ISSN: 1994-4217 (Print) 2518-5586(online)

Journal of College of Education

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

Maps of Land Cover Degradation in Iraq Using Remote Sensing and Geographic Information Systems (RS-GIS)

Dr. Diaa Al-Din Abdul Hussein Owaid

Dr. Aseel Jassim Mohammed Awash

University of Wasit, College of Education for Humanities

Email:
aseeljassim@uowasit.edu.iq
dawaid@uowasit.edu.iq

Keywords:

(RS) , GIS, Composite Land Degradation , (AHP), Markov Model

A r t i c l e i n f o

Article history:

Received 20. Jun 2026

Accepted 21. Jul.2026

Published 25. Aug.2026

A B S T R A C T

This study aimed to produce and analyze land cover degradation maps in Iraq during the period 2015–2025 using Remote Sensing (RS) and Geographic Information Systems (GIS). A Composite Land Degradation Index (CLDI) was developed based on the integration of the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Bare Soil Index (BSI), Soil Salinity Index (SSI), Desertification Severity Index (DSI), and Water Index, with the Analytical Hierarchy Process (AHP) and the Weighted Overlay technique applied to determine the relative weights of the selected indicators and generate land degradation maps. In addition, the Markov model was employed to analyze Land Use/Land Cover (LULC) changes and predict their future spatial patterns. The results revealed a significant decline in vegetation cover accompanied by an expansion of bare and degraded lands during the study period, with considerable spatial variation in degradation levels across Iraq. The integration of RS-derived indicators, GIS spatial analysis, and field survey data significantly improved the accuracy of degradation mapping and spatial classification. Furthermore, the Markov model indicated that Land Use/Land Cover changes affected 73.28% of Iraq's total area, while the Composite Land Degradation Index (IDI–DSI) showed that degraded lands accounted for approximately 45.5% of the country's area. The findings demonstrate that integrating RS and GIS techniques with the composite degradation index and the Markov model provides an effective spatial framework for monitoring land cover degradation, predicting future changes, and supporting environmental planning and the sustainable management of natural resources in Iraq

© 2026 EDUJ, College of Education for Human Science, Wasit University

DOI: https://doi.org/10.31185/eduj.Vol64.Iss2.5541

خرائط تدهور الغطاء الأراضي في العراق باستخدام تقنيتي الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية RS–GIS

أ.م.د. ضياء الدين عبد الحسين عويد م.د. اصيل جاسم محمد عواش

جامعة واسط /كلية التربية للعلوم الإنسانية

المستخلص

هدف البحث الرئيس هو إعداد وتحليل خرائط تدهور الغطاء الأرضي في العراق خلال المدة (٢٠١٥–٢٠٢٥) باستخدام تقنيات الاستشعار عن بعد (RS) ونظم المعلومات الجغرافية (GIS)، من خلال بناء مؤشر مركب لتدهور الأراضي ومؤشرات الغطاء النباتي (NDVI)، والتربة العارية (BSI)، وملوحة التربة (SSI)، ودرجة مستويات التصحر، ومؤشر المياه، مع تطبيق أسلوب التحليل الهرمي (AHP) وWeighted Overlay لتحديد الأوزان النسبية للمؤشرات. كما استُخدم نموذج Markov لتحليل تغير استعمالات الأراضي والتنبؤ بالأنماط المستقبلية لتغيراتها. أظهرت النتائج حدوث تراجع في مساحات الغطاء النباتي مقابل زيادة الأراضي العارية والمتدهورة خلال مدة الدراسة، مع تباين مكاني واضح في درجات التدهور بين مناطق العراق. وأن دمج مؤشرات الاستشعار عن بعد مع تقنيات نظم المعلومات الجغرافية، وربطها بالمسح الميداني، أسهم في رفع دقة تصنيف مناطق التدهور وإنتاج خرائط أكثر موثوقية. واعتماد نتائج نموذج ماركوف للتغير في استعمالات الأراضي بلغ ٧٣.٢٨٪ من مساحة العراق، في حين بلغ معدل تدهور الأراضي وفق المؤشر المركب (IDI–DSI) نحو ٤٥.٥٪ من مساحة البلاد. وتؤكد الدراسة أن التكامل بين تقنيات RS–GIS، والمؤشر المركب، ونموذج Markov يمثل إطارًا مكانيًا متقدمًا لرصد تدهور الغطاء الأرضي، والتنبؤ باتجاهاته المستقبلية، ودعم التخطيط البيئي والإدارة المستدامة للموارد الطبيعية في العراق.

الكلمات المفتاحية: الاستشعار عن بعد لتدهور الغطاء الأرضي، نظم المعلومات الجغرافية، تدهور الأراضي المركب، التحليل الهرمي، نموذج ماركوف.

أولا: مشكلة البحث: تمثل مشكلة البحث في التساؤل الرئيس الآتي:

مشكلة البحث تمثل قلة الدراسات لمعالجة تدهور الغطاء الأراضي في العراق نتيجة صعوبة الحصول على البيانات الدقيقة للكشف عن حجم التدهور البيئي لقياس تدهور الأراضي في العراق، تم الاعتماد على بيئة نظم المعلومات الجغرافية (GIS)، لإنتاج خرائط رقمية دقيقة تُظهر مستويات تدهور الأراضي وتدعم عملية اتخاذ القرار في إدارة الموارد الطبيعية وتحقيق التنمية المستدامة والحد من درجات التدهور؟ وينبثق عن هذا التساؤل الرئيس عدد من التساؤلات الفرعية، أهمها:

١- هل تتوافر معايير علمية مناسبة لاختيار وقياس مؤشرات تدهور الأراضي في العراق؟

٢- هل تمثل مؤشرات NDVI، وLST، وSI، وNDDI، وLULC، والانحدار (Slope) مؤشرات كافية وفعالة لتفسير التباين المكاني والزماني لتدهور الأراضي؟

٣- هل يمكن دمج هذه المؤشرات في مؤشر مركب لحساب تدهور الأراضي (Land Degradation Index – LDI) باستخدام تقنية Weighted Overlayداخل بيئة نظم المعلومات الجغرافية؟

٤- هل للعوامل الطبيعية والبشرية تأثير على تدهور الأراضي بالعراق .

ثانيا: فرضيات البحث:

تنطلق الدراسة من الفرضية الرئيسة الآتية: توجد إمكانية لبناء نموذج خرائطي مكاني وزماني يعتمد على معايير ومؤشرات بيئية متعددة، ودمجها في مؤشر مركب ضمن بيئة نظم المعلومات الجغرافية(GIS) ، بما يحقق قياسًا دقيقًا لمستويات تدهور الأراضي في العراق، ويوفر قاعدة علمية لدعم اتخاذ القرار في إدارة الموارد الطبيعية. وتنبثق عن هذه الفرضية الرئيسة الفرضيات الفرعية الآتية:

١- توجد معايير مناسبة لقياس وتقييم مؤشرات تدهور الأراضي في العراق بما ينسجم مع توفر البيانات للخصائص البيئية والمناخية.

٢- تسهم مؤشرات الغطاء النباتي(NDVI) ، ودرجة حرارة سطح الأرض(LST) ، ومؤشر الملوحة(SI) ، ومؤشر الجفاف (NDDI)، واستعمالات وغطاء الأرض(LULC) ، ودرجة الانحدار (Slope) بدرجات متفاوتة في تفسير التباين المكاني والزماني لتدهور الأراضي.

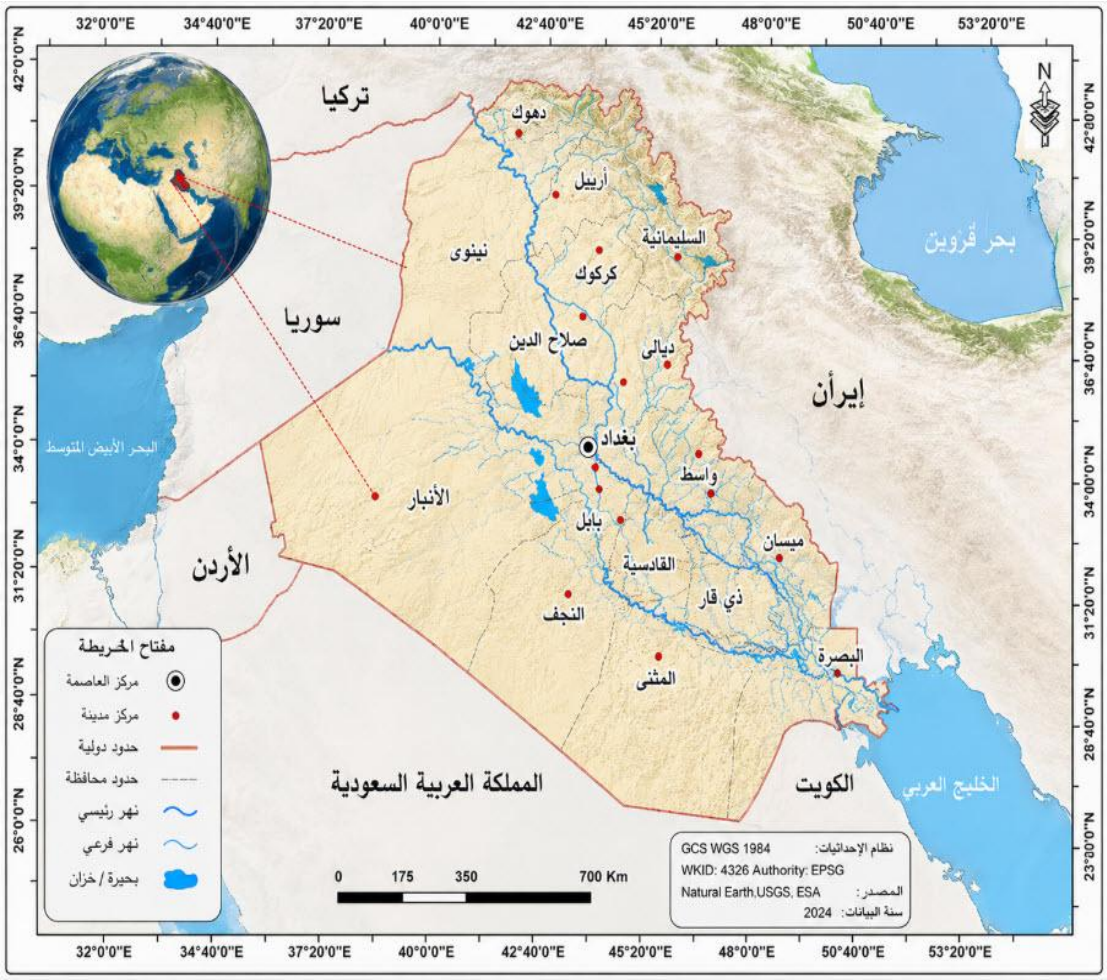
٣- يؤدي دمج المؤشرات البيئية في مؤشر مركب لتدهور الأراضي (LDI) باعتماد تقنية **Weighted Overlay** إلى تحسين دقة تصنيف مستويات التدهور مقارنة بالاعتماد على المؤشرات المنفردة.

٤- يسهم التمثيل الخرائطي باستخدام نظم المعلومات الجغرافية في إظهار الأنماط المكانية والزمانية لتدهور الأراضي، وتحديد مناطق التدهور بدرجاتها المختلفة بدقة عالية. باختلاف دقة قيمة البكسل لاختلاف مقياس الرسم الصغير لكبر مساحة التغطية المكانية.

ثالثا: حدود منطقة البحث:

تتمثل الحدود بموقع العراق الجغرافي والفلكي من الناحية الجغرافية يقع العراق في الجزء الشمالي الشرقي من الوطن العربي والجنوب الغربي من قارة اسيا اما الدول المجاورة للعراق من الشمال تركيا بحدود تبلغ (٣٧٧كم) ومن الشرق جمهورية إيران الإسلامية بحدود تبلغ (١,٣٠٠كم) ومن الجنوب الكويت بحدود تبلغ (١٩٥كم) ومن الجنوب الغربي المملكة العربية السعودية بحدود تبلغ (٨١٢كم) ومن الغرب الأردن بحدود تبلغ طولها (١٧٨كم) ومن الشمال الغربي سوريا بحدود تبلغ طولها (٦٠٠كم). اما الموقع الفلكي يقع العراق بين دائرتي عرض (٢٩.٦–٣٧.٢٧) شمالا وبين خطي طول (٣٨.٣٩ – ٤٨.٣٦) شراقا. ينظر خريطة (١). تبلغ مساحة العراق (٤٣٥,٠٥٢كم٢).

خريطة (١) موقع العراق الفلكي والجغرافي



المصدر: من عمل الباحثين بالاعتماد على Natural Earth USGS ESA 2024

رابعا: منهجية البحث: اعتمد البحث على منهجين رئيسين، هما:

١- المنهج الاستقرائي الوصفي التحليلي:

اعتمد البحث المنهج لوصف ظاهرة تدهور الغطاء الأرضي في العراق وتحليل خصائصها المكانية والزمانية، عن طريق جمع البيانات وبناء الخرائط الرقمية الخاصة بتدهور الغطاء الأرضي ونمذجتها وتحليلها باستخدام تقنيات نظم المعلومات الجغرافية (GIS) والاستشعار عن بعد (Remote Sensing). كما استُخدم هذا المنهج في استنباط النتائج وتفسير العلاقات المكانية بين مظاهر التدهور والعوامل الطبيعية والبشرية المؤثرة فيها، مع توظيف النمذجة المكانية وبناء النماذج الإحصائية والرياضية لتحليل البيانات واستخلاص المؤشرات العلمية التي تُسهم في تقييم درجة التدهور وتحديد أنماطه واتجاهاته.

٢-المنهج الإحصائي المقارن:

اعتمد البحث المنهج الإحصائي المقارن لإجراء المقارنات المكانية والزمانية بين الخرائط الرقمية والمرئيات الفضائية متعددة لعام ٢٠١٥-٢٠٢٥ وبيانات المسح الميداني، بهدف الكشف عن حجم التغيرات على الغطاء الأرضي في العراق. كما استُخدمت المؤشرات الطيفية المستخرجة من المرئيات الفضائية، مثل مؤشر الغطاء النباتي (NDVI)، ومؤشر تدهور

الأراضي (NDDI)، ومؤشر الملوحة (SI)، ومؤشر الارتفاع والانحدار ومؤشر درجات التعرية إلى جانب الأساليب الإحصائية المناسبة، لقياس حجم تدهور الأراضي وتحليل توزيعه المكاني، والتحقق من دقة النتائج، وصولًا إلى تحديد المناطق الأكثر تعرضًا للتدهور وتقييم درجة التغير خلال مدة الدراسة.

خامسا: أهمية الدراسة: تتمثل أهمية البحث بما يأتي

١-رصد وتحليل التغيرات المكانية والزمانية لتدهور الغطاء الأرضي في العراق للمدة ٢٠١٥-٢٠٢٥

٢-إنتاج خرائط رقمية حديثة عالية الدقة باستخدام تقنيات RS-GIS لتدهور الأراضي بالعراق

٣-بناء قاعدة بيانات جغرافية متكاملة تدعم التخطيط وإدارة الموارد الطبيعية لتغير استعمالات الاراض.

