

ديناميكية العلاقة المكانية والزمانية بين مؤشري التربة (SI) والغطاء النباتي (NDVI) في قضاء بلد بين عامي (1995) م و(2025) م والتنبؤات المستقبلية لعام (2050) م.

د. عهود صالح مهدي

قسم الجغرافية/ كلية التربية للعلوم الإنسانية/ جامعة تكريت/ العراق

Email: [ahood.salih@tu.edu.iq](mailto:ahood.salih@tu.edu.iq)

### المستخلص:

تتمثل مشكلة الدراسة في التدهور البيئي المتسارع للأراضي نتيجة تداخل ظاهري التملح والتصحر وتأثيرهما السلبي على الغطاء النباتي. يهدف البحث إلى تتبع التباين الزمني والمكاني لمؤشري ملوحة التربة (SI) والغطاء النباتي في قضاء بلد بمحافظة صلاح الدين في العراق، والذي يشغل مساحة ثابتة تبلغ (849.60 كم<sup>2</sup>)، للمدة (1995-2025)م، مع بناء نمذجة اسيناميكية العلاقة المكانية والزمانية بين مؤشري التربة (SI) والغطاء النباتي (NDVI) في قضاء بلد للمدة (1995-2025)م والتنبؤات المستقبلية لعام (2050)م (تشرافية لسيناريوهات المشهد الأرضي بحلول عام 2050م. واعتمدت المنهجية على مرئيات القمر الصناعي (Landsat) المصححة عبر خوارزمية (FLAASH)، ودمج التحليل الطيفي مع مصفوفة الطرح الحيزي (Pixel-by-Pixel)، وتطبيق محاكاة المكانية (CA-Markov) في بيئة (TerrSet). توصلت الدراسة إلى استنتاجات حاسمة كشفت عن انقلاب راديكالي خطير؛ إذ انكشفت الأراضي منخفضة الملوحة من (56.9%) عام (1995) م لتسود الرتب المتدهورة ملحياً (المتوسطة والعالية والشديدة) على (72.8%) من المساحة عام (2025)م بفعل التملح الثانوي ونشاط الخاصية الشعرية. كما سجل الغطاء الخضري تفتتاً مساحياً حاداً بتراجع أصناف الذروة الخضرية من (53.5%) إلى (23.2%)، مقابل قفزة للأراضي القاحلة بنسبة (32.2%) . وأثبتت النمذجة قنامة السيناريو التنبؤي لعام (2050) م، حيث ستعاني (73.3%) من المساحة من تدهور بيئي مركب يجمع بين التملح والتصحر. بناءً على ذلك، تقدم الدراسة توصيات بضرورة الإسراع في إعادة تأهيل وبناء شبكات الصرف الزراعي الحديثة والمغطاة، وتطبيق تقنيات الري الذكي لمواجهة الشح المائي، مع تفعيل مصدات الرياح والأحزمة الخضراء، واعتماد نظم الإنذار المبكر الجيومكانية لمراقبة البؤر الحرارية للتملح والحد من زحف التصحر في القضاء.

**الكلمات المفتاحية:** ملوحة التربة (SI) - الغطاء النباتي - الاستشعار عن بعد- المحاكاة المكانية (CA-Markov) - قضاء بلد- التداخل الطيفي.

**The dynamics of the spatial and temporal relationship between the Soil Indices (SI) and the Vegetation Cover Index (NDVI) in Balad District between 1995 and 2025, and future projections for 2050.**

Dr. Ahoud Saleh Mahdi

Department of Geography / College of Education for Humanities / Tikrit  
University / Iraq

### Abstract:

The study addresses accelerating environmental land degradation caused by overlapping salinity and desertification and their negative impacts on vegetation

cover. The research aims to track the spatiotemporal variation of the Soil Salinity Index (SI) and vegetation cover in Balad District, Salah al-Din Governorate, Iraq, which occupies a fixed area of 849.60 km<sup>2</sup> over the period (1995–2025), alongside constructing predictive modeling of land change scenarios by 2050. The methodology relied on Landsat satellite imagery corrected via the FLAASH algorithm, integrated spectral analysis with a pixel-by-pixel spatial subtraction matrix, and applied cellular automata-Markov (CA-Markov) spatial simulation within the TerrSet environment. The study reached critical conclusions revealing a dangerous, radical inversion; low-salinity lands shrank from 56.9% in 1995, allowing salt-degraded classes (moderate, high, and severe) to dominate 72.8% of the total area by 2025 due to secondary salinization and capillary action. Concurrently, dense vegetation cover suffered severe spatial fragmentation, plummeting from 53.5% to 23.2%, while barren lands spiked by 32.2%. Furthermore, the predictive model proved highly bleak for 2050, forecasting that 73.3% of the district will suffer from complex environmental degradation combining both salinization and desertification. Based on these findings, the study strongly recommends accelerating the rehabilitation and construction of modern, covered agricultural drainage networks, implementing smart irrigation techniques to combat water scarcity, activating windbreaks and green belts, and adopting geospatial early warning systems to monitor salinity hotspots and curb desertification encroachment across the district.

**Keywords:** Soil Salinity Index (SI), Vegetation Cover, Remote Sensing, Spatial Simulation (CA-Markov), Balad District, Spectral Interference.

#### مقدمة:

تشكل ظاهرة تملح التربة (Soil Salinization) وانحسار الكتلة الحيوية (Biomass) أحد أبرز التحديات البيولوجية والإيكولوجية الحرجة التي تواجه الأقاليم الجافة وشبه الجافة عالمياً، وفي السهل الرسوبي العراقي على وجه الخصوص. ويعتمد تقدير المحتوى الملحي استشعارياً على مؤشر الملوحة (SI) من خلال قياس الاستجابة الطيفية للنطاقين الأزرق والأحمر نظراً لحساسيتهما العالية للانعكاس السطحي، وهو ما يوفر أداة فعالة لتقدير الضغط الأسموزي المتولد في منطقة الجذور (Root Zone). بالتوازي مع ذلك، يستند حساب الكفاءة التمثيلية للنبات طيفياً عبر دليل الغطاء النباتي (NDVI) إلى التباين الراديكالي بين امتصاص صبغات الكلوروفيل للنطاق الأحمر المرئي وتشتيت البنية الخلوية للميزوفيل للأشعة تحت الحمراء القريبة (NIR)، مما يعكس الحالة الصحية للنبات ونشاطه الحيوي. وتبرز الفجوة البحثية المستهدفة (Research Gap) في أن الأدبيات البيئية التقليدية تفتقر إلى التفكيك الحيزي الدقيق للعلاقات التزامنية بين الملوحة والخضرة على مستوى البكسل المستقل (Pixel-by-Pixel Discrepancy Approach)؛ حيث تكثفي أغلب الدراسات السابقة بالتعميم الإحصائي وتغفل الطفرات الميكانيكية الموضعية. ومن هنا تأتي مبررات



اختيار منطقة الدراسة (قضاء بلد)، إذ يُمثل القضاء مركزاً زراعياً خصيباً وإستراتيجياً، لكنه بات يعاني مؤخراً من تلازم خطير بين الضغوط المناخية كالاختلال والجفاف، والضغوط الأنتروبوجينية المتمثلة في تعطل شبكات الصرف الإيرادية، وتجريف البساتين، وتوسع الأسطح الصماء الكتومة. وتكمن القيمة العلمية المضافة والتطبيقية لهذه الدراسة في تقديم نموذج محاكاة مكاني-زمني متكامل (CA-Markov) لعام (2050) م يكسر الجمود الوصفي، ويمنح صناع القرار أداةً استشرافية مبكرة لتصميم هندسة هيدروليكية مغلقة قادرة على حماية الأمن الغذائي والمائي للمنطقة.

#### مشكلة البحث:

تتبلور مشكلة الدراسة في السؤال الجوهرى (ما هي طبيعة واتجاه العلاقة الارتباطية والديناميكية المكانية والزمانية (Spatio-temporal dynamics) بين مؤشر ملوحة التربة (Salinity Index - SI) ومؤشر الاختلاف الخضري الطبيعي (NDVI) في قضاء بلد للفترة (1995-2025)؟ وكيف تباينت هذه العلاقة إحصائياً وجغرافياً عبر هذه السلسلة الزمنية؟ وما هي المظاهر والمستويات الكمية المتوقعة للمؤشرين بحلول عام 2050م في ظل استمرار الجفاف وشح المياه، ومدى انعكاس ذلك على الاستدامة البيئية ومستقبل بساتين الحمضيات والمحاصيل الزراعية في المنطقة؟).

#### فرضية البحث:

تتحدد فرضية الدراسة في الإجابة التنبؤية توجد علاقة ارتباطية وديناميكية مكانية وزمانية (Spatio-temporal) عكسية وقوية ذات دلالة إحصائية بين مؤشر ملوحة التربة (SI) ومؤشر الاختلاف الخضري الطبيعي (NDVI) في قضاء بلد؛ حيث يتسبب الارتفاع المستمر لمستويات التملح في تدهور وانكماش جغرافي حاد للغطاء النباتي عبر السلسلة الزمنية (1995-2025)، وتشير النمذجة المستقبلية لعام 2050م إلى استمرار هذا المسار التدهوري وتوسع النطاق الجغرافي للملوحة الحادة تحت تأثير الجفاف وشح المياه، مما يؤدي إلى تهديد حرج للاستدامة البيئية وانهايار تدريجي في إنتاجية بساتين الحمضيات والمحاصيل الزراعية الإستراتيجية في المنطقة.

#### اهداف البحث:

تتمثل الأهداف الرئيسية للدراسة بالتحليل الكمي والمكاني لطبيعة واتجاه العلاقة الارتباطية بين مؤشر ملوحة التربة (SI) ومؤشر الاختلاف الخضري الطبيعي (NDVI) في بيئة قضاء بلد الزراعية، وتتبع ديناميكية التباين الزماني والمكاني (Spatio-temporal dynamics) لهذه العلاقة عبر سلسلة زمنية ممتدة لـ (30) عاماً (1995-2025)م لتحديد المحركات البيئية والبشرية المغذية للظاهرة، وصولاً إلى بناء نموذج تنبؤي جيو-مكاني يستشرف المظاهر والمستويات الكمية للمؤشرين لعام 2050م في ظل سيناريوهات الجفاف المستمر وشح المياه، بهدف وضع رؤية إستراتيجية لصناع القرار لإنقاذ بساتين الحمضيات والمحاصيل الإستراتيجية وتحقيق الاستدامة البيئية في المنطقة.

#### أهمية البحث:

تتبع الأهمية العلمية والتطبيقية للدراسة من قيمتها المعرفية في تقديم فهم جيو-مكاني متكامل لديناميكية تدهور الأراضي الزراعية في البيئات الجافة وشبه الجافة، وتتجلى هذه الأهمية في توفير أول قاعدة بيانات رقمية طويلة الأمد تمتد لثلاثة عقود (1995-2025)م لرصد وتحليل سلوك ملوحة التربة (SI) وعلاقتها المباشرة بتراجع كفاءة الغطاء النباتي (NDVI) في قضاء بلد، إلى جانب توظيف تقنيات الاستشعار عن بُعد ونماذج النمذجة الجغرافية المتقدمة لاستشرف السيناريوهات البيئية المحتملة بحلول عام 2050م، مما يمنح هذا

البحث بُعداً استراتيجياً تطبيقياً يُسهم في تزويد صناع القرار والمخططين البيئيين بمؤشرات تنبؤية دقيقة تتيح صياغة سياسات استباقية وخطط إدارة مستدامة لحماية الأمن الغذائي، وإنقاذ بساتين الحمضيات والمحاصيل الاستراتيجية من مخاطر التملح والتصحر الحاد المتسارع.

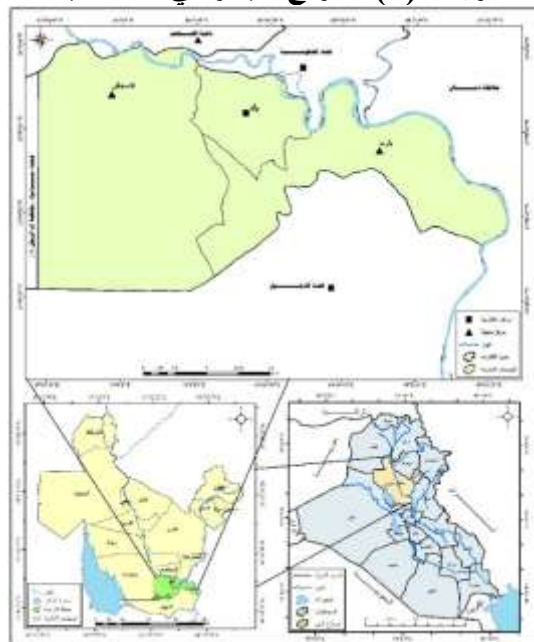
### المنهجية المتبعة للمنطقة المدروسة:

تعتمد الدراسة الحالية المنهج التحليلي الاستقرائي بدمج الاستشعار عن بُعد (RS) ونظم المعلومات الجغرافية (GIS) بالتحليل الإحصائي المكاني، لمعالجة مرئيات الأقمار الاصطناعية (Landsat 5, 7, 8, 9) لقضاء بلد (1995-2025)م، حيث تُستخلص قيم مؤشري الملوحة (SI) والغطاء النباتي (NDVI)، ويُقاس الارتباط الإحصائي والمكاني بينهما عبر اختباري (Spearman Pearson) ومؤشر موران (Moran's)، بالتوازي مع تطبيق الانحدار الجغرافي الموزون (GWR) لتحليل التباين الديناميكي للتأثير، وصولاً إلى توظيف نموذج (CA-Markov) لاستشراف الخريطة الكمية للمؤشرين لعام (2050)م تحت ظروف الجفاف وشح المياه.

### الموقع الجغرافي لقضاء بلد:

تشير الاحداثيات إلى أن قضاء بلد يقع فلكياً بين دائرتي عرض (41°33'49" شمالاً من جهتها الجنوبية، ودائرة عرض (44°34'4" شمالاً من جهتها الشمالية، وبين خطي طول (45°43'54" شرقاً من جهتها الغربية (15°26'44" شرقاً من جهتها الشرقية، ضمن النطاق شبه الجاف لوسط العراق. وجغرافياً، يتركز القضاء في القطاع الجنوبي لمحافظة صلاح الدين؛ يحده شمالاً قضاء سامراء، وشرقاً قضاء الدجيل ونهر دجلة، وجنوباً غربياً محافظتا بغداد والأنبار، بينما يمتد غرباً ليشمل ناحية الإسحافي المحاذية للهامش الصحراوي. يمنح هذا الموقع التنافسي القضاء طبيعة بيئية انتقالية حرجة تجمع بين السهل الرسوبي الفيضي شرقاً والنطاق شبه الصحراوي المتموج غرباً، مما يجعله بيئة ديناميكية عرضة للتغيرات البيولوجية والتملح المنظومي. وكما تشير خريطة (1). وتبلغ مساحة قضاء بلد (849.6) كم<sup>2</sup> من مجموع مساحة محافظة صلاح الدين.

خريطة (1) الموقع الجغرافي لقضاء بلد



المصدر: من عمل الباحثة اعتماداً على الخريطة الإدارية للعراق بمقياس 1/1000000 وخريطة الطوبوغرافية للمحافظة صلاح الدين بمقياس 1/1000000.  
اولاً- دراسة مقارنة للتغير المكاني والمساحي لملوحة التربة باستخدام مؤشر (SI) لعامي (1995م) و(2025م):

تُعد ظاهرة تملح التربة (Soil Salinization) من أبرز التحديات البيولوجية (Pedological) والبيئية التي تواجه الأقاليم الجافة وشبه الجافة؛ حيث تتمثل في ارتفاع تراكيز الأملاح الذائبة أو تراكمها في الآفاق السطحية للتربة بمستويات تتجاوز العتبة الحرجة، مما يؤدي إلى تقويض الخصوبة الفيزيائية والكيميائية للتربة (الخفاجي و العبيدي، 2023، صفحة 118). يُستخدم مؤشر الملوحة (Salinity Index - SI) كأداة استشرارية فعالة لتقدير التداخل الديناميكي بين الضغط الأسموزي والمحتوى الرطوبي، وهو ما يعكس قدرة المحاليل الملحية على إعاقة الامتصاص الجذري للمياه (Osmotic Stress) (Wang et al, 2026, p. 1615). ومن الناحية الفيزيائية، يعتمد هذا المؤشر على الاستجابة الطيفية للنطاقين الأزرق والأحمر، نظراً لحساسيتهما العالية للانعكاس السطحي المتأثر بالترسبات الملحية والغطاء النباتي، وفق المعادلة الآتية (A. Elnaggar & S. Noller, 2010, p. 974):

$$SI = \sqrt{Blue + Red}$$

إذ إن:

Blue تُمثل الحزمة الطيفية الأولى (B1).

Red تُمثل الحزمة الطيفية الثالثة (B3).

كشفت مخرجات التحليل المكاني لمؤشر الملوحة (SI) في منطقة الدراسة لعامين (1995 و 2025) م عن تباينات جوهرية في القيم والمساحات، تعكس ديناميكية الخصائص البيولوجية (Pedological) المتغيرة تحت تأثير العوامل المناخية والهيدرولوجية السائدة. وتجسيدا لما تم رصده في الخريطين (2) (3) والجدول (1)، تعكس المعطيات الخريطة والمؤشرات الإحصائية المستنبطة تبايناً حركياً (Spatial Dynamics) في التوزيع المكاني لمستويات الملوحة. تبرز ملامح التوزيع المكاني مستوى الملوحة وفق الآتي:

#### ١. مستوى أراضي الملوحة المنخفضة جداً وفق مؤشر (SI):

أظهرت الموازنة التحليلية لمؤشر الملوحة (SI) بين عامي (1995) و(2025) م انكماشاً بنوياً حاداً في أراضي الملوحة المنخفضة جداً؛ إذ تراجمت مساحتها من (370.8 كم<sup>2</sup>) بنسبة (43.6%) من إجمالي المساحة الكلية لمنطقة الدراسة كصنف مهيم إلى (141.5 كم<sup>2</sup>) بنسبة (16.6%) من إجمالي المساحة الكلية لمنطقة الدراسة، وفقاً لمعطيات الجدول (1). واكب هذا التقلص الكمي تحولاً مورفولوجي في النمط التوزيعي؛ فبعد أن كان النطاق يمتد بشكل مكثف ومتراپط في الأطراف الوسطى والشرقية لناحيته (يثر ب والإسحاقي) على طول مجرى نهر دجلة، كما يظهر على الخريطة (2)، انحسر عام (2025) م في أجزاء محددة من القطاع الغربي على شكل بؤر معزولة ومنتشرة وفقاً للخريطة (3). مما يعكس حالة متقدمة من التفتت المساحي (Spatial Fragmentation). وتُعزى هذه الديناميكية المتباينة إلى عوامل هيدرو-بيولوجية؛ حيث ارتبط الاستقرار الفيزيوكيميائي للتربة سابقاً بكفاءة عمليات الغسل الهيدرولوجي الدوري بفضل القرب من نهر دجلة، في حين يبرهن التراجع اللاحق على عمق الأزمة الهيدرولوجية الإقليمية وتدني كفاءة الغسل الطبيعي، مما حصر وجود هذا المستوى في جيوب محدودة محكومة بإدارة مائية مستقرة ونشاط زراعي كثيف يثبط التملح. (الحديثي و الراوي، 2019، صفحة 112).



## ٢. مستوى أراضي الملوحة المنخفضة وفق مؤشر (SI):

سجل مستوى الملوحة المنخفضة وفق مؤشر (SI) انكماشاً بنويماً ملحوظاً؛ إذ تراجعت مساحته الإجمالية من (112.9 كم<sup>2</sup>) بنسبة (13.3%) لعام (1995) م، لتصل إلى (89.4 كم<sup>2</sup>) بنسبة (10.5%) لعام (2025) م وحسب معطيات الجدول (1). واكب هذا التقلص الكمي تحولاً مورفولوجي في النمط التوزيقي؛ فبعد أن كان النطاق يبرز عام (1995) م على هيئة نطاقات انتقالية (Transition Zones) تحيط بمركز ناحية يثرب والقطاعات المحاذية لنهر دجلة والإسحافي حيث يتجسد مكانياً في الخريطة (2)، انحسر لاحقاً في أجزاء محددة من الجهة الغربية لناحية الإسحافي على شكل بؤر معزولة ومجزأة، كما يظهر في خريطة (3)، مما يعكس حالة واضحة من التفتت المساحي. ويُعزى هذا الانحسار الحاد إلى تآكل النطاقات الحمايية ( Buffer Zones) للتربة الناجم عن تراجع النشاط الزراعي المنظم والإمداد المائي العذب اللذين شكلا سابقاً عاملاً كابحاً (Mitigating Factor) ضد الصعود الشعري للأملاح (Todd & Mays, 2005)، مما أفقد التربة قدرتها على صد الزحف الملحي وحفز تحولها التدريجي نحو مستويات تملح أعلى. (Todd & Mays, 2005, p. 182)

## ٣. مستوى أراضي الملوحة المتوسطة وفق مؤشر (SI):

سجل مستوى الملوحة المتوسطة وفق مؤشر (SI) تمدداً مساحياً ومكانياً واضحاً بين عامي (1995) و(2025) م، يترجم تسارع وتيرة التدهور البيئي في منطقة الدراسة. ففي عام (1995) م، شغل هذا المستوى مساحة قدرها (118.7 كم<sup>2</sup>) بنسبة بلغت (14.0%) من إجمالي المساحة الكلية، وفقاً لمعطيات الجدول (1) حيث برز مكانياً على الخريطة (2) كأزمة تدرج طيفي في الأجزاء الانتقالية التي تلي الأراضي المستصلحة وتسبق نطاقات التملح الحاد، وضمن المناطق ذات الارتباط الهيدروليكي المحدود بمشاريع الصرف. إلا أن هذا النطاق تمدد بحلول عام (2025) م ليستحوذ على مساحة قدرها (157.3 كم<sup>2</sup>) وبنسبة بلغت (18.5%) من إجمالي المساحة الكلية، كما يشير له جدول (1)، ليتجسد مكانياً على الخريطة (3) في هيئة جبهة زحف واسعة تحيط بالبؤر المعزولة المتبقية في الجهة الغربية، مع انتشار مكثف في النطاقات الانتقالية لمركز القضاء. وتُعزى هذه الديناميكية التوسعية إلى اختلال ميزان التوازن الملح-مائي؛ إذ أدى تفوق معدلات النتج التبخر (Evapotranspiration) مقارنةً بكفاءة الغسل الهيدرولوجي والصرف إلى تراكم تدريجي للمحالييل الملحية، مما جعل هذا الصنف يمثل "مرحلة حرجة" وحالة من القلق البيدولوجي تؤثر على عتبة التدهور، ونطاقاً مرشحاً للتحول نحو التملح الحاد في ظل الشح المائي وتآكل النطاقات الحمايية ( Protection Zones) المتبقية. (النعيمة، 2010، صفحة 112).

## ٤. مستوى أراضي الملوحة العالية وفق مؤشر (SI):

سجل مستوى الملوحة العالية وفق مؤشر (SI) تمدداً مساحياً ومكانياً مطرداً يبرهن على تفاقم ملوحة التربة المنظومية في منطقة الدراسة. ففي عام (1995) م احتل هذا المستوى مساحة بلغت (163.4 كم<sup>2</sup>) بنسبة (19.2%) من إجمالي المساحة الكلية للقضاء، حسب معطيات الجدول (1)، حيث تركز انتشارها في الأطراف الهامشية المتاخمة للمناطق الصحراوية والبعيدة عن المصادر المائية في الجهات الغربية والجنوبية الغربية من القضاء، مع بؤر متفرقة أقصى جنوب ناحية يثرب، كما يظهر في خريطة (2). وبحلول عام (2025) م، توسع هذا النطاق ليستحوذ على مساحة (192.2 كم<sup>2</sup>) بنسبة بلغت (22.6%) من إجمالي المساحة للقضاء في جدول (1)، متجسداً في الأجزاء الوسطى والجنوبية من قضاء بلد على هيئة أزمات ضاغطة (Pressure Belts) تطوق مراكز الاستقرار الزراعي المتبقية الموضح في الخريطة (3).

وتُعزى هذه الديناميكية التوسعية إلى عوامل هيدرو-بيدولوجية ومناخية؛ إذ ارتبط النشوء الأولي بسيادة الخاصية الشعرية والارتفاع الحراري مع تدني كفاءة الصرف الطبيعي، في حين فسر التمدد اللاحق بحدوث عجز هيدرولوجي حاد وتراجع جودة مياه الري، مما أدى إلى قصور عمليات التصريف الترشيحي وترسيب المحاليل الملحية بكثافة في منطقة الجذور (Root Zone)، دافعاً بهذه الأراضي نحو مراتب عالية الإجهاد الملحي تحت وطأة الجفاف الشديد (Al-Falahi, Suliman, & Al-Atabi, 2026, p. 48).

#### ٥. مستوى أراضي الملوحة العالية جداً وفق مؤشر (SI):

حققت أراضي الملوحة العالية جداً وفق مؤشر (SI) قفزة مساحية وتوزيعية دراماتيكية حوّلتها إلى الصنف البيئي الأكثر خطورة في منطقة الدراسة. ففي عام (1995) م سجل هذا المستوى مساحة إجمالية بلغت (83.7 كم<sup>2</sup>) بنسبة وضعته في أدنى مراتب التمثيل المساحي بـ (9.9%) من إجمالي المساحة الكلية، حسب معطيات الجدول (1)؛ حيث انحصرت بؤره الحادة في أقصى الجهة الغربية والشمالية الغربية وتحديداً جنوب غرب مركز ناحية الإسحاق دجلة، وفقاً للخريطة (2) بفعل عامل الحبس الطبوغرافي داخل منخفضات عملت كـ "مصائد ملحية" (Salt Traps) تجمع مياه البزل، مسببةً ترسيب القشور الملحية ذات الانعكاسية الطيفية الحادة نتيجة التبخر الشديد وانعدام الصرف الطبيعي. غير أن هذا النطاق تمدد بحلول عام (2025) م ليهيمن على الكتلة المساحية الأكبر في قضاء بلد بواقع (269.3 كم<sup>2</sup>) وبنسبة بلغت (31.7%) من إجمالي المساحة الكلية في جدول (1)؛ واکب هذا التوسع تحولاً مكاني واسع النطاق نحو القطاع الشرقي (ناحية يثرب) دجلة وفقاً للخريطة (3)، غازياً أراضٍ كانت تُصنف سابقاً بأنها مستقرة، نتيجةً للتعطل الكامل لشبكات الصرف الزراعي وطبيعة الأرض المنخفضة، بالتزامن مع اشتداد التبخر الحراري الذي نشط الخاصية الشعرية مسبباً التصحر التام للسطح (السامرائي، 2018، صفحة 211).

تكشف الموازنة التحليلية للمشهد البيدولوجي بين عامي (1995 و2025) م عن انقلاب بنيوي في رُتب الملوحة؛ ففي عام (1995) م هيمنت النطاقات الأمانة (المنخفضة جداً والمنخفضة) بمساحة (483.7 كم<sup>2</sup>) وبنسبة (56.9%) من المساحة الكلية، بفضل النفوذ الهيدرولوجي لنهر دجلة وكفاءة الترشيح العمودي، بينما انحسرت الرُتب الحرجة (العالية والعالية جداً) هامشياً بنسبة (29.1%). وبالمقابل، شهد عام (2025) م تدهوراً هيدروليكياً متسارعاً أدى إلى تمدد المساحات المتأثرة بالملوحة (المتوسطة، العالية، والعالية جداً) لتشكل ظهيراً ضاعطاً يغطي (618.8 كم<sup>2</sup>) وبنسبة (72.8%) من إجمالي منطقة الدراسة، نتيجة شلل منظومات الصرف وتلاشي النطاقات الحمائية (Protection Zones). وفي المقابل، انكمشت النطاقات الأمانة إلى (27.2%)، مما يبرهن على توغل جبهات التملح داخل العمق الزراعي وتشرذم الرقعة الإنتاجية.

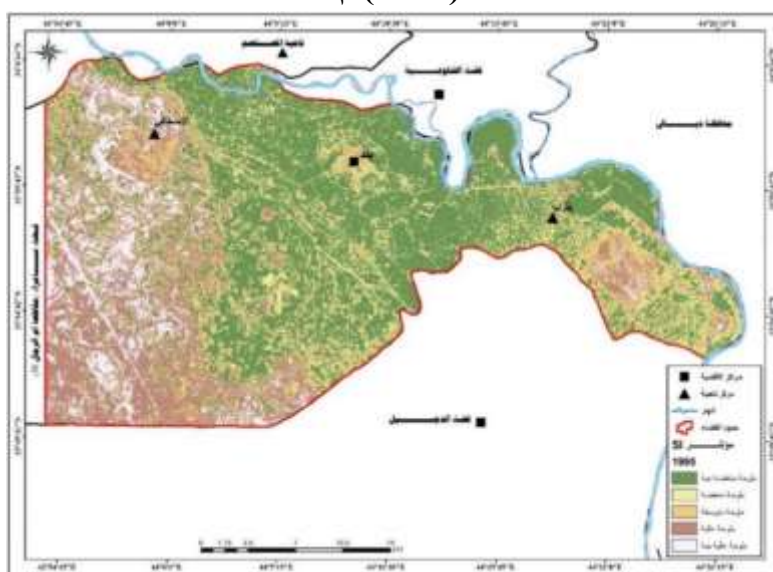
جدول (1): التوزيع المساحي والنسبي لمستوي ملوحة التربة وفق مؤشر للمنطقة المدروسة (SI) لعام (1995) م (2025) م

2025		مستويات مؤشر (SI) للملوحة التربة	1995		مستويات مؤشر (SI) للملوحة التربة
النسبة المئوية %	المساحة / كم <sup>2</sup>		النسبة المئوية %	المساحة / كم <sup>2</sup>	
31.7	269.3	عالية جداً	83.7	9.9	عالية جداً
22.6	192.2	عالية	163.4	19.2	عالية
18.5	157.3	متوسطة	118.7	14.0	متوسطة

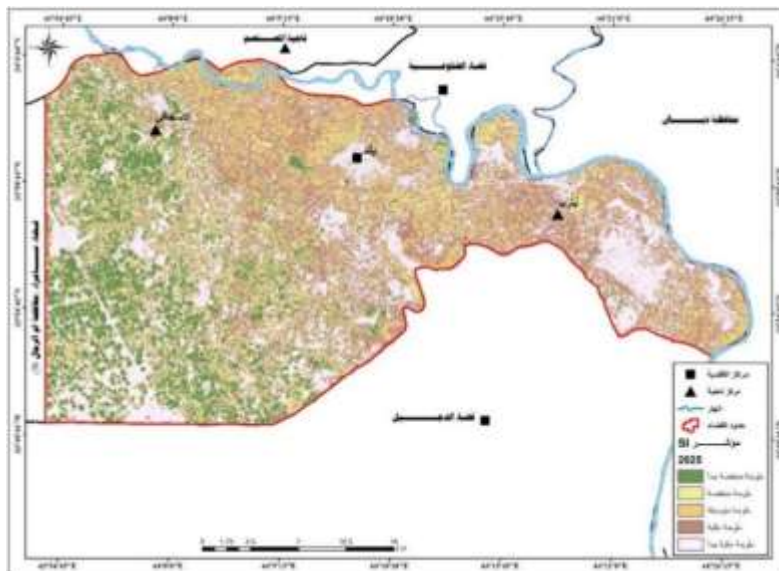
2025		مستويات مؤشر (SI) للملوحة التربة	1995		مستويات مؤشر (SI) للملوحة التربة
النسبة المئوية %	المساحة / كم <sup>2</sup>		النسبة المئوية %	المساحة / كم <sup>2</sup>	
10.5	89.4	ضعيفة	13.3	112.9	ضعيفة
16.6	141.5	ضعيفة جداً	43.6	370.8	ضعيفة جداً
100.0	849.6	المجموع الكلي	100.0	849.6	المجموع الكلي

المصدر: من عمل الباحثة بالاعتماد على مخرجات مؤشر ملوحة التربة (SI) لعام (1995) م (2025) م خريطة (2) وخريطة (3).

خريطة (2): التوزيع الجيومكاني مستويات ملوحة التربة في منطقة الدراسة وفق مؤشر (SI) لعام (1995) م



المصدر: عمل الباحثة بالاعتماد على معالجة مرئيات القمر الصناعي (Landsat 5 TM) لعام (1995) م، باستخدام برمجيات (ArcMap GIS 10.8) خريطة (3): التوزيع الجيومكاني مستويات ملوحة التربة في منطقة الدراسة وفق مؤشر (SI) لعام (2025) م



المصدر: عمل الباحثة بالاعتماد على معالجة مرئيات القمر الصناعي (Landsat 5 TM) لعام (2025) م، باستخدام برمجيات (ArcMap GIS 10.8) ومخرجات مؤشر (SI).  
ثانياً: دراسة مقارنة للتغير المكاني والمساحي للغطاء النباتي باستخدام مؤشر (NDVI) في قضاء بلد لعامي (1995م) و(2025م) م

يُعد دليل الاختلاف الخضري المعايير (NDVI) أداة منهجية متقدمة في تطبيقات الاستشعار عن بُعد لتقييم الحيوية الفسيولوجية والكتلة الحيوية للغطاء النباتي. وتستند آليته الفيزيائية إلى تباين الاستجابة الطيفية لأنسجة الحية؛ إذ يمتص الكلوروفيل الإشعاع ضمن النطاق الأحمر المرئي (Red Band). بينما تعكس البنية الخلوية للميزوفيل أشعة النطاق تحت الأحمر القريب (NIR) بشدة. تكمن كفاءة المؤشر الرياضية في تحييد الضجيج الطيفي (Spectral Noise) الناتج عن التشوهات الطبوغرافية وتفاوت الإضاءة، مما يعزز دقة نمذجة الجفاف والتصحر. ولتحقيق الموثوقية الرصدية، اعتمدت الدراسة على مرئيات مصححة عند قاع الغلاف الجوي (BOA). وتتراوح مخرجاته الرقمية بين (-1 و+1)؛ حيث تشير القيم الموجبة المرتفعة إلى النشاط الخضري، بينما تمثل القيم السالبة أو القريبة من الصفر الأنماط غير الحيوية (كالتربة العارية والمياه) (Huang, 2022, p. 134)، وفقاً للمعادلة الآتية:

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

إذ إن:

NDVI تمثل دليل الاختلاف الخضري الطبيعي المعايير (Normalized Difference Vegetation Index)

NIR تمثل الانعكاس الطيفي في نطاق الأشعة تحت الحمراء القريبة (Near-Infrared Band).

RED تمثل الانعكاس الطيفي في نطاق الأشعة المرئية الحمراء (Red Band).

كشفت مخرجات التحليل المكاني لمؤشر الاختلاف الخضري (NDVI) في منطقة الدراسة لعام (1995) م عن تباينات جوهرية في القيم والمساحات، تُعزى في جوهرها إلى الديناميكية المستمرة للخصائص البيئية المتغيرة تحت تأثير العوامل المناخية والهيدرولوجية السائدة. وتجسيدا لما تم رصده في الخريطة (4) و(5) والجدول (2)، كالاتي:



### 1- صنف بدون غطاء نباتي (Non-Vegetated Areas Class):

أظهرت المخرجات الجيومكانية لمؤشر (NDVI) بين عامي (1995) و(2025) م تحولاً راديكالياً انعكس في التوسع المفرط للمساحات الخالية من الغطاء النباتي؛ ففي عام (1995) م، سجل هذا الصنف العتبة المساحية الدنيا بواقع (64.6 كم<sup>2</sup>) وبنسبة لم تتجاوز (7.6%) من الإجمالي الكلي للمنطقة المدروسة، في جدول (2)، حيث انحصر جغرافياً في القطاعات الغربية والجنوبية الغربية، والمراكز الحضرية، ومحيط قاعدة بلد الجوية كما مبين في الخريطة (4) لخضوعها لعزلة هيدرولوجية عن نهر دجلة، فضلاً عن هيمنة الترب الرملية والحبيسية ذات النفاذية العالية والقدرة المنخفضة على الاحتفاظ بالرطوبة، مما أوجد بيئة إجهاد مائي حرج تبطت العمليات الفسيولوجية للإنبات وحيّدت قيم المؤشر نحو الصفر. وبالمقابل، قفز هذا الصنف عام (2025) م ليتصدر المشهد البيئي مسجلاً الكتلة المساحية الأكبر بواقع (273.8 كم<sup>2</sup>) وبنسبة بلغت (32.2%) من الإجمالي الكلي للمنطقة المدروسة المقدر في جدول (2)، متخذاً نمطاً انتشارياً واسعاً يتركز في القطاعات الغربية والجنوبية مع زحف ملموس باتجاه المراكز السكنية، كما يوثق التوزيع المكاني في خريطة (5). ويُعزى هذا التوسع المتسارع إلى تضايف التمدد العمراني وتدهور خصائص التربة بفعل الجفاف الممتد وشح الأمطار، وتكامل ذلك مع تمدد الأسطح غير المنفذة (Impervious Surfaces) الحاجبة طيفياً للبخمة النباتية النشطة وتراجع جودة التربة المحيطة (Malik , Ahmed, & Khan, 2025, p. 1837) ، مؤكداً حدوث خلل حاد في التوازن البيئي للمنطقة.

### 2- صنف الغطاء النباتي الضعيف (Low Vegetation Class)

سجل صنف الغطاء النباتي الضعيف تمداً مساحياً ومورفولوجياً ملحوظاً يعكس تنامي مظاهر الإجهاد البيئي في منطقة الدراسة. ففي عام (1995) م، استوعب هذا الصنف مساحة بلغت (127.6 كم<sup>2</sup>) بنسبة (15.0%) من المساحة الكلي للمنطقة المدروسة المقدر في جدول (2)، متمركزاً في القطاع الشرقي على هيئة أحزمة بيئية انتقالية (Ecological Buffer Zones) تطوق قاعدة بلد الجوية، كما يتضح في خريطة (4). ويُعزى هذا التمدد الهامشي إلى تدهور الخصائص الفيزيوكيميائية للتربة وارتفاع الملوحة، بالتزامن مع عمليات التجريف الأنثروبوجيني الدوري لدواعي أمنية وملاحية تخص القاعدة، مما ولد إجهاداً مائياً فسيولوجياً خفّض محتوى الكلوروفيل وكفاءة التمثيل الضوئي (Photosynthetic Efficiency) وقيم الاستجابة الطيفية للمؤشر. وبحلول عام (2025) م، تمدد هذا الصنف مساحياً ليصل إلى (181.3 كم<sup>2</sup>) وبنسبة بلغت (21.3%) من الإجمالي الكلي لمساحة المنطقة المدروسة، كما تشير بيانات جدول (4). متخذاً نمطاً جغرافياً في هيئة أحزمة انتقالية (Transition Belts) وفواصل بيئية غير مستقرة تحيط بالنطاقات الجافة، لاسيما في القطاع الشرقي، كما تشير لها خريطة (5). ويرجع هذا التوسع إلى تلازم تأثيرات الزحف الصحراوي مع التجريف الآلي، مما دمر البناء المسامي للتربة وحدّ من نمو المجموعتين الخضري والجذري، ليفضي هذا التدهور الهيكلي إلى إجهاد مائي فسيولوجي (Physiological Water Stress) مستمر حافظ على تدني قيم مؤشر (NDVI) وتأخر أطواره الفينولوجية طوال مواسم الجفاف الممتدة (Dutta, Kumar, & Mishra, 2026, p. 1495).

### 3- صنف الغطاء النباتي المتوسط (Moderate Vegetation Class):

شهد صنف الغطاء النباتي المتوسط تراجعاً مساحياً وتشرذماً مورفولوجياً طفيفاً بين عامي (1995) و(2025) م، عاكساً تحول المناطق المستقرة تاريخياً إلى بيئات زراعية هشة. ففي عام (1995) م، غطى هذا الصنف مساحة (202.8 كم<sup>2</sup>) بنسبة (23.9%) من المساحة الإجمالية للمنطقة المدروسة، كما يوضح جدول



(2) حيث برز مكانياً في الأجزاء الوسطى والشمالية بنمط توزيعي متناثر وغير متصل (Fragmented Pattern) حول مركزي قضاء الدجيل والضلوعية وفقاً لخريطة (4). وارتبط هذا الانتشار طردياً بالدورات الزراعية ونظام إراحة الأرض (Fallow System) الذي حفّز الرطوبة الجوفية واستعاد الخصوبة والطاقة الإنتاجية الهامشية (Marginal Productivity)، مما حقق استجابة معتدلة لقيم مؤشر (NDVI). وبحلول عام (2025) م، تراجعت مساحته لتصل إلى (197.4 كم<sup>2</sup>) وبنسبة (23.2%) من المساحة الإجمالية للمنطقة المدروسة، كما تشير بيانات جدول (4)، متوزعاً بنمط مبعثر ضمن القطاعات الوسطى والشمالية التي كانت تاريخياً نطاقات عالية الإنتاجية كما تشير في خريطة (5). ويُعزى هذا التراجع والتشرد المكاني إلى اختلال الدورات الزراعية، وتفاقم شح الإمدادات المائية، مما أدى إلى الإنهاك الحيوي للتربة ودفع بالأراضي نحو الإنتاجية الهامشية، لينعكس هذا التدهور البنيوي في استجابة نباتية هزيلة وانخفاض كفاءة التمثيل الضوئي (الحمداني والحديثي، 2024، صفحة 112).

#### 4- صنف الغطاء النباتي الكثيف (Dense Vegetation Class):

أظهرت المخرجات الجيومكانية لمؤشر (NDVI) انكماشاً بنويماً حاداً وتشرداً مكانياً في الكتلة الحيوية لأراضي الغطاء النباتي الكثيف بين عامي (1995) و(2025) م. ففي عام (1995) م، سجل هذا الصنف مساحة بلغت (203.7 كم<sup>2</sup>) مستحوذاً على نسبة (24.0%) من المساحة الإجمالية للمنطقة المدروسة، في جدول (3)، حيث شكل حزاماً أخضر متصلاً يغطي الأجزاء الوسطى والشرقية من مدينة الدجيل وصولاً إلى الحدود الإدارية لقضاء سامراء كما تبينه خريطة (4). واستند هذا الازدهار إلى الانتظام الهيدرولوجي وكفاءة قنوات الري المتفرعة مباشرة من نهر دجلة، مما وفر بيئة هيدرو-فسيولوجية مثالية مكنت المحاصيل الدائمة من بلوغ ذروة طاقة التمثيل الضوئي (Photosynthetic Capacity)، وتكوين كتل حيوية (Biomass) متصلة عززت من كفاءة احتجاز الكربون وتثبيتته (Carbon Sequestration). وبالمقابل، انحسرت مساحة هذا الصنف بحلول عام (2025) م لتصل إلى (139.8 كم<sup>2</sup>) وبنسبة لم تتجاوز (16.5%) من المساحة الإجمالية للمنطقة المدروسة، كما موثق في جدول (4)، منكمشاً في نطاقات ضيقة ومجزأة بالأجزاء الوسطى والشرقية، وفقاً لما تم رصده في خريطة (5). ويُعزى هذا التدهور إلى تفكك المنظومة الهيدرولوجية وتدني كفاءة شبكات الري، مما سبب اضطراباً فسيولوجياً قيّد القدرة التمثيلية للمحاصيل، وأفقد الكتلة الحيوية اتصالها المكاني، مضعفاً بذلك قدرة النسيج الخضري على تثبيت الكربون كآلية توازن مناخي محلي، وتراجع مرونة الغطاء النباتي الكثيف وتدهور نظمه البيئية أمام موجات الجفاف المتلاحقة وشح المياه (الدليمي والسامرائي، 2024، صفحة 195).

#### 5- صنف الغطاء النباتي الكثيف جداً (High Density Vegetation Class)

سجل صنف الغطاء النباتي الكثيف جداً انكماشاً تراجعياً حرجاً؛ فبعد أن كان الصنف المهيمن عام (1995) م بمساحة (250.9 كم<sup>2</sup>) ونسبة (29.5%) (جدول 3)، انحسر بحلول عام (2025) م إلى (57.3 كم<sup>2</sup>) بنسبة (6.7%) فقط من المساحة الإجمالية للمنطقة المدروسة، كما تشير بيانات جدول (2). واكب هذا النقص الكمي تحولاً في النمط الجغرافي؛ إذ تحول النطاق من حزام ممتد عام (1995) م في القطاعات الشمالية والشمالية الغربية بمحاذاة المنعطفات الجيومورفولوجية لنهر دجلة في الضلوعية والمعتمصم، كما يوثق التوزيع المكاني في خريطة (4)، إلى شريط طولي ضيق ومتقطع عام (2025) م في خريطة (5). وتُعزى هذه الديناميكية التراجعية إلى عوامل هيدرو-بيئية وأنتروبوجينية؛ حيث ارتبط الازدهار السابق بالتربة الفيضية (Alluvial Soil) وبيئات ضفاف الأنهار (Riparian Zones) المستدامة مائياً والتي وثقت ذروة

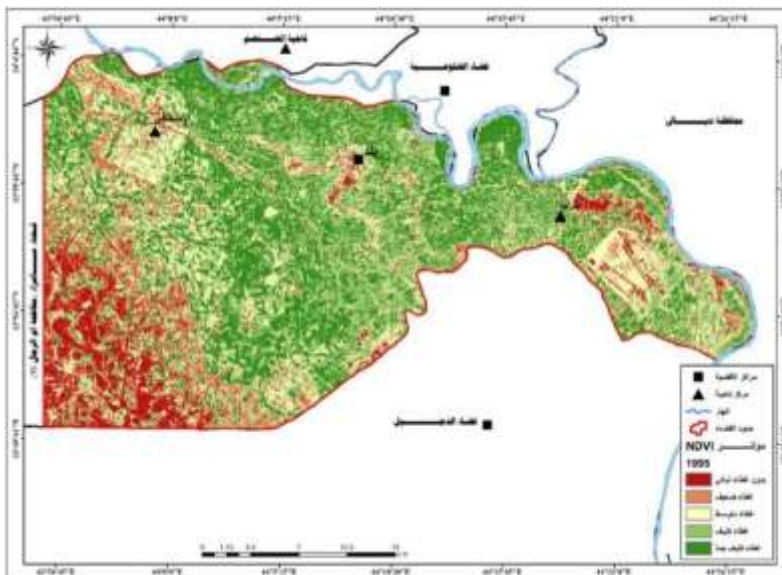
الانعكاسية الطيفية (Spectral Reflectance)، في حين يعود التدهور اللاحق إلى تجريف البساتين وتآكل الغابات النهرية، مما أفقد التربة غطاءها الحامي وأدى إلى هبوط الانعكاسية الطيفية ضمن نطاق الأشعة تحت الحمراء القريبة (NIR) وتراجع التدفق الطاقوي للمنظومة البيئية (الراوي، 2023، صفحة 142). تثبت القراءة التحليلية المقارنة للمعطيات الكمية والخرائطية حدوث انقلاب راديكالي وتناظر عكسي في الأنظمة البيئية الحاكمة لقضاء بلد خلال فترة الدراسة؛ ففي عام (1995) م، كان المشهد الجغرافي محكوماً بنظام بيئي نهري فيضي عالي الكفاءة والإنتاجية يمتد في القطاعات الشمالية والوسطى والشرقية، ممثلاً بصنفي الغطاء الكثيف والكثيف جداً اللذين هيمنوا مجتمعين على (53.5%) من المساحة الكلية، مما عكس استقراراً هيدرولوجياً مدعوماً بنهر دجلة وشبكات الري المنتظمة، مقابل نظام هامشي قاحل ومجهد بيئياً وأنثروبوجينياً شغل (22.6%) فقط من المساحة الإجمالية للمنطقة المدروسة في الأجزاء الغربية والجنوبية الغربية ومحيط قاعدة بلد الجوية. وبالمقابل، تعرّض هذا التركيب الحيوي لخلل هيكلية حاد بطول عام (2025) م تدهورت معه البنية الفيزيائية الحيوية للمنطقة؛ إذ تصدر صنف "بدون غطاء نباتي" المساحة الكلية بنسبة (32.2%)، ليرفع اندماجه مع صنف الغطاء الضعيف هيمنة النطاقات القاحلة والمجهد جغرافياً إلى (53.5%) من المساحة الكلية، محاكيةً بذات النسبة حجم الهيمنة الخضرية التاريخية لعام 1995م. وفي المقابل، انكشفت أصناف "الذروة الخضرية" (الكثيف والكثيف جداً) محققة تراجعاً منظومياً حرجاً، مما يؤكد تآكل المخزون الاستراتيجي للكتلة الحيوية (Biomass) وعجز البيئة المحلية عن تحقيق التوازن الذاتي بفعل الشح المائي والأنشطة الأنثروبوجينية الجائرة كالتجريف وتمدد الأسطح العمرانية الصماء.

جدول (2): التحليل الكمي والمساحات الأصناف مؤشر الغطاء النباتي (NDVI) للمنطقة المدروسة لعامي (1995)م و (2025) م

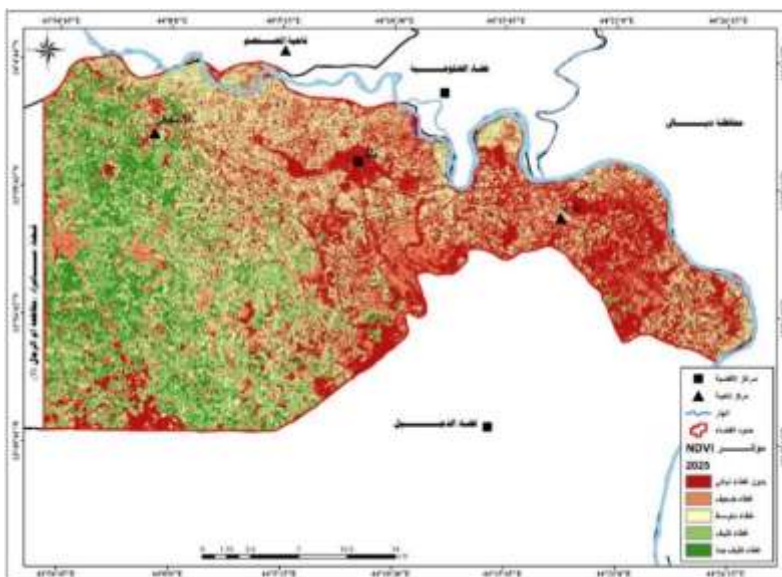
النسبة المئوية (%)	المساحة (كم <sup>2</sup> )	صنف الغطاء النباتي (NDVI)	النسبة المئوية (%)	المساحة (كم <sup>2</sup> )	صنف الغطاء النباتي (NDVI)
32.2	273.8	بدون غطاء نباتي	7.6	64.6	بدون غطاء نباتي
21.3	181.3	غطاء نباتي ضعيف	15.0	127.6	غطاء نباتي ضعيف
23.2	197.4	غطاء نباتي متوسط	23.9	202.8	غطاء نباتي متوسط
16.5	139.8	غطاء نباتي كثيف	24.0	203.7	غطاء نباتي كثيف
6.7	57.3	غطاء نباتي كثيف جداً	29.5	250.9	غطاء نباتي كثيف جداً
100.0	849.6	المجموع الكلي	100.0	849.6	المجموع الكلي

لمصدر: من عمل الباحثة بالاعتماد على مخرجات مؤشر الغطاء النباتي (NDVI) لعامي (1995)م و(2025) م خريطة (2) وخريطة(3).

خريطة (4): التوزيع المكاني لمؤشر الاختلاف الخضري الطبيعي (NDVI) في منطقة الدراسة لعام (1995)م



المصدر: من عمل الباحثة بالاعتماد على معالجة المرئية الفضائية للقمر الصناعي (Landsat 5) والمستشعر (TM - Thematic Mapper) بتاريخ 15 / 4 / 1995.  
خريطة (5): التوزيع المكاني لمؤشر الاختلاف الخضري الطبيعي (NDVI) في المنطقة المدروسة لعام (2025) م

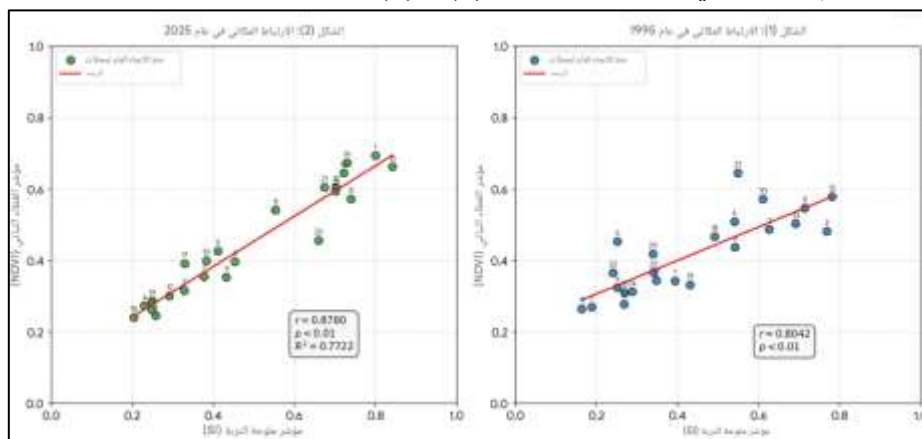


المصدر: من عمل الباحثة بالاعتماد على معالجة المرئية الفضائية للقمر الصناعي (Landsat 9) والمستشعر (OLI-2 - Operational Land Imager) بتاريخ 15 / 4 / 2025.

ثالثاً: ديناميكية العلاقة المكانية والمطابقة الرقمية المبنية على الفروق لمؤشري (SI) و (NDVI) لعامي (1995) م و (2025) م

أظهرت نتائج معامل ارتباط بيرسون (r) بين دليلي ملوحة التربة (SI) والغطاء النباتي (NDVI) لـ (23) محطة رصد أرضية، علاقة ارتباطية موجبة وقوية جداً؛ إذ ارتفعت قيمتها المحسوبة بـ (0.8042) برمجياً من

عام (1995) م إلى (0.878) بحلول عام (2025) م، عند مستوى معنوية مرتفع ( $p < 0.01$ ). وخلافاً للافتراض البيئي التقليدي بالعلاقة العكسية، يعكس هذا التلازم الطردني نمطاً جيو-بيئياً مستقراً وتزامنية طردية واضحة في سلوك المؤشرين، ويُعزى فيزيائياً إلى محددتين: أولهما سيادة النباتات الملحية الطبيعية التي يتزامن نشاطها الفينولوجي طردياً مع البيئات عالية التملح، وثانيهما التداخل الطيفي للرطوبة السطحية بفعل ارتفاع مناسيب المياه الجوفية؛ إذ يرفع هذا الارتفاع قيم مؤشر (SI) مستشعرياً، بينما يوفر رطوبة تدعم نمو النسيج الخضري (NDVI). (التكريني، 2023، صفحة 92) ويشير هذا الارتباط إحصائياً إلى أن (77.22) % من التباين الحيزي والزمني في قيم الغطاء النباتي يمكن تفسيره مباشرةً من خلال التغيرات الحاصلة في قيم ملوحة التربة، بناءً على معامل التحديد المعدل ( $R^2 = 0.7722$ )، وهو ما يوثقه التشتت الإحصائي والاتجاه العام للعلاقة في الشكلين البيانيين (1) و(2).



المصدر: من عمل الباحثة بالاعتماد على جدول (3)

كشفت مخرجات التدقيق الحيزي المعتمد على البكسل (Pixel-by-Pixel Discrepancy) والمصفوفات الطيفية عبر بيئة (GIS) لمساحة قضاء بلد الكلية البالغة (849.60 كم<sup>2</sup>) عن تحولات بنيوية في ديناميكية النطاقات المكانية بين عامي (1995) م و(2025) م، وتتضح معالمها عبر الجدول (3) والخريطتين (6) و(7)، وكالاتي:

#### أولاً- نطاق المطابقة التام ( $\Delta = 0$ )

مثل هذا النطاق الفئة المهيمنة مكانياً في كلا العامين؛ حيث سجل في عام (1995) م مساحة بلغت (566.4 كم<sup>2</sup>) بنسبة (66.7%) من إجمالي مساحة المنطقة المدروسة، شملت (16) محطة رصد، وفقاً لمعطيات الجدول جدول (3) وخريطة (6). وبحلول عام (2025) م، تمدد النطاق ليرفع كتلته المساحية إلى (624.80 كم<sup>2</sup>) وبنسبة بلغت (73.5%) من إجمالي مساحة المنطقة المدروسة، شملت (16) محطة أيضاً كما مبين في جدول (3) وخريطة (7). يمتد النطاق بشكل متصل عبر السهول الوسطى والشرقية مشكلاً الظهير الحيزي المحيط بمركز القضاء وجنوب شرق ناحية يثرب، مما عكس توازناً بيئياً مستقراً دعم معامل الارتباط الإجمالي القوي البالغ (0.878). ويُعزى هذا فيزيائياً إلى أن زيادة المحتوى المائي ورطوبة التربة السطحية في هذه المناطق الزراعية خفّضت الانعكاسية في النطاق الأحمر (Red Band)، مما حفّز النشاط الحيوي للنبات ورفع قيم (NDVI) بشكل خطي ومتزامن.

#### ثانياً: نطاق الانحراف الحيزي الموجب ( $\Delta \neq 0$ ):

شهد هذا النطاق تحولاً مورفولوجياً ورقمياً؛ ففي عام (1995) م برز نطاق الانحراف الحيزي الموجب ( $\Delta = +1$ ) مستحوذاً على (25.7%) بمساحة (218.6 كم<sup>2</sup>) من إجمالي مساحة منطقة المدروسة شمل محطتين

فقط (2 و3)، وفيه تفوقت قيم الملوحة (SI) على النبات بمقدار درجة واحدة في المناطق المتأثرة ببدايات التملح، حسب ما تشير اليه جدول (3) وخريطة (6). وبالمقابل، اختلف هذا النمط عام (2025) م ليحل محله نطاق المطابقة الموجبة ( $\Delta=1$ ) إلى ( $\Delta=-2$ ) ليضم (5) محطات رصد (11، 13، 14، 19، 23) بنسبة (16.0%) ومساحة بلغت (135.90 كم<sup>2</sup>) من إجمالي مساحة المنطقة المدروسة، حسب جدول (3)؛ حيث تفوقت قيم (NDVI) رقمياً على الملوحة نتيجة تركزه في القطاعات الغربية والشمالية الغربية (ناحية الإسحاقى وأشرطه نهر دجلة) كما يتجسد في الخريطين (6) و(7). ويعود ذلك ببيئاً إلى المظلة الخضرية الكثيفة لبساتين الفاكهة التي حجب طيفياً السيطرة الملحية السطحية، بفعل كثافة الكتلة الحيوية (Biomass) الرافعة لاستجابة نطاق (NIR)، وتأثيرات التداخل الطيفي لخلفية التربة (Background Soil) ورطوبتها السطحية عند حواف التوسع العمراني.

### ثالثاً: نطاق الانحراف الحيزي السالب ( $\Delta=1$ ):

سجلت المنظومة البيئية لقضاء بلد تحولاً راديكالياً وتناظراً عكسياً في قيم الانحراف وعواملها الهيدرو-بيدولوجية بين فترتي الدراسة؛ ففي عام (1995) م برز نطاق الانحراف الحيزي السالب ( $\Delta=1$ ) ليشمل (4) محطات رصد، كما تشير بيانات جدول (3)، شاغلاً حيزاً مكانياً بلغت نسبته (7.6%) وبمساحة تعادل (64.6 كم<sup>2</sup>) من إجمالي مساحة المنطقة المدروسة، حيث سجلت قيم دليل الغطاء النباتي (NDVI) تفوقاً طيفياً بمقدار درجة واحدة على مؤشر الملوحة (SI) كالمحطة (11)، وتركز توزيع هذا النطاق عبر الأجزاء الزراعية النشطة والمشاريع الإروائية الكبرى في ناحية الإسحاقى والأشرطه المحاذية لسرير نهر دجلة، كما يتضح في خريطة (6) إثر فرض المظلة النباتية الكثيفة سيطرتها الطيفية وحمائتها للتربة السطحية من الانعكاس الملحي، وبالمقابل وانقلاباً للمعادلة الطيفية بحلول عام (2025) م حلّ محلّه نطاق الانحراف الحيزي الموجب ( $\Delta=1$ ) مقتصرأ على محطتين فقط (2 و3) وفقاً لبيانات الجدول (6)، ومستحوذاً على مساحة جغرافية بلغت (88.90 كم<sup>2</sup>) وبنسبة ارتفعت إلى (10.5%) من المساحة الإجمالية للمنطقة المدروسة، حيث سجلت هذه الفئة تفوقاً صريحاً لقيم دليل الملوحة (SI) على حساب الغطاء النباتي بمقدار درجة واحدة، ممّا يشير طيفياً إلى رجوح كفة المظهر الملحي وظهوره في هيئة تكتلات وبؤر حادة في خريطة (7)، وهو تحول يُعزى بنيوياً إلى المؤشرات المبكرة لتملح التربة والجفاف الهيكلي نتيجة تراجع جودة التربة بمعدل أسرع من الاستجابة الفينولوجية للنبات، لتتركز هذه المساحات في الأراضي المتاخمة للصحراء، والخطوط الإروائية المتقطعة شمال وشمال غرب القضاء، والشرق الحيزي لناحية يثرب (السبخات والأراضي البائرة المتدهورة) بفعل ضعف الصرف الطبيعي وقُرب المياه الجوفية الملحية التي حفّزت الخاصية الشعرية على ترسيب الأملاح سطحياً.

مستويات المطابقة الطيفية لمؤشري (NDVI) و(SI) في قضاء بلد لعام (1995)م						
رقم المحطة	قيمة مؤشر التربة (SI)	قيمة دليل النبات (NDVI)	قيمة الفرق الطيفي ( $\Delta$ )	النطاق والمطابقة الحيزية	المساحة كم <sup>2</sup>	النسبة %
1	5	5	0	نطاق المطابقة التامة	566.4	66.7
4	3	3	0	نطاق المطابقة		



		التامة				
		نطاق المطابقة التامة	0	5	5	5
		نطاق المطابقة التامة	0	4	4	6
		نطاق المطابقة التامة	0	2	2	7
		نطاق المطابقة التامة	0	4	4	8
		نطاق المطابقة التامة	0	4	4	9
		نطاق المطابقة التامة	0	4	4	10
		نطاق المطابقة التامة	0	5	5	12
		نطاق المطابقة التامة	0	2	2	15
		نطاق المطابقة التامة	0	2	2	16
		نطاق المطابقة التامة	0	3	3	17
		نطاق المطابقة التامة	0	4	4	18
		نطاق المطابقة التامة	0	2	2	20
		نطاق المطابقة التامة	0	1	1	21
		نطاق المطابقة التامة	0	1	1	22
25.7	218.6	انحراف حيزي موجب	1	4	5	2
		انحراف حيزي موجب	1	3	4	3
7.6	64.6	انحراف حيزي سالب	-1	4	3	11
		انحراف حيزي سالب	-1	5	4	13
		انحراف حيزي سالب	-1	3	2	14



		انحراف حيزي سالب	-1	2	1	23
100	849.60	المساحة المنطقه الكلية		0.8787	معامل الارتباط	23
مستويات المطابقة الطيفية لمؤشري (NDVI) و (SI) في قضاء بلد لعام (2025)م						

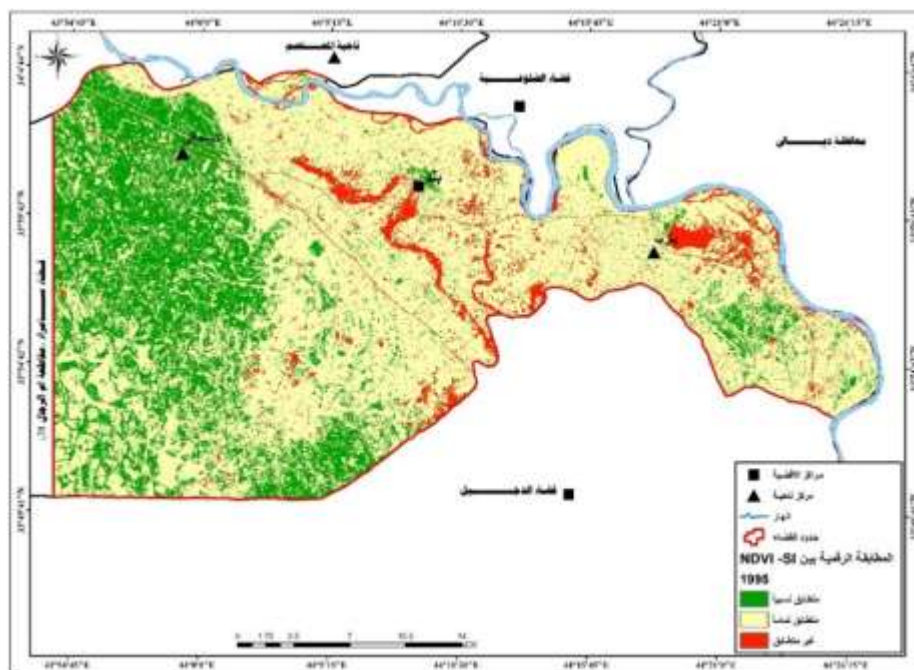
جدول (3): التوزيع الحيزي ومستويات المطابقة الطيفية لمؤشري (NDVI) و (SI) في قضاء بلد لعام (1995)م

النسبة %	المساحة (كم <sup>2</sup> )	النطاق والمطابقة الحيزية	قيمة الفرق الطيفي (Δ)	قيمة دليل النبات (NDVI)	قيمة مؤشر التربة (SI)	رقم المحطة
73.5	624.8	نطاق المطابقة التامة	0	5	5	1
		نطاق المطابقة التامة	0	3	3	4
		نطاق المطابقة التامة	0	5	5	5
		نطاق المطابقة التامة	0	4	4	6
		نطاق المطابقة التامة	0	2	2	7
		نطاق المطابقة التامة	0	4	4	8
		نطاق المطابقة التامة	0	4	4	9
		نطاق المطابقة التامة	0	4	4	10
		نطاق المطابقة التامة	0	5	5	12
		نطاق المطابقة التامة	0	2	2	15
		نطاق المطابقة التامة	0	2	2	16
		نطاق المطابقة التامة	0	3	3	17
		نطاق المطابقة التامة	0	4	4	18
		نطاق المطابقة التامة	0	2	2	20
10.5	88.9	انحراف حيزي موجب	1	4	5	2
		انحراف حيزي موجب	1	3	4	3
16.0	135.9	انحراف حيزي سالب	-1	4	3	11
		انحراف حيزي سالب	-1	5	4	13

رقم المحطة	قيمة مؤشر التربة (SI)	قيمة دليل النبات (NDVI)	قيمة الفرق الطيفي ( $\Delta$ )	النطاق والمطابقة الحيزية	المساحة (كم <sup>2</sup> )	النسبة %
14	2	3	-1	انحراف حيزي سالب		
19	3	5	-2	انحراف حيزي سالب		
23	1	2	-1	انحراف حيزي سالب		
23	معامل الارتباط		0.878	المساحة الكلية	849.6	100

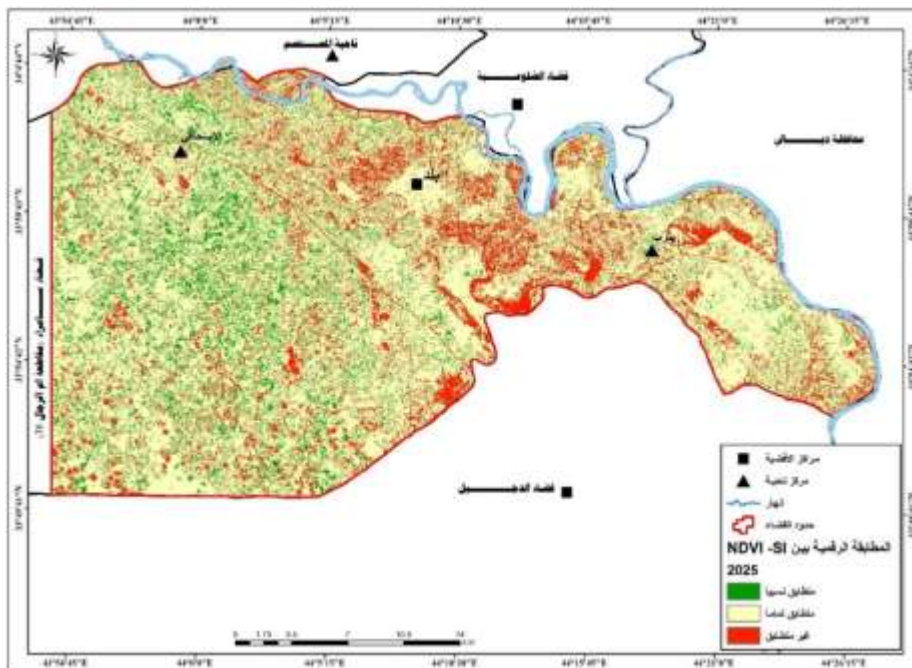
المصدر: من عمل الباحثة بالاعتماد على مخرجات خريطة (7) (8) والتحليل الحيزي باستخدام برنامج (ArcGIS/ENVI).

خريطة (6) مستويات المطابقة الحيزية والفرق الطيفية لمؤشري (SI) و(NDVI) في قضاء بلد لعام (1995)م.



المصدر: من عمل الباحثة بالاعتماد على مخرجات برنامج (ArcGIS) في تفكيك مصفوفة البيانات الرقمية وحساب الفرق حيزياً (Pixel-by-Pixel) باستخدام أداة (Raster Calculator) لبيانات مرئية القمر الاصطناعي (Landsat/5) لعام (1995) م.

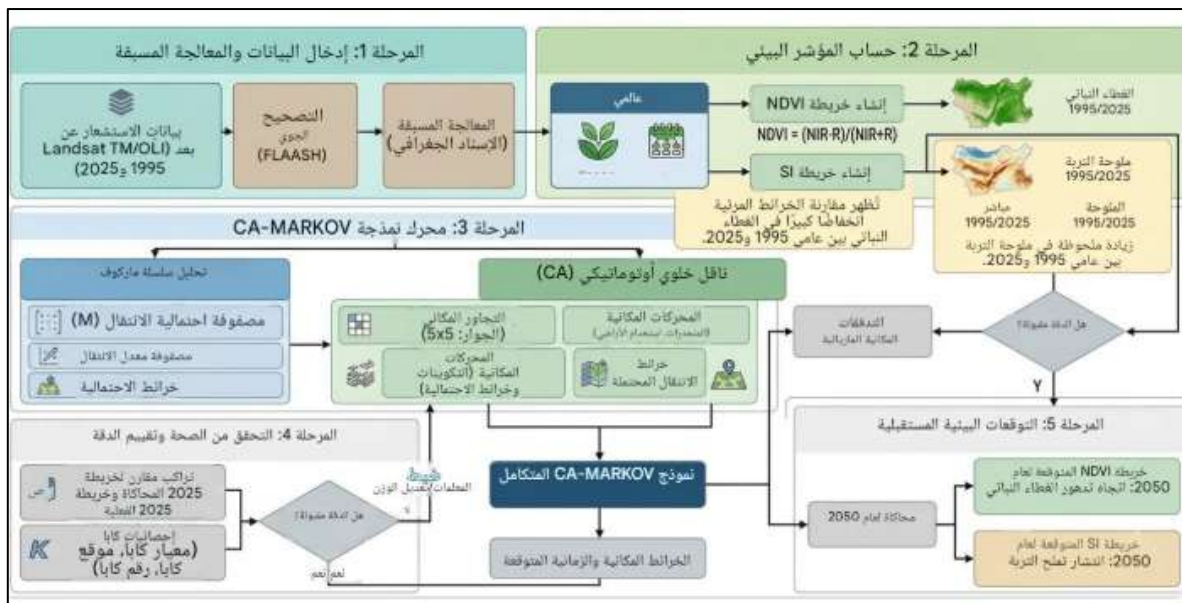
خريطة (6) مستويات المطابقة الحيزية والفرق الطيفية لمؤشري (SI) و(NDVI) في قضاء بلد لعام (2025)م.



المصدر: من عمل الباحثة بالاعتماد على مخرجات برنامج (ArcGIS) في تفكيك مصفوفة البيانات الرقمية وحساب الفروق حيزياً (Pixel-by-Pixel) باستخدام أداة (Raster Calculator) لبيانات مرئية القمر الاصطناعي (Landsat 9) لعام (2025) م.

رابعاً: التنبؤات المستقبلية لمؤشري الملوحة (SI) والغطاء النباتي (NDVI) لعام (2050) م. تُعد النمذجة التنبؤية ركيزة لاستقراء سيناريوهات التدهور البيئي وتغيرات الغطاء الأرضي لعام 2050م. وتتيح برمجية (ArcGIS Pro) ومنصة (Google Earth Engine) معالجة السلاسل الزمنية لمؤشري الاختلاف الخضري (NDVI) وملوحة التربة (SI). وتبرز أهمية أتمتة هذه البيانات ونمذجتها عبر برمجية (TerrSet) بالاعتماد على خوارزمية (CA-Markov) في تتبع جبهات الزحف الملحي نحو النطاقات الحيوية بقضاء بلد، مما يسهم في التنبؤ بمسارات التصحر وتحديد بؤر الهشاشة البيئية بدقة مكانية عالية. ويستند هذا الأسلوب الرياضي الاستشراقي على مصفوفات الانتقال الاحتمالية لتقييم سيناريوهات التدهور المستقبلي، وفهم آليات التفاعل بين التملح وانحسار الغطاء النباتي؛ صياغةً لإجراءات مستدامة تحد من تدهور الأراضي وتدعم خطط استصلاح التربة لضمان الأمن الغذائي. ويتضح الهيكل الإجرائي والمعالجة الرقمية لهذه الديناميكيات عبر خمس مراحل مترابطة يجسدها الشكل (1) الآتي:

شكل (3): المخطط المنهجي المتكامل لنموذج (CA-Markov) المدمج مع المؤشرات البيئية للتنبؤ بالتغير الزمني والمكاني للغطاء النباتي وملوحة التربة لقضاء بلد لعام 2050م.



المصدر: من عمل الباحثة استناداً إلى معطيات البرمجيات الجيومكانية ومخرجات المحاكاة الرقمية. يُظهر التحليل المقارن والتقاطع الإحصائي بين التنبؤ الرقمي لمؤشر الملوحة (SI) ومؤشر الاختلاف الخضري الطبيعي (NDVI) لعام (2050) م؛ وضمن المساحة الكلية الثابتة لقضاء بلد والبالغة (849.6 كم<sup>2</sup>)، علاقة ارتباطية مكانية عكسية حادة (Inverse Spatial Correlation) بين زحف التملح وانحسار الغطاء الخضري وتوضح هذه المنظومة الرقمية والبيئة المكانية المقاسة كمياً في جدول (4) وخريطة (8) التنبؤية لمؤشر الاختلاف الخضري الطبيعي (NDVI) وخريطة (9) التنبؤية لمؤشر ملوحة التربة (SI)، تجسد مستويات التدرج المساحي والانتشار الجغرافي على النحو الآتي:

- صنف النطاقات العديمة:** تشغل المساحات عديمة الملوحة (322.4) كم<sup>2</sup> بنسبة (37.9) % من إجمالي المساحة للمنطقة المدروسة، بينما يمتد الغطاء النباتي العديم على مساحة (273.8) كم<sup>2</sup> بنسبة (32.2) % من إجمالي المساحة للمنطقة المدروسة، وفقاً لبيانات جدول (7)؛ وينتشر هذا الصنف جغرافياً في الأجزاء الغربية والشمالية الغربية من المنطقة (نطاق الهضبة والظهير الصحراوي)، حيث تظهر خريطة (8) التنبؤية لمؤشر ملوحة التربة (SI) وخريطة (9) التنبؤية لمؤشر (NDVI) تطابقاً مكانياً واضحاً في هذه الأجزاء بين انعدام الأملاح وانعدام الخضرة نتيجة للجفاف المباشر والتصحر الطبيعي والبعد عن مصادر الري.

- صنف النطاقات الضعيفة:** تسجل ملوحة التربة الضعيفة مساحة تبلغ (188.5) كم<sup>2</sup> بنسبة (22.2) % من إجمالي المساحة للمنطقة المدروسة، ويقابلها غطاء نباتي ضعيف على مساحة (181.3) كم<sup>2</sup> بنسبة (21.3) % من إجمالي المساحة للمنطقة المدروسة بحسب جدول (4)؛ وينتشر هذا الصنف في الأجزاء الشمالية والانتقالية الشبه صحراوية التي تفصل بين الهضبة الغربية والمناطق السهلية المستصلحة، وتوضح خريطة (9) التنبؤية لمؤشر (NDVI) بالتكامل مع خريطة (8) مؤشر (SI) تركيز هذا الصنف في تلك الأجزاء كخط دفاع بيئي أول معرض للتحويل نحو النطاقات المتدهورة.

- صنف النطاقات المتوسطة:** تظهر الفجوة البيئية كمياً في جدول (7)، حيث تبلغ مساحة الملوحة المتوسطة (126) كم<sup>2</sup> بنسبة (14.8) %، في حين يشغل الغطاء النباتي المتوسط مساحة (197.4) كم<sup>2</sup> بنسبة

(23.2) %؛ وينتشر هذا الصنف مكانياً في الأجزاء الوسطى والجنوبية من القضاء، وتكشف المقارنة الخرائطية بين خريطة مؤشر (SI) وخريطة مؤشر (NDVI) التنبؤيتين عن تداخل هذه البيئة في أراضي الحظر والضغط الأسموزي في تلك الأجزاء، مما يفسر وجود مساحات زراعية تحتفظ بنشاط نباتي مؤقت لكنها مهددة بالتملح التام بحلول عام (2050) م.

• **صنف النطاقات الجيدة:** تشغل الأراضي ذات الغطاء النباتي الجيد مساحة تبلغ (139.8) كم<sup>2</sup> ونسبة تعادل (16.5) % من إجمالي المساحة للمنطقة المدروسة، كما يوضحها جدول (4)؛ وينتشر هذا الصنف جغرافياً في الأجزاء الجنوبية الشرقية المحيطة بالمشاريع الزراعية القائمة والمستقرة رياً، وتظهره خريطة (9) التنبؤية لمؤشر (NDVI) بالتوازي مع خريطة (8) مؤشر (SI) في هذه الأجزاء كنطاق مرن يواجه خطر الانكماش نتيجة زحف الملوحة المتوسطة المجاورة له.

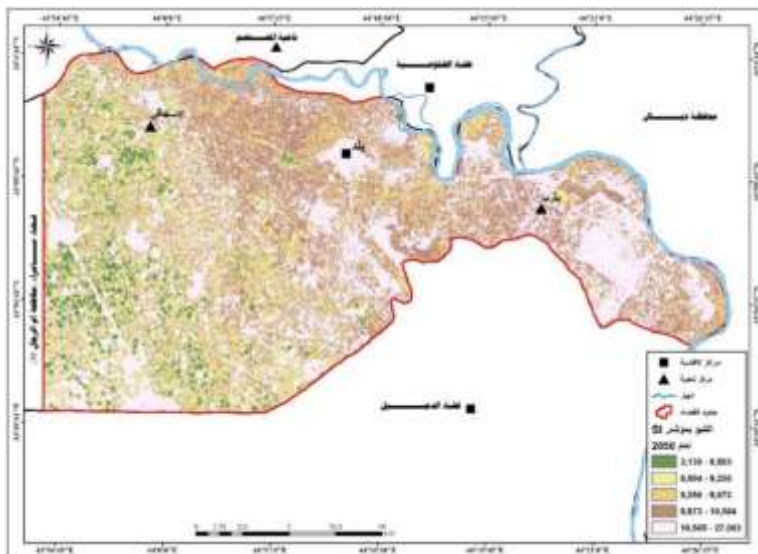
• **صنف النطاقات الكثيفة:** تتكمش الأراضي ذات الغطاء النباتي الكثيف رقمياً في جدول (6) إلى أضيق رقعة مساحية تبلغ (57.3) كم<sup>2</sup> بنسبة (6.7) % من إجمالي المساحة للمنطقة المدروسة؛ وتنتشر جغرافياً في الأجزاء الشرقية وضمن النطاق الفيضي المحاذي لضفاف نهر دجلة وقنوات الري الرئيسية. وفي المقابل، تنتشر الملوحة الشديدة (الجيدة والكثيفة) بمساحة أوسع تبلغ (212.7) كم<sup>2</sup> بنسبة (25) % من إجمالي المساحة للمنطقة المدروسة، وهو ما تجسده بوضوح خريطة (8) التنبؤية لمؤشر ملوحة التربة (SI) مقارنة مع خريطة (9) مؤشر (NDVI) عبر انتشارها في نفس هذه الأجزاء المستصلحة، مما يؤشر إلى تهديد مباشر بتمدد الأملاح مستقبلاً نحو النطاقات الكثيفة الخضرة.

تؤكد المقارنة الرقمية والمكانية لعام (2050) م فرضية العلاقة العكسية بين المؤشرات البيئية في جدول (7)؛ فكلما تمددت مستويات ملوحة التربة (SI) جغرافياً وفقاً لخريطة مؤشر (SI)، تراجعت قيم مؤشر الاختلاف الخضري الطبيعي (NDVI) وانكشمت مساحته الكثيفة. وبناءً على هذا التوزيع، فإن ما يعادل (73.3) % من المساحة الإجمالية لقضاء بلد ستعاني عام (2050) م من تدهور بيئي مركب يتراوح بين غياب الخضرة وتملح التربة، مما يتطلب تدخلاً عاجلاً عبر تقنيات الري الحديثة وبزل التربة لحماية الأمن المائي والغذائي للمنطقة.

جدول (4): التوزيع المساحي والنسبي المتوقع لمؤشري (SI) و (NDVI) لقضاء بلد عام (2050) م.

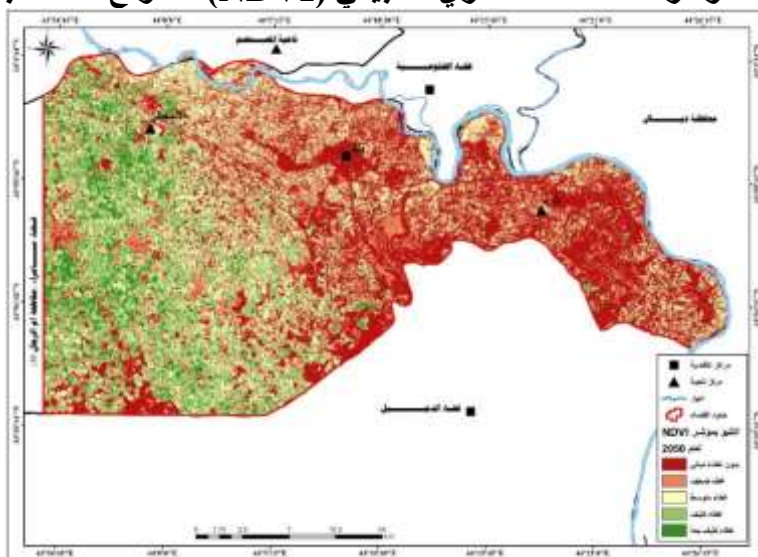
الغطاء النباتي المتوقع 2050 (NDVI)		ملوحة التربة المتوقعة 2050 (SI)		التصنيف البيئي
النسبة (%)	المساحة (كم <sup>2</sup> )	النسبة (%)	المساحة (كم <sup>2</sup> )	
32.2	273.8	37.9	322.4	العديمة
21.3	181.3	22.2	188.5	الضعيفة
23.2	197.4	14.8	126	المتوسطة
16.5	139.8	18.2	154.7	الجيدة
6.7	57.3	6.8	58	الكثيفة
100.0	849.6	100.0	849.6	المجموع الكلي

المصدر: من عمل الباحثة اعتماداً على الخريطين (3) و (8) باستخدام برنامج (GIS).  
خريطة (8) التنبؤية لمؤشر ملوحة التربة (SI) المتوقع لقضاء بلد لعام (2050) م.



المصدر: من عمل الباحثة بالاعتماد على تطبيق نموذج التنبؤ الرقمي (CA-Markov) لمؤشر ملوحة التربة (SI).

خريطة (9) التنبؤية لمؤشر الاختلاف الخضري الطبيعي (NDVI) المتوقع لقضاء بلد لعام (2050)م.



المصدر: من عمل الباحثة بالاعتماد على تطبيق نموذج التنبؤ الرقمي (CA-Markov) لمؤشر الغطاء النباتي (NDVI)

أولاً: الاستنتاجات (Conclusions)

١. ثبت كارتوغرافياً وإحصائياً حدوث انقلاب راديكالي في المنظومة البيدولوجية لقضاء بلد؛ فبعد أن كان المشهد الأرضي عام (1995) م محكوماً بحالة اتزان هيدروليكي نسبي تمثلت في هيمنة الأصناف منخفضة الملوحة بنسبة (56.9) %، تدهورت الخصائص الفيزيوكيميائية للتربة بحلول عام (2025) م لتصل إلى "العتبة الحرجة القسرية" (Critical Threshold) بفعل التملح الثانوي، حيث بسطت الرُتب المتدهورة (المتوسطة، العالية، والعالية جداً) نفوذها الحيزي على (72.8) % من المساحة الكلية للقضاء. ويُعزى هذا التسارع إلى تفوق معدلات التبخر الحراري على كفاءة

الصرف، مما حوّل المنخفضات إلى مصائد ملحية (Salt Traps) تفقد التربة فيها خصوبتها بشكل غير ارتدادي.

٢. كشفت مخرجات دليل الاختلاف الخضري (NDVI) لعام 2025م عن حدوث تفتت مساحي حاد (Spatial Fragmentation) في بنية النطاقات الخضرية؛ حيث تراجت رتب "الذروة الخضرية" (الكثيفة والكثيفة جداً) من عتبة الهيمنة المطلقة عام (1995) م بنسبة (53.5) % لتتكشف إلى (23.2) % عام (2025) م. وتزامن هذا التراجع مع قفزة نوعية لصنف الأراضي عديمة الغطاء النباتي ليتصدر المشهد بمساحة (273.8) كم<sup>2</sup> وبنسبة (32.2) %، مما يثبت فسيولوجياً دخول المجتمعات النباتية في طور الإجهاد المائي الحاد (Physiological Water Stress) الذي قوض طاقة التمثيل الضوئي (Photosynthetic Capacity) وحوّل المنطقة إلى بيئة زراعية هشة.

٣. تجاوزت الدراسة التعميم الإحصائي لمعامل ارتباط بيرسون البالغ (0.878) حيث أثبت الفحص المكاني المستقل (Pixel-by-Pixel Discrepancy Approach) أن هذا التلازم الطردي القوي يعكس استجابة جيوفيزيائية معقدة؛ إذ يؤدي ارتفاع مناسيب المياه الجوفية القريبة من السطح إلى تداخل طيفي للرطوبة السطحية (Topsoil Moisture)، مما يرفع قيم دليل الملوحة (SI) مستشعرياً، وفي الوقت ذاته يدعم نمو النباتات الملحية (Halophytes). وقد نجحت مصفوفة الفروق الحيزية ( $\Delta$ ) في رصد الطفرات المكانية الحرجة لنطاق الانحراف السالب بنسبة (16.0) %، حيث فرضت المظلة الخضرية الكثيفة حظراً طيفياً حجب الانعكاس الملح السطحي في النطاق الأحمر المرئي (Red Band).

٤. أثبتت المحاكاة المكانية القائمة على خوارزمية السلاسل الزمنية (CA-Markov) أن المنظومة البيئية لقضاء بلد تسير نحو تدهور مركب بحلول عام 2050م؛ حيث ستعاني (73.3) % من المساحة الإجمالية للقضاء من تلازم "انعدام الخضرة والتملح الحاد". وتؤكد مصفوفات الانتقال الاحتمال (Transition Probability Matrices) تآكل النطاقات الحماية (Protection Zones) وظهير الزراعي المستقر رياً (كناحيي يثرب والإسحافي)، وتحولها التدريجي نحو مراتب عالية الإجهاد الأسموزي نتيجة لتعطل شبكات الصرف ونشاط الخاصية الشعرية (Capillary Action) الناتجة عن التغير المناخي المستقبلي الشديد.

#### ثانياً: التوصيات (Recommendations)

١. توصي الدراسة بالإبقاء الفوري لنظم الري السطحي (السيحي) التقليدي في القطاعات المتضررة، والاستعاضة عنها بنظم ري مغلقة ذكية (كالري بالتنقيط تحت السطحي) متكاملة مع شبكات صرف عمودي ومغطى (Tile Drainage) مصممة هيدروليكيّاً لخفض مستوى الماء الأرضي ودون العتبة الحرجة، لمنع الصعود الشعري للأملح وصيانة التوازن الملح-مائي في منطقة الجذور (Root Zone).

٢. اعتماد دورات زراعية دورية تتضمن إدخال محاصيل استصلاحية ومقاومة للملوحة (نباتات البيئات الجافة)، بالتوازي مع جدولة عمليات غسل هيدرولوجي منظم ومنتظم للتربة (Soil Leaching) خلال مواسم الوفرة المائية لنهر دجلة، لضمان حركة المياه العمودية نحو الأسفل وجرف التراكم الملحية بعيداً عن الأفاق السطحية للتربة.

٣. تأسيس أحزمة خضراء واقية (Buffer Zones) ومستدامة على الحواف الفاصلة بين القطاعات الهامشية المتصحرة غرباً والمركز الزراعي شرقاً، وزراعتها بأشجار حرجية معمرة ذات استهلاك مائي



مدرّوس وقدرة عالية على احتجاز الكربون (Carbon Sequestration)، لتثبيت التربة الرملية والحد من زحف بؤر الهشاشة البيئية الحادة نحو الأراضي المستصلحة.

٤. تبني نموذج رصد جيو-مكاني مستدام مستند إلى القدرات الحسابية السحابية لمنصة (Google Earth Engine)، يعمل على معالجة السلاسل الزمنية للمؤشرات الطيفية فصلياً؛ بهدف رصد ظفرات التملح في "مرحلتها الحرجة الأولى" (المتوسطة) وتحديد الجيوب المتصحرة بدقة بكسلية عالية قبل وصول التربة إلى مرحلة التدهور البيولوجي غير الارتدادي.

٥. تشريعات حماية التربة الصارمة لمنع تجريف البساتين الدائمة والغطاء النباتي الفيضي (Riparian Zones)، وحظر التمدد العمراني والأنشطة الأنتروبوجينية القسرية التي تنشئ أسطحاً صماء (Impervious Surfaces)؛ حيث أثبتت الدراسة أن هذه الأسطح تشكل فراغات بيئية كتومة ترفع من حدة الجفاف الميكروكليمي المحتوم للمنطقة.

المراجع

1 خالد أحمد الدليمي، و يوسف عبد القادر السامرائي. (2024). مذجة ظاهرة الجفاف وتأثيرها على النطاقات النباتية الكثيفة في محافظة صلاح الدين باستخدام مؤشر NDVI. المجلة العراقية لعلوم الأرض، المجلد (24) العدد (1).

2 عمر خليل الحمداني، و مروان عبد الملك الحديثي. (2024). تحليل السلاسل الزمنية لمؤشر NDVI لمراقبة تشرذم الأراضي الزراعية وأثر الشح المائي في العراق. المجلة العراقية للاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية. المجلة العراقية للاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية، المجلد ( 12 ) العدد (1).

3 أحمد صالح الخفاجي، و صابر جاسم العبيدي. (2023). التحليل المكاني والزمني لتدهور التربة بتأثير الملوحة باستخدام تقنيات الاستشعار عن بعد. (١٠ المجلد، العدد ٢) مجلة جامعة الأنبار للعلوم الإنسانية. 4 صدام غازي التكريتي. (2023). رصد وتفسير التداخل الطيفي والخصائص الفينولوجية للنباتات الملحية في السهل الرسوبي باستخدام تقنيات الاستشعار عن بعد. مجلة تكريت للعلوم الزراعية، المجلد (23) العدد (4).

5 عبد الوهاب عبد الرزاق النعيمي. (2010). يانة التربة واستصلاح الأراضي الملحية في العراق. مديرية دار الكتب للطباعة والنشر، جامعة الموصل.

6 عمر عبد الله الحديثي، و خالد أ أحمد الراوي. (2019). دراسة التغيرات المكاني لملوحة التربة باستخدام تقنيات RS ونظم المعلومات الجغرافية GIS في الأقاليم شبه الجافة الوسطى من العراق. (المجلد 23، العدد ١، المحرر) المجلة العراقية للعلوم الزراعية.

7 قتيبة توفيق السامرائي. (2018). لديناميكية المكانية للمياه الجوفية وأثرها في تملح أراضي قضاء بلد والإسحاقي. مجلة سر من رأى للعلوم الإنسانية، المجلد (14) العدد (52).

8 مصطفى كامل الراوي. (2023). تقييم التدهور البيئي للغابات النهرية وبيئات ضفاف نهر دجلة باستخدام المؤشرات الطيفية. جلة تكريت للعلوم الصرفة، المجلد (28) العدد (2).

9 A. A. Elnaggar , & S. Noller. (2010). Application of remote sensing-based salinity indices for mapping soil salinity in arid lands. (N. 8. Vol. 74, Ed.) Journal .of Arid Environments



- Al-Falahi , A., Suliman, A., & Al-Atabi, J. (2026). Survey and geospatial 10 analysis of soil salinity and environmental degradation in calcareous soils of .(central Iraq. Journal of Engineering and Sustainable Development,30(1
- Dutta, S., Kumar, R., & Mishra, A. (2026). Remote sensing insights into 11 vegetation productivity and phenological change in semi-arid environments. .Environmental Monitoring and Assessment, 198(1
- Huang, S. 2. (2022). Spatio-temporal changes of NDVI and its response to 12 .climate change and human activities. Ecological Indicators, 108482
- Malik , R., Ahmed, S., & Khan, M. (2025). Influence of land use/land cover 13 dynamics on urban surface metrics and declining soil quality in semi-arid .environments. . Land, 14(9
- Todd, D. K., & Mays, L. W. (2005). Groundwater Hydrology (Vol. 3rded). 14 .John Wiley & Sons
- Wang et al, t. (2026). Spectrally Derived Soil Salinization Information 15 . Extraction and Analysis of Driving Factors. (n. 1. 18, Ed.) Remote Sensing