جمهورية العراق
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة الموصل
كلية التربية للعلوم الإنسانية
قسم الجغرافية

تكامل نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد في النمذجة الخرائطية لاستعمالات الأرض قضاء سهل أربيل أنموذجاً

عمر عبد الله إسماعيل القصاب

Email: omar.a.ismaeel@uomosul.edu.iq

أطروحة دكتوراه

جغرافية بشرية / نظم المعلومات الجغرافية

بإشراف

الأستاذ المساعد	الأستاذ المساعد
الدكتور ليث حسن عمر	الدكتور ريان غازي ذنون

1442هـ 2021م

تكامل نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد في النمذجة الخرائطية لاستعمالات الأرض قضاء سهل أربيل أنموذجاً

أطروحة قُدمت إلى

مجلس كلية التربية للعلوم الإنسانية / جامعة الموصل

وهي جزء من متطلبات نيل شهادة الدكتوراه فلسفة في العلوم الإنسانية / جغرافية بشرية و نظم المعلومات الجغرافية

من قبل

عمر عبد اللّه اسماعيل القصاب

بإشراف

الأستاذ المساعد — الدكتور ليث حسن عمر

الأستاذ المساعد — الدكتور ريان غازي ذنون

1442هـ — 2021م



﴿ ٱقۡرَأۡ وَرَبُّكَ ٱلۡأَكۡرَمُ ۝٣ ٱلَّذِي عَلَّمَ بِٱلۡقَلَمِ ۝٤

عَلَّمَ ٱلۡإِنسَٰنَ مَا لَمۡ يَعۡلَمۡ ﴾

صدق الله العظيم

(سورة العلق: 3-5)

إقرار المشرف

نشـهد أن إعـداد هـذه الاطروحـة الموسـومة بـ " **تكامـل نظـم المعلومـات الجغرافيـة والاستشعار عن بعد في النمذجة الخرائطية لاستعمالات الأرض قضاء سهل أربيل أنموذجاً**" قد جرى تحت إشرافنا في جامعة الموصل / كلية التربية للعلوم الإنسانية، وهي جزء من متطلبات نيل شهادة الدكتوراه فلسفة في الجغرافية البشرية / نظم المعلومات الجغرافية.

التوقيع:

الاسم: أ.م.د. **ليث حسن عمر**

التاريخ: ١٣/ ٧/ 2021

التوقيع:

الاسم: أ.م.د. **ريان غازي ذنون**

التاريخ: ١٣/ ٧/ 2021

إقرار المقوم اللغوي

أشهد أن هذه الأطروحة الموسومة بـ " **تكامل نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد في النمذجة الخرائطية لاستعمالات الأرض قضاء سهل أربيل أنموذجاً** قد جرى تقويمها لغويا بإشرافي وقد وجدتها صالحة من الناحية اللغوية.

التوقيع:

الاسم: أ.د. **سالم محمد ذنون علي العكيدي**

التاريخ: ١٣/ ٧/ 2021

إقرار رئيس لجنة الدراسات العليا

بناءً على التوصيات المقدمة من المشرف والمقوم اللغوي أرشح هذه الأطروحة للمناقشة.

التوقيع:

الاسم: أ.م.د. **احمد حامد علي العبيدي**

التاريخ: ١٣/ ٧/ 2021

إقرار رئيس القسم

بناءً على التوصية المقدمة من مقرر الدراسات العليا، أرشح هذه الأطروحة للمناقشة.

التوقيع:

الاسم: أ. م.د. **محمد هاشم ذنون الحيالي**

التاريخ: ١٣/ ٧/ 2021

قرار لجنة المناقشة

نشهد نحن أعضاء لجنة المناقشة، اننا اطلعنا على أطروحة الدكتوراه الموسومة بـ " **تكامل نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد في النمذجة الخرائطية لاستعمالات الأرض قضاء سهل أربيل أنموذجاً** " في الجغرافية، وناقشنا الطالب (**عمر عبد الله اسماعيل القصاب**) في محتوياتها وما له علاقة بها بتاريخ 2021/8/3 وأنها جديرة لنيل شهادة الدكتوراه فلسفة في اختصاص الجغرافية البشرية / نظم المعلومات الجغرافية ولأجله وقعنا.

توقيع
أ.د أياد عاشور حمزة
رئيساً

توقيع
أ.د لمياء حسن علي
عضواً

توقيع
أ.د تنزيه مجيد حميد
عضواً

توقيع
أ.م.د أحمد حامد علي
عضواً

توقيع
أ.م.د عبد الستار محمد خضر
عضواً

توقيع
أ.م.د. ليث حسن عمر
عضواً ومشرفاً اول

توقيع
أ.م.د. ريان غازي ذنون
عضواً ومشرفاً ثانٍ

قرار مجلس الكلية

اجتمع مجلس كلية التربية للعلوم الإنسانية بجلسته ..... المنعقدة بتاريخ / / 2021 وقرر منحه شهادة الدكتوراه في اختصاص الجغرافية البشرية / نظم المعلومات الجغرافية.

مقرر مجلس الكلية
توقيع
أ.م.د تنهيد عادل البيرقدار
التاريخ: / / 2021

عميد الكلية
توقيع
أ.د حازم ذنون اسماعيل
التاريخ: / / 2021

الاهداء

اليك ربي . .

مالي سواك . .

متضرعا ان تجعل هذا العمل المتواضع علما ينتفع به . .

وخير المنتهى رضاك.

عمر

شكر وتقدير

الحمد لله رب العالمين الذي وفقني وأعانني على إنهاء هذا العمل وتقديمه بالصورة التي هو عليها، والصلاة والسلام على سيد المرسلين محمد ﷺ وعلى اله وصحبه وسلم تسليما كثيرا.

يطيب الي وانا بصدد وضع اللمسات الاخيرة على اطروحتي هذه، ان اتقدم بجزيل الشكر والعرفان إلى مشرفي الأول **أ.م.د ليث حسن عمر**، على تشجيعه لي طوال مدة البحث، وعلى تقديره لوجهة نظري واعطائي مساحة من التفكير والكتابة ودعمي وتوجيهي على ما اصبو اليه. والى مشرفي الثاني **أ.م.د ريان غازي ذنون** على دعمه لي طوال مدة البحث، فضلا عن مناقشته معي في الجوانب التقنية ومؤازرة وجهة نظري وتوجيهها، جزا الله مشرفي الكرام خير الجزاء.

كما يطيب لي ان اتقدم بالشكر الجزيل إلى استاذي، **ا.م.د احمد حامد العبيدي**، الذي وقف بجانبي ودعم رغبتي بالتخصص الذي اطمح اليه انطلاقا من اكاديميته العالية، رغم كل المعرقلات التي تعرضت لها قبيل الشروع بالدراسة، اسأل الله العلي القدير ان يرزقه الصحة والعافية وان يمتعنا بصحبته.

وكذلك اتقدم بالشكر الجزيل الى الزميل الكريم **أ.م.د محمد هاشم ذنون الحيالي** رئيس قسم الجغرافيا، على اختيار لجنة المناقشة بمهنية وحكمة، جزاه الله خير الجزاء ورزقه ما يتمنى.

ولا انسى ان اتقدم بالشكر الجزيل إلى زميلي الكريم **الاستاذ مثنى طارق خليل**، طالب الدكتوراه في كلية الزراعة / جامعة الموصل، على مناقشته معي عدد من المسائل الرياضية التي تخص الجانب الزراعي في الدراسة.

كما لا يسعني الا ان اقدم شكري وامتناني إلى زملائي الكرام في إقليم كوردستان العراق. واخص بالذكر الزميل الكريم **أ.م.د هاشم ياسين حمد الحداد** في جامعة صلاح الدين، الذي ساعدني في اختيار منطقة الدراسة ومناقشته معي عدد من المسائل التي تخص الجانب الزراعي فيها. والزميلة الفاضلة **أ.م.د ساكار بهاء الدين آل مدرس** في ذات الجامعة، على مساعدتها لي في الحصول على أهم البيانات المعتمدة في الدراسة فضلا عن مناقشتها معي عدد من المسائل التي تخص الجانب الحضري فيها، والزميل الكريم **أ.م.د عمر حسن راوندزي** في جامعة سوران على مساعدته لي في الحصول على بعض البيانات الاخرى. جزا الله زملائي في إقليم كوردستان العراق خير الجزاء.

واخيرا اقدم جزيل شكري وتقديري إلى زوجتي التي تحملت معي صعاب الدراسة، رضي الله عنها وبارك فيها وحفظها.

الباحث

المستخلص

تعد نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد، ركنين أساسيين من أركان التكنولوجية الجغرافية التي تمثل بدورها البنى التحتية للجغرافية المعاصرة، كما تعد النمذجة الخرائطية ميدانا متقدما في البحث الجغرافي الذي يشمل عمليات التحليل والتركيب الرياضي على سطح الخريطة، ومن ثم إنتاج وثائق مكانية يعتمد عليها في فهم الظاهرة المدروسة على الصعيد الجغرافي والتخطيطي.

تتحدد مشكلة الدراسة في شحة الخرائط التي يمكن الإفادة منها في مجالات التخطيط والدراسات الجغرافية، ذلك على الصعيد الزراعي والتوسع المساحي الحضري، فضلا عن ضبابية التكنيك الذي يجب اتباعه من لدن الجغرافيين الذين يرومون إلى توفير هكذا نوع من الخرائط، لذلك تهدف الدراسة إلى وضع تكنيك يتضمن إنتاج خرائط مختلفة تخص استعمالات الأرض، بوصفها وثائق مكانية يمكن أن تدعم عمليات التخطيط، فضلا عن رفد الجغرافيين برؤية تقنية تسهم في تطوير إمكانيات البحث الجغرافي الذي يتناول موضوع استعمالات الأرض، تحت لواء التكامل بين نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد، بمنظور النمذجة الخرائطية، وقد اعتمد في ذلك على مجموعة من البيانات التي تخص استعمالات الأرض في قضاء سهل أربيل أنموذجاً لسير الدراسة.

في حين تنطلق الفرضية الرئيسة للدراسة من إمكانية إنتاج خرائط مختلفة لاستعمالات الأرض في قضاء سهل أربيل، من حيث مشهدها في الماضي والحاضر والمستقبل، ومن حيث قدرة الأرض في الحيز المكاني المدروس على استيعاب الاستعمالات المختلفة، اعتمادا على النمذجة الخرائطية تحت جناح التكامل بين نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد، ومن أجل التحقق من الفرضية، اعتُمد على تقنيات الاستشعار عن بعد في تصنيف المرئيات الفضائية المأخوذة عن منصة Landsat من المستشعرين ETM+ وOLI، بعد معالجتها في برنامج ENVI 5.3 وتفسير الأصناف، في حين اعتُمد على نظم المعلومات الجغرافية في نمذجة خرائط تغير الاستعمالات بمناظير متعددة، مع تطوير أداتين في برنامج ArcGIS Desktop 10.6.1، إحداها تحت مسمى MBU لنمذجة تواجد الأبنية والأراضي القاحلة. والأُخرى تحت مسمى Change Detection for Spectral Indices لنمذجة الكشف عن تغير المؤشرات الطيفية، كما تم نمذجة العديد من الخرائط في برنامج IDRISI Selva 17.0 للكشف عن تغيرات استعمالات الأرض. ذلك للحصول على مردودات جغرافية أكثر تفصيلا.

وقد شرعت الدراسة إلى النمذجة الخرائطية لتقييم الأرض من حيث قابليتها على الإنتاج اعتمدا على تصنيف وزارة الزراعة الأمريكية USDA. وقد تم ذلك بالاعتماد على بيانات من

مصـــادر مختلفـــة فضـــلا عـــن توليـــف جملـــة مـــن المعـــادلات الرياضـــية فـــي برنـــامج ArcGIS Desktop 10.6.1، وصولا إلى خريطة القابلية الإنتاجية للأرض في قضاء سهل أربيل، ثم ذهبت الدراسة إلى النمذجة الخرائطية لتقييم ملاءمة الأرض على زراعة المحاصيل الاستراتيجية (القمح، الشعير والذرة الصفراء) التي تدخل ضمن الأمن الغذائي القومي، وقد حصل ذلك، بالاعتماد على تصنيف منظمة الاغذية والزراعة التابعة للأمم المتحدة FAO في تعيين أصناف الملاءمة، عن طريق تكاملات ضمنية بين نظم المعلومات الجغرافية والإحصاء ونظم دعم القرار المكاني، فضلا عن تطوير أداتين لتقييم ملاءمة الأرض على زراعة محاصيل القمح والشعير والذرة الصفراء في برنامج ArcGIS Desktop 10.6.1. سميت الأداة الأولى Wheat and Barley Crops Suitability، في حين سميت الثانية Maize Crop Suitability.

واستكمل العمل في الدراسة نحو النمذجة الخرائطية لملاءمة الأرض على التوسع المساحي الحضري بمنظور استدامة الأراضي الزراعية، ذلك بانتخاب مجموعة من المتغيرات المؤثرة على التوسع على وفق الخصوصية المكانية التي يتمتع بها قضاء سهل أربيل، فضلا عن الاعتماد على القابلية الإنتاجية للأرض وملاءمتها على زراعة المحاصيل الاستراتيجية كمحددات للتوسع، وقد استند على دعم القرار المكاني في وضع الأوزان المناسبة للمتغيرات والمحددات. وفي ضوء ذلك، تم تطوير أداة خاصة بنمذجة ملاءمة التوسع المساحي الحضري تحت مسمى Urban Spatial Expansion Suitability التي يمكن استخدامها مع أي حيز مكاني شبيه بالخصوصية المكانية لقضاء سهل أربيل. واخيراً ذهبت الدراسة باتجاه المحاكاة الخرائطية لمستقبل استعمالات الأرض حتى عام 2029 وذلك باستخدام الذكاء الاصطناعي على وفق الأنموذج الرياضي ANN-CA، وهكذا تحقق التكامل الفاعل بين نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد في نمذجة جملة من الخرائط التي كشفت عن مكنونات استعمالات الأرض في قضاء سهل أربيل، ومن ثم إثبات الفرضية الموضوعة.

وقد كشفت الخرائط المُنمذجة بالتكنيك الموضوع، جملة من الحقائق، مفادها أن استعمالات الأرض الزراعية في قضاء سهل أربيل تراوحت بين توسع وانكماش، متأثرة بالظروف الاقتصادية والسياسية للدولة، فضلا عن أن هناك توسعاً حضرياً مزمناً حصل بين المُدد الزمنية المدروسة وبمستويات مساحية قافزة، كما أن القضاء يتمتع بارض خصبة ذات أصناف جيدة ومتوسطة من قابلية الأرض على الإنتاج الزراعي وبمساحة تقدر بنحو أكثر من 50% من المساحة الكلية للقضاء. فضلا عن تمتعه بأراضي لها ملاءمة كبيرة على زراعة القمح والشعير والذرة الصفراء، وفي الجانب الآخر، تتميز أرض القضاء بتوطن أصناف عالية

ومعتدلة من حيث ملاءمتها على التوسع المساحي الحضري، ذلك عند الأخذ بنظر الاعتبار عدم التجاوز – قدر الإمكان – على الأراضي الزراعية ذات الأصناف الجيدة بمنظور قابلية الأرض على الإنتاج الزراعي وملاءمتها على زراعة المحاصيل الاستراتيجية.

في حين تبين أن هناك تغيرا سوف يطرأ على استعمالات الأرض الزراعية حتى عام 2029 في الموسم الزراعي الشتوي، نحو زيادة مساحة الأراضي المزروعة بالحبوب، مع تقلص في زراعة الأراضي بمحاصيل الخضراوات، فضلا عن تقلص في المساحات المزروعة بمحاصيل الحبوب والخضراوات معا في الموسم الزراعي الصيفي، ومن زاوية التوسع المساحي الحضري، فإن هناك زيادة مساحية للأرض الحضرية في المنطقة قدرت نحو 27 كم^2 حتى عام 2029.

ومن ثم قدمت الدراسة مجموعة مقترحات أهمها ضرورة القيام بمشاريع إروائية وتجنب الاعتماد على الزراعة الديمية فقط من أجل الارتقاء بالزراعة إلى مستوى الإنتاج الواسع المنظم من جانب، واستدامة الأرض الزراعية من جانب اخر. فضلا عن توجيه التوسع المساحي الحضري في قضاء سهل أربيل نحو جانبه الشرقي، على الرغم من كلفة التوسع من الناحية الاقتصادية؛ حيث الارتفاع النسبي للمنحدرات الأرضية، وكذلك توطن أصناف دنيا من قابلية الأرض على الإنتاج وملاءمتها على زراعة المحاصيل الاستراتيجية، للحيلولة دون فقدان الأراضي الزراعية الجيدة بوصفها ثروة قومية لا يمكن تعويضها.

ثبت المحتويات

التسلسل	الموضوع	الصفحة
المستخلص		أ
ثبت المحتويات		د
ثبت الخرائط		ط
ثبت الجداول		م
ثبت الاشكال		ع
المقدمة		15-1
الفصل الأول: الإطار النظري - المفاهيمي		
1-1	طبيعة التكامل بين نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد	16
1-1-1	مفهوم التكامل	16
2-1-1	نظرية التكامل التطوري (النشوئي)	18
1-2-1-1	نقد النظرية	20
3-1-1	نظرية التكامل المنهجي	24
1-3-1-1	نقد النظرية	26
2-1	مفهوم الأنموذج والنمذجة	28
1-2-1	أنواع النماذج	30
1-1-2-1	النماذج السابقة واللاحقة	30
2-1-2-1	النماذج الساكنة والمتحركة	30
3-1-2-1	النماذج القياسية والطبيعية	31
4-1-2-1	النماذج الإحصائية والرياضية	31
5-1-2-1	الأنموذج المفاهيمي	32
3-1	مفهوم النمذجة الخرائطية	33
1-3-1	أنواع النمذجة الخرائطية	37
1-1-3-1	النمذجة الخرائطية الوصفية	37
2-1-3-1	النمذجة الخرائطية الارشادية	37
4-1	الاتجاهات المعاصرة في النمذجة الخرائطية	38
1-4-1	النمذجة الخرائطية وجبر الخرائط الموزون	38
2-4-1	النمذجة الخرائطية والأتمتة الخلوية	40

التسلسل	الموضوع	الصفحة
1-4-3	النمذجة الخرائطية والذكاء الاصطناعي	43
1-4-3-1	مفهوم المنطق المضبب	44
1-4-3-2	مفهوم الشبكات العصبية الاصطناعية	45
1-5	مفهوم استعمالات الأرض	49
الفصل الثاني: النمذجة الخرائطية لتصنيف استعمالات الأرض والكشف عن التغير		
2-1	النمذجة الخرائطية لتصنيف استعمالات الأرض	51
2-1-1	مصادر المرئيات الفضائية وجودتها	51
2-1-2	معالجة المرئيات الفضائية	55
2-1-2-1	المعالجات الأولية	56
2-1-2-1-1	ملئ الفجوات	56
2-1-2-1-2	دمج الحزم	57
2-1-2-1-3	التصحيح الهندسي	59
2-1-2-1-4	التصحيح الجوي	60
2-1-2-2	المعالجات اللاحقة	63
2-1-2-2-1	تحسين المرئيات	63
2-1-2-2-2	تحليل المركبات الأساسية	66
2-1-3	تصنيف المرئيات الفضائية	70
2-1-3-1	مرحلة التحضير للتصنيف	71
2-1-3-2	مرحلة التصنيف	74
2-1-3-3	تقييم دقة التصنيف	82
2-2	النمذجة الخرائطية للكشف عن تغير استعمالات الأرض	86
2-2-1	طريقة مقارنة مرئية مع مرئية (اختلاف المرئيات)	87
2-2-1-1	مؤشر الاختلاف النباتي المطبع NDVI	88
2-2-1-2	مؤشر اختلاف المباني المطبع NDBI	89
2-2-1-3	تطوير أداة لمؤشر المباني المعدل MBU	91
2-2-1-4	تطوير أداة للكشف عن تغير المؤشرات الطيفية	92
2-2-2	طريقة مقارنة تصنيف مع تصنيف	102
2-2-2-1	خرائط التغير في استعمالات الأرض	103

التسلسل	الموضوع	الصفحة
2-2-2-2	خرائط الزيادة والنقصان في تغير استعمالات الأرض	108
3-2-2-2	خرائط النزعة المكانية لتغير استعمالات الأرض	114
الفصل الثالث: النمذجـــة الخرائطية لقابليـــة الأرض على الإنتاج وملاءمتها على زراعة المحاصيل الاستراتيجية		
1-3	النمذجة الخرائطية لقابلية الأرض على الإنتاج	124
1-1-3	مؤشر Storie لتصنيف قابلية الأرض على الإنتاج	126
2-1-3	النمذجة الخرائطية لعوامل Storie	131
1-2-1-3	نمذجة العامل B (نسجة التربة بمقياس Storie)	132
2-2-1-3	نمذجة العامل C (انحدار سطح الأرض بمقياس Storie)	133
3-2-1-3	نمذجة العامل X5 (تعرية التربة)	134
1-3-2-1-3	نمذجة العامل R (قابلية المطر على التعرية)	135
2-3-2-1-3	نمذجة العامل K (قابلية التربة على التعرية)	137
3-3-2-1-3	نمذجة العامل LS (عامل الطوبوغرافيا)	138
4-3-2-1-3	نمذجة العامل C (عامل الغطاء النباتي)	139
2-3	النمذجة الخرائطية لملاءمة الأرض على زراعة المحاصيل الاستراتيجية	143
1-2-3	أصناف الملاءمة المكانية الزراعية	145
2-2-3	تقييم أصناف الملاءمة المكانية الزراعية	146
3-2-3	نمذجة الخصائص الطبيعية للمحاصيل الاستراتيجية	147
1-3-2-3	نمذجة الخصائص الطبيعية لمحصولي القمح والشعير	148
1-1-3-2-3	نمذجة الخصائص المناخية لمحصولي القمح والشعير	149
2-1-3-2-3	نمذجة الخصائص الطوبوغرافية لمحصولي القمح والشعير	159
3-1-3-2-3	نمذجة خصائص التربة لمحصولي القمح والشعير	161
2-3-2-3	نمذجة الخصائص الطبيعية لمحصول الذرة الصفراء	165
1-2-3-2-3	نمذجة ملاءمة متطلبات الحرارة ومياه الري لمحصول الذرة الصفراء	167
2-2-3-2-3	نمذجة ملاءمة خصائص التربة لمحصول الذرة الصفراء	171
4-2-3	نمذجة الخصائص البشرية للمحاصيل الاستراتيجية	173
1-4-2-3	نمذجة الأيدي العاملة الزراعية	174

التسلسل	الموضوع	الصفحة
3-2-4-2	نمذجة سهولة الوصول	180
3-2-5	دعم القرار المكاني في نمذجة الملاءمة على زراعة المحاصيل الاستراتيجية	184
3-2-5-1	تعريف الهدف أو المشكلة	186
3-2-5-2	تجهيز المعايير	186
3-2-5-3	تحديد البدائل	187
3-2-5-4	وزن المعايير	189
3-2-5-4-1	الاستبيان	189
3-2-5-4-2	بناء مصفوفة المقارنة الزوجية	191
3-2-6	تطوير أدوات لنمذجة ملاءمة الأرض على زراعة المحاصيل الاستراتيجية	196
الفصل الرابع: النمذجة الخرائطية لملاءمة الأرض على التوسع المساحي الحضري ومستقبل استعمالاتها حتى عام 2029		
4-1	النمذجة الخرائطية لملاءمة الأرض على توسع المساحي الحضري	204
4-1-1	حجم سكان الحضر	206
4-1-1-1	تحديد الأراضي الحضرية على خرائط استعمالات الأرض	206
4-1-1-2	تقدير حجم سكان الحضر المتوقع في قضاء سهل أربيل حتى عام 2029	210
4-1-1-3	احتياجات السكان الحالية والمستقبلية من الأرض الحضرية حتى عام 2029	212
4-1-2	نمذجة القرب من الأرض الحضرية	214
4-1-3	نمذجة القرب من طرق النقل الرئيسة	215
4-1-4	نمذجة عامل انحدار سطح الأرض	216
4-1-5	نمذجة عامل المياه الجوفية	217
4-1-6	نمذجة البعد عن الأراضي الزراعية	218
4-1-7	دعم القرار المكاني في نمذجة ملاءمة الأرض على التوسع المساحي الحضري	220
4-1-7-1	تجهيز المعايير	220

التسلسل	الموضوع	الصفحة
4-1-7-2	تحديد البدائل	223
4-1-7-3	وزن المعايير	224
4-1-7-3-1	الاستبيان	224
4-1-7-3-2	بناء مصفوفة المقارنة الزوجية	226
4-1-8	تطوير أداة لنمذجة ملاءمة الأرض على التوسع المساحي الحضري	228
4-2	المحاكاة الخرائطية لمستقبل التوسع المساحي الحضري في قضاء سهل أربيل حتى عام 2029	234
4-2-1	نموذج المحاكاة المستخدم للتنبؤ بمستقبل التوسع المساحي الحضري	236
4-2-2	تحديد سيناريوهات التوسع المساحي الحضري حتى عام 2029	238
4-2-3	تضبيب الحدود الشرطية للسيناريوهات المعتمدة	240
4-2-4	تشغيل أنموذج المحاكاة ANN-CA	243
4-2-5	توقعات التوسع المساحي الحضري حسب السيناريوهات المعتمدة حتى عام 2029	248
4-2-6	الملامح المستقبلية لاستعمالات الأرض في قضاء سهل أربيل حسب السيناريوهات المعتمدة حتى عام 2029	263
الاستنتاجات		270
المقترحات		273
قائمة المصادر		274
Abstract		A
الملاحق		I

ثبت الخرائط

الرقم	عنوان الخريطة	الصفحة
1	الموقع الجغرافي لقضاء سهل أربيل	12
2	مقاطعات قضاء سهل أربيل عام 2018	13
3	مواقع عينات التدريب المأخوذة بجهاز الـ GPS عن الزيارات الميدانية للموسمين الشتوي والصيفي لسنة 2019 في قضاء سهل أربيل	74
4	استعمالات الأرض في قضاء سهل أربيل لعام 2002	79
5	استعمالات الأرض في قضاء سهل أربيل لعام 2012	80
6	استعمالات الأرض في قضاء سهل أربيل لعام 2019	81
7	تغير مؤشر NDVI بين عامي 2002 – 2012 في قضاء سهل أربيل	97
8	تغير مؤشر MBU بين عامي 2002 – 2012 في قضاء سهل أربيل	98
9	تغير مؤشر NDVI بين عامي 2012 – 2019 في قضاء سهل أربيل	99
10	تغير مؤشر MBU بين عامي 2012 – 2019 في قضاء سهل أربيل	100
11	تغير استعمالات الأرض للموسم الشتوي في قضاء سهل أربيل بين عامي 2012 – 2002	104
12	تغير استعمالات الأرض للموسم الصيفي في قضاء سهل أربيل بين عامي 2012 – 2002	105
13	تغير استعمالات الأرض للموسم الشتوي في قضاء سهل أربيل بين عامي 2019 – 2012	106
14	تغير استعمالات الأرض للموسم الصيفي في قضاء سهل أربيل بين عامي 2019 – 2012	107
15	الزيادة والنقصان في تغير استعمالات الأرض للموسم الشتوي في قضاء سهل أربيل بين عامي 2002 – 2012	110
16	الزيادة والنقصان في تغير استعمالات الأرض للموسم الصيفي في قضاء سهل أربيل بين عامي 2002 – 2012	111
17	الزيادة والنقصان في تغير استعمالات الأرض للموسم الشتوي في قضاء سهل أربيل بين عامي 2012 – 2019	112
18	الزيادة والنقصان في تغير استعمالات الأرض للموسم الصيفي في قضاء سهل أربيل بين عامي 2012 – 2019	113

الرقم	عنوان الخريطة	الصفحة
19	النزعة المكانية لتغير استعمالات الأرض للموسم الشتوي في قضاء سهل أربيل بين عامي 2002 – 2012	115
20	النزعة المكانية لتغير استعمالات الأرض للموسم الصيفي في قضاء سهل أربيل بين عامي 2002 – 2012	116
21	النزعة المكانية لتغير استعمالات الأرض للموسم الشتوي في قضاء سهل أربيل بين عامي 2012 – 2019	117
22	النزعة المكانية لتغير استعمالات الأرض للموسم الصيفي في قضاء سهل أربيل بين عامي 2012 – 2019	118
23	العامل B (نسجة التربة بمقياس Storie) في قضاء سهل أربيل	133
24	العامل C (انحدار سطح الأرض بمقياس Storie) في قضاء سهل أربيل	134
25	العامل R (قابلية المطر على التعرية بمقياس RUSLE) في قضاء سهل أربيل	136
26	العامل K (قابلية التربة على التعرية بمقياس RUSLE) في قضاء سهل أربيل	137
27	العامل LS (عامل الطوبوغرافيا بمقياس RUSLE) في قضاء سهل أربيل	139
28	العامل C (عامل الغطاء النباتي بمقياس RUSLE) في قضاء سهل أربيل	140
29	العامل X5 (تعرية التربة بمقياس Storie) في قضاء سهل أربيل	141
30	قابلية الأرض على الإنتاج في قضاء سهل أربيل لعام 2019	142
31	معدلات الحرارة والأمطار للأعوام (2002 – 2019) ضمن دورة نمو القمح في قضاء سهل أربيل	158
32	معدلات الحرارة والأمطار للأعوام (2002 – 2019) ضمن دورة نمو الشعير في قضاء سهل أربيل	158
33	ملاءمة الخصائص المناخية على زراعة محصولي القمح والشعير في قضاء سهل أربيل على وفق تصنيف الـ FAO	159
34	ملاءمة الخصائص الطوبوغرافية على زراعة محصولي القمح والشعير في قضاء سهل أربيل على وفق تصنيف الـ FAO	160
35	الخصائص الفيزيائية والكيميائية المعتمدة في تقييم ملاءمة التربة على زراعة محصولي القمح والشعير في قضاء سهل أربيل	163

الرقم	عنوان الخريطة	الصفحة
36	ملاءمة خصائص التربة على زراعة محصولي القمح والشعير في قضاء سهل أربيل على وفق تصنيف الـ FAO	164
37	معدل الحرارة للسنوات (2002 – 2019) ضمن مدة نمو محصول الذرة الصفراء وإنتاجية الآبار من المياه في قضاء سهل أربيل للعام 2019	169
38	عمق الري المتوفر في قضاء سهل أربيل خلال مدة نمو محصول الذرة الصفراء	170
39	ملاءمة متطلبات محصول الذرة الصفراء من معدل الحرارة للسنوات (2002 – 2019) ومياه الري للعام 2019 في قضاء سهل أربيل على وفق تصنيف الـ FAO	171
40	ملاءمة خصائص التربة على زراعة محصول الذرة الصفراء في قضاء سهل أربيل على وفق تصنيف الـ FAO	172
41	التوزيع البيئي للسكان والأيدي العاملة الزراعية في نواحي قضاء سهل أربيل لعام 2019	176
42	الأيدي العاملة الزراعية والكثافة الزراعية حسب مقاطعات قضاء سهل أربيل لعام 2019	178
43	الملاءمة المكانية الزراعية للأيدي العاملة بدلالة الكثافة الزراعية في قضاء سهل أربيل لعام 2019	197
44	سهولة الوصول بدلالة البعد عن مركز التسويق موزون بكثافة النقل في قضاء سهل أربيل لعام 2019	182
45	تقييس المعايير (الخصائص) بالمقياس النسبي وتجهيزها للـ AHP	187
46	ملاءمة الأرض على الزراعة الديمية لمحصولي القمح والشعير في قضاء سهل أربيل لعام 2019 على وفق تصنيف الـ FAO	200
47	ملاءمة الأرض على الزراعة الإروائية لمحصول الذرة الصفراء في قضاء سهل أربيل لعام 2019 على وفق تصنيف الـ FAO	200
48	الحدود البلدية للمنطقة الحضرية في نواحي قضاء سهل أربيل لعام 2019	209
49	المنطقة الحضرية في خرائط استعمالات الأرض المصنفة من مرئيات Landsat 7,8 على وفق الحدود البلدية لنواحي قضاء سهل أربيل لعام 2019	209

الرقم	عنوان الخريطة	الصفحة
50	القرب من الأرض الحضرية في قضاء سهل أربيل لعام 2019	215
51	القرب من طرق النقل الرئيسة في قضاء سهل أربيل لعام 2019	216
52	انحدار سطح الأرض في قضاء سهل أربيل لعام 2019	217
53	ملامح ملاءمة الأرض على زراعة المحاصيل الاستراتيجية في قضاء سهل أربيل لعام 2019	219
54	تقييس المعايير الداخلة في أنموذج الـ AHP باستخدام الدالتين Large and Small لغرض نمذجة ملاءمة الأرض على التوسع المساحي الحضري في قضاء سهل أربيل لعام 2019	223
55	نماذج ملاءمة الأرض على التوسع المساحي الحضري بمحدد قابلية الأرض على الإنتاج الزراعية وملامح ملاءمتها على زراعة المحاصيل الاستراتيجية في قضاء سهل أربيل لعام 2019	231
56	النماذج الخرائطية للحدود الشرطية المقيسة بالمنطق المضبب والداخلة في أنموذج المحاكاة ANN-CA	243
57	مستقبل التوسع المساحي الحضري في قضاء سهل أربيل على وفق السيناريوهات المعتمدة حتى عام 2029	249
58	مستقبل التوسع المساحي الحضري في ناحية كسنزان بمنظور استدامة الأرض الزراعية حتى عام 2029	256
59	مستقبل التوسع المساحي الحضري في ناحية بنصلاوة بمنظور استدامة الأرض الزراعية حتى عام 2029	258
60	مستقبل التوسع المساحي الحضري في ناحية دارةتو بمنظور استدامة الأرض الزراعية حتى عام 2029	260
61	مستقبل التوسع المساحي الحضري في ناحية قوش تبه بمنظور استدامة الأرض الزراعية حتى عام 2029	262
62	استعمالات الأرض في قضاء سهل أربيل للموسم الزراعي الشتوي المتوقع عام 2029	264
63	استعمالات الأرض في قضاء سهل أربيل للموسم الزراعي الصيفي المتوقع عام 2029	265

ثبت الجداول

الرقم	عنوان الجدول	الصفحة
1	مواصفات المرئيات الفضائية المعتمدة من القمر الصناعي Landsat 7	54
2	مواصفات المرئيات الفضائية المعتمدة من القمر الصناعي Landsat 8	55
3	إحداثيات عينات التدريب المأخوذة من جهاز الـGPS لاستعمالات الأرض للموسمين الشتوي والصيفي في قضاء سهل أربيل لسنة 2019 بنظام UTM WGS84 Zone38	73
4	تصنيف الكشف عن تغير المؤشرات الطيفية بين مدتين زمنيتين	93
5	تغير مساحة استعمالات الأرض في قضاء سهل أربيل للموسم الشتوي بين الاعوام 2002، 2012، 2019	109
6	تغير مساحة استعمالات الأرض في قضاء سهل أربيل للموسم الصيفي بين الاعوام 2002، 2012، 2019	109
7	تصنيف كمية ومستويات التعرية على وفق معادلة RUSLE	141
8	مساحة أصناف القابلية الإنتاجية للأرض في قضاء سهل أربيل لعام 2019	142
9	تقييم المتغيرات والخصائص للملاءمة المكانية الزراعية	147
10	مراحل نمو محصولي القمح والشعير في قضاء سهل أربيل	150
11	معادلات الانحدار الخطية المشتقة لتقييم ملاءمة الخصائص المناخية على زراعة محصولي القمح والشعير	156
12	معادلات الانحدار الخطية المشتقة لتقييم ملاءمة خصائص التربة على زراعة محصولي القمح والشعير	162
13	معادلات الانحدار الخطية المشتقة لتقييم ملاءمة الخصائص المناخية على زراعة محصول الذرة الصفراء	168
14	معادلات الانحدار الخطية المشتقة لتقييم ملاءمة خصائص التربة على زراعة محصول الذرة الصفراء	172
15	التوزيع البيئي للسكان والأيدي العاملة في الزراعة حسب الوحدات الإدارية في قضاء سهل أربيل لعام 2019	176
16	المقياس الترتيبي للأهمية بطريقة AHP	188
17	نتائج الاستبيان حول أهمية الخصائص المختلفة لملاءمة الأرض على زراعة القمح والشعير في قضاء سهل أربيل	190

الرقم	عنوان الجدول	الصفحة
18	نتائج الاستبيان حول أهمية الخصائص المختلفة لملاءمة الأرض على زراعة الذرة الصفراء في قضاء سهل أربيل	191
19	تقريب المتوسط الموزون لاستجابات العينة إلى أقرب قيمة في مقياس AHP	192
20	الأوزان المطلقة والأهمية النسبية للمعايير الداخلة في الـ AHP لملاءمة الأرض على زراعة المحاصيل الاستراتيجية في قضاء سهل أربيل	195
21	مساحة أصناف ملاءمة الأرض على زراعة المحاصيل الاستراتيجية في قضاء سهل أربيل	201
22	مساحة الأراضي الحضرية حسب نواحي قضاء سهل أربيل للأعوام 2002 و2012 و2019	210
23	الإسقاط السكاني لحجم سكان الحضر المتوقع في قضاء سهل أربيل حتى عام 2029	211
24	نصيب الفرد من المساحة الحضرية لعام 2019 واحتياجات السكان المتوقعة من المساحة الحضرية حتى عام 2029 في قضاء سهل أربيل	212
25	نتائج الاستبيان لأهمية المعايير الداخلة في ملاءمة الأرض على التوسع المساحي الحضري لقضاء سهل أربيل لعام 2019	225
26	تقريب المتوسط الموزون لاستجابات العينة إلى أقرب قيمة في مقياس AHP	226
27	الأوزان المطلقة والأهمية النسبية للمعايير الداخلة في الـ AHP لملاءمة الأرض على التوسع المساحي الحضري في قضاء سهل اربيل لعام 2019	227
28	الحدود الرقمية لمستويات ملاءمة الأرض على التوسع المساحي الحضري للأنموذج الخرائطي الذي تنتجه الأداة المطورة Urban Spatial Expansion Suitability	230
29	مساحة مستويات ملاءمة الأرض على التوسع المساحي الحضري في قضاء سهل أربيل بمحددات قابلية الأرض على الإنتاج الزراعي وملامح ملاءمتها على زراعة المحاصيل الاستراتيجية لعام 2019	232
30	فقدان الأراضي الزراعية المتوقع بالتوسع المساحي الحضري في ضوء منظور قابلية الأرض على الإنتاج وملامح ملاءمتها على زراعة المحاصيل الاستراتيجية في قضاء سهل أربيل عام 2029	250
31	مساحة استعمالات الأرض المتوقعة في قضاء سهل أربيل للموسم الزراعي	266

الرقم	عنوان الجدول	الصفحة
	الشتوي عام 2029 وتغيراتها على وفق السيناريوهات المعتمدة	
32	مساحة استعمالات الأرض المتوقعة في قضاء سهل أربيل للموسم الزراعي الصيفي عام 2029 وتغيراتها على وفق لسيناريوهات المعتمدة	266

ثبت الاشكال

الرقم	عنوان الشكل	الصفحة
1	مخطط لنظرية التكامل التطوري (النشوئي)	20
2	مستوى التكامل الإبتدائي لنظرية Ehlers بين برنامجي ENVI5.3 و ArcGIS 10.6.1	22
3	مستوى التكامل المتلاحم لنظرية Ehlers بين برنامجي ENVI5.3 و ArcGIS 10.6.1	22
4	الدعم الوظيفي للأدوات الأساسية في أهم البرمجيات الخاصة بالاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية	24
5	مخطط لنظرية التكامل المنهجي بين نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد	26
6	وحدات بناء الأنموذج المفاهيمي التفاعلي في برنامج ArcGIS desktop 10.6.1	33
7	العمليات الأساسية للمنطق البولياني في جبر الخرائط	39
8	لعبة الحياة (قوانين الانتقال) في الأتمتة الخلوية	42
9	أنموذج غير خطي لعصبون	47
10	مخطط لشبكة عصبية اصطناعية بسيطة	48
11	أنموذج لملء الفجوات للحزمة 7 من مرئية Landsat 7 ETM+ للموسم الصيفي 2012	57
12	دمج الحزم وتركيب الألوان الكاذبة للمرئيات الفضائية المستخدمة	58
13	عملية التصحيح الهندسي للمرئيات الفضائية	60
14	نموذج من المعايرة الإشعاعية للحزمة 7 من المستشعر ETM+	61
15	نموذج من انعكاسية النبات في المرئيات الفضائية قبل وبعد عملية التصحيح الجوي	63
16	نموذج من بسط التباين الخطي والكاوسياني على المرئيات الفضائية المستخدمة في الدراسة	66
17	محتوى المعلومات (القيم الذاتية) الناتجة عن تحليل المركبات الأساسية للمرئيات الفضائية المعتمدة في الدراسة	68

الرقم	عنوان الشكل	الصفحة
18	نموذج لتحليل المركبات الأساسية لمرئية الموسم الصيفي لقضاء سهل أربيل لعام 2012	70
19	عملية التصنيف الموجه في الاستشعار عن بعد	75
20	عملية التصنيف بطريقة الاحتمالية العظمى	76
21	الانعكاسية الطيفية الرئيسة لأصناف استعمالات الأرض في قضاء سهل أربيل على وفق ترتيب الحزم 7,4,2 للمستشعر +ETM و 7,5,3 للمستشعر OLI	77
22	الأنموذج المفاهيمي والأداة المطورة الخاصة باستخراج مؤشر المباني المعدل MBU في برنامج ArcGIS Desktop 10.6.1	92
23	الأنموذج المفاهيمي والأداة المطورة الخاصة باستخراج كشف التغير للمؤشرات الطيفية Change Detection for Spectral Indices في برنامج ArcGIS Desktop 10.6.1	95
24	أنموذج لمدخلات ومخرجات الأداة المطورة Change Detection for Spectral Indices في برنامج ArcGIS Desktop 10.6.1	96
25	مدخلات مؤشر Storie لتصنيف قابلية الأرض على الإنتاج في قضاء سهل أربيل	127
26	مخطط النمذجة الخرائطية لقابلية الأرض على الإنتاج في قضاء سهل أربيل على وفق مؤشر Storie	132
27	مخطط النمذجة الخرائطية لملاءمة الخصائص الطبيعية على زراعة محصولي القمح والشعير في قضاء سهل أربيل على وفق تقييم الـ FAO	149
28	وزن معدل الحرارة ومجموع المطر الشهري لدورة نمو محصولي القمح والشعير في برنامج ArcGIS 10.6.1	151
29	اشتقاق معادلات الانحدار الخطي والانحدار التربيعي لأصناف ملاءمة الأمطار على زراعة محصول القمح وما يقابلها من مستويات التقييم في برنامج Minitab 19.	154
30	اشتقاق معادلة الانحدار الخطي للصنف الأول (S1) من ملاءمة الأمطار على زراعة محصول القمح وما يقابلها من مستويات التقييم في برنامج Minitab 19.	155

الرقم	عنوان الشكل	الصفحة
31	آلية تقييم ملاءمة الأمطار على زراعة محصول القمح ضمن صنف الملاءمة العالية S1 في نظم المعلومات الجغرافية	157
32	أنموذج من جبر الخرائط لتقييم خصائص التربة على وفق معادلة خاصية الأرض	163
33	مخطط النمذجة الخرائطية لملاءمة الخصائص الطبيعية على زراعة محصول الذرة الصفراء في قضاء سهل أربيل	166
34	التصنيف الخرائطي باستخدام طريقة الفواصل الطبيعية للملاءمة الزراعية للأيدي العاملة بدلالة الكثافة الزراعية في قضاء سهل أربيل لعام 2019	178
35	البنية الهرمية للخصائص الداخلة في ملاءمة الأرض على زراعة المحاصيل الاستراتيجية في قضاء سهل أربيل على وفق طريقة AHP	188
36	مكونات العينة القصدية الداخلة في الـ AHP لنمذجة الملاءمة الزراعية للمحاصيل الاستراتيجية في قضاء سهل أربيل	189
37	مصفوفة المقارنة الزوجية في الامتداد GIS Decision Tools لملاءمة الأرض على زراعة القمح والشعير في قضاء سهل أربيل	194
38	مصفوفة المقارنة الزوجية في الامتداد GIS Decision Tools لملاءمة الأرض على زراعة الذرة الصفراء في قضاء سهل أربيل	195
39	الأنموذج المفاهيمي والأداة المطورة الخاصة بنمذجة ملاءمة الأرض على الزراعة الديمية لمحصولي القمح والشعير Wheat and Barley Crops Suitability في برنامج ArcGIS desktop 10.6.1	198
40	الأنموذج المفاهيمي والأداة المطورة الخاصة بنمذجة ملاءمة الأرض على زراعة محصول الذرة الصفراء Maize Crop Suitability في برنامج ArcGIS desktop 10.6.1	199
41	التكنيك المستخدم في فصل المنطقة الحضرية عن الاستيطان الريفي على خرائط استعمالات الأرض المصنفة من مرئيات 7، 8 Landsat	208
42	عمل الدالتين Large and Small في برنامج ArcGIS Desktop 10.6.1	221
43	البنية الهرمية للمعايير الداخلة في أنموذج ملاءمة الأرض على التوسع المساحي الحضري في قضاء سهل أربيل لعام 2019 على وفق طريقة AHP	224

الرقم	عنوان الشكل	الصفحة
44	مصفوفة المقارنة الزوجية في الامتداد GIS Decision Tools لملاءمة الأرض على التوسع المساحي الحضري في قضاء سهل أربيل لعام 2019	227
45	الأنموذج المفاهيمي والأداة المطورة الخاصة بنمذجة ملاءمة الأرض على التوسع المساحي الحضري Urban Spatial Expansion Suitability في برنامج ArcGIS desktop 10.6.1	230
46	أنموذج المحاكاة ANN-CA في الامتداد GeoSOS ضمن برنامج ArcGIS Desktop 10.6.1	236
47	عملية التضبيب في الدالة Fuzzy Large	242
48	اختبار صلاحية البيانات والحدود الشرطية المدخلة للسيناريو (1) ودقة التدريب على المحاكاة في الشبكات العصبية الاصطناعية للموسمين الزراعيين الصيفي والشتوي	244
49	اختبار صلاحية البيانات والحدود الشرطية المدخلة للسيناريو (2) ودقة التدريب على المحاكاة في الشبكات العصبية الاصطناعية للموسمين الزراعيين الصيفي والشتوي	245
50	اختبار صلاحية البيانات والحدود الشرطية المدخلة للسيناريو (3) ودقة التدريب على المحاكاة في الشبكات العصبية الاصطناعية للموسمين الزراعيين الصيفي والشتوي	245
51	دقة محاكاة استعمالات الأرض في قضاء سهل أربيل حتى عام 2029 للموسمين الزراعيين الصيفي والشتوي	247
52	فقدان الأراضي الزراعية المتوقع بالتوسع المساحي الحضري على وفق منظور قابلية الأرض على الإنتاج وملامح ملاءمتها على زراعة المحاصيل الاستراتيجية في قضاء سهل أربيل عام 2029	252
53	فقدان الأراضي الزراعية المتوقع بالتوسع المساحي الحضري على وفق منظور قابلية الأرض على الإنتاج وملامح ملاءمتها على زراعة المحاصيل الاستراتيجية حسب نواحي قضاء سهل أربيل عام 2029	255
54	تغير استعمالات الأرض في قضاء سهل أربيل المتوقعة للموسم الزراعي الشتوي لعام 2029 على وفق السيناريوهات المعتمدة	267
55	تغير استعمالات الأرض في قضاء سهل أربيل المتوقعة للموسم الزراعي الصيفي لعام 2029 على وفق السيناريوهات المعتمدة	267

المقدمة

Introduction

المقدمة Introduction

لطالما ارتبطت الجغرافيا بالتقنيات – المتوفرة في زمنها– ارتباطاً وثيقاً منذ بداياتها الوصفية، من خلال اعتمادها على أدوات لجمع المعلومات عن الظواهر المختلفة وقياسها. واستمر هذا الارتباط حتى انطلاق أول شرارة لاندلاع الثورة المعلوماتية منذ نهاية ثمانينيات القرن المنصرم، إذ ظهرت آنذاك اولى محاولات التكامل بين نظم المعلومات الجغرافية GIS والاستشعار عن بعد Remote Sensing في معالجة المسائل الجغرافية، فتشكلت الملامح الأولى للتقنيات الجغرافية بأطرها الجديدة Geographic Technologies، لتصبح فيما بعد البنية التحتية للجغرافيا المعاصرة، ومع تطور الحواسيب الشخصية والبرمجيات أضحت هذه التقنيات قادرة على إظهار الواقع بما يكفي من الدقة، فضلا عن القيام بعمليات التحليل والتركيب الرياضي، المؤدية إلى وضع نماذج وسيناريوهات مختلفة تكشف بدورها عن المتغيرات الجارية، وتعين على التخطيط للمستقبل، وتسهم في صنع القرارات المكانية.

على الجانب الآخر دأب الجغرافيون المختصون في نظم المعلومات الجغرافية على البحث عن منهجية جديدة لمعالجة البيانات الخلوية Raster Data المعمول بها في نظم المعلومات الجغرافية بما يتوافق مع البيانات التي يقدمها الاستشعار عن بعد، لغرض دعم التطبيقات الجغرافية المختلفة على نحو أكثر كفاءة[1]، فكان لظهور النمذجة الخرائطية Cartographic Modeling بمفهومها المعاصر على يد Tomlin[*]، الأثر الفاعل في تحويل هذا المفهوم إلى منهجية واضحة المعالم، ومعتمدة عالميا في مجال التطبيقات الجغرافية[2]، وقد أدى دمج نظم المعلومات الجغرافية مع نظم دعم القرار المكاني Spatial Decision Support Systems (SDSS) والذكاء الاصطناعي Artificial Intelligence (AI) إلى حدوث طفرة نوعية في مجال النمذجة الخرائطية التي تمخض عنها تحويل الكثير من التقنيات الرياضية المستخدمة في وضع النماذج والسيناريوهات من صورتها العددية، إلى نماذج وسيناريوهات خرائطية بدقة

---

(1) Kevin D. Crowley et.al , Rediscovering Geography: New Relevance for Science and Society, National Academy Press , Washington, USA, 1997, p. 44.

(*) Charles Dana Tomlin: هو بروفسور في جامعة بنسلفانيا في ولاية اوهايو الأمريكية، الذي يعمل مدرسا ومؤلفا ومطورا لنظم المعلومات الجغرافية، كما يعد أحد ابرز علماء نظم المعلومات الجغرافية على المستوى العالمي، إذ عمل على وضع الاسس النظرية والتطبيقية لجبر الخرائط بثوبه المعاصر. شملت اعماله أيضاً على هندسة اللاندسكيب في نطاق واسع من تطبيقات النمذجة الخرائطية في نظم المعلومات الجغرافية. للتفاصيل ينظر:

https://en.wikipedia.org/wiki/Dana_Tomlin

(2) C. Dana Tomlin, GIS and Cartographic Modeling, ESRI Press, California, USA, Second Edition, 2012, p. 3.

إحصـائية مقيسـة، لا يمكـن صـنعها بطرائـق التمثيـل الخرائطـي Cartographic Representation. فكان لاستعمالات الأرض بوصفها ظاهرة جغرافية سريعة التغير، النصيب الأكبر من بين الظواهر الجغرافية الأُخرى التي افادت من النمذجة الخرائطية في ظل التكامل بين نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد، من حيث الكشف عن مشهدها في الماضي والحاضر، فضلا عن المستقبل بسيناريوهات مختلفة.

أهمية الدراسة Importance of Study

تنبع أهمية الدراسة من تقديمها مجموعة من الإجراءات التقنية المختلفة – التي تعود إلى نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد، فضلا عن الإحصاء ونظم دعم القرار المكاني والذكاء الاصطناعي – مجتمعة في بوتقة واحدة، لمعالجة المسائل المحورية التي تخص استعمالات الأرض على نحو عام، بمنظور النمذجة الخرائطية. ليكون الفكر الجغرافي في ثنايا الدراسة متربعا على عرش القيادة، في إدارة التقنيات الجغرافية بما يتماشى مع قابليتها؛ ذلك من أجل الكشف عن مكنونات المكان خرائطيا، ومن ثم رسم خط شروع للباحثين الجغرافيين الذين يرومون دراسة استعمالات الأرض، نحو تكنيك معاصر يتماشى والتطور التكنولوجي للجغرافية المعاصرة.

مبررات الدراسة Study Justifications

1- إبراز دور التكامل بين التقنيات الجغرافية في معالجة الظواهر بمنهج وأسلوب معاصرين يتماشيان مع التقدم التكنولوجي للجغرافية المعاصرة.
2- ترجمة الجانب الشمولي الذي تتميز به الجغرافيا، بمجموعة كبيرة من التقنيات الداعمة لمواضيع مترابطة تخص استعمالات الأرض، كالملاءمة الزراعية والملاءمة الحضرية والتنبؤ المستقبلي للاستعمالات التي تُعالج عادة على نحو منفرد.
3- إظهار قدرة الجغرافيين على إغناء نظم المعلومات الجغرافية بمجموعة من الأدوات بدلا من الاعتماد على الاستخدام فقط، وفي هذا السياق تتحول دفة نظم المعلومات الجغرافية من كونها وسيلة مجردة يستخدمها الكثير من ذوي الاختصاصات إلى تخصص جغرافي معاصر.

مشكلة الدراسة Problem of Study

تكمن مشكلة الدراسة في أن الوحدات الإدارية في الدولة بغض النظر عن مستوى التقسيم الإداري فيها (إقليم، محافظة، قضاء، ناحية)، ومن ضمنها قضاء سهل أربيل في إقليم كوردستان العراق، تعاني من شحة الخرائط التي يمكن الإفادة منها في مجالات التخطيط والدراسات الجغرافية، ذلك على الصعيد الزراعي والتوسع المساحي الحضري، فضلا عن قدم الخرائط

المتوفرة التي يمكن الاعتماد عليها في تقييم الأرض ومن ثم انتهاء صلاحية استخدامها، اضافة الى صعوبة إجراء التقييم وكلفته بالطرائق التقليدية من جانب آخر، كذلك ضبابية التكنيك الذي يجب اتباعه في توفير هكذا نوع من الخرائط، التي يمكن بدورها أن تقدم تسهيلات كثيرة في مجال البحث الجغرافي، لذلك انبثقت مشكلة الدراسة من التساؤلات الآتية:-

1- ما هي الإجراءات التقنية التي يمكن استخدامها في وضع خرائط استعمالات الأرض، وما هو مشهد الأصناف المتوطنة في قضاء سهل أربيل؟.

2- ما هو أفضل تكنيك يمكن اعتماده في الكشف عن تغير استعمالات الأرض خرائطيا، بين الماضي والحاضر، وماهي أسباب هذا التغير؟.

3- كيف يمكن تحويل التقييم الرياضي للأرض، من حيث قابليتها على الإنتاج، وملاءمتها على زراعة المحاصيل الاستراتيجية، إلى نماذج خرائطية في ظل التصانيف العالمية، وكيف تتوزع هذه الأصناف ؟.

4- هل يمكن للنمذجة الخرائطية أن تقدم وثيقة مكانية بتصنيف معين عن تقييم الأرض، من حيث ملاءمتها على التوسع المساحي الحضري في ظل معايير معتمدة جغرافيا، وما هي الأصناف المتواجدة ؟.

5- ما هو أحدث تكنيك يمكن الاعتماد عليه في التنبؤ بمستقبل استعمالات الأرض طبقا لسيناريوهات خرائطية مختلفة، وماهي ملامح هذا المستقبل؟.

أهداف الدراسة Aims of Study

ينصب الهدف الاستراتيجي للدراسة من جوهر مشكلتها، نحو الشروع في وضع تكنيك يتضمن إنتاج خرائط مختلفة تخص استعمالات الأرض، بوصفها وثائق مكانية يمكن ان تدعم عمليات التخطيط. فضلا عن رفد الجغرافيين برؤية تقنية تسهم في تطوير إمكانيات البحث الجغرافي الذي يتناول موضوع استعمالات الأرض، تحت لواء التكامل بين نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد، بمنظور النمذجة الخرائطية. وقد اعتمد في ذلك، على مجموعة من البيانات التي تخص استعمالات الأرض في قضاء سهل أربيل، أنموذجاً مكانيا لسير الدراسة.

ومما لا شك فيه بان الهدف يرتبط عضويا بطبيعة المشكلة في البحث العلمي، الأمر الذي جعل الدراسة تتبنى أهدافا لوجستية يسعى الباحث إلى تحقيقها، على النحو الآتي:-

1- البحث في الإطار النظري – المفاهيمي الذي يخص طبيعة التكامل بين نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد، فضلا عن ماهية النمذجة الخرائطية واتجاهاتها المعاصرة في تناول استعمالات الأرض بوصفها ظاهرة جغرافية سريعة التغير.

2- الكشف عن إمكانيات النمذجة الخرائطية تحت لواء التكامل المنشود، في وضع خرائط استعمالات الأرض، المعنية بتوزيع الاستعمالات وتغيرها عبر الزمن، فضلا عن تقييم الأرض خرائطيا من حيث إمكانية استيعابها لاستعمالات مختلفة.
3- تطوير أدوات في نظم المعلومات الجغرافية، من أجل رفع كفاءتها على دعم النمذجة الخرائطية لاستعمالات الأرض، بما يتناسب والتطور التكنولوجي للتقنيات الجغرافية.
4- اعتماد احدث التقنيات المعاصرة على المستوى العالمي في عمليات التنبؤ بمستقبل استعمالات الأرض، من أجل تقديم سيناريوهات خرائطية مختلفة وبدقة إحصائية موثوقة، تكشف عن الملامح المستقبلية للظاهرة المدروسة.

فرضيات الدراسة Hypothesis of Study

تنطلق الدراسة من فرضية رئيسة بوصفها حلا مقترحا لمشكلتها، مفادها أن بالإمكان إنتاج خرائط مختلفة لاستعمالات الأرض في قضاء سهل أربيل، من حيث مشهدها في الماضي والحاضر والمستقبل، ومن حيث قدرة الأرض في الحيز المكاني ذاته على استيعاب الاستعمالات المختلفة، اعتمادا على النمذجة الخرائطية في ضوء التكامل بين نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد.