٤-تحديد المناطق الأكثر تعرضًا للتدهور وتصنيفها وفق مستويات الخطورة لأراضي العراق.

٥-دعم جهود مكافحة التصحر وتدهور الأراضي وتحسين كفاءة استغلال الموارد الطبيعية.

٦-توفير معلومات مكانية دقيقة تساعد صناع القرار في وضع السياسات البيئية والتنموية.

٧-تقديم منهجية علمية قابلة للتطبيق في الدراسات المستقبلية الخاصة برصد التغيرات البيئية على المستويين الوطني والإقليمي.

سادسا: خطوات العمل: وتشمل

١- **تجهيز البيانات** (Pre-processing) وتشمل البيانات التالية :

أ - تحميل صور Sentinel-2 .

ب- إزالة الغيوم (Cloud Mask).

ج- Mosaic للمرئيات.

د- عمل Clip على حدود العراق.

و- إعادة الإسقاط إلى UTM Zone 38N أو WGS84 **ع**- توحيد الدقة المكانية (٣٠ أو ١٠ م) ينظر شكل (١) .

٢- **خريطة التغيرات الزمنية المستخرجة من مرئيات الأقمار الصناعية** وتشمل

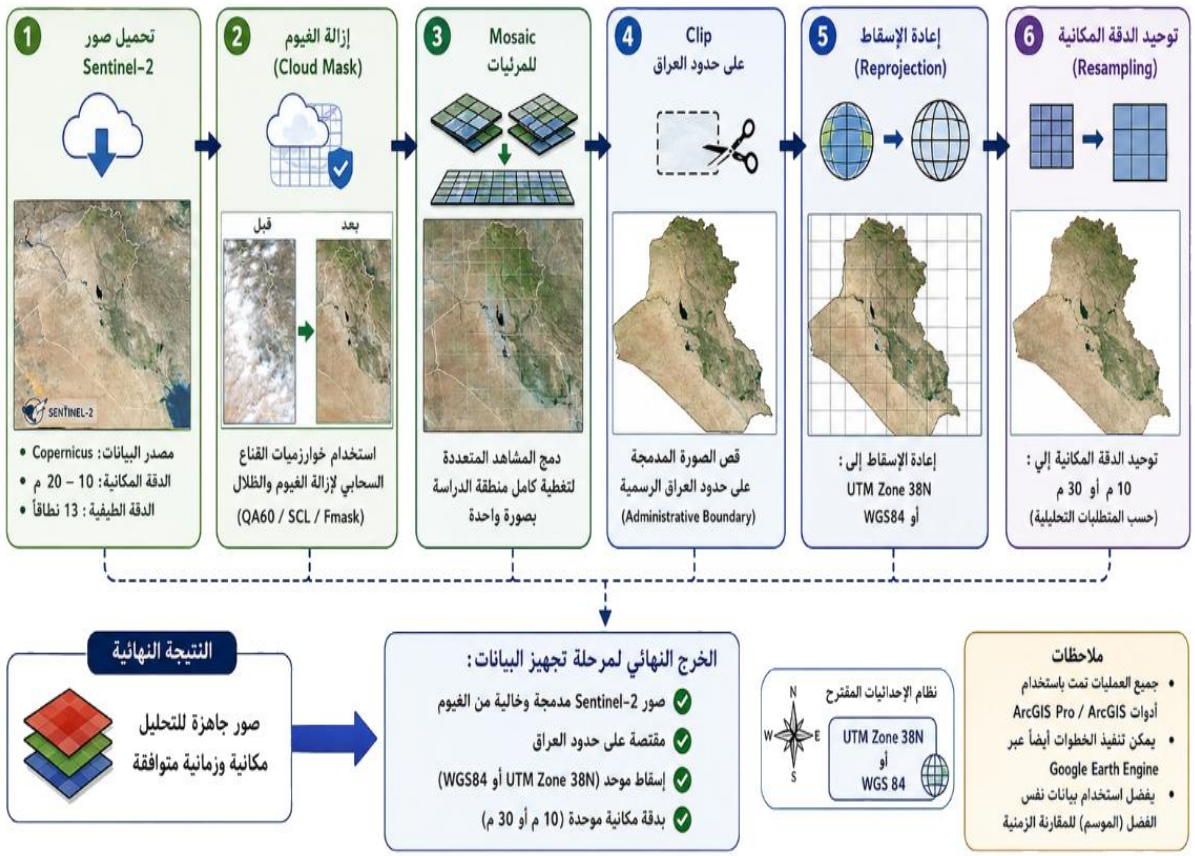
أ- مرئيات Landsat (TM, ETM+, OLI).

ب- مرئيات Sentinel-2.

ج- برامج Arc Map10.8 GIS- Arc Map pro 3.2.

د- بيانات مناخية وهيدرولوجية وخرائط التربة.

شكل (١) خطوات عمل تصحيح وتجهيز البيانات للبحث



المصدر: الباحثين بالاعتماد على برنامج Arc Map Pro 3.2

٣- أدوات التحليل في ArcGIS وتشمل

أ- Raster Calculator يستخدم لحساب المؤشرات الطيفية.

/(Float("Band5") -Float("Band4"))
(Float("Band5") +Float("Band4"))

ب- Composite Bands تستخدم دمج الحزم الطيفية.

ت- Extract by Mask تستخدم لقص الصور على حدود العراق.

ث- Reclassify تصنيف قيم المؤشرات

ج- Weighted Overlay دمج المؤشرات البيئية

ح- Zonal Statistics حساب المتوسط لكل محافظة.

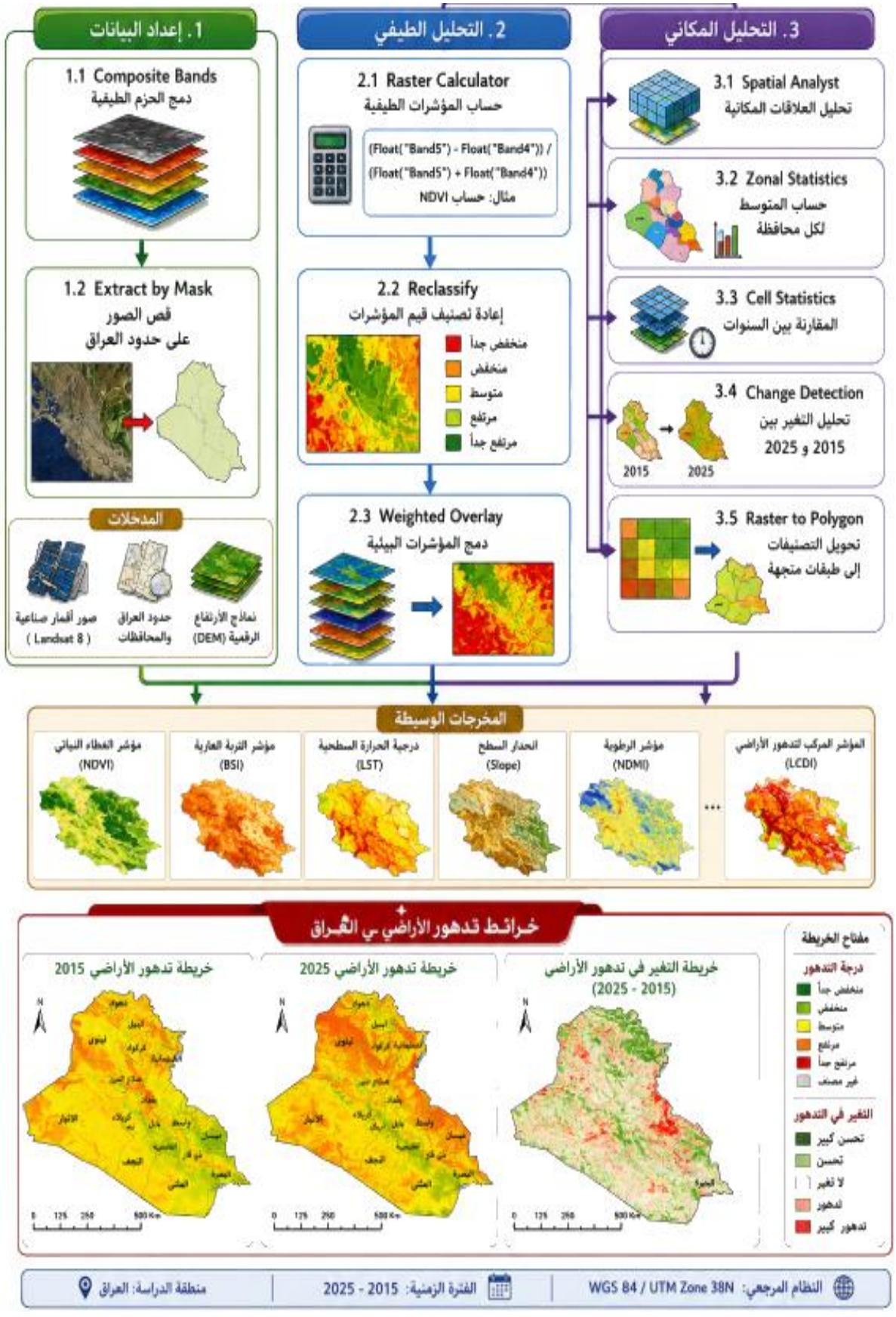
خ- Raster to Polygon تحويل التصنيفات إلى طبقات متجهة.

د- Spatial Analyst تحليل العلاقات المكانية

ذ- Cell Statistics المقارنة بين السنوات

ر- Change Detection تحليل التغير بين ٢٠١٥ و٢٠٢٥. ينظر شكل (٢)

شكل (٢) أدوات التحليل المكاني لبيانات البحث لجميع المؤشرات الطيفية



المصدر: الباحثين بالاعتماد على برنامج Arc Map Pro 3.2

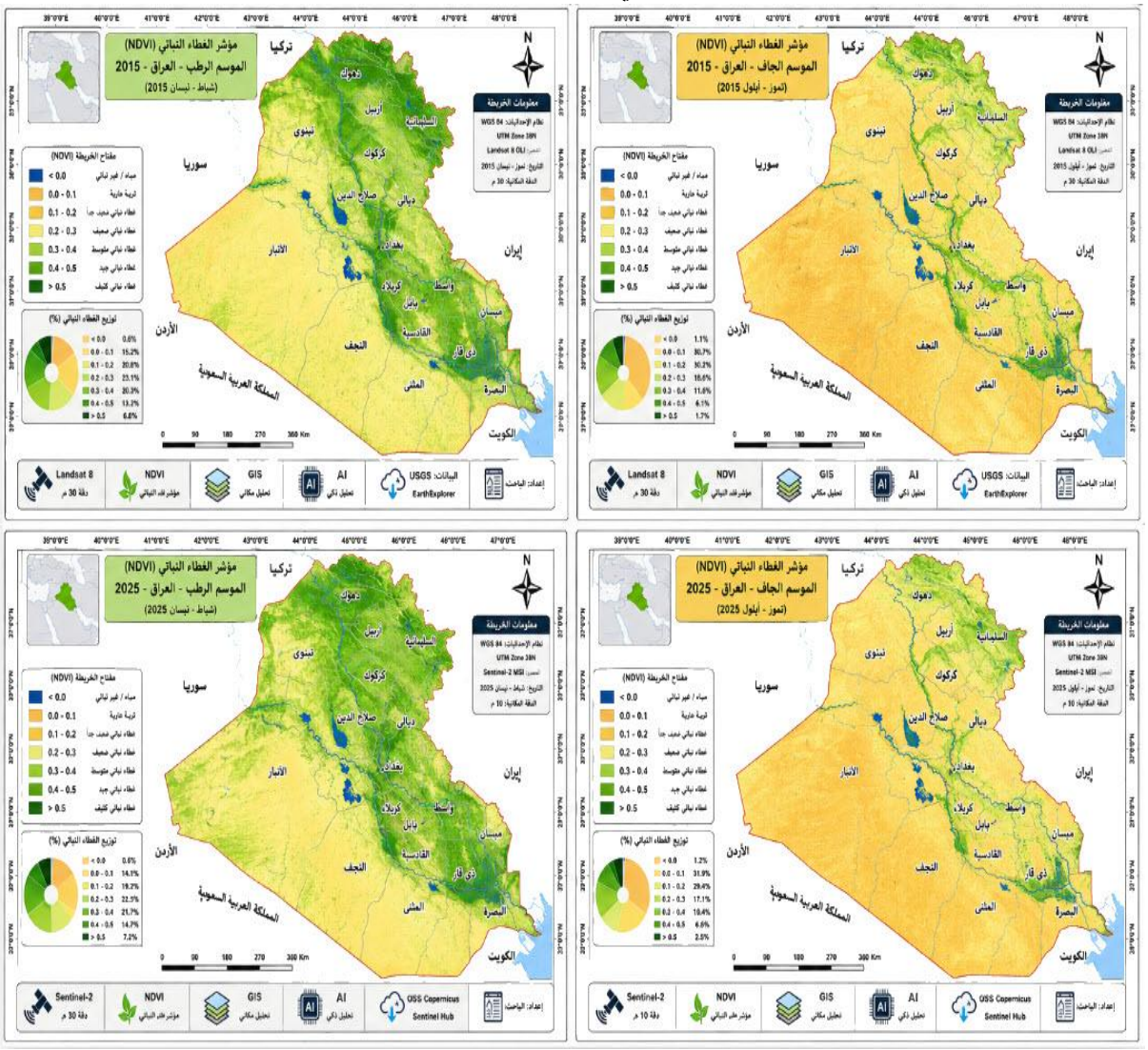
سابعا: تحليل المؤشرات الطيفية للغطاء الأراضي للعراق

تُعد النظم البيئية الرئيسة في العراق من الثروات الطبيعية التي تتطلب الحماية والإدارة المستدامة للحفاظ على مواردها وضمان استدامتها. ولكن هذه النظم ما تزال تواجه مستويات متزايدة من الاستنزاف والتدهور نتيجة الاستخدام المتزايد على الموارد الطبيعية، والتي أصبحت تمثل أحد أبرز التحديات التنموية على المستويين الإقليمي والعالمي. ويُعد النمو السكاني المتسارع من أهم العوامل المؤدية إلى تدهور النظم البيئية في العراق، إلى جانب تدهور الأراضي، والتغيرات المناخية، وفقدان التنوع البيولوجي، وندرة الموارد المائية، والتي أسهمت جميعها في تسريع عملية استنزاف موارد الطبيعية. تم الاعتماد على مؤشرات نظام إدارة الأراضي المستدامة ((WOCAT (SLM) وتعرف WOCAT إدارة القطع المنخفضة بأنها استخدام الموارد الأرضية، بما في ذلك التربة والمياه والحيوانات والنباتات، لإنتاج السلع لتلبية الاحتياجات البشرية المتغيرة، مع ضمان الإمكانات الإنتاجية طويلة الأمد لهذه الموارد والحفاظ على وظائفها البيئية (Hanspeter Liniger). تعتبر خريطة استخدام الأراضي (LUS) الوحدة الأساسية للتقييم بالنسبة لطريقة (wocat–lada–desire). (Nachtergaele & al، 2007) ومن اهم المؤشرات الطيفية المعتمدة لحساب مؤشرات تدهور الأراضي هي :

