</sup> فقط.

### التوصيات :

١. يوصى بتنفيذ مقترح مد الأنبوب من النهر إلى المنطقة المستهدفة، مع إنشاء الأحواض المائية وحفر الآبار لتعزيز استدامة الموارد المائية. كما يجب تكثيف جهود مكافحة التصحر من خلال تحسين إدارة الأراضي، وتعزيز التشجير، واستخدام الغطاء النباتي المقاوم للجفاف، وذلك للحد من توسع الأراضي الرملية وضمان الاستدامة البيئية.
٢. ينبغي تطوير استراتيجيات متكاملة للحفاظ على الموارد المائية المتاحة، بما في ذلك اعتماد تقنيات الري الحديث، وتعزيز إعادة استخدام المياه، وتحسين كفاءة استهلاكها بما يتناسب مع متطلبات التنمية المستدامة.

٣. من الضروري تنفيذ مشاريع استصلاح الأراضي المتدهورة، وزيادة المساحات الخضراء عبر برامج تشجير واسعة النطاق، مع توفير الدعم الفني والمالي اللازم لضمان نجاح هذه المبادرات واستدامتها.
٤. يوصى بوضع سياسات فعالة لمعالجة تدهور التربة وتحسين خصوبتها، من خلال استخدام الأسمدة العضوية، وتطبيق تقنيات الاستصلاح الملائمة، وتعزيز الممارسات الزراعية المستدامة التي تحافظ على التربة وتحدّ من تآكلها.
٥. يجب تطوير آليات دقيقة لرصد التغيرات في مؤشر BSCI (مؤشر استدامة التربة)، ووضع خطط استباقية تهدف إلى الحد من تأثير العجز المائي على التربة، وذلك من خلال تحليل البيانات المناخية والهيدرولوجية بشكل مستمر.
٦. يوصى بتعزيز الاستثمارات في مشاريع البنية التحتية للمياه، مثل محطات تحلية المياه، وتطوير أنظمة الري الذكية، وتحسين التخطيط المائي عبر تبني تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية (GIS)، مما يساهم في إدارة الموارد المائية بكفاءة أعلى.
٧. ينبغي دعم المبادرات المجتمعية والاستثمارات الخضراء التي تحفز التنمية المحلية المستدامة، مع تعزيز البحث العلمي والتخطيط المستقبلي من خلال دراسات بيئية ومناخية دورية، لمتابعة التغيرات التي تطرأ على الأراضي والموارد الطبيعية، وضمان الاستجابة الفعالة لها.

## References

1. Iraqi Ministry of Industry and Minerals Administrative and Geological Map of Iraq
2. Satellite imagery of the Digital Elevation Model DEM with 30 meter resolution from the Aster satellite
3. Ministry of Transport and Communications General Authority for Meteorology and Seismology Climate Department Unpublished data for the period 1994–2024
4. Ashwaq Abdulkarim Mohammed The Geographic Analysis of Desertification in Baiji College of Education University of Tikrit 2013
5. Ali Mukhleef Saba Monitoring the changes between land cover and land use in Amiriya Al Fallujah Tikrit University Journal for Humanities Volume 25 Issue 10 2018
6. Ehab Ali Hussein Al Jabouri A geographic analysis of the phenomenon of desertification in Al Zab Subdistrict Tikrit University Journal for Humanities Volume 30 Issue 2 2023
7. Satellite imagery from Landsat 5 dated 20 and 27 March 1993
8. Satellite imagery from Landsat 8 dated 25 March and 1 April 2024
9. Satellite imagery from Landsat 5 dated 20 and 27 March 1993

المصادر الاجنبية

Food and Agriculture organization of the United Nations, the digital soil map of the world, version 3.6 January 2003 .