ومن الفرضية الرئيسة صيغت فرضيات فرعية على النحو الآتي:-

1- يمكن للاستشعار عن بعد ان يقدم نماذج خرائطية لاستعمالات الأرض في الماضي والحاضر، ويمكن لنظم المعلومات الجغرافية ان توسع نطاق المعلومات نحو الكشف عن تغير الاستعمالات، بتقديم خرائط ذات مردودات جغرافية أكثر تفصيلا وبأساليب مختلفة.
2- يمكن للاستشعار عن بعد أن يسهم مع نظم المعلومات الجغرافية في تحويل التقنيات الرياضية المعتمدة عالميا في تقييم الأرض إلى مجموعة من النماذج الخرائطية.
3- يمكن تطوير أدوات في نظم المعلومات الجغرافية تدعم عمليات تقييم الأرض من حيث قدرتها على استيعاب الاستعمال الزراعي والحضري.
4- يمكن لنظم المعلومات الجغرافية أن توسع نطاق المعلومات التي قدمها الاستشعار عن بعد، نحو التنبؤ بتوزيع جغرافي مستقبلي لاستعمالات الأرض وبسيناريوهات خرائطية مختلفة.

مناهج الدراسة Methodology of Study

بنيت الدراسة على المدخل الاستقرائي Inductive Approach الذي يبدأ بالجزئيات وينتهي بالكليات(*)، ابتداء من الكشف عن توزيع استعمالات الأرض وتغيرها بين الماضي والحاضر، مرورا بتقييم الأرض من حيث قابليتها على استيعاب الاستعمالات المختلفة، وانتهاء بالوقوف على الملامح المستقبلية لاستعمالات الأرض في قضاء سهل أربيل، وقد تم ذلك باستخدام منهجين رئيسين على النحو الآتي:-

1- المنهج التحليلي Analytical Method: وهو منهج يقوم على تقسيم أو تجزئة الظواهر أو المشكلات البحثية إلى العناصر الأولية التي تُكَوِّنها؛ لتسهيل عملية الدراسة، ويستخدم بالتزامن مع مناهج علمية أخرى.

2- منهج النمذجة Modeling Method: وهو أحد مناهج البحث العامة المعاصرة في مجال الجغرافيا، الذي يعتمد على استبدال الموضوع الفعلي (ظاهرة) بآخر مماثل له (خريطة)، أي أنه منظومة صنعية تعكس الخصائص الرئيسة للموضوع المدروس، بحيث يسمح باستبدال الموضوع الفعلي مع نظيره المماثل عند إجراء البحث، لغرض الحصول على معلومات جديدة عن الموضوع الفعلي(1).

الدراسات السابقة Earlier Studies

نظرا لشحة الدراسات التي تناولت جوهر التكامل بين نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد في النمذجة الخرائطية لاستعمالات الأرض، فضلا عن قضاء سهل أربيل بوصفه منطقة للدراسة، الأمر الذي وجه الباحث نحو الاطلاع على عدد من الدراسات العراقية والعربية والعالمية التي تناولت نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد فضلا عن استعمالات الأرض، وإن كانت بمناظير مختلفة، على النحو الآتي:-

---

(*) يمثل المدخل Approach المنطلق والأساس المنهجي والفلسفي للباحث واستراتيجيته، اما المنهج Method فيعد الأداة التكتيكية التي يعالج بها الباحث قضايا العلم الرئيسة.

للتفاصيل ينظر:

علي محمد دياب، المدخل والمنهج في الدراسات الجغرافية البشرية، مجلة جامعة دمشق، المجلد 26، العدد 3+4، 2010.

(1) علي محمد دياب، دور مناهج البحث العلمي العامة المعاصرة في تطوير نظرية الجغرافية البشرية، مجلة جامعة دمشق، المجلد 26، العدد 1+2، 2010، ص 677.

1- الدراسات العراقية

أ- دراسة عبد اللطيف (2006): حول استخدام تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية في التصنيف والتحليل المكاني لاستعمالات الأرض في قضاء الأعظمية؛ إذ حاولت هذه الدراسة تقديم الاطر النظرية والتطبيقية لآلية التعامل مع الاستشعار عن بعد في صنع خرائط موضوعية لاستعمالات الأرض في قضاء الاعظمية، وكذلك تقديم الاطر النظرية والتطبيقية حول استخدام نظم المعلومات الجغرافية في استكمال عمل إنتاج المزيد من الخرائط لاستعمالات الأرض حول المنطقة من مصادر بيانات أُخرى، لتنتهي الدراسة بالتحليل المكاني لقياس كفاءة استعمالات الأرض[1].

اتفقت الدراسة الحالية مع دراسة عبد اللطيف من حيث تناول أهمية نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن في الدراسات الجغرافية المعاصرة. واختلفت عنها في تقديم الاطار النظري والتطبيقي بمنظور التكامل بين نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد وليس بمنظور الاستخدام، ومن جانب ثالث أضافت الدراسة الحالية الأطر النظرية والتطبيقية لآلية التنبؤ بمستقبل استعمالات الأرض بسيناريوهات مختلفة.

ب-دراسة علي (2018): التي تناولت تغير الغطاء الأرضي واستعمالات الأرض في محافظة ميسان باستخدام الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية، إذ شرعت إلى تصنيف الغطاء الأرض وبينت أثر المؤشرات الطيفية وتحليل المركبات الأساسية في عملية تفسير المرئيات وتصنيفها، فضلا عن استخدام نظم المعلومات الجغرافية في استكمال عمل خرائط استعمالات الأرض من مصادر مختلفة، وانتهى العمل بالدراسة إلى التنبؤ بمستقبل الغطاء الأرضي واستعمالات الأرض باستخدام أنموذج Markov وفقا لسيناريو واحد[2].

اتفقت الدراسة الحالية مع دراسة علي، من حيث ضرورة الاعتماد على تحليل المركبات الأساسية وتطبيق المؤشرات الطيفية في عملية التفسير، واختلفت عنها، من حيث أنها قدمت ماهية التكامل بين نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد، فضلا عن أنها شرعت إلى تقييم الأرض على المستوى الزراعي والتوسع المساحي الحضري في ضوء دعم القرار المكاني، وتطوير أدوات متخصصة في هذا المجال، كذلك شروعها بالتنبؤ في مستقبل استعمالات الأرض

---

(1) مكي غازي عبد اللطيف، استخدام تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية في التصنيف والتحليل المكاني لاستعمالات الأرض في قضاء الأعظمية (دراسة كارتوكرافية تحليلية)، اطروحة دكتوراه غير منشورة، كلية التربية (ابن رشد)، جامعة بغداد، 2006.

(2) مصطفى حلو علي، دراسة تغير الغطاء الأرضي واستعمالات الأرض في محافظة ميسان باستخدام تقنيتي الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية، اطروحة دكتوراه غير منشورة، كلية التربية للعلوم الإنسانية، جامعة البصرة، 2018.

باستخدام الذكاء الاصطناعي، بوصفه أحدث التقنيات المعمول بها جغرافيا على المستوى العالمي، وفقا لسناريوهات تنبؤيه ومعيارية.

ج- دراسة الخفاجي (2019): حول تقييم خرائط استعمالات الأرض في المراكز الحضرية لقضاء الزبير باستخدام تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية، وبذلك فقد تناولت الدراسة استخدام بيانات الاستشعار عن بعد وتصنيفها وفقا لنظام Anderson، فضلا عن الاعتماد على خرائط موضوعية أخرى في بناء قاعدة بيانات جغرافية عن مراكز القضاء المعني، لتنتهي الدراسة باعتماد التحليل المكاني في تقييم الخرائط وفقا لأحدث المعايير المحلية المعتمدة من لدن وزارة الاسكان والاعمار، وذلك بوضع خرائط ملائمة لكافة الاستعمالات الحضرية باستخدام جبر الخرائط الموزون[1].

اتفقت الدراسة الحالية مع دراسة الخفاجي، من حيث اعتمادها على نظام Anderson في تصنيف استعمالات الأرض، واختلفت عنها من حيث أنها تناولت تقييم الأرض على استيعابها للاستعمال الزراعي والحضري معا، طبقا لمستوى تصنيفي أقل بما يتماشى مع شمولية الدراسة الحالية. وعلى الجانب الآخر، فقد اعتمد في الدراسة الحالية على دعم القرار المكاني في اختيار أوزان المتغيرات الداخلة في التوسع المساحي الحضري، على عكس دراسة الخفاجي الذي اعتمد على التقدير الشخصي في ذلك.

2- الدراسات العربية

أ- دراسة رزق (2009): التي تناولت استعمالات الأرض في شياخة بهتيم " مدينة شبرا الخيمة" باستخدام نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد، إذ تناول رزق تصنيف استعمالات الأرض الزراعية والحضرية من دون أي نظام تصنيفي يذكر، وقد استخدم الاستشعار عن بعد في تصنيف استعمالات الأرض إلى زراعي وحضري من منصة IKONOS من دون أي معالجة، ثم أكمل العمل بنظم المعلومات الجغرافية في تصميم خرائط كوروبلث Choropleth مختلفة اعتمادا على بيانات جمعها من الدوائر الرسمية، لتنتهي دراسته في الكشف عن تغير استعمالات الأرض والتخطيط لها باستخدام بعض الأدوات في نظم المعلومات الجغرافية، وبذلك لم يستخدم الباحث التقنيتين كلتيهما إلا في نطاق ضيق جدا[2].

---

(1) جمعة مبارك عزيز الخفاجي، تقييم خرائط استعمالات الأرض في المراكز الحضرية لقضاء الزبير باستخدام تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية، اطروحة دكتوراه غير منشورة، كلية التربية للعلوم الإنسانية، جامعة البصرة، 2019.

(2) محمد حسين عبد الستار رزق، استخدام الأرض في شياخة بهتيم " مدينة شبرا الخيمة" باستخدام نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد، رسالة ماجستير غير منشورة، كلية الاداب، جامعة عين شمس، 2009.

اختلفت الدراسة الحالية عن دراسة رزق من حيث اعتمادها على الاستشعار عن بعد في استخدام المرئيات الفضائية المأخوذة من منصة Landsat في تصنف استعمالات الأرض وفقا لنظام Anderson، مع نمذجة خرائطية مختلفة المناظير للكشف عن التغير، ثم شرعت إلى تقييم الأرض اعتمادا على نظم المعلومات الجغرافية المدمجة بتقنيات إحصائية، فضلا عن نظم دعم القرار المكاني، ليتم ربطها فيما بعد بتقنيات التنبؤ بمستقبل استعمالات الأرض، لتحقيق التكامل الفاعل بين نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن في النمذجة الخرائطية لاستعمالات الأرض.

ب-دراسة أبو صاع (2014): حول التغيرات في الغطاء الأرضي / استعمالات الأرض في محافظة طولكرم بين عامي 2005 و2011 باستخدام تقنية نظم المعلومات الجغرافية. تناولت أبو صاع في دراستها العوامل الجغرافية المؤثرة على استعمالات الأرض في محافظة طولكرم مع غياب تفعليها تقنيا لبيان أثر هذه العوامل، كما اعتمدت على خرائط موضوعية جاهزة لاستعمالات الأرض في مدتين زمنيتين 2005 – 2011 من أجل الكشف عن التغير الحاصل ووصفه من دون أية رؤية مستقبلية للاستعمالات المتوطنة في المنطقة المدروسة[1].

اختلفت الدراسة الحالية عن دراسة أبو صاع، من حيث انها اعتمدت على الاستشعار عن بعد في تصنيف استعمالات الأرض ضمن مدد زمنية ثلاث 2002 – 2012 – 2019، وقدت الدراسة الحالية، آلية تفعيل العوامل الجغرافية المختلفة على تقييم الأرض الحالي والتنبؤ المستقبلي لخريطة استعمالات الأرض في ضوء التقييم المنشود.

ج- دراسة عبد الفتاح (2017): حول تقييم طرق تصنيف المرئيات الفضائية لدراسة التغير العمراني بمحافظة البحيرة " نماذج تطبيقية لبناء نظام معلومات جغرافي"، إذ تناول عبد الفتاح المقارنة بين طرائق التصنيف المختلفة لمرئيات Landsat للمدة 1986 – 2016، ثم عمل على كشف التغير في الاستعمالات بعد تحويل البيانات إلى الصيغة المتجهة في برنامج ArcGIS Desktop للشروع في تفسير النتائج، وقد توصل بان طريقة الاحتمالية

(1) اسراء صبحي عبد الرحمن أبو صاع، التغيرات في الغطاءات الأرضية/ استعمالات الأرض في محافظة تولكرم بين عامي 2005 و2011 باستخدام تقنية نظم المعلومات الجغرافية GIS، رسالة ماجستير غير منشورة، كلية الدراسات العليا، جامعة النجاح الوطنية، 2014.

العظمى Maximum Likelihood هي الأفضل في الحصول على أعلى دقة في تصنيف استعمالات الأرض[1].

تتفق الدراسة الحالية مع دراسة عبد الفتاح من حيث اعتمادها على طريقة الاحتمالية العظمى في عملية التصنيف في ضوء الفحص الإحصائي للتوزيع التكراري لقيم الوحدات الصورية على المدرج التكراري. وتختلف الدراسة الحالية عن دراسة عبد الفتاح من حيث آلية الكشف عن التغير إذ اعتمدت الدراسة الحالية على الصيغة الخلوية في الكشف عن التغير باستخدام برنامج Edrisi Selva 17.0 وبمناظير متعددة تعمق الادراك في تفسير نتائج التغير.

3- الدراسات العالمية

أ- دراسة Raghunath (2006): حول تطبيق الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية لنمذجة ملاءمة الأرض الحضرية باستخدام تحليل القرار المتعدد المعايير MCDA، وقد طبق دراسته على قرية جونجور Gunjur التابعة لمنطقة بنجالور الحضرية Bangalore urban district في الهند، إذ حاول الباحث تصنيف استعمالات الأرض الحضرية باستخدام المرئية الفضائية المأخوذة عن القمر الاصطناعي Quick Bird، ومن ثم نمذجة ملاءمة الأرض على استيعابها للاستعمال الحضري وفقا لمتغيرات محددة تتناسب مع منطقته المدروسة، وقد استخدم في ذلك، عمليات التحليل الهرمية AHP بمعزل عن بيئة نظم المعلومات الجغرافية، فكانت النتائج على شكل بيانات عددية للاستعمال الحضري تم إدخالها يدويا إلى الوحدات الإدارية في المنطقة المدروسة[2].

تتفق الدراسة الحالية مع دراسة Raghunath، من حيث ضرورة تطبيق دعم القرار المكاني بأسلوب عمليات التحليل الهرمية AHP في تحديد الأوزان للمتغيرات الداخلة في نمذجة ملاءمة الأرض على استيعاب الاستعمال الحضري، بوصفها من اكفأ الأساليب الرياضية المعتمدة في هذا المجال، وتختلف الدراسة الحالية عن ما قدمه Raghunath، من حيث أنها لم تتناول نمذجة ملاءمة الأرض على استيعاب الاستعمال الحضري بمعزل عن نمذجة ملاءمة الأرض على استيعاب الاستعمال الزراعي من جانب، ومن جانب آخر ترى الدراسة الحالية بأنه

---

(1) عبد الفتاح السيد عبد الفتاح، تقييم طرق تصنيف المرئيات الفضائية لدراسة التغير العمراني بمحافظة البحيرة " نماذج تطبيقية لبناء نظام معلومات جغرافي"، اطروحة دكتوراه غير منشورة، كلية الآداب، جامعة القاهرة، 2017.

(2) M Raghunath, Application of Remote Sensing and GIS in Urban Land Suitability Modeling at Parcel Level using Multi-Criteria Decision Analysis, Master Thesis is not published, Indian Institute of Remote Sensing, Andhra University, 2006.

لا يمكن تفعيل نماذج ملاءمة الأرض على التوسع المساحي الحضري من دون القيام بعملية المحاكاة لمستقبل استعمالات الأرض في المنطقة المناط دراستها.

ب–دراسة Nguyen (2013): حول كشف ونمذجة التغييرات في استعمالات الأرض من أجل تخطيطها لمدينة Da Nang في فيتنام. حاول الباحث Nguyen نمذجة خرائط الكشف عن تغير استعمالات الأرض بين عامي 1996 – 2009 في دراسته، وتفسير أسباب هذه التغيرات، ثم عمل على محاكاة التغير المستقبلي لاستعمالات الأرض بسيناريوهات مختلفة، اعتمدا على أنموذج المحاكاة CLUE في عملية التنبؤ[1].

تتفق الدراسة الحالية مع دراسة Nguyen من حيث ضرورة الوقوف على الملامح المستقبلية لاستعمالات الأرض بسيناريوهات مختلفة من أجل تعميق الرؤية المستقبلية للظاهرة المدروسة، بينما تختلف الدراسة الحالية مع دراسة Nguyen من حيث أنها اعتمدت على تقييم الأرض في ضوء دعم القرار المكاني من جانب، فضلا عن استخدام الأنموذج ANN-CA الخاص بالذكاء الاصطناعي، وهو الأحدث عالميا في عملية محاكاة السيناريوهات المستقبلية للاستعمالات استنادا على التقييم الحالي للأرض.

ج– دراسة Abdullah (2017): وهي الدراسة الوحيدة التي تناولت قضاء سهل أربيل كمنطقة دراسة، وقد بحثت دراستها في تغير استعمالات الأرض الزراعية في نظم المعلومات الجغرافية بين عامي 2004 – 2014؛ إذ اعتمدت Abdullah على البيانات المنشورة من الدوائر الرسمية بصيغتها العددية في مناقشة التغيرات، مع استخدام نظم المعلومات الجغرافية في أضيق نطاقاتها المعنية بتصميم الخرائط فقط[2].

اما في الدراسة الحالية فقد تناولت تغير استعمالات الأرض في أحد جوانبها، منذ تأسيس قضاء سهل أربيل عام 2002 مرورا بمدة وسطية 2012، نحو عام 2019، مع تجنب الاعتماد على البيانات العددية من الدوائر الرسمية لضبابيتها من جانب، واستبدال ذلك بالاعتماد على المرئيات الفضائية بما يتوافق مع أهداف الدراسة من جانب آخر، فضلا عن إنتاج خرائط لاستعمالات الأرض في قضاء سهل أربيل بين الماضي والحاضر والمستقبل، وكذلك إنتاج خرائط لتقييم الأرض من حيث قدرتها على استيعاب الاستعمالات المختلفة.

(1) Hoang Khanh Linh Nguyen, Detecting and Modeling the Changes of Land Use/Cover for Land Use Planning in Da Nang City, Viet Nam, PhD Thesis is not published, School of Science, Göttingen University, 2013.

(2) Renas Faris Abdullah, Comparison of Agricultural Field and Plant Changes Using GIS In 2004-2014: Erbil Plain District Case, Master Thesis is not published, Department of Bioengineering and Sciences, Kahramanmaraş University, 2017.

الحدود المكانية والزمانية لأنموذج البيانات المستخدم في الدراسة

Spatial and temporal borders of the data model used in the study

يتمثل أنموذج البيانات المستخدم في الدراسة بقضاء سهل أربيل الذي يقع في الجزء الجنوبي من محافظة أربيل الواقعة بدورها في الجزء الشمالي من العراق عند إقليم كوردستان؛ إذ يحده قضاء شقلاوه شمالا، ومن الشرق قضاء كويسنجق، ومحافظة كركوك مع قضاء مخمور من الجنوب، ومدينة أربيل غربا. تبلغ مساحة القضاء 1305.3 كم^2، أي ما تشكل 8.57% من مساحة محافظة أربيل البالغة 15219.24كم^2(*)، وبذلك ينحصر بين خطي طول $^{=}36\ ^{-}52\ ^{o}43$ و $^{=}48\ ^{-}17\ ^{o}44$ شرقا، ودائرتي عرض $^{=}17\ ^{-}46\ ^{o}35$ و $^{=}47\ ^{-}19\ ^{o}36$ شمالا. يضم القضاء أربع نواحٍ، ألا وهي ناحية بنصلاوة التي تمثل مركز القضاء، وتبعد عن مركز مدينة أربيل نحو 11.5كم، وتضم مقاطعتي (بنصلاوة كبير) و(بنصلاوة صغير)، وناحية كسنزان التي تضم 16 مقاطعة، وناحية داره تو التي تضم 18 مقاطعة، فضلا عن ناحية قوش تبه التي تضم 56 مقاطعة، وبذلك يبلغ عدد مقاطعات قضاء سهل أربيل نحو 92 مقاطعة(1).

وقد انحصرت الحدود الزمانية للشروع في نمذجة استعمالات الأرض المتوطنة في قضاء سهل أربيل، من تاريخ تأسيسه عام 2002(**)، مرورا بعام 2012، نحو عام 2019، فضلا التنبؤ بمستقبل استعمالات الأرض حتى عام 2029. ينظر الخريطتان (1) و(2).

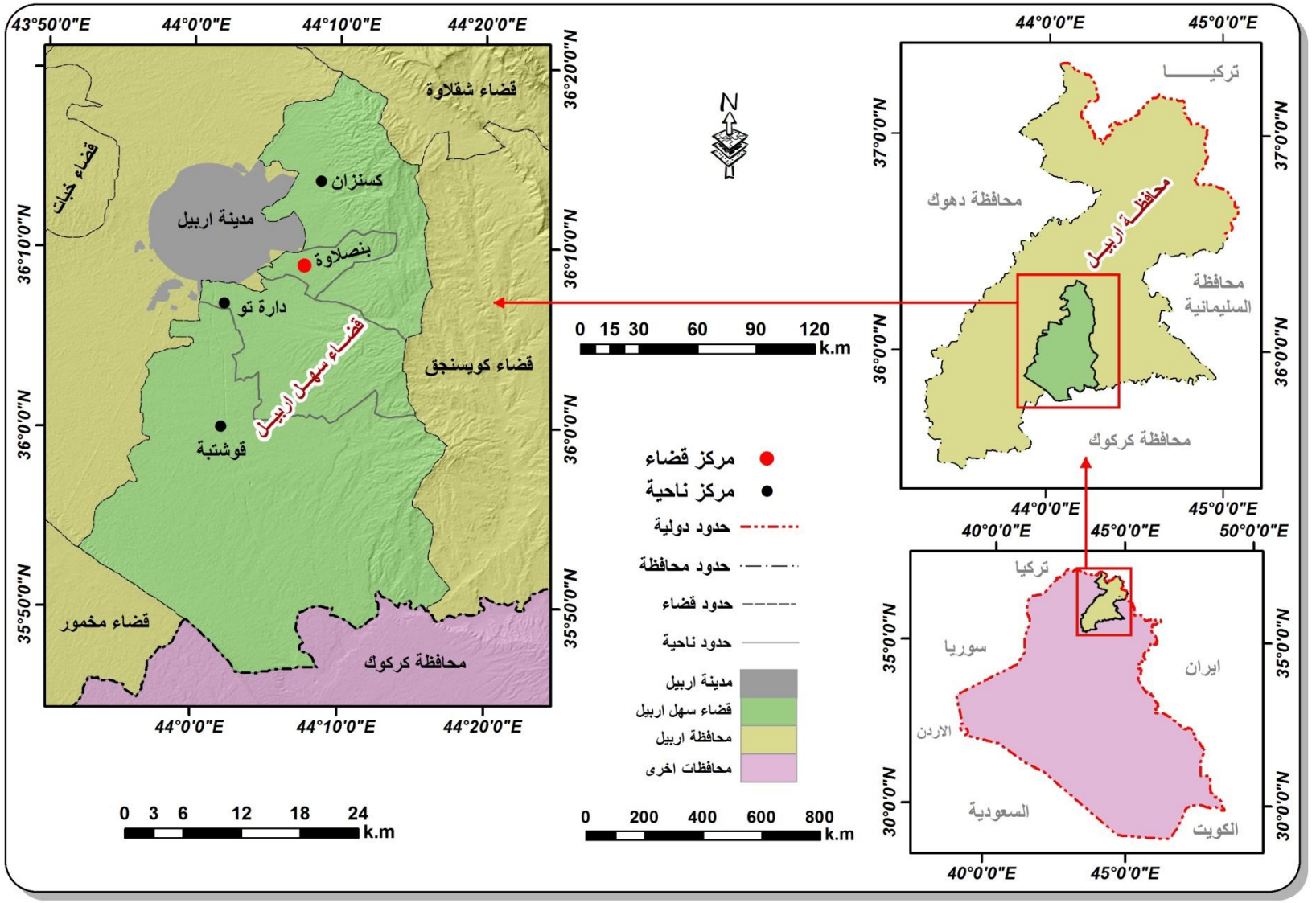
(*) استخرجت المسافات والمساحات في برنامج ArcGIS desktop 10.6.1، بعد وضع محافظة أربيل وفقا لنظام إحداثيات UTM ضمن النطاق WGS84 Zone 38.

(1) جمهورية العراق، إقليم كوردستان، وزارة التخطيط، مديرية إحصاء محافظة أربيل، شعبة نظم المعلومات الجغرافية، الخرائط الإدارية لمحافظة أربيل، ملفات رقمية غير منشورة، 2018.

(**) تم الاعلان عن القضاء حسب الأمر الإداري لمجلس وزراء إقليم كوردستان العراق المرقم (372) في عام 2002، تحت اسم قضاء سهل أربيل، ومركزه بنصلاوه.

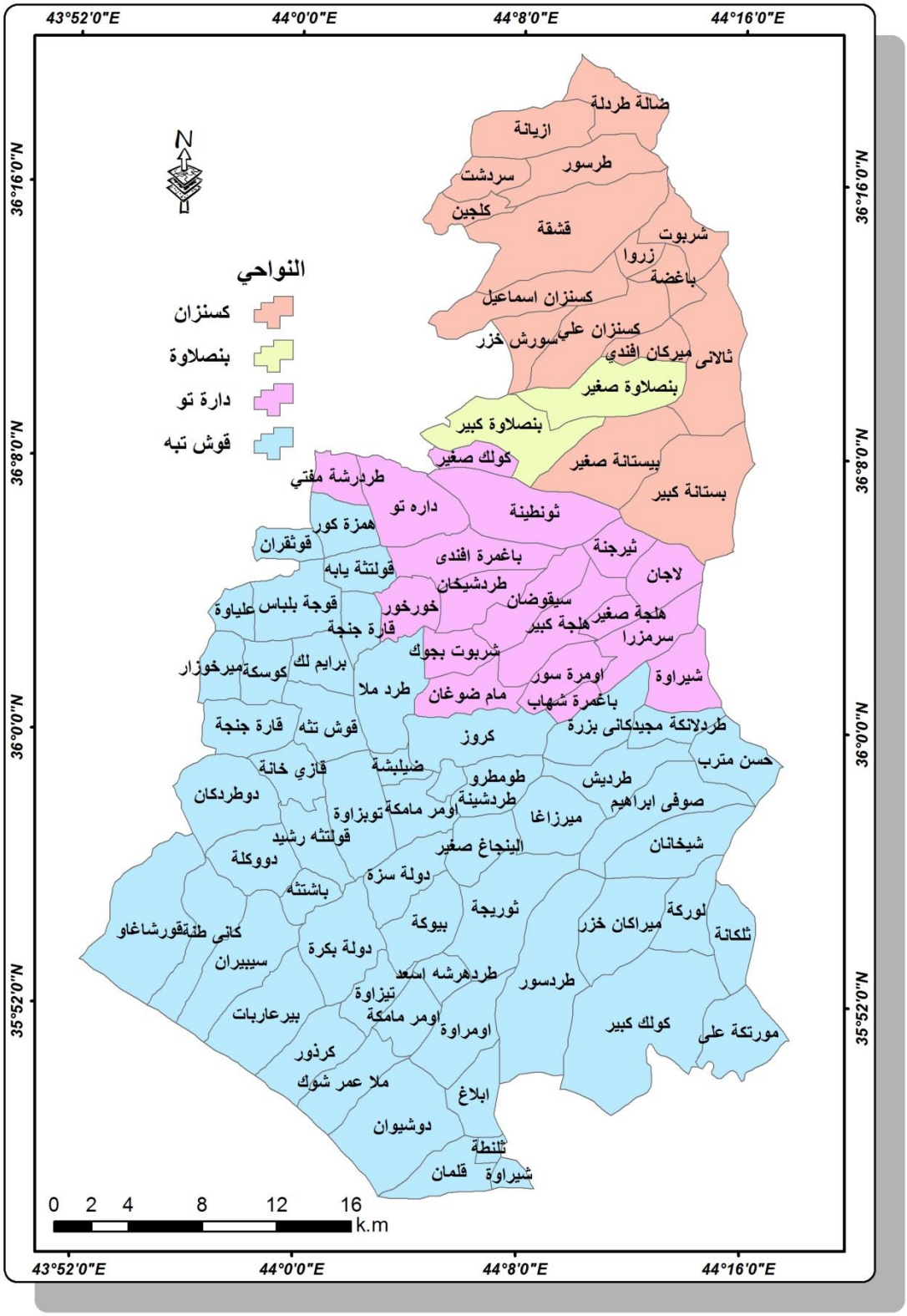
المصدر: جمهورية العراق، إقليم كوردستان، وزارة الداخلية، دائرة محافظة أربيل، قائمقامية قضاء سهل أربيل، الشعبة الإدارية، كتاب اعلان سهل أربيل كقضاء ضمن محافظة أربيل، المرقم 372، لسنة 2002.

الخريطة (1): الموقع الجغرافي لقضاء سهل أربيل



المصدر: عمل الباحث، اعتمادا على: جمهورية العراق، إقليم كوردستان، وزارة التخطيط، مديرية إحصاء محافظة أربيل، شعبة نظم المعلومات الجغرافية، الخرائط الإدارية لمحافظة أربيل، ملفات رقمية غير منشورة، 2018.

الخريطة (2): مقاطعات قضاء سهل أربيل عام 2018



المصدر: عمل الباحث، اعتمادا على: جمهورية العراق، إقليم كوردستان، وزارة التخطيط، مديرية إحصاء محافظة أربيل، شعبة نظم المعلومات الجغرافية، الخرائط الإدارية لمحافظة أربيل، ملفات رقمية غير منشورة، 2018.

هيكلية الدراسة

جاءت الدراسة في أربعة فصول، فضلا عن الاستنتاجات والمقترحات التي توصلت إليها. إذ تناول **الفصل الأول** الإطار النظري– المفاهيمي الذي تأسست عليه الدراسة، إذ تطرق فيه إلى طبيعة التكامل بين نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد والنظريات العالمية التي نظّرت لذلك، فضلا عن مفهوم النمذجة وأنواع النماذج المعمول بها في نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد وأسس تصنيفها، وكذلك مفهوم النمذجة الخرائطية وأنواعها واتجاهاتها المعاصرة، لينتهي الفصل بمفهوم النمذجة الخرائطية لاستعمالات الأرض.

ونوقِشَ في **الفصل الثاني** النمذجة الخرائطية لتصنيف استعمالات الأرض في قضاء سهل أربيل اعتمادا على التقنيات التي يقدمها الاستشعار عن بعد، من حيث التصحيح الهندسي والجوي، تحسين المرئيات، تحليل المركبات الأساسية، وصولا إلى تصنيف استعمالات الأرض للمدد 2002، 2012، 2019 وللموسمين الزراعيين الشتوي والصيفي، فضلا عن بيان دقة التصنيف وتفسير الأصناف. ثم الشروع في النمذجة الخرائطية للكشف عن تغير استعمالات الأرض بين المدد المعتمدة في الدراسة، باستخدام إمكانيات نظم المعلومات الجغرافية في تقديم خرائط مختلفة المناظير عن التغيرات التي طرأت على استعمالات الأرض في قضاء سهل أربيل بين المدد الزمنية المحددة، فضلا عن تطوير أداتين في برنامج ArcGIS Desktop 10.6.1 دعما لتطبيق الكشف عن التغير باستخدام المؤشرات الطيفية، لينتهي الفصل بتفسير النتائج.

وعولِجَ في **الفصل الثالث** اليات تقييم الأرض في استيعاب الاستعمال الزراعي بنظور النمذجة الخرائطية، ابتداء من التقييم العام للأرض المعني بقابليتها على الإنتاج الزراعي Land Capability، وفقا للتصنيف المعتمد من لدن وزارة الزراعة الأمريكية USDA، فضلا عن الشروع بالتقييم الخاص للأرض، المعني بملاءمتها على زراعة المحاصيل الاستراتيجية التي تزرع في قضاء سهل أربيل (قمح، شعير وذرة صفراء)، وفقا للتصنيف المعتمد من لدن منظمة الزراعة والاغذية التابعة للأمم المتحدة FAO، مع إدخال تقنيات دعم القرار المكاني في عملية ترجيح المتغيرات الداخلة في النماذج الخرائطية للملاءمة، لينتهي الفصل بتطوير أداتين حول ملاءمة الأرض على زراعة المحاصيل الاستراتيجية في برنامج ArcGIS Desktop 10.6.1، ومن ثم تفسير النتائج.

وكُرِسَ **الفصل الرابع** لآليات تقييم الأرض من حيث استيعابها على الاستعمال الحضري بمنظور النمذجة الخرائطية، إذ تم وضع إجراءات تقنية حول النمذجة الخرائطية لملاءمة الأرض على التوسع المساحي الحضري في ضوء استدامة الأرض الزراعية، مع تطبيق دعم القرار المكاني من أجل الحصول على الأوزان الخاصة بالمتغيرات الداخلة في أنموذج الملاءمة

المعنية، فضلا عن تطوير أداة في برنامج ArcGIS Desktop 10.6.1 مختصة في النمذجة الخرائطية لملاءمة الأرض على التوسع المساحي الحضري، وقد توج الفصل الرابع باستخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي في عملية المحاكاة الخرائطية للتوسع المساحي الحضري حتى عام 2029، فضلا عن التنبؤ بمستقبل استعمالات الأرض لذات العام بمنظور النمذجة الخرائطية وذلك باستخدام الأنموذج الرياضي ANN-CA الذي يعد من أحدث النماذج الرياضية المعمول بها في عملية المحاكاة على المستوى العالمي، وهو أنموذج هجين من تقنيات الأتمتة الخلوية Cellular Automata (CA) والمنطق المضبب Fuzzy Logic والشبكات العصبية الاصطناعية Artificial Neural Networks (ANN)، لينتهي الفصل بمناقشة الملامح المستقبلية لاستعمالات الأرض في قضاء سهل أربيل حتى عام 2029.

وأخيرا قدمت الدراسة مجموعة من الاستنتاجات والمقترحات، ثم المصادر فالملاحق، ومستخلص الدراسة باللغة الانكليزية.

الفصل الأول
الإطار النظري - المفاهيمي

Chapter One
Theoretical-Conceptual Frame

مدخل Preface

لعب الجغرافيون دورا مهما في تطوير إجراءات Procedures جديدة حول دمج النتائج التحليلية العائدة إلى الاستشعار عن بعد في بيئة نظم المعلومات الجغرافية، وذلك من أجل الشروع في نمذجة الظاهرة الجغرافية وفهم سلوكها المكاني، وقد دفعتهم نحو ذلك، الطبيعة المركبة لعلم الجغرافيا، وما يتطلبه البحث الجغرافي من بيانات متنوعة الصيغ والمصادر، ومن ثم الاعتماد المتزايد على تقنيات مختلفة تعمل متكاملة في تغطية معالجات الظاهرة قيد الدراسة.

يشير مصطلح التكامل Integration بين نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد – على نحوٍ عام – إلى الحركة نحو علاقة تزامن بين التقنيتين، وهي مسألة ضرورية في تطورهما المستقبلي. إن ما يثبت ذلك هو أن حقوق الملكية للبرمجيات لم تعد اليوم تمنع التبادل التقني – إلى حدٍ ما – بين المعالجات التابعة لنظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد، إذ أصبح النظامان يتعاملان مع البيانات من الطرفين، ويوفران وظائف تسهل عمليات النمذجة الخرائطية Cartographic Modeling بطريقة مزدوجة متبادلة.

1-1 طبيعة التكامل بين نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد

Integration between GIS and RS Nature of

1-1-1 مفهوم التكامل Integration concept

يعرف التكامل بين نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد على أنه تحقيق توافق تقني بين نماذج بيانات رقمية منفصلة وتنفيذ إجراءات برامجيه متقدمة، فضلا عن ذلك يكون التركيز على العمل المزدوج الكفوء عبر واجهات البرمجيات Software Interfaces[1].

فالاستشعار عن بعد Remote sensing هو نظام لجمع المعلومات حول سطح الأرض من منصات الاقمار الاصطناعية Satellites Platforms أو مستشعرات محمولة جوا مثبتة على الطائرات؛ إذ تجمع بشكل إشعاع كهرومغناطيسي منعكس يُعالج إلى صورة رقمية لاحقا، بمعنى آخر، إن الاستشعار عن بعد هو الاستحواذ على المعلومات حول ظاهرة Phenomenon ما من دون الاتصال المادي معها[2]، وفي الاستخدامات الحديثة يشير

(1) Victor Mesev, Integration of GIS and Remote Sensing, John Wiley & Sons, USA , 2007, p. 3.

(2) Steven M. De Jong and Freek D. Van Der Meer, Remote Sensing Image Analysis: Including the Spatial Domain, Springer, New York, USA, 2005, p.p. 1-5.

المصطلح إلى المعالجة الرقمية للمرئيات الفضائية والصور الجوية من أجل الكشف عن المعالم أو الظواهر وتصنيفها سواء كانت على سطح الأرض أم في الغلاف الجوي و في المحيطات[1].

أما نظام المعلومات الجغرافية Geographic Information System (GIS)، فهو نظام لتصور الجوانب الجغرافية Geovisualization لأية مجموعة بيانات فمن الناحية الاستخدامية يسمح النظام للمستخدم بالاستعلام من قواعد البيانات وتحليلها فضلا عن استخراج النتائج بأشكال مختلفة أهمها الخريطة[2]، ومن الناحية التخصصية يعد نظام المعلومات الجغرافية تكنولوجيا حاسوبية مكانية لعمليات النمذجة Modeling والمحاكاة Simulation للظواهر الجغرافية من أجل فهم العلاقات والأنماط وإنتاج سيناريوهات خرائطية، إذ يتزايد الاهتمام والوعي في المجتمع البحثي تجاه القيمة العلمية والمنهجية لنظام المعلومات الجغرافية، كونه مصمماً للاستحواذ على البيانات من مصادر مختلفة وخزنها وتعديلها وتحليلها وإدارتها ونمذجتها وعرضها بمختلف أشكالها، لذلك يكمن وراء هذا النظام، بنية تحتية متينة للبيانات المكانية Spatial Data[3].

على الرغم من الاختلاف بين مفهومي نظام المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد، يتميز الأول في امتلاكه القدرة على التعامل مع البيانات من مصادر مختلفة وتحليلها ونمذجتها، وذلك لامتلاكه وظائف تحليلية مقتدرة، لكن هذه الوظائف لا يمكن أن تتحقق بالكامل إذ كانت قاعدة البيانات الجغرافية غير كاملة أو قديمة، وهنا يأتي الدور الريادي للاستشعار عن بعد في توفير أهم البيانات الحديثة حول الظواهر الجغرافية سريعة التغير كاستعمالات الأرض Landuse والظواهر المناخية وغيرها، وبذلك يتفوق الاستشعار عن بعد في تقديمه معلومات تاريخية نسبيا وحديثة عن الظاهرة المناط دراستها مقارنة مع مصادر البيانات الأُخرى.

ظهر مفهوم التكامل بين نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد على المستوى البحثي، منذ منتصف عقد الثمانينيات امتد إلى التسعينيات من القرن المنصرم بظهور نظريتين

(1) Siamak Khorram et al., Remote Sensing, International Space University, Springer, New York , USA, 2012, p. 2.

(2) Toru Ishida et al., Field Informatics: Kyoto University Field Informatics Research Group, Springer Science & Business Media, New York, USA, 2012, p. 13.

(3) Najibullah Hassan Zurmotai, GIS, Remote Sensing and GPS: their activity, Integration and Fieldwork, Kabul Polytechnic University, Research Gate, Internet link: https://www.researchgate.net/publication/311206263, 2016.

حول هذا الموضوع[1]؛ إذ تبناها المركز الوطني للمعلومات والتحليل الجغرافي NCGIA [*] في جامعة كاليفورنيا الأمريكية واضعا خطة تقنية لزيادة مستوى التكامل بين نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد، مفادها زيادة قوة المعالجة الحاسوبية Computer Processing Power وإمكانية تداول صيغ البيانات Data Formats، وحل الكثير من المعوقات المؤسسية، كالاتفاقيات بين الشركات المعدة للبرمجيات الخاصة بنظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد، فضلا عن توفر البيانات[2].

1-1-2 نظرية التكامل التطوري (النشوئي) Evolutionary Integration Theory

تعود هذه النظرية إلى نهاية عقد الثمانينيات من القرن الماضي؛ إذ وضع Ehlers عام 1989 ثلاثة مستويات للتكامل آخذاً في الحسبان التطور المستقبلي التقني لنظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد، على النحو الآتي[3]:-

1. التكامل المنفصل المتكافئ Equal -Separate Integration

يعد هذا المستوى، هو الأول في هرم مستويات التكامل، ويقصد به انفصال المعالجة الصورية Image processing عن نظام المعلومات الجغرافية، لكن يمكن للمستخدم على وفق هذا المستوى أن يظهر البيانات المتجهة ومرئيات الاستشعار عن بعد آنيا، ونقل نتائج تحليل المرئية الفضائية إلى نظام المعلومات الجغرافية بالصيغة الرقمية، وكذلك استخدام البيانات التي ينتجها نظام المعلومات الجغرافية كمرجع جغرافي للصور الجوية والمرئيات الفضائية[4].

---

(1) Manfred Ehlers, et al., Integration of Remote Sensing and GIS: Data and Data Access, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 57, No. 6, 1991, p.p. 669-675.

(*) NCGIA هي اختصارا لـ **N**ational **C**enter for **G**eographic **I**nformation and **A**nalysis، أي المركز الوطني للمعلومات والتحليل الجغرافي. وهو مركز بحثي متخصص في الجغرافيا وعلم المعلومات فضلا عن التكنولوجيات ذات الصلة، تأسس عام 1988 في حرم جامعة كاليفورنيا في الولايات المتحدة الأمريكية.

للتفاصيل ينظر: http://www.ncgia.ucsb.edu

(2) Victor Mesev, op cit., p.3.

(3) Manfred Ehlers, et al., Integration of Remote Sensing with Geographic Information Systems: A Necessary Evolution, American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 55, 1989, p.p. 1619-1627.

(4) Mohamed Abdelrahim, Remote Sensing and GIS Integration: Towards Intelligent Imagery within A spatial data Infrastructure, University of New Brunswick, Canada, 2001, p.16.

يعتمد المستوى الأول على تبادل البيانات بين نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد، إذ يعد مستوى واطئاً أو إبتدائياً للتكامل، ومع تقدم تقنيات الحاسوب بدأ هذا المستوى يختفي ويحل محله مستوى متقدم من الإجراءات.

2. التكامل المتلاحم Seamless Integration

يسمح التكامل في هذا المستوى بالمعالجة المكانية للبيانات على وفق الصيغ الخلوية والمتجهة؛ إذ يتم تشغيل نظام الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية على الحاسوب ذاته، فضلا عن الوصول الآني لوظائف كلا النظامين في الوقت ذاته أيضاً، من خلال واجهة مستخدم مشتركة. الا ان النظم المنفصلة تعمل مستقلة عن بعضها بعضاً، لذلك يتم تبادل البيانات بالتناسق بين النظامين[1].

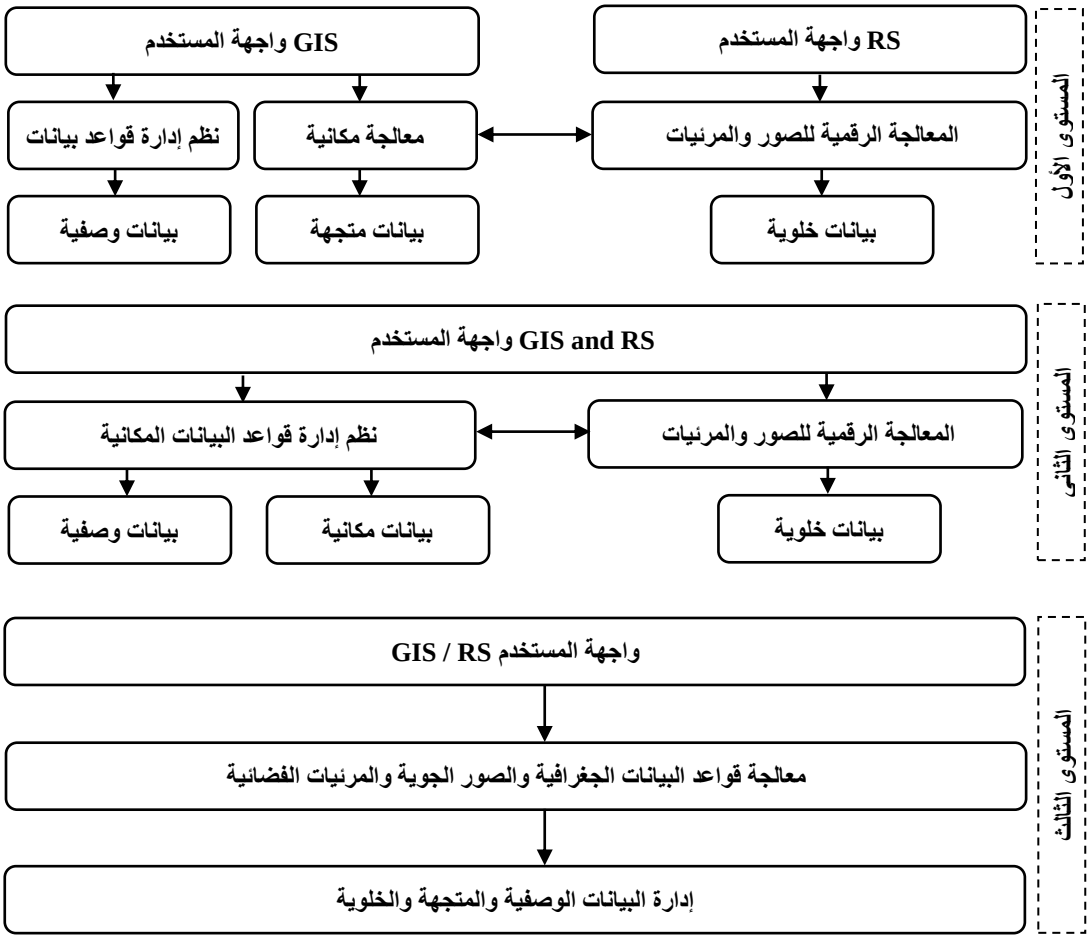
3. التكامل الكلي Total Integration

يسمى هذا المستوى بنظام التكامل الكلي وفيه نظام واحد يسمح للمستخدم بمعالجة بيانات الاستشعار عن بعد الخلوية والبيانات بالصيغة المتجه آنيا، وبهذا يتصور Ehlers بأنه سوف يحصل ارتفاع في مستوى الإفادة من وظائف نظام المعلومات الجغرافية الكاملة وتحليل المرئيات في الاستشعار عن بعد بالكامل. ذلك من دون الحاجة إلى تحويل البيانات بين هذه النظم[2]، ينظر الشكل (1).

(1) Qihao Weng, Remote Sensing and GIS Integration, Theories, Methods, and Applications, McGraw-Hill, New York, USA, 2010, p.51.

(2) Mohamed Abdelrahim, op cit., p.18.

الشكل (1): مخطط لنظرية التكامل التطوري (النشوئي)



المصدر: Manfred Ehlers, et al., 1989، op cit., p. 1621.

1-2-1-1 نقد النظرية Critique of theory

على الرغم من أن Ehlers هو أول من وضع التكامل بين نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد في نظرية تنبؤية تتوسم بما سيؤول إليه مستقبل التكامل المعني إلا انه افترض بان السيرة الذاتية للتكامل سوف تمر بثلاثة مستويات، هذه المستويات قصد بها الدمج البرمجي لا أكثر، متجاهلا المنطق المفاهيمي لطبيعة التكامل بين الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية الذي يعني إلى أي حد يمكن لمخرجات الاستشعار عن بعد أن تصاحب نظم المعلومات الجغرافية، بمعنى آخر إلى أي مدى يمكن لنظم المعلومات الجغرافية أن تكمل ما لا يستطيع الاستشعار عن بعد إكماله ؟. فالباحث الجغرافي لا يهمه العمل مع واجهات متعددة بالقدر الذي يهمه مستوى الإمكانيات الوظيفية لإدارة البيانات الجغرافية، من أجل الخروج بنتائج تغطي الهدف من دراسته.

مع ذلك فقد أثبت Ehlers توسمه في بعض مراحل التكامل التطوري من الناحية البرمجية إن صح التعبير؛ إذ بدأ الاستشعار عن بعد مستقلا عن نظم المعلومات الجغرافية، فالمعالجة

الصورية Image processing كانت منحسرة في برمجيات الاستشعار عن بعد، وبناء قواعد البيانات المتجهة من صلب عمل نظم المعلومات الجغرافية، وعلى الجانب الآخر فقد افترض Ehlers أن البيانات الخلوية تخص الاستشعار عن بعد والبيانات المتجهة تخص نظم المعلومات الجغرافية، إلا أنه تجاهل أمرا جوهريا ألا وهو أن نظم المعلومات الجغرافية منذ نشأتها تتعامل مع البيانات الخلوية سواء كانت بيانات اصلية كالخرائط التناظرية أم الورقية Hardcopy maps التي تُحول بعد ذلك إلى بيانات خلوية ثم متجهة، وسواء كان ذلك بالرقمنة Digitizing اليدوية أم الآلية أم بيانات خلوية مشتقة من بيانات متجهة كتحويل خطوط الكنتور إلى سطح تضاريسي مستمر على سبيل المثال لا الحصر.

ويرى الباحث من خلال الشروع في استخدام برنامج ENVI 5.3[*] الخاص بالاستشعار عن بعد، وبرنامج ArcGIS desktop 10.6.1[**] الخاص بنظم المعلومات الجغرافية في دراسته هذه. إن المستوى الإبتدائي يبدو جليا في البرنامجين كلاهما؛ إذ يسمح برنامج ENVI 5.3 بنقل الملفات إلى برنامج ArcGIS desktop 10.6.1 والعكس صحيح، ينظر الشكل (2).

(*) ENVI هو اختصار لـ Environment for Visualizing Images بيئة التجسيد الصوري للمرئيات. وهو من البرمجيات التجارية المتقدمة في معالجة المرئيات الفضائية، إذ يتميز بالسرعة العالية للمعالجة مع واجهة مستخدم ذات مرونة كبيرة، مما يساعد في الحل الامثل للمشكلات المصاحبة للمرئيات الفضائية واستنطاق المعلومات منها. يستخدم البرنامج من لدن اخصائيو الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية من أجل اتخاذ قرارات مكانية أفضل.

للتفاصيل ينظر:

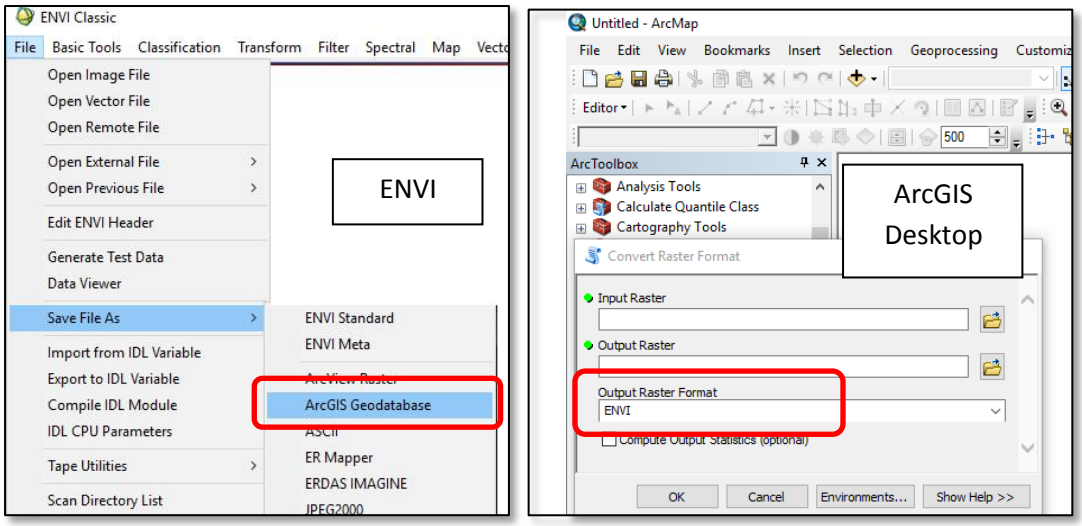
https://www.harrisgeospatial.com/Software-Technology/ENVI

(**) ArcGIS Desktop هو نظام معلومات جغرافية تجاري متكامل، يجمع بين نماذج بيانات مختلفة الصيغ، ويشكل بيئة حاسوبية– مكانية مثالية لتصور المكان. ذلك عن طريق جمع البيانات وادارتها وإجراء تحليلات مختلفة المستوى، ابتداء من التقليدية وانتهاء بالمتقدمة، فضلا عن عمليات النمذجة المختلفة للشروع في حل المشكلات المكانية. طور البرنامج من لدن معهد ابحاث النظم البيئية Environmental Systems Research Institute (ESRI) في الولايات المتحدة الأمريكية.

للتفاصيل ينظر:

http://desktop.arcgis.com/en

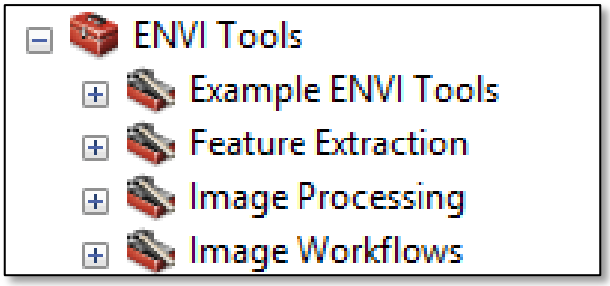
الشكل (2): مستوى التكامل الإبتدائي لنظرية Ehlers بين برنامجي ENVI 5.3 و ArcGIS 10.6.1



المصدر: عمل الباحث، اعتمادا على برنامجي ENVI 5.3 و ArcGIS Desktop 10.6.1.

وقد ظهر التكامل المتلاحم أيضاً عند تثبيت ذات البرنامجين على الحاسوب؛ إذ يعمل برنامج ENVI 5.3 على إضافة صندوق أدوات خاص بالمعالجة الصورية في بيئة برنامج ArcGIS Desktop 10.6.1 تحت عنوان ENVI، وبذلك يمكن لمستخدم البرنامج الأخير ممارسة إجراءات بعض المعالجة الصورية الأساسية التابعة للاستشعار عن بعد في بيئة نظم المعلومات الجغرافية، ينظر الشكل (3).

الشكل (3): مستوى التكامل المتلاحم لنظرية Ehlers بين برنامجي ENVI5.3 و ArcGIS Desktop 10.6.1



المصدر: برنامجي ENVI 5.3 و ArcGIS Desktop 10.6.1.

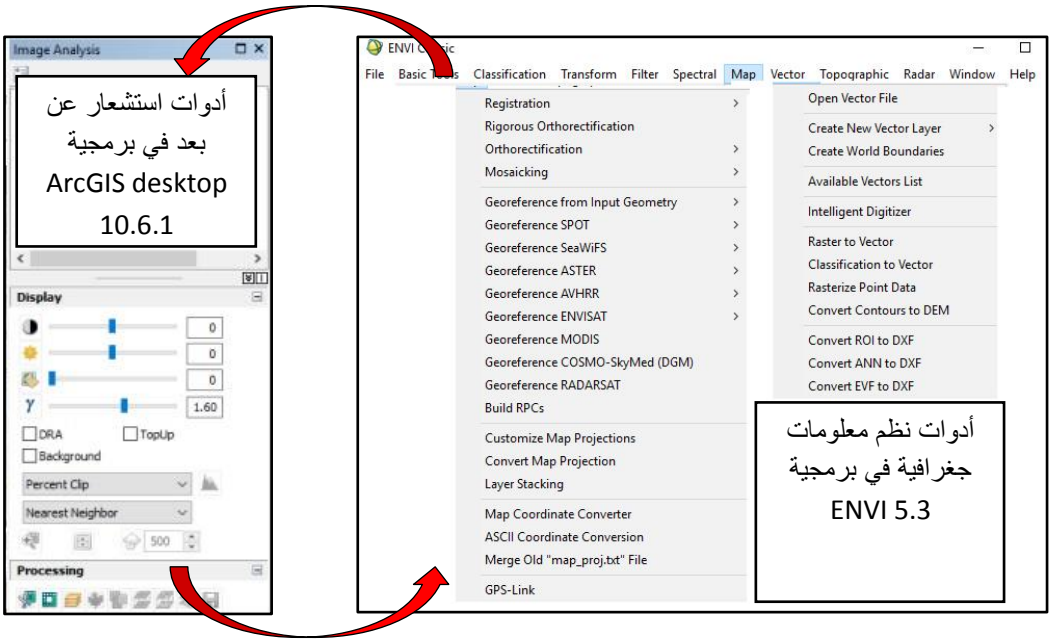
أما التكامل الكلي الذي تنبأ به Ehlers فلم يتحقق بعد؛ إذ يرى الباحث أن هناك معوقات كثيرة تعترض هكذا نوع من التكامل، فالشركات المنتجة لبرمجيات الاستشعار عن بعد ونظم

المعلومات الجغرافية لا زالت تحتفظ لنفسها بحقوق فكرية تجعل الوظائف الجوهرية لكل تقنية غير قابلة للتداول، إذ يُلاحظ عدم إضافة برنامج ENVI 5.3 الكثير من الوظائف المتقدمة إلى برنامج ArcGIS Desktop 10.6.1، كالتصحيح الجوي Atmospheric Correction والمعايرة الإشعاعية Radiometric Calibration، على سبيل المثال لا الحصر.