١- مؤشر خريطة الغطاء النباتي (NDVI):

مؤشر يمثل دليلا على كثافة الغطاء النباتي ويتم حسابة من خلال تباين تفاعل مادة البناء الضوئي في النبات مع الاشعاع الكهرومغناطيسي ويستخدم هذا المؤشر في حساب الجفاف ودرجات التصحر ومراقبة الإنتاج الزراعي والتنبؤ بالتغيرات في تدهور الأراضي ويتم حساب (NDVI) ولإنتاج خرائط الغطاء النباتي لعام ٢٠١٥ و٢٠٢٥ يجب توفر بيانات الاستشعار عن بعد ضمن نطاق المنطقة الحمراء من الطيف الكهرومغناطيسي ونطاق يغطي المنطقة ضمن الاشعة تحت الحمراء (البارودي ٢٠١٩، ص٣٨٨). وعند تحليل مؤشر الغطاء النباتي للعراق للموسم الجاف والرطب ليعطي الصورة الحقيقية لتدهور الأراضي لذا تم اعتماد أشهر الموسم الرطب والجاف لأشهر (شباط ونيسان) للشهر الرطب و(تموز وأيلول) للموسم الجاف وهذه الأشهر تمثل الأشهر الرطبة للوفرة مصادر المياه والاشهر الجافة أشهر انخفاض مصادر المياه كون دورة الغطاء النباتي ترتبط بمصادر وفرة المياه. ولبيان ذلك يتم تحليل خريطة (٢) للغطاء النباتي الموسم الرطب والجاف لعام ٢٠١٥ و٢٠٢٥ وتم تصنيف مساحة العراق الى ثمان فئات تمثل أصناف الغطاء الأراضي لمؤشر الغطاء النباتي تختلف بحسب المساحة والنسبة (%) لفئات كثافة مؤشر الغطاء النباتي. تم اعتماد طريقة التدرج اللوني لتمثيل الخرائطي لكونها تمثل توزيع مساحي وهي أفضل طريقة لتمثيل ظاهر المؤشر النباتي لإعطاء إدراك بصري للخريطة المنتجة كارتوكرافيا وهي رموز مساحية كمية واعتمدت الألوان في تصميم وتوزيع الظاهرة المتمثلة بتدرج الغطاء النباتي وكثافته وهي أفضل تمثيل كارتوكرافي تتناسب مع التطور التقني لبرمجيات الحديثة وفق درجات لونية تعطي إدراك بصري عالي الدقة (صفر، ١٩٩٩، ص. ١٤٤). ينظر جدول (١) يمثل مساحات ونسب الغطاء النباتي للعراق وتم تمثيل جميع مؤشرات الغطاء النباتي للعراق بالخريطة (٢).

خريطة (٢) مؤشر الغطاء النباتي بالعراق لعام ٢٠١٥–٢٠٢٥



المصدر: الباحثين بالاعتماد على برنامج Arc Map Pro 3.2 وبيانات Google Earth Engine

جدول (١) مؤشر الغطاء النباتي بالعراق لعام ٢٠١٥–٢٠٢٥

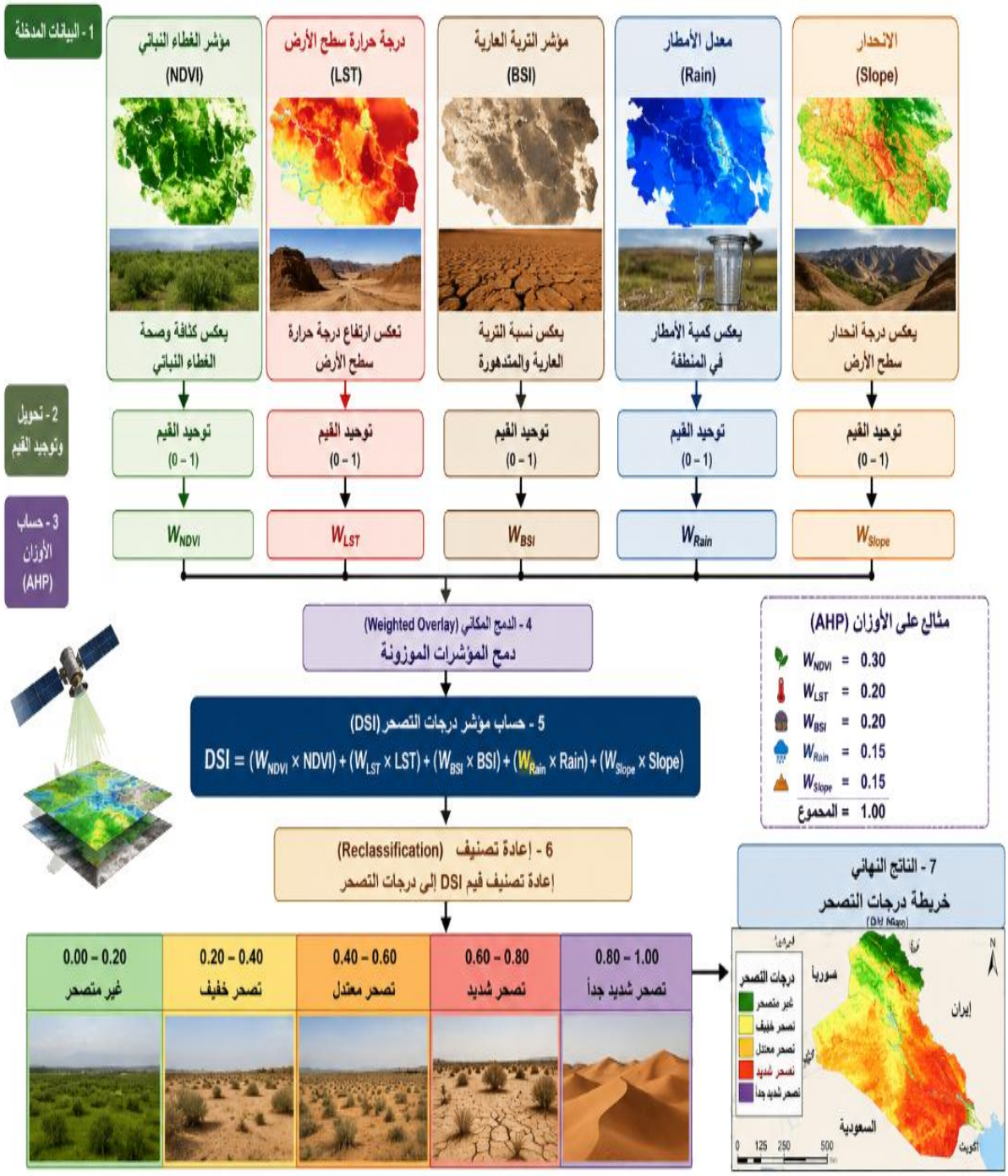
ت	مؤشردليل الغطاء النباتي لعام ٢٠١٥ للموسم الرطب	المساحة كم٢	النسبة %	مؤشردليل الغطاء النباتي لعام ٢٠١٥ للموسم الجاف	المساحة كم٢	النسبة %
١	اصغر من ٠	3022	0.695	اصغر من ٠	6407	1.473
٢	0.0 -0.1	11291	2.595	0.0 -0.1	26386	6.065
٣	0.1 - 0.2	47678	10.959	0.1 - 0.2	81008	18.620
٤	0.2 - 0,3	96912	22.276	0.2 - 0,3	125642	28.880
٥	0.3 - 0.4	124373	28.588	0.3 - 0.4	115938	26.649
٦	0.4 - 0.5	96070	22.082	0.4 - 0.5	57841	13.295
٧	0.5 - 0.6	38457	8.840	0.5 - 0.6	16932	3.892
٨	0.6- 1	17249	3.965	0.6- 1	4898	1.126
	المجموع	435052	100	المجموع	435052	100
ت	مؤشردليل الغطاء النباتي لعام ٢٠٢٥ للموسم الرطب	المساحة كم٢	النسبة %	مؤشردليل الغطاء النباتي لعام ٢٠٢٥ للموسم الجاف	المساحة كم٢	النسبة %
١	اصغر من ٠	2651	0.609	اصغر من ٠	7393	1.699
٢	0.0 -0.1	9819	2.257	0.0 -0.1	28975	6.660
٣	0.1 - 0.2	40165	9.232	0.1 - 0.2	88965	20.449
٤	0.2 - 0,3	88183	20.270	0.2 - 0,3	132115	30.368
٥	0.3 - 0.4	123288	28.339	0.3 - 0.4	103514	23.793
٦	0.4 - 0.5	105970	24.358	0.4 - 0.5	52631	12.098
٧	0.5 - 0.6	45071	10.360	0.5 - 0.6	17894	4.113
٨	0.6- 1	19905	4.575	0.6- 1	3565	0.819
	المجموع	435052	100	المجموع	435052	100

المصدر: الباحثين بالاعتماد على خريطة (٢)

٢- مؤشر خريطة درجات التصحر (Desertification Severity Index – DSI) :

يعرف التصحر بانه تردي الأراضي في المناطق القاحلة وشبه القاحلة والجافة وشبة الرطبة نتيجة عوامل مختلفة من أهمها الاختلافات المناخية والأنشطة البشرية وهذا ينعكس على تردي الأراضي او انخفاض المردود البيولوجي والاقتصادي ((United Nations Convention to Combat Desertification [UNCCD], 1994)) وتم اعتماد مؤشر التصحر للكشف عن حجم التدهور في العراق وتم حسب التمثيل الخرائطي أسلوب التمثيل الصوري لطريقة حساب مؤشرات التصحر والمؤشرات المركبة المرتبطة بالتصحر وانعكاسها على تدهور الأراضي ينظر الشكل (٣) طريقة استخراج وتصنيف

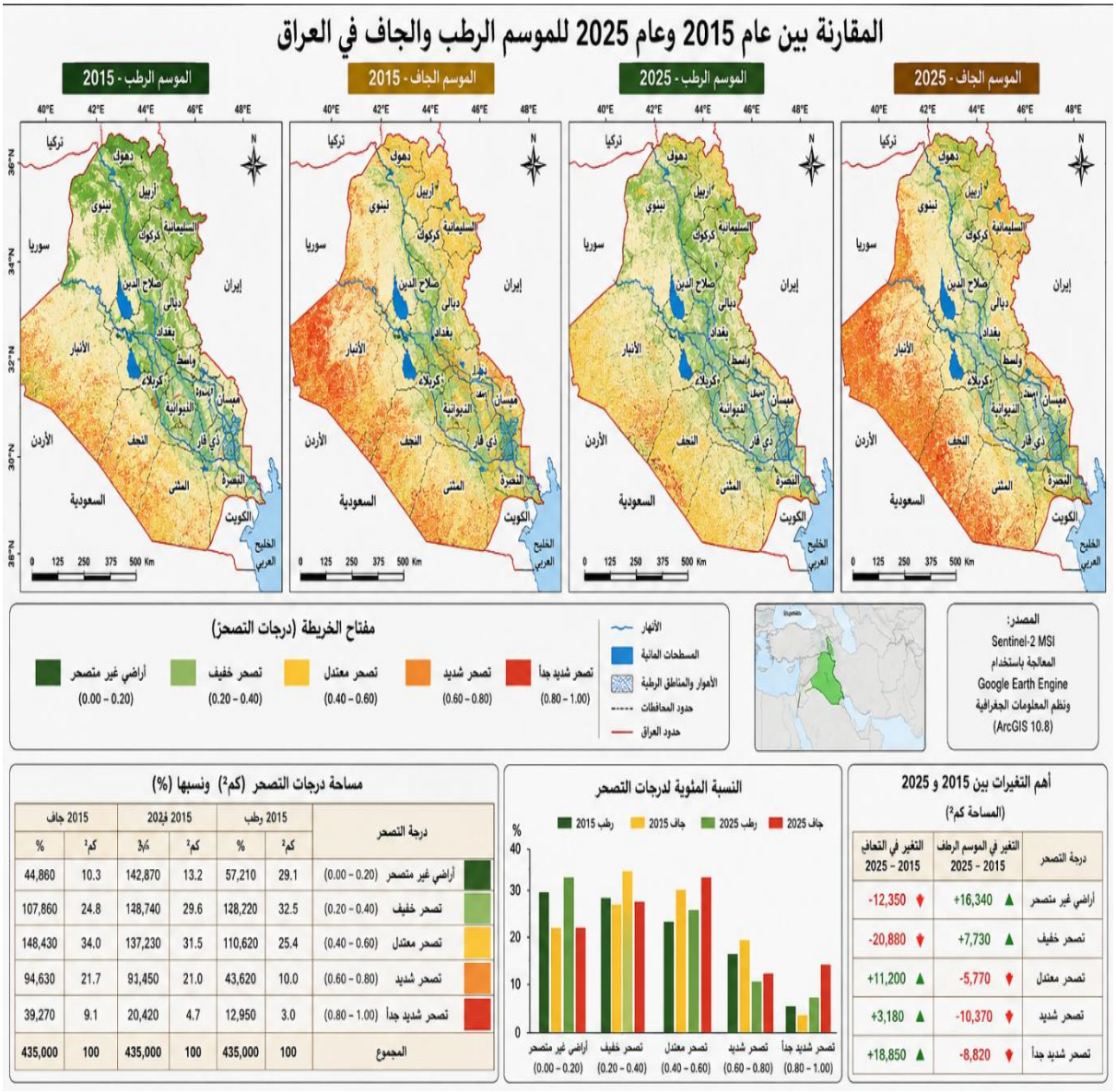
شكل (٣) طريقة استخراج وتصنيف وإنتاج خرائط مؤشرات التصحر للعراق



المصدر: الباحثين بالاعتماد على برنامج Arc Map Pro 3.2 وبيانات Google Earth Engine

مؤشرات درجات التصحر بالعراق لذلك تم تصنيف درجات التصحر (0.20 –0.00) ارضي غير متصحر (0.20 –0.40) تصحر خفيق و(0.60 – 0.40) تصحر معتدل (0.80 – 0.60) تصحر شديد (1.00 – 0.80) تصحر شديد جدا. هذه قيم مؤشرات التصحر المعتمدة لتصنيف انتاج الخرائط للعراق للموسم الرطب والجاف. تم اعتماد نفس المدة الزمنية لإنتاج خرائط الغطاء النباتي للعراق للموسم الرطب شباط ونيسان وهي أفضل مدة لحساب مؤشر التصحر اما الموسم الجاف اعتمدت شهري تموز وأيلول مؤشر لشدة التصحر لانعدام التساقط المطري وشحة الواردات المائية. ويعتمد هذا التصنيف على قيم المؤشر المعيارية (٠–١)، إذ تشير القيم المنخفضة إلى انخفاض مظاهر تدهور الأراضي واستقرار النظام البيئي، في حين تعكس القيم المرتفعة زيادة شدة التصحر وتدهور الغطاء الأرضي نتيجة تأثير العوامل المناخية والأنشطة البشرية، مما يسهم في تحديد المناطق الأكثر عرضة للتصحر ودعم عمليات التخطيط البيئي وإدارة الموارد الطبيعية (حديد ، احمد ،٢٠٢٤،ص ٢٩٤٨) ينظر خريطة (٣) تصنيف مؤشر التصحر للعراق لعامي ٢٠١٥–٢٠٢٥) توضح اختلاف درجات مؤشر التصحر للعراق واختلافها بين الموسم الرطب والجاف ، تم اعتماد طريقة التصنيف الوني لدرجات التصحر حيث تعد افضل طريقة للتوزيع المساحي من ناحية التمثيل الكارتوكرافي .

خريطة (٣) مؤشر درجات التصحر (DSI) بالعراق لعام ٢٠١٥–٢٠٢٥



درجة التصحر	2015 رطب كم²	2015 رطب %	2015 فيزجاف كم²	2015 فيزجاف %	2015 جاف كم²	2015 جاف %
أراضي غير متصحر (0.00 - 0.20)	29.1	57,210	13.2	142,870	10.3	44,860
تصحر خفيف (0.20 - 0.40)	32.5	128,220	29.6	128,740	24.8	107,860
تصحر معتدل (0.40 - 0.60)	25.4	110,620	31.5	137,230	34.0	148,430
تصحر شديد (0.60 - 0.80)	10.0	43,620	21.0	91,450	21.7	94,630
تصحر شديد جداً (0.80 - 1.00)	3.0	12,950	4.7	20,420	9.1	39,270
المجموع	100	435,000	100	435,000	100	435,000

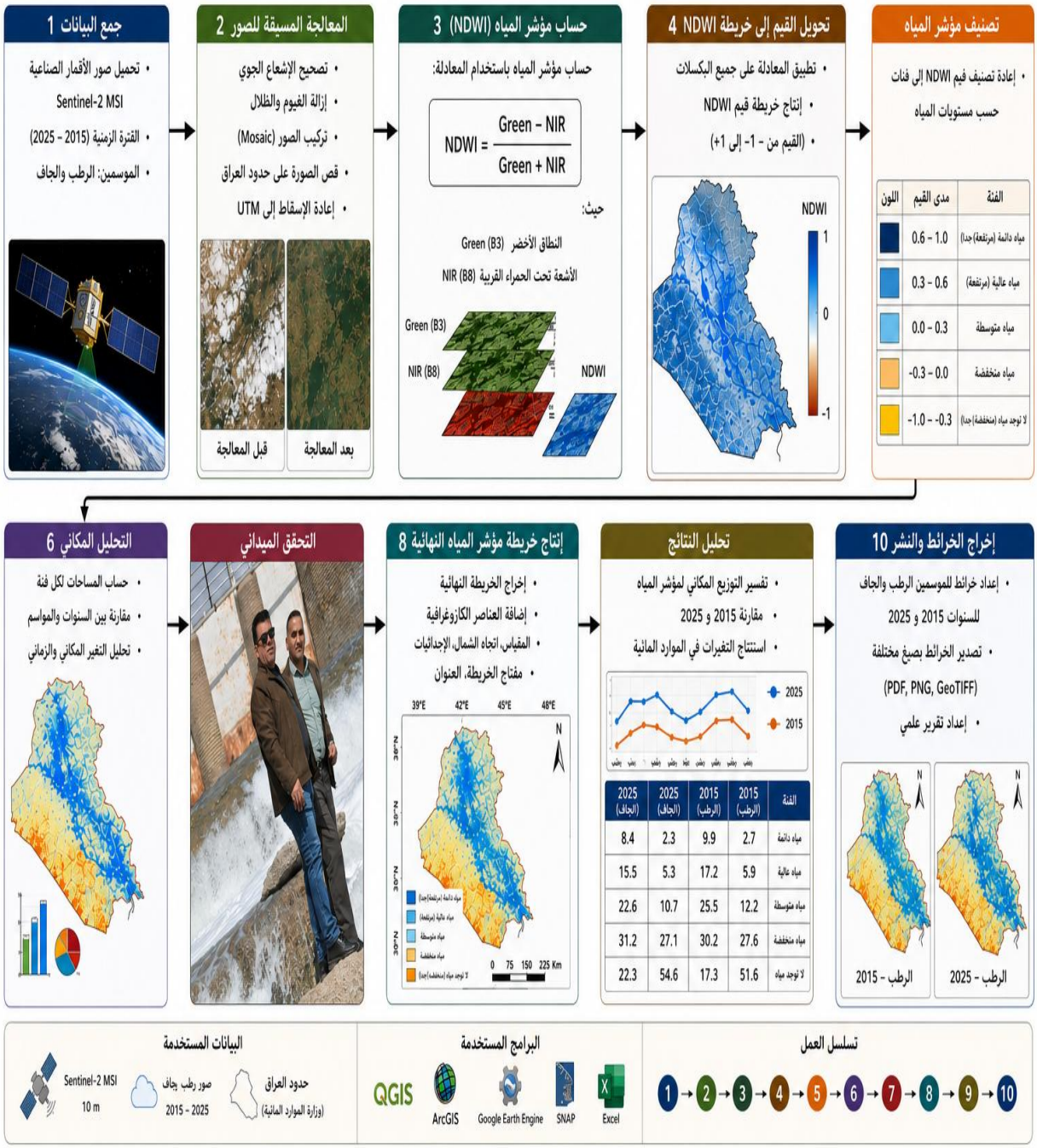
درجة التصحر	التغير في الموسم الرطب 2025 - 2015	التغير في التحاف 2025 - 2015
أراضي غير متصحر	+16,340 ▲	-12,350 ▼
تصحر خفيف	+7,730 ▲	-20,880 ▼
تصحر معتدل	-5,770 ▼	+11,200 ▲
تصحر شديد	-10,370 ▼	+3,180 ▲
تصحر شديد جداً	-8,820 ▼	+18,850 ▲

المصدر : الباحثين بالاعتماد على برنامج Arc Map Pro 3.2 وبيانات Google Earth Engine

٣-مؤشر خريطة المياه (NDWI):

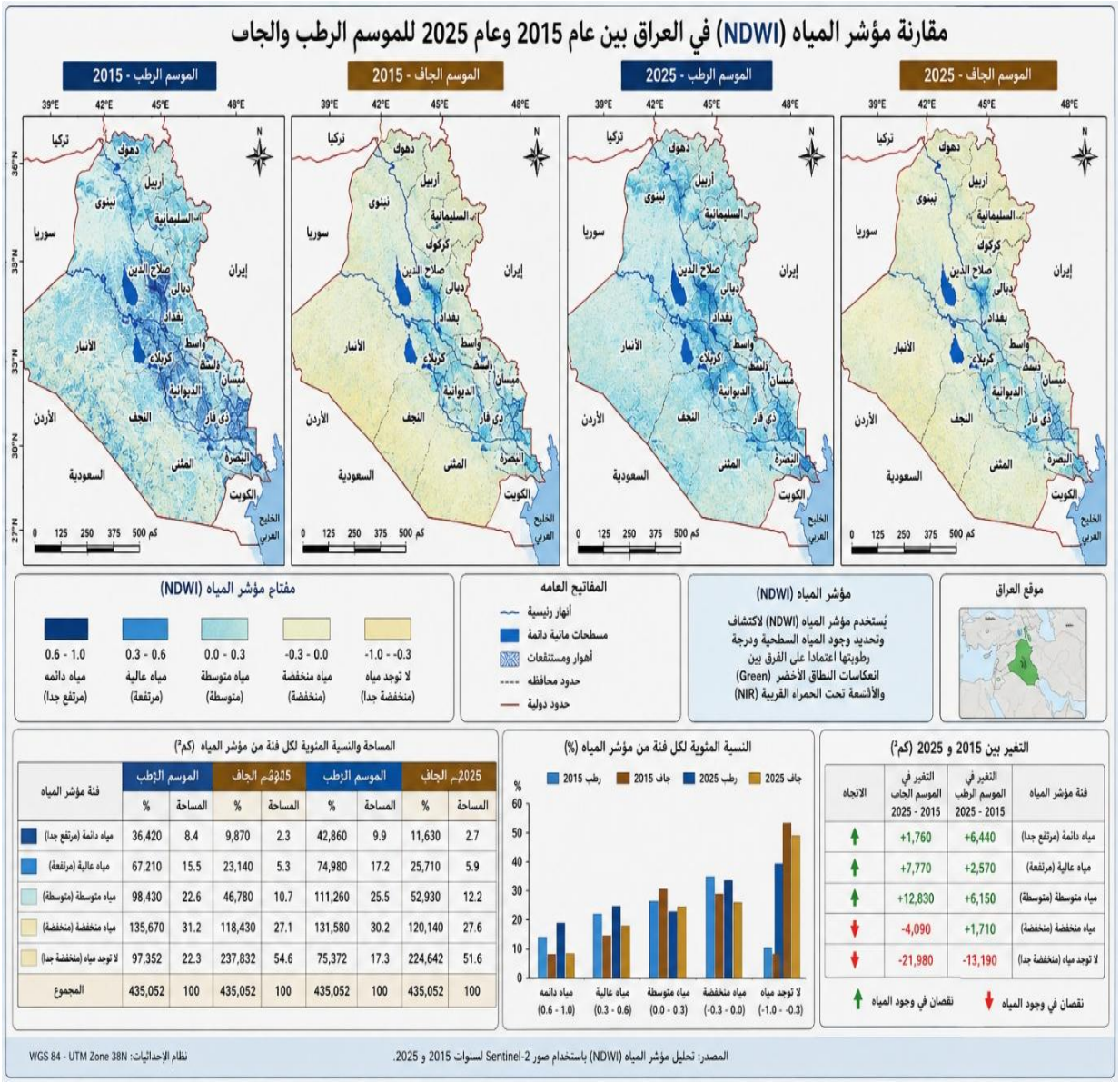
يعد مؤشر المياه من اهم المؤشرات المعتمدة على قياس التدهور البيئي بالعراق. يستخدم هذا المؤشر في تحديد المناطق المائية ورصد التغيرات في محتوى المياه السطحية وتحديد المناطق المعرضة الى الجفاف والتدهور في الغطاء الأراضي. ولحساب هذا المؤشر ينظر الشكل (٤) يمثل جميع مراحل انتاج واستخراج قيم المؤشر لإنتاج الخرائط الرقمية لحساب التغيرات لمساحة العراق وللمدة ٢٠١٥ للموسم الرطب والموسم الجاف والعام ٢٠٢٥ ينظر خريطة (٤). وكانت قيم المؤشر (1.0 – 0.6) مياه دائمة مرتفعة جدا و (0.6 – 0.3) مياه عالية مرتفعة و (0.3 – 0.0) مياه

شكل (٤) مراحل اشتقاق مؤشر المياه للعراق لإنتاج الخرائط الرقمية للمياه



المصدر: الباحثين بالاعتماد على برنامج Arc Map Pro 3.2 وبيانات Google Earth Engine

خريطة (٤) مؤشر المياه للعراق للموسم الرطب والجاف للموسم الهيدرولوجي ٢٠١٥– ٢٠٢٥



فئة مؤشر المياه	الموسم الرطب 2015 المساحة	%	الموسم الجاف 2015 المساحة	%	الموسم الرطب 2025 المساحة	%	الموسم الجاف 2025 المساحة	%
مياه دائمة (مرتفع جدا)	36,420	8.4	9,870	2.3	42,860	9.9	11,630	2.7
مياه عالية (مرتفعة)	67,210	15.5	23,140	5.3	74,980	17.2	25,710	5.9
مياه متوسطة (متوسطة)	98,430	22.6	46,780	10.7	111,260	25.5	52,930	12.2
مياه منخفضة (منخفضة)	135,670	31.2	118,430	27.1	131,580	30.2	120,140	27.6
لا توجد مياه (منخفضة جدا)	97,352	22.3	237,832	54.6	75,372	17.3	224,642	51.6
المجموع	435,052	100	435,052	100	435,052	100	435,052	100

فئة مؤشر المياه	التغير في الموسم الرطب 2015 - 2025	التغير في الموسم الجاف 2015 - 2025	الاتجاه
مياه دائمة (مرتفع جدا)	+6,440	+1,760	↑
مياه عالية (مرتفعة)	+2,570	+7,770	↑
مياه متوسطة (متوسطة)	+6,150	+12,830	↑
مياه منخفضة (منخفضة)	+1,710	-4,090	↓
لا توجد مياه (منخفضة جدا)	-13,190	-21,980	↓

المصدر: الباحثين بالاعتماد على وزارة الموارد المائية وهياه المساحة العامة والمسح الجيولوجي وبيانات الأقمار الصناعية (USGS. ESA. SRTM- Sentinel -2 MSI 10m)

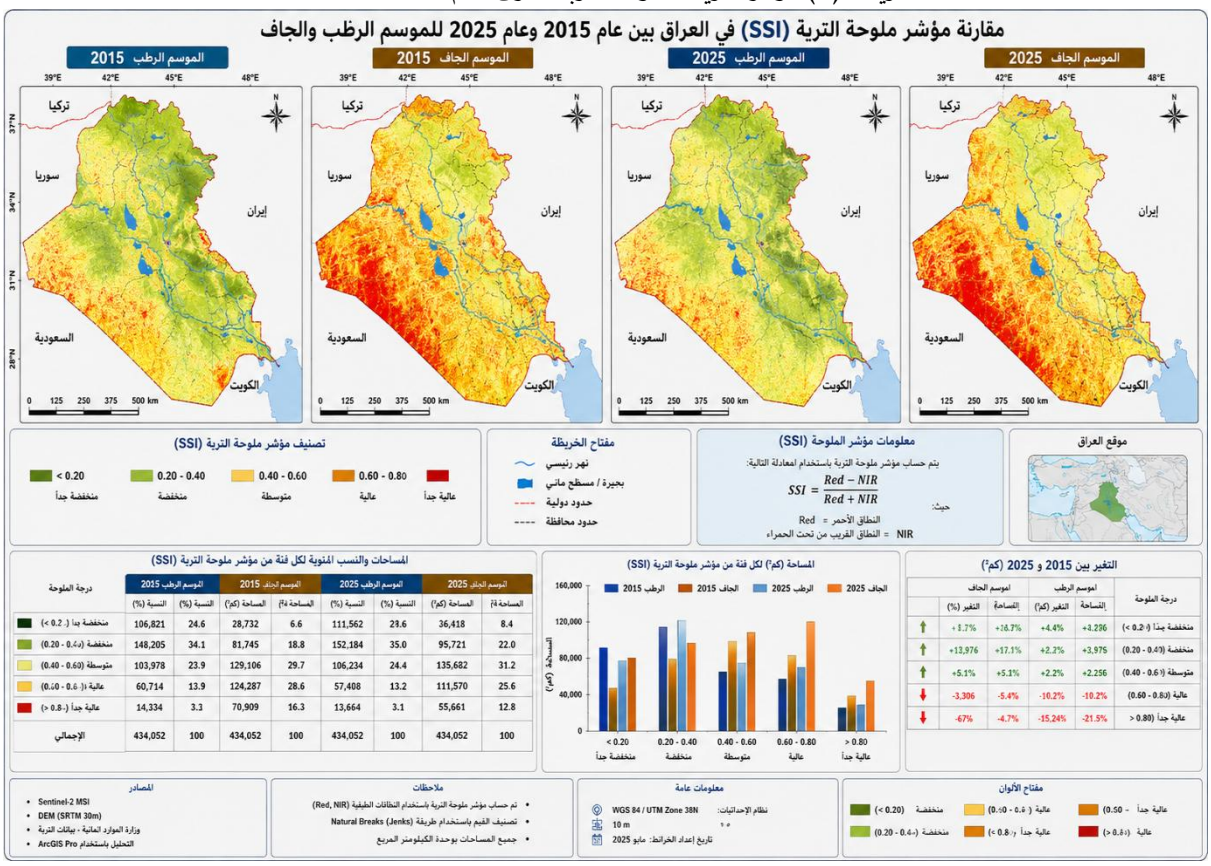
متوسطة و (٠.٠ – –٠.٣) مياه منخفضة و (–٠.٣ – –١.٠) لا توجد مياه (منخفضة) جدا. تم الاعتماد على بيانات القمر الصناعي (Sentinel –2 MSI 10m) لتحليل معطيات دقة استخراج النتائج لمؤشر المياه. وعند تحليل نتائج خريطة (٤) نلاحظ اختلاف مساحات مؤشر المياه لعام ٢٠١٥ وعام ٢٠٢٥ ولكل من الفصل الرطب والجاف كما مثبت في مؤشرات الخريطة. (Maaroof et al. 2025).

٤– مؤشر خريطة ملوحة التربة (Soil Salinity Index - SSI):

يعدّ تملح التربة أحد أبرز أشكال تدهور الأراضي في العراق، حيث يؤدي تراكم الأملاح الذائبة في الطبقة السطحية للتربة إلى انخفاض خصوبتها وتراجع إنتاجيتها الزراعية، وهذا ينعكس على مساحات واسعة من الأراضي عن الاستثمار الزراعي. وتزداد هذه المشكلة في وسط وجنوب العراق بسبب ارتفاع درجات الحرارة، وقلة الأمطار، وارتفاع منسوب المياه

الجوفية، وضعف شبكات التصريف البزل. لذلك يُستخدم مؤشر ملوحة التربة (Soil Salinity Index – SSI) المستخرج من بيانات الاستشعار عن بعد لرصد التوزيع المكاني للملوحة وتحديد المناطق الأكثر تعرضًا للتدهور، مما يجعله أحد المؤشرات الرئيسة في تقييم تدهور الأراضي وإعداد خرائط المخاطر البيئية. (FAO & ITPS. 2015) . كافة التفاصيل والمتغيرات داخل الخريطة (٥). ومن اهم مؤشرات ملوحة التربة المعيار المعتمد هو (أصغر من ٠.٢٠) منخفضة جدا و (٠.٢٠– ٠.٤٠) منخفضة و(٠.٤٠ – ٠.٦٠) متوسطة والمؤشر (٠.٦٠ – ٠.٨٠) عالية والمؤشر (أكبر من ٠.٨٠) ((Jenks, 1967) (ESRI, 2024)) . ينظر خريطة (٥). تم حساب جميع المساحات ونسب % لكل صنف من المؤشرات حيث نلاحظ ارتفاع مساحات الأراضي المغرضة لارتفاع الملوحة بين عامين ٢٠١٥ –٢٠٢٥ وهذا أحد مؤشرات التدهور في مساحة الأراضي بالعراق. ومن نتائج مؤشر ملوحة التربة (SSI) نلاحظ وجود اتجاه عام نحو زيادة ملوحة التربة في العراق خلال الفترة (٢٠١٥–٢٠٢٥)، ولا سيما في المحافظات الجنوبية والوسطى، مع وضوح أكبر لهذه الزيادة خلال الموسم الجاف. وللحد من الظاهرة ضرورة تحسين إدارة مياه الري، وتطوير شبكات البزل، واعتماد تقنيات الزراعة المستدامة للحد من اتساع مساحات تملح الأراضي والحفاظ على الإنتاج الزراعي. في الموسم الرطب لعام ٢٠١٥، سادت الفئة منخفضة الملوحة (<٠.٢٠) في معظم أنحاء العراق، خاصة في المحافظات الشمالية والشرقية، نتيجة زيادة الأمطار التي تساعد على غسل الأملاح وتقليل تراكمها. في حين ظهرت مناطق ذات ملوحة متوسطة وعالية في الأجزاء الجنوبية والجنوبية الغربية وهذا النمط نفسه لعام ٢٠٢٥. أما في الموسم الجاف لعام ٢٠١٥، فقد اتسعت رقعة الفئات ذات الملوحة المتوسطة والعالية (٠.٤٠–٠.٨٠)، وتركزت بشكل رئيس في محافظات البصرة وذي قار والمثنى والنجف وأجزاء من ميسان وواسط، نتيجة ارتفاع معدلات التبخر وقلة كفاءة شبكات البزل. وهذا ينطبق على العام ٢٠٢٥.

خريطة (٥) مؤشر خريطة ملوحة التربة للعراق لعام ٢٠١٥–٢٠٢٥

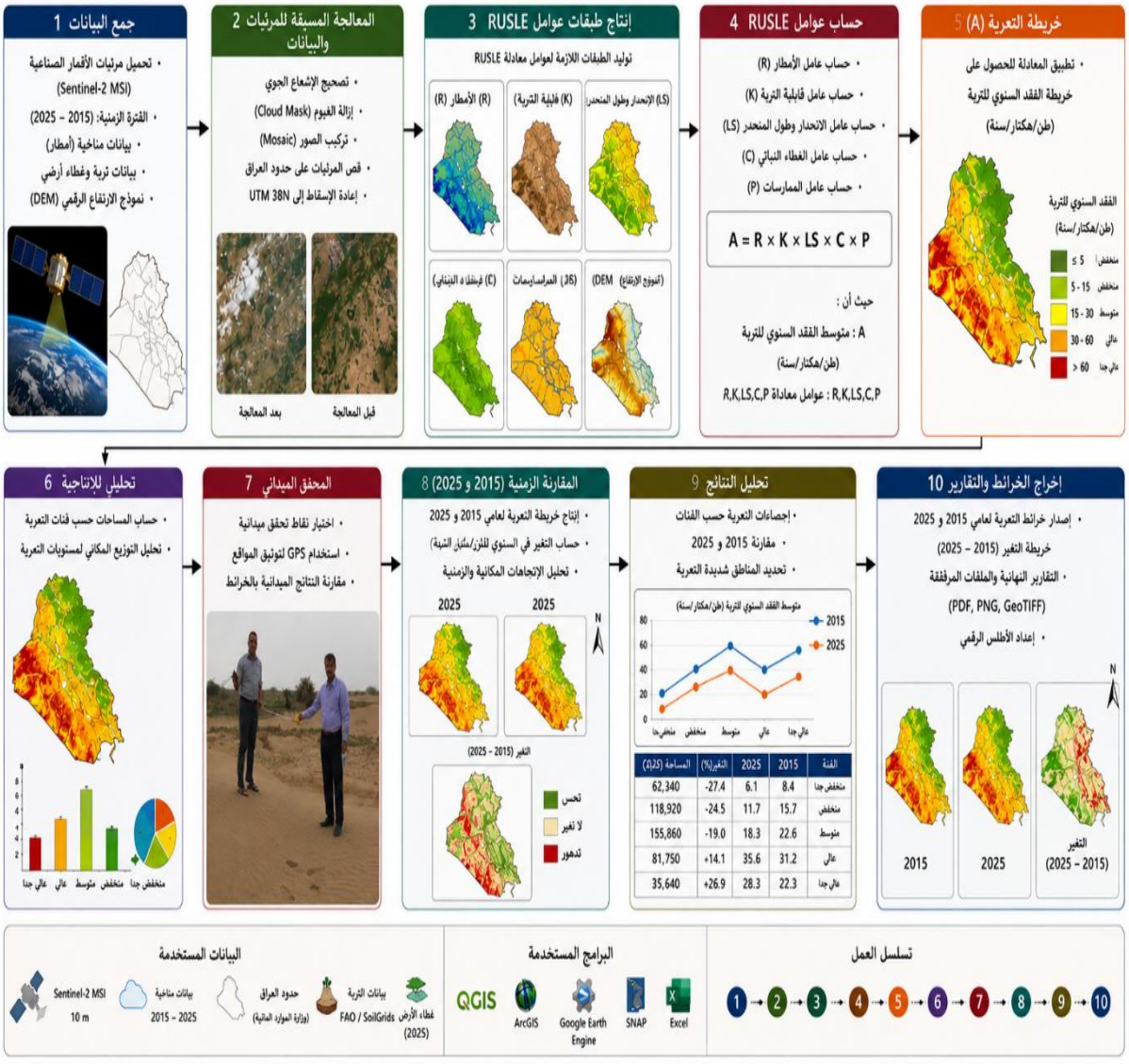


المصدر: الباحثين بالاعتماد على وزارة الموارد المائية وهياه المساحة العامة والمسح الجيولوجي وبيانات الأقمار الصناعية (USGS. ESA. SRTM. Sentinel –2 MSI 10m)

٥-مؤشر خريطة التربة العارية (Bare Soil Index – BSI)):

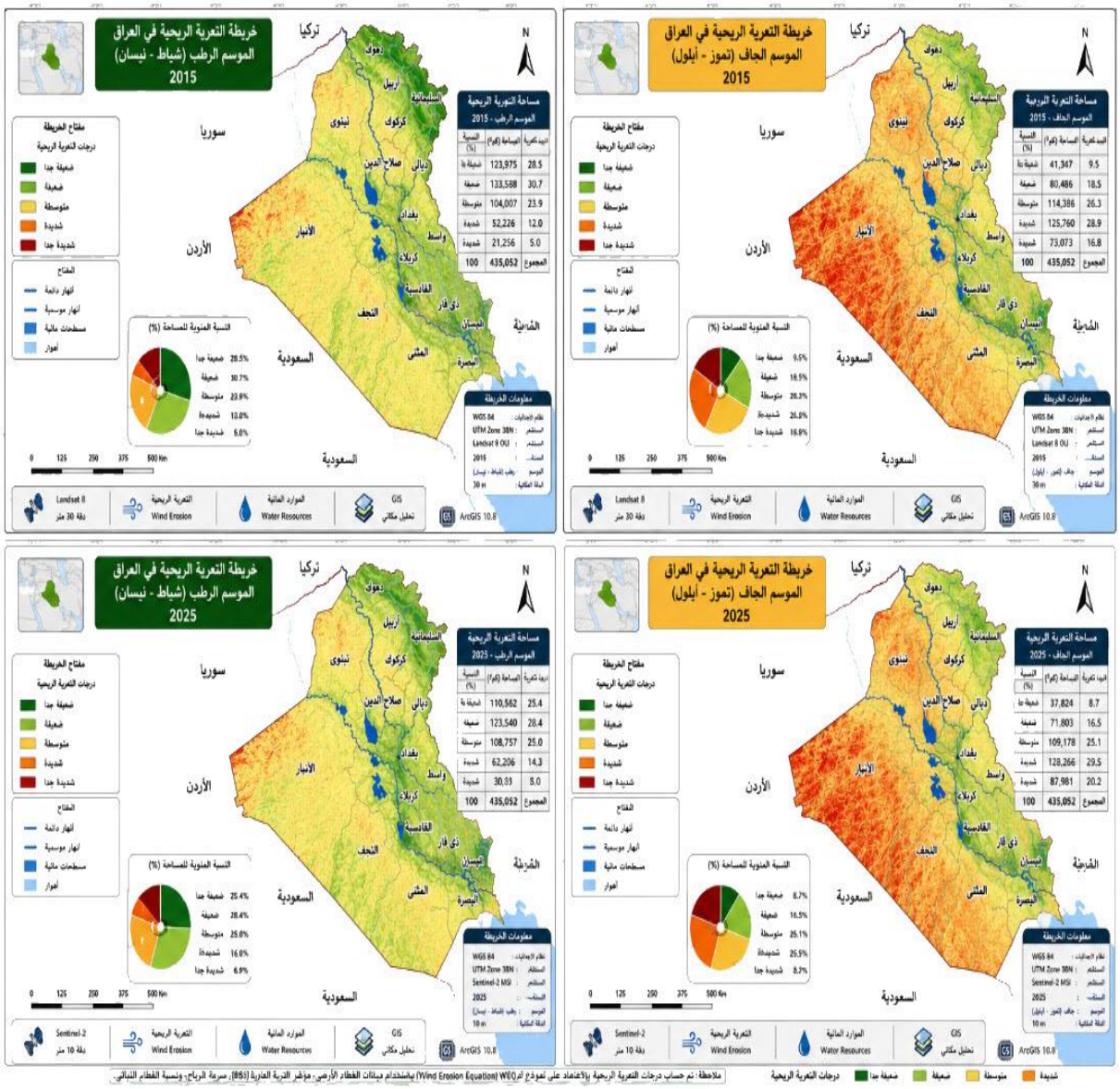
يُعد مؤشر التربة العارية (Bare Soil Index – BSI) من المؤشرات الطيفية المستخدمة في تقنيات الاستشعار عن بُعد للكشف عن المناطق التي تغطيها التربة المكشوفة وتمييزها عن الغطاء النباتي والمسطحات المائية. يعتمد المؤشر على دمج قيم الحزم الطيفية في النطاق الأزرق (Blue)، والأحمر (Red)، والأشعة تحت الحمراء القريبة (NIR)، والأشعة تحت الحمراء قصيرة الموجة (SWIR)، مما يجعله فعالًا في إبراز الأراضي الجرداء ومناطق التدهور والتصحر. ويُستخدم على نطاق واسع في دراسات تدهور الأراضي، ورصد التصحر، وتقييم التغيرات في الغطاء الأرضي، إذ تشير القيم المرتفعة للمؤشر إلى زيادة مساحة التربة العارية، في حين تدل القيم المنخفضة أو السالبة على كثافة الغطاء النباتي أو وجود مسطحات مائية (Rikimaru et al., 2002). عند إعداد خرائط العراق أو المقارنة بين عامي ٢٠١٥ و٢٠٢٥، يُفضَّل تصنيف قيم BSI باستخدام Natural Breaks (Jenks) أو Quantile داخل ArcGIS أو QGIS، لأن ذلك يعكس التوزيع الحقيقي للبيانات بشكل أفضل من استخدام حدود ثابتة لإنتاج خريطة المؤشر. ينظر شكل (٥). وخريطة (٦).

شكل (٥) مراحل اشتقاق مؤشر التربة العارية للعراق لإنتاج الخرائط الرقمية



المصدر: الباحثين بالاعتماد (USGS. ESA. SRTM. Sentinel -2 MSI 10m)

خريطة (٦) مؤشر التربة العارية للعراق لعامي ٢٠١٥ –٢٠٢٥ للموسم الرطب والجاف

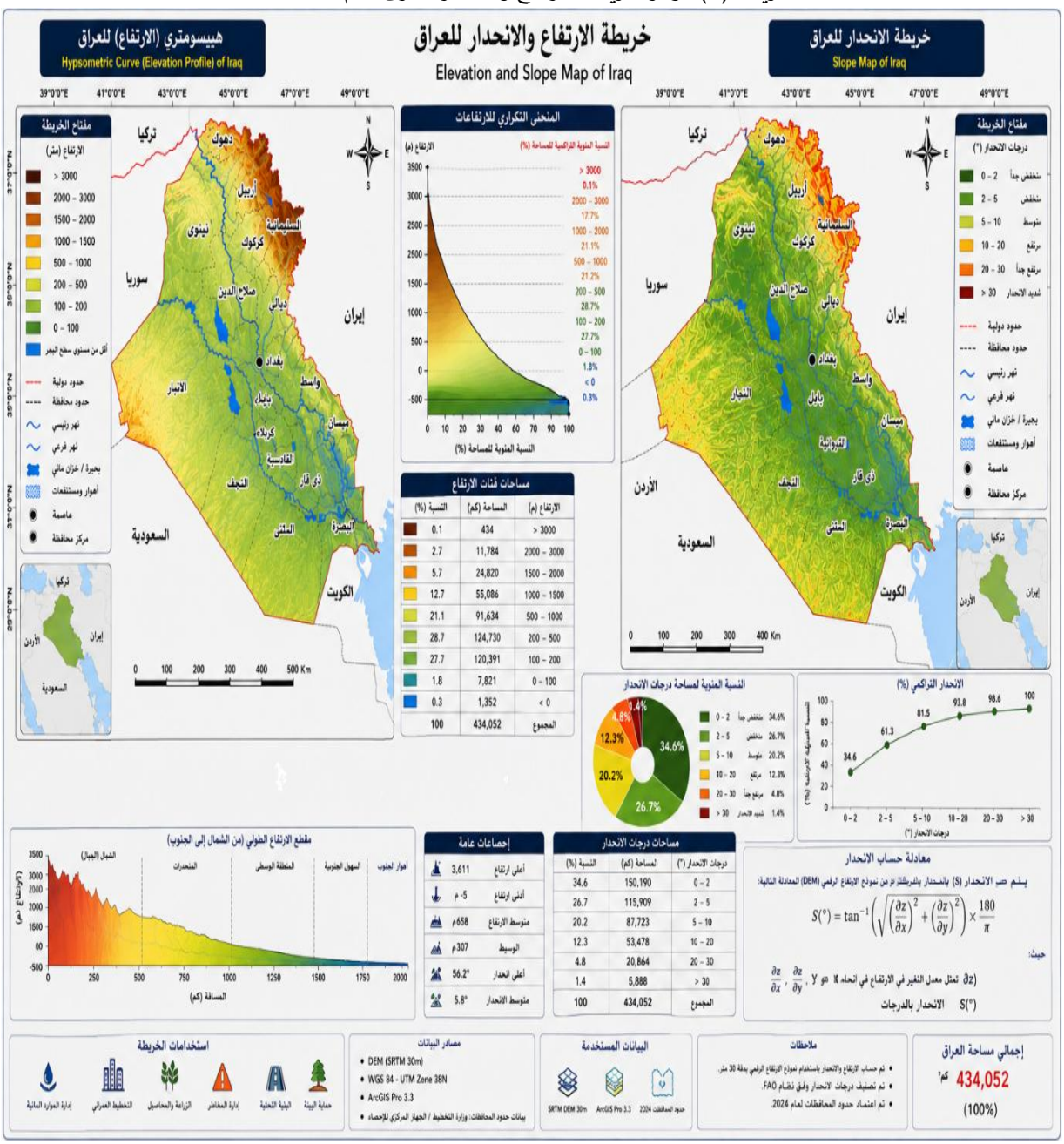


المصدر: الباحثين بالاعتماد على وزارة الموارد المائية وهياه المساحة العامة والمسح الجيولوجي وبيانات الأقمار الصناعية (USGS. ESA. SRTM. Sentinel –2 MSI 10m)

٦- مؤشر خريطة الارتفاع والانحدار للعراق (Elevation and Slope Index) :

يعتمد مؤشر الارتفاع على نموذج الارتفاع الرقمي (DEM)، ويستخدم لتمثيل التباين الطبوغرافي في العراق، إذ يؤثر الارتفاع بصورة مباشرة في توزيع الأمطار، ودرجات الحرارة، وأنواع التربة، والغطاء النباتي، وبالتالي في عمليات تدهور الأراضي والتصحر وقد بلغ اعلى ارتفاع (٣٦١١م) وأدنى ارتفاع بلغ (–٥م) ومتوسط الارتفاع بلغ (٦٥٨م) (Burrough et al., 2015)). مؤشر الانحدار (Slope) يعد الانحدار من أهم العوامل المؤثرة في حركة المياه السطحية، والتعرية المائية، واستقرار التربة، ويستخرج من نموذج الارتفاع الرقمي باستخدام أدوات التحليل المكاني في ArcGIS. (Moore et al., 1991)) وعند تحليل مؤشر درجات الانحدار تم تصنيف سطح العراق الى ست أصناف تمثلت (٠– ٢) درجة و (٢– ٥) درجة و(٥ –١٠) درجة و(١٠ –٢٠) درجة و(٢٠ – ٣٠) درجة و(٣٠ – اكبر من) ينظر خريطة (٧) تحتوي على كافة تفاصيل مؤشر الارتفاع والانحدار للعراق .

خريطة (٧) مؤشر خريطة الارتفاع والانحدار للعراق لعام ٢٠٢٥

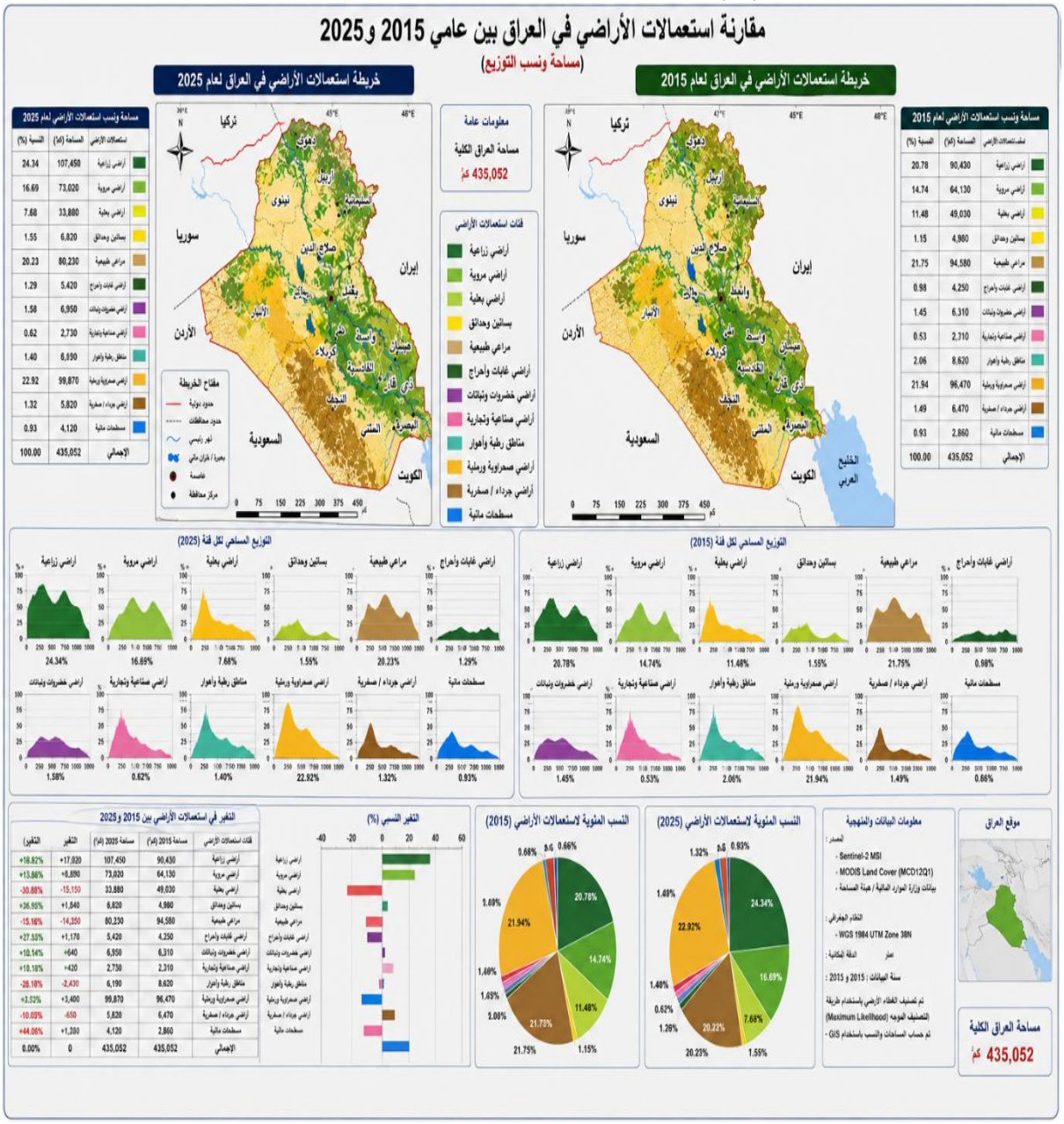


المصدر: الباحثين بالاعتماد على DEM بدقة ٣٠ م (SRTM أو Copernicus DEM). وبرنامج Arc Map Pro3.2

٧-خريطة مؤشر الغطاء الأرضي (Land Cover Index – LCI):

يعد مؤشر الغطاء الأرضي (Land Cover Index – LCI) من أهم المؤشرات المستخدمة في تقييم حالة الأراضي ورصد التغيرات البيئية، إذ يوضح التوزيع المكاني لأنواع الغطاء الأرضي مثل الأراضي الزراعية والغطاء النباتي، والمسطحات المائية، والأراضي العارية، والمناطق العمرانية. ويستخدم هذا المؤشر على نطاق واسع في دراسات تدهور الأراضي والتصحر باستخدام تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية، لما يوفره من معلومات دقيقة عن التغيرات المكانية والزمانية للغطاء الأرضي (Anderson et al., 1976) تم تصنيف استعمالات الأرض حسب التصنيف

خريطة (٨) مقارنة استعمالات الأراضي في العراق لعام ٢٠١٥ – ٢٠٢٥



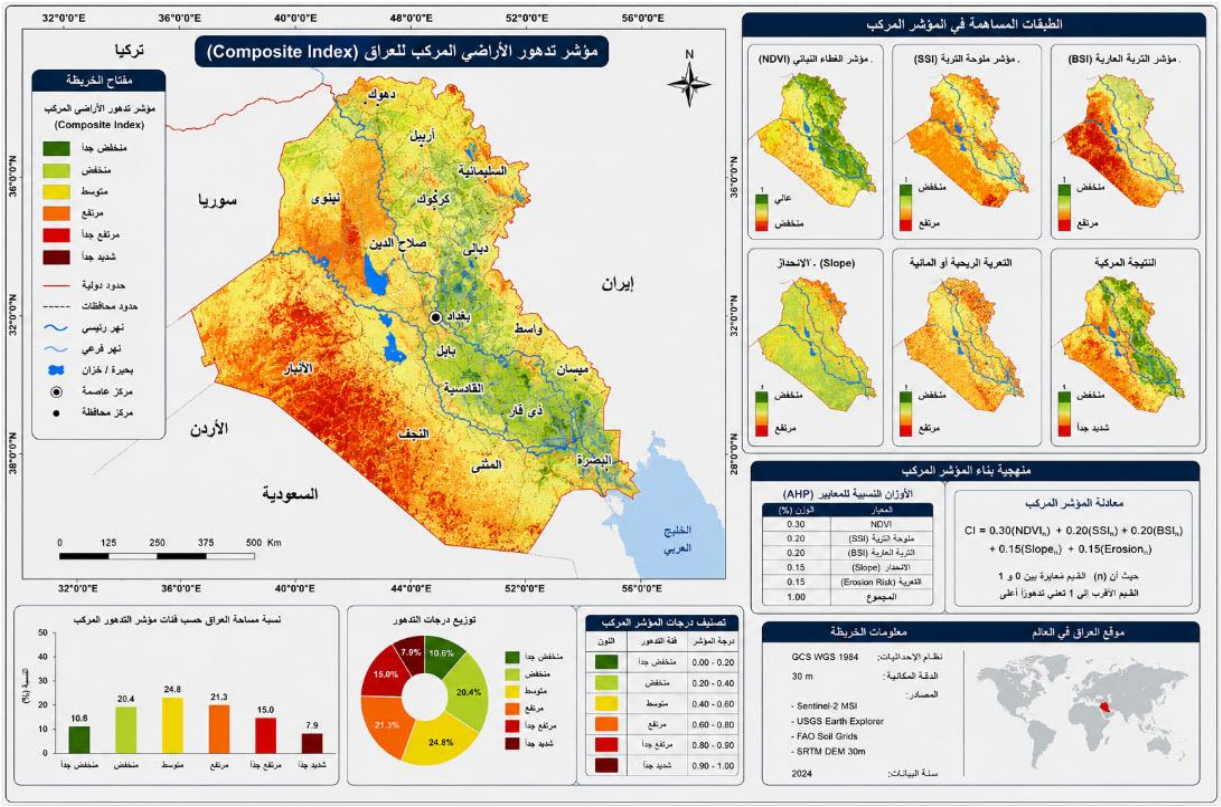
المصدر: الباحثين بالاعتماد على وزارة الموارد المائية وهياه المساحة العامة والمسح الجيولوجي وبيانات الأقمار الصناعية (Modis (Land Cover (MCD12Q1). Sentinel −2 MSI 10m

المعتمد هو تصنيف أندرسون (Anderson Land Use/Land Cover Classification System) هو أحد أشهر أنظمة تصنيف استخدامات الأراضي والغطاء الأرضي، (Anderson et al., 1976) لصالح هيئة المسح الجيولوجي الأمريكية (USGS). ويعد مرجعًا أساسيًا في دراسات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية لإنتاج الخرائط، ويتميز بإمكانية تطبيقه على المرئيات الفضائية مع إمكانية التوسع من التصنيف العام إلى التصنيف التفصيلي. ينظر خريطة (٨) تم تصنيف استعمالات الاراض للعراق لعام ٢٠١٥ – ٢٠٢٥ الى (١٢) صنف تفصيلي يختلف بالمساحة والتغير بين سنوات الدراسة واعتمد أسلوب التوزيع المساحي للتمثيل الخرائطي واستخراج مؤشر التغير بين مساحات استعمالات الاراض لسطح العراق وأسلوب التوزيع الدوائر النسبية لتغير استعمالات الاراض كأسلوب خرائطي.

٨-مؤشر خرائط تدهور الأراضي المركب للعراق (Composite Land Degradation Index – CLDI):

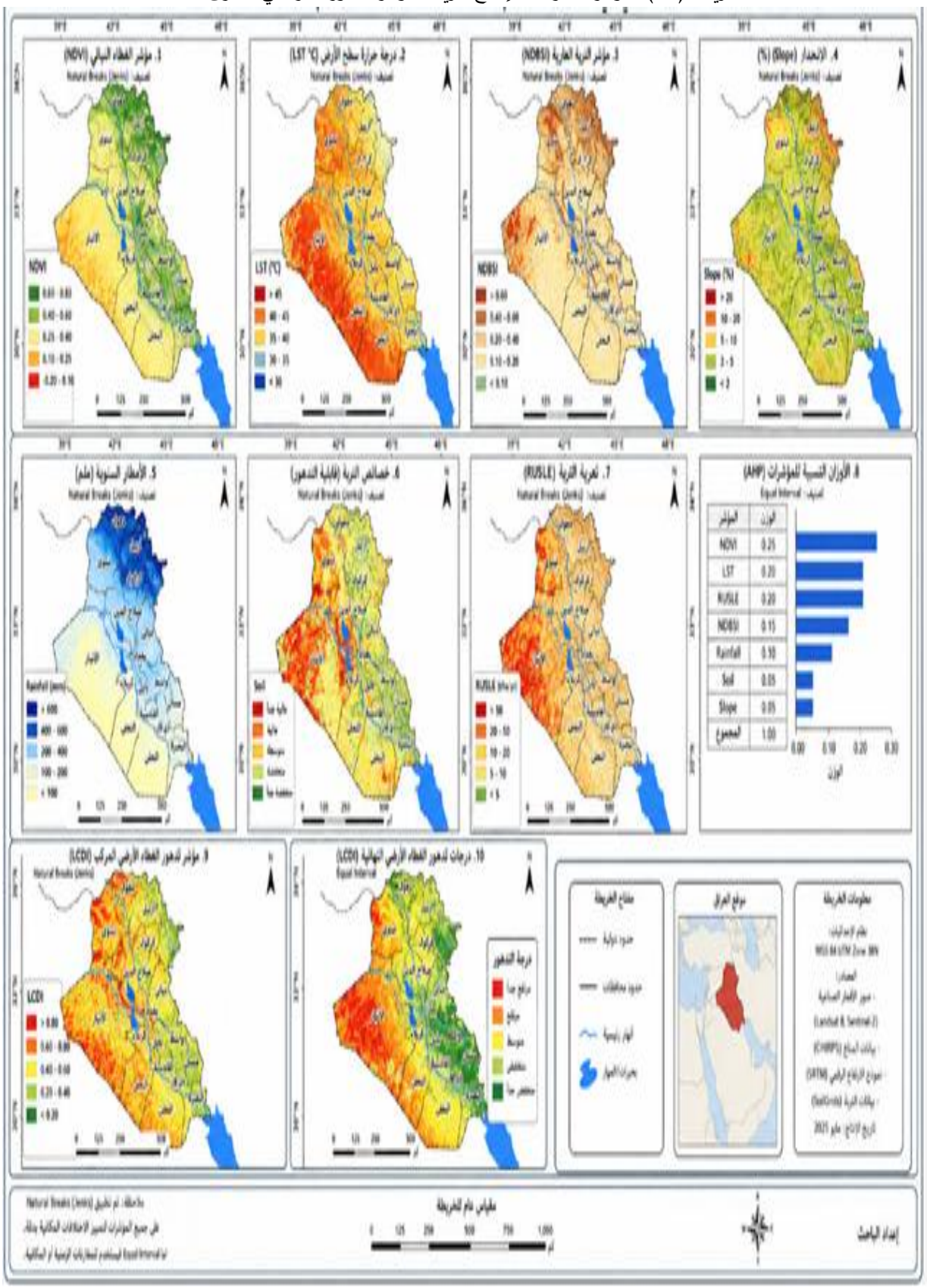
يعد مؤشر تدهور الأراضي المركب من أهم المؤشرات المستخدمة لتقييم درجة تدهور الأراضي في العراق، يعتمد على دمج مجموعة من المؤشرات البيئية والطبيعية المستخرجة من تقنيات الاستشعار عن بعد (RS) ونظم المعلومات الجغرافية (GIS) ضمن نموذج مكاني واحد. ويهدف هذا المؤشر إلى تحديد التوزيع المكاني لدرجات تدهور الأراضي في العراق، وإبراز المناطق الأكثر تعرضًا للتدهور خلال مدة الدراسة (٢٠١٥–٢٠٢٥) ينظر خريطة (٩). اعتمدت الدراسة على دمج المؤشرات الرئيسة التي تؤثر في تدهور الأراضي، وهي مؤشر الغطاء النباتي (NDVI)، ومؤشر درجة حرارة سطح الأرض (LST)، ومؤشر التربة العارية (BSI)، ومؤشر ملوحة التربة (SSI)، ومؤشر الانحدار (Slope)، ومؤشر الغطاء الأرضي (LULC)، ومؤشر الأمطار (Rainfall). ينظر خريطة (٩) وتم توحيد جميع الطبقات مكانياً باستخدام نظام الإحداثيات نفسه، ثم أعيد تصنيفها إلى فئات معيارية، وبعد ذلك منحت أوزانًا نسبية باستخدام أسلوب التحليل الهرمي (AHP) قبل دمجها من خلال أداة Weighted Overlay في ArcGIS لإنتاج خريطة التدهور المركب. اعتمد تصنيف قيم المؤشرات باستخدام أسلوب Equal Interval، وذلك لتوحيد حدود الفئات بين جميع الخرائط المنتجة للأعوام (٢٠١٥ و٢٠٢٥) وللموسمين الرطب والجاف، مما يسمح بإجراء مقارنة زمنية ومكانية مباشرة بين النتائج. وهذا الأسلوب من أكثر الأساليب ملاءمة عند دراسة التغيرات الزمنية، لأنه يحافظ على ثبات حدود الفئات في جميع الخرائط، ويمنع اختلاف التصنيف الناتج عن تغير توزيع البيانات بين الفترات الزمنية للدراسة وتقييم النتائج. وعند تقيم الاوزان حسب مؤشر التحليل الهرمي (AHP) تبين نسب كل مؤشر كما موضح (NDVI %25) ومؤشر (BSI % 20) ومؤشر (SSI%15) ومؤشر (LST %15) ومؤشر (LULC %10) ومؤشر (Rainfall %10) ومؤشر (Slope %5) تمثل اوزان المركبة المساهمة في نسب تدهور الأراضي ينظر خريطة (١١) . (Aksoy et al., 2017) .

خريطة (٩) مؤشر تدهور الأراضي المركب للعراق



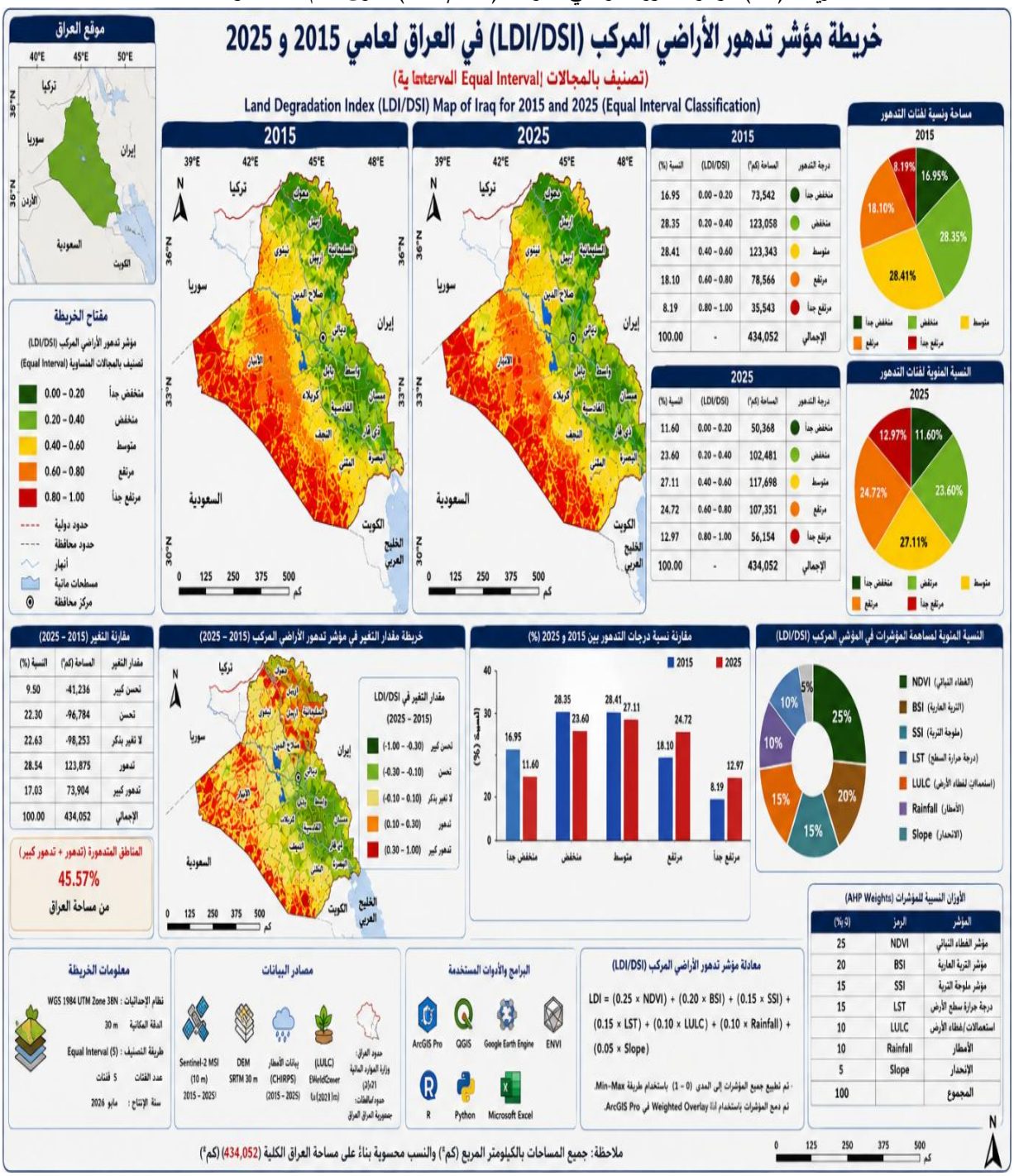
المصدر: الباحثين بالاعتماد على وزارة الموارد المائية وهياه المساحة العامة والمسح الجيولوجي وبيانات الأقمار الصناعية (Modis (Land Cover (MCD12Q1). Sentinel -2 MSI 10m

خريطة (١٠) المؤشرات الرئيسة لإنتاج خريطة مؤشر تدهور الأراضي بالعراق



المصدر: الباحثين بالاعتماد على وزارة الموارد المائية وهياه المساحة العامة والمسح الجيولوجي وبيانات الأقمار الصناعية (Modis Land Cover (MCD12Q1). Sentinel -2 MSI 10m)

خريطة (١١) مؤشر تدهور الأراضي المركب (LDI /DSI) للعراق لعام ٢٠١٥ و٢٠٢٥

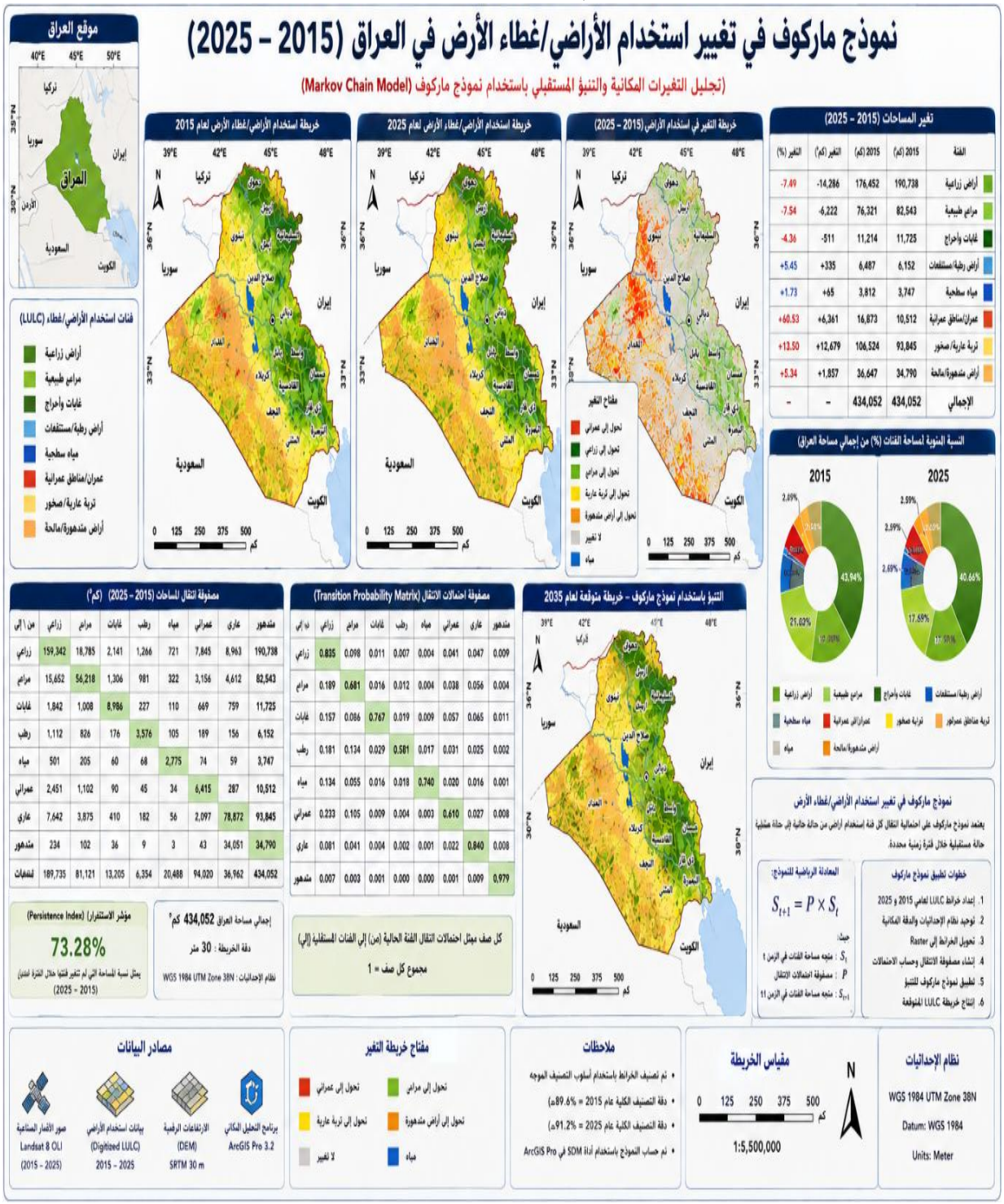


المصدر : الباحثين بالاعتماد على وزارة الموارد المائية وهياه المساحة العامة والمسح الجيولوجي وبيانات الأقمار الصناعية (Modis Land Cover (MCD12Q1). Sentinel −2 MSI 10m)

٩ – نموذج ماركوف في تغيير استخدام الأراضي/غطاء الأرض (Markov Chain Model for Land Use/Land Cover Change): يعد نموذج ماركوف (Markov Chain Model) من النماذج الإحصائية المستخدمة على نطاق واسع في تحليل التغيرات المكانية والتنبؤ المستقبلي باستخدامات الأراضي والغطاء الأرضي(LULC) ، إذ يعتمد على احتمالات انتقال كل فئة من فئات الغطاء الأرضي من حالة إلى أخرى خلال فترة زمنية محددة. ويتميز هذا النموذج بقدرته على وصف ديناميكية التغيرات المكانية اعتمادًا على بيانات تاريخية، مما يجعله من الأدوات المهمة في دراسات التخطيط

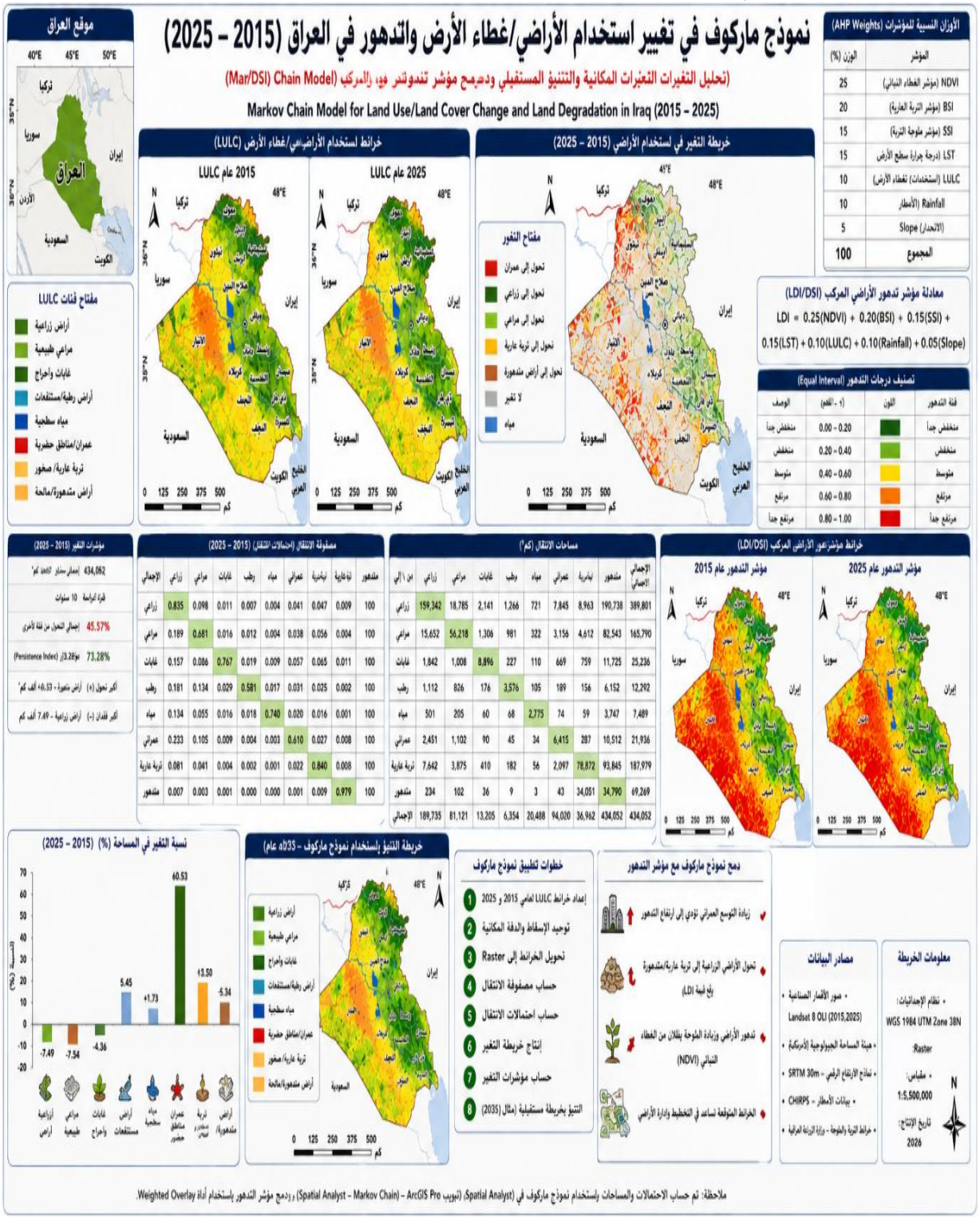
البيئي وإدارة الموارد الطبيعية ورصد تدهور الأراضي. يعتمد النموذج على مصفوفة احتمالات الانتقال (Transition Probability Matrix)، التي تمثل احتمال انتقال كل فئة من فئات الغطاء الأرضي إلى فئة أخرى خلال الفترة الزمنية المدروسة. وفي هذه الدراسة استخدمت خرائط استخدام الأراضي/الغطاء الأرضي لعامي ٢٠١٥ و٢٠٢٥ لاستخراج مصفوفة الانتقال، ثم استُخدمت هذه المصفوفة في التنبؤ بالتوزيع المستقبلي لفئات الغطاء الأرضي. (Singh et al., 2015)

خريطة (١١) نموذج ماركوف في تغير استخدام الاراض للعراق لعام ٢٠١٥ و٢٠٢٥



المصدر: الباحثين بالاعتماد على (Modis Land Cover (MCD12Q1). Sentinel −2 MSI 10m)

خريطة (١١) نموذج ماركوف في تغير استخدام الاراض للعراق لعام ٢٠١٥ و٢٠٢٥



المصدر: الباحثين بالاعتماد على (Modis Land Cover (MCD12Q1). Sentinel -2 MSI 10m)

الاستنتاجات

١- تعد تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية كفاءة عالية في رصد وتحليل التغيرات المكانية والزمانية للغطاء الأرضي في العراق، وأسهمت في إنتاج خرائط دقيقة تعكس واقع تدهور الأراضي خلال مدة الدراسة المعتمدة

٢- تمثلت نتائج المقارنة بين عامي (٢٠١٥-٢٠٢٥) حدوث تغيرات واضحة في أنماط الغطاء الأرضي، تمثلت بانخفاض مساحات الغطاء النباتي في عدد من المناطق، مقابل زيادة مساحات الأراضي العارية والمتدهورة للموسم الرطب والجاف لمدة الدراسة.

٣- كشفت مؤشرات الاستشعار عن بعد، ولاسيما NDVI وBSI وSSI وLST، قدرة عالية على تشخيص مناطق التدهور وتحديد مستوياته، كما أسهم دمجها في مؤشر مركب في تحسين دقة التصنيف المكاني للكشف عن حجم التدهور.

٤- اعتماد طريقة التصنيف اللوني كاتمثيل خرائطي للكشف عن حجم التدهور وتمثيل المؤشرات لدقة الادراك البصري لقياس حجم التدهور ودقة الادراك البصري الخرائطي

٥- اعتماد مؤشر المياه بالدرجة الثالثة في الكشف عن حجم التدهور الغطاء الأراضي للعراق

٦- عند حساب جميع المؤشرات يجب ربط البيانات ومنه بيانات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية بالمسح الميداني لدقة التصنيف.

٧- بينت نتائج تحليل التغير أن معدلات التدهور لم تكن متجانسة مكانياً وزمانيا، إذ شهدت بعض المناطق تحسناً نسبياً نتيجة مشاريع الاستصلاح والري، في حين سجلت مناطق أخرى تدهوراً متسارعاً نتيجة عدم وجود مشاريع الاستصلاح.

٨- كشفت الدراسة أن دمج تقنيات RS-GIS مع أسلوب Weighted Overlay أو AHP لإنتاج مؤشر مركب لتدهور الأراضي يوفر نموذجاً مكانياً أكثر موثوقية في تقييم حالة الأراضي مقارنة باستخدام مؤشر منفرد.

٩- يعد نموذج ماركوف أساساً علمياً للتنبؤ بالتغيرات المستقبلية في تغير استعمالات الأراضي، مما يجعله أداة مهمة لدعم التخطيط البيئي وإدارة الموارد الطبيعية في العراق.

١٠- عند دمج نموذج ماركوف مع تقنيات نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد يعطي إمكانية إنتاج خرائط تنبؤية عالية الكفاءة، تساعد في تحديد المناطق الأكثر عرضة للتدهور خلال السنوات الدراسة والسنوات اللاحقة.

١١- كشفت الدراسة أن دمج نتائج نموذج ماركوف مع المؤشر المركب لتدهور الأراضي (Composite Land Degradation Index) يوفر رؤية أكثر شمولاً لفهم العلاقة بين تغير استعمالات الأراضي وتدهور الغطاء الأرضي

١٢- كشف مؤشر نموذج ماركوف حجم التغير في استعمالات الاراض بلغ ٧٣.٢٨٪ من مساحة العراق، اما مؤشر نموذج تدهور الأراضي DSI – IDI معدل تدهور الأراضي بالعراق بلغ ٤٥.٥ % من مساحة العراق.

التوصيات

١- اعتماد تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية ضمن برامج الرصد لمتابعة تدهور الأراضي في العراق، مع تحديث الخرائط وإنتاجها بصورة دورية مستمرة.

٢- إنشاء قاعدة بيانات مكانية موحدة لتدهور الأراضي واستعمالات الأراضي والغطاء الأرضي، تكون متاحة للوزارات والمؤسسات البحثية وصناع القرار يعتمد عليها.

٣- اعتماد المؤشر المركب لتدهور الأراضي (Composite Land Degradation Index) كأداة معيارية لتقييم درجة التدهور، لما يوفره من نتائج أكثر شمولية مقارنة بالاعتماد على مؤشر منفرد.

٤- الاستفادة من نماذج التنبؤ المكاني، ولاسيما نموذج Markov بالاقتران مع Cellular Automata (CA–Markov)، لإنتاج خرائط مستقبلية لاستعمالات الأراضي تساعد في التخطيط البيئي والتنمية المستدامة.

٥- إعطاء الأولوية للمناطق التي أظهرت خرائط الدراسة أنها الأكثر تعرضاً للتدهور، من خلال تنفيذ مشاريع استصلاح الأراضي، ومكافحة التصحر، وزيادة الغطاء النباتي وربطة مع مؤشر.

٦- تطوير نماذج تنبؤيه أكثر تقدماً من خلال دمج نموذج ماركوف مع تقنيات الذكاء الاصطناعي والتعلم الآلي، مثل الشبكات العصبية الاصطناعية وRandom Forest وSupport Vector Machine، لتحسين دقة التنبؤ بالتغيرات المستقبلية.

٧- دعم إنشاء مرصد وطني رقمي لتدهور الأراضي في العراق يعتمد على تقنيات RS–GIS، ويعمل على إصدار تقارير وخرائط دورية لدعم متخذي القرار في إدارة الأراضي والموارد الطبيعية وربطة مع مؤشر التحليل الهرمي (AHP)

المصادر

1. Nachtergaele, F., Petri, M., Biancalani, R., van Lynden, G., van Velthuizen, H., & Bloise, M. (2007). *Land Degradation Assessment in Drylands (LADA): Technical Report on the Use of Indicators for Assessment and Monitoring of Land Degradation*. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome.

٢- بارود، خميس فاخر. (٢٠١٩). تطبيقات الاستشعار عن بعد في برنامج نظم المعلومات الجغرافية (ArcGIS) (الطبعة الأولى). الجامعة الإسلامية، كلية الآداب.

٣- صفر، زين العابدين علي. (١٩٩٩). *مبادئ علم الخرائط*. عمّان، الأردن: دار الفكر للطباعة والنشر والتوزيع.

4- United Nations Convention to Combat Desertification. (1994). United Nations Convention to Combat Desertification in those countries experiencing serious drought and/or desertification, particularly in Africa. United Nations. https://www.unccd.int

٥- حديد، رنا.، بشرى علي احمد. (٢٠٢٤). تحديد الجفاف الزراعي وشدة التصحر في محافظة ديالى، العراق باستخدام صور سينتينل-٢. المجلة العراقية للعلوم، ٦٥(٥)، ٢٩٤٦-٢٩٥٧

6- Maaroof, B. F., Kareem, H. H., Al-Zubaydi, J. H., Al-Ansari, N., Aziz, M. A., AL-Quraishy, D. A. A., Al-Hasani, B., Abdellatif, M., Carnacina, I., Thannoun,

7- R. G., Al-Kubaisi, M. Sh., & Al-Maarofi, S. S. (2025). Estimating soil erosion utilizing geospatial method and revised universal soil loss equation (RUSLE) of Abu Ghraibat Watershed, Eastern Misan Governorate, Iraq. Scientific Reports, 15(1), 4442

8- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), & Intergovernmental Technical Panel on Soils (ITPS). (2015). Status of the World's Soil Resources (SWSR): Main Report. Rome: FAO

9- Jenks, G. F. (1967). The Data Model Concept in Statistical Mapping. International Yearbook of Cartography, 7, 186–190 ..

10- Rikimaru, A., Roy, P. S., & Miyatake, S. (2002). Tropical forest cover density mapping. International Society for Tropical Ecology

. 11- Burrough, P. A., McDonnell, R. A., & Lloyd, C. D. (2015). Principles of Geographical Information Systems (3rd ed.). Oxford University Press

12- Moore, I. D., Grayson, R. B., & Ladson, A. R. (1991). Digital terrain modelling: A review of hydrological, geomorphological, and biological applications. Hydrological Processes, 5(1), 3–30. https://doi.org/10.1002/hyp.3360050103

13- Anderson, J. R., Hardy, E. E., Roach, J. T., & Witmer, R. E. (1976). A land use and land cover classification system for use with remote sensor data (U.S. Geological Survey Professional Paper 964). U.S. Geological Survey

14- Anderson, J. R., Hardy, E. E., Roach, J. T., & Witmer, R. E. (1976). A land use and land cover classification system for use with remote sensor data (U.S. Geological Survey Professional Paper 964). U.S. Geological Survey .

15- Aksoy, E., Gregor, M., Schröder, C., & Löhnertz, M. (2017). Assessing and mapping land degradation using remote sensing and GIS techniques. Springer

16- Singh, S. K., Mustak, S., Srivastava, P. K., Szabó, S., Islam, T., & Saha, A. (2015). Predicting spatial and decadal land use/land cover change through cellular automata and Markov chain modeling. Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences, 18(2), 263–272 .