وبذلك فإن الطريق إلى التكامل الكلي البرمجي يعيقه اختلافا مفاهيميا أكثر من كونه اختناقا حاسوبيا بتراكم كمية هائلة من الوظائف في واجهة برمجية واحدة؛ إذ ذُكر سابقا بأن الاستشعار عن بعد مصمم لجمع معلومات جغرافية مشتقة من الطاقة ومعالجتها وتحليلها، بينما نظام المعلومات الجغرافية هو تكنولوجيا لمعالجة البيانات من مصادر مختلفة بغية إجراء عمليات التحليل والتقييم والنمذجة والمحاكاة للظواهر الجغرافية وهذا الاختلاف كبير، وعليه لماذا يسعى الجغرافيون إلى الدمج الكامل بين التقنيتين في نظام واحد وهما يعملان بشكل جيد منفصلين جنبا إلى جنب؟. إن فكرة التكامل الكلي التي يراها الباحث هي تحقيق مستوى عالٍ من التبادل التكميلي للمعلومات ومشاركة معالجة البيانات وليس قضية الحصول على واجهة واحدة بتراكم وظيفي هائل.

ومن الجدير بالذكر إن برمجيات الاستشعار عن بعد تسعى إلى ضم الكثير من الوظائف الخاصة بنظم المعلومات الجغرافية في بيئتها، والعكس صحيح. فعلى سبيل المثال، يلاحظ أن برنامج ENVI 5.3 يمتلك قائمة خاصة بنظم المعلومات الجغرافية تحت عنوان Vector و Map و Topographic، في حين إن برنامج ArcGIS desktop 10.6.1 يحتوي على امتداد Extension خاص بالمعالجة الصورية تحت عنوان Image Analysis. وهذا لا يعني بأن البرنامجين في أعلاه قد حققا تكاملا كليا؛ إذ لا زالت الوظائف المذكورة تعد أساسية وليست متقدمة، فضلا عن أن البرمجيات محتفظة بخصوصية وظائفها سواء كانت في نظم المعلومات الجغرافية أم في الاستشعار عن بعد، وبذلك ستبقى البرمجيات محتفظة بتخصصاتها العلمية وإن كانت تحتوي على وظائف أساسية في التخصص المقابل، ينظر الشكل (4).

الشكل (4): الدعم الوظيفي للأدوات الأساسية في أهم البرمجيات الخاصة بالاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية



المصدر: عمل الباحث، اعتمادا على برنامجي ENVI 5.3 وArcGIS Desktop 10.6.1.

1-1-3 نظرية التكامل المنهجي Methodological integration theory

وضع Wilkinson عام 1996 ثلاثة مداخل Approach's رئيسة يمكن أن تجتمع فيها تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية، وتُركب لتعزز بعضها الآخر من الناحية المنهجية[1]، على النحو الآتي:-

1- يستخدم الاستشعار عن بعد بوصفه مزودا للبيانات لنظام المعلومات الجغرافية.

2- يستخدم نظام المعلومات الجغرافية بوصفها مزودا للمعلومات المساعدة في تحسين المنتجات المشتقة من الاستشعار عن بعد.

3- يستخدم الاستشعار عن بعد ونظام المعلومات الجغرافية سوية في عمليات التحليل والنمذجة.

ثم نضجت النظرية على يد Mesev عام 1997 بترجمة المداخل التي وضعها Wilkinson إلى أدوار مختلفة المستويات في تطور التكامل للبيانات والتحليلات الحاسوبية بين نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد على نحو مرن، وهو يشمل من الناحية الجوهرية تحسين المعلومات التي يوفرها الاستشعار عن بعد لنظم المعلومات الجغرافية بشكل معقول

(1) Qihao Weng, op cit., p.43.

ومتوافق[1]، لذلك يشمل التكامل على ثلاثة أدوار رئيسة يلعبها الاستشعار عن بعد في بيئة نظم المعلومات الجغرافية، على النحو الآتي[2]:-

1- عندما يستخدم الاستشعار عن بعد بوصفه مصدرا للبيانات في نظم المعلومات الجغرافية، ثم تحول البيانات إلى الصيغة المتجهة أو تكون احدى المتغيرات المعتمدة للشروع في تطبيقات لاحقة، يلعب الاستشعار عن بعد هنا دورا غير فاعلٍ Passive Role، ويشمل الدور كذلك استخدام الاستشعار عن بعد لجمع البيانات إلى نظم المعلومات الجغرافية، وكذلك القدرة على التحديث والتحقق من الغطاء الأرضي باستخدام الصور الجوية والملاحظات الأرضية ومستشعرات الأقمار الاصطناعية Sensors.

2- عندما يستخدم الاستشعار عن بعد في إنتاج صورة رقمية خرائطية متعامدة Orthophotomap بوصفها قاعدة أساس لدراسات مختلفة، سواء كانت في نظم المعلومات الجغرافية أم غيرها، فإنه يلعب هنا دورا منفصلا (منفردا) Stand-Alone Role. ويشمل كذلك استخدام البيانات التي تنتجها نظم المعلومات الجغرافية كمعلومات مساعدة لمعالجة المرئيات الفضائية، كاستخدام البيانات المتجهة Vector data التي يمكن من خلالها تحديد الحدود بين الأغطية الأرضية وتوفير بيانات وصفية موقعيه لتثبيت المعلومات الجغرافية والمساعدة في عمليات التصنيف من خلال اختيار عينات تدريب نقية Training Site.

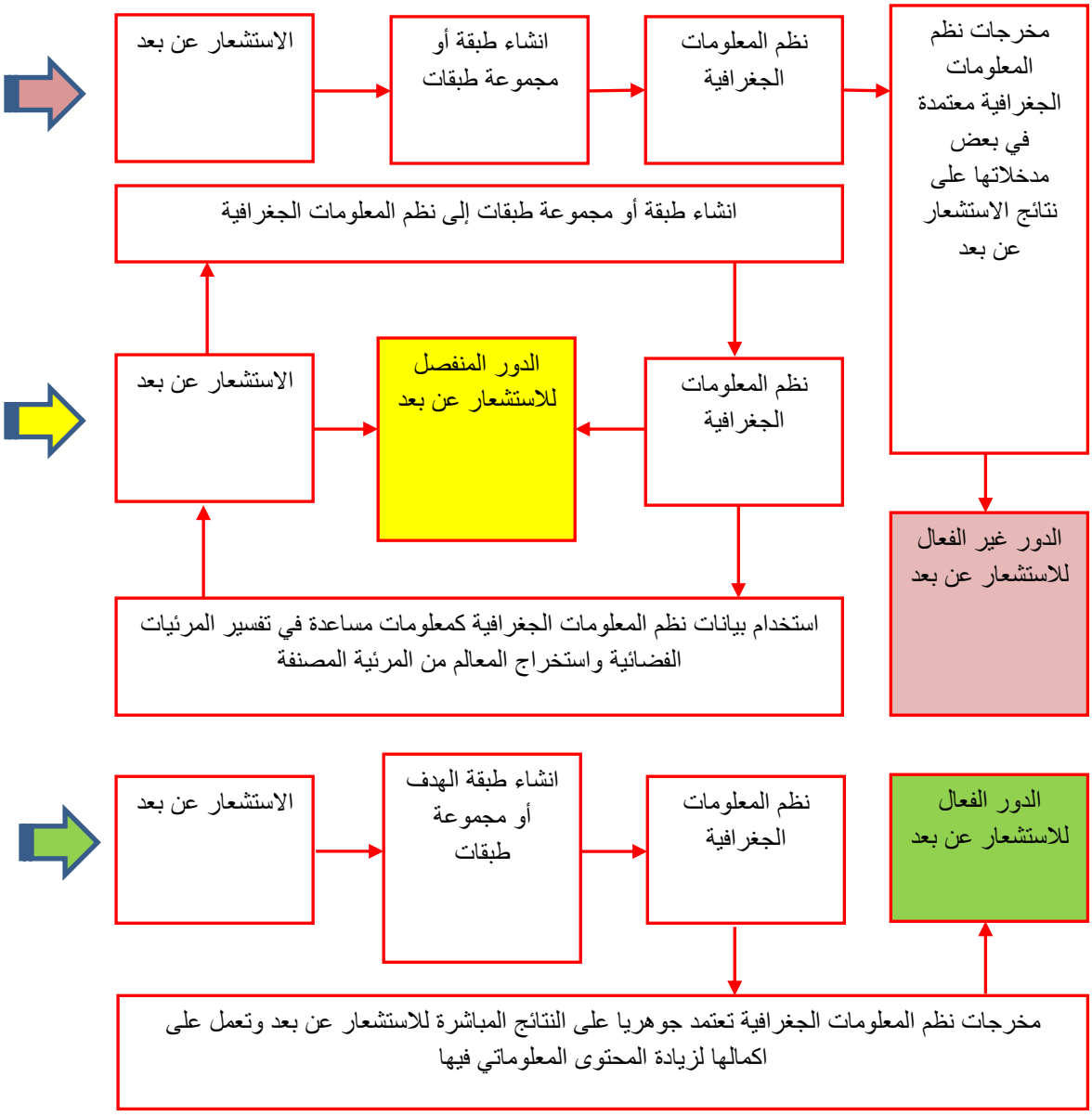
3- عندما يستخدم الاستشعار في إنتاج مخرجات تصاحب نظم المعلومات الجغرافية في جميع مراحل التطبيق، أي تكون نتائج الاستشعار هي الهدف من تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية، هنا يلعب الاستشعار عن بعد دورا فاعلا Active Role. ويشمل الدور أيضاً، اعتماد وظائف تحليلية من التقنيتين كلتيهما لدعم عمليات النمذجة والمحاكاة، كالمضاهاة الطبقية Overlay، فضلا عن الذكاء الاصطناعي Artificial Intelligence[3]، ينظر الشكل (5).

(1) Victor Mesev, cp. cit., p.45.

(2) Mohamed Abdelrahim, op cit., p.22.

(3) Xiaoping Liu, et al., Zoning farmland protection under spatial constraints by integrating remote sensing, GIS and artificial immune systems, International Journal of Geographical Information Science, Vol. 25, 2011, p. 1830.

الشكل (5): مخطط لنظرية التكامل المنهجي بين نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد



المصدر: عمل الباحث، اعتمادا على: Victor Mesev, Op. cit., p. 45.

1-3-1-1 نقد النظرية Critique of theory

يرى الباحث بأن Mesev قد أثبت رؤيته في تسمية الدور غير الفاعل للاستشعار عن بعد عندما يستخدم في رفد نظم المعلومات الجغرافية بالبيانات، فالمعلومات التي ينتجها الاستشعار عن بعد ماهي إلا إحدى مصادر البيانات المختلفة التي تستطيع نظم المعلومات الجغرافية توليفها في قاعدة بيانات واحدة، كالعمل الحقلي والخرائط المطبوعة والرفع الطوبوغرافي، فضلا عن البيانات التي يوفرها النظام العالمي لتحديد المواقع Global Positioning System (GPS) وغيرها من المصادر.

وهذا ما أكده Campbell عام 2011[1]، عندما ذكر ثلاث طرائق لإدراج الطبقات الموضوعية المشتقة من الاستشعار عن بعد إلى نظم المعلومات الجغرافية، فالتفسير اليدوي للصور الجوية أو المرئيات الفضائية يؤدى إلى إنتاج خريطة أو مجموعة خرائط توضح الحدود ما بين مجموعة أصناف موضوعية (تربة أو أصناف استعمالات الأرض وغيرها). توفر هذه الحدود عند تحويلها رقميا إلى ملفات رقمية مناسبة لإدخالها في نظام المعلومات الجغرافية، كما تخضع بيانات الاستشعار عن بعد الرقمية إلى التحليل والتصنيف باستخدام طرائق آلية لإنتاج خرائط ورقية وتحول إلى صيغة رقمية لإدخالها في نظم المعلومات الجغرافية، واخيرا تخضع بيانات الاستشعار عن بعد الرقمية إلى التحليل أو التصنيف باستخدام طرائق آلية، ثم يتم الاحتفاظ بها بصيغة رقمية Digital format وإدخالها في نظم المعلومات الجغرافية، والبديل هو إدخال بيانات الاستشعار عن بعد الرقمية مباشرة إلى نظم المعلومات الجغرافية لإخضاعها إلى نمذجة لاحقة، لذلك لا يمكن إطلاق مصطلح التكامل على البيانات التي يرفدها الاستشعار عن بعد إلى نظم المعلومات الجغرافية. ومن ثم سمي الدور الذي يقوم به الاستشعار عن بعد هنا بالدور غير الفاعل.

كما ان إطلاق مصطلح الدور المنفصل (المنفرد) Stand-Alone Role للاستشعار عن بعد في نظم المعلومات الجغرافية، يوحي بأن هناك قطعاً أو فجوة في تبادل البيانات بين التقنيتين على أقل تقدير، فالخريطة المتعامدة Orthophotomap يمكن إنتاجها اليوم في نظم المعلومات الجغرافية وان كان مصدرها الاستشعار عن بعد، ومن ثم سيلعب الاستشعار عن بعد دورا غير فاعلٍ أيضاً وليس منفصلا، لذلك لا يمكن البت في هكذا مصطلح يمتاز بالمرونة في التفسير وغير قطعي، وهذا ما يثبته Mesev نفسه عندما ذكر أن نظم المعلومات الجغرافية تسهم في بيانات مساعدة (بصيغة متجهة Vector format) للشروع بعمليات تصنيف المرئيات الفضائية.

بيد أن من أهم إسهامات نظم المعلومات الجغرافية في الاستشعار عن بعد وفقا لما اوردها Weng عام 2010[2]، تتجلى في بيان أثر تغير الطبوغرافيا على الخصائص الإشعاعية للتصوير الرقمي في مراحل المعالجة الأولية Preprocessing، إذ يمكن أن يزال الأثر التضاريسي على انعكاسية الغطاء الأرضي، في حين إن أكثر البيانات المتجهة استخداماً هي نقاط السيطرة الأرضية في تقويم الصورة؛ إذ يتم اختيار معالم نقطية يمكن تخصيصها من

(1) James B. Campbell and Randolph H. Wynne, Introduction to Remote Sensing, Guilford Press, New York, USA , 5th edition, 2011, p.p. 88-89.

(2) Qihao Weng, op cit., p.51.

خريطة موجودة لها نظام إحداثي محدد إذ تستخدم هذه المعالم لعملية الاسناد الجغرافي Georeferencing، وكذلك استخدام المعالم المساحية لتحديد منطقة الدراسة في الصور الخاضعة للمعالجة، وذلك عن طريق البرمجيات المختلفة لمعالجة الصور Image processing، باستخدام تقنية التقنيع Masking. فمن بدون ذلك ستصبح عملية المعالجة أقل كفاءة بسبب زيادة الحجم الرقمي للبيانات وارتفاع مستوى حجم البيانات الوسطية Intermediate data التي ليس لها أهمية من الناحية التقنية، فضلا عن بطئ عمليات المعالجة الحاسوبية.

وبذلك كيف يمكن إطلاق مصطلح الدور المنفصل للاستشعار عن بعد في نظرية التكامل المنهجي ؟. فالتكامل المنفصل الذي يقصده Mesev في نظرية التكامل المنهجي المعني باعتماد الاستشعار عن بعد على برمجياته في انجاز عمليات تعود أساسا إلى نظم المعلومات الجغرافية، كنتيجة حتمية لمرحلة التكامل المتلاحم العائدة أساسا إلى نظرية التكامل التطوري لـ Ehlers، على الرغم من وجود إسهامات واضحة لنظم المعلومات الجغرافية. لذلك كان من الاجدر تسمية الدور المنفصل Stand-alone Role بالدور المتبادل Reciprocal role ان صح التعبير. وحتى ان تم ذلك، يبقى هذا الدور ضمنيا بين الدور غير الفاعل والدور الفاعل للاستشعار عن بعد، وليس دورا رئيسا بحد ذاته.

أما الدور الفاعل للاستشعار عن بعد فيراه الباحث بأنه الدور المحوري المنهجي للتكامل بين الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية، فاختلاف طبيعة المعالجة بين التقنيتين للبيانات الجغرافية تجعل للاستشعار عن بعد عمل تأسيسي للشروع في اكمال العمل البحثي نحو نظم المعلومات الجغرافية، والنتائج المستخرجة من النظم تعتمد أساسا على النتائج المستخرجة من الاستشعار، فضلا عن قيام نظم المعلومات الجغرافية للشروع في استنطاق معلوماتي لمخرجات الاستشعار عن بعد، فعلى سبيل المثال أن تقديم الاستشعار عن بعد نماذج خرائطية موضوعية بعد عمليات معالجة منهجية في الاستشعار، سوف تكون بمثابة حجر الزاوية في المضي قدما نحو تقديم نماذج خرائطية أكثر عمقا في نظم المعلومات الجغرافية للظاهرة المستخرجة أساسا من الاستشعار عن بعد كالنمذجة الخرائطية لاستعمالات الأرض.

لذلك يسعى الباحث إلى الشروع في هذه الدراسة على وفق نظرية التكامل المنهجي وضمن الدور الفاعل للاستشعار عن بعد في نظم المعلومات الجغرافية، من أجل تقديم نماذج وسيناريوهات خرائطية كنتيجة حتمية للنمذجة الخرائطية Cartographic Modeling.

2-1 مفهوم الأنموذج والنمذجة Model and Modeling Concept

يعد مصطلح الأنموذج Model من أكثر المصطلحات استخداما في التقنيات الجغرافية Geographic Technics؛ إذ لابد من تفصيل هذا المصطلح على نحو أكثر وضوحا، بين

نماذج البيانات Data Models والنماذج المكانية Spatial Models. إن أنموذج البيانات هو قالب للبيانات، أي إنه إطار يمكن أن تثبت إليه تفاصيل معينة لجوانب مترابطة من سطح الأرض، كالصيغة المتجهة والخلوية للبيانات Raster and Vector Data. أما الأنموذج المكاني فهو تمثيل مبسط للظاهرة الجغرافية بهدف فهمها، من خلال احتفاظه بمعالم وعلاقات مهمة ترتبط بالواقع[1].

في حين ان مصطلح النمذجة Modeling فهو يعبر عن معانٍ مختلفة، تتراوح ما بين تحويل الظاهرة الجغرافية أو أحد العوامل المؤثرة فيها إلى أنموذج بيانات مرورا بفهم سلوكها المكاني، نحو صنع مؤشرات الملاءمة Suitability Parameters (خرائط مركبة)، و يشمل المصطلح ايضا – في حال توسيع نطاق المعلومات – على تنفيذ نماذج تنبؤية للظاهرة المدروسة بوضع سيناريوهات مختلفة [2]، بمعنى آخر تعد النماذج المكانية تعبيرا حول الاعتقاد بكيفية عمل الظواهر المدروسة، أي أنها تعبير عن عمليات Processing وليس صيغة خزن Format كما في نماذج البيانات، وكل هذه المعاني لا تخرج عن عملية النمذجة.

يحاكي الأنموذج المكاني عمليات العالم الحقيقي Real World، وهناك سببان لبنائه، فمن وجهة النظر الواقعية يجب إتخاذ القرارات والإجراءات بخصوص الظواهر المكانية، إذ تساعد النماذج في إتمام هذه العملية، ومن وجهة النظر الفلسفية فإن الأنموذج قد يكون السبيل الأوحد لتبسيط السلوك المعقد للظاهرة الجغرافية [3].

ومن الناحية العملية يستخدم الأنموذج في تقليل عدم اليقين Uncertain حول المستقبل. ولكن النماذج أيضاً تستخدم لأغراض عديدة أخرى، فقد تجسد الفكر المكاني تجاه عملية Process أو آلية عمل جوانب مختلفة من الظاهرة الجغرافية[4]، فضلا عن أنها تعد مستودعات وهياكل يمكن للباحثين أن يحفظوا Save فيها معرفتهم بطرائق يسهل تنفيذها، عن طريق إجراء

(1) Daniel G. Brown, et al., Spatial process and data models: Toward integration of agent-based models and GIS, Journal of Geographical Systems, Vol. 7, No. 1, 2005, p.p. 25-47.

(2) Paul A. Longly, et al., Geographic Information and Science, John Wiley & Sonce, England, Second Edition, 2005, p. 363.

(3) Ian Heywood, et al., An Introduction to Geographical Information Systems, Prentice Hall, England, third Edition, 2006, p. 222.

(4) David J. Maguire, et al., GIS: Spatial Analysis and Modeling, ESRE Press, Redland, California, USA, 2005, p.16.

المحاكاة المكانية لها Spatial Simulation وتغيير السيناريوهات للحصول على إجابات مكانية مختلفة تحت مسمى (ماذا لو؟ What If) [1].

وفي نظم المعلومات الجغرافية، يتم استخدام النماذج في كلا الدورين، فعلى سبيل المثال، عند دراسة النمذجة الخرائطية لاستعمالات الأرض، تساعد النماذج في عملية اتخاذ القرارات المكانية حول الظاهرة المعنية، أي انتخاب الطرائق التقنية من أجل الشروع في تحويل البيانات إلى نماذج خرائطية، وفي ذات الوقت تساعد هذه النماذج في فهم العمليات المكانية التي تحدث لاستعمالات الأرض كديناميكية تغير الظاهرة المعنية عبر الزمن.

1-2-1 أنواع النماذج Type of Models

يمكن الاعتماد على خصائص عدة في تصنيف النماذج، فقد يكون التصنيف معتمد على الخصائص المكانية أو الزمانية للأنموذج، أو على أسبقية التطبيق، فضلا عن طبيعة قياس الأنموذج، لذلك يمكن تصنيف النماذج على الرغم من وجود تداخل مفاهيمي بينها، على النحو الآتي:-

1-2-1-1 النماذج السابقة واللاحقة Priory and Posteriorly Models

تستخدم النماذج السابقة لنمذجة العمليات التي تستوجب إنشاء منظور جديد لها، وفي هذه الحال يتم استخدام الأنموذج للمساعدة في البحث عن مخرجات محددة، أما النماذج اللاحقة فهي مصممة لتعميق أثر المخرجات التي تم تحديدها مسبقا [2]، فعلى سبيل المثال، يمكن نمذجة مجموعة من العوامل الجغرافية للوصول بأنموذج الملاءمة المكانية لاستعمالات الأرض، بوصفه أنموذجا سابقا، وفي ذات الوقت يمكن إدخال أنموذج الملاءمة كمحدد شرطي Boundary Condition لتشغيل أنموذج استعمالات الأرض (محاكاته) عبر الزمن، بوصفه أنموذجا لاحقا.

1-2-1-2 النماذج الساكنة والمتحركة Static and Dynamic Models

تتعامل النماذج الساكنة Static مع حال البيانات في زمن محدد، بينما تركز النماذج المتحركة Dynamic على التغيرات في البيانات المكانية والتفاعلات بين المتغيرات عبر الزمن؛ إذ يعد الزمن جانبا مهما يظهر عملية التغير في النماذج المتحركة[3]، فعلى سبيل المثال، يمكن

---

(1) Mahyar Yousefi, et al., Exploration information systems – A proposal for the future use of GIS in mineral exploration targeting, Ore Geology Reviews, Vol. 111, 2019, p.3.

(2) Ian Heywood, et al., op cit., 2006, p. 222.

(3) Kang-Tsung Chang, Introduction to geographic information systems, Mc-Graw Hill, New York, USA, Third Edition, 2006, p. 392.

عد أنموذج استعمالات الأرض ساكنا، بينما أنموذج كشف التغير Change Detection لاستعمالات الأرض متحركا؛ إذ أدخل الزمن هنا كمتغير رئيس في الحكم على تغير استعمالات الأرض مكانيا، كما تعد نماذج المحاكاة بوصفها نماذج متحركة، من التقنيات التي يمكنها أن تولد سيناريوهات مختلفة لسلوك الظاهرة الجغرافية عبر الزمن[1]، كسيناريوهات التنبؤ بمستقبل استعمالات الأرض.

1-2-1-3 النماذج القياسية والطبيعية Natural and Scale Models

من منظور اصل البيانات ومعالجتها، يمكن عد الأنموذج الطبيعي بيانات خام Row Data، وهي رصد ظواهر أو معالم على سطح الأرض، هذه الظواهر أو المعالم تحدث إما في حيز مكاني مختلف وإما في مدد زمنية مختلفة لحيز مكاني ما، في حين ان الأنموذج القياسي هو مشتق من الأنموذج الطبيعي بعد قياس جزء منه بما يتلاءم مع تقديم الأنموذج[2]، فعلى سبيل المثال يمكن عد المرئية الفضائية أنموذجاً طبيعياً لسطح الأرض، بينما خريطة استعمالات الأرض المشتقة من المرئية الفضائية، أنموذجاً قياسياً ناتجاً عن اختزال معلومات المرئية الفضائية وقياسها.

1-2-1-4 النماذج الإحصائية والرياضية Statistical an Mathematical Models

تصنف النماذج هنا على أساس العملية الحسابية التي تدخل في بنية الأنموذج، وهنا لابد من التفريق بين الإحصاء والرياضيات. إن الاحتمالية وعدم اليقين في الاستنتاجات هما الفرق الرئيس بين الإحصاء والرياضيات، ففي الرياضيات يتم الوصول إلى النتائج عادة عن طريق البرهان المنطقي وعادة ما تكون هناك إجابة واحدة صحيحة، في حين، إن الإحصاء يستخدم التفكير الاستقرائي والاستنتاجات غير المؤكدة دائما[3].

تبعا لذلك يسمى الأنموذج الإحصائي بالأنموذج الاحتمالي Probabilistic Model، وهو يفترض وجود بعض العشوائية في واحد أو أكثر من مدخلاته، لذلك قد تظهر فيه مقاييس

---

(1) Yeqiao Wang and Xinsheng Zhang, A dynamic modeling approach to simulating socioeconomic effects on landscape changes, Ecological Modelling, Vol. 140, No. (1-2), 2001, p. 141.

(2) Ian Heywood, et al., An Introduction to Geographical Information Systems, Prentice Hall, England, fourth Edition, 2011, p. 228.

(3) Dung Tran and Hollylynne Lee, The Difference Between Statistics and Mathematics, Teaching statistics through data investigations MOOC-Ed, Friday Institute for Educational Innovation: NC State University, Raleigh, NC, 2015, Internet link: https://fi-courses.s3.amazonaws.com/tsdi/unit_2 /Essentials/ Statvsmath. pdf

للخطأ أو عدم التأكد (مستوى ثقة إحصائية)[1]. أما الأنموذج الرياضي فيسمى كذلك بالأنموذج الحتمي Deterministic Model؛ إذ هناك جواب محتمل واحد فقط لمجموعة معينة من المدخلات، إن النماذج الحتمية تعمل جيداً في المسائل المبنية والمحددة على نحو جيد؛ إذ يتفاعل معها عدد محدد من المتغيرات لتتمخض عن ناتج ذات معنى جغرافي[2].

فعلى سبيل المثال تصنف المرئية الفضائية في الاستشعار عن بعد غالبا بإحدى الطرائق الإحصائية، لذلك يلاحظ أن ناتج التصنيف يتمخض عنه مستوى دقة إحصائية تعبر عن مستوى عدم التأكد في حساب الأصناف، فكلما كانت نسبة الخطأ أقل زادت دقة التصنيف، ومن ثم يقبل الأنموذج، أما الخريطة الناتجة عن جبر الخرائط Map algebra، فما هي إلا أنموذج رياضي حتمي، لذلك يجب توخي الدقة في تعيين مدخلات الأنموذج وأوزانها.

1-2-1-5 الأنموذج المفاهيمي Conceptual Model

يتم التعبير عن الأنموذج المفاهيمي بشكل رسومي Diagram، لوصف التفاعلات الكمية والنوعية للعمليات الإجرائية على البيانات، ويعد مخطط النظام System diagram من أكثر النماذج المفاهيمية شيوعا في نظم المعلومات الجغرافية الذي يستخدم الرموز والكلمات لوصف المكونات والروابط الرئيسة للأنموذج[3]، يحدد هذا الأنموذج الطريقة التي يتم بها تنظيم البيانات لاستخدامها في نظام المعلومات الجغرافية، والتفاعلات التي تحدث خلال مراحل المدخلات والتحليل والنواتج[4]، وبذلك يعمل الأنموذج المفاهيمي على إضفاء الطابع الرسمي على المتغيرات المحددة في تبويب المعارف المقترحة لهيكل المخطط[5]، ومن ثم تمتلك النمذجة المفاهيمية مزايا عدة لتصميم التطبيقات الجغرافية، أهمها السماح للمستخدمين في التعبير عن معرفتهم بالتطبيق من دون الحاجة إلى استخدام تعبيرات حسابية أو إجراءات تفصيلية في استخدام الوظائف[6].

---

(1) Kang-Tsung Chang, op cit., p. 392.

(2) Ian Heywood, et al., op cit., 2011, p. 228.

(3) Ibid, p. 228.

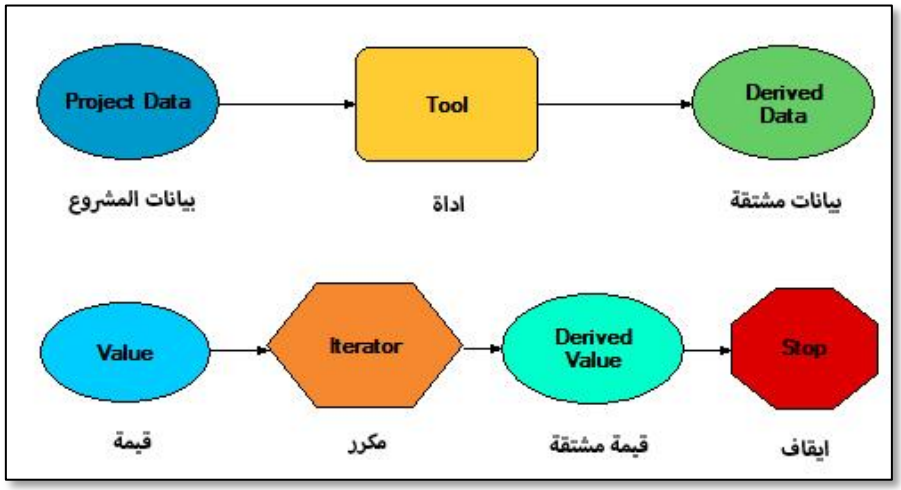
(4) Alberto Giordano, et al., A Conceptual Model of GIS-Based Spatial Analysis, Cartographica: The International Journal for Geographic Information and Geovisualization, Vol. 31, No. 4, 1994, p. 47.

(5) Adriana Car and Andrew U. Frank , Computers, environment and urban systems, Vol. 19, No. 2, 1995, p. 89.

(6) Jugurta Lisboa-Filho, et al., A UML Profile for Conceptual Modeling in GIS Domain, DE@ CAISE, 2010, p. 19.

لقد أصبحت بعض النماذج المفاهيمية تعمل على نحو تفاعلي Interactive في البرمجيات الكبيرة للاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية، أهمها الأنموذج المفاهيمي الذي يولده برنامج نظم المعلومات الجغرافية ArcGIS desktop بواسطة برنامج فرعي يُعرف بـ (باني الأنموذج) Model Builder، وهو تطبيق يستخدم لإنشاء النماذج المفاهيمية وتحريرها وإدارتها؛ إذ يتيح تصور تدفق العمل (في شكل مخططات انسيابية بيانية) وإنشاء وأتمتة مهام المعالجة المكانية Geoprocessing التي يتم تنفيذها عادة في خطوة واحدة[1]، وعند نجاح التشغيل الآلي للأنموذج، يمكن الاعتماد عليه في تطوير الأدوات، ينظر الشكل (6).

الشكل (6): وحدات بناء الأنموذج المفاهيمي التفاعلي في برنامج ArcGIS desktop 10.6.1



المصدر: ESRI, ArcGIS desktop 10.6.1 Software Help, Model Builder, 2018.

3-1 مفهوم النمذجة الخرائطية Cartographic Modeling

تعرف النمذجة الخرائطية بأنها ميدان محدد للبحث والتعبير العلمي؛ إذ تشمل عمليات المقارنة والتحليل والتركيب الخرائطي[2] عن طريق اختيار المتغيرات والعمليات المكانية وتنظيمها من أجل تطوير مسائل تحليلية في نظام معلومات جغرافية؛ إذ تعتمد على مفهوم الطبقات Layers للبيانات Data والعمليات Operations والإجراءات Procedures. والهدف من هذا

(1) Ann Blyth, et al., Spatial Analysis and Modeling, National Land Service under the Ministry of Agriculture, 2008, Internet link: https://www.geoportal.lt/ geoportal/documents/ 18923/19607/GII-07_training_material.pdf/2352100c-43b7-4ae4-829a-a885625caf34

(2) Jasmina Jovanovic and Dragica Zivkovic, cartographic modeling of the population density in the function of research of spatial –demographical relations, Journal of the Geographical Institute" Jovan Cvijic", SASA, Vol. 54, 2005, p.p. 115-127.

الميدان هو صنع طبقات خرائطية جديدة باستخدام طبقات خرائط حالية وإتباع عمليات متسلسلة بصيغة إجراءات للوصول إلى المنتج الخرائطي الذي يسعى إليه المستخدم. ويشمل المصطلح كذلك النمذجة الخرائطية الموجهة تجاه العمليات أكثر مما هي موجهة نحو الناتج، فاهتمامها الرئيس هو ليس بطريقة توضيح البيانات بل بطريقة معالجة البيانات رياضيا نحو منتج خرائطي ذي معنى جغرافي، وبذلك تسعى إلى إبراز القدرات التحليلية والتركيبة لنظم المعلومات الجغرافية، وتقوم بذلك من خلال تفكيك البيانات ومعالجتها والتحكم بمعالجة البيانات إلى عناصر إبتدائية يمكن إعادة تركيبها مرة أخرى بسهولة ومرونة [1].

تعمل النمذجة الخرائطية على تعميق الرؤية الجغرافية على سطح الخريطة والهدف الرئيس من الأنموذج المنتج هو إظهار العلاقة المتبادلة بين المتغيرات والخصائص في المكان بطريقة تساعد الباحث والمتلقي على فهم مكنونات الظاهرة، فضلا عن التغير الزماني والمكاني لها على نحو موثوق[2].

وهي بذلك تختلف عن التمثيل الخرائطي Cartographic Representation الذي يعرف على أنه عملية تجسيد المعلومة الجغرافية على الخريطة باستخدام المتغيرات البصرية Visual Variables وأنماط توقيعها، ويشمل كذلك تقنيات التعميم الخرائطي Cartographic Generalization والإظهار المرئي Visualization للظاهرة الجغرافية بأبعادها الثنائية والثلاثية، تحت مبدأ الاتصال الخرائطي Cartographic Communication، فضلا عن قياس مستوى الإدراك البصري Visual Perception Level للظاهرة من أجل ضمان سلامة المردود الجغرافي للخريطة[3].

بمعنى آخر يكمن الفرق بين التمثيل الخرائطي والنمذجة الخرائطية على النحو الآتي:-

1- جغرافيا: التمثيل الخرائطي معني بالتوضيح الجغرافي على سطح الخريطة، بينما النمذجة الخرائطية معنية بالتفكير الجغرافي على ذات السطح .

2- مفاهيميا: التمثيل الخرائطي هو مفهوم سميولوجي، يركز على الرمزية في الخريطة، بينما النمذجة الخرائطية هي رياضيات الخريطة بكل ما تحتويه الكلمة من معنى.

---

(1) C. Dana Tomlin, op cit., 2012. p. 3.

(2) Dariusz Gotlib and Robert Olszewski, From conceptual modeling to a map, International Cartographic Association ICA , 2017, Internet link: https://www.researchgate.net/publication/325187632_From_conceptual_modeling_to_a_map.

(3) Francis Harvey, A Primer of GIS: Fundamental Geographic and Cartographic Concept, the Guilford Press, New York, USA, 2008, p.p. 43-221.

وهكذا تسعى النمذجة الخرائطية نحو أتمتة التفكير الجغرافي على سطح الخريطة، لكونها تركز على العمليات المكانية، بينما يسعى التمثيل الخرائطي نحو التوضيح الجغرافي، لكونه يركز على قياس الإدراك البصري لذات السطح. وبهذا يمكن تعريف الخريطة في ظل النمذجة الخرائطية، بأنها وثيقة مكانية حررت رياضيا وفقا لرؤية الاطار النظري للجغرافيا.

يرجع تاريخ النمذجة الخرائطية إلى التجربة التي قام بها Mcharg في ستينيات القرن الماضي الذي شرع إلى تحليل ملاءمة استعمالات الأرض لأغراض التنمية عن طريق صنع طبقات خرائطية شفافة كل خريطة تحتوي على مواقع بقيم ظلية مختلفة، القيم العالية تحتوي على قيمة ظلية عالية والعكس صحيح، ثم طبق الشفافيات فوق بعضها بعضاً Overlay ليخرج بخريطة نهائية ذات قيم ظلية متفاوتة، ليصار بعد ذلك، إلى منتج خرائطي نهائي، تمثل مستويات الدكانة الواطئة فيه أنسب المناطق لأغراض التنمية[1].

وفي السبعينيات استخدمت طريقة Mcharg للنمذجة الخرائطية في تطبيقات عدة للتصميم بمساعدة الحاسوب Computer-Assisted Design (CAD) ونظم المعلومات الجغرافية[2]، ثم زاد الاهتمام في النمذجة الخرائطية إبان الثمانينيات بصدور برمجية تحليل الخرائط لـ Tomlin تحت مسمى Map Analysis Package (MAP)، ومنذ ذلك الحين تم توسيع تأثير النمذجة الخرائطية إلى مجالات أوسع من البحث العلمي[3].

أما في التسعينيات فقد تم إدخال النمذجة الخرائطية في بيئة نظم المعلومات الجغرافية على يد Tomlin نفسه، ذلك بتأليفه أول كتاب عالمي يحمل اسم نظم المعلومات الجغرافية والنمذجة الخرائطية عندما ذكر في الجهة الخلفية من غلاف الكتاب بأن النمذجة الخرائطية هي حجر الزاوية (عمل تأسيسي Foundational Work) في نظم المعلومات الجغرافية [4]؛ إذ أكد Tomlin في كتابه على دور نظم المعلومات الجغرافية في النمذجة الخرائطية، وركز على طريقة معالجة البيانات الخرائطية (طبقات الخرائط) في أثناء اشتقاق المعلومات بدلا من التركيز

---

(1) Susan Herrington, The Nature of Ian McHarg's Science, Landscape Journal, Vol. 29, No. 1, 2010, p.p. 1-20.

(2) Jacek Malczewski and Claus Rinner, Multicriteria Decision Analysis in Geographic Information Science, Springer, New York, 2015, p. 58.

(3) Nigel Trodd, Cartographic Modeling , Internet link: http://geo.exa.unrc.edu.ar/Posgrado/ARCHIVOS%20UTILES/trodd_cartographic_modelling.pdf

(4) C. Dana Tomlin, Geographic Information Systems and Cartographic Modeling, Prentice Hall, England, 1990.

على مهمات العرض الخرائطي Cartographic Displaying[1]، ومنذ ذلك الحين أصبحت النمذجة الخرائطية جزءاً من نظم المعلومات الجغرافية [2].

تختلف النمذجة الخرائطية عن النمذجة المكانية في أن الأخيرة قد لا تكون نتائجها بالضرورة على شكل خريطة، كقياس التشتت والتركز لنمط التوزيع الجغرافي لظاهرة ما فعلى الرغم من أن قياس نمط التوزيع الجغرافي يخضع إلى أنموذج إحصائي كالمجاور الأقرب Nearest Neighbor على سبيل المثال لا الحصر، إلا أن الأنموذج الإحصائي يكشف عن أنموذج مكاني معني بنمط التوزيع الجغرافي سواء كان عشوائياً أم متجمعاً برقم ومستوى ثقة إحصائية وليس خريطة، اما النمذجة الخرائطية فيتمخض عنها خريطة حتى وإن اعتمد على أنموذج إحصائي في قياسها، كتصنيف استعمالات الأرض من المرئيات الفضائية بواسطة الاستشعار عن بعد؛ إذ ان الأنموذج الإحصائي المستخدم في تقييم دقة التصنيف، سوف يعطي للمستخدم رقماً لدلالة دقة الخريطة الموضوعية المعنية باستعمالات الأرض، ومن ثم يمكن عده أنموذجا خرائطيا Cartographic model، من هنا يمكن القول أن كل أنموذج خرائطي هو أنموذج مكاني والعكس غير صحيح.

كما لا يخفى دور علم الخرائط في النمذجة الخرائطية، ففي المثال السابق حول تصنيف استعمالات الأرض من المرئيات الفضائية في الاستشعار عن بعد، اعتمادا على أنموذج إحصائي في عملية تقييم دقة الأنموذج الخرائطي المصنف. سوف يتمخض عنه خريطة استعمالات أرض ذات فئات محددة بمقياس اسمي Nominal Scale. وهي تمثل بدورها خريطة كروكروماتيكية Chrochromatic في ادبيات علم الخرائط[*]. ان تصنيف الفئات على الخرائط هي من صلب العمل الخرائطي حتى وان وجدت تقنياتها في نظم المعلومات الجغرافية

---

(1) F.J.M. van der wel, Cartography, remote sensing and GIS, 2000, Internet link: https://dspace.library.uu.nl/bitstream/handle/1874/522/c2.pdf;jsessionid=4718966C167F1DA36C53B60FF88AB19B?sequence=19.

(2) Nigel Trodd, op cit,.

(*) تعد الخريطة الكروكروماتيكية Chrochromatic Map من الخرائط المساحية غير الكمية، فهي تهتم بإبراز الانتشار المساحي للظاهرة الجغرافية، فضلا عن انها من أهم أنواع الخرائط الموضوعية، إذ يرجع ذلك إلى تنوع الظواهر الجغرافية التي تتطلب دراستها توضيح التوزيع المكاني.

للتفاصيل ينظر:

سميح احمد محمود عودة، الخرائط: مدخل إلى طرق استعمال الخرائط واساليب انشائها الفنية، المركز العربي للخدمات الطلابية، عمان، الاردن، ط2، 1996، ص ص 207، 229.

والاستشعار عن بعد[1]. بمعنى آخر، يكمن دور علم الخرائط في النمذجة الخرائطية عند تحديد الفئات على الأنموذج الخرائطي المنتج والاخراج النهائي للخريطة.

1-3-1 أنواع النمذجة الخرائطية Cartographic Modeling Types of

حدد Tomlin نوعين رئيسين من النمذجة الخرائطية مختزلا بذلك أنواع النماذج التي ذكرت آنفا، يمكن عرضهما على النحو الآتي[2]:

1-3-1-1 النمذجة الخرائطية الوصفية Descriptive Cartographic Modeling

وهي تهدف إلى وصف المتغيرات الجغرافية وتحليلها على جسم الخريطة، أي أنها عملية تحليلية من أجل تحويل البيانات إلى منظور آخر واستنطاقها لتكون ذات معنى أكثر عمقا من الناحية الجغرافية.

1-3-1-2 النمذجة الخرائطية الارشادية Prescriptive Cartographic Modeling

وهي تهدف إلى تركيب المتغيرات الجغرافية على جسم الخريطة، لتمثيل الحقائق، ومحاكاة العمليات المكانية وتفسير الظواهر الجغرافية خرائطيا. إن الانتقال من النماذج الوصفية إلى النماذج الإرشادية يتطلب استخدام تقنيات أكثر تقدما لتوسيع دور النمذجة الخرائطية من استعلام جغرافي غير فاعل Passive نسبيا إلى استعلام فعال Active نحو هدف محدد، فإذا كانت النماذج الوصفية تجيب عن طرح أسئلة ضمنية فإن النماذج الإرشادية تقوم بحل الأسئلة النهائية.

فعلى سبيل المثال إن عملية تصنيف المرئية الفضائية إلى استعمالات الأرض تقع ضمن التكامل غير الفاعل للاستشعار عن بعد في نظم المعلومات الجغرافية، بسياق نظرية التكامل المنهجي، وهي تتطلب أنموذجا مفاهيميا لوصف العملية، فضلا عن الاعتماد على أنموذج إحصائي يستخدم في تصنيف المرئية الفضائية وبيان دقة التصنيف، وهو أيضاً من النماذج الساكنة، لكون تصنيف المرئية إلى استعمالات الأرض محدد بلحظة زمنية معينة، الا وهي تاريخ التقاط المرئية الفضائية من القمر الاصطناعي، ليصار أخيراً إلى أنموذج خرائطي وصفي لاستعمالات الأرض.

كما إن تحليل المسافة عن طرق النقل في نظم المعلومات الجغرافية هي أنموذج خرائطي وصفي يجسد نطاقات البعد عن طرق النقل، وهو من النماذج الساكنة لكونه يصف الظاهرة في

---

(1) Michael F. Godchild, Cartography: GIS and Cartography (Relationship Between), University of California, Santa Barbara, USA, 2012, Internet link: http://www.geog.ucsb.edu/~good/papers/474B.pdf.

(2) C. Dana Tomlin, Op cit., 2012, p.p. 126-149.

وقت محدد، ويمكن عده أنموذجا رياضيا، لاستخدام المسافة الاقليدية Euclidian Distance في عملية بناء الأنموذج الخرائطي.

في حين إن نمذجة الملاءمة المكانية الزراعية تعد من النماذج السابقة بسبب استخدام مجموعة من المتغيرات الجغرافية للخروج بأنموذج خرائطي يجسد مستويات الملاءمة، وهو من النماذج الرياضية بسبب استخدام العمليات الجبرية، ويعتمد في ذلك أيضاً على تقنيات رياضية في عملية وزن المتغيرات الداخلة في أنموذج الملاءمة، ويمكن عده كذلك من النماذج الساكنة لكونه يجسد الملاءمة المكانية في زمن محدد، ومن ثم هو أنموذج خرائطي إرشادي كونه مركب من النماذج الخرائطية الوصفية الداخلة في بنيته، كخصائص التربة ونطاقات المطر والحرارة ومنحدرات سطح الأرض وغيرها.

فضلا عن أن نماذج المحاكاة الخرائطية للتنبؤ بمستقبل استعمالات الأرض كنتيجة حتمية للتكامل الفعال للاستشعار عن بعد في نظم المعلومات الجغرافية، بسياق نظرية التكامل المنهجي، هي من النماذج المتحركة، كونها ناتج عن التغير المكاني للظاهرة عبر الزمن، وتستخدم في بنائها نماذج كثيرة منها رياضية وأخرى إحصائية، وفي الوقت ذاته تعد مخرجاتها نماذج خرائطية إرشادية كونها اعتمدت على تركيب نماذج خرائطية وصفية لوضع معايير مختلفة، ومن ثم الخروج بسيناريوهات مستقبلية مختلفة للظاهرة المعنية.

1-4 الاتجاهات المعاصرة في النمذجة الخرائطية

Contemporary Trends in Cartographic Modeling

إن التنامي المطرد في التقنيات الجغرافية الجديدة، والبيانات المتنوعة، جعل النمذجة الخرائطية في نظم المعلومات الجغرافية موضوعا بحثيا مكثفا، لاسيما النمذجة المستندة على البيانات الخلوية، والمحاكاة الحاسوبية[1]، لذلك أخذت النمذجة الخرائطية اتجاهات عديدة متقدمة، على النحو الآتي: -

1-4-1 النمذجة الخرائطية وجبر الخرائط الموزون

Cartographic Modeling and Weighted Map Algebra

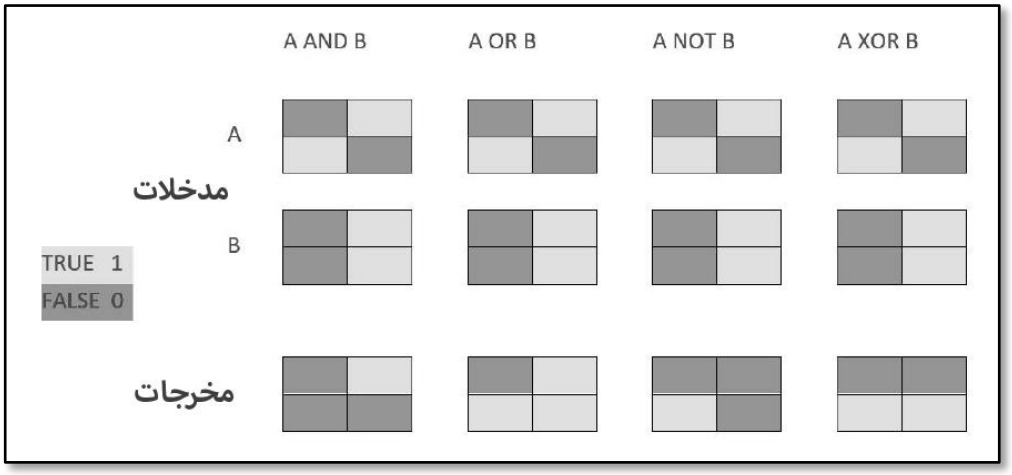
يعرف جبر الخرائط Map algebra بأنه مجموعة من الوظائف لمعالجة البيانات المكانية الخلوية، مما يسمح بنمذجة المشكلات المختلفة والحصول على معلومات جديدة من البيانات

(1) João Pedro Cerveira Cordeiro, et al., Yet Another Map Algebra, Geoinformatica, Vol. 13, No. 2, 2009, p. 184.

المتوفرة[1]. ظهر مصطلح جبر الخرائط بثوبه العتيق (جبر الخرائط البسيط أو غير الموزون) أول مرة على يد Tomlin عام 1979، واستخدم منذ ذلك الحين في إشارة إلى مجموعة من العمليات الرياضية التي تم اعتمادها لاحقا على نطاق واسع في نظم المعلومات الجغرافية المستندة على البيانات الخلوية Raster Data [2].

إن جبر الخرائط مستند أساسا على المنطق البولياني Boolean Logic الذي طوره عالم الرياضيات G. Boole عام 1854 من أجل التعامل مع التعبيرات الرياضية Mathematical Expressions ألا وهي: (OR، AND، XOR، NOT)، هذه التعبيرات الأساسية لها نتائج حتمية ثنائية متمثلة بالـ (0) الذي يعني عدم تحقق شروط التعبير الرياضي وتسمى بالقيمة الكاذبة False Value، والـ (1) الذي يشير إلى تحقق شروط التعبير الرياضي ويسمى بالقيمة الحقيقية Truth Value[3]. ينظر الشكل (7).

الشكل (7): العمليات الأساسية للمنطق البولياني في جبر الخرائط



المصدر: R.C. Herbei, et al., p.155.

تعد الطبقة Layer عنصرا من عناصر جبر الخرائط في نظم المعلومات الجغرافية، تحتوي الطبقة على مجموعة وحدات صورية Pixels، كل وحدة صورية تمثل الوحدة الأساسية

(1) Gilberto Câmara, et al., Towards a Generalized Map Algebra: Principles and Data Types, Conference: GeoInfo, Brazil, 2005, p.p. 1-2.

(2) Jeremy Mennis, et al., Cubic Map Algebra Functions for Spatio-Temporal Analysis, Cartography and Geographic Information Science, Vol. 32, No. 1, 2005, p.17.

(3) R.C. Herbei, et al., Spatial Analysis Methods of Raster Data Used into the Geographical Information Systems, Inżynieria Mineralna, Vol. 19, 2018, p. 156.

لبنائها وهي مرتبطة بقيمة رقمية Digital Number محددة، وتسمى مجموعة من الخلايا ذات القيم المتشابهة بالنطاق Zone، فعند دمج مجموعة من الطبقات التي تمثل كل منها توزيعا مكانيا لمتغير ما، مرتبطاً بالظاهرة المدروسة في حيز مكاني ما، يطلق على هذا التجميع بجبر الخرائط[1]. وهو يستخدم عادة عندما يراد العثور على الأماكن التي تتداخل فيها عدة طبقات في نظم المعلومات الجغرافية أكثر من غيرها. وهذا ما يسمى بنمذجة الملاءمة Suitability Modeling، التي تروم إلى البحث على مواقع مثالية أو غير مثالية لظاهرة جغرافية ما[2].

وفي الوقت الحاضر يعد جبر الخرائط الموزون من لدن الكثيرين ميدانا بحثيا معاصرا في التحليل الجغرافي[3]، وهو يتكون من ثلاثة عناصر أساسية، ألا وهي البيانات بوصفها متغيرات Variables، ومعالجة البيانات بوصفها عمليات Operations، والتحكم في معالجة البيانات بوصفه تعبيرا Expression [4].

تدخل المتغيرات كعوامل جغرافية مؤثرة على الظاهرة الداخلة في الجبر الخرائطي، في حين تتجسد العمليات في تهيئة البيانات لتتماشى مع عمليات الجبر، كإعادة التصنيف Reclassification، فضلا عن اشتقاق معلومات أكثر عمقا من البيانات المعتمدة، كتحليل المسافة عن المراكز الحضرية لتحدد المناطق الجاذبة للتوسع المساحي الحضري على سبيل المثال لا الحصر، وأخيرا يتم التحكم بالجبر الخرائطي بوصفه ترجمة رياضية للعمليات المكانية، ويشمل ذلك استخدام العمليات الرياضية كالجمع والطرح والضرب والقسمة وغيرها، فضلا عن تحديد الأهمية النسبية لكل متغير، انطلاقا من مبدأ أن العوامل الجغرافية لا تؤثر على الظاهرة بشكل متساوٍ.

1-4-2 النمذجة الخرائطية والأتمتة الخلوية

Cartographic Modeling and Cellular Automata

تعد الأتمتة الخلوية Cellular Automata (CA)، أنظمة حركية زمنية Temporal Dynamic Systems محددة في حيز مكاني ما، وهي قادرة على محاكاة التطور

(1) Masanao Takeyama and Helen Couclelis, Map dynamics: integrating cellular automata and GIS through Geo-Algebra, International Journal of Geographical Information Science, Vol. 11, No. 1, 1997, p.75.

(2) Using the "Map Algebra" ArcGIS Toolbox Function to Identify Criteria Locations, Internet Link: http://www.tmacog.org/Environment/Stormwater/Urban_bmp9_12/web_final/Suitibility_methods.pdf

(3) Ahmed M. Abubahia, et al., Preference Learning Based Decision Map Algebra: Specification and Implementation, UK Workshop on Computational Intelligence, Springer, 2019, p. 343.

(4) C. Dana Tomlin, Map algebra: one perspective, Landscape and Urban Planning, Vol. 30, No. (1-2), 1994, p.p. 4-11.

المكاني في النظم المعقدة[1]، ولها قدرة الاقتران بنظم المعلومات الجغرافية المستندة على البيانات الخلوية[2]؛ إذ إن النماذج الخلوية للبيانات تمثل سطح الأرض في وقت محدد بصورة ثابتة، هذا الثبات يتغير عبر الزمن وفقا لحالات محتملة تحددها قوانين الانتقال Transition Rule، هذه القوانين تتحدد بالخلايا المجاورة (وحدات صورية) لكل خلية Pixel، وتعتمد نتائج التغير المكاني للظاهرة عبر الزمن على حالة الخلية من جانب، وحالة الخلايا المجاورة من جانب آخر، والقيمة الرقمية للخلية من جانب ثالث [3].

تسمى قوانين الانتقال التي تحول الخلية من حالة إلى حالة أخرى بلعبة الحياة Game of Life التي طورها عالم الرياضيات John Conway عام 1970[4]؛ إذ هناك حالتان للخلية لا ثالثة لهما، وهي إما أن تكون الخلية حية وإما أن تكون ميتة، إذ يتم ذلك على وفق ثلاثة قوانين انتقال عبر وحدات زمنية تسمى الاجيال، يمكن عرضها على النحو الآتي[5]:-

1. الخلية الميتة التي تحيط بها ثلاث خلايا حية في الجيل السابق، تصبح خلية حية في الجيل اللاحق.
2. الخلية الحية التي تجاورها خليتان أو ثلاث خلايا حية في الجيل السابق، تبقى خلية حية في الجيل اللاحق.
3. في جميع الحالات الأُخرى تموت الخلايا، أو تبقى الخلية ميتة إن كانت ميتة. ينظر الشكل (8).

(1) Jiangfu Liao, et al., Urban sprawl scenario simulations based on cellular automata and ordered weighted averaging ecological constraints, Ecological Indicators, Vol. 17, 2019, P. 4.

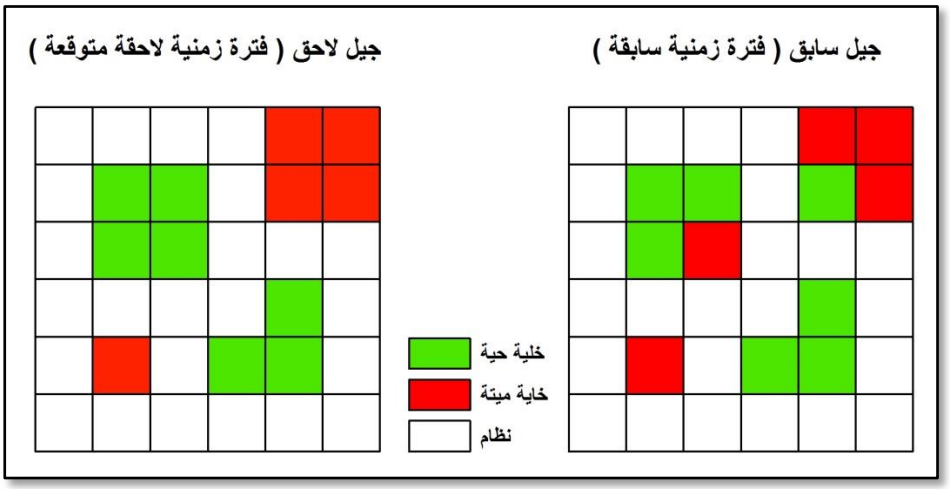
(2) Uduak A. Umoh and Emmanuel H. Hart, Cellular Automata Model for Prediction of Urban Growth Pattern, International Journal of Science and Technology, Vol. 6, 2014, p.p. 3-5.

(3) Paul A. Longly, et al., Op cit. p. 374.

(4) Andrew Adamatzky, Game of Life Cellular Automata, Springer, New York, USA, 2010, p.1.

(5) Paul A. Longly, et al., Op cit. p. 376.

الشكل (8): لعبة الحياة (قوانين الانتقال) في الأتمتة الخلوية



المصدر: عمل الباحث، اعتمادا على Paul A. Longly, et al., Op cit. p. 376.

إن أفضل تطبيق للأتمتة الخلوية في مجال الجغرافيا يتمحور حول النمذجة الخرائطية الإرشادية الحركية للتنبؤ بمستقبل استعمالات الأرض، بمنظور التوسع المساحي الحضري على حساب الأراضي الزراعية؛ إذ يمكن عد المناطق الحضرية بالخلايا الحية، وبقية الاستعمالات بالخلايا الميتة في مدة زمنية سابقة تناظر الجيل السابق في لعبة الحياة، وبذلك يمكن التنبؤ باتجاهات التوسع المساحي الحضري على حساب الأراضي الزراعية في مدة زمنية لاحقة (أو متوقعة) تناظر الجيل اللاحق في لعبة الحياة.

لذلك تركز الدراسات المعاصرة للأتمتة الخلوية على محاكاة التغير المستقبلي لاستعمالات الأرض والتنمية الحضرية. إذ إن أحد أهم المزايا الخاصة بنمذجة الأتمتة الخلوية في نظم المعلومات الجغرافية تتجلى في أن مسارات أنماط التوسع المساحي الحضري يمكن تصوره من خلال المحاكاة[1].

فضلا عن أن طبيعة الدراسات الجغرافية تتطلب قوانين انتقال أكثر تعقيدا من التي تمتلكها لعبة الحياة، خاصة في ما يتعلق بالعوامل الجغرافية المؤثرة على تغير استعمالات الأرض وضبط محاكاة السلوك المكاني لها، لذلك توجهت الدراسات الجغرافية المعاصرة نحو دمج الأتمتة

(1) Yongjiu Feng, Modeling dynamic urban land-use change with geographical cellular automata and generalized pattern search-optimized rules, International Journal of Geographical Information Science, Vol. 31, No. 6, 2017, p. 2.

الخلوية بتقنيات رياضية وإحصائية مختلفة، فضلا عن تقنيات الذكاء الاصطناعي، من أجل ضبط قوانين انتقال تحاكي الظاهرة الجغرافية على نحو أكثر تجسيدا للواقع[1].

1-4-3 النمذجة الخرائطية والذكاء الاصطناعي

Cartographic Modeling and Artificial Intelligence

يعرف الذكاء الاصطناعي Artificial Intelligence (AI) بأنه القدرة على أداء وظائف حاسوبية ترتبط عادة بالذكاء البشري، وقد ينظر إليه بوصفه محاولة لفهم عمليات الإدراك والتبرير المنطقي التي تؤسس لحل المشكلات بنجاح، فضلا عن دمج النتائج في برمجيات حاسوبية فاعلة، لذلك يعد فرعا من علوم الحاسوب Computer Science وهو يهدف إلى محاكاة عملية التفكير في الدماغ البشري [2].

إن التقدم في سرعة أجهزة الحاسوب والبرمجيات التي شهدها العالم منذ نهاية الثمانينيات من القرن العشرين أدى إلى ظهور تكنولوجيات عملية مفيدة في مجال الذكاء الاصطناعي الذي طالت تطبيقاته علم الجغرافيا، مما جعل الكثيرين على مستوى الأدب الجغرافي العالمي يتوقعون قيام ثورة كمية ومعلوماتية ثالثة في الجغرافيا تستند إلى الذكاء الاصطناعي بدلاً من التقنيات الإحصائية أو النماذج الحسابية [3].

نشأ الذكاء الاصطناعي في بدايته بشكل مستقل عن نظم المعلومات الجغرافية، وخلال مطلع القرن الواحد والعشرين أصبح هناك تقارب كبير بينهما، وبذلك أصبح يعمل الذكاء الاصطناعي الآن على تقديم تقنيات متطورة لمشاريع نظم المعلومات الجغرافية[4].

إذ تسعى نماذج الذكاء الاصطناعي في نظم المعلومات الجغرافية على تفعيل عمل الظاهرة الجغرافية على سطح الخريطة ونمذجتها، من خلال تصور حوسبي ذاتي شبه فوري لسلوكها المكاني وذلك بالطريقة نفسها التي يتصور بها عقل الانسان، فضلا عن إجراء التحليل الذاتي للعوامل المؤثرة على الظاهرة بعد إدخالها إلى الأنموذج، عن طريق تحفيز استكشاف

---

(1) Dongjie Guan, et al., Dynamic simulation of land use change based on logistic-CA-Markov and WLC-CA-Markov models: a case study in three gorges reservoir area of Chongqing, China, Environmental Science and Pollution Research, Vol. 26, No. 20, 2019, P. 206.

(2) V. Voženílek, Artificial intelligence and GIS: mutual meeting and passing, 2009 International conference on intelligent networking and collaborative systems. IEEE, 2009, p. 4.

(3) Stan Openshaw, Some suggestions concerning the development of artificial intelligence tools for spatial modeling and analysis in GIS, The annals of regional science, Vol. 26, No.1, 1992, p.p. 35-51.

(4) V. Voženílek, op cit., p. 4.

البيانات وتصورها، وبذلك تكون قادرة على فهم المعلومات الجغرافية بنفسها، مستعينة بأساليب تعلم عميقة Deep Learning، ومن ثم قدرتها في الحصول على المعلومات الجغرافية من بيئتها وفقاً لما هو مطلوب منها، ومعالجة كل هذه المعلومات فوريا[1]، ومن ثم إنتاج نماذج خرائطية متقدمة لا يمكن إنتاجها بالتقنيات التقليدية المتوفرة في البرمجيات التجارية.

وهناك طريقتان رياضيتان للذكاء الاصطناعي يستخدمان على نطاق واسع في نظم المعلومات الجغرافية، هما المنطق المضبب Fuzzy Logic والشبكات العصبية الاصطناعية Artificial Neural Network[2].

1-4-3-1 مفهوم المنطق المضبب Fuzzy Logic Concept

يجيب المنطق البولياني Boolean logic (كما ذكر سابقا، ص 39) عن الأسئلة الجغرافية بمفهوم الـ (1) وجود الخاصية في الظاهرة والـ (0) في عدم وجودها، أي يعمل على تقسيم مجموعة البيانات إلى صنفين قطعيين من الشروط، تمثل القيمة (1) العضوية الكاملة للبيانات في المجموعة عند عملية التحليل، في حين تمثل القيمة (0) اللاعضوية في المجموعة، وبذلك يتم الحكم على ناتج التحليل بقيم ثنائية (نعم أو لا) أي تحقيق الشرط من تحليل الظاهرة الجغرافية، وعدم تحقيق الشرط من ذات التحليل، الا ان طبيعة البيانات الجغرافية هي ليست بهذه القطعية، وإنما هناك عدم تأكد في مدى الوجود الكامل للخاصية الجغرافية (1) وعدم الوجود الكامل لذات الخاصية (0) [3].

فعلى سبيل المثال عند النمذجة الخرائطية الإرشادية لقابلية الأرض على الإنتاج سوف تظهر الخريطة حدود قطعية بين أصناف القابلية على شكل فئات متفق عليها، وهذه الحدود ناتجة عن تطبيق العمليات الجبرية على الخريطة، في حين إن واقع الانتقال من صنف القابلية الذي يحمل قيمة واطئة إلى صنف قابلية يحمل قيمة أعلى منه لا يكون بهذه القطعية، وإنما هناك مناطق انتقالية بين الصنفين، أي هناك عدم تأكد في قطعية الحد الفاصل بين صنفي القابلية الإنتاجية للأرض، لذلك لابد من وجود منطق يعالج عدم التأكد هذا، أو ضبابية المنطقة الانتقالية فيما إذا كانت تعود لصنف القابلية الإنتاجية الأقل قيمة أم صنف القابلية الأعلى قيمة.

---

(1) Biswajeet Pradhan, Artificial Intelligence and Spatial Modeling Applications in Natural Hazards and Environmental, Conference of the Arabian Journal of Geosciences, Springer, 2018, p.11.

(2) V. Voženílek, op cit., p. 4.

(3) Hossein Yousefi, Spatial Site Selection for Solar Power Plants Using a GIS-Based Boolean-Fuzzy Logic Model: A Case Study of Markazi Province, Iran, Energies, Vol. 11, No. 7, 2018, p. 18.

لذلك يعمل المنطق المضبب على معالجة جميع الاحتمالات المحصورة بين الوجود الكامل للشرط وعدم الوجود الكامل للشرط، أي يعمل على قياس جميع القيم المحصورة بين الـ (0) والـ (1) ليجسد الحجج والبراهين كافة. وبذلك يعرف على انه منطق يتمتع بكفاءة عالية في إيجاد حلول للمشكلات المختلفة وتصنيفها إلى مجاميع للحصول على استنتاجات محددة، ومن ثم الخروج بحلول نهائية مقنعة تسهم في صنع القرار[1].

طُوِرَ المنطق المضبب على يد عالم الرياضيات Lotfi Zadeh عام 1965. ثم ادخل المنطق أول مرة إلى الجغرافيا عن طريق نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد عام 1988، ليضاهي المنطق البولياني في مجال نمذجة المتغيرات والظواهر الجغرافية التي تتغير عبر الزمن وتتسم بعدم التأكد[2].

1-4-3-2 مفهوم الشبكات العصبية الاصطناعية

Artificial Neural Network (ANN) Concept

تعد الشبكات العصبية الاصطناعية أنموذجا حاسوبيا يحاكي سلوك الشبكات العصبية في العقل البشري؛ إذ تختلف الشبكة العصبية الاصطناعية عن الأشكال الأُخرى من الذكاء الحاسوبي، من حيث إنها لا تستند إلى قواعد محددة كما هو الحال في النماذج الرياضية والإحصائية، بل يتم تدريبها للتعرف على العلاقة بين مجموعة من المدخلات والمخرجات وتعميمها[3]، وبسبب البنية الموزعة وعملية التعلم التكيفي، فإن الشبكات العصبية قادرة على المعالجات غير الخطية للنمذجة الخرائطية، كما يمكن أن تكون فعالة في معالجة البيانات الهائلة

(1) M. S. Foomani et al., et al., Using Boolean and fuzzy logic combined with analytic hierarchy process for hazardous waste landfill site selection: A case study from Hormozgan province, Iran, Advances in Environmental Technology, Vol. 3, No. 1,2017, p. 15.

(2) Michael F. Godchild et al., The International Encyclopedia of Geography, John Wiley & Sons, USA, 2017, p. 1.

(3) Vilém Pechanec, et al., Integration neural networks and GIS in modeling landscape changes, International Multidisciplinary Scientific GeoConference, SGEM, 2014, p. 1. internet link: https://www.researchgate.net/publication/290872857_Integration_neural_networks_and_GIS_in_modeling_landscape_changes

وغير الكاملة، هذه المزايا تجعلها بديلا مذهلا في أغلب الأحيان عن الأساليب الإحصائية التقليدية للتنبؤ المستقبلي[1].

نشأت الشبكات العصبية أساسا من مفهوم العصبون (الخلية العصبية Neuron)، الذي قدمهُ عالما الرياضيات McCulloch و Pitts أول مرة في عام 1943[2].

يحتوي العصبون على مُدخلات عدة ولكنه يحتوي على مُخرج واحد فقط، وبذلك يتكون من ثلاثة عناصر أساسية، كالآتي:-

1- المشابك العصبية Synapses أو روابط التوصيل، كل منها يتميز بوزن أو قوة خاصة به على وجه التحديد يتم ضرب إشارة (x_j) أو قيمة المتغير Variables Value عند إدخال التشابك العصبي ($_j$) المتصل بالعصبون في وزن المشابك العصبية (w_j).
2- دالة التنشيط Activation Function للحد من سعة إخراج العصبون[*].
3- يتضمن العصبون تحيزًا خارجيًا External Bias، يُشار إليه بـ (b) الذي يؤدي إلى زيادة أو خفض صافي دخل وظيفة التنشيط (اي الحصول على قيم موجبة)[3]، ينظر الشكل (9).

---

(1) Kamrul Islam, et al., Modeling land use change using Cellular Automata and Artificial Neural Network: The case of Chunati Wildlife Sanctuary, Ecological indicators, Vol. 88, 2018, p.441.

(2) Libin Zhou, Integrating Artificial Neural Networks, Image Analysis and GIS for Urban Spatial Growth Characterization, PhD. Thesis, Florida State University, USA, 2012, p.13.

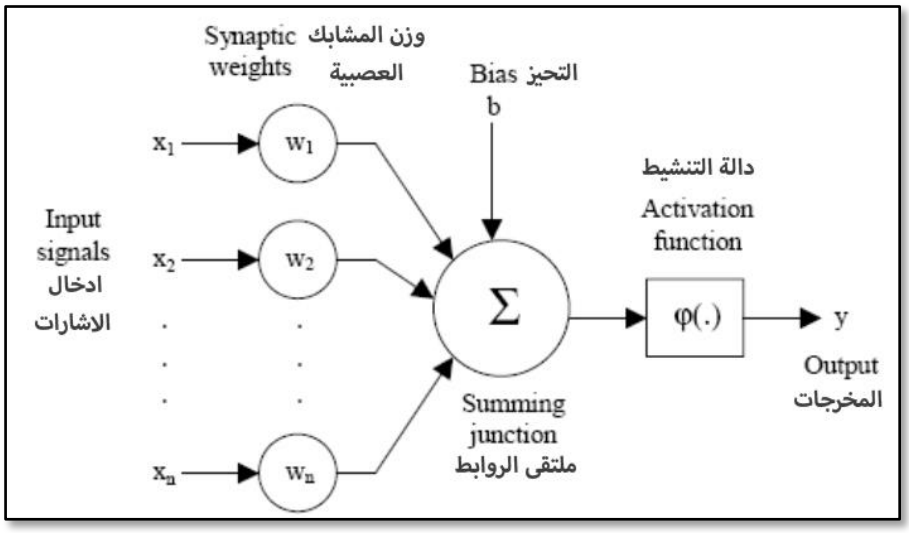
(*) هناك عدد من دوال التنشيط ذات وظائف مختلفة، كل منها تصلح لنوع معين من التطبيقات، كدالة السجمويد Sigmoid Function ، والدالة اللوجستية ثنائية القطب Hyper Bolic Tangent Function والدالة الخطية The Linear Function.

للتفاصيل ينظر:

بثينة عبد الجادر عبد العزيز وخولة حسين الوكيل، التنبؤ بالمعدلات الشهرية لدرجات الحرارة العظمى والصغرى في مدينة بغداد باستخدام الشبكات العصبية المتعددة المتغيرات، مجلة كلية الرافدين الجامعة للعلوم، العدد 36 ، 2015، ص ص 66-67.

(3) Luma. N. M. Tawfiq & Alaa K. J. AL-Mosawi, The Effect of Number of Training Samples For Feed Forward Neural Network, Journal of Al-Qadisiyah for computer science and mathematics, Vol. 2, No. 2, 2010, P. 2.

الشكل (9): أنموذج غير خطي لعصبون



المصدر: Luma. N. M. Tawfiq & Alaa K. J. AL-Mosawi, op cit., p. 2.

كما يمكن وصف العصبون رياضيا، وفقا للمعادلة الآتية[1]:-

$$y = \varphi \left(\sum_{j=1}^{N} w_j x_j + b \right)$$

إذ إن:

x_j = إشارات الإدخال Input signals، w_j = أوزان المشابك العصبية Synaptic weights (روابط التوصيل)، b = قيمة الانحياز bias، φ = وظيفة التنشيط Activation function، y = إشارة الإخراج output signal للعصبون.

وبذلك فإن عمل الخلية العصبية تنقسم إلى مرحلتين رئيستين: يتم في المرحلة الأولى معالجة المدخلات بضرب كل مدخل منفرد بوزن معين، ثم تجمع المدخلات الموزونة مع اضافة عامل انحياز لها (b)، تكون وظيفته ضمان الحصول على قيم موجبة للمرحلة الأولى، ذلك من أجل الاقتراب من الحل المنشود، أما المرحلة الثانية فتعمل على معالجة المخرجات الناتجة عن المرحلة الأولى باستخدام دالة التنشيط، للحصول على أقل نسبة خطأ ممكنة من معالجات المرحلة الأولى[2].

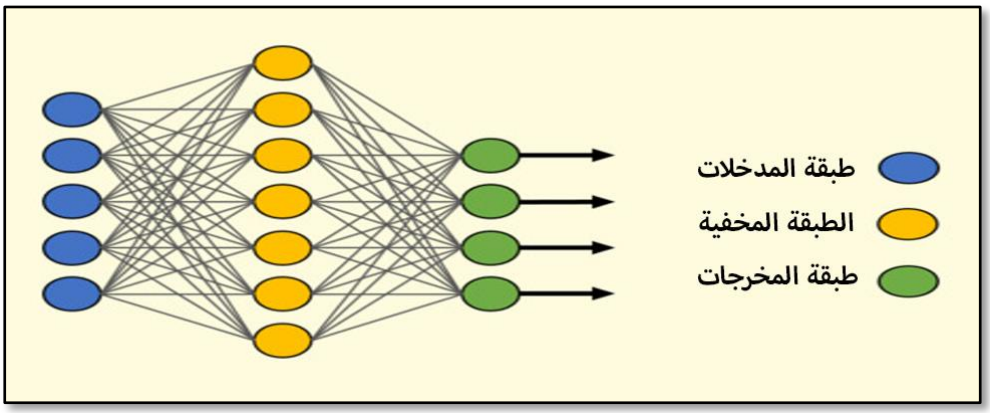
---

(1) Luma. N. M. Tawfiq & Alaa K. J. AL-Mosawi, op cit., p. 2.

(2) ابراهيم خليل سرحان وآخرون، استخدام الشبكات العصبية Neural Networks في تخمين الحديد الجاهز في التربة لبعض مناطق وسط وشمال العراق، مجلة زراعة الرافدين، المجلد 39، العدد 4، 2011، ص 40.

تتكون الشبكة العصبية على نحو عام من طبقات عدة، طبقة الإدخال Input Layers وطبقة الاخراج Output Layer، وواحدة أو أكثر من طبقة الطبقات المخفية Hidden Layers. تمرر المدخلات عبر روابط التوصيل للحصول على وزن Weight (w)، ثم تجمع المدخلات التي تم وزنها سابقا مع انحيازها bias (b)، ثم تطبق دالة التنشيط (AF) Activation Function؛ إذ تعد الدوال اللاخطية أكثر ملاءمة لمعظم التطبيقات[1]، لذلك كثيراً ما ينظر إلى طريقة عمل الشبكات العصبية الداخلية ومعالجتها، بوصفها صندوقاً أسود Black Box يحتوي على مدخلات ومخرجات، ومن بين التشبيه المفيد الذي يساعد في فهم الآلية التي تحدث داخل الصندوق الأسود أن ينظر إلى الشبكة العصبية بوصفها شكلاً خارقاً من أشكال الانحدار المتعدد Multiple Regression[2]. ينظر الشكل (10).

الشكل (10): مخطط لشبكة عصبية اصطناعية بسيطة



المصدر: https://www.securityinfowatch.com/video-surveillance/video-analytics/article/21069937/deep-learning-to-the-rescue

وقد ازداد استخدام الشبكات العصبية الاصطناعية في النمذجة الخرائطية لاستعمالات الأرض زيادة كبيرة منذ مطلع العقد الثاني من القرن الحالي، ذلك بسبب التقدم المطرد في اداء الحوسبة وزيادة توافر برمجيات حاسوبية قوية ومرنة؛ إذ وجد هذا الاستخدام طريقه إلى عالم النمذجة الخرائطية لاستعمالات الأرض، ذلك بافتراض علاقة بين تغير استعمالات الأرض في

(1) امية غانم عبد الجبار، استخدام الشبكات العصبية الاصطناعية بخوارزميات مختلفة في نمذجة درجات حرارة التربة على اعماق واوقات مختلفة بدلالات بعض المعلومات المناخية، مجلة تكريت للعلوم الصرفة، المجلد 5، العدد 18، 2013، ص 306.

(2) Vilém Pechanec, et al., op cit.p.1.

الماضي والمستقبل بدلالة الملاءمة المكانية[1]، وذلك بمنظور النمذجة الخرائطية الارشادية للتنبؤ بمستقبل استعمالات الأرض وفقا للتكامل الفاعل للاستشعار عن بعد في نظم المعلومات الجغرافية بسياق نظرية التكامل المنهجي.

5-1 مفهوم استعمالات الأرض Land Use Concept

إن مصطلح استعمالات الأرض يتسم بالشمولية وهو مفهوم متعدد المجالات يركز على الموضوعات التي ترتبط بطبيعة استعمالات الأرض Land use والغطاء الأرضي Land cover، وتغيراتهما عبر المكان والزمان[*]، فضلا عن العوامل المختلفة التي يمكن الاستدلال منها في وضع سيناريوهات مستقبلية لمسار هذه التغيرات، فالأرض Land اصطلاحا تعنى بأسطح اليابسة على كوكبنا بكل ما تحتويه من ظواهر جغرافية طبيعية كانت أم بشرية[2]، أما الاستخدام Use فيشير إلى الكيفية التي تتم الإفادة بها من الأرض لأغراض بشرية[3].

---

(1) J. van Schrojenstein Lantman, et al., Land-Use Modeling in Planning Practice, The GeoJournal Library, Springer Science, USA, 2011, Internet link: https://zero.sci-hub.tw/5165/f3572c6c6676630f8648235864b74cbe/vanschrojensteinlantman2011.pdf

(*) هناك فرق بين مفهومي استعمالات الأرض Landuse والغطاء الأرضي Landcover، إذ يشير الغطاء الأرضي إلى التصنيف المادي للأرض، أي دراسة تواجد الاغطية الأرضية كما هي وكما تظهر للعيان، فضلا عن دراسة تغيرها المكاني عبر الزمن. مثل اراضي زراعية واراضي مبنية ومكاشف صخرية ونحو ذلك. اما استعمالات الأرض فهي تشير إلى الكيفية التي يتم بها استثمار أو تقييم موارد الغطاء الأرضي لتحقيق منافع بشرية. وقد يكون لنوع واحد من الغطاء الأرضي منافع بشرية مختلفة ناتجة عن استعمالات مختلفة، فعلى سبيل المثال يمكن لصنف الغطاء الأرضي المعني بالأراضي الزراعية ان يستعمل لأغراض الزراعة، أو يمكن لذات الصنف من الغطاء الأرضي قد استغل في توسع الأراضي الحضرية. ونظرا لان الدراسة الحالية تسعى في مراحلها البحثية إلى تقييم الأرض من حيث قابليتها وملاءمتها على استيعاب الاستعمال الزراعي بمستويات مختلفة من جانب، فضلا عن ملاءمتها على استيعاب التوسع المساحي الحضري بمستويات مختلفة من جانب آخر، استخدم فيها مصطلح استعمالات الأرض وليس الغطاء الأرضي.

للتفاصيل ينظر:

Eric F. Lambin and Helmut Geist, Land-Use and Land-Cover Change/ Local Processes and Global Impacts, Springer-Verlag, Berlin, Germany, 2006, p.p. 4-5.

(2) محمد خضر عباس، نشوء ومورفولوجيا التربة، دار الكتب للطباعة والنشر، جامعة الموصل، 1989، ص 11.

(3) محمد فتحي أبو عيانة، السكان والعمران الحضري، دار المعرفة الجامعية، الاسكندرية، 1987، ص5.

بمعنى آخر، إن استعمالات الأرض هي أي نوع من التدخل البشري الدائم أو الدوري في الأرض، لتلبية الاحتياجات البشرية، سواء المادية أم المعنوية أم كليهما[1].

وعلى الرغم من أن الدراسة المتكاملة لاستعمالات الأرض وتغيراتها، هي بطبيعتها موضوع متعدد التخصصات ومتداخل المجالات، ويشمل نظريات من فروع علمية عدة[2]، إلا أن مصطلح استعمالات الأرض يشير أيضاً إلى التطرق نحو الأنماط المتعددة في استغلال الأرض، زراعية كانت أم حضرية[3].

وفي ضوء ما ذُكِر يمكن تعريف النمذجة الخرائطية لاستعمالات الأرض، بأنها البحث في الطرائق التقنية لأتمتة التفكير الجغرافي على سطح خريطة استعمالات الأرض من حيث إدارة المصفوفة الجغرافية (توزيع، علاقات وتباين) الخاصة بالظاهرة المعنية على الصعيد التقني.

وبذلك فان النمذجة الخرائطية لاستعمالات الأرض تروم نحو الإجابة عن سؤالٍ جغرافيٍ واحدٍ على الأقل من الأسئلة الآتية[4]:-

1. ماهي أصناف استعمالات الأرض (أين ؟)
2. ما هو مشهد التغير في استعمالات الأرض بين الماضي والحاضر (كيف ومتى ؟)
3. ماهي المتغيرات التي تؤدي إلى ملاءمة استعمال ما دون غيره (لماذا ؟)
4. هل الأخذ بنظر الاعتبار أم عدم الأخذ بسياقات يمكن أن تؤثر على تغير استعمالات الأرض مستقبلا (ماذا لو ؟) [5].

فإذا كان مفهوم استعمالات الأرض معني باستخدام البشر للأرض، ويشير إلى كيفية هذا الاستخدام. فإن النمذجة الخرائطية لاستعمالات الأرض تشير إلى البحث في الإجراءات التقنية التي تجسد صورة استخدام البشر للأرض على سطح الخريطة.

---

(1) Albert N. M. Allotey, Using Remote Sensing/GIS for A study of Agricultural Landuse Change in Akwapim South District, PhD thesis, University of Ghana, Ghana, 2000, p. 22.

(2) G. E. Machlis, et al., The Human Ecosystem, Part I: The Human Ecosystem as an Organizing Concept in Ecosystem Management, Society & Natural Resources, Vol. 10, No. 4, 1997, p.p. 347–367.

(3) يسرى الجوهري، اسس الجغرافيا العامة، منشأة المعارف، الاسكندرية، 1977، ص37.

(4) Hoang Khanh Linh, Land Use/Cover for Land Use Planning in Da Nang City, Viet Nam, PhD Thesis, University School of Science (GAUSS), Turkey, 2013. P. 14.

(5) David J. Maguire, et al., op cit., p.16.

الفصل الثاني

النمذجة الخرائطية لتصنيف استعمالات الأرض والكشف عن التغير

Chapter 2

Cartographic Modeling to Classify Landuse and Change Detection

مدخل Preface

تشكل طاقة الأشعة الكهرومغناطيسية الأساس الذى يقوم عليه الاستشعار عن بعد، إذ أنها تؤثر على المنطقة التي تسقط عليها فوق سطح الأرض بدرجات مختلفة وفقا لطبيعة تلك المنطقة والعوامل الطبيعية السائدة في الغلاف الجوي. ويمكن قياس ذلك الأثر بدقة خصوصاً بعد تطور علوم الفضاء وظهور الاقمار الاصطناعية التي من ضمن مهامها مسح المجال الفضائي حول الأرض وجمع المعلومات والبيانات الخاصة بها، إذ تقوم أجهزة متخصصة بقياس الطاقة الكهرومغناطيسية المنتشرة حول الأرض بصورة دورية، وبذلك يمكن رصد ما يدور على الأرض من ظواهر طبيعية وبشرية، وبمستويات مختلفة من الدقة المكانية والطيفية والزمنية. وهذا يخدم بدوره رصد أصناف استعمالات الأرض بعد إخضاع البيانات المستشعرة عن بعد إلى جملة معالجات تقنية، من أجل تمييز طبيعة توزيع هذه الاستعمالات والكشف عن التغيرات التي تطرأ عليها زمانيا، ومن ثم الوقوف على الأسباب التي كانت وراء هذا التغير بنمذجة خرائطية مختلفة الأساليب.

2-1 النمذجة الخرائطية لتصنيف استعمالات الأرض

Cartographic modeling For Landuse Classification

تقع آلية تصنيف استعمالات الأرض من المرئيات الفضائية باستخدام المعالجة الرقمية Digital Processing في تقنيات الاستشعار عن بعد ضمن النمذجة الخرائطية الوصفية الساكنة، كونها عملية تحويل المرئيات الفضائية بوصفها قاعدة بيانات جغرافية – طيفية لحظة التقاطها من حالتها الخام إلى خريطة موضوعية نوعية (كروكروماتيكية Chrochromatic Map)؛ إذ يمر هذا النوع من النمذجة الخرائطية بجملة معالجات مختلفة وصولا إلى أنموذج خرائطي لاستعمالات الأرض يُحكم على مقبوليته بمؤشرات إحصائية محددة.

2-1-1 مصادر المرئيات الفضائية وجودتها

Sources and quality of Satellite Images

قبل الولوج إلى المعالجة الرقمية للمرئيات الفضائية المعتمدة في هذه الدراسة، لابد من مناقشة الأسس العلمية التي أدت إلى انتخاب مرئيات فضائية محددة. فقد اعتُمد على مرئيات Landsat 8,7(*)، من دون غيرها من المرئيات التي تنتجها منصات أخرى للاستشعار عن بعد، لكونها تتوفر مجانا على الشبكة العالمية من جانب، ومن جانب آخر فمنصة Landsat تضم أرشيفا تاريخيا يعود إلى سبعينيات القرن الماضي، وبذلك يضم الأرشيف مرئيات حول تاريخ

(*) تم تحميل مرئيات Landsat OLI 8, ETM+ 7 من الموقع https://earthexplorer.usgs.gov/ على الشبكة العالمية.

تأسيس قضاء سهل أربيل منذ سنة 2002، لاسيما إن الدراسة في هذا الفصل تروم إلى النمذجة الخرائطية لاستعمالات الأرض بثلاث مدد زمنية للموسمين الزراعيين الشتوي والصيفي، انطلاقا من تاريخ تأسيس القضاء مرورا بمدة وسطية، وانتهاء بأحدث مشهد متوفر في مرحلة كتابة هذا الفصل (2019). ذلك من أجل تهيئتها للمحاكاة الخرائطية للتنبؤ بمستقبل استعمالات الأرض في مراحل بحثية لاحقة.

وعلى الرغم من ذلك فإن مرئيات Landsat المأخوذة عن المستشعرين ETM+ و OLI ذات دقة مكانية Spatial Resolution مقدارها 30 متراً باستثناء الحزمة 6 التي مقدار دقتها المكانية 60 متراً، والحزمة 8 مقدارها 15 متراً، وهي ليست الأفضل مقارنة بالمرئيات الفضائية التي تنتجها منصات أخرى مجانية كـ Sentinel ذات الدقة المكانية 10 أمتار في بعض الحزم Bands و20 متراً في حزم أخرى، ولكن الأخيرة في ذات الوقت لا تمتلك أرشيفا تاريخيا يتناسب مع موضوع الدراسة على الرغم من تفوقها من ناحية الدقة الطيفية Spectral Resolution[*] أيضاً. إذ يعود إطلاق أول قمر اصطناعي لمنصة Sentinel سنة 2014[1].

كما أخذ في الاعتبار أن تكون المرئيات الفضائية المنتخبة خالية قدر الإمكان من الغيوم، وبذلك تم تحديد نسبة الغيوم من المرئيات الفضائية المحملة بقيمة لا تتجاوز الـ 10% من مجمل مساحة مشهد المرئية الفضائية على أن لا تكون قدر الإمكان واقعة داخل حدود قضاء سهل أربيل. لكون الغيوم الكثيفة تحجب جزء من سطح الأرض وتؤثر على عملية التفسير والتصنيف. حتى وإن عولجت، فإن ذلك سوف يؤثر على تغيير القيمة الرقمية للوحدات الصورية (DN) Digital Number of Pixels ومن ثم التأثير على الانعكاسية الطيفية الاصلية لمكونات المرئية الفضائية، فضلا عن وجوب التأكد من كون المرئيات الفضائية المعتمدة خالية قدر الإمكان من التشوهات الناتجة عن أخطاء المستشعر Sensor Errors في أثناء عملية الالتقاط.

(*) يقصد بالدقة الطيفية Spectral Resolution القدرة على تحديد الفواصل الموجية الدقيقة في الطيف الكهرومغناطيسي. فعلي سبيل المثال، يتم فصل تصنيف الغطاء النباتي عن الماء في نطاق موجي عريض. أي بأطوال موجية مرئية (من 0.4 إلى 0.7 مايكرومتر)، فضلا عن اطوال موجية قريبة من الأشعة تحت الحمراء. اما عملية التمييز بين الصخور المختلفة، فيحتاج الأمر إلى نطاق موجي انعم (بيني) داخل النطاق الرئيس لفصلها. فكلما كانت الدقة الطيفية أعلى، كانت نطاقات الأطوال الموجية أضيق والعكس صحيح.

للتفاصيل ينظر:

Sowmya D. R., et. al., Remote Sensing Satellite Image Processing Techniques for Image Classification: A Comprehensive Survey, International Journal of Computer Applications, Vol. 161, No. 11, 2017, p. 25.

(1) https://sentinel.esa.int/web/sentinel/home.

وعلى الجانب الاخر فقد روعي أن يكون تاريخ التقاط المرئيات الفضائية يتناسب مع مدة نضوج المحاصيل الشتوية والصيفية في قضاء سهل أربيل بعد التأكد من الزيارات الميدانية لقضاء سهل اربيل والاستفسار من العاملين في الزراعة هناك.

تبعا لذلك تم اختيار المرئيات الفضائية ابتداء من تاريخ تأسيس قضاء سهل أربيل. وهي المرئيات الملتقطة من المستشعر (+ETM) Landsat7 أو ما يعرف براسم الخرائط الموضوعي المحسن(*)، بتاريخ (30-4-2002) للموسم الشتوي، واخرى ملتقطة من ذات المستشعر بتاريخ (11-7-2002) للموسم الصيفي ضمن الصف والمسار (Path/Row:169/35)، وهذه المرئيات ستعد بوصفها سنة الأساس في النمذجة الخرائطية لديناميكية تغير استعمالات الأرض في قضاء سهل أربيل. أما المدة الوسطية فقد وقع الاختيار عليها بتاريخ (1-4-2012) للموسم الشتوي، و(22-7-2012) للموسم الصيفي وهي ملتقطة أيضاً من ذات المستشعر السابق؛ إذ كان السبب في وقع الاختيار على المرئيات الملتقطة في عام 2012، لعدم توفر شروط المرئيات الجيدة في المرئيات الملتقطة عام 2011 بوصفها مدة وسطية بين الـ 2002 و2019، وذلك من حيث نسبة الغيوم وأخطاء كبيرة في المستشعر +ETM لعام 2011.

تحتوي المرئيات المنتخبة آنفا على تسع حزم 9 Bands، تقع الحزم الثلاث الأولى ضمن نطاق الطيف المرئي Visible، في حين إن الحزمة الرابعة (Near Infrared (NIR هي للأشعة الحمراء القريبة، بينما الحزمة الخامسة والسادسة هي للأشعة تحت الحمراء المتوسطة Short Wavelength Infrared SWIR، والدقة المكانية للحزم هنا هي 30 متراً. أما الحزمة السادسة فهي للأشعة الحرارية Thermal ودقتها المكانية 60 متراً، والحزمة الثامنة بانكروماتية Panchromatic ودقتها المكانية 14 متراً، وقد تم استبعاد الحزمتين الأخيرتين من عمليات المعالجة، لكونها لا تقع ضمن موضوع تصنيف استعمالات الأرض.

(*) يعد راسم الخرائط الموضوعي المحسن Enhancement Thematic Mapper Plus (ETM+) من الجيل الثالث ضمن برنامج Landsat الأمريكي. اطلق عام 1999، وهو يتميز بقدرته على تحسين التصحيحات الراديوية، فضلا عن انه محمل بجهاز GPS ومن ثم يتميز بقدرته على إجراء التصحيحات الجيومترية للبيانات قبل ارسالها إلى محطات الاستقبال الأرضية. يعمل المستشعر بـ 9 Bit في تحويل الاشارات إلى ارقام.

للتفاصيل ينظر:

حكمت صبحي الداغستاني، مبادئ التحسس النائي وتفسير المرئيات، دار ابن الاثير للطباعة والنشر، جامعة الموصل، العراق، 2004، ص ص 277-278.

وأخيرا تم اختيار المرئيتين لسنة 2019، إحداها بتاريخ (1-4-2019) للموسم الشتوي، والأُخرى للموسم الصيفي بتاريخ (1-7-2019) من المستشعر OLI التابع للقمر الصناعي Landsat8 (*). تحتوي المرئيات على إحدى عشرة حزمة، تستخدم الحزمة الأولى للسواحل، بينما الحزمة الثانية حتى الرابعة هي للأشعة المرئية، في حين إن الحزمة الخامسة هي للأشعة تحت الحمراء القريبة، أما الحزمتان السادسة والسابعة هي للأشعة الحمراء المتوسطة. والحزمة الثامنة بانكروماتية بدقة مكانية مقدارها 15 متر، في حين ان الحزمة التاسعة هي للسمحاق Cirrus، وأخيرا الحزمتين العاشرة والحادية عشرة هي للأشعة الحرارية بدقة مكانية 30 متراً، وسوف يتم استبعاد الحزمتين الأخيرتين، فضلا عن الحزمة الثامنة في أثناء عملية دمج الحزم في مراحل لاحقة لعدم وقوعهما ضمن موضوع تصنيف استعمالات الأرض. ينظر الجدولين (1) و(2).

الجدول (1): مواصفات المرئيات الفضائية المعتمدة من القمر الاصطناعي Landsat 7

Land sat 7 ETM+			
تاريخ المرئيات	**الحزم**	**الطول الموجي (مايكرومتر)**	**الدقة المكانية (متر)**
2002-4-30 2002-7-11 2012-4-1 2012-7-22	1 – أزرق	0.52 – 0.45	30
	2 – أخضر	0.60 – 0.52	30
	3 – أحمر	0.69 – 0.63	30
	4 – تحت الحمراء القريبة	0.90 – 0.77	30
	5 – تحت الحمراء المتوسطة (1)	175 – 1.55	30
	6 – تحت الحمراء الحرارية	12.50 –10.40	60
	7 – تحت الحمراء المتوسطة (2)	2.35 – 2.09	30
	8 – بانكروماتيكية	0.90 – 0.52	15

المصدر:

https://www.satimagingcorp.com/satellite-sensors/other-satellite-sensors/landsat/

(*) المستشعر المسمى بالمصور التشغيلي للأرض Operational Land Imager (OLI). يعود إلى القمر الاصطناعي الثامن في سلسلة Landsat. وقد اطلق سنة 2013. يعد من الجيل الرابع إذ يجمع المرئيات الفضائية بـ 11 حزمة وفقا لأطوال موجية مختلفة عن الجيل الثالث، خاصة فيما يتعلق بالطيف القريب من الأشعة تحت الحمراء القريبة والموجات القصيرة. ذلك لتوفير دقة طيفية كافية في تمييز المعالم، كالمراكز الحضرية والأراضي الزراعية وغيرها من استعمالات الأرض. يعمل المتحسس بـ 16 Bit في تحويل الاشارات إلى ارقام.

للتفاصيل ينظر:

https://www.satimagingcorp.com/satellite-sensors/other-satellite-sensors/landsat-8/

الجدول (2): مواصفات المرئيات الفضائية المعتمدة من القمر الاصطناعي Landsat 8

Landsat 8 OLI			
تاريخ المرئيات	الحزم	الطول الموجي (مايكرومتر)	الدقة المكانية (متر)
2019-4-1 2019-7-2	1- السواحل	0.45 -0.43	30
	2- أزرق	0.51 -0.45	30
	3- أخضر	0.59 – 0.53	30
	4- أحمر	0.67 – 0.63	30
	5- تحت الحمراء القريبة	0.88 – 0.85	30
	6- تحت الحمراء المتوسطة (1)	1.65 – 1.57	30
	7- تحت الحمراء المتوسطة (2)	2.29 -2.11	30
	8- بانكروماتيكية	0.68 – 0.50	15
	9- السمحاق	1.38 – 1.36	30
	10- تحت الحمراء الحرارية (1)	11.19 -10.6	30
	11- تحت الحمراء الحرارية (2)	12.51 -11.5	30

المصدر:

https://www.satimagingcorp.com/satellite-sensors/other-satellite-sensors/landsat-8/

2-1-2 معالجة المرئيات الفضائية Processing of Satellite Images

إن عملية الاستشعار عن بعد ينتج عنها أخطاء كثيرة ناتجة عن عوامل مختلفة، منها ما يتعلق بالجانب الهندسي Geometric للمرئية الفضائية، ومنها ما يتعلق بالجانب الإشعاعي Radiometric، إذ إن هذه الأخطاء إن لم تصحح سوف تتمخض عن أي استخدام وتصنيف للمرئية الفضائية نتائج مظللة، وكذلك تشمل المعالجة الرقمية عمليات تحسين المرئية الفضائية لرفع جودتها في تجسيد المعالم الجغرافية من أجل تحقيق سهولة أكبر في عميات التفسير والتصنيف، لذلك لا بد من معالجة هذه الأخطاء من أجل الحصول على أفضل مشهد للمرئيات الفضائية المعتمدة في هذه الدراسة بحيث تناظر الواقع الذي التقطت عنه. وكمنهج عمل في الاستشعار عن بعد يمكن تقسيم المعالجة إلى مرحلتين، الأولى تسمى بالمعالجة الأولية Preprocessing، والثانية تسمى بالمعالجة اللاحقة Post Processing، وقد اعتُمد على برنامج ENVI 5.3 في إجراء هذه المعالجات، فضلا عن تصنيف المرئيات.

2-1-2-1 المعالجات الأولية Preprocessing

هي عمليات ترميم المرئيات الفضائية وتصحيحها على الصعيد الهندسي والإشعاعي، وفي هذه الدراسة استخدمت العمليتان على النحو الآتي:-

2-1-2-1-1 ملء الفجوات Gap Fill

نتيجة لعطل في المستشعر +ETM التابع لـ Landsat 7 عند خط المسح Scan Line Corrector بتاريخ 2003/5/31، حدثت خطوط سوداء فارغة من القيم الرقمية على جانبي المرئيات الفضائية باتجاه مركزها، سميت بالفجوات Gaps[1]، وهي عبارة عن أشرطة غير ممسوحة من المستشعر بقيمة رقمية تساوي (0)، تصل أحيانا إلى نسبة 22% من مساحة المشهد الملتقط Scene[2]، وقد وجِدت الفجوات في المرئيات المستخدمة التابعة للمستشعر +ETM لسنة 2012 للمدتين الشتوية والصيفية ولم يجدها في سنة 2002 لذات المدتين، أي قبل حدوث العطل في المستشعر +ETM.

ومن أجل تصحيح الخطأ بملء الفجوات في المرئيات التابعة لسنة 2012، استُعينَ بالامتداد Gap Fill Extension التابع لبرنامج ENVI 5.3 في عملية التصحيح، بعد تحميله من الشبكة العالمية[3]؛ إذ تتم عملية التصحيح على أساس الحزمة الواحدة، وتكرر على جميع الحزم، ذلك باستخراج قيمة الصف الممسوح الموازي للفجوة Gap من الجهة العليا، مع قيمة الصف الممسوح الموازي للفجوة من الجهة السفلى، ثم يستخرج المتوسط الحسابي للصفين إلى ان تمتلئ الفجوة. ينظر الشكل (11).

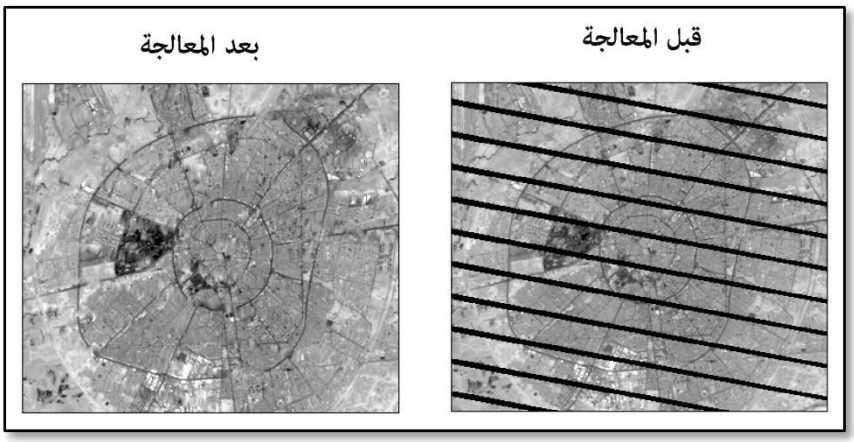
---

(1) Gaohong Yin, et. al., Gap-Filling of Landsat 7 Imagery Using the Direct Sampling Method, Remote Sensing, Vol. 9, No. 1, 2017, P.2.

(2) James B. Campbell and Randolph H. Wynne, Introduction to Remote Sensing, Fifth Edition, Guilford Press, New York, USA, 2011, p.179.

(3) تم تحميل الامتداد Extension Gap fill مجانا من الرابط ادناه:
https://gis.stackexchange.com/questions/75151/fixing-landsat-7-slc-off-in-envi

الشكل (11): أنموذج لملء الفجوات للحزمة 7 من مرئية Landsat 7 ETM+ للموسم الصيفي 2012



المصدر: عمل الباحث، اعتمادا على الامتداد Gap fill Extension في برنامج ENVI 5.3.

2-1-2-1-2 دمج الحزم Bands Composition

يعد العرض الملون للمرئية الفضائية على شاشة الحاسوب أمرًا مهمًا للممارسة الفاعلة للاستشعار عن بُعد، فعملية دمج الحزم Bands Composition هو المصطلح المستخدم في هذا المجال للإشارة إلى تمثيل المرئيات الفضائية بمستويات طيفية مختلفة Spectral Levels[1]؛ إذ تعمل شاشة الحاسوب على تحويل المرئيات الرقمية Digital Images إلى مرئيات تناظرية Analog Images مستمرة للعرض، وعادة ما يتم ضبطها مسبقا لعرض 8 Bit/Pixel للتدرج الرمادي Grayscale، و24 Bit/Pixel للتدرج الملون[2].

تظهر الحزمة الواحدة بالمقياس الرمادي لكونها تحتوي على مجال طيفي واحد حسب القيمة الرقمية لكل وحدة صورية، بينما تظهر المرئية المدمجة الحزم بنظام RGB (احمر Red، أخضر Green، أزرق Blow) على شاشة الحاسوب بصورة ملونة، كونها تحتوي على اطياف متعددة Multispectral[3]؛ إذ إن الألوان الناتجة للمرئية الفضائية تكون حسب التركيبة الطيفية التي يحددها المستخدم بدمج ثلاث حزم في نظام RGB، كل حزمة تذهب إلى أحد الألوان الثلاثة المحددة في النظام، فإذا توافقت الحزم التي تحتوي على الأطوال الموجية للطيف المرئي مع نظام RGB، سوف تظهر المرئية بألوانها الحقيقية True Color أما إذا تم تنسيب حزم

(1) James B. Campbell and Randolph H. Wynne, op cit., p.115.

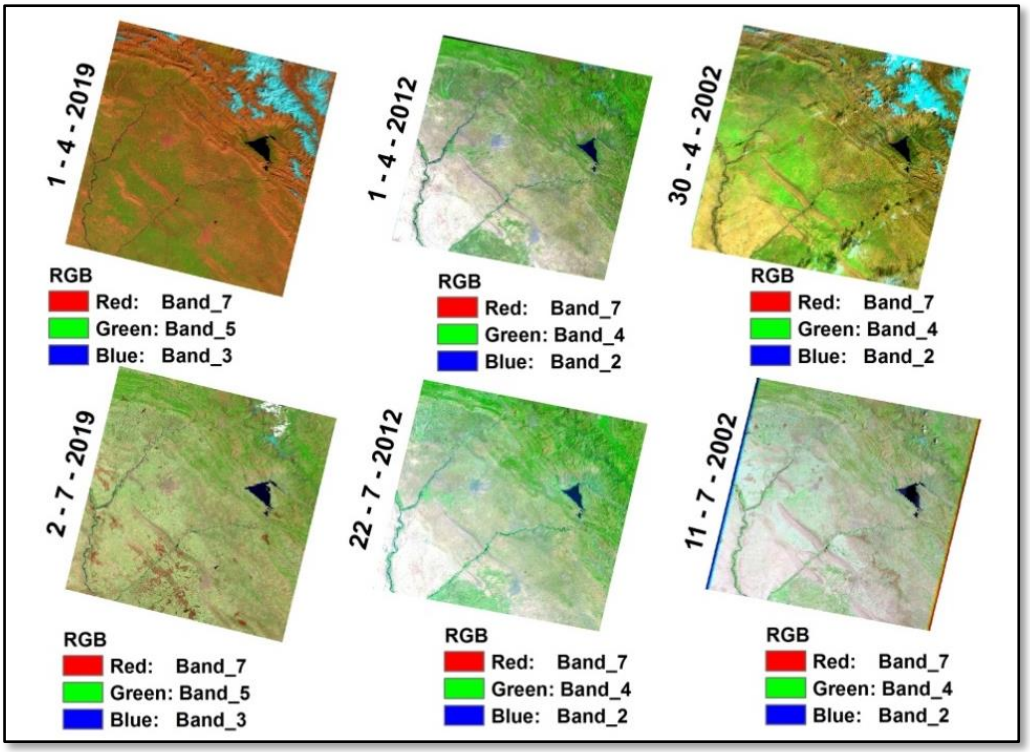
(2) Robert A. Schowengerdt, Remote Sensing: Models and Methods for Image Processing, Third Edition , Elsevier, USA, 2007, p.36.

(3) عادل زين العابدين بشته ومحمد ابراهيم مستاه، تقنيات الاستشعار عن بعد وبعض التطبيقات في علوم الأرض، مركز النشر العلمي، جامعة الملك عبدالعزيز، المملكة العربية السعودية، 2013، ص 135.

ذات أطوال موجية أبعد من الطيف المرئي كالأشعة تحت الحمراء مثلا، سوف تظهر المرئية بألوان كاذبة False Color، وهذه الأخيرة تفيد في علمية تضخيم الادراك البصري في تمييز المعالم على المرئية الفضائية.

تبعا لذلك فقد تم دمج الحزم للمرئيات الفضائية المستخدمة بتركيبة (7،4،2) بالنسبة للمرئيات الملتقطة من المستشعر Landsat 7 ETM+، و(7،5،3) بالنسبة للمرئيات الملتقطة من المستشعر Landsat 8 OLI، ذلك لأن الحزمة 2 في المستشعر ETM+ ذات طول موجي يتراوح بين 0.53-0.61 وهذا الجزء من الطيف يجسد الانعكاسات الخضراء الصادرة عن الأغطية النباتية، وهو يشابه الحزمة 3 في المستشعر OLI. في حين إنَّ الحزمة 4 في المستشعر ETM+ ذات طول موجي يتراوح بين 0.78-0.90، وهي تشابه الحزمة 5 في المستشعر OLI؛ إذ أن هذا الجزء من الطيف يساعد في تجسيد كثافة النباتات وتوزيعها فضلاً عن التفريق بين المزروعات، بيد أنَّ الحزمة 7 ذات الطول الموجي 2.09-2.35 يعتمد عليها في التفريق بين أنواع الترب والصخور[1] في المستشعرين كليهما، ومن ثم فإن الترتيب في أعلاه للأطياف مناسب وتصنيف استعمالات الأرض، ينظر الشكل (12).

الشكل (12): دمج الحزم وتركيب الألوان الكاذبة للمرئيات الفضائية المستخدمة



المصدر: عمل الباحث، اعتمادا على برنامجي ENVI 5.3 وArcGIS Desktop 10.6.1، ومرئيات Landsat 7 (ETM+) وLandsat 8 (OLI)

(1) Jay Gao, Digital Analysis of Remotely Sensed Imagery, McGraw-Hill Education, New York, USA, 2009, p. 34.

2-1-2-1-3 التصحيح الهندسي Geometric Correction

إن المرئيات الفضائية بصورتها الخام Raw، تحتوي على العديد من الأخطاء الهندسية، منها ما هو نظامي ومنها ما هو غير نظامي، وذلك بتأثير أسباب كثيرة كارتفاع المستشعر وتباين سرعته، وكروية الأرض ودورانها حول نفسها، واختلاف الطوبوغرافيا التي تؤدي إلى الاختلاف في استجابتها لعكس الأشعة الساقطة[1]، وهناك طرائق عديدة في إجراء التصحيح الهندسي كتنسيب مرئية غير مصححة إلى مرئية مصححة Image to Image، ومرئية غير مصححة إلى خريطة مصححة Image to Map، أو تصحيح المرئية باستخدام نقاط ضبط أرضية Ground Control Point (GCP) يتم رصدها من جهاز GPS[2]، إذ إن استخدام إحدى هذه الطرائق الثلاث يعتمد على ما هو متوفر من مرجعيات مكانية لدى المستخدم.

ومن خلال التدقيق في المرئيات الفضائية التي ستستخدم في هذه الدراسة وجد أن هناك عدم تطابق تام بين المرئيات الفضائية في المدد الثلاث (2002,2012,2019) وللموسمين الشتوي والصيفي. إن اعتماد المرئيات الفضائية في صورتها الحالية من دون عملية تصحيح هندسي سوف يتمخض عنه الكثير من النتائج المضللة، خاصة وإن الدراسة تعتمد على ست مرئيات فضائية لمدد ثلاث، وهي تروم في جوانب كثيرة إلى الكشف عن التغير في استعمالات الأرض بين الماضي والحاضر من جانب. وبين الحاضر ومحاكاة المستقبل من جانب آخر، فمن دون عملية التصحيح الهندسي، سوف تترجم الإزاحة Shafting بين المرئيات الفضائية عند تصنيفها لاحقا على أنها تغير في استعمالات الأرض، مما تجعل النمذجة الخرائطية لاستعمالات الأرض ذات نتائج تجافي الواقع.

لذلك اعتُمِدَ على مرئية فضائية عائدة إلى Landsat 7 بتاريخ 2013/5/13، وفقا للمسار 169 والصف 35، مصححة هندسيا بنقاط ضبط أرضية تم رصدها سابقا بجهاز GPS[*]، وقد تم تحديد نظام الإحداثيات من نوع WGS84-Zone 38، مرورا بتعيين نقاط ضبط أرضية من المرئية المصححة نحو المرئيات التي تشوبها ازاحة مع بعضها بعضاً، ذلك بعد دمج حزم كل مرئية فضائية Bands Composition، فضلا عن اختيار نقاط أرضية معروفة موزعة بين المرئية المصححة والمرئيات الأُخرى، كتقاطعات طرق النقل وغيرها. ومن ثم عدلت هندسيا لتتطابق مع بعضها بعضاً بنسبة خطأ مقبولة تصل إلى أقل من 0.5%. ينظر الشكل (13).

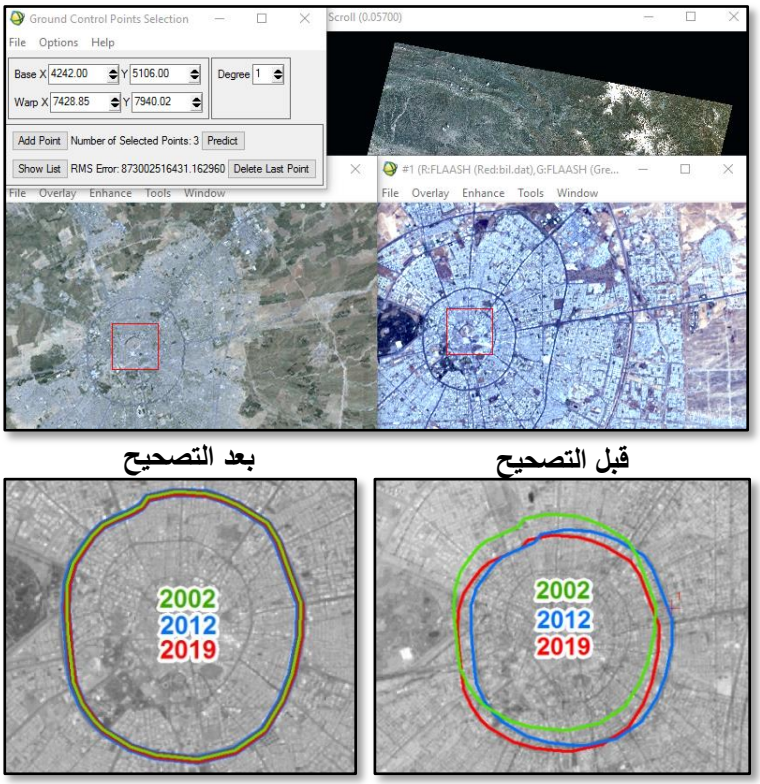
---

(1) Siamak Khorram, et al., Remote Sensing, Springer, New York, USA, 2012, p.41.

(2) Robert A. Schowengerdt, Op cit., p.286.

(*) تم الحصول على المرئية الفضائية المصححة هندسيا لنفس المشهد المُعتمد في الدراسة من مركز التحسس النائي في جامعة الموصل.

الشكل (13): عملية التصحيح الهندسي للمرئيات الفضائية



المصدر: عمل الباحث، اعتمادا على برنامج ENVI 5.3.

3-1-2-1-2 التصحيح الجوي Atmospheric Correction

عندما يتحسس المستشعر Sensor في الأقمار الاصطناعية طاقة كهرومغناطيسية منبعثة أو منعكسة، فإن الطاقة التي يتحسس بها لا تتطابق مع الطاقة المنبعثة أو المنعكسة عن المعلم الملحوظ نفسه من لدن مستشعر آخر يقع على مسافة قصيرة، والسبب هو موقع الشمس والظروف الجوية واستجابة المستشعر، من أجل الحصول على انعكاس حقيقي، يجب تصحيح التشوهات في الإشعاع الراديومتري Radiometric، لذلك يعد التصحيح الجوي من الطرائق المستخدمة لتحويل الإشعاع الذي تم قياسه عند القمر الاصطناعي إلى إشعاع نقي كما لو تم قياسه على الأرض[1]. إن التصحيح الجوي لا يكون ضروري عند دراسة مشهد واحد، ولكن مع التطبيقات الواسعة والمكثفة لبيانات الاستشعار عن بعد، تصبح تأثيرات الغلاف الجوي مهمة جدا

(1) Wafi Al-Fares, Historical Land Use/Land Cover Classification Using Remote Sensing - A Case Study of the Euphrates River Basin in Syria, Springer Science & Business Media, New York, USA, 2013,p.p. 71-75.

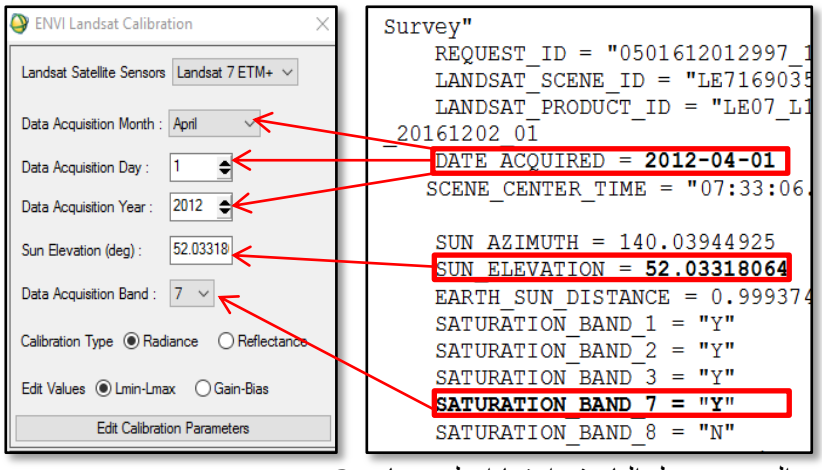
كتطبيقات الاستشعار عن بعد لمرئيات متعددة الأزمنة في دراسة استعمالات الأرض والكشف عن التغير [1].

تبعا لذلك وبما يتناسب مع طبيعة هذه الدراسة التي تتناول 6 مرئيات لثلاثة أزمنة في موسمين مختلفين، تمت عملية التصحيح الجوي للمرئيات المستخدمة بمرحلتين في برنامج ENVI 5.3، تناولت المرحلة الأولى عملية المعايرة الإشعاعية Radiometric Calibration ثم تلتها المرحلة الثانية بعملية التصحيح الفلاشي Flaash Correction.

إن المعايرة الإشعاعية تقتضي تعديل ارتفاع سمت الشمس Sun Elevation وإدخال معلومات عن المرئية الفضائية، كنوع القمر الذي التقطت منه، فضلا عن تاريخ الالتقاط. وذلك من أجل تعديل السطوع الحالي للمرئية الفضائية المتأثر بالظروف الجوية إلى سطوع مثالي مناظر للسطوع الحقيقي لسطح الأرض؛ إذ يمكن الحصول على البيانات في أعلاه من البيانات التوثيقية Metadata المرفقة مع كل مرئية فضائية عند تحميلها من أي المواقع على الشبكة العالمية.

وقد تمت معايرة المرئيات الفضائية إشعاعيا على مستوى الحزمة الواحدة بعد إعادة فصل الحزم لكل مرئية فضائية، ثم معايرة كل حزمة على حدى بنقل معلومات المعايرة من البيانات التوثيقية إلى الأداة Landsat Calibration الخاصة بالمعايرة في برنامج ENVI 5.3. ينظر الشكل (14).

الشكل (14): أنموذج من المعايرة الإشعاعية للحزمة 7 من المستشعر +ETM



المصدر: عمل الباحث، اعتمادا على برنامج ENVI 5.3.

(1) Nicholas E. Young, et al., A survival guide to Landsat preprocessing, Ecology, Vol. 98, No. 4, 2017, p.p. 925-926.

ثم جاءت مرحلة التصحيح الفلاشي Flaash Correction[*] بعد عملية المعايرة الإشعاعية، وهي إدخال حزم المرئية الفضائية بعد إعادة دمجها مرة اخرى. وهنا تطلب الأمر إدخال معلومات اضافية فضلا غن تاريخ التقاط المرئية الفضائية ونوع المستشعر، كوقت الالتقاط بالساعة والدقيقة والثانية، إحداثيات مركز المشهد، أعلى ارتفاع لسطح الأرض في المنطقة الذي تم الحصول عليه من الأنموذج الرقمي للارتفاعات DEM لمنطقة الدراسة بدقة مكانية 12.5 متر[1]، ليصار بعد ذلك إلى تصفية المرئيات الفضائية من تأثير الغلاف الجوي تماما، وأخيرا تم اقتطاع حدود منطقة الدراسة Subset، لحصر المعالجات اللاحقة وعملية التصنيف داخل الحدود الإدارية للمنطقة وصولا إلى نماذج خرائطية متعددة الأزمنة لاستعمالات الأرض.

ومن أجل التحقق من أن عملية التصحيح الجوي تمت بنجاح، أُختير قياس بصمة طيفية لنبات سليم داخل المرئية الفضائية المصححة جويا ومقارنتها مع الموقع نفسه لذات النبات، فظهرت الانعكاسية مثالية في المرئية المصححة جويا على العكس من ذات المرئية قبل عملية التصحيح. إن ما يتم تطبيقه على النبات يتم تطبيقه على المعالم الأُخرى في المرئية الفضائية، بمعنى آخر إن كان أحد المعالم كالنبات السليم ذا انعكاسية طيفية صحيحة، فمعناه أن المعالم الأُخرى سوف تظهر انعكاسية طيفية صحيحة عند ذات المرئية. ينظر الشكل (15).

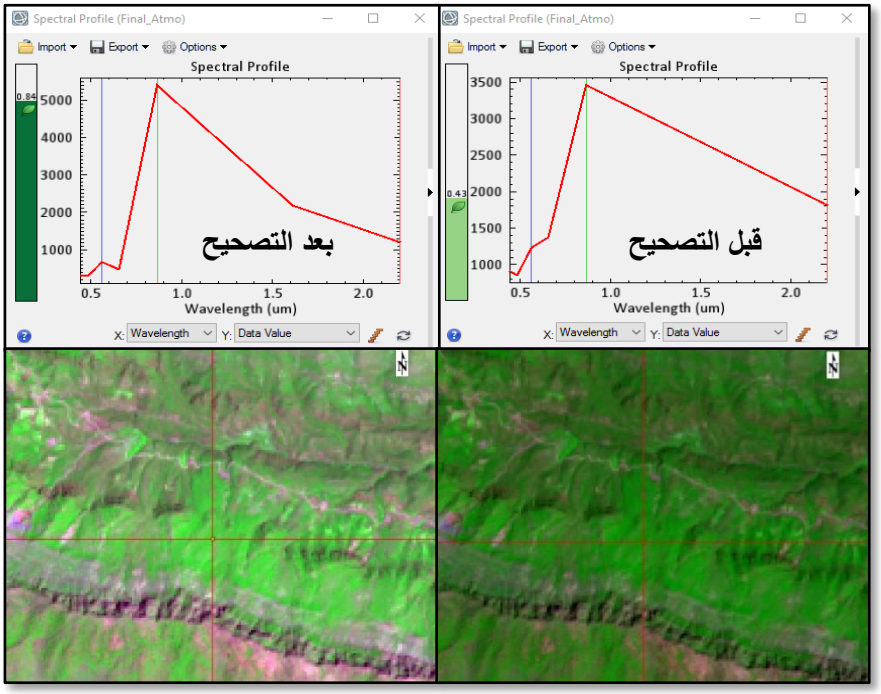
(*) التصحيح الفلاشي Flaash Correction، هو اختصارا **F**ast Line of sight **A**tmospheric **A**nalysis of **S**pectral **H**ypercubes أي تحليل الغلاف الجوي السريع لخط البصر في مكعب الزيادة الطيفية. وهو برنامج فرعي داخل برنامج ENVI 5.3 يقوم بالتحليل السريع لخط الرؤية الجوي للأطياف. إذ يعمل على نقل إشعاعي متطور بتحويل الاطياف المتعددة Multispectral إلى انعكاسات Reflectance، ومن ثم يمكن الإفادة من الانعكاسات في عملية تفسير المرئية الفضائية بعد ازالة التأثيرات الجوية. وبذلك يصفى مشهد المرئية من الاثار الجوية كالانتشار والامتصاص للأشعة الكهرومغناطيسية.

للتفاصيل ينظر:

Exelis VIS, Exploring ENVI, Internet link:
http://www.harrisgeospatial.com/portals/0/CBT/Mastering_the_Basics_of_ENVI/presentation_content/external_files/Exploring_ENVI52_March2015.pdf, p. 168.

(1) https://search.asf.alaska.edu/

الشكل (15): أنموذج من انعكاسية النبات في المرئيات الفضائية قبل وبعد عملية التصحيح الجوي



المصدر: عمل الباحث، اعتمادا على برنامج ENVI 5.3.

2-2-1-2 المعالجات اللاحقة Post Processing

بعد تهيئة المرئيات الفضائية بتصحيح اخطائها ومعايرتها، لا بد من إجراء التحسينات الضرورية، فضلا عن عمليات التحويل Transformation، لتجسيد أدق للمعلومات التي تحتويها المرئيات الفضائية المعتمدة، وذلك من أجل الوصول إلى أفضل المشاهد التي تمكن الباحث من عمليات التفسير عند تصنيف استعمالات الأرض.

1-2-2-1-2 تحسين المرئيات Images Enhancement

تُستخدم التحسينات لتسهيل التفسير البصري وفهم المرئيات الفضائية؛ إذ تكمن الميزة الرقمية في أنها تسمح بمعالجة قيم الوحدة الصورية الرقمية Pixel DN في جسم المرئية. وعلى الرغم من أن المعايرة الإشعاعية للإضاءة والتصحيح الفلاشي يستخدمان لإزالة التأثيرات الجوية وأخطاء المستشعر، فقد لا تزال المرئية غير محسنة وجاهزة للتفسير البصري[1].

(1) Natural Resources Canada, Internet link: https://www.nrcan.gc.ca/maps-tools-publications/satellite-imagery-air-photos/remote-sensing-tutorials/image-interpretation-analysis/image-enhancement/9389

وقد لوحظ في الدراسة بأن هناك ضعفاً في تباين القيم الرقمية للمرئيات المستخدمة، خاصة وإن الدراسة تسعى إلى تصنيف استعمالات الأرض على نحو عام، وهذا النوع من التصنيف يتطلب وجود تباين في القيم الرقمية التي تنعكس على تباين الألوان على المرئيات، إذ تجسد بالنتيجة التباين في استعمالات الأرض عند عملية التفسير البصري المستند على مواقع التدريب Training Site التي ستناقش لاحقا في موضوع تصنيف المرئيات الفضائية.

فالتباين في الاستشعار يعني الفرق في قيم الوحدة الصورية للمرئية الفضائية لمعلمين مختلفين يظهران في الطول الموجي نفسه. أي نسبة أقصى شدة لونية Intensity إلى أقل شدة لونية على المرئية الفضائية، ويمكن تمثيلها بالمعادلة الآتية[1]:-

$$\mathbf{C} = \mathbf{L}_{max} / \mathbf{L}_{min}$$

إذ إن:

C = التبيان في المرئية الفضائية، $\mathbf{L}_{max}$ = أقصى شدة لونية، $\mathbf{L}_{min}$ = أقل شدة لونية.

وبناء على ما سبق، فقد لوحِظ أن المستوى اللوني لعرض المرئيات على شاشة الحاسوب يتراوح بين 189 – 55، وهذا الأمر طبيعي في مرئيات الاستشعار عن بعد قبل عملية التحسين. إذ يجب أن يظهر تباين المرئية الفضائية من الناحية المثالية بامتداد لوني قيمته 0– 255، وبذلك فإن التباين في معالم المرئية الفضائية الواقعة بين 0– 55 سوف لن تظهر، وهذا ينطبق على المعالم الواقعة بين 189– 255، مما يجعل المعالم غائرة Defacing في داخل هذين المديين.

تبعا لم سبق كان من الموضوعية تجريب أكثر من طريقة لبسط التباين Contrast Stretching على المرئيات الفضائية المستخدمة من أجل المقارنة للوصول إلى أفضل تباين يجسد الواقع، فتم تجريب طريقة التباين الخطي بنسبة 2% Linear Stretching وطريقة التباين المبني على المنحنى الكاوسياني (شكل الجرس) Gaussian Stretching، كونهما من أفضل طرائق بسط التباين في الاستشعار عن بعد[2]. وكذلك اختبار طبيعة التوزيع التكراري لقيم الوحدات الصورية على المرئيات الفضائية، فاتضح بأنها ذات توزيع طبيعي Normal Distribution، وهذا بدوره سيدعم اختيار طريقة التصنيف المناسبة في مراحل بحثية لاحقة.

---

(1) Benidhar Deshmukh, Remote Sensing and Image Interpretation, John Wiley & Sons, New Delhi, India, 2012, p. 24.

(2) Salem Saleh Al-amri, Contrast Stretching Enhancement in Remote Sensing Image, BIOINFO Sens, Vol. 1, 2011, p. 8.

يعمل بسط التباين الخطي الاعتيادي على إعطاء أقل قيمة رمادية في المنحنى الهستوجرامي قيمة (0) أي لوناً أسود، بدلا من أقل قيمة رمادية للمرئيات المستخدمة التي تساوي (55)، واعطاء أعلى قيمة على ذات المنحنى تساوي (255)، بدلا من أعلى قيمة للمرئيات المستخدمة التي تساوي (189)، ويتم ذلك وفقا لعلاقة خطية كما في المعادلة الآتية[1]:-

$$y = a + bx$$

إذ إن:

(y) و(x) = مدخلات القيمة الرمادية لكل وحدة صورية، التي ستؤدي إلى مخرجات القيمة الرمادية لذات الوحدة. (a) و(b) = قيم التقاطع والانحدار على التوالي.

بينما يعمل بسط التباين الكاوسياني على تعديل القيم الرقمية للوحدات الصورية وتضخيم امتدادها حتى تغطي المدى اللوني 0- 255، أي إعادة توزيع القيم بدلالة المنحنى الهستوجرامي Histogram. بمعنى آخر، عند إعادة توزيع القيم الأعلى تكرارا على المنحنى الهستوجرامي، سوف تحصل على وزن اكبر للشدة اللونية، والعكس صحيح. ويتم ذلك حاسوبيا وفقا للمعادلة الآتية[2]:-

$$f(X) = Ce^{-\sigma \times 2}$$

$$C = \left(\frac{\sigma}{\pi}\right)^{0.5}$$

إذ إن:

$f(X)$ = بسط التباين الكاوسياني، σ = مدى المنحني المعياري، e = مقدار تناقص الدالة بقيمة 0.607، أي أن 60.7 % من قيم منحني التوزيع الطبيعي تقع في انحراف معياري واحد للمعدل، π = النسبة الثابتة.

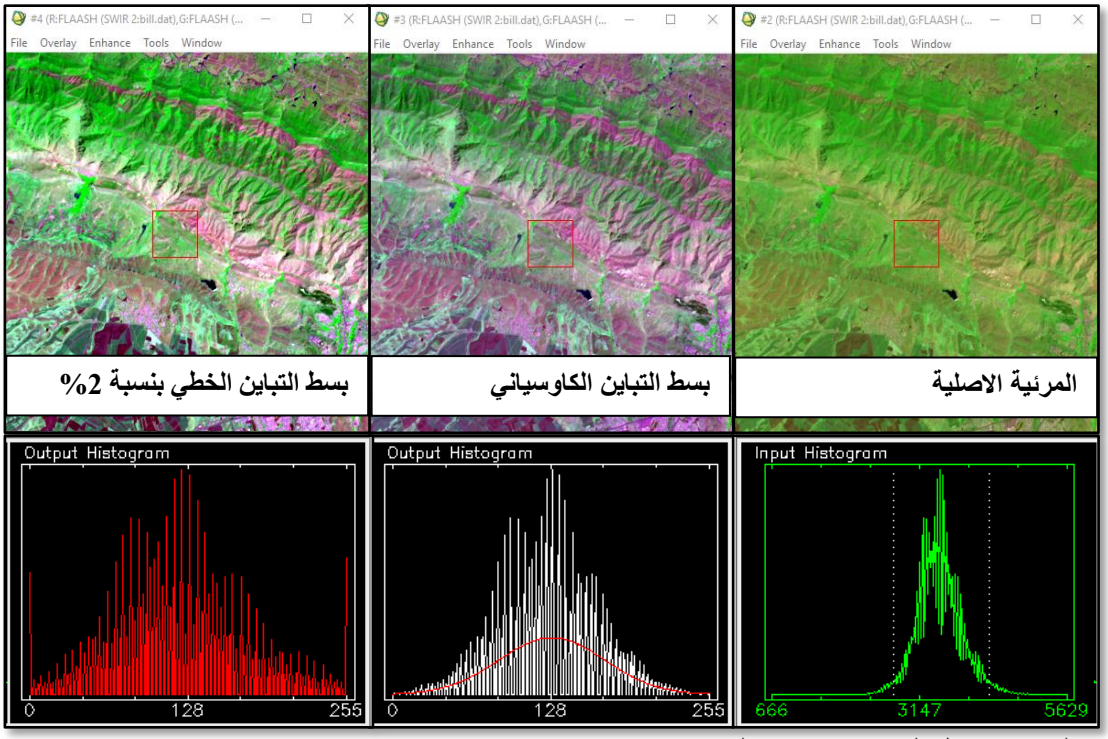
وعند إجراء التجارب على المرئيات الفضائية المستخدمة اتضح بأن بسط التباين الخطي بنسبة 2% من العلاقة الخطية أعطى نتائج أفضل من بسط التباين الكاوسياني، والسبب يعود إلى أن بسط التباين الكاوسياني أظهر التباين على المرئيات الفضائية وكأنها ذات مناطق جرداء وحضرية أكثر مما هي زراعية، وهذا يجافي واقع الأرض في قضاء سهل أربيل، بينما عزز بسط التباين الخطي التفريق بين الأراضي الجرداء واراضي الاستيطان البشري، والغطاء النباتي من جانب آخر. ينظر الشكل (16).

---

(1) M. Anji reddy, Remote Sensing and Geographical Information Systems, Third Edition, BS Publications, Hyderabad, India, 2008, p. 177.

(2) Ibid, p.180.

الشكل (16): أنموذج من بسط التباين الخطي والكاوسياني على المرئيات الفضائية المستخدمة في الدراسة



المصدر: عمل الباحث، اعتمادا على برنامج ENVI 5.3.

2-1-2-2-2 تحليل المركبات الأساسية

Principle Components Analysis (PCA)

في العرض الملون لبيانات الاستشعار عن بعد، هناك ثلاثة أبعاد فقط يمكن من خلالها تعيين المعلومات إلى الألوان الأساسية الثلاثة لجهاز العرض RGB وبذلك فإن المرئيات التي تحتوي على أكثر من ثلاث حزم، تجبر المستخدم على أن يختار أكثر الحزم تناسبا مع دراسته[1]. وفي هذه الدراسة – كما ذكر سابقا – اختيرت الحزم (7،4،2) العائدة إلى المستشعر +ETM، بينما اختيرت الحزم (7،5،3) العائدة إلى المستشعر OLI، إذ إن كل حزمة تذهب إلى أحد الأبعاد اللونية RGB، وهكذا تم الحصول على الوان كاذبة لتجسيد أفضل مشهد طيفي لاستعمالات الأرض في قضاء سهل أربيل.

ولكن عادة ما ترتبط الحزم المتعددة الاطياف بقوة، وتحتوي على بيانات متشابهة. ذلك لأن الانعكاسية الخاصة بالنوع ذاته من السطوح متطابقة تقريبا، إذ يمكن استخدام معالجات إحصائية معقدة للبيانات متعددة الاطياف Multispectral، من أجل تخفيض التكرار في البيانات والترابط بين الحزم. بمعنى آخر، هناك عدد هائل من الانعكاسات الطيفية المتشابهة

(1) John A. Richards and Xiuping Jia, Remote Sensing Digital Image Analysis An Introduction, 4th Edition, Springer, Germany, 2006, p.150.

والموزعة بين حزم المرئية الفضائية، مما يجعل المعالم التي تحتوي انعكاسات طيفية مختلفة وبأعداد قليلة مغمورة بين الانعكاسات الطيفية المتكررة، لذلك فإن عملية تحليل المركبات الأساسية تهدف إلى إبراز تلك الانعكاسات النادرة التي لاتشبه بقية الانعكاسات في مجموعات طيفية متمايزة.

تعد عملية تحليل المركبات الأساسية إحدى أنواع عمليات تحويل المرئيات الفضائية Images Transformation، وهي تهدف إلى تصنيف المعلومات حول الانعكاسات الطيفية المتكررة بين الحزم إلى معلومات متشابهة في مجاميع موزعة على شكل مركبات Components [1]؛ إذ يعتمد تحليل المركبات الأساسية على عمليات المصفوفة الجبرية الخطية وإحصاءات متعددة المتغيرات، وهو يشمل خوارزميات الجبر الخطي القياسية إلى حد ما، التي يتم تنفيذها في معظم حزم برمجيات الاستشعار عن بعد[2]، ويتم ذلك حاسوبيا، باستخدام المعادلة الآتية[3]: –

$$Y = G \# (X\text{-mean})$$

إذ إن:

Y = البيانات المحولة (أو المدورة rotated)، G = مصفوفة التحويل Transformation matrix، X = إدخال البيانات Input data، # = رمز يشير إلى (ضرب المصفوفة).

بناء على ما سبق تم تقليص المعلومات الطيفية في الحزم الست للمرئيات الفضائية المستخدمة إلى مجموعات من المركبات التي تحتوي على معلومات أكبر، وقد تبين أن المركبات الثلاثة الأولى احتوت على جل المعلومات المتوفرة في الحزم الست، وهذا ينطبق على جميع المرئيات الفضائية المستخدمة في الدراسة، إلا أن المركب الأول احتوى على قيمة ذاتية Eigenvalue [*] تتراوح بين (89.828 – 99.57 %) على مستوى المرئيات الفضائية

---

(1) عمر محمد خليل، مبادئ الاستشعار عن بعد، دار شعاع للنشر والعلوم، حلب، سوريا، 2011، ص ص 237 – 238.

(2) Jian Guo Liu and Philippa J. Mason, Image Processing and GIS for Remote Sensing: Techniques and Applications, Second Edition, John Wiley & Sons, USA, 2016, p. 77.

(3) https://www.harrisgeospatial.com/docs/PrincipalComponentAnalysis.html#View

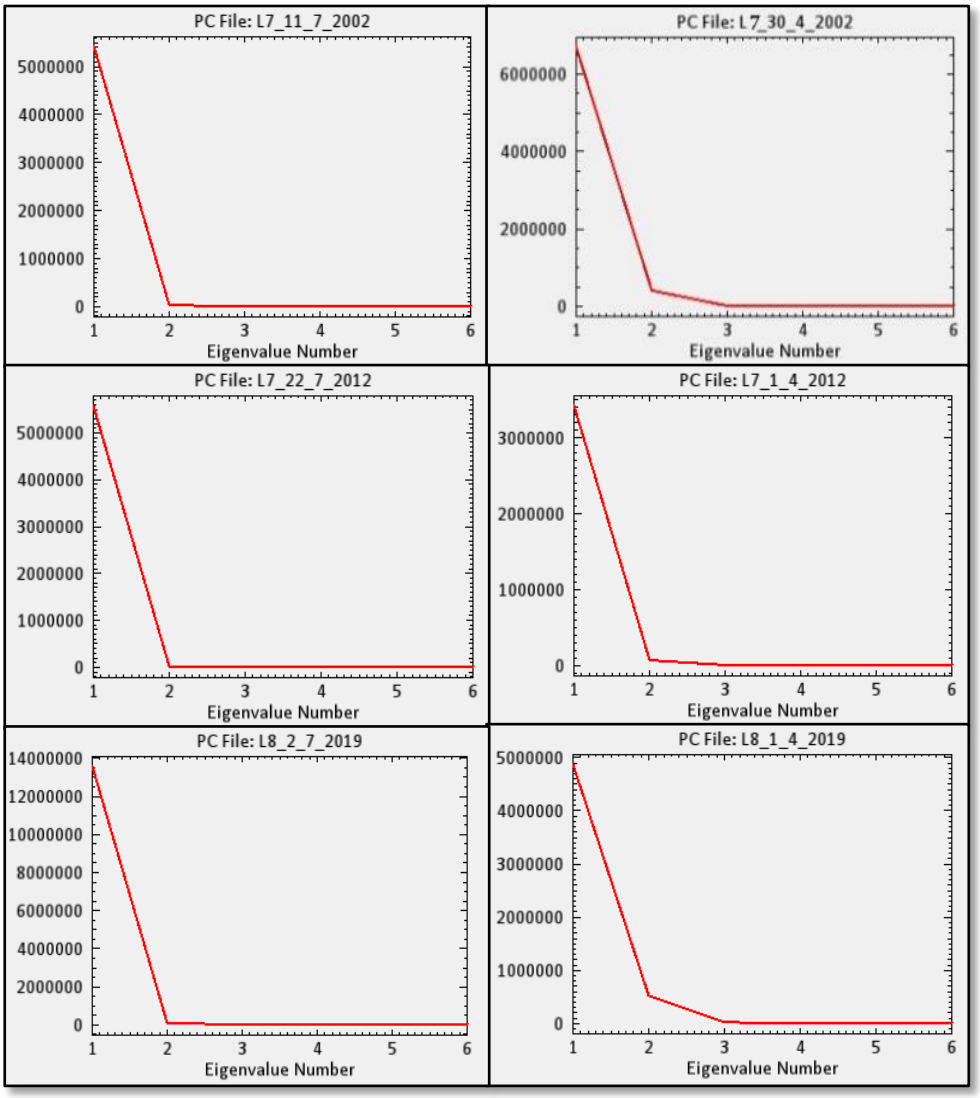
(*) تشير القيم الذاتية Eigenvalues أو (الجذر الكامن) في بعض مراجع الإحصاء، إلى مقدار المعلومات الأصلية التي يحتفظ بها كل مركب من المركبات الأساسية. إذ يقيس حجم التباين في كل المتغيرات التي تُحسب على مركب واحد.

للتفاصيل بنظر:

فيصل ناجي نامق، توظيف التحليل العاملي الاستكشافي لاستخلاص عوامل الولاء المنظمي والرضا الوظيفي دراسة حالة في الكلية التقنية الإدارية – بغداد، مجلة العلوم الاقتصادية والإدارية، المجلد 19، العدد 20، 2013، ص 99.

المستخدمة في الدراسة للموسمين الشتوي والصيفي، وبذلك احتكر المركب الأول أعلى قدر من المعلومات المتشابهة، في حين إن المركب الثاني احتوى على قيمة ذاتية تتراوح بين (0.238 – 9.614%) أي حصل على ثاني أعلى قدر من المعلومات على مستوى ذات المرئيات، بيد أن المركب الثالث احتوى على قيمة ذاتية تتراوح بين (0.139 – 0.474 %)، أي حصل على ثالث أعلى قدر من المعلومات، أما المركبات الثلاثة الأخيرة فلم يعتمد عليها لافتقارها إلى المعلومات البصرية التي يمكن ان تفيد في تفسير استعمالات الأرض السائدة في قضاء سهل أربيل. ينظر الشكل (17) والملحق (2).

الشكل (17): محتوى المعلومات (القيم الذاتية) الناتجة عن تحليل المركبات الأساسية للمرئيات الفضائية المعتمدة في الدراسة



المصدر: عمل الباحث، اعتمادا على برنامج ENVI 5.3.

كما اظهرت نتائج ارتباط بيرسون Pearson Correlation[*] قبل تحويل الحزم إلى مركبات، بأن لها ارتباط موجب يتراوح ما بين عالٍ وعالٍ جداً (0.83 – 0.99) على مستوى الحزمة المدخلة وباقي الحزم الأُخرى قبل تحليل المركبات الأساسية في كل مرئية فضائية، وهذا يدل على جودة المعالجات السابقة التي عززت من قوة ارتباط المعلومات المتشابهة بين الحزم. ينظر الملحق (2).

إن المركبات الثلاثة الأولى أفادت الدراسة نحو تفسير أكثر تفصيلا حول طبيعة توزيع استعمالات الأرض في قضاء سهل أربيل مقارنة بالحزم الاصلية، فقد بين المركب الأول المناطق الجرداء في الجزء الشمالي الشرقي من المنطقة التي ظهرت جليا بشدة رمادية عالية (اللون الابيض) مقارنة بالمراعي الموسمية والأراضي المتروكة ذات الشدة الرمادية الواطئة (اللون الاسود)، في حين إن المركب الثاني جسد المناطق المزروعة بالمحاصيل التي ظهرت بشدة لونية عالية، والأراضي المحروثة بشدة لونية واطئة، بيد أن المركب الثالث ذا المعلومات الطيفية الاقل، أظهر بوضوح مناطق الاستيطان البشري (قرى واراضي حضرية) بشدة لونية عالية، وبذلك أمكن استثماره في تحديد مناطق الاستيطان البشري التي يصعب تصنيفها عادة في حال الاعتماد على الحزم الاصلية.

وعلى الرغم من إمكانية إعادة دمج المركبات في مرئية واحدة، وتنسيب كل مركب إلى أحد الابعاد اللونية على الشاشة RGB. إلا أن هذه الطريقة لا تدعم دراسة استعمالات الأرض بقدر ما تدعم الدراسات الخاصة بالجيولوجيا الاستكشافية Exploratory Geology[1]، ينظر الشكل (18).

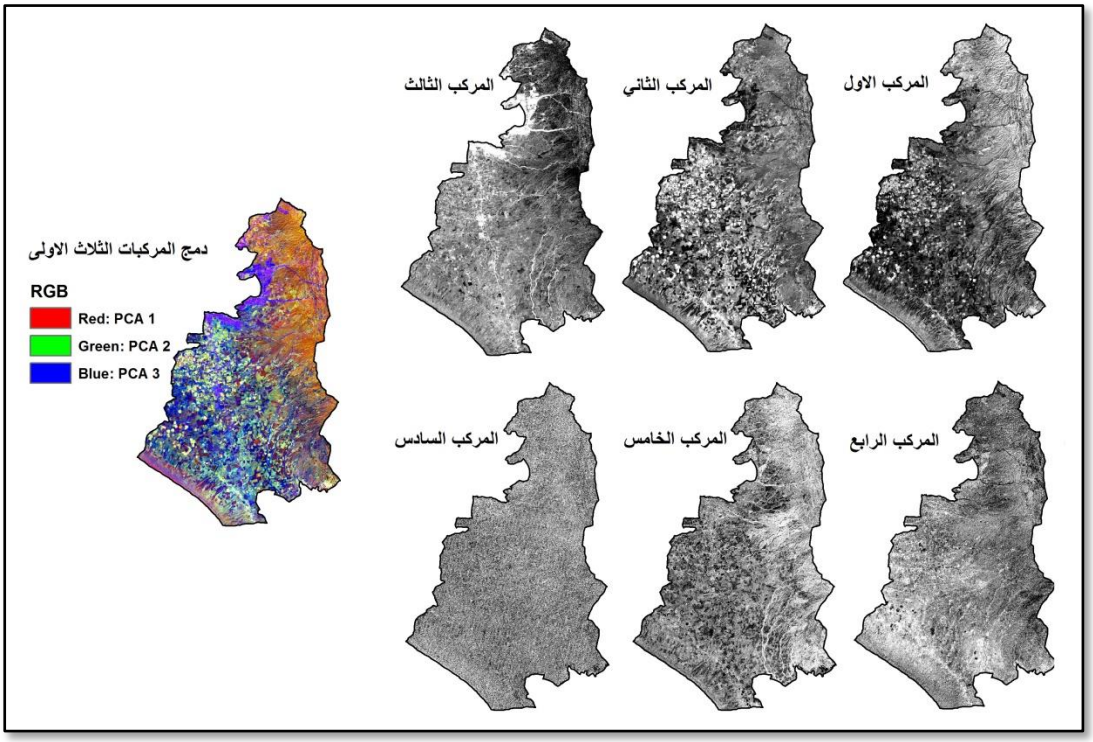
(*) يعد معامل ارتباط بيرسون Pearson Correlation من أهم مقاييس الارتباط وافضلها، لا سيما عندما تكون العلاقة بين المتغيرات خطية. وقد استخدمها برنامج ENVI 5.3 في وصف قوة العلاقة بين المعلومات المتشابهة المتفرقة في الحزم بوصفها متغيرات.

للتفاصيل ينظر:

سامي عزيز عباس العتبي واياد عاشور الطائي، الإحصاء والنمذجة في الجغرافيا، مكتبة اكرم للطباعة، بغداد، العراق، 2012، ص 191.

(1) John A. Richards and Xiuping Jia, Op.cit., p.150.

الشكل (18): أنموذج لتحليل المركبات الأساسية لمرئية الموسم الصيفي لقضاء سهل أربيل لعام 2012



المصدر: عمل الباحث، اعتمادا على برنامجي ENVI 5.3 و ArcGIS Desktop 10.6.1.

2-1-3 تصنيف المرئيات الفضائية Satellite Images Classification

يعرف التصنيف – على نحو عام – بأنه عبارة عن قائمة List محددة مسبقا من الفئات التي تحاول الوصول إلى تمثيل مجرد للعالم الحقيقي Real World، وهو يشير إلى ترتيب الاشياء التي تربطها علاقات معينة في هذه الفئات[1]، أما مفهوم تصنيف المرئيات الفضائية إلى وحدات جغرافية فيعد من أهم القضايا البحثية في مجتمع الاستشعار عن بعد[2]، وهو يشير إلى العملية التي يتم من خلالها تعيين الوحدات الصورية إلى فئات: اذ ان كل وحدة صورية تعامل كوحدة فردية، وهي تتكون بدورها من قيم رقمية في الحزم الطيفية المركبة. وبمقارنة الوحدات الصورية مع بعضها بعضاً يمكن تجميعها كمجموعات تضم وحدات صورية متشابهة طيفيا على شكل فئات متمايزة ضمن خريطة موضوعية، فمن الناحية النظرية، يجب ان تتشابه الوحدات الصورية داخل الفئة الواحدة مع بعضها بعضاً على نحو اكبر من الوحدات الصورية التي تنتمي إلى فئات أخرى، ومن الناحية العملية، لابد من ظهور بعض التنوع الطيفي في كل فئة مهما

(1) Antonio Di Gregorio, Land Cover Classification System, FAO, Rome, 2016, p. 4.

(2) C.H. Chen, Signal and image processing for remote sensing, Taylor & Francis, New York, USA, 2007, p.346.

كانت نسبته ضئيلة[1]، من هذا المنطلق يمكن تعريف تصنيف استعمالات الأرض بأنه عملية حصر أنواع استعمالات الأرض المتوطنة في منطقة ما، وتوزيعها إلى فئات ومستويات تجسد أنواعها، اعتمادا على نظام تصنيفي محدد، وقد مرت عملية تصنيف المرئيات الفضائية في هذه الدراسة بمرحلتين رئيستين على النحو الآتي:-

2-1-3-1 مرحلة التحضير للتصنيف Classification Preparation Stage

جاءت مرحلة التحضير للتصنيف بتجهيز المستلزمات المعلوماتية عن طبيعة المنطقة في قضاء سهل أربيل، ذلك بتحضير الخرائط الطوبوغرافية التي تغطي المنطقة بمقياس 1:100000، لسنة 2003 بنظام إحداثيات UTM WGS84-Zone38 والصادرة عن الوكالة الوطنية الأمريكية للتصوير ورسم الخرائط National Imagery and Mapping Agency، لذلك اعتُمد على 3 خرائط طوبوغرافية تغطي المنطقة بعدما تم اسنادها جغرافيا وعمل موزاييك لها Mosaic بغية الإفادة منها في معرفة طوبوغرافية سطح الأرض في قضاء سهل أربيل، وكذلك الاعتماد على ما توفره بعض المواقع الالكترونية على الشبكة العالمية من صور جوية ذات دقة مكانية عالية، كموقعي Satellite Pro [2] yandex [3]، في رفد الدراسة بالصور الجوية Arial Photographs عالية الدقة تصل إلى 0.6 متراً، وبذلك فهي تفيد نحو اطلاع أكثر تفصيلا على قضاء سهل أربيل، فضلا عن تمييز تواجد استعمالات الأرض المتوطنة فيه، ينظر المحلق (1-1).

كما اعتُمد في الدراسة على الزيارات الميدانية في رصد عينات التدريب Training Sites باستخدام جهاز GPS[*] مع الخريطة الطوبوغرافية المجمعة التي ساعدت على التنقل داخل قضاء سهل أربيل.

كانت الزيارة الميدانية للموسم الشتوي بتاريخ 2019/4/8، والزيارة الميدانية للموسم الصيفي بتاريخ 2019/7/7، وقد أخذت 4 عينات تدريب لكل صنف من أصناف استعمالات الأرض المتوطنة في المنطقة، مع مراعاة ان تكون عينات التدريب موزعة قدر الإمكان على نحو منتشر، وللموسمين الشتوي والصيفي، للحصول على دقة وافية عند تصنيف استعمالات الأرض في مراحل بحثية لاحقة.

---

(1) James B. Campbell and Randolph H. Wynne, Op cit., p. 335.

(2) https://satellites.pro/Iraq_map#35.995230,44.074402,10

(3) https://yandex.com/maps/?l=sat&ll=44.179870%2C35.941319&z=11

(*) استخدم جهاز GPS من نوع GPSMAP 76 من شركةGarmin وهو ذي دقة موقعيه تصل إلى 4 متر، وقد تم الحصول عليه من مركز التحسس النائي في جامعة الموصل.

وقد تم ذلك بعد الاطلاع على الانظمة العالمية لتصنيف استعمالات الأرض، اذ وقع الاختيار على النظام الأمريكي USGS الذي طوره Anderson وزملائه سنة 1972 (*)، لكونه يتسم بالشمولية والمرونة، وبذلك يتفوق على انظمة التصنيف الأُخرى[1]، فضلا عن أنه صمم ليتوافق مع مرئيات Landsat الفضائية[2]، لذلك أُخذت عينات التدريب على أساس أن يكون التصنيف ضمن المستوى الثاني من نظام Anderson، لكون المرئيات المستخدمة ذات دقة مكانية 30 م، وهذا بدوره لا يسمح بالنزول إلى مستويات أكثر تفصيلا، ينظر الجدول (3) والخريطة (3) والملحق (1-2).

(*) هناك انظمة تصانيف عالمية عديدة لاستعمالات الأرض كالنظام البريطاني والايكولوجي والنظام الموحد وغيرها، لكنها لم تذكر في متن الاطروحة لعدم استخدامها وملاءمتها مع مرئيات Landsat مقارنة بالتصنيف الأمريكي.

للتفاصيل ينظر:

عثمان محمد غنيم، تخطيط استخدام الأرض الريفي والحضري: اطار جغرافي عام، دار صفاء للطباعة والنشر، عمان، الاردن، 2008، ص ص 128-138.

(1) خنساء ملحم، نظم تصنيف الغطاء الأرضي واستخدامات الأراضي: دراسة في الأساس النظري والمنهجي، مجلة جامعة دمشق، المجلد 33، العدد 2، 2017، ص 266.

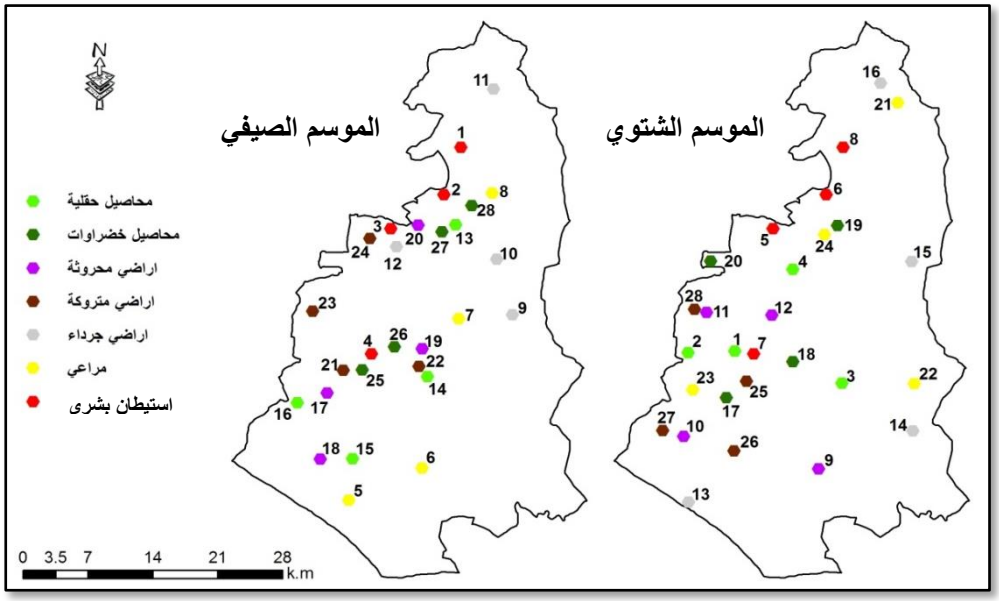
(2) James R. Anderson, et al., A Land Use and Land Cover Classification System for Use with Remote Sensor Data, Vol. 964, US Government Printing Office, 1976, p.4.

الجدول (3): إحداثيات عينات التدريب المأخوذة من جهاز الـGPS لاستعمالات الأرض في قضاء سهل أربيل للموسمين الزراعيين الشتوي والصيفي لعام 2019 بنظام UTM WGS84 Zone38

الموسم الشتوي				الموسم الصيفي			
ت	الصنف	X	Y	ت	الصنف	X	Y
1	محاصيل حبوب	411166.94	3984300.44	1	استيطان بشري	422877.52	4006999.09
2	محاصيل حبوب	406106.77	3984135.08	2	استيطان بشري	421052.59	4001723.10
3	محاصيل حبوب	422742.48	3980728.56	3	استيطان بشري	415300.12	3997951.69
4	محاصيل حبوب	417438.66	3993392.47	4	استيطان بشري	413197.95	3984016.21
5	استيطان بشري	415300.12	3997951.69	5	مراعي	410756.89	3967749.15
6	استيطان بشري	421052.59	4001723.10	6	مراعي	418698.93	3971290.76
7	استيطان بشري	413197.95	3984016.21	7	مراعي	422634.36	3987947.02
8	استيطان بشري	422877.52	4006999.09	8	مراعي	426255.04	4001886.89
9	اراضي محروثة	420225.60	3971197.12	9	اراضي جرداء	428431.80	3988368.98
10	اراضي محروثة	405616.12	3974826.59	10	اراضي جرداء	426727.35	3994556.12
11	اراضي محروثة	408114.52	3988622.94	11	اراضي جرداء	426407.97	4013498.26
12	اراضي محروثة	415144.73	3988306.19	12	اراضي جرداء	415900.15	3995958.40
13	اراضي جرداء	406158.56	3967519.37	13	محاصيل حبوب	422299.79	3998355.71
14	اراضي جرداء	430394.92	3975459.25	14	محاصيل حبوب	419267.47	3981468.73
15	اراضي جرداء	430281.64	3994280.19	15	محاصيل حبوب	411165.94	3972344.34
16	اراضي جرداء	426915.15	4014136.85	16	محاصيل حبوب	405184.90	3978574.56
17	خضراوات	410251.84	3979121.36	17	اراضي محروثة	408421.18	3979672.3
18	خضراوات	417431.61	3983158.64	18	اراضي محروثة	407664.91	3972283.48
19	خضراوات	422268.16	3998282.87	19	اراضي محروثة	418703.94	3984559.19
20	خضراوات	408554.91	3994328.04	20	اراضي محروثة	418258.80	3998319.52
21	مراعي	428782.21	4011959.81	21	اراضي متروكة	410142.28	3982195.84
22	مراعي	430575.48	3980706.42	22	اراضي متروكة	418318.35	3982627.31
23	مراعي	406628.03	3980002.22	23	اراضي متروكة	406834.99	3988758.46
24	مراعي	420879.84	3997277.14	24	اراضي متروكة	413038.14	3996847.58
25	اراضي متروكة	412405.21	3980981.25	25	خضراوات	412209.26	3982219.77
26	اراضي متروكة	411072.88	3973217.79	26	خضراوات	415692.17	3984774.2
27	اراضي متروكة	403360.17	3975460.05	27	خضراوات	420838.63	3997573.88
28	اراضي متروكة	406817.38	3988960.11	28	خضراوات	424044.19	4000527.49

المصدر: عمل الباحث، اعتمادا على نتائج الزيارات الميدانية، بتاريخ 2019/4/8 و2019/7/7.

الخريطة (3): مواقع عينات التدريب المأخوذة بجهاز الـ GPS عن الزيارات الميدانية للموسمين الشتوي والصيفي لسنة 2019 في قضاء سهل أربيل



المصدر: عمل الباحث، اعتمادا على برنامج ArcGIS Desktop 10.6.1 ونتائج الزيارات الميدانية بتاريخ 2019/4/8 و2019/7/7.

2-3-1-2 مرحلة التصنيف Classification Stage

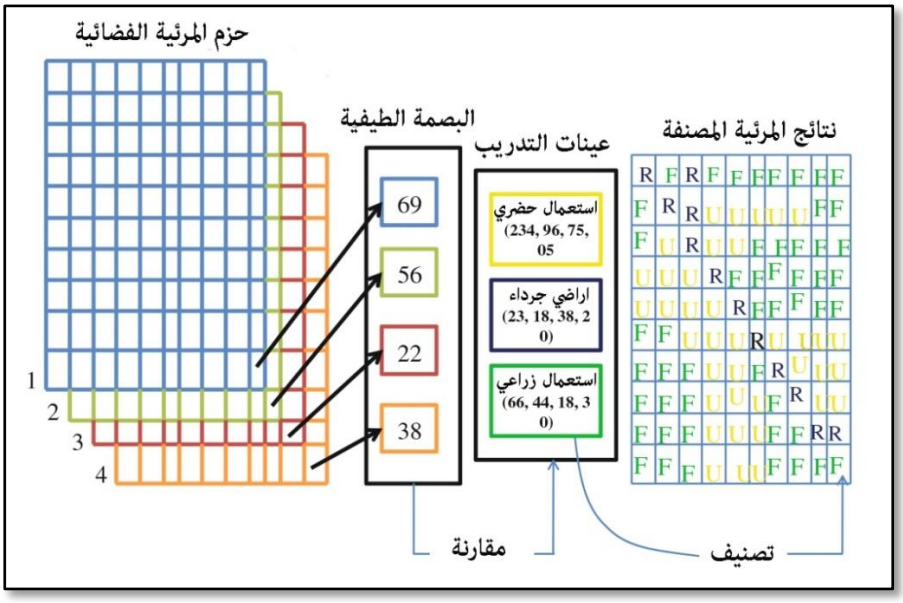
قبل الشروع في تصنيف المرئيات الفضائية، لابد من اختيار نوع التصنيف المتبع إن كان موجها أم غير موجه، وكذلك اختيار طريقة التصنيف المناسبة. فالتصنيف غير الموجه Unsupervised Classification هو التصنيف الذي يعتمد كليا على التباين الطيفي للمرئية الفضائية بغض النظر عن المرجع المكاني للأرض، وهو يعتمد على خوارزميات التجميع Clustering Algorithms في تحديد الاطياف الاكثر تشابها بعدد من الفئات يحددها المحلل، وبذلك فهو يتناسب مع الحالات التي لا تتطلب معرفة مسبقة بسطح الأرض المناط تصنيفه على المرئية الفضائية، باستثناء المعرفة الخاصة بتفسير الأصناف الناتجة[1].

أما التصنيف الموجه Supervised Classification فهو عكس عملية التصنيف السابق، أي يبدأ بمعرفة مسبقة مدروسة حول السطح الجغرافي لمنطقة الدراسة Geographic Surface وليس الشروع بالتصنيف ثم ترجمة الأصناف لاحقا، كما إنه أكثر موضوعية، من حيث إمكانية قياس نسبة الخطأ في التصنيف، فضلا عن المرونة في الاعتماد على طرائق

(1) Jian Guo Liu and Philippa J. Mason, Image Processing and GIS for Remote Sensing: Techniques and Applications, Second Edition, John Wiley & Sons, USA, 2016, p.91.

تصنيف مختلفة حسب ما يراه محلل المرئية الفضائية مناسبا، وبذلك يتطلب بيانات مرجعية كثيرة عن منطقة الدراسة لتحديد عينات التدريب المستخدمة في عملية التصنيف[1]. ينظر الشكل (19).

الشكل (19): عملية التصنيف الموجه في الاستشعار عن بعد



المصدر: عمل الباحث، اعتمادا على:
http://www.sc.chula.ac.th/courseware/2309507/Lecture/remote18.ht

من هذا المنطلق اعتُمد التصنيف الموجه في الدراسة من أجل تصنيف المرئيات الفضائية، ذلك بعد جمع عينات التدريب والتحقق منها، فضلا عن اختيار طريقة الاحتمالية العظمى Maximum Likelihood في عملية التصنيف، لكونها من أشهر طرائق التصنيف المعمول بها في الاستشعار عن بعد وأكثرها دقة، وتستخدم في تطبيقات عدة ومنها تصنيف استعمالات الأرض[2]، وهي تتناسب على نحو مثالي مع البيانات الموزعة توزيعا طبيعيا[3]، وهذا يتناسب مع المرئيات المستخدمة في الدراسة، التي أُخضِعت سابقاً إلى عملية فحص إحصائي في أثناء المعالجة الأولية (بسط التباين) وكانت النتائج بأن البيانات الطيفية للمرئيات جميعها هي ذات توزيع تكراري طبيعي Normal Distribution.

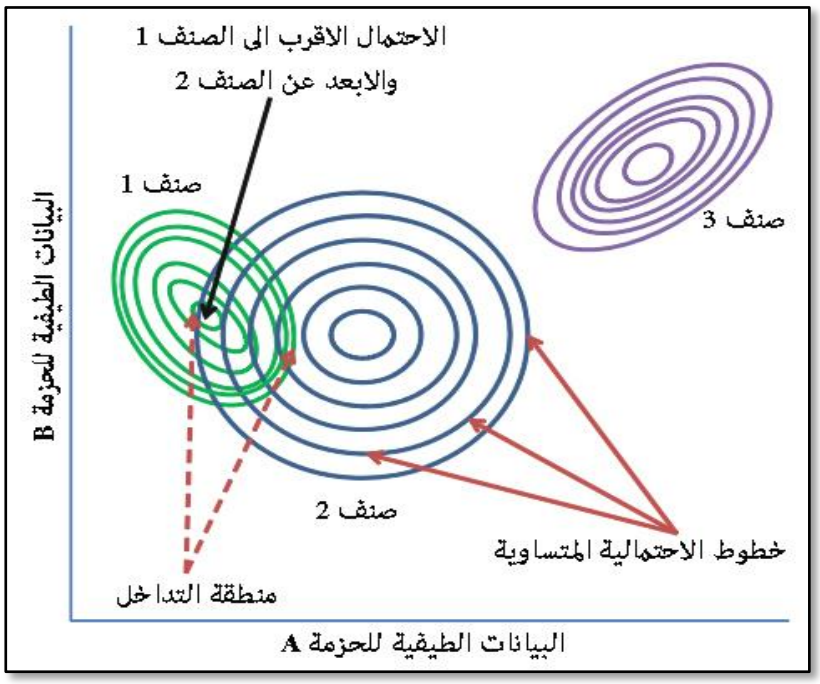
(1) John A. Richards and Xiuping Jia, Remote Sensing Digital Image Analysis An Introduction, 4th Edition, Springer, USA, 2006, p.p. 193 – 194.

(2) Pushpendra Singh Sisodia, et. al., Analysis of Supervised Maximum Likelihood Classification for Remote Sensing Image, International Conference on Recent Advances and Innovations in Engineering, Jaipur, India, 2014, p. 1.

(3) Alfred Stein, et. al., Spatial Statistics for Remote Sensing, Kluwer Academic Publishers, USA, 2002, p. 19.

تعمل طريقة الاحتمالية العظمى على وضع احتمالية إحصائية بأن تكون الوحدة الصورية تنتمي إلى مجموعة (فئة) من دون غيرها[1]، وهي تتغلب على طرائق التصنيف الأُخرى من حيث إنها تأخذ في الاعتبار شكل تجميع الوحدات الصورية في عينات التدريب وحجمها واتجاهها ايضا، ذلك برسم خطوط كنتور متساوية الاحتمالات ومتراكبة على شكل قطع ناقص حول كل تجمع للوحدات الصورية، فكلما كان التجمع قريب من خط كنتوري ما، دل على احتمالية أكبر في ضم الوحدات الصورية إليه والعكس صحيح، ذلك بافتراض ان البيانات الطيفية الخاصة بالوحدات الصورية تتوزع توزيعا طبيعيا على المدرج التكراري[2]، ويتم ذلك من خلال مراحل طويلة من المعادلات[3]. ينظر الشكل (20).

الشكل (20): عملية التصنيف بطريقة الاحتمالية العظمى



المصدر: عمل الباحث، اعتمادا على:
http://wgbis.ces.iisc.ernet.in/energy/water/paper/TR-111/chapter3.htm

استُخدِمَت عينات التدريب التي تم جمعها من الزيارات الميدانية في انشاء ما يعرف بإقليم الاهتمام Region of Interest (ROI) في برنامج ENVI 5.3 لعام 2019 بموسميها الشتوي والصيفي ولكافة أصناف استعمالات الأرض التي تم تحديدها وفقا لنظام Anderson، بينما اعتُمد على الانعكاسية الطيفية لذات الأصناف في هذه المدة من أجل انشاء ROI خاص

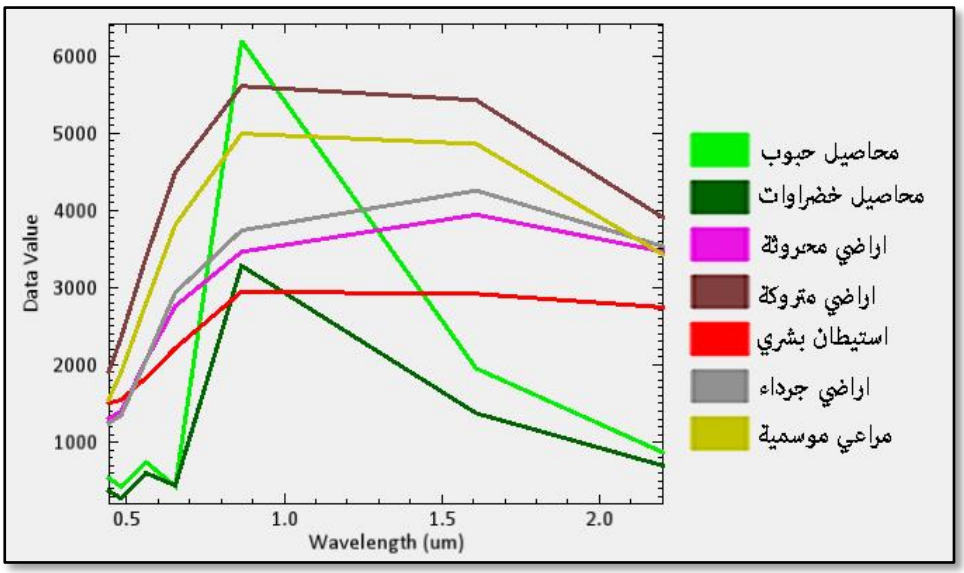
(1) Pushpendra Singh Sisodia, et. al., op. cit., p.2.

(2) Siamak Khorram, et al., Remote Sensing, springer, New York, USA, 2012, p.51.

(3) J. A. Richards et al., Remote Sensing Digital Image Analysis, Third Edition, Berlin: Springer, 1999, p.p. 240-244.

بالأعوام الأُخرى 2012 و2002. فضلا عن الاعتماد على التفسير البصري وتحليل المركبات الأساسية في فصل الأصناف لهذه المدد من أجل الوصول إلى تصنيف يتسم بالدقة والموضوعية لكافة المدد المنتخبة لهذه الدراسة، ينظر الشكل (21).

الشكل (21): الانعكاسية الطيفية الرئيسة لأصناف استعمالات الأرض في قضاء سهل أربيل على وفق ترتيب الحزم 7,4,2 للمستشعر +ETM و7,5,3 للمستشعر OLI



المصدر: عمل الباحث، اعتمادا على برنامج ENVI 5.3، ونتائج الزيارات الميدانية.

ومن خلال الانعكاسية الطيفية لاستعمالات الأرض في أعلاه، أُنتجت أصناف استعمالات الأرض في قضاء سهل أربيل للاعوام 2002، 2012، 2019 وللموسمين الشتوي والصيفي، على النحو الآتي:-

1- الصنف Human Settlements (استيطان بشري): يشمل الاراض الحضرية المتمثلة بمراكز النواحي والقرى والأراضي المبنية المتفرقة؛ إذ لا يمكن الفصل بين الاراض الحضرية والأراضي المبنية الأُخرى في الريف، نظرا لتشابه الانعكاسية الطيفية على نحو عام للأبنية كافة، سواء كانت حضرية أم أراضٍ مبنية هنا وهناك داخل الحيز المكاني للقضاء.

2- الصنف Crops (محاصيل الحبوب): يشمل الحنطة والشعير في الموسم الزراعي الشتوي، بينما يشمل محصول الذرة الصفراء في الموسم الزراعي الصيفي، يحتوي هذا الصنف على انعكاس نباتي عالي لذلك ظهر بلون أخضر فاقع على المرئيات الفضائية وفقا لترتيب الحزم 7،4،2 بالنسبة للمستشعر +ETM و7،5،3 بالنسبة للمستشعر OLI.

3- الصنف Vegetables (محاصيل الخضراوات): ويشمل محاصيل الباقلاء والفاصوليا بشكل رئيس، فضلا عن القرنبيط واللهانة والسلق والبصل الأخضر والفجل في الموسم الزراعي الشتوي، بينما يشمل محاصيل اللوبياء والطماطم والبامية والخيار والبصل والبطيخ (الرقي) والباذنجان والفلفل الأخضر في الموسم الزراعي الصيفي، وقد ظهر الصنف بانعكاسية نباتية عالية مع دكانة في اللون الأخضر على المرئيات الفضائية عند ترتيب الحزم ذاته.

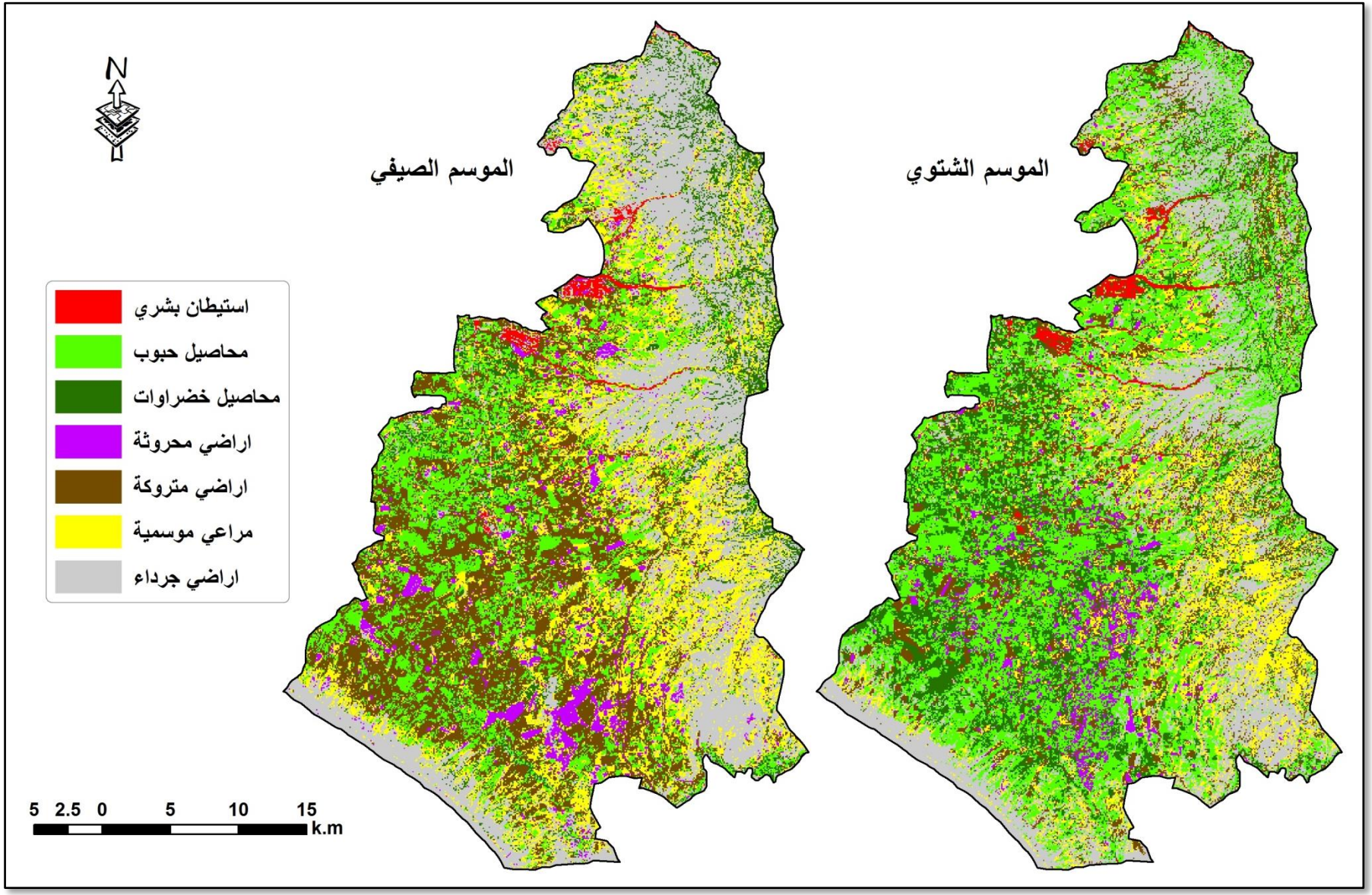
4- الصنف Cultivated (أراضٍ محروثة): ويشمل الأراضي التي تم إعدادها وتهيئتها للزراعة بعد حراثتها وإروائها سواء كان ذلك في الموسم الزراعي الشتوي أم الصيفي، إذ ظهرت بألوان مختلفة على المرئية الفضائية قريبة من اللون الوردي الداكن. إن السبب بظهور هذا الصنف بألوان مختلفة يتمحور حول اللون الوردي الداكن يعود إلى نوع حراثة الأرض إن كان خشنا أم ناعما، وكذلك طبيعة تشبع الأرض بالماء عند الإرواء، فالأراضي الأكثر تشبعا يطغى عليها اللون الداكن والعكس صحيح.

5- الصنف Soil (أراضٍ متروكة): ويشمل الأراضي التي تركت للإراحة في اتباع الدورة الزراعية، من أجل إعادة انعاش خصوبتها والحفاظ على قوامها، وقد أعطت انعكاسية عالية قريبة من اللون الابيض لنعومة سطحها؛ إذ إنها خالية من أي نشاط زراعي سواء كان ذلك بالحراثة أم الارواء، ذلك في الموسمين الشتوي والصيفي.

6- الصنف Rangeland (المراعي الموسمية): ويشمل الاراض الزراعية التي تم حصاد محصولها؛ إذ تتحول إلى مراعي موسمية فيما بعد، فضلا عن الأراضي التي تنمو بها الادغال والاعشاب، وقد ظهر هذا الصنف على المرئيات الفضائية باللون الاخضر المزرق Cyan مع نعومة في السطح.

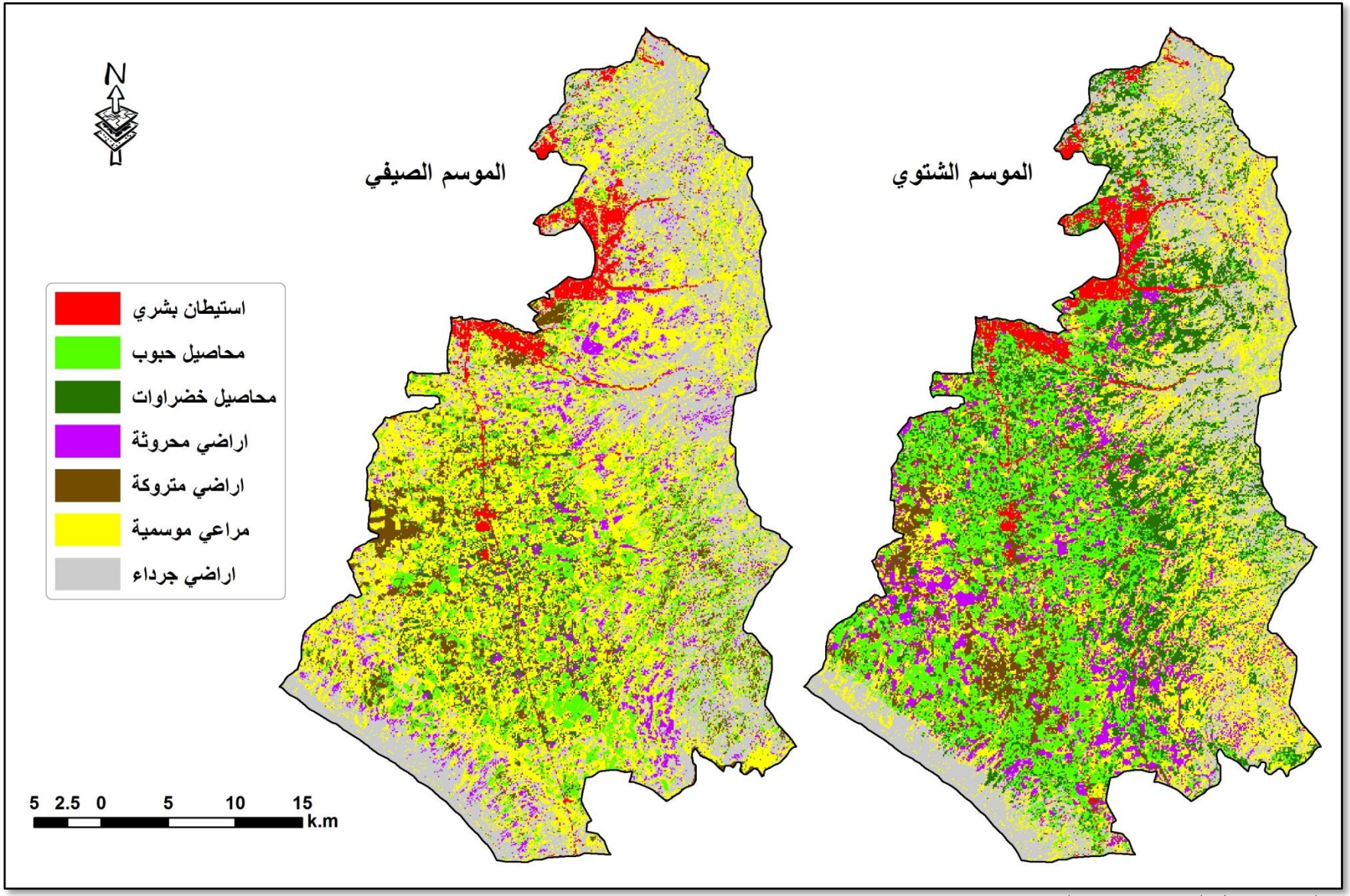
7- الصنف Barren (الأراضي الجرداء): ويشمل على الأراضي الفقيرة بالغطاء النباتي وغير المستثمرة في الزراعة، وهي تتوطن عند الأراضي المنحدرة التي تتعرض للتعرية باستمرار عند الجزء الشرقي وفي الجنوب الغربي من القضاء، فضلا عن أنها تتبعثر بمساحات صغيرة هنا وهناك داخل الحيز المكاني لقضاء سهل أربيل، وقد ظهر هذ الصنف على المرئيات الفضائية بأشكال غير منتظمة وبألوان تتراوح بين البني الداكن والفاتح، فضلا عن خشونة واضحة في السطح. ينظر الخرائط (4)، (5)، و(6).

الخريطة (4): استعمالات الأرض في قضاء سهل أربيل لعام 2002



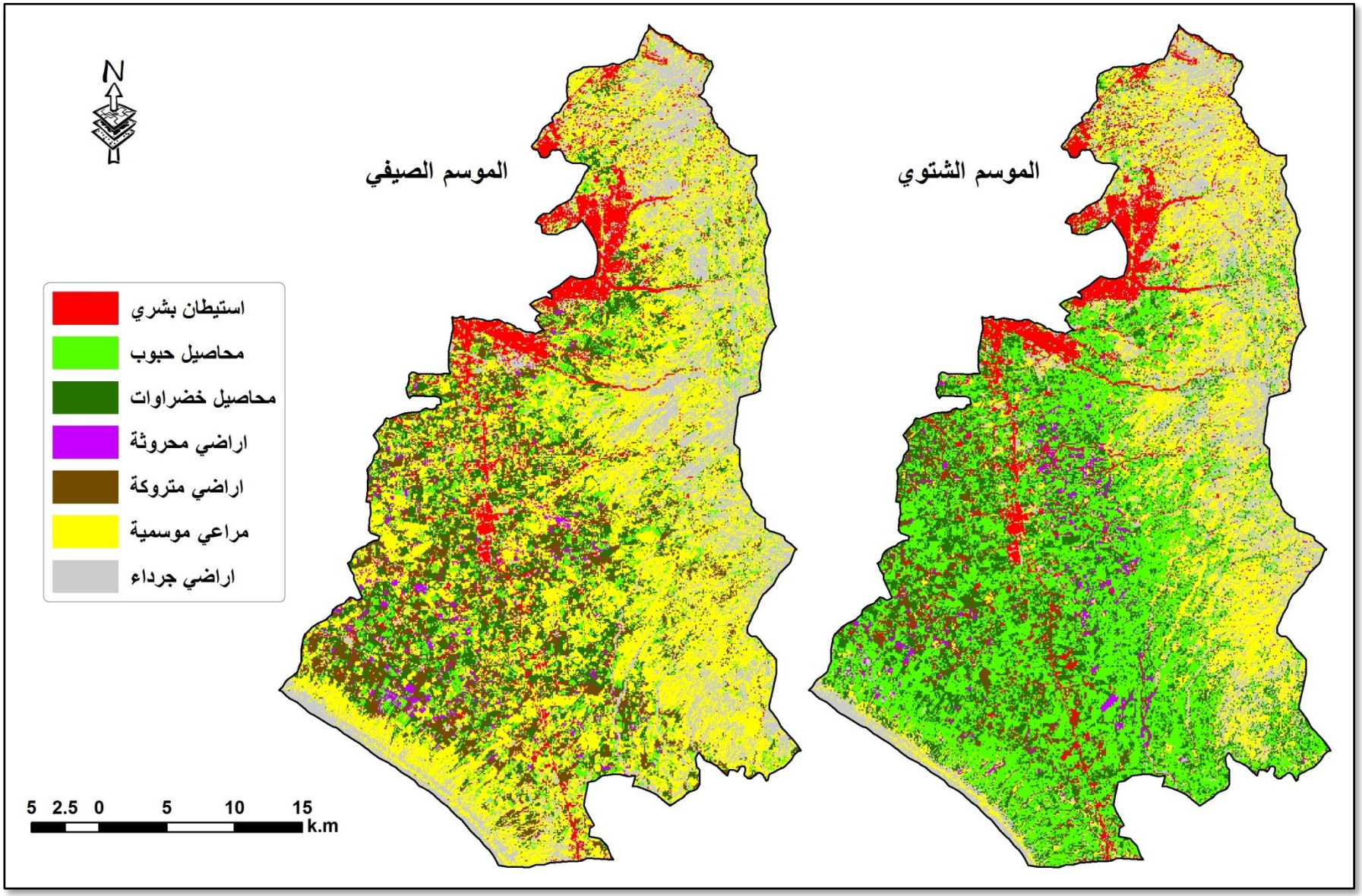
المصدر: عمل الباحث، اعتمادا على برنامجي ENVI 5.3 وArcGIS Desktop 10.6.1، ومرئيات Landsat 7 (ETM+).

الخريطة (5): استعمالات الأرض في قضاء سهل أربيل لعام 2012



المصدر: عمل الباحث، اعتمادا على برنامجي ENVI 5.3 و ArcGIS Desktop 10.6.1، ومرئيات Landsat 7 (ETM+).

الخريطة (6): استعمالات الأرض في قضاء سهل أربيل لعام 2019



المصدر: عمل الباحث، اعتمادا على برنامجي ENVI 5.3 و ArcGIS Desktop 10.6.1، ومرئيات Landsat 8 (OLI).

2-1-3-3 تقييم دقة التصنيف Classification Accuracy Assessment

لقد أصبحت عملية تقييم دقة الخريطة المنتجة من بيانات الاستشعار عن بعد عنصرا أساسيا من عناصر البحث العلمي؛ إذ لا توجد خريطة من دون أخطاء، وإن أكثر الطرائق قبولا في مجتمع الاستشعار عن بعد حول تقييم دقة الخريطة، هي بمقارنة الخريطة ذاتها مع بيانات مرجعية References Data يطلق عليها اصطلاحا بالحقائق الأرضية Ground Truth التي يتم جمعها من خلال رصد عدد كاف من مواقع عينات التدريب عند الزيارات الميدانية[1].

تُقيم دقة التصنيف باستخدام مصفوفة الخطأ Error Matrix أو ما تسمى أحيانا بمصفوفة الالتباس Confusion Matrix التي تتكون من مجموعة مربعة من الارقام المرتبة في صفوف Rows واعمدة Columns، وهي تعبر بدورها عن عدد الوحدات الصورية لعينة التدريب[2]، تمثل الأعمدة في المصفوفة البيانات المرجعية أو الحقائق الأرضية المأخوذة من عينات التدريب التي جمعت من مصادر مختلفة، سواء كان ذلك بالتفسير البصري أم الزيارة الميدانية أم من معالجات صورية مختلفة، بينما تمثل الصفوف أصناف (بيانات) الخريطة المنتجة من الاستشعار عن بعد[3]، وتستخدم مصفوفة الخطأ للشروع في تقييمات إحصائية مختلفة، منها ما هو كلي على مستوى كامل الخريطة، ومنها ما هو جزئي على مستوى الصنف. فتقييم الدقة الكلية Overall Accuracy يعبر عنها بالمعادلة الآتية [4]:-

$$OA = \Sigma dp / \Sigma op * 100$$

إذ إن:

(OA) = الدقة الكلية، (Σdp) = مجموع قيم الوحدات الصورية القطرية، (Σop) = المجموع الكلي لقيم الوحدات الصورية.

تعد الدقة الكلية مؤشرا يدل على الاجمالي العام لمصداقية الخريطة أو نسبة الخطأ فيها، وهو معتمد عالميا منذ سبعينيات القرن المنصرم، إذ وضع Anderson معيارا لأقل دقة اجمآلية

---

(1) Siamak Khorram, et al., Op cit., p.6.

(2) Ross S. Lunetta and Ohn G. Lyon, Remote Sensing and GIS Accuracy Assessment, CRC Press, New York, USA, 2004, p.3.

(3) Jian Guo Liu and Philippa J. Mason, Essential Image Processing and GIS for Remote Sensing, Second Edition, John Wiley & Sons, USA, 2009, p.100.

(4) Ross S. Lunetta and Ohn G. Lyon, Op cit., p.3.

مقبولة في خريطة استعمالات الأرض المصنفة في الاستشعار عن بعد مقدارها 85%[1]، بينما أكد Richards بإمكانية قبول الدقة الاجمالية للتصنيف إن انخفضت نحو 83%[2].

إن الدقة الكلية تقع ضمن الإحصاء الوصفي، وبذلك لا تأخذ بعين الاعتبار إمكانية حدوث الصدفة في دقة النتائج، لذلك يرفق عادة مع الدقة الكلية مؤشرا يأخذ في الاعتبار إمكانية حدوث الصدفة في دقة النتائج عند المقارنة بين التصنيف والحقائق الأرضية في برمجيات الاستشعار عن بعد، وفقا لقانون الاحتمالية Probability، يطلق عليه بمعامل كابا Kappa Coefficient[3] الذي يعمل على حساب دقة التصنيف بإدخال جميع عناصر المصفوفة وليس العناصر القطرية فقط، وفقا للمعادلة الآتية[4]:-

$$\widehat{K} = \frac{N\sum_{i=1}^{r} x_{ii} - \sum_{i=1}^{r}(x_{i+} * x_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^{r}(x_{i+} * x_{+i})}$$

إذ إن:

الرمز $(\widehat{K})$ هو معامل كابا، (r) يمثل عدد الصفوف Rows في المصفوفة، بينما (x_{ii}) يمثل عدد المشاهدات في الصف (i) والعمود (i)، في حين ان (x_{i+}) و(x_{+i}) تعبر عن الاجماليات الهامشية Marginal Totals للصف (i) والعمود (i) على التوالي، واخيرا (N) يمثل العدد الاجمالي للمشاهدات.

يفسر ناتج معامل كابا ما بين الـ (1) أي الاتفاق التام بين أصناف الخريطة والحقائق الأرضية، وبين الـ (0) أي عدم الاتفاق بين ذات الأصناف والحقائق. لذلك فإن الناتج المحصور بين $(0.75 - 1)$ يشير إلى نتيجة جيدة جدا نحو ممتازة في تقييم الخريطة، أما الناتج المحصور بين (0.75 - 0.4) فيشير إلى نتيجة مقبولة نحو جيدة في تقييم الخريطة، في حين إن الناتج المحصور بين الـ$(0.4 - 0.0)$ فيشير إلى دقة ضعيفة نحو متوسطة، ومن ثم استبعاد قبول الخريطة [5].

---

(1) James R. Anderson, et al., Op cit., p.5.

(2) John A. Richards and Xiuping Jia, Op cit., p.303.

(3) Matthijs J Warrens, Five Ways to Look at Cohen's Kappa, Journal of Psychology & Psychotherapy, Vol. 5, No. 4, p.p. 1- 4.

(4) Russell G. Congalton, A Review of Assessing the Accuracy of Classifications of Remotely Sensed Data, Remote sensing of environment, Vol. 37, No. 1, 1991, p.40.

(5) Robert A. Monserud and Rik Leemans, Comparing global vegetation maps with the Kappa statistic, Ecological modelling, Vol. 62, No. 4, 1992, p.285.

أمـا التقيـيم الجزئـي Initial Accuracy فهـو يهـتم بتقيـيم كـل صـنف مـن أصـناف استعمالات الأرض بأسلوبين مختلفين، أحدهما يطلق عليه دقة المستخدم User Accuracy الذي يستخرج من قسمة عدد الوحدات الصورية المصنفة تصنيفا صحيحا على مجموع الوحدات الصورية في الصف الواحد مضروبة في 100، وقد سمي هذا التقييم بدقة المستخدم نظرا لاهتمام المستخدم بنسبة الوحدات الصورية التي صنفت تصنيفا صحيحا، والآخر يطلق عليه دقة المنتج Product Accuracy الـذي يسـتخرج مـن قسـمة عـدد الوحـدات الصـورية المصـنفة تصـنيفا صـحيحا علـى مجموع الوحـدات الصـورية فـي العمـود الواحـد مضـروبة فـي 100 وقـد سـمي هـذا التقييم بهذا الاسم لكون المنتج يهتم بدقة تصنيف عينات التدريب[1].

وتأسيسا على ما سبق، فقد عُمِدَ إلى بناء مصفوفات الخطأ لجميع خرائط استعمالات الأرض للأعـوام الثلاثـة (2002، 2012، 2019) وللموسـمين الـزراعيين الشـتوي والصـيفي، كنتيجة حتمية للتصنيف الموجه، إذ كانت نتائج التصنيف لخرائط استعمالات الأرض التي تعود لعام 2002 للموسمين الشتوي والصيفي ذات دقة عالية جدا على الصعيد الكلي والجزئي، فقد شملت عينة التدريب للموسم الشتوي 6617 وحدة صورية، صنف منها 6605 وحدة صورية تصنيفا صحيحا، وبذلك بغلت الدقة الكلية 99.81% فضلا عن معامل كابا الذي سجل قيمة قدرها 0.99، وهي تعبر عن توافق الأصناف التي لم تصنف تصنيفا صحيحا من باب الصدفة مع الحقائق الأرضية. وقد اعتُمد على الانعكاسية الطيفية المأخوذة من مرئية الموسم الشتوي لعام 2019 التي تم تحديدها بالزيارة الميدانية، فضلا عن التفسير البصري وتحليل المركبات الأساسية في فصل الأصناف Isolation.

وعلـى الصـعيد الجزئـي، تـم فصـل المحاصـيل الحقليـة والخضـراوات والأراضـي المحروثـة والأراضـي المتروكـة بنسـبة 100%، فبالنسـبة للمحاصـيل الزراعيـة يمكـن عـزو دقـة التصـنيف الكاملة إلى أن اختيار تاريخ التقاط المرئية جاء في مدة نضوج المحاصيل سواء كان ذلك للموسم الشـتوي أم الصـيفي، فضـلا عـن المعالجـات السـابقة التـي تـم تنفيـذها بشـكل موضـوعي لتظهـر المرئيـة تباينـا واضـحا فـي جميـع الأصـناف، واعتمـاد أصـناف اسـتعمالات الأرض الرئيسـة بشـكل دقيق يبتعد عن الالتباس والتداخل، ومع ذلك فقد حصل التباسا طفيفا جدا في صنف الاستيطان البشري الذي سجل دقة مستخدم 98.77% بسبب ذهاب وحدتين صوريتين إلى صنف الأراضي الجـرداء، نظـرا للتشـابه الطفيـف فـي الاسـتجابة الطيفيـة لـبعض الوحـدات الصـورية بـين اراضـي الاسـتيطان البشـري والأراضـي الجـرداء، علـى الـرغم مـن تسـجيل ذات الصـنف دقـة منـتج بنسـبة 100%، ذلك لدقة عينة التدريب التابعة له، وعلى الجانب الآخر حصل التباس طفيف جدا بين

(1) Siamak Khorram, et al., Op. cit., p.56.

صنفي الأراضي الجرداء والمراعي الموسمية؛ إذ سجلا دقة مستخدم 99.93 % و97.20% على التوالي؛ إذ كان الخطأ نتيجة لذهاب بعض الوحدات الصورية التابعة لصنف إلى صنف آخر، أما التصنيف التابع للموسم الصيفي لذات العام، فقد تكونت عينة التدريب الكلية خاصته من 3447 وحدة صورية، تم تصنيف منها 3445 وحدة صورية تصنيفا صحيحا، فسجل التصنيف دقة كلية 99.94%، ومعامل كابا 0.99، وعلى الصعيد الجزئي فقد حصلت جميع الأصناف على دقة مستخدم بنسبة 100%، باستثناء الأراضي الجرداء التي سجلت دقة مستخدم بنسبة 99.92%، بسبب الالتباس الطفيف جدا بينها وبين أراضي الاستيطان البشري، مما جعل الصنف الأخير يسجل دقة منتج 99.01%، على الرغم من أن الأصناف الأُخرى قد سجلت دقة منتج 100%. ينظر الملاحق (3-1) ، (3-2)، (4-1) و(4-2).

أما بالنسبة لعام 2012 لموسميه الزراعيين الشتوي والصيفي فقد سجل دقة تصنيف مقاربة جدا مع التي سُجلت في عام 2002، ففي تصنيف المرئيتين الفضائيتين، اعتمد على ذات التقنية المستخدمة في تصنيف مرئيتي 2002، إذ شملت عينات التدريب التابعة لعام 2012 في الموسم الشتوي 7046 وحدة صورية، صنف منها 7057 تصنيفا صحيحا فكانت الدقة الكلية 99.9% ومعامل كابا 0.99، وقد تراوحت دقة المنتج ودقة المستخدم للأصناف ما بين 98.23% التي سجلته أراضي الاستيطان البشري نظرا للتداخل الطفيف في الاشارات الطيفية بينها وبين الأراضي الجرداء، وبين 100% التي سجلتها الأصناف الأُخرى باستثناء المراعي الموسمية التي سجلت دقة مستخدم 98.39% لوجود التباس طفيف جدا بينها وبين الأراضي المحروثة بسبب تباين الكثافة العشبية. انعكس ذلك على دقة المنتج للأصناف التي سجلت جميعها نسبة 100% باستثناء الأراضي المحروثة والجرداء التي سجلت دقة منتج مقداره 99.83% و99.89% على التوالي، أما تصنيف استعمالات الأرض للموسم الصيفي لذات العام، فلا يختلف كثيرا من حيث الدقة الكلية والجزئية عن الموسم الشتوي، فقد كانت عينة التدريب خاصته مكونة من 1838 وحدة صورية، صنف منها 1837 وحدة صورية تصنيفا صحيحا، فكانت الدقة الكلية 99.9% ومعامل كابا 0.99. وقد كانت هذه النتيجة انعكاسا لدقة المستخدم والمنتج للأصناف، إذ سجلت جميع الأصناف دقة مستخدم مقدارها 100% باستثناء الأراضي الجرداء التي سجلت 99.92 % نتيجة للالتباس الطفيف جدا بينها وبين اراضي الاستيطان البشري، وهذا انعكس على دقة المنتج لأراضي الاستيطان البشري البالغ دقتها 99.01% مقارنة مع الأصناف الأُخرى البالغة دقتها 100%. ينظر الملاحق (3-3)، (3-4)، (4-3) و(4-4).

أما تقييم الدقة في تصنيف استعمالات الأرض لسنة 2019، فقد كان شبيها بما قبله من أعوام ايضا، باستثناء الاعتماد على الإحداثيات في انشاء عينات التدريب مباشرة من الزيارات الميدانية بدلا من التفسير البصري، مع الاعتماد أيضاً على عمليات تحليل المركبات الأساسية في الحصول على تمييز ادق بين الأصناف في ذات العينات. فقد شملت عينات التدريب للموسم الشتوي على 3205 وحدة صورية، صنفت منها 3200 وحدة صورية تصنيفا صحيحا، فكانت الدقة الكلية للتصنيف 99.84% ومعامل كابا 0.99، وقد حصلت الأراضي الحضرية ومحاصيل الحبوب والخضروات والمراعي الموسمية على دقة مستخدم كاملة 100%، أما الأراضي المحروثة والمتروكة والجرداء فقد حصلت على دقة مستخدم 98.46% و 97.73 و 99.90% على التوالي بسبب حدوث التباس طفيف جدا بين الأراضي الجرداء واراضي الاستيطان البشري من جانب، والأراضي الجرداء والمتروكة من جانب آخر، وقد انعكس ذلك على دقة المنتج للأراضي الحضرية والمتروكة والجرداء اذا بلغت 96.23% و 97.73 % و 99.93 % على التوالي، أما الموسم الصيف لذات السنة فلا يختلف كثيرا عن الموسم الشتوي، إذ شملت عينات التدريب على 2138 وحدة صورية، صنف منها 2136 وحدة صورية تصنيفا صحيحا، فحصل التصنيف على دقة كلية 99.9% ومعامل كابا 0.99، كما حصلت جميع الأصناف على دقة مستخدم 100% ودقة منتج 100% ايضا، باستثناء المراعي الموسمية والأرضي الجرداء التي حصلت على دقة مستخدم 99.84% و 99.90% على التوالي، انعكس ذلك على دقة المنتج لذات الصنفين فكانت 99.84% للمراعي الموسمية و 99.90% للأراضي الجرداء بسبب التباس طفيف جدا بين الصنفين. ينظر الملاحق (3–5) ، (3–6)، (4–5) و (4–6).

وعلى الرغم من تفسير أسباب اختلاف الدقة الجزئية بين الأصناف على جميع تصنيفات المرئيات الفضائية المستخدمة في الدراسة إلا أن جميعها ذات دقة عالية جدا ومن ثم يمكن الاعتماد عليها في بناء نماذج خرائطية لاحقة.

2–2 النمذجة الخرائطية للكشف عن تغير استعمالات الأرض

Cartographic Modeling to Change detection Landuse

مع التطور المستمر لتكنولوجيا الفضاء والاستشعار عن بعد، أصبح الطلب على المعالجة الآلية أكثر ضرورة من أي وقت مضى للكشف عن التغير Change detection، لتحقيق ذلك تشمل التحديات التي تواجه التكنولوجيا في مدى استخدام الاسلوب التقني المناسب للكشف عن

أي تغير، سواء كان ذلك بالمضاهاة الطبقية للمرئيات Overlay Images وتفسيرها أم استخلاص المعالم Feature Extraction[1].

يعرف كشف التغيير بأنه عملية تحديد الاختلافات في حالة ظاهرة ما، من خلال ملاحظتها في أزمنة مختلفة، وقد تم تطوير مجموعة من الاساليب للكشف عن تغير الظاهرة على المرئيات المستشعرة عن بعد، كالعمليات الجبرية على المرئيات الفضائية والمؤشرات Image and Indices Difference، وكذلك المقارنة البصرية للمرئيات المصنفة وحساب مساحة الأصناف[2].

إلا أن عملية نمذجة التغير في استعمالات الأرض خرائطيا تتطلب وضع نماذج خرائطية مختلفة عن التغير، ذلك من أجل الحصول على رؤية من زوايا مختلفة عن الظاهرة قيد البحث لغرض فهمها وتفسيرها، إذ إن النمذجة هنا من النوع الديناميكي وليس الساكن. فالنمذجة الديناميكية تتطلب مشاهد أكثر من النمذجة الساكنة، فالأولى تتعامل مع أربعة أبعاد 4D مقارنة بالثانية التي تتعامل مع ثلاثة أبعاد 3D فقط.

تبعا ذلك هناك نوعان رئيسان من الكشف عن التغير في ادبيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية هما: طريقة مقارنة مرئية مع مرئية اخرى بالعمليات الجبرية، وطريقة مقارنة خريطة مصنفة مع اخرى، لذلك فإن البحث في هذا المجال وفي سياق هذه الدراسة، يتطلب الوقوف اولا على التقنيات المتبعة في الكشف عن التغير، ثم العمل على تطويرها وتقديم الجديد الخرائطي منها.

2-2-1 طريقة مقارنة مرئية مع مرئية (اختلاف المرئيات) Image differencing

تُستخدم في هذه الطريقة الحسابات الخلوية لاستخراج مرئية التغير ، إذ تمثل القيم الخلوية في مرئية التغير الطيفي Spectral Image Change بالسلب أم بالإيجاب[3]. وهناك مجموعة من الأدوات المتوفرة في برمجيات نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد تحت عنوان Image Difference، مثل ArcGIS Desktop and Pro، ERDAS، ENVI، ILWIS ، إلا أن هذه الطريقة تتعامل مع القيم الطيفية للمرئيات المُدخلة، أي مع بيانات مستمرة وليست

(1) Gong Jianyaa, et al., A review of Multi-Temporal Remote Sensing Data Change Detection Algorithms, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. 37, No. 7, 2008, p.761.

(2) Maliheh Alsadat Madanian, et al., Monitoring Land Use/Cover Changes Using Different Change Detection Techniques (Case Study: Falavarjan Area, Isfahan, Iran), International Conference on Applied Life Sciences, Turkey, 2012, p.155.

(3) Chandrap Giri, Remote sensing of Land use and Land cover, CRC press, USA, 2012, p. 153.

منفصلة. إن كشف التغير مع البيانات المستمرة يتطلب التعريف بها قبل الشروع في اعتمادها، إذ إن الاختلاف بين المرئيات الفضائية في مدتين لا تعطي معلومة مُعرّفة عن التغير، لذلك يفضل العمل بطريقة اختلاف المرئيات في كشف التغير مع المؤشرات الطيفية Spectral Indices بدلا من المرئيات كما هي[1].

تبعا لذلك فقد اعتُمد على مؤشرين رئيسين يتناسبان مع طبيعة استعمالات الأرض في قضاء سهل أربيل، هما مؤشر الاختلاف النباتي المطبع NDVI الذي يجسد التغير في الغطاء النباتي للمنطقة كانعكاس للنشاط الزراعي، فضلا عن مؤشر اختلاف المباني والأراضي القاحلة NDBI كمرحلة لاستخراج مؤشر المباني والأراضي القاحلة المدمج BU، الذي يمثل بدوره انعكاسا لتطور الاستيطان البشري والتغير في الأراضي الجرداء.

2-2-1-1 مؤشر الاختلاف النباتي المطبع NDVI

يعد دليل الاختلاف النباتي المطبع Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) من أشهر المؤشرات المستخدمة في مجال إبراز الغطاء النباتي على المستوى العالمي[2]، وقد تم تطويره من لدن Rousse عام 1973[3]، إذ ينطلق من حقيقة مفادها إن النباتات تظهر انعكاسا عاليا في الطول الموجي للأشعة تحت الحمراء القريبة بين (0.7 – 1.3 um) وامتصاص عالي في الطول الموجي للأشعة الحمراء بين (0.6 -0.7 um). لذلك يتم حساب هذا المؤشر وفقا للمعادلة الآتية[4]:-

$$NDVI = \frac{Band\ NIR - Band\ R}{Band\ NIR + Band\ R}$$

وفي ضوء اختلاف الاطوال الموجية للحزم بين المستشعر ETM+ وOLI، فيمكن تنفيد المعادلة التي تخص المستشعر ETM+ على النحو الآتي:-

(1) Valids Mezainis, et al., Advanced Remote Sensing and GIS, Training Manual Developed by CEGIS, USFS and BFD, USA, p. 5-9.

(2) NDVI, NDBI & NDWI Calculation Using Landsat 7, 8, internet link: https://www.linkedin.com/pulse/ndvi-ndbi-ndwi-calculation-using-landsat-7-8-tek-bahadur-kshetri.

(3) Szilard Szabo, et al., Specific Features of NDVI, NDWI and MNDWI as Reflected in landcover Categories, Landscape & Environment, Vol. 10, No. (4-3), 2016, p. 196.

(4) Igor Ogashawara and Vanessa da Silva Brum Bastos, A Quantitative Approach for Analyzing the Relationship between Urban Heat Islands and Land Cover, Remote Sensing, Vol. 4, No. 11, 2012, p. 3600.

$$DVI\ (ETM+)\ = \frac{Band\ 4 - Band\ 3}{Band\ 4 + Band\ 3}$$

والمعادلة التي تخص المستشعر OLI على النحو الآتي:-

$$NDVI\ (OLI) = \frac{Band\ 5 - Band\ 4}{Band\ 5 + Band\ 4}$$

يظهر ناتج تطبيق المؤشر، قيم رقمية تتراوح بين (+1 و−1)، فكلما كانت قيمة الوحدة الصورية تقترب من الـ (+1) دل ذلك على خضرتها وزيادة كثافة النبات فضلا عن صحته، وكلما كانت الوحدة الصورية تقترب من الـ (−1) دل ذلك على الأسطح غير المغطاة بالنبات. وعلى الرغم من أن الكثير من الباحثين حاولوا تصنيف نتائج هذا المؤشر إلى أصناف محددة، من أجل الوصول إلى توصيف للغطاء الأرضي Land Cover، إلا أن الباحث يرى بأن هذه المحاولات ليست موضوعية بما فيه الكفاية، بسبب عدم وجود اتفاق بين الباحثين في وضع الأصناف من جانب، وإمكانية ملاءمة الأصناف المستخرجة مع أي حيز مكاني من جانب آخر (*).

2-2-1-2 مؤشر اختلاف المباني المطبع NDBI

تمثل أراضي الاستيطان البشري جزءًا صغيرًا من مساحة سطح الأرض وإن إعداد خرائط لها في الوقت المناسب وبطريقة دقيقة لا غنى عنه، من هنا اقترح Zha وزملاؤه عام 2003 مؤشرا يعالج مسألة استخلاص الأراضي المبنية Built up Area من المرئيات الفضائية تحت عنوان مؤشر اختلاف المباني المطبع (NDBI) Normalized Difference Built up

(*) للتفاصيل ينظر:

1- Raza H. Rizvi, et al., Spectral Analysis of Remote Sensing Image for Assessment of Agroforestry Areas in Yamunanagar district of Haryana, National Symposium on Advances in Geo-spatial Technologies with Special Emphasis on Sustainable Rainfed Agriculture, RRSSC, Nagpur, 2009, p.4.

2- Kishor R. Sonawane and Vijay S. Bhagat, Improved Change Detection of Forests Using Landsat TM and ETM+ data, Remote Sensing of Land, Vol. 1, No.1, 2016, p.23.

3- Ethiopia Bisrat and Belete Berhanu, Identification of Surface Water Storing Sites Using Topographic Wetness Index (TWI) and Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), JNRD-Journal of Natural Resources and Development, Vol. 1, 2018, p.95.

Index[1]، وتم ذلك انطلاقا من مبدأ ان الاستجابة الطيفية للمباني تحقق انعكاسا عالية للأشعة تحت الحمراء المتوسطة، وانعكاسا أقل للأشعة تحت الحمراء القريبة، وفقا للمعادلة الآتية[2]:-

$$NDBI = \frac{Band\ MIR - Band\ NIR}{Band\ MIR + Band\ NIR}$$

وبذلك، يمكن تطبيق المعادلة مع المستشعر +ETM على النحو الآتي:-

$$NDBI(ETM+) = \frac{Band\ 5 - Band\ 4}{Band\ 5 + Band\ 4}$$

ومع المستشعر OLI، يمكن تطبيقها على النحو الآتي:-

$$NDBI(OLI) = \frac{Band\ 6 - Band\ 5}{Band\ 6 + Band\ 5}$$

ينتج عن المعادلة سطحا مستمرا من الوحدات الصورية بقيم رقمية محصورة بين $(+1)$ التي تجسد أعلى انعكاس للمباني و(-1) والتي تجسد عدم وجود المباني، ومع ذلك فإن هذا المؤشر ليس بالجودة التي يمتلكها مؤشر NDVI، نظرا لتداخل الانعكاسية الطيفية للأشعة تحت الحمراء القريبة بين مؤشري NDVI وNDBI التي تحقق انعكاسا عاليا للنبات أكثر مما تحقق انعكاسا واطئا للمباني[3]، فضلا عن أن المؤشر لا يمكنه فصل المباني على نحو نقي Pure، بسبب تداخل الانعكاسية الطيفية بين المباني والمناطق القاحلة الفقيرة بالغطاء النباتي، لذلك بدأ يُستَخدم المؤشر في الكشف عن المباني والأراضي القاحلة معا، ومن أجل تحسين المؤشر NDBI، حاول عدد من الباحثين التخلص من الضوضاء التي يسببها الطول الموجي للأشعة تحت الحمراء المتوسطة التي تسبب بدورها انعكاسا عاليا للنبات، بطرح المؤشر NDVI من المؤشر NDBI لاستخراج مؤشرا جديدا تحت عنوان مؤشر المباني Built Up Index (BU)، الذي لديه القدرة على تحقيق انعكاس نقي للمباني والأراضي القاحلة معا وفقا للمعادلة الآتية[1]:-

$$BU = NDBI - NDVI$$

---

(1) Y. ZHA, Use of normalized difference built-up index in automatically mapping, urban areas from TM imagery, International journal of remote sensing, Vol. 24, No. 3, 2003, p. 589.

(2) Igor Ogashawara and Vanessa da Silva Brum Bastos, A Quantitative Approach for Analyzing the Relationship between Urban Heat Islands and Land Cover, Remote Sensing, Vol. 4, No. 3, 2012, p. 360.

(3) Saad Saleem Bhattia and Nitin Kumar Tripathia, Built-up area extraction using Landsat 8 OLI imagery, GIScience & remote sensing, Vol. 51, No. 4, 2014, p.p. 452 – 453.

(1) Chunyang HE, et al., Improving the normalized difference built-up index to map urban built-up areas using a semiautomatic segmentation approach, Remote Sensing Letters, Vol. 1, No. 4, 2010, p. 214.

وهكذا تكون النتيجة بقيم رقمية تتراوح بين (+2) ذات الانعكاسية العالية للمباني والأراضي القاحلة، و(−2) لاختفاء المباني والأراضي القاحلة معا، وبغية جعل القيم على غرار المؤشر NDVI، تم تعديل المعادلة بقسمة الناتج على (2) لكي تحمل الانعكاسية العالية للمباني والأراضي القاحلة قيمة (+1) وانعدام الانعكاسية لذات المعالم قيمة (−1) وتسميته مؤشر المباني المعدل Modified Built Up Index (MBU)، وفقا للمعادلة الآتية:−

$$MBU = (NDBI - NDVI)/2$$

أي تكون المعادلة الكلية المعدلة في هذه الدراسة لمؤشر MBU عند تنفيذها في نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد، على النحو الآتي:−

$$MBU = \frac{(Band\ MIR - Band\ NIR)/(Band\ MIR + Band\ NIR)}{(Band\ NIR - Band\ R)/(Band\ NIR + Band\ R)}/2$$

2−2−1−3 تطوير أداة لمؤشر المباني المعدل MBU

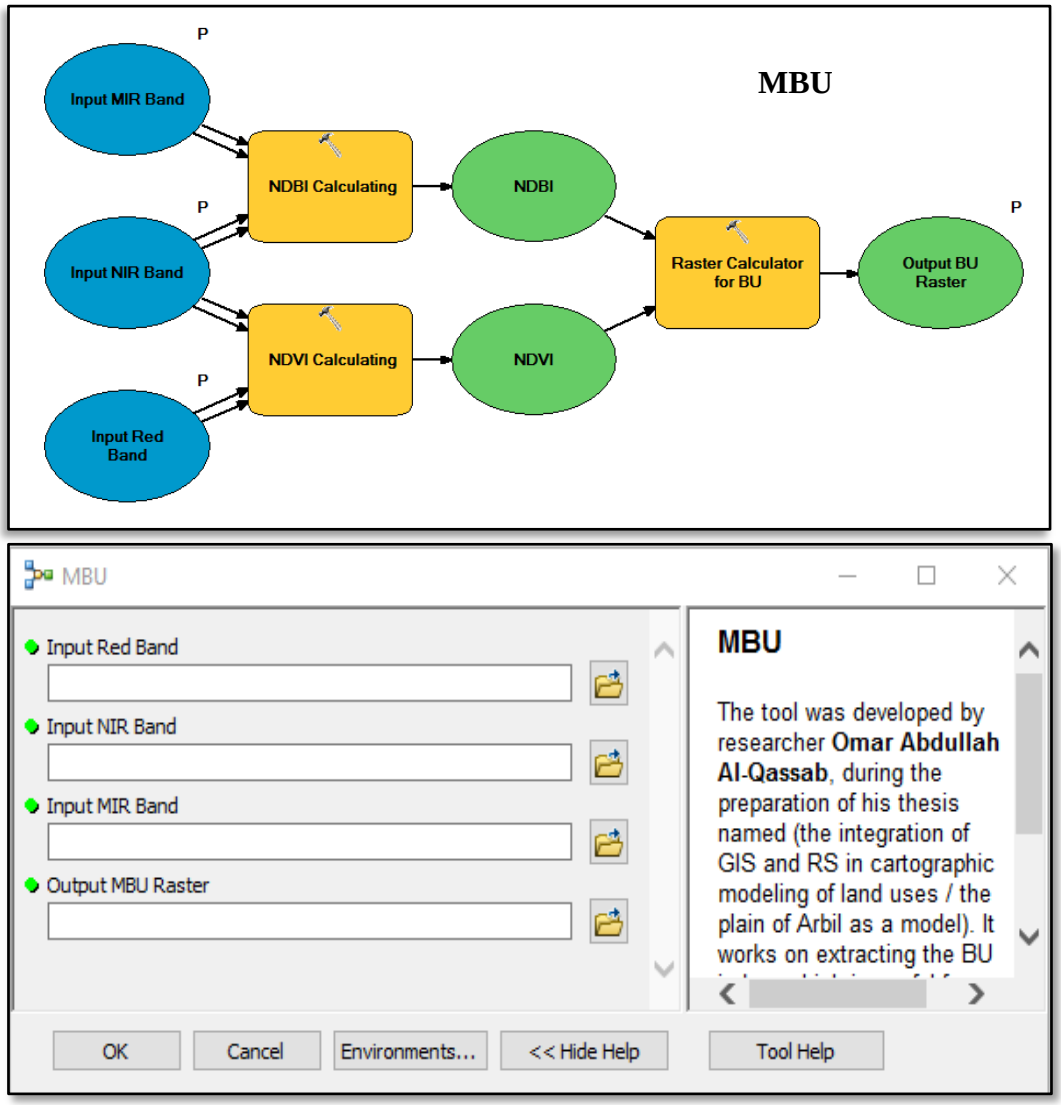
قبل البدء في النمذجة الخرائطية لتغير المؤشرات، ومن أجل تجنب تكرار تطبيق المعادلات في كل مرة على المرئيات الفضائية المستخدمة، توجهت الدراسة نحو تطوير أداة خاصة بمؤشر المباني المعدل MBU في برنامج ArcGIS Desktop 10.6.1 لعدم توفره في البرنامج، على عكس مؤشر NDVI الذي يتوفر في الامتداد Image Analysis من ذات البرنامج، وقد تم ذلك بثلاث مراحل رئيسة، ابتداء من بناء الأنموذج المفاهيمي التفاعلي للمعادلة، باستخدام برنامج فرعي داخل برنامج Arc GIS Desktop يدعى بباني الأنموذج Model Builder، مرورا بتحويل الأنموذج المفاهيمي إلى أداة بوضع المُعاملات Parameters الضرورية بين ايدي المستخدم بحيث يستطيع التحكم بسير المعالجة على نحو شامل، وانتهاء باختبار الأداة المطورة.

تكوَّن الأنموذج المفاهيمي من مدخلات خلوية Raster Inputs وبوظيفة رئيسة تحت عنوان Raster Calculator التي تقوم بإجراء جميع العمليات الجبرية على البيانات الخلوية. وقد تم اختبار الأداة الناتجة عن الأنموذج المفاهيمي بمقارنتها مع الإجراءات النصف آلية في استخراج مؤشر MBU وأتت بنتائج متطابقة.

كما تضمنت الأداة MBU أربعة مُعاملات، احتوى الأول منها على إدخال الحزمة ذات الأشعة الحمراء بعنوان Input Red Band، بينما احتوى الثاني على إدخال الحزمة ذات الأشعة تحت الحمراء القريبة بعنوان Input NIR Band، أما المُعامل الثالث فقد احتوى على الحزمة ذات الأشعة تحت الحمراء المتوسطة بعنوان Input MIR Band،

واخيـراً تضـمن المُعامـل الرابـع علـى حفـظ المخرجـات فـي ذاكـرة الحاسـوب بعنـوان Output MBU Raster، ينظر الشكل (22) والملحقين (5–1) و(16).

الشكل (22): الأنموذج المفاهيمي والأداة المطورة الخاصة باستخراج مؤشر المباني المعدل MBU في برنامج ArcGIS Desktop 10.6.1



المصدر: عمل الباحث، اعتمادا على برنامج ArcGIS Desktop 10.6.1.

4-1-2-2 تطوير أداة للكشف عن تغير المؤشرات الطيفية

Develop a Tool to Detect the Change of Spectral Indices

بعدما اكتملت الأداة الخاصة باستخراج مؤشر MBU، شرعت الدراسة إلى تطوير أداة للكشف عن تغير المؤشرات الطيفية المتضمنة NDVI و MBU في برنامج ArcGIS Desktop 10.6.1، ذلك للأسباب الآتية:-

1- إن الكشف عن تغير المؤشرات الطيفية بطريقة اختلاف المرئيات Image Difference، سوف ينتج عنه مرئية بقيم رقمية مستمرة غير مُعرّفة (غير موصوفة)، محصورة بين (+2) و(−2) باستثناء أن اقتراب القيم من (+2) يدل على تغير كبير في قيم المؤشر بين مدتين زمنيتين بالزيادة، حتى يصل إلى تغير بأكبر زيادة عند القيمة (+2) تحديدا، واقتراب القيم من (−2) يدل على تغير قيم المؤشر بالنقصان، حتى يصل إلى تغير بأكبر نقصان عند القيمة (−2) تحديدا.

2- لا توجد أداة لحساب قيم المؤشرات (البيانات المستمرة) على نحو مُعرّف (موصوف) في برمجيات نظم المعلومات الجغرافية باستثناء عملية اختلاف المرئيات، على الرغم من وجودها في برمجيات الاستشعار عن بعد، كبرمجيات ENVI، ERDAS، ELWIS، على سبيل المثال لا الحصر.

3- إن الزيادة والنقصان في قيم المؤشرات المعتمدة في الدراسة تتطلب حساب مساحتها، ولا يمكن ذلك من دون إعادة تصنيفها وتعريفها ثم حساب مساحة كل صنف للشروع في المقارنة. وقد وجِدَ بأن أفضل تصنيف يمكن اعتماده في الكشف عن تغير المؤشرات بتقسيمها على 5 أصناف، ذلك بطريقة الفئات المتساوية Equal Intervals المتمحورة حول قيمة مركزية[1]، لكونها تتناسب مع طبيعة القيم الرقمية الناتجة عن اختلاف المرئيات للمؤشرات، كما في الجدول (4).

الجدول (4): تصنيف الكشف عن تغير المؤشرات الطيفية بين مدتين زمنيتين

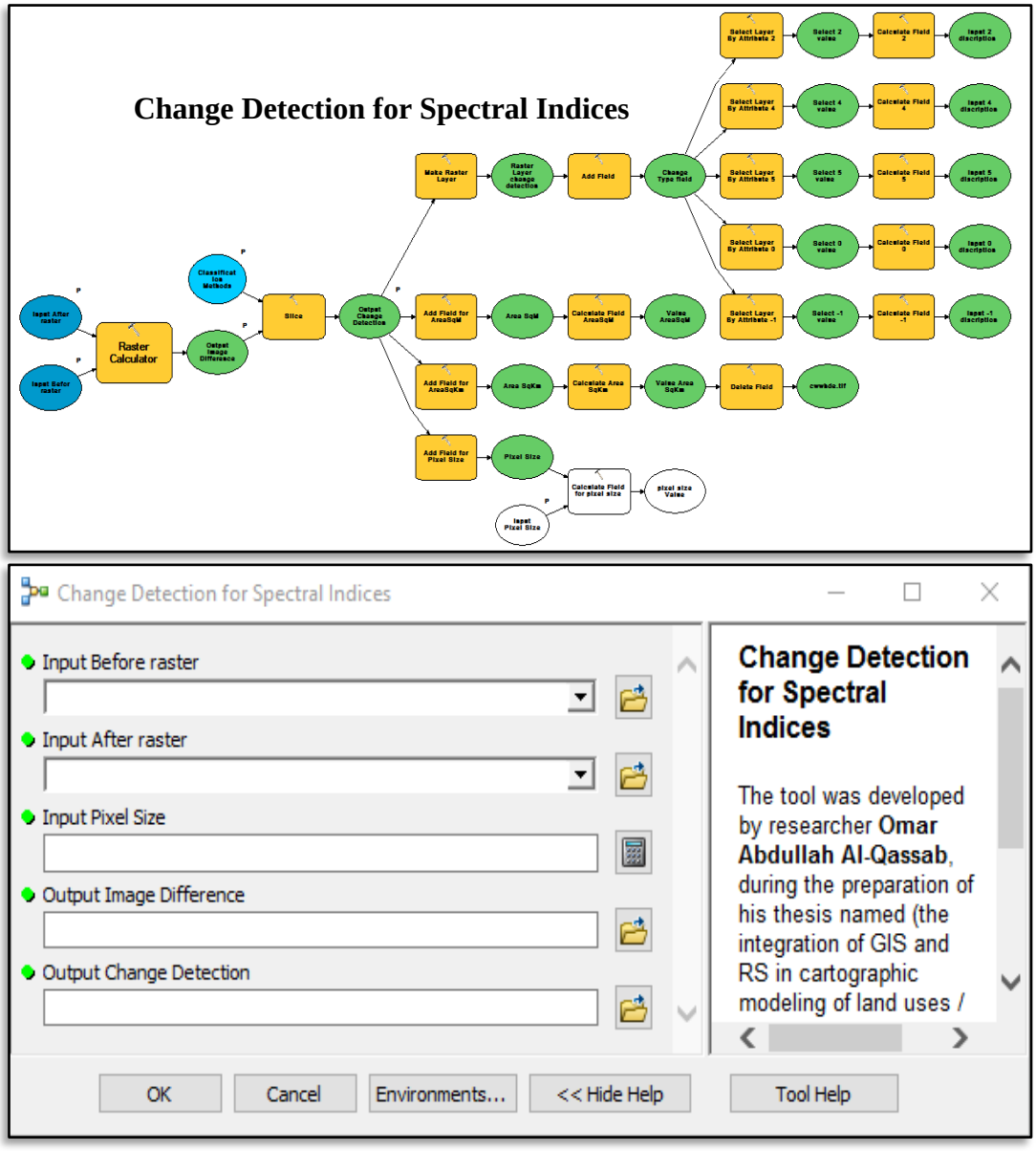
المدى الرقمي	الفئة الرقمية	الوصف
-2 = اقل قيمة	-2 - -1.000001	نقصان شديد
	-1 - -0.000001	نقصان طفيف
0 = القيمة الوسطى	0	عدم تغير
2 = أعلى قيمة	0.000001- 1	زيادة طفيفة
	1.000001 - 2	زيادة شديدة

المصدر: عمل الباحث.

(1) Time Ormsby, et al., Getting to Know ArcGIS, ESRI Press, California, USA, 2004, P. 131.

وبناء على ذلك، تضمن الأنموذج المفاهيمي مجموعة من الوظائف العامة في برنامج ArcGIS Desktop 10.6.1 المتسلسلة على نحو منطقي، في حين احتوت الأداة المطورة على 5 مُعاملات، تضمن المُعامل الأول إدخال المؤشر الطيفي في المدة السابقة تحت عنوان Input Before raster، اما المُعامل الثاني فتضمن إدخال المؤشر الطيفي في المدة اللاحقة تحت عنوان Input After raster، في حين أن المُعامل Input Pixel Size فيتضمن إدخال طول ضلع الوحدة الصورية بالمتر أي الدقة المكانية Spatial Resolution، بيد أن المُعاملين الاخيرين تضمنا حفظ المخرجات في ذاكرة الحاسوب، الأول تحت عنوان Output Image Difference من أجل الحصول على طبقة التغير ببيانات مستمرة محصورة بين (+2) و (−2)، والآخر تحت عنوان Output Change Detection من أجل الحصول على أنموذج خرائطي مُرمّز Symbolized لـ 5 مستويات من التغير بين مدتين يحددهما المستخدم، وتكون محفوظة في جدول البيانات الوصفية Attribute table الخاص بطبقة كشف التغير، مع الحساب الآلي لمساحة كل صنف بالمتر^2 والكم^2، وهذا يبرر وضع المُعامل Input Pixel Size مع المُعاملات الأُخرى في الأداة المطورة، فعند إدخال قيمة الدقة المكانية سوف تعمل الأداة على ضرب القيمة في نفسها للحصول على مساحة الوحدة الصورية بالمتر، ثم ضرب المساحة في عدد الوحدات الصورية في كل صنف للحصول على المساحة الكلية للصنف المعني بالمتر^2 في حقل خاص، ثم تقسيم مساحة الأصناف المحسوبة بالمتر^2 على 1000000 للحصول على مساحة الأصناف بالكم^2 كل ذلك يتم آلياً أثناء إخضاع المؤشرات الطيفية إلى عملية كشف التغير، مع الاشارة إلى إمكانية استخدام الأداة المطورة مع جميع المؤشرات الطيفية التي تحمل قيما محصورة بين (+1) و(−1)، وقد تم مقارنة عمل الأداة المطورة مع العمل النصف آلي في استخراج الكشف عن تغير المؤشرات الطيفية وأتت بنتائج متطابقة، ينظر الشكل (23) والملحقين (5−2) و(16).

الشكل (23): الأنموذج المفاهيمي والأداة المطورة الخاصة باستخراج كشف التغير للمؤشرات الطيفية Change Detection for Spectral Indices في برنامج ArcGIS Desktop 10.6.1

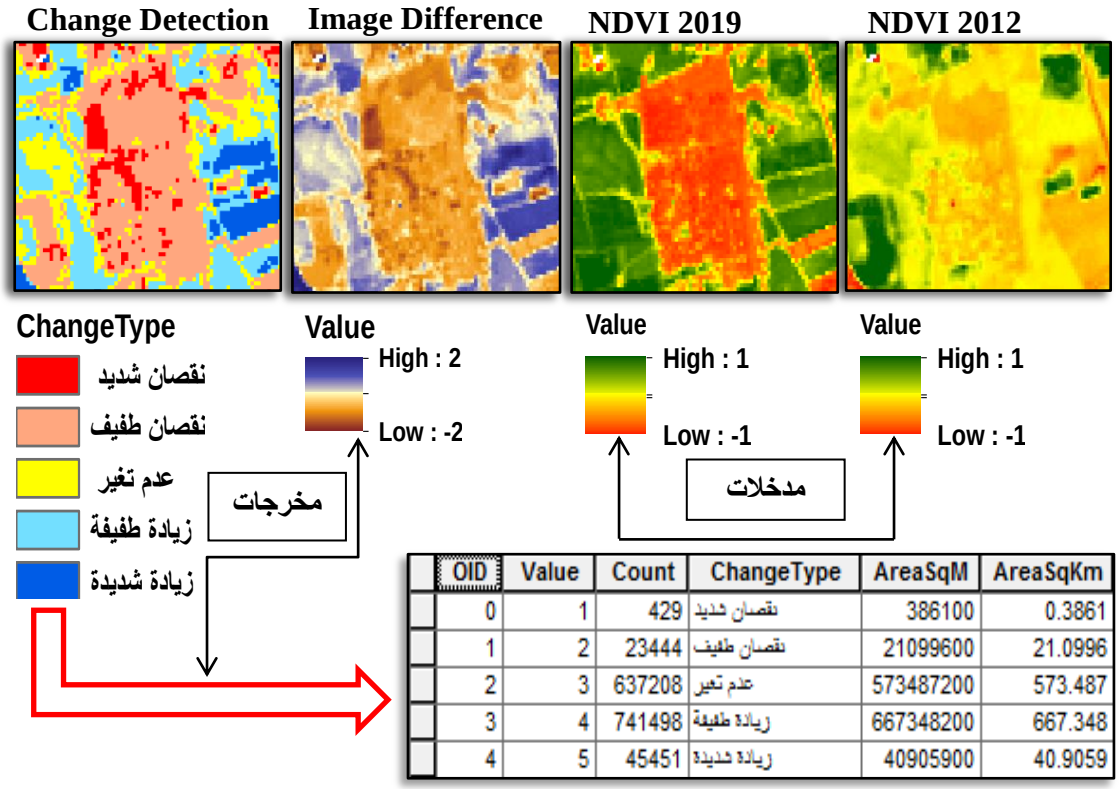


المصدر: عمل الباحث، اعتمادا على برنامج ArcGIS Desktop 10.6.1.

وبناء على ما سبق، فقد نتج عن الأدوات المطورة نماذج خرائطية ديناميكية للتغير في مؤشري NDVI و MBU بين الاعوام 2002، 2012، 2019 وللموسمين الزراعيين الشتوي والصيفي وهي تجسد التغير المكاني – الزماني في سلوك الغطاء النباتي الذي يعكس طبيعة الزراعة في المنطقة من جانب، وسلوك الأراضي المبنية كنتائج لتنفيذ مؤشر MBU الذي يعكس بدوره توسع الاستيطان البشري على حساب الأراضي الزراعية، فضلا عن أن مؤشر MBU بمثابة الصورة السلبية Negative Image لمؤشر NDVI ، بسبب تجسيده للأراضي القاحلة

بقيم عليا على عكس المؤشر NDVI. ينظر الشكل (24) والخرائط (7)، (8)، (9)، (10)، والملحق (6).

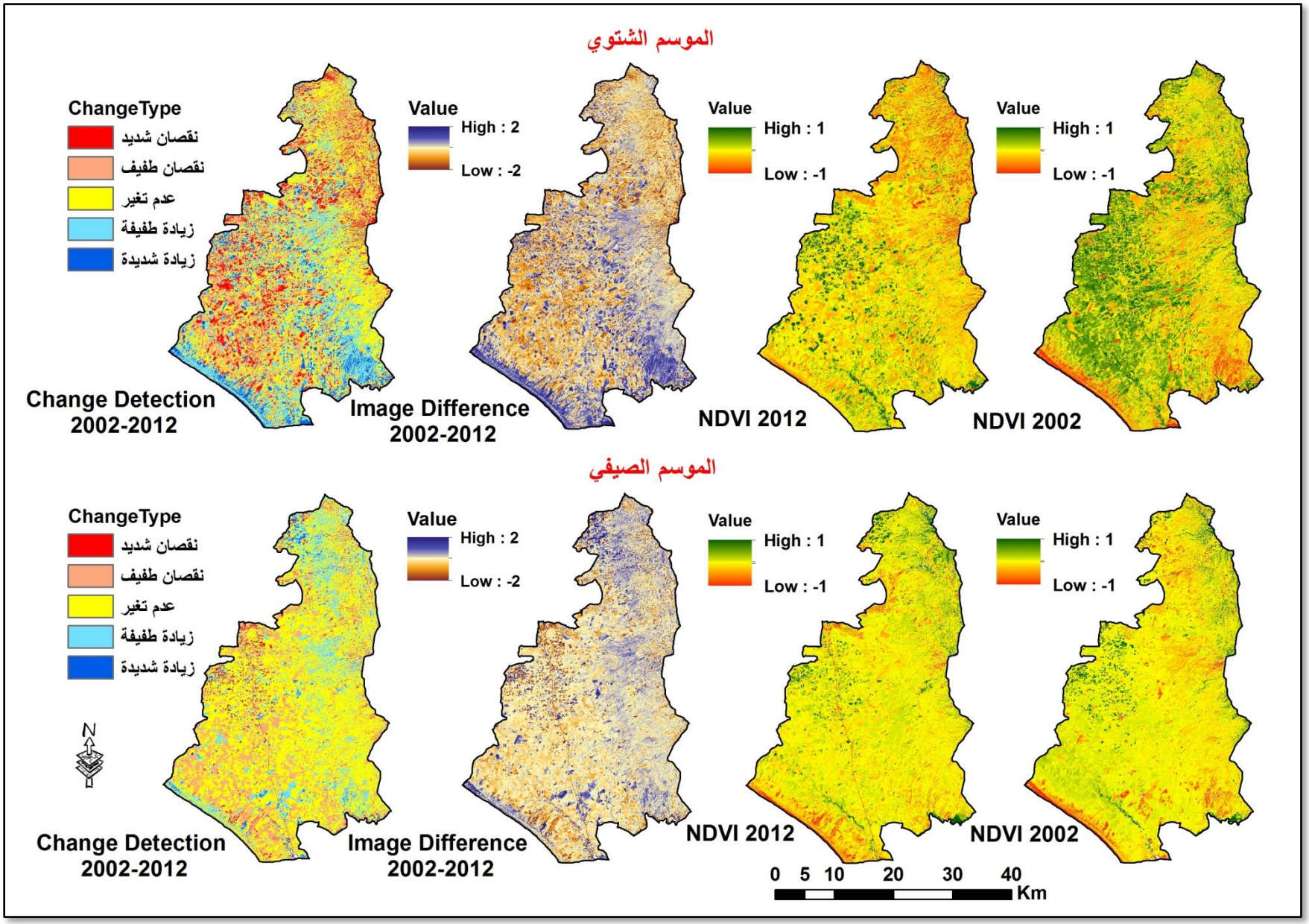
الشكل (24): أنموذج لمدخلات ومخرجات الأداة المطورة Change Detection for Spectral Indices في برنامج ArcGIS Desktop 10.6.1



OID	Value	Count	ChangeType	AreaSqM	AreaSqKm
0	1	429	نقصان شديد	386100	0.3861
1	2	23444	نقصان طفيف	21099600	21.0996
2	3	637208	عدم تغير	573487200	573.487
3	4	741498	زيادة طفيفة	667348200	667.348
4	5	45451	زيادة شديدة	40905900	40.9059

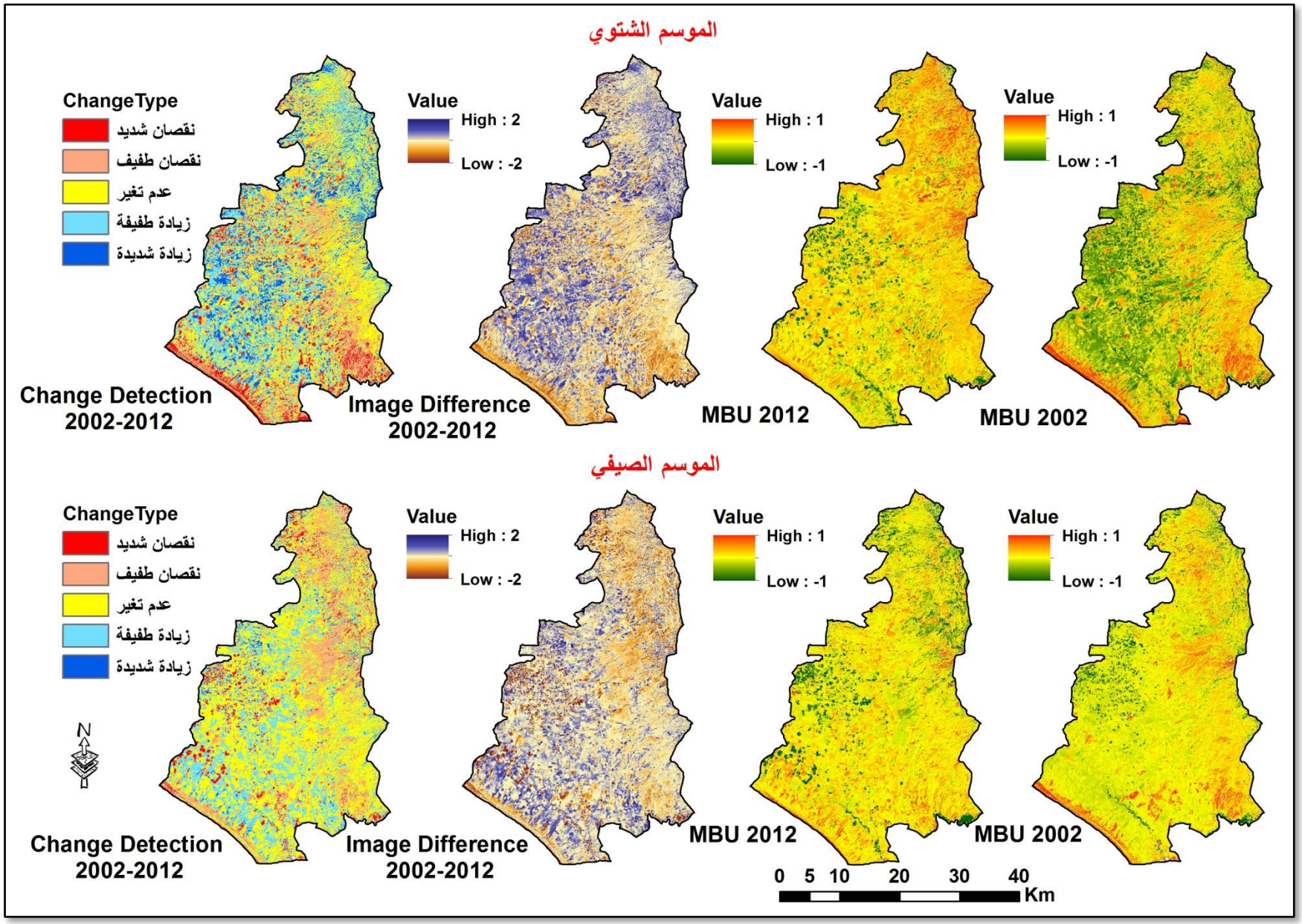
المصدر: عمل الباحث، اعتمادا على برنامج ArcGIS Desktop 10.6.1.

الخريطة (7): تغير مؤشر NDVI بين عامي 2002 – 2012 في قضاء سهل أربيل



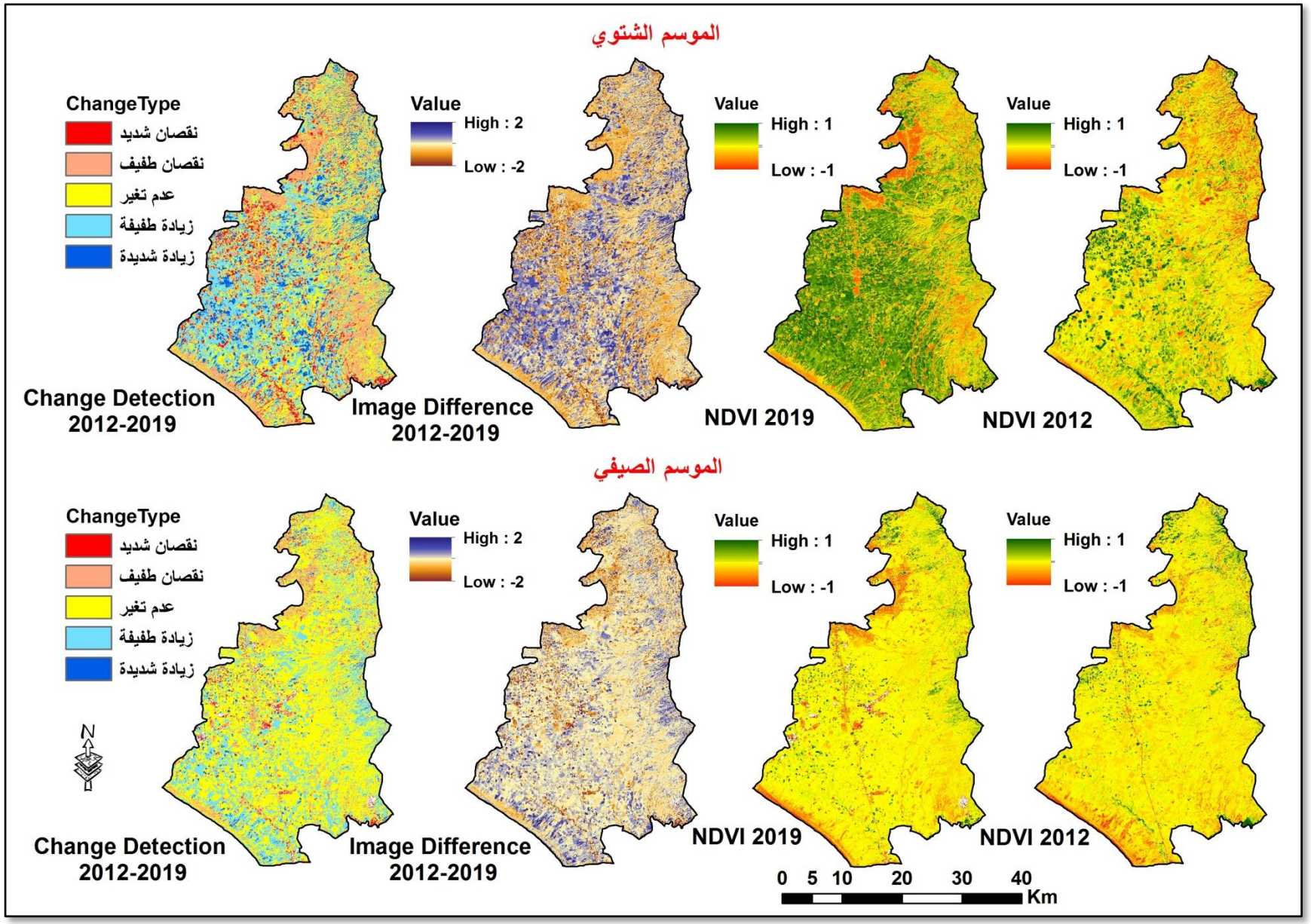
المصدر: عمل الباحث، اعتمادا على الأداة Change Detection for Spectral Indices المطورة في برنامج ArcGIS Desktop 10.6.1، ومرئيات Landsat 7.

الخريطة (8) تغير مؤشر MBU بين عامي 2002 – 2012 في قضاء سهل أربيل



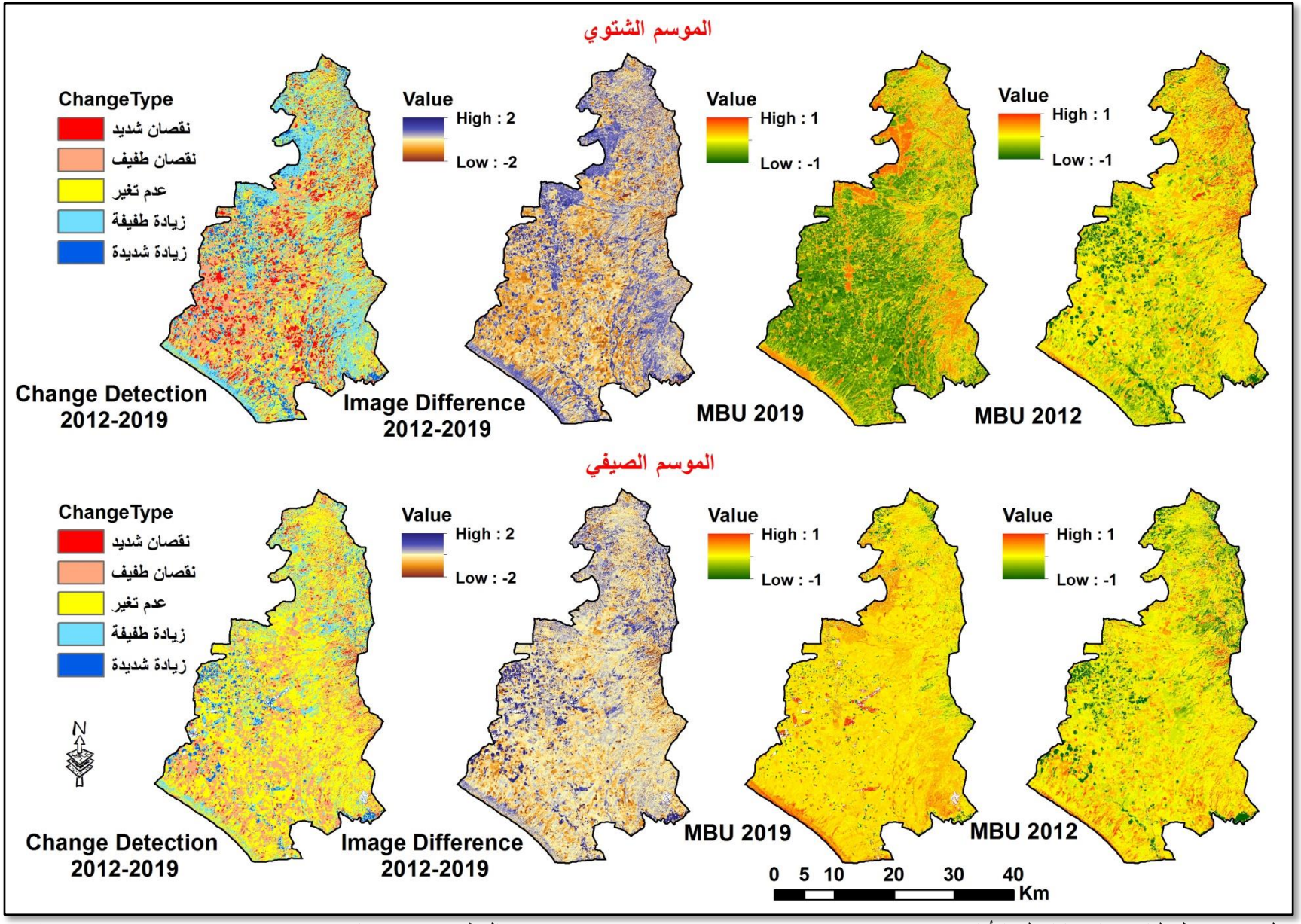
المصدر: عمل الباحث، اعتمادا على الأداتين MBU وChange Detection for Spectral Indices المطورتين في برنامج ArcGIS Desktop 10.6.1، ومرئيات Landsat 7 (ETM+).

الخريطة (9): تغير مؤشر NDVI بين عامي 2012 – 2019 في قضاء سهل أربيل



المصدر: عمل الباحث، اعتمادا على الأداة Change Detection for Spectral Indices المطورة في برنامج ArcGIS Desktop 10.6.1، ومرئيات Landsat 7 (ETM+) و Landsat 8 (OLI).

الخريطة (10): تغير مؤشر MBU بين عامي 2012 – 2019 في قضاء سهل أربيل



المصدر: عمل الباحث، اعتمادا على الأداتين MBU وChange Detection for Spectral Indices المطورتين في برنامج ArcGIS Desktop 10.6.1، ومرئيات Landsat 7 (ETM+) وLandsat 8 (OLI).

أظهرت النماذج الخرائطية لتغير مؤشري NDVI و MBU عبر الاعوام 2002، 2012، 2019، وللموسمين الزراعيين الشتوي والصيفي ما يأتي: -

1- جسدت النماذج الخرائطية في تغير مؤشري NDVI و MBU تناقصاً واضحاً في الغطاء النباتي مع زيادة واضحة في الأراضي القاحلة والأبنية بين عامي 2002 و2012 للموسمين الشتوي والصيفي، وكان التغير في الموسم الشتوي أكبر من الموسم الصيفي. لكون مساحة الأراضي غير المتغيرة في قيمة NDVI للموسم الشتوي قد بلغت 445.3 كم^2 بنسبة 34.1%، وهي أقل من الموسم الصيفي الذي سجل عدم تغير بمساحة مقدارها 750.07 كم^2 وبنسبة 57.4%، إذ يعود السبب إلى أن الزراعة الشتوية تعتمد على مياه الأمطار (الديم) وهي تمتاز بالتذبذب مقارنة بالمحاصيل الصيفية التي تعتمد على مياه الآبار في القضاء ومن ثم هي أقل تذبذبا، وعلى الجانب الآخر فإن السبب في تناقص قيمة NDVI في عام 2002 مقارنة بعام 2012 يعود إلى وجود نشاط في الزراعة عام 2002 بسبب الحصار الاقتصادي على العراق آنذاك، ومن ثم الاعتماد على الإنتاج المحلي في الزراعة من حبوب وخضراوات لسد حاجة السوق، يقابله انحسار في النشاط الزراعي عام 2012 بسبب تحسن المستوى المعيشي في العراق عامة وإقليم كوردستان خاصة بعد زوال الحصار الاقتصادي، وتوجه الكثير من المزارعين نحو أعمال أخرى بدلا من الزراعة، فضلاً عن الاعتماد على استيراد الحبوب والخضراوات من خارج البلد بأسعار تنافس الإنتاج المحلي، كذلك الحال بالنسبة للنقصان الشديد والطفيف في مؤشر NDVI يقابله زيادة شديدة وطفيفة في مؤشر MBU اللذين سجلا في الموسم الشتوي نسبة أعلى من الموسم الصيفي للأسباب ذاتها، كما إن الزيادة في قيمة مؤشر MBU في الأجزاء الشمالية الغربية من القضاء، يقابله نقصان في قيمة مؤشر NDVI يعود إلى زحف أراضي الاستيطان البشري، سواء كان ذلك استيطان ريفي أم أراضٍ حضرية على حساب الأراضي الزراعية نتيجة للتوسع المساحي الحضري لمراكز النواحي، فضلا عن توسع الاستيطان الريفي بفعل الزيادة السكانية.

2- هناك تغير في مؤشري NDVI و MBU بين عامي 2012 و2019 للموسمين الشتوي والصيفي كما جسدته النماذج الخرائطية لتغير المؤشرات، إذ أظهر التغير نحو زيادة الغطاء النباتي في الموسم الشتوي أعلى منه في الموسم الصيفي بسبب زيادة معدلات الأمطار التي شهدها العراق عام 2019، مما أدى بدوره إلى زيادة الإنتاج الزراعي في قضاء سهل أربيل، وهذا ما تثبته مساحة عدم التغير في قيم NDVI للموسم الشتوي البالغة 381.5 كم^2 وبنسبة 29.2% مقابل 772.4 كم^2 وبنسبة 59.1%، كما سجلت الزيادة الشديد في قيمة NDVI نحو 135.311 كم^2 وبنسبة 10.3% من مجمل مساحة المنطقة، يقابلها نقصان شديد في

قيمة مؤشر MBU نحو 142.2 كم^2 وبنسبة 10.8% من مجمل مساحة القضاء. مما يدل على عودة النشاط الزراعي إلى سابق عهده بسبب الركود الاقتصادي الذي ساد إقليم كوردستان بين عامي 2015 و2017 إثر العمليات العسكرية على الارهاب، وهذا دفع الكثيرين نحو الرجوع إلى مهنة الزراعة ومن ثم زيادة مساحة الأراضي المزروعة في القضاء. وعلى الجانب الآخر فإن ظهور زيادة طفيفة وشديدة في قيم MBU يناظره ظهور نقصان طفيف وشديد في قيم NDVI عند الجزء الشمالي الغربي من القضاء، يعود إلى استمرار اتساع اراضي الاستيطان البشري على حساب الأراضي الزراعية، ينظر الملحق (6).

3- على الرغم من قدرة النماذج الخرائطية للكشف عن تغير المؤشرات الطيفية في تفسير بعض الحقائق إلا أن هناك الكثير من الأسئلة المكانية الأكثر تفصيلا التي لابد أن تجيب عليها النمذجة الخرائطية للكشف عن تغير استعمالات الأرض بوصفها نماذج ديناميكية، بغية الحصول على تفسيرات أكثر موضوعية، على النحو الآتي:-

أ. ما هو الاستعمال الذي تحول إلى استعمال آخر في وقت لاحق؟، وكيف توزع هذا التحول على قضاء سهل أربيل؟.

ب. ماهي المساحة الكلية لاستعمال ما في مدة سابقة ولاحقة؟، وكيف تغيرت ذات المساحة بالزيادة أم النقصان ؟.

ج. أين تقع النزعة المكانية Spatial Trends (الميل المكاني) لتغير جميع الاستعمالات نحو استعمال ما؟.

وهذه الإجابات لا يمكن الحصول عليها إلا إذا تمت نمذجة التغير في استعمالات الأرض خرائطيا بطريقة مقارنة تصنيف مع تصنيف آخر.

2-2-2 طريقة مقارنة تصنيف مع تصنيف Change Detection

إن مقارنة مؤشر طيفي مع آخر في الكشف عن التغير يكتنفه نوع من التعميم مقارنة في اعتماد خريطة لاستعمالات أرض مع أخرى. إذ إن السبب الجوهري في ذلك، يعود إلى استخدام مقياس كمي مستمر مع ظاهرة ذات طابع منفصل كاستعمالات الأرض، وعلى الرغم من الشروع في تطوير أداة للكشف عن تغير المؤشرات الطيفية ونجاح الأداة في ذلك، إلا أن النماذج الخرائطية لم تكن تفصيلية في الكشف عن تغير استعمالات الأرض، فالمؤشرات الطيفية لا يمكنها فصل الاستعمالات لكي يُعرف ما الاستعمال الذي تغير بالضبط، تبعا لذلك شرعت الدراسة إلى النمذجة الخرائطية لتغير أصناف استعمالات الأرض في قضاء سهل أربيل اعتمادا

على برنامج فرعي من برنامج الـ Idrisi Selva 17.0[*] يدعى بمُنمذِج تغير الأرض من أجل التنمية البيئية (الايكولوجية) المستدامة Land Change Modeler for Ecological Sustainability، وهو يعد نظاما مبتكرًا لتخطيط الأراضي، فضلا عن تبسيطه لتعقيدات تحليل التغيير، مع الاشارة إلى أن هناك الكثير من التطبيقات في برمجيات أخرى تقوم بعمل مشابه في الكشف عن التغير، إلا أنها تفتقر إلى المرونة في تطوير نماذج خرائطية لتجسيد الكشف عن التغير مقارنة ببرنامج Idrisi Selva 17.0، منها تطبيق Change detection في برنامج الـ ERDAS، تطبيق Change Detection Aggregate في برنامج ILWIS، و Change Detection Statistics في برنامج ENVI الذي اعتمدته الدراسة أيضاً في استخراج المصفوفات العددية للتغير في استعمالات الأرض التي تناظر السلاسل الخرائطية Serious Maps المنمذجة في برنامج Idrisi Selva 17.0، لكون الأخير لا يدعم المصفوفات العددية.

2-2-2-1 خرائط التغير في استعمالات الأرض Maps of landuse Change

تتطلب النمذجة الخرائطية لتغير استعمالات الأرض معرفة عدد أصناف الاستعمالات على الخرائط بين مدتين زمنيتين، إذ إن عدد الفئات الخاصة بالتغير تساوي حاصل ضرب عدد الفئات في الخريطة السابقة وعدد الفئات في الخريطة اللاحقة مما ينتج عن ذلك عددٌ كبيرٌ من الأصناف، وهذا لا يتوافق مع أدبيات التمثيل الخرائطي، بمعنى آخر إن عدد أصناف استعمالات الأرض في هذه الدراسة هو سبعة أصناف، وعند تطبيق كشف التغير على خريطتين بمدتين زمنيتين، فهذا يعني ضرب السبعة أصناف في سبعة ليتمخض عن ذلك 49 صنفا، كل صنف يجسد حالة من حالات كشف التغير. إن هذا العدد من الأصناف في خريطة موضوعية لا يتوافق مع أدبيات التمثيل الخرائطي التي وضعها Dent، التي تنص على ان يكون الحد الأعلى للفئات في الخرائط الموضوعية لا يتجاوز الـ 11 فئة[1].

ومن أجل تجاوز مشكلة عدم التوافق بين النمذجة الخرائطية والتمثيل الخرائطي، تم فصل استعمالات الأرض التي تغيرت إلى استعمال ما في خريطة واحدة، ثم إلى الاستعمال الثاني في خريطة اخرى وهكذا، وبذلك كانت النمذجة عبارة عن سلسلة خرائطية في مشهد واحد يدعم المقارنة والتفسير، وكذلك الحال بالنسبة لخرائط الزيادة والنقصان وخرائط النزعة المكانية للتغير في استعمالات الأرض التي ستعرض لاحقا. ينظر الخرائط (11)، (12)، (13)، (14)، والملحق (7).

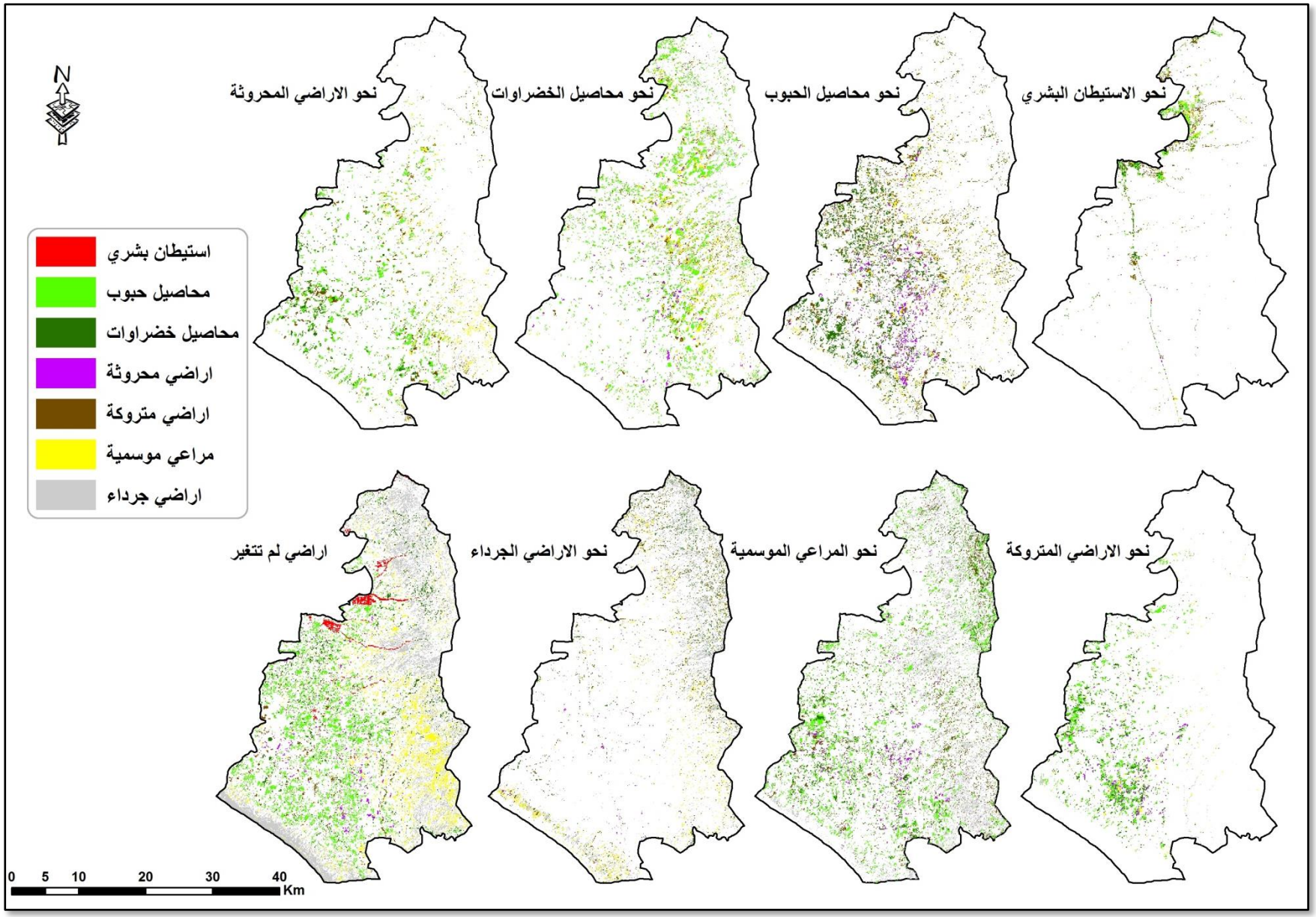
(*) برنامج الـ Idrisi Selva 17.0 هو أحد برمجيات نظم المعلومات الجغرافية التي لديها القدرة على معالجة البيانات الخلوية، وهو يحتوي على أدوات تسهم في تخطيط الأراضي وتحليل المخاطر، فضلا عن احتواءه على الكثير من أدوات الإحصاء والنمذجة المكانية. طور البرنامج من لدن فريق عمل جغرافي من جامعة كلارك الأمريكية.

للتفاصيل ينظر:

Idrisi Selva 17.0 software help, Clark University, Clark lap, Massachusetts, New England, USA, 2012.

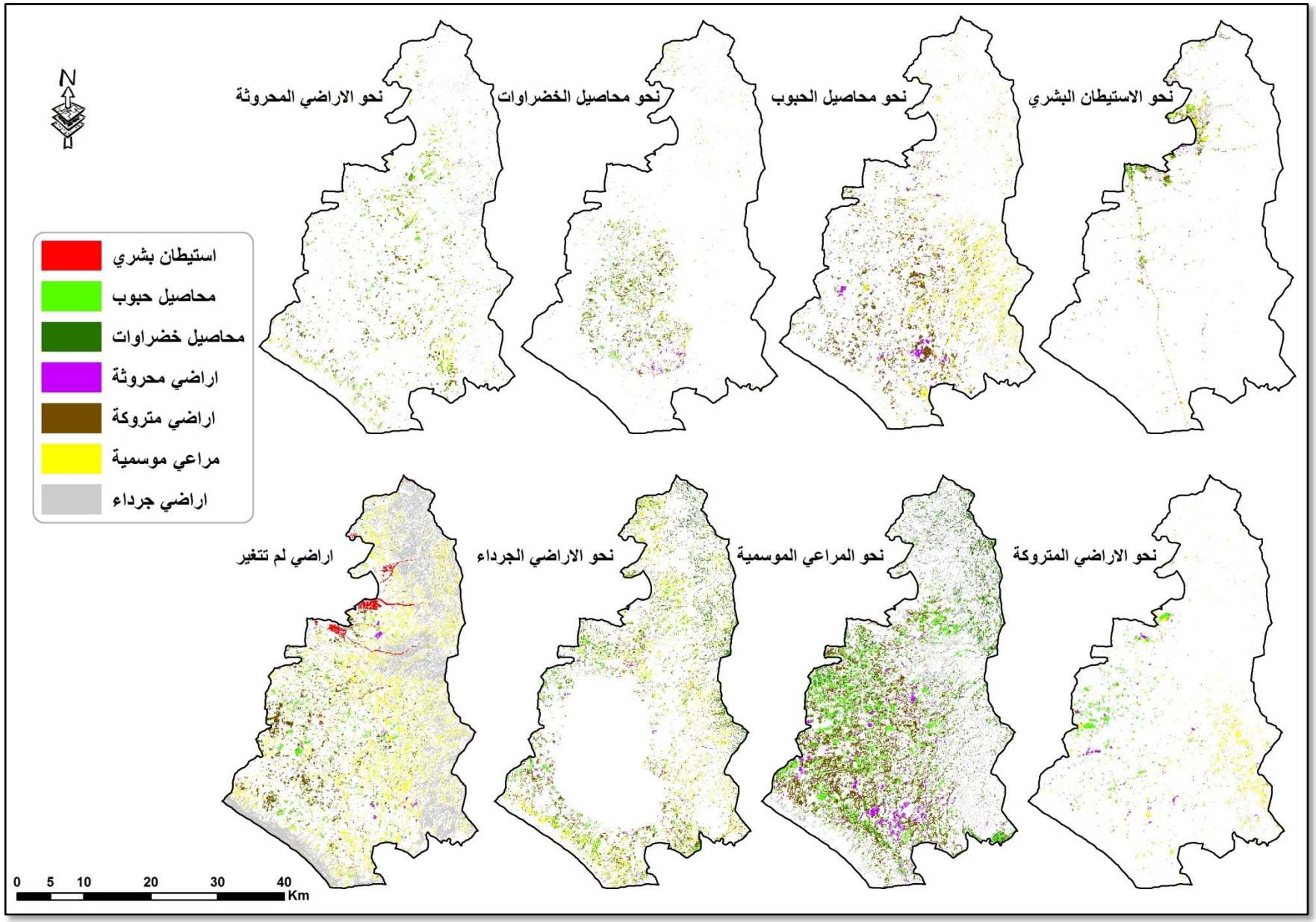
(1) Borden D. Dent, Cartography Thematic Map Design, Fifth Edition, McGraw-Hill, Boston, USA, 1999, p.143.

الخريطة (11): تغير استعمالات الأرض للموسم الشتوي في قضاء سهل أربيل بين عامي 2002 - 2012



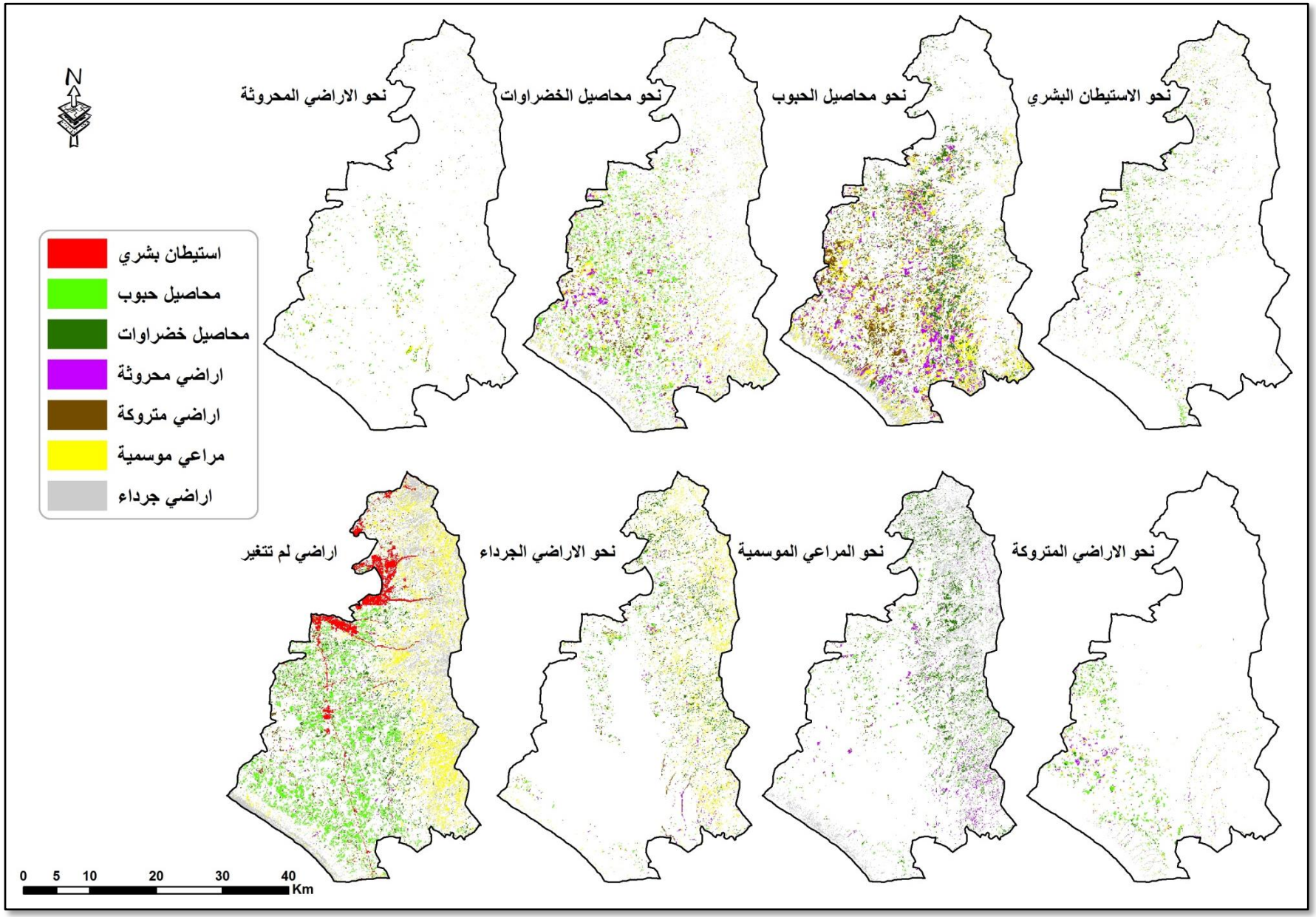
المصدر: عمل الباحث، اعتمادا على برنامجي Idrisi Selva 17.0 وArcGIS Desktop 10.6.1، والخريطتين (4) و(5).

الخريطة (12): تغير استعمالات الأرض للموسم الصيفي في قضاء سهل أربيل بين عامي 2002 - 2012



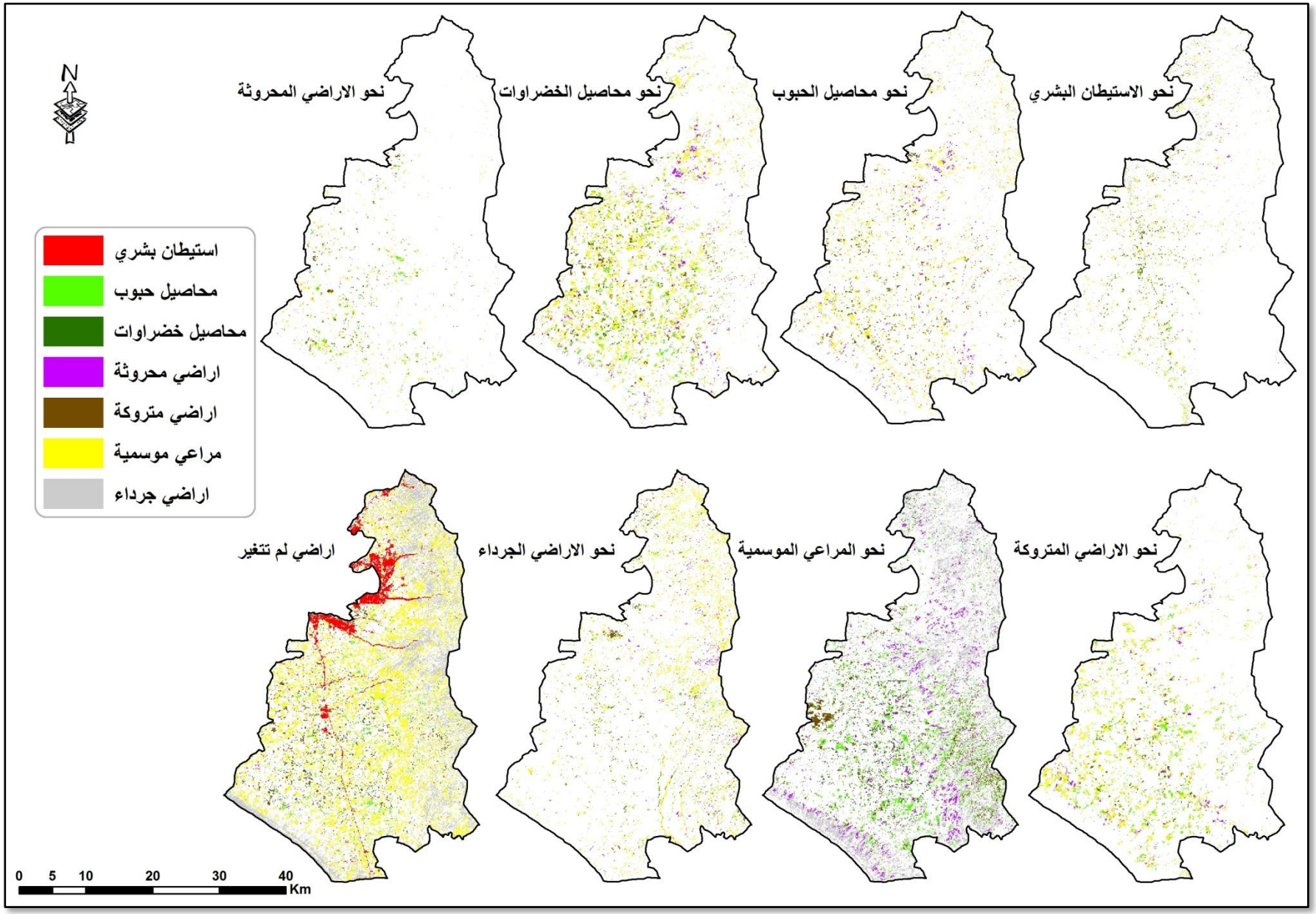
المصدر: عمل الباحث، اعتمادا على برنامجي Idrisi Selva 17.0 وArcGIS Desktop 10.6.1، والخريطتين (4) و(5).

الخريطة (13): تغير استعمالات الأرض للموسم الشتوي في قضاء سهل أربيل بين عامي 2012 - 2019



المصدر: عمل الباحث، اعتمادا على برنامجي Idrisi Selva 17.0 وArcGIS Desktop 10.6.1، والخريطتين (5) و(6).

الخريطة (14) تغير استعمالات الأرض للموسم الصيفي في قضاء سهل أربيل بين عامي 2012 - 2019



المصدر: عمل الباحث، اعتمادا على برنامجي Idrisi Selva 17.0 وArcGIS Desktop 10.6.1، والخريطتين (5) و(6).

2-2-2-2 خرائط الزيادة والنقصان في تغير استعمالات الأرض

Maps of Increase and Decrease in Landuse Change

إن التغير في استعمالات الأرض يمثل حركة الاستعمالات عبر الزمن (البعد الرابع)، هذه الحركة مدفوعة بزيادة أو نقصان مساحة كل استعمال. إن الاعتماد على جداول اختلاف المساحات في استعمالات الأرض قد يمنح الجغرافي تصورا عن التغير، من حيث طرح مساحة المدة السابقة من اللاحقة من أجل الحصول على أحد الأمرين، أما زيادة كلية ام نقصان كلي. في حين إن النمذجة الخرائطية للزيادة والنقصان في استعمالات الأرض لها مردودات جغرافية عدة، يمثل المردود الأول في معرفة المساحة غير المتغيرة في الاستعمال الذي يمكن ان يعطي مؤشراً على مدى ديناميكية تغير الاستعمال الأرضي بمقارنتها مع مساحة ذات الاستعمال التي تحولت إلى استعمالات أخرى، في حين يمثل المردود الثاني في معرفة مقدار الزيادة والنقصان في الاستعمال الأرضي مكانيا، فبمقارنة الزيادة بالنقصان يمكن معرفة مدى توسع أم تقلص الاستعمال الأرضي مساحيا، وفي الوقت ذاته فإن الزيادة والنقصان وعدم التغير معا، يعطي مردودا آخر يتمثل في تصور حركة أو زحف الاستعمال الأرضي مكانيا عبر الزمن، ينظر الجدولان (5) و(6) والخرائط (15)، (16)، (17)، (18)، والملحق (8).

الجدول (5): تغير مساحة استعمالات الأرض في قضاء سهل أربيل للموسم الشتوي بين الاعوام 2002، 2012، 2019

نوع الاستعمال	2002		2012		2019	
	المساحة بالكم^2	النسبة%	المساحة بالكم^2	النسبة%	المساحة بالكم^2	النسبة%
استيطان بشري	14.48	1.11	50.24	3.85	97.40	7.46
محاصيل حبوب	414.54	31.76	262.56	20.11	430.26	32.96
محاصيل خضراوات	203.08	15.56	209.68	16.06	220.72	16.91
اراضي محروثة	49.26	3.77	117.00	8.96	28.20	2.16
اراضي متروكة	158.57	12.15	86.99	6.66	47.30	3.62
مراعي موسمية	165.98	12.72	320.48	24.55	274.47	21.03
اراضي جرداء	299.38	22.94	258.35	19.79	206.96	15.86
كامل القضاء	1305.3	100	1305.3	100	1305.3	100

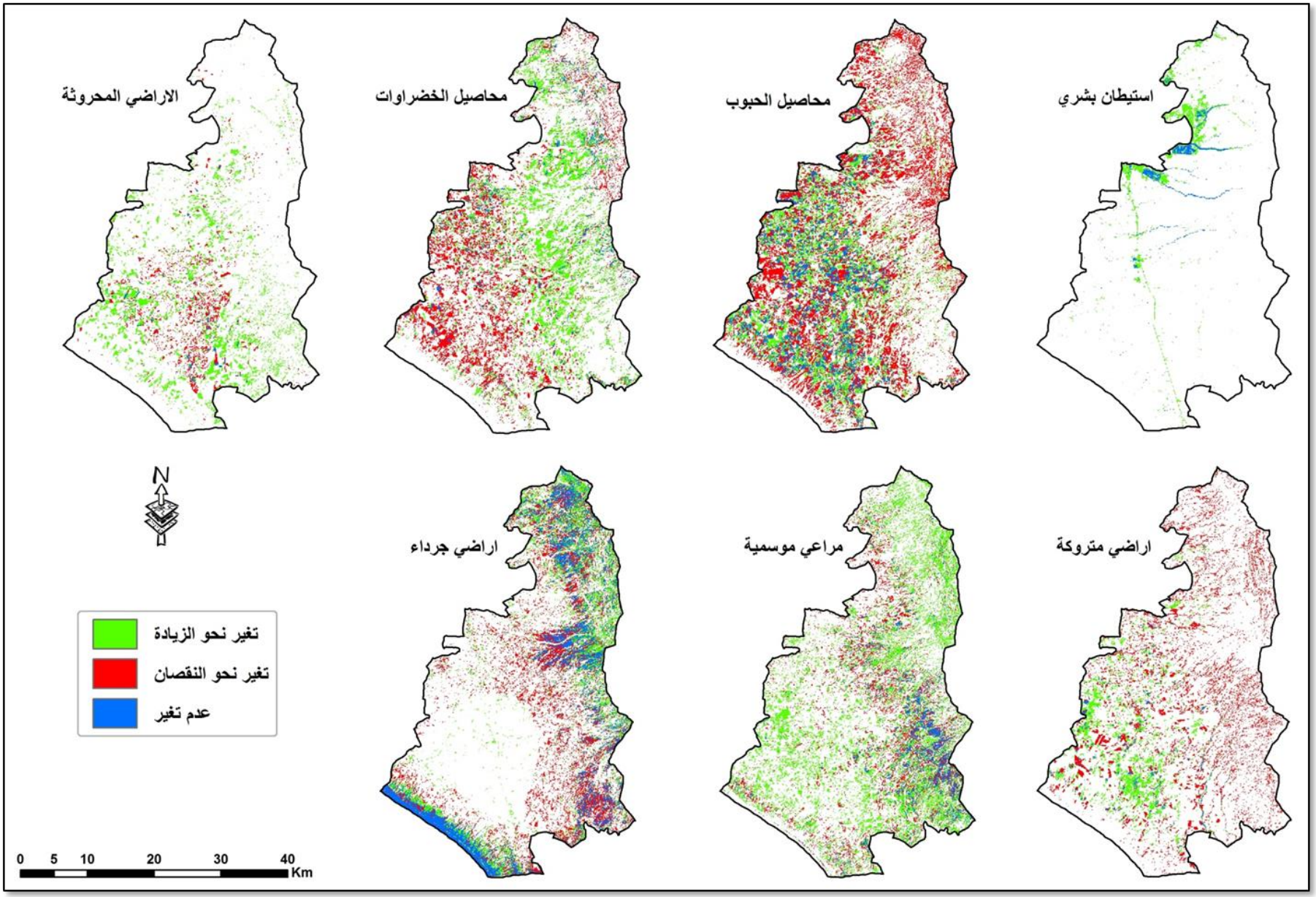
المصدر: عمل الباحث، اعتمادا على الخرائط (4)، (5) و(6).

الجدول (6): تغير مساحة استعمالات الأرض في قضاء سهل أربيل للموسم الصيفي بين الاعوام 2002، 2012، 2019

نوع الاستعمال	2002		2012		2019	
	المساحة بالكم^2	النسبة%	المساحة بالكم^2	النسبة%	المساحة بالكم^2	النسبة%
استيطان بشري	14.48	1.11	50.24	3.85	97.40	7.46
محاصيل حبوب	210.37	16.12	144.50	11.07	105.61	8.09
محاصيل خضراوات	95.33	7.30	50.97	3.90	164.92	12.63
اراضي محروثة	55.51	4.25	75.98	5.82	29.80	2.28
اراضي متروكة	305.01	23.37	89.18	6.83	120.86	9.26
مراعي موسمية	276.96	21.22	517.03	39.61	553.38	42.39
اراضي جرداء	347.64	26.63	377.41	28.91	233.34	17.88
كامل القضاء	1305.3	100	1305.3	100	1305.3	100

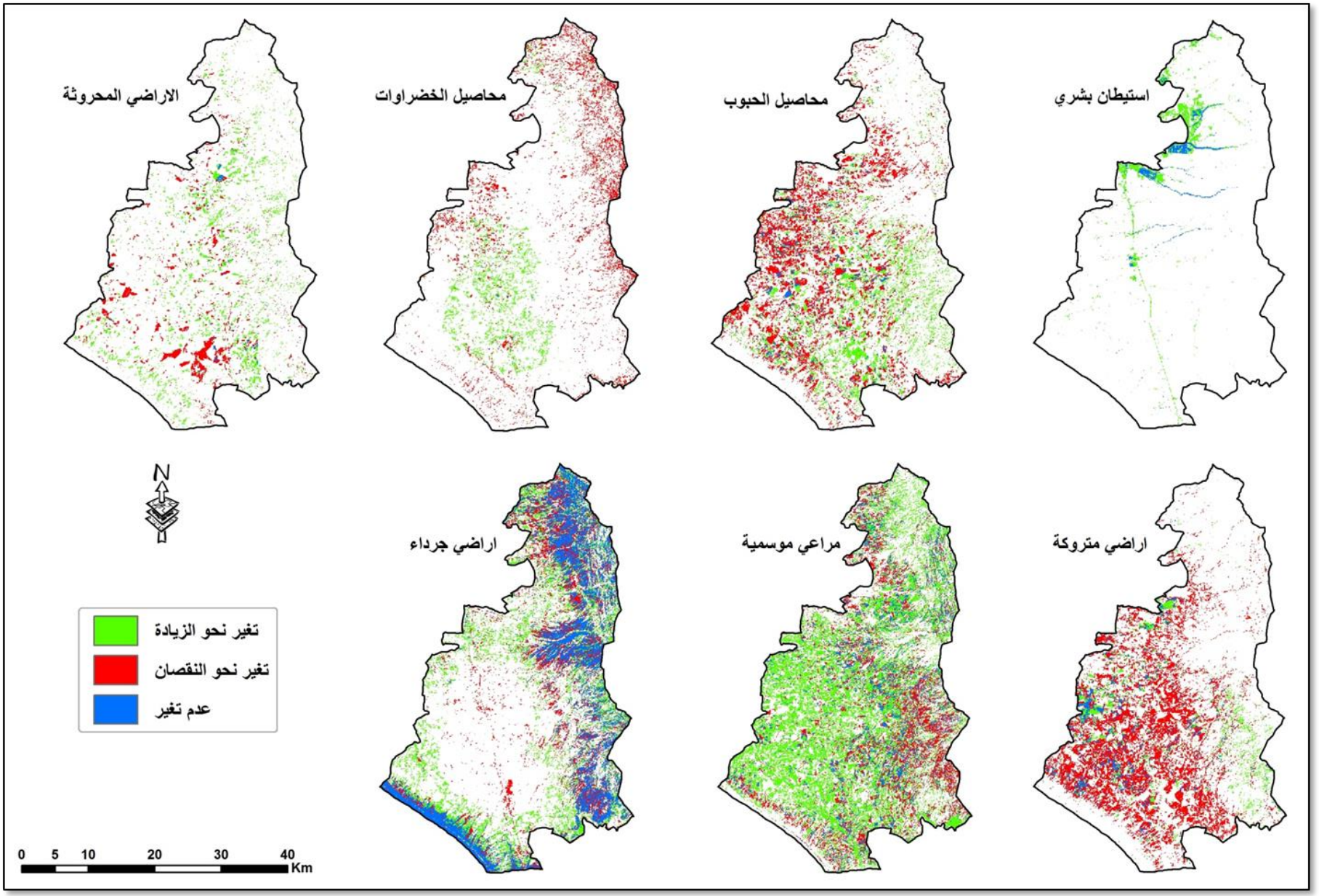
المصدر: عمل الباحث، اعتمادا على الخرائط (4)، (5) و(6).

الخريطة (15): الزيادة والنقصان في تغير استعمالات الأرض للموسم الشتوي في قضاء سهل أربيل بين عامي 2002 - 2012



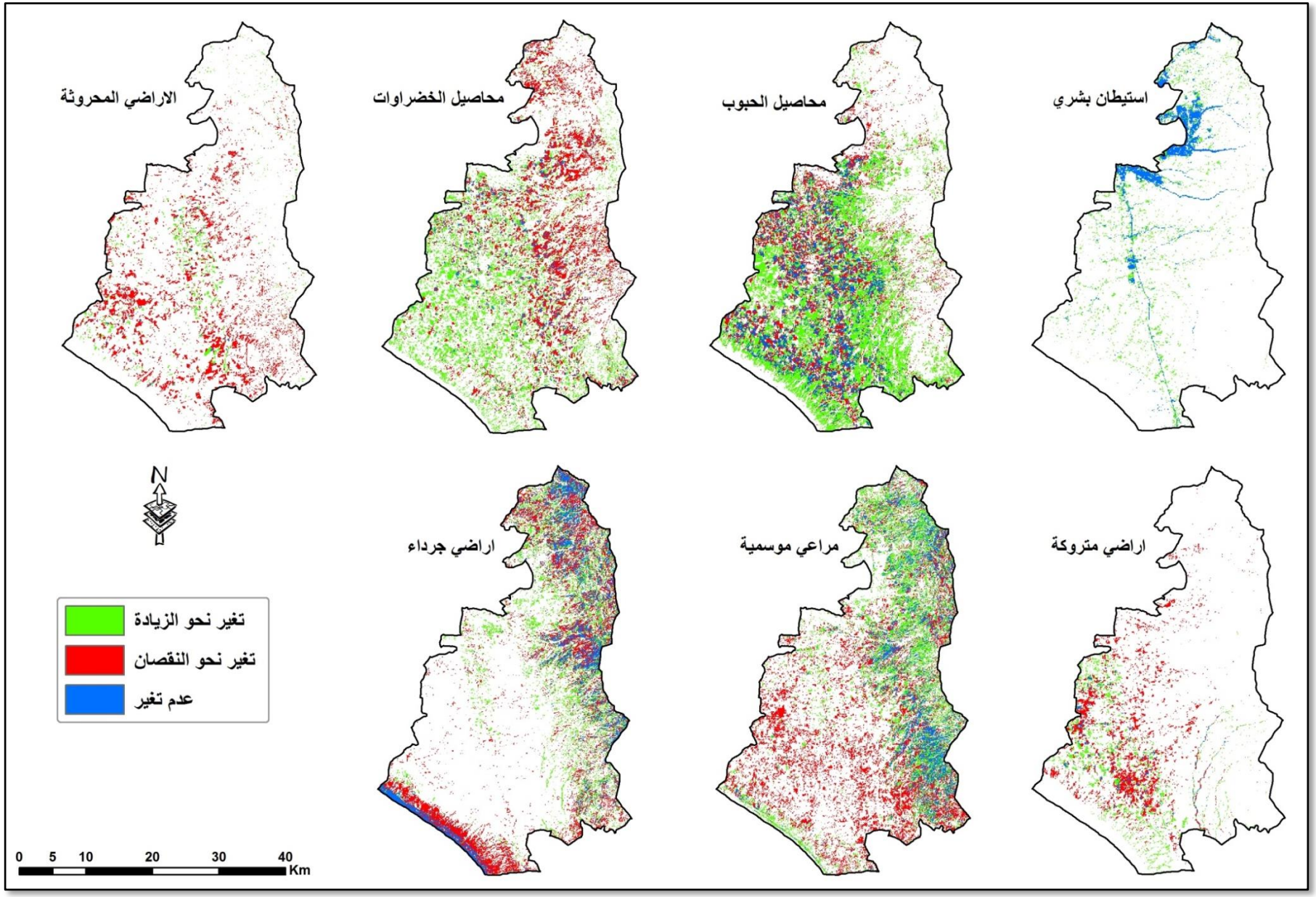
المصدر: عمل الباحث، اعتمادا على برنامجي Idrisi Selva 17.0 وArcGIS Desktop 10.6.1، والخريطتين (4) و(5).

الخريطة (16): الزيادة والنقصان في تغير استعمالات الأرض للموسم الصيفي في قضاء سهل أربيل بين عامي 2002 - 2012



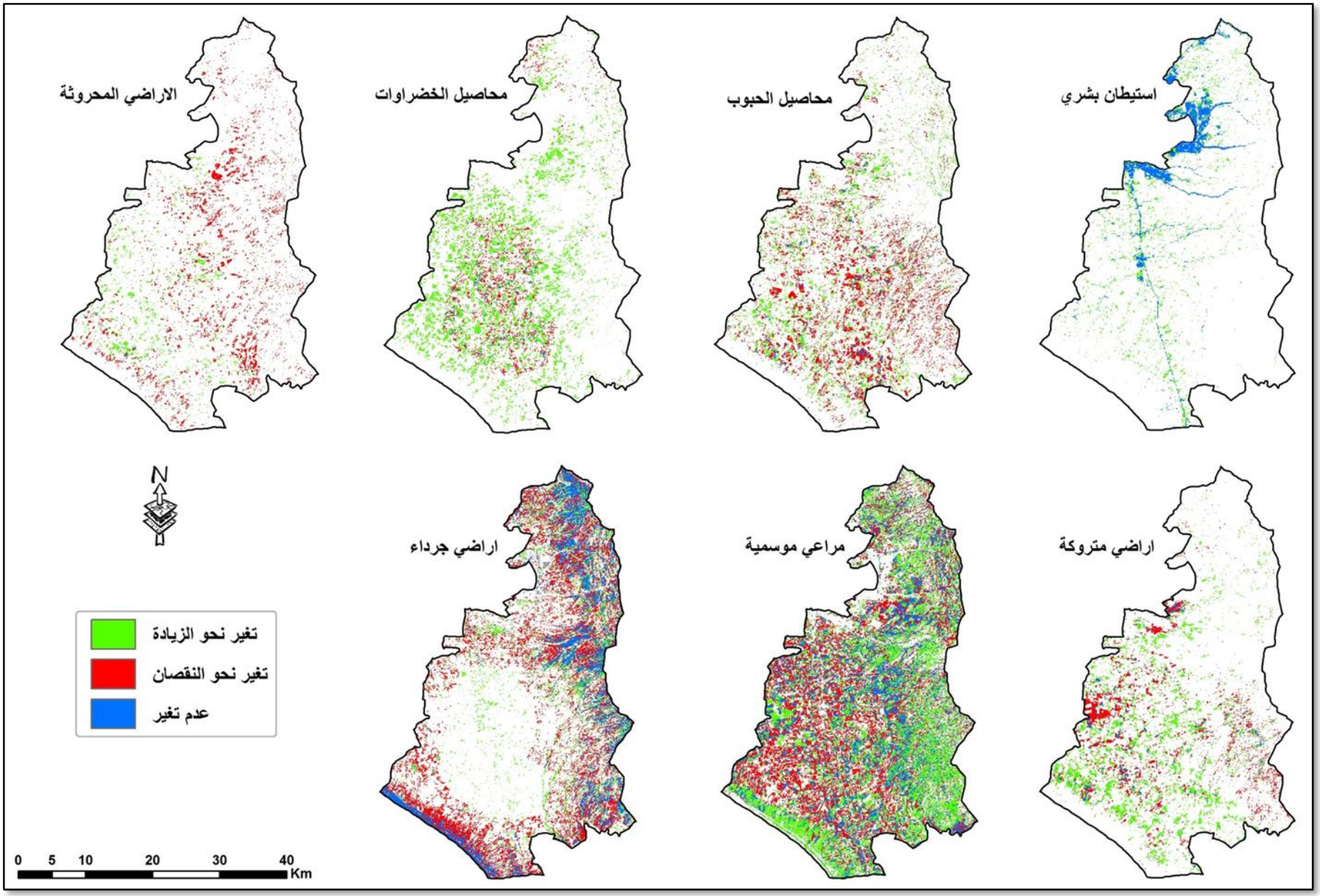
المصدر: عمل الباحث، اعتمادا على برنامجي Idrisi Selva 17.0 وArcGIS Desktop 10.6.1، والخريطتين (4) و(5).

الخريطة (17): الزيادة والنقصان في تغير استعمالات الأرض للموسم الشتوي في قضاء سهل أربيل بين عامي 2012 - 2019



المصدر: عمل الباحث، اعتمادا على برنامجي Idrisi Selva 17.0 وArcGIS Desktop 10.6.1، والخريطتين (5) و(6).

الخريطة (18): الزيادة والنقصان في تغير استعمالات الأرض للموسم الصيفي في قضاء سهل أربيل بين عامي 2012 - 2019



المصدر: عمل الباحث، اعتمادا على برنامجي Idrisi Selva 17.0 وArcGIS Desktop 10.6.1، والخريطتين (5) و(6).

2-2-2-3 خرائط النزعة المكانية لتغير استعمالات الأرض

Maps of Spatial Trends to change landuse

يقصد بخرائط النزعة المكانية للتغير، هو نمذجة الميل أو التوجه المكاني Spatial Trends لتغير جميع استعمالات الأرض إلى استعمال ما على سطح الخريطة، وتتم النمذجة إحصائيا بتشفير أصناف استعمالات الأرض إلى قيم رقمية محصورة بين الـ (1-) عدم التغير والـ (1) التغير التام، وما بينهما تدرجات بالتغير[1]، هذا التدرج يُظهِر تعميماً لنمط التغير في استعمالات الأرض، مع الأخذ بنظر الاعتبار أن القيم الرقمية المشفرة عن أصناف استعمالات الأرض لا تحتوي على أية أهمية خاصة في حد ذاتها بقدر الاشارة إلى المناطق التي تحتوي على نزعة اكبر في التغير نحو استعمال ما، ونزعة اقل، وهكذا[2].

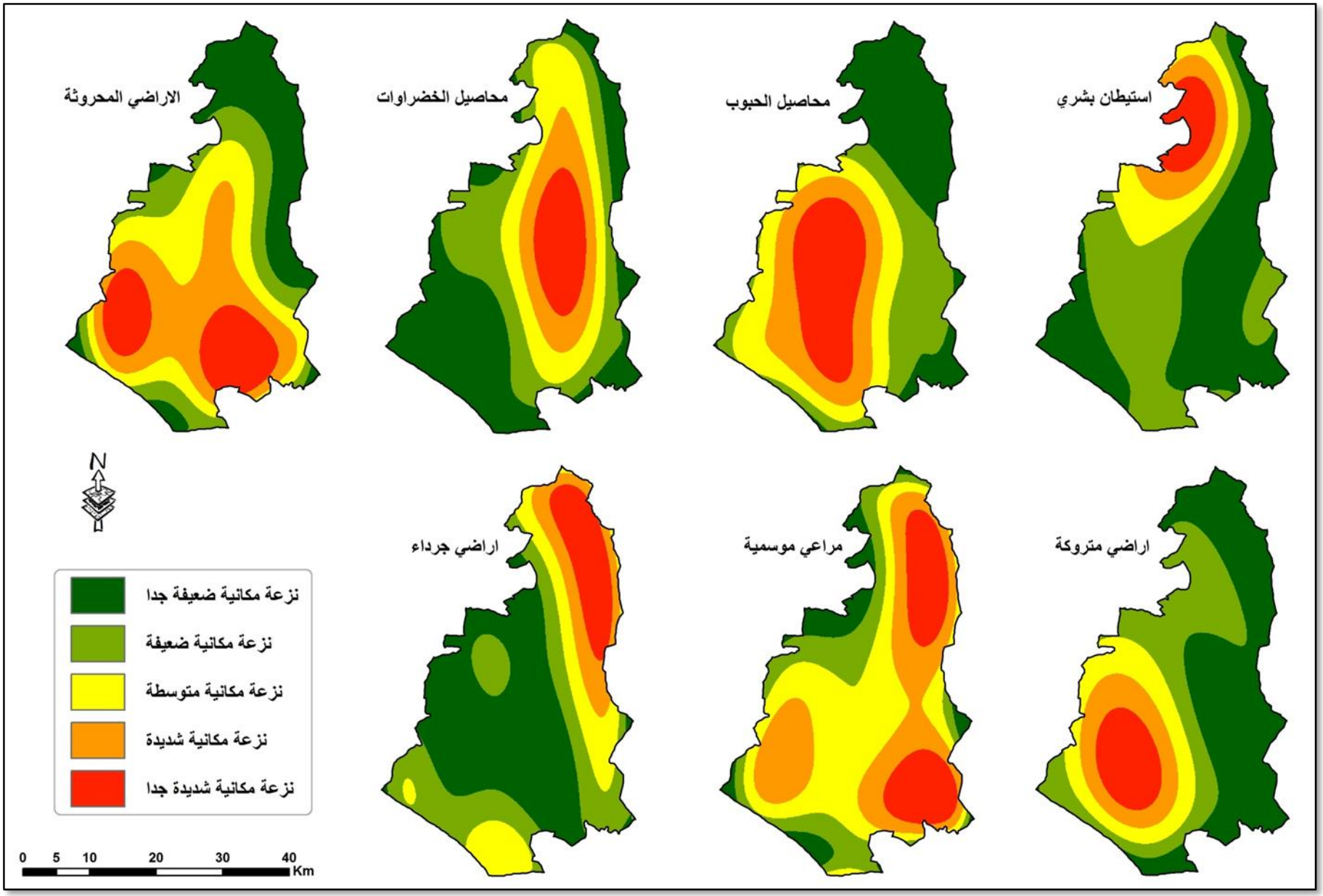
وبذلك يتم إنتاج سطحٍ مستمرٍ يعبر عن مقدار النزعة المكانية (الميل أو التوجه المكاني) للأراضي التي تتغير إلى استعمال ما[3] وبعد إعادة تصنيف السطح المستمر إلى فئات معرّفة، يمكن إكمال نمذجة النزعة المكانية في تغير استعمالات الأرض، لتجسيد نمط التغير الأرضي العام نحو استعمال ما. إن هذا النوع من الخرائط يعطي مردودا جغرافيا حول موضع تغير جميع الاستعمالات نحو استعمال ارضي ما من قضاء سهل أربيل. ينظر الخرائط (19)، (20)، (21) و(22).

(1) Idrisi software help, Op cit.

(2) K Saifullah et al, Spatial modeling of land use/cover change (LUCC) in South Tangerang City, In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Vol. 54, No. 1, 2018, p. 5.

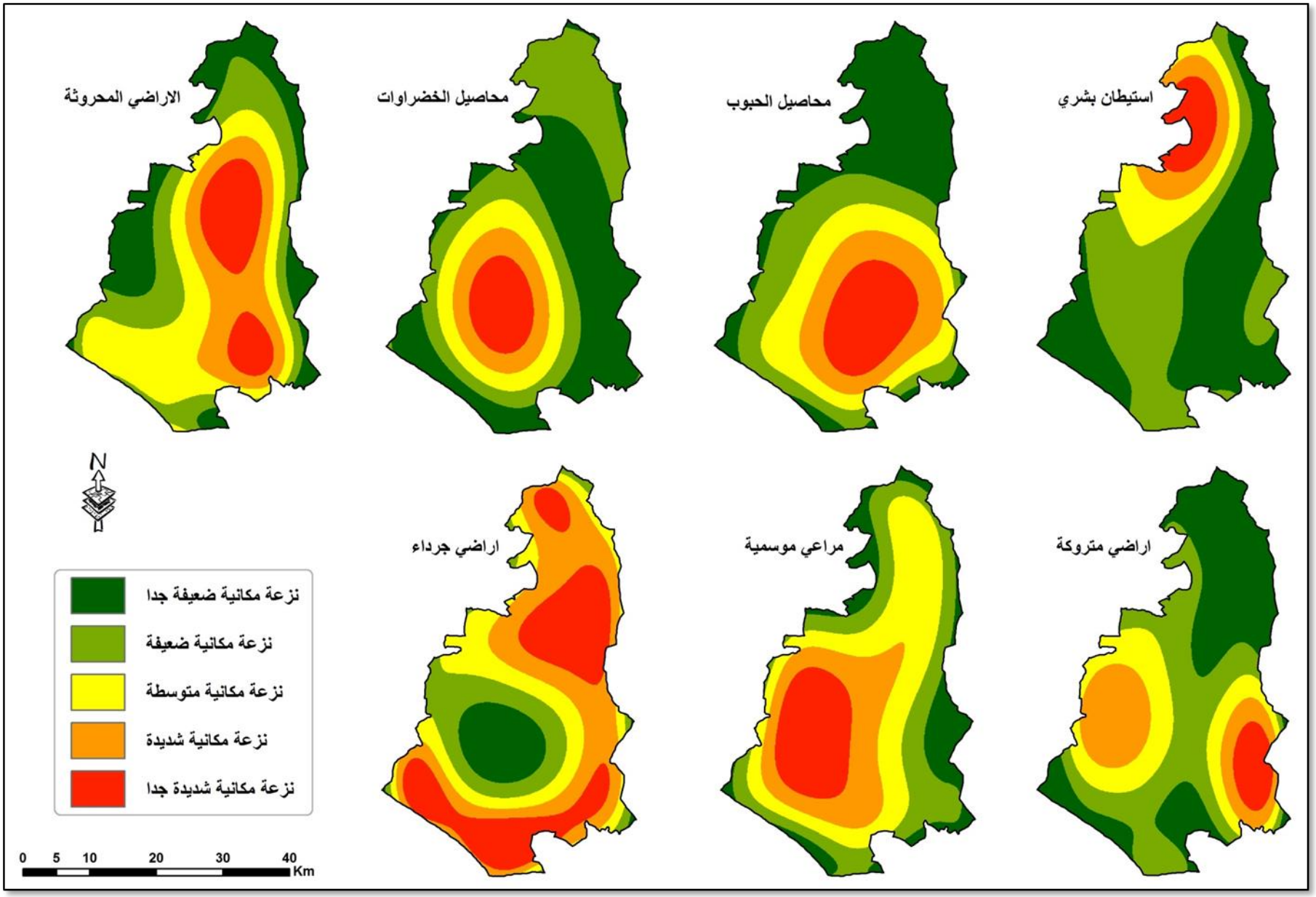
(3) Nehal Ahmad, et al., Land Use Change Detection of Yamuna River Flood Plain Using Geospatial Technique, International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE), Vol. 8, Issue.14, 2019, p. 32.

الخريطة (19): النزعة المكانية لتغير استعمالات الأرض للموسم الشتوي في قضاء سهل أربيل بين عامي 2002 - 2012



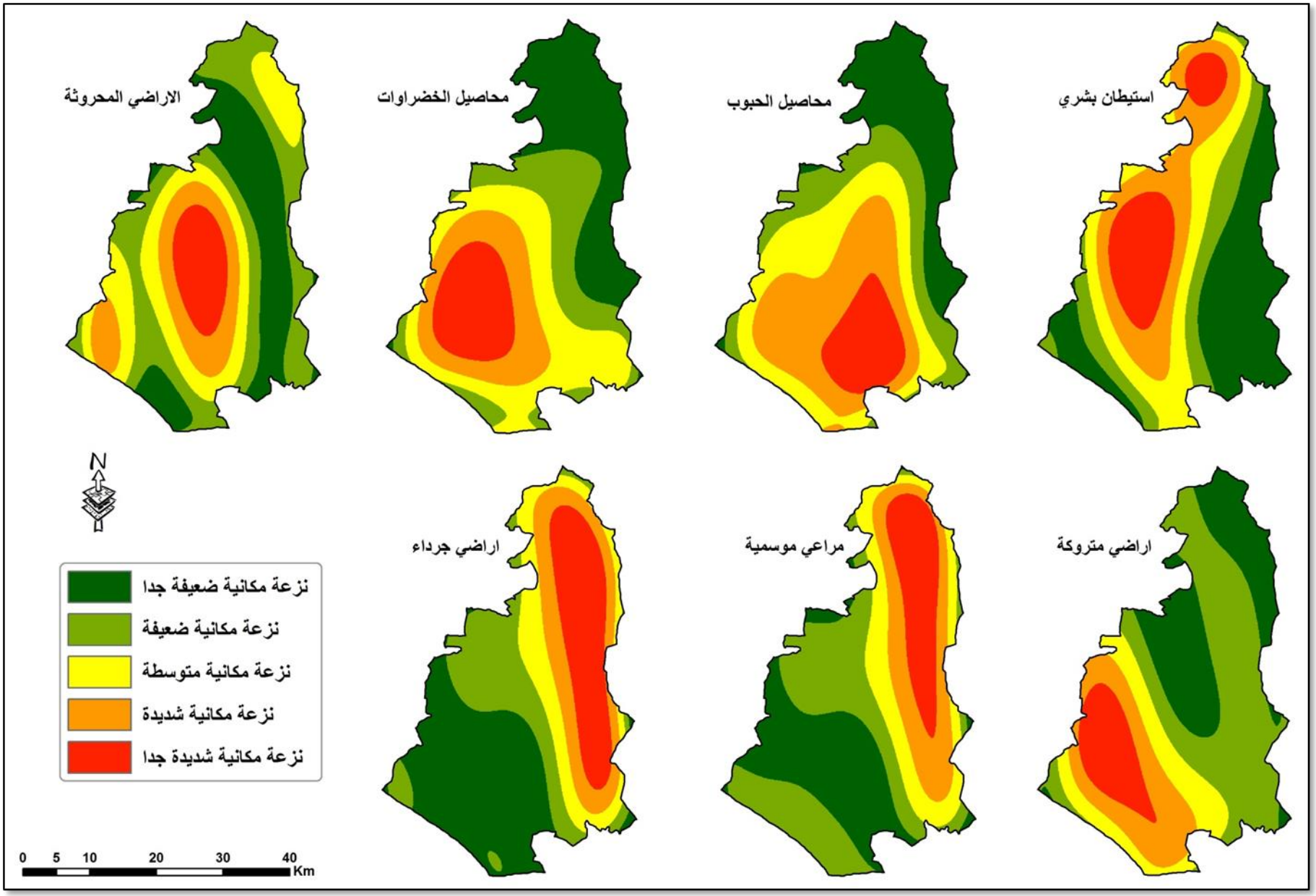
المصدر: عمل الباحث، اعتمادا على برنامجي Idrisi Selva 17.0 وArcGIS Desktop 10.6.1، والخريطتين (4) و(5).

الخريطة (20): النزعة المكانية لتغير استعمالات الأرض للموسم الصيفي في قضاء سهل أربيل بين عامي 2002 - 2012



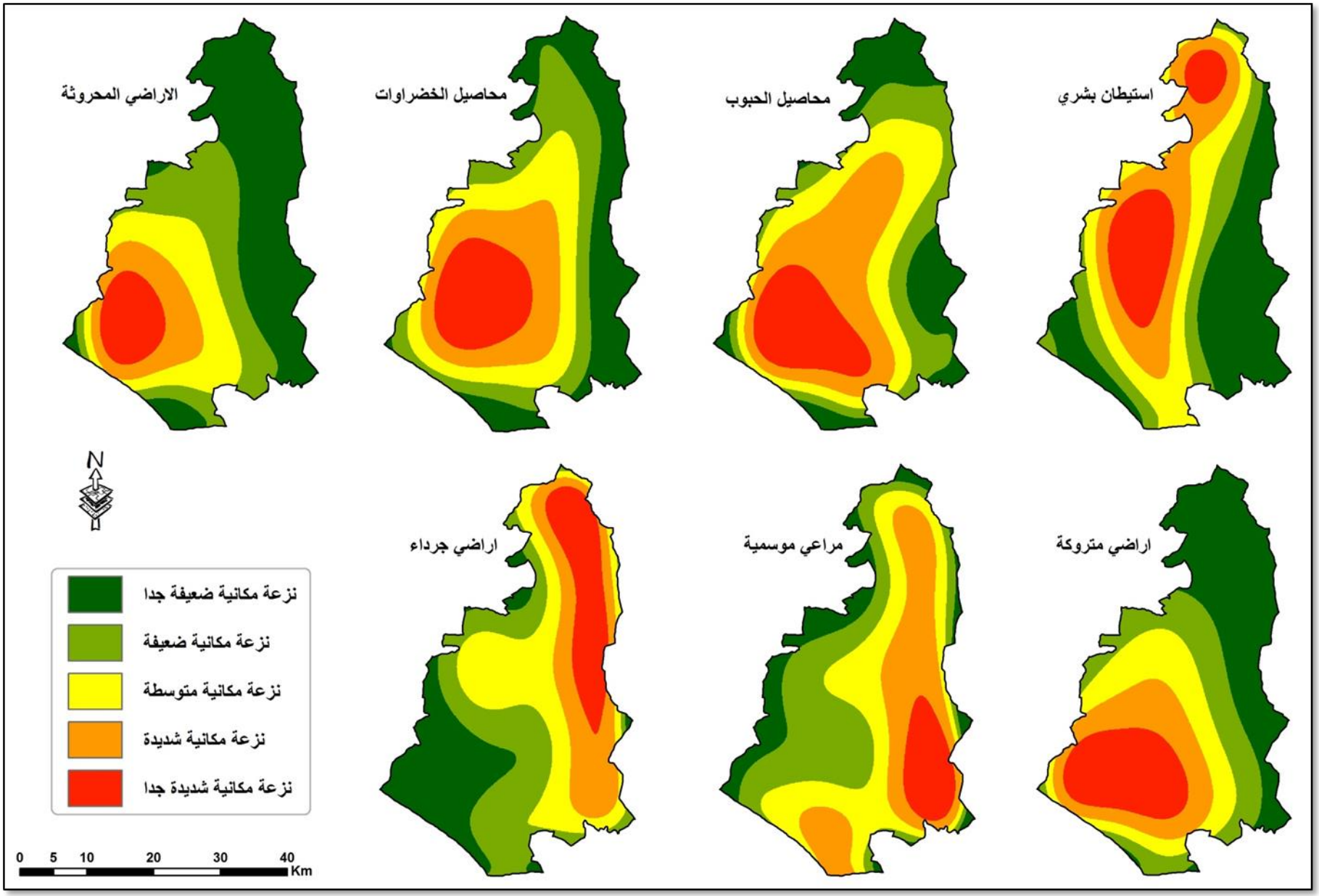
المصدر: عمل الباحث، اعتمادا على برنامجي Idrisi Selva 17.0 وArcGIS Desktop 10.6.1، والخريطتين (4) و(5).

الخريطة (21): النزعة المكانية لتغير استعمالات الأرض للموسم الشتوي في قضاء سهل أربيل بين عامي 2012 - 2019



المصدر: عمل الباحث، اعتمادا على برنامجي Idrisi Selva 17.0 وArcGIS Desktop 10.6.1، والخريطتين (5) و(6).

الخريطة (22): النزعة المكانية لتغير استعمالات الأرض للموسم الصيفي في قضاء سهل أربيل بين عامي 2012 - 2019



المصدر: عمل الباحث، اعتمادا على برنامجي Idrisi Selva 17.0 وArcGIS Desktop 10.6.1، والخريطتين (5) و(6).

جسدت النمذجة الخرائطية لتغير استعمالات الأرض في الاعوام الثلاث 2002، 2012، 2019 ما يأتي:-

1- هناك زيادة مستمرة في مساحة الاستيطان البشري من أراضٍ حضرية فضلا عن زيادة المباني في الريف على حساب الأراضي الزراعية من دون أي نقصان يذكر بين المدد 2002، 2012، 2019. ومن جهة اخرى، فإن النزعة المكانية لتغير استعمالات الأرض نحو الاستيطان البشري تركزت في الجزء الشمالي الغربي من القضاء بين عامي 2002 و2012 بسبب التوسع الحضري لمراكز نواحي قضاء سهل أربيل على حساب الأراضي الزراعية، ثم شغلت النزعة المكانية لتغير استعمالات الأرض نحو الاستيطان البشري موضعا يتركز في كامل الجانب الغربي من القضاء متجهة نحو عمق أراضيه، بسبب استمرار التوسع الحضري لمراكز نواحي قضاء سهل أربيل على حساب الأراضي الزراعية في عمق القضاء فضلا عن استمرار تشييد المباني داخل أراضيه، وهذا مؤشر يدل على أن قضاء سهل أربيل في طريقه نحو التحضر؛ إذا ما استمر التوسع المساحي الحضري على حساب الأراضي الزراعية بالوتيرة ذاتها.

شغل الاستيطان البشري مساحة قدرها 14.48 كم^2، أي ما يعادل 1.1% من المساحة الكلية للقضاء سنة 2002، في حين توسعت الأراضي الحضرية نحو 50.24 كم^2 وبنسبة 3.85% من المساحة الكلية للقضاء سنة 2012، أما في سنة 2019 فقد شغلت الأراضي الحضرية مساحة قدرها 97.4 كم^2 أي ما يعادل 7.46% من المساحة الكلية للقضاء، وبذلك تضاعفت المساحة مرتان بين المدتين 2002 و2012، كما هو موضح سابقا في الجدولين (5) و(6)، ذلك نتيجة لانتهاء الحصار الاقتصادي على العراق منذ عام 2003 وما تبعه من حركة اعمار مكثفة في إقليم كوردستان بفعل استثمار الشركات الاجنبية، فضلا عن الزيادة في عدد السكان سواء كانت طبيعية أم بعامل الهجرة بسبب الظروف الامنية المستقرة في الإقليم مقارنة بالمحافظات الأُخرى، مما أدى إلى ارتفاع الطلب على الأرض والزيادة في المشاريع العمرانية، ومن ثم زيادة مساحة الأرض المبنية في الريف، فضلا عن التوسع المساحي الحضري لمراكز نواحي قضاء سهل أربيل، كما تضاعفت مساحة الاستيطان البشري مرة واحدة بين 2012 و2019 نتيجة للاستمرار بالمشاريع العمرانية حتى عام 2014 الذي توقفت فيه المشاريع حتى عام 2017 بسبب الظروف الامنية التي سادت البلد وانشغاله بتحرير الأراضي العراقية التي احتلت من لدن العناصر الارهابية منذ سنة 2014.

2- تحول كبير في المساحات المزروعة بمحاصيل الحبوب إلى مساحات للمراعي الموسمية، فضلا عن تقلص واضح في مساحة الأراضي المزروعة بمحاصيل الحبوب للموسمين الشتوي والصيفي، وبذلك ظهر تحركا أفقيا واضحا في زراعة محاصيل الحبوب من شمال وشرق القضاء حيث الأراضي الاكثر وعورة، إلى وسط القضاء حيث الأراضي الاكثر

سهلية، لذلك ظهرت النزعة المكانية لتغير الأراضي نحو زراعة الحبوب الشتوية في قلب القضاء بين عامي 2002 و2012، كما يلاحظ اختلاف مشهد التغير بين عامي 2012 و2019، إذ ظهرت هناك زيادة في مساحة الأراضي المشغولة بمحاصيل الحبوب للموسم الشتوي أكثر من النقصان، على عكس الموسم الصيفي الذي شهدت فيه الأراضي المزروعة بمحاصيل الحبوب تقلصا أكثر من الزيادة مع استقرار واضح في توطنها عند قلب القضاء.

إذ بلغت المساحة المزروعة بمحاصيل الحبوب للموسم الشتوي 414.54 كم^2 بنسبة 31.76% من المساحة الكلية للقضاء عام 2002، وقد انخفضت نحو الثلث بنسبة 20.11% وبواقع 262.56 كم^2، بسبب توجه سكان القضاء نحو العمل في الزراعة نتيجة الحصار الاقتصادي على العراق آنذاك، من أجل سد احتياجات الاسر من جانب ومن ثم حاجة السوق المحلية من جانب آخر، أما انخفاض نسبة اشغال الأرض بزراعة الحبوب عام 2012، فيعود إلى ازدهار الاقتصاد في إقليم كوردستان وتوفر فرص عمل متنوعة أثر انتهاء الحصار الاقتصادي على العراق، ومن ثم توجه الكثير من السكان نحو اعمال اخرى في مدينة أربيل المتاخمة مع القضاء من جانبه الغربي، وترك الأراضي الزراعية، ومع ذلك فقد رجعت الأراضي المشغولة بزراعة الحبوب إلى نسبة 32.96% وبواقع 430.26 كم^2 عام 2019، بسبب تراجع الوضع الاقتصادي في إقليم كوردستان اثر الحرب على الارهاب منذ عام 2014، مما دفع الكثير من سكان القضاء نحو الرجوع إلى ممارسة الزراعة من أجل الحصول على دخل اضافي، فضلا عن ارتفاع كمية الأمطار الساقطة بشكل كبير في عام 2019 التي أسهمت بدورها في زيادة كمية الإنتاج من الحبوب، اذا علم ان الزراعة الشتوية في المنطقة تعتمد على مياه الأمطار بالدرجة الأساس. ينظر الجدول (5).

كما يمكن ملاحظة أن نسبة كبيرة من الأراضي المشغولة بمحاصيل الحبوب عام 2002 قد تحولت إلى محاصيل الخضراوات بواقع 79.2 كم^2، وكذلك إلى مراعي موسمية بواقع 84.7 كم^2 بسبب اهمال الأراضي الزراعية من لدن الفلاحين وانشغالهم بأعمال أخرى في مدينة أربيل وترك الأرض كمراعي للحيوانات عام 2012، أما في عام 2019 فقد تحول 99.3 كم^2 من المراعي الموسمية و35.02 كم^2 من الاراض الجرداء التي كانت سائدة في عام 2012 إلى أراضٍ مزروعة بالحبوب عام 2019، بسبب إعادة النشاط الزراعي في المنطقة.

أما في الموسم الزراعي الصيفي فلم يختلف الأمر كثيرا، فقد تراجعت الأراضي المزروعة بالحبوب من عام 2002 إلى عام 2012 لذات الأسباب السابقة متحولة إلى مراعي موسمية بواقع 104.1 كم^2، بينما استمرت بالتراجع في عام 2019 متحولة بمقدار 63.4 كم^2 من أراضيها إلى مراعي موسمية، بسبب تراجع سوق الذرة الصفراء المحلي نتيجة لمنافسة المحصولين ذاتهما عن طريق الاستيراد من الخارج. مع بقاء النزعة المكانية لتغير الأراضي نحو زراعة محاصيل الحبوب في قلب القضاء ايضا.

3- هناك ثبات نسبي في مساحة الأراضي المشغولة بمحاصيل الخضراوات الشتوية، إذ بلغت 203.08 كم^2 بنسبة 15.56% ثم 209.68 كم^2 بنسبة 16.06% ثم 220.72 كم^2 بنسبة 16.91% من المساحة الكلية للقضاء في السنوات 2002 و2012 و2019 على التوالي. ففي المدة المحصورة بين 2002 و2012 ظهرت حركة مكانية للأراضي المزروعة بمحاصيل الخضراوات من وسط (قلب) القضاء نحو شرقه، مع استبدال زراعة محاصيل الخضراوات بمحاصيل الحبوب في وسط القضاء ذات الأراضي الاكثر سهلية، لذلك ظهرت النزعة المكانية لتغير الأراضي نحو زراعة الخضراوات متجهة نحو شرق القضاء. أما المدة المحصورة بين 2012 و2019، فقد ظهرت حركة مكانية معاكسة للمدة بين 2002 و2012، ذلك بوجود نقصان في الجزء الشرقي من القضاء مقابل زيادة في الجزء الغربي منه، ومن ثم تموضع النزعة المكانية لتغير الأراضي نحو زراعة الخضراوات في قلب القضاء أيضاً حيث الأراضي المنبسطة.

وعلى الجانب الآخر فإن المساحات المشغولة بمحاصيل الخضراوات الشتوية اكبر من المساحات المشغولة بمحاصيل الخضراوات في الموسم الصيفي، بسبب اعتماد الزراعة في قضاء سهل أربيل بالدرجة الأساس على مياه الأمطار التي تفي بزراعة مساحات واسعة بالخضراوات بيسر، بينما في الصيف تعتمد على المياه الجوفية المستخرجة من الآبار بوصفها المورد المائي الوحيد للزراعة ومن ثم تتطلب عناية اكبر. لقد شغلت محاصيل الخضراوات مساحة قدرها 95.33 كم^2 وبنسبة 7.3 % من المساحة الكلية للقضاء عام 2002، ثم تناقصت المساحة لتصل نحو 50.97 كم^2 وبنسبة 3.9% من المساحة الكلية للقضاء عام 2012 لذات الأسباب التي تناقصت فيها محاصيل الحبوب، فضلا عن الاعتماد على استيراد الخضراوات من الدول المجاورة التي تنافس اسعارها المحاصيل المحلية المناظرة، وكان التقلص من جميع ارجاء القضاء نحو زيادة في وسطه، كما زادت المساحة عام 2019 لتصل إلى 164.92 كم^2 وبنسبة 12.63% من المساحة الكلية للقضاء لذات للأسباب السابقة التي جعلت النشاط الزراعي يتقدم من جديد، بمشهد يجسد الزيادة في جميع أجزاء القضاء مع نقصان طفيف في وسطه، وبذلك ظهرت النزعة المكانية لتغير استعمالات الأرض نحو زراعة الخضراوات في قلب القضاء.

4- تغير نحو زيادة المراعي الموسمية في الموسم الشتوي من عام 2002 الذي بلغت فيه مساحة هذا الاستعمال مقدار 165.98 كم^2 وبنسبة 12.72% من مساحة القضاء إلى 320.48 كم^2 وبنسبة 24.55% عام 2012 للموسم الشتوي بسبب ركود النشاط الزراعي في القضاء منذ انتهاء الحصار الاقتصادي وترك الأراضي الزراعية لتصبح مراعي موسمية؛ إذ تحولت الأراضي المزروعة بالحبوب والخضراوات وكذلك الأراضي المحروثة المعدة للزراعة بواقع 22.8 كم^2 و31.2 كم^2 و18.9 كم^2 على التوالي إلى مراعي موسمية وبذلك كانت النزعة المكانية لتغير استعمالات الأرض نحو المراعي الموسمية منتشرة في معظم ارجاء

القضاء باستثناء الجزء الشمالي الغربي الذي شهد توسعا في الاستيطان البشري على حساب الأرضي الزراعية، ثم حصل انخفاض طفيف في مساحة المراعي الموسمية عام 2019 لتصبح 274.47 كم^2 وبنسبة 21.03% من مساحة القضاء، مع حركة مكانية من قلب القضاء نحو الجزء الشرقي منه حيث الأراضي الاكثر وعورة، إذ حلت محلها زراعة الحبوب والخضراوات بواقع 99.3 كم^2 و50.7 كم^2 على التوالي، وفي الوقت ذاته توطنت المراعي الموسمية بدل من الأراضي الجرداء في الجزء الشرقي من القضاء بواقع 51.1 كم^2 بسبب زيادة كمية الأمطار في عام 2019، مما جعلت النزعة المكانية لتغير الاستعمالات نحو المراعي الموسمية تظهر في شرق القضاء مع الأراضي الجرداء.

أما في الموسم الصيفي فقد سجلت المراعي الموسمية مساحة أكبر من الموسم الشتوي بسبب تقلص المساحات المشغولة بالزراعة على نحو عام، إذ بلغت المراعي الموسمية مساحة قدرها 276.96 كم^2 عام 2002 بنسبة 21.22% من المساحة الكلية للقضاء، ثم أصبحت مساحتها 517.03 كم^2 بنسبة 39.61%، إذ شكلت معظم الزيادة في هذا الصنف عن طريق نقصان الأراضي المزروعة بالحبوب والخضراوات، فضلا عن الأراضي المحروثة المعدة للزراعة آنذاك بواقع 84.7 كم^2 و40.1 كم^2 و10.4 كم^2 على التوالي، فكانت الزيادة أكبر من النقصان، وظهرت النزعة المكانية لتغير استعمالات الأرض نحو المراعي الموسمية عند قلب القضاء بفعل تحول الأراضي الزراعة إلى مراعي، بيد أن التغير الحاصل في المراعي الموسمية بين عامي 2012 و2019 للموسم الصيفي، تمثل بثبات نسبي في المساحة الكلية مع حركة مكانية باتجاه شرق وجنوب القضاء ذات الأراضي الأكثر وعورة التي تغطت بالأعشاب بفعل حصول زيادة في كمية الأمطار عام 2019، وبذلك تحولت المراعي الموسمية المتوطنة في قلب القضاء إلى محاصيل حبوب وخضراوات وأراضٍ محروثة للزراعة بواقع 63.4 كم^2 و19.2 كم^2 و36.6 كم^2. يراجع الخرائط (11)، (12)، (13)، (14)، (15)، (16)، (17)، (18)، (19)، (20)، (21)، (22) والملحقين (7) و(8).

خلاصة القول، إن النمذجة الخرائطية لتصنيف استعمالات الأرض لثلاثة اعوام وبموسمين زراعيين وقعت ضمن النوع الوصفي الساكن Static Description Modeling، كونها عملية تحويل البيانات الخام (مرئيات فضائية) إلى معلومات (خرائط) وفقا لسلسلة من المعالجات الرقمية في الاستشعار عن بعد من أجل الحصول على استنطاق معلوماتي من المرئيات الفضائية عن طريق تحليلها وتحويلها إلى خرائط موضوعية نوعية محكوم على مدى موثوقيتها إحصائيا، إذ إن كل خريطة من هذه الخرائط، هي في الاصل مرئية فضائية التقطت في لحظة زمنية محددة لقضاء سهل أربيل، فتمخض عنها صورة تعبر عن التوزيع الجغرافي لاستعمالات الأرض في ذات اللحظة الزمنية أي الصورة التي تجسد النوع الأول من الدراسات الجغرافية في

المصفوفة الجغرافية Geographic Matrix ألا وهو التوزيع الجغرافي. فتم الحصول على ست خرائط لثلاث مدد زمنية وموسمين زراعيين من التوزيعات الجغرافية لاستعمالات الأرض في قضاء سهل أربيل.

بيد أن نمذجة الخرائط الست بالموسمين الزراعيين عن طريق كشف التغير بين كل مدتين مختلفتين لموسمين زراعيين، وقعت ضمن النمذجة الخرائطية الوصفية المتحركة Dynamic Description Modeling، بسبب دخول عنصر الزمن (البعد الرابع) في عملية النمذجة، فتطلب الأمر تطوير أداة في برنامج ArcGIS Desktop 10.6.1 للكشف عن تغير المؤشرات الطيفية من أجل الحصول على مردود جغرافي (تصور) أولي عن تغير استعمالات الأرض عبر الزمن، وبذلك ستفيد الأداة المطورة الباحثين الذين سيدرسون تغير استعمالات الأرض اعتمادا على المؤشرات الطيفية إذا ما اعتمدوا عليها في دراسات لاحقة، ثم تم الشروع في نمذجة خرائط متنوعة في برنامج الـ Idrisi Selva 17.0 للكشف عن تغير استعمالات الأرض اعتمادا على الخرائط المصنفة في الاستشعار عن بعد (النماذج الخرائطية الوصفية الساكنة) كخرائط التغير، الزيادة والنقصان، والنزعة المكانية. ذلك من أجل الحصول على مناظير متعددة Multi Perspectives لصورة تغير استعمالات الأرض في قضاء سهل أربيل، أي صورة التغيرات الطارئة على التوزيع الجغرافي، فتمخض عن ذلك مردود جغرافي أكثر دقة مقارنة بالذي تمخض من الكشف عن التغير باستخدام المؤشرات الطيفية، لذلك فإن إنتاج الاستشعار عن بعد لنماذج خرائطية وصفية ساكنة من أجل الشروع بتحويلها إلى نماذج خرائطية وصفية متحركة في نظم المعلومات الجغرافية بغية اكمال الصورة المعبرة عن التوزيع الجغرافي والتغيرات الطارئة عليه عبر الزمن، يعد تكاملا متلاحما وفقا لنظرية التكامل النشوئي بين الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية من منظور المعالجة الرقمية، وعلى الجانب الآخر فإن الاستشعار عن بعد هنا لعب دورا فاعلا Active Role في نظم المعلومات الجغرافية وفقا لنظرية التكامل المنهجي، بسبب إنتاجه لنماذج خرائطية صاحبت نظم المعلومات الجغرافية في جميع المراحل البحثية.

الفصل الثالث

النمذجة الخرائطية لقابلية الأرض على الإنتاج وملاءمتها على زراعة المحاصيل الاستراتيجية

Chapter 3

Cartographic Modeling of the Capability of the Land to Produce and its Suitability for the Cultivation of Strategic Crops

مدخل Preface

لقد ازدادت الحاجة في الوقت الراهن إلى الاستخدام المنظم للأرض على نحو قافز أكثر من أي وقت مضى، وهذه الحاجة مدفوعة بنمو السكان السريع والتوسع الحضري المزمن على حساب الأراضي الزراعية، وما يتبع ذلك من تكثيف الضغط على الأراضي بشكل عام، وجاء ذلك بالتزامن مع التطور المضطرد في نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد، من أجل تأمين الاحتياجات العلمية في نمذجة الكثير من المفاهيم التي تخص تقييم الأرض، سواء كان ذلك من قابليتها على الإنتاج أم ملاءمتها لاستعمال زراعي معين، وهنا يأتي دور النمذجة الخرائطية في تحويل الكثير من البيانات والمعلومات التي تخص تقييم الأرض إلى خرائط ذات طابع تركيبي، أطلق عليها Tomlin (كما ذكر في الفصل الأول ص 37) بالنمذجة الخرائطية الإرشادية Prescriptive Cartographic Modeling التي تمثل مجموعة مركبة من نماذج خرائطية وصفية Descriptive Cartographic Models.

3-1 النمذجة الخرائطية لقابلية الأرض على الإنتاج

Cartographic Modeling of Land Capability to Production

يقصد بقابلية الأرض على الإنتاج Capability بأنها إمكانية استعمال الأرض (الجزء السطحي منها أو التربة حصرا) بطرائق محددة، أو إمكانية إدارة ممارسات زراعية محددة عليها[1]، والقابلية هنا تمثل قدرة نوع معين من التربة على العمل داخل النظام البيئي الطبيعي، للحفاظ على إنتاجية النبات والحيوان، ومن ثم دعم صحة الإنسان[2].

والتربة هي مجموعة من الأجسام الطبيعية على سطح الأرض التي تحتوي على الكائنات الحية والعناصر العضوية وغير العضوية ولها قابليات إنتاجية مختلفة[3]، لذلك عدت عاملا مهما

(1) Abd El-Hady and I. A. H. Yousif, Land Evaluation and Sustainable Development of Some Areas of Dakhla Oasis, Egypt, Journal of Soil Sciences and Agricultural Engineering, Vol. 4, No. 12, 2013, p. 1399.

(2) A.E. Gadem, et.al., Decision Support System for Soil Productivity and Erosion in Polk county, Nebraska, 2001, Internet Link: http://www.cse.unl.edu/~reich/publications/asprs2001-036.pdf , p. 1.

(3) عز الدين الطيب رحومة وبشير احمد نوير، حصر وتصنيف التربة وتقييم الأراضي، رابط الانترنيت:

https://www.researchgate.net/profile/Bashir_Nwer/publication/290004001_Soil_Survey_classification_and_Land_Evaluation/links/56ec92ff08aea35d5b983c8a/Soil-Survey-classification-and-Land-Evaluation.pdf.

أن لم تكن عاملا رئيسا في العديد من نظم تصنيف الأراضي[1]. وإن أي أرض تقع ضمن مستوى قابلية محددة للتربة فهي تكون صالحة لاستعمال محدد خاص بها، وكذلك صالحة لجميع الاستعمالات في مستويات القابلية الواقعة في مستوى أدنى من هذا المستوى[2].

فمنذ بداية القرن العشرين، بدأت الأنشطة العلمية لتقييم قابلية الأرض على الإنتاج لغرض تحديد إمكانيات الأرض في تلبية متطلبات المحاصيل الزراعية، وإن أول تقييم من هذا النوع كان على يد Storie عام 1933 الذي وضع معادلة رياضية تأخذ في الحسبان الخصائص الرئيسة للتربة، وقد لاقت المعادلة قبولا جيدا من لدن أخصائيي التربة، ثم تبنت المعادلة بعد ذلك وزارة الزراعة الأمريكية USDA[3].

كما إن هناك العديد من طرائق تصنيف القابلية الإنتاجية للأرض، كالطريقة البريطانية والطريقة الكندية، فضلا عن الطريقة الأمريكية كلها تدور حول دراسة وتسجيل جميع البيانات ذات الصلة بتحديد مجموعة من التدابير الزراعية وإجراءات الصيانة التي من شأنها أن تسمح بالاستخدام الزراعي الأكثر كثافة مع تجنب تدهور التربة[4].

أما النمذجة الخرائطية لتصنيف القابلية الإنتاجية للأرض فتدور حول البحث في الآليات التقنية المناسبة التي من شأنها تحويل النماذج الرياضية للبيانات المرصودة للأرض إلى خريطة رقمية تعبر عن مستويات القابلية الإنتاجية بمساحات محسوبة بوصفها حاصل العمليات الرياضية التي نفذت خرائطيا Cartographically.

وقد اعتُمدت في الدراسة على طريقة Storie التي تبنتها وزارة الزراعة الأمريكية USDA في تصنيف القابلية الإنتاجية للأرض في قضاء سهل أربيل، لسببين رئيسين، على النحو الآتي:-

1- تعد طريقة Storie من أهم الطرائق في تصنيف القابلية الإنتاجية للأرض، إذ إنها وضعت إطاراً مفاهيمياً لتقييم إنتاجية الأرض عدديا Numerical وعلى نحو موضوعي من خلال

(1) Rattan Lal, Encyclopedia of Soil Science, Taylor & Francis Group, CRC Press, USA, Th3 Edition, 2017, p. 1288.

(2) عثمان محمود غنيم، مصدر سابق، ص 170.

(3) Michael Bock, et al., The Land Suitability Rating System Is a Spatial Planning Tool to Assess Crop Suitability in Canada, Frontiers in Environmental Science, Vol. 6, 2018, p.2.

(4) Abd El-Hady and I. A. H. Yousif, Op.cit., p. 1399.

النظر في خصائص التربة واللاندسكيب الطبيعي[1]، فضلا عن أنها معتمدة على مستوى عالمي[2].

2- على الرغم من وجود طرائق اخرى في تقييم القابلية الإنتاجية للأرض، إذ إن كل طريقة لها متطلبات مختلفة من البيانات، لكن لا توجد قوانين تحدد متى وأية طريقة تصنيف يجب اتباعها لسبب معين[3]، لذلك كان الفيصل في اختيار طريقة Storie هي ملاءمتها مع البيانات التي توفرت حول قضاء سهل أربيل.

3 -1 – 1 مؤشر Storie لتصنيف قابلية الأرض على الإنتاج

Storie Index for the Classification of the land's Production Capability

يعد مؤشر Storie طريقة كمية تعتمد على خصائص التربة واللاندسكيب الطبيعي في استقراء قابلية الأرض على الإنتاج والاستخدام المحتمل لها[4]، وظهر المؤشر أول مرة في ثلاثينيات القرن المنصرم من أجل تصنيف قابلية الأرض على الإنتاج لولاية كاليفورنيا الأمريكية[5]، وقد مر المؤشر بمراجعات وتعديلات عدة حتى عام 1978، لأغراض التقييم الزراعي للتربة، فضلا عن التقييم الضريبي للأرض ومن ثم تقسيم الاستعمالات عليها[6].

يتكون مؤشر Storie من أربعة متغيرات رئيسة يتخلل بعضها متغيرات فرعية بصيغة معادلة رياضية على النحو الآتي[7]:-

(1) J.h. Huddleston, Development and Use of Soil Productivity Ratings in the United States, Geoderma, Vol. 32, No. 4, 1984, p. 306.

(2) Willy Verheye, Land Evaluation Systems other than the FAO System, Encyclopedia of Life Support Systems, Land Use, Land Use, Land Cover and Soil Sciences-Volume II: Land Evaluation, 2009, Internet link: https://www.eolss.net/Sample-Chapters/C19/E1-05-02-04.pdf

(3) Markos Mathewos, et al., Parametric Land Suitability Assessment for Rainfed Agriculture: The Case of Bilate Alaba Sub-watershed, Southern Ethiopia, Agrotechnology, Vol. 7, No 183, 2018, P. 1.

(4) Duraisamy Vasu, et al., A comparative assessment of land suitability evaluation methods for agricultural land use planning at village level, Land use policy, Vol. 79, 2018, p. 150.

(5) Anthony Toby O'Geen and Susan Southard, A Revised Storie Index Modeled in NASIS, Department of Land, Air & Water Resources, Soil Survey Horizons, Vol. 46, No. 3, 2005, p. 98.

(6) C.A. van Diepen, Land Evaluation: From Intuition to Quantification, Advances in Soil Science, Vol. 15, 1991, p. 140.

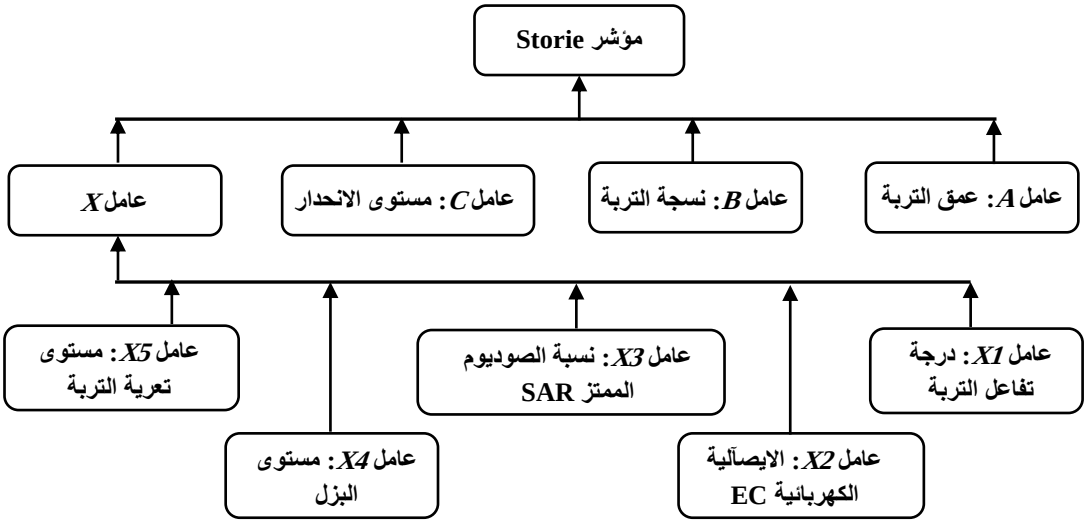
(7) Salah Hassanien Abd El-Aziz, Evaluation of land suitability for main irrigated crops in the North-Western Region of Libya, Eurasian Journal of Soil Science, Vol. 7, No. 1, 2018, p. 75.

$$LC = \left[\left(\frac{A}{100}\right) * \left(\frac{B}{100}\right) * \left(\frac{C}{100}\right) * \left(\frac{X}{100}\right)\right] * 100$$

إذ إن:

LC = قابليـة الأرض علـى الإنتـاج، A = عمـق التربـة، B = نسـجة التربـة، C = المنحـدر الأرضـي، X = مجموعـة مـن العوامـل الثانويـة التـي تخـص حموضـة وقلويـة التربـة فضـلا عـن مستوى التعرية والبزل، ينظر الشكل (25).

الشكل (25) مدخلات مؤشر Storie لتصنيف قابلية الأرض على الإنتاج في قضاء سهل أربيل



المصدر: عمل الباحث، اعتمادا على

Anthony Toby O'Geen and Susan Southard, op cit., p. 101.

يتم إعطاء كل عامل من العوامل المذكورة في أعلاه قيمة من 100 استنادا إلى جدول خاص وضعه Storie لإعطاء حدود تصنيفية لكل عامل من العوامل المعتمدة. وعند قسمة قيم كل عامل على 100 ثم ضربه في العامل الآخر، ثم ضرب الناتج في 100 سوف نحصل على قيمة من 100 أيضاً لكل موقع من المواقع، كذلك يتم ضرب العوامل الثانوية لعامل X بالطريقة نفسها التي تضرب بها العوامل الرئيسة، ينظر الملحق (9 – 1).

يمثل العامل A عمق التربة Soil Depth في مؤشر Storie؛ إذ يؤثر على نمو النباتات، فالتربة العميقة لها القدرة على الاحتفاظ بالرطوبة والسماح لجذور النباتات أن تمتد بحرية، على عكس التربة الضحلة التي تحد من امتداد جذور النباتات والرطوبة والتهوية ومن ثم ضعف جودة المحاصيل، في حين إن العامل B معني بنسجة التربة Soil Texture التي تشير

إلى نسبة الرمل والطين والغرين Sand, Clay and Silt؛ إذ تعد التربة متوسطة النسيج التي لها نسبة متساوية تقريبًا من الرمل والطين والغرين، الأجود في الزراعة على نحو عام، بسبب إمكانية ممارسة الحراثة الجيدة عليها، فضلا عن احتفاظها بالمياه، أما العامل C فمعني بانحدار سطح الأرض Slope، إذ تعد الأراضي ذات الانحدارات الطفيفة جدا (الأراضي المسطحة) مناسبة لمجموعة متنوعة من الاستعمالات الزراعية، وكذلك إمكانية استخدام المكننة الزراعية على أسطحها فضلا عن سهولة عمليات الري، ومن ثم انخفاض تكاليف الإنتاج، في حين أن الأراضي ذات المنحدرات المتوسطة البالغة 20–35 % يمكن أن تكون مناسبة لزراعة البساتين والرعي لصعوبة استخدام المكننة الزراعية عليها، وبذلك ستكون الأراضي ذات المنحدرات الشديدة غير صالحة للأعمال الزراعية[1].

أما العامل X فيتكون من العوامل X1 الذي يعبر عن حموضة التربة وقاعديتها (درجة تفاعل التربة PH)، فعندما تكون درجة التفاعل منخفضة سيكون مستوى الحموضة Acidity مرتفعا الذي يؤدي إلى اختلال في التوازن الغذائي للنبات واضطراب امتصاص العناصر الغذائية، ومن ثم خفض خصوبة التربة، في حين أن ارتفاع درجة التفاعل فستؤدي إلى ملوحة التربة وعرقلة امتصاص النبات لمحتوى المياه وتسممه، وعند الارتفاع العالي للملوحة سوف يؤدي إلى فشل عدد كبير من البذور على الانبات، لذلك فإن درجة تفاعل التربة المعتدل هي الأنسب في الزراعة. كما ان العامل X2 المتمثل بالإيصالية الكهربائية Electric Conduction (CE)، يعمل مقياساً لتركيز الأملاح الموجودة في محلول التربة، أما العامل X3 فيمثل نسبة الصوديوم الممتز Sodium Adsorption Ratio (SAR) في التربة[*]، إذ إن ارتفاعه يؤدي إلى ذوبان المادة العضوية في التربة، فضلا عن ارتفاع مستوى السمية فيها وتحطيم بنيتها. وكذلك العامل X4 الذي يمثل مستوى البزل، فإذا كنت التربة سيئة البزل أدى ذلك إلى سيادة عملية التغدق التي تؤدي بدورها إلى اضطراب التهوية ونقص

(1) K. Juhos and B. Madarasz, Interpretation and Integration of Pedagogical Data in Land Evaluation Systems, Bulgarian Journal of Agricultural Science, Vol. 22, No. 2, 2016, p. 211.

(*) الامتزاز: Adsorption هو عملية الالتصاق الكهربائي على سطح دقائق التربة نتيجة لاختلاف الشحنة. فسطح التربة الطينية شحنته سالبة والصوديوم شحنته موجبة فيحصل الالتصاق الكهربائي.

الاوكسجين مع زيادة ثنائي اوكسيد الكاربون، ومن ثم ضعف امتصاص العناصر الغذائية من لدن النبات، والعكس صحيح[1][2].

بيد أن العامل X5 المعني بتعرية التربة وفقدانها له معادلة خاصة به اشتقها كل Wischmeier و Smith عام 1965 تحت عنوان المعادلة العامة لفقدان التربة Universal Soil Loss Equation (USLE)[3]. ثم حورت المعادلة بعد ذلك مرات عدة حتى عام 1997 من لدن Renard و Foster لتسمى بعد ذلك بالمعادلة العامة المنقحة لفقدان التربة Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)، بالصيغة الآتية[4]:-

$$A = R * K * LS * C * P$$

إذ إن: A = مقدار التربة المفقودة بالطن / هكتار / سنة، R = عامل قابلية المطر على التعرية، K = عامل قابلية التربة على التعرية، LS = عامل الطوبوغرافيا،= C عامل الغطاء الأرضي، P = عامل صيانة التربة.

يأخذ نظام تصنيف القابلية الإنتاجية للأرض في الاعتبار خصائص التربة والطريقة التي تستجيب بها للمعالجة؛ إذ تتراوح أصناف القابلية من الصنف واحد الذي له محددات طفيفة Slightly Limitations على الزراعة إلى تربة من الصنف الثامن التي تعد غير مناسبة للزراعة، وبذلك فإن التربة من الصنف الأول تعطي أعلى غلة مع الحد الأدنى من المهارات الإدارية، في حين أن غلة الأراضي من الصنف الثاني يمكن أن تتساوى والصنف الأول مع تنفيذ مهارات إدارية بسيطة، ومع الانتقال من صنف أعلى إلى صنف أدنى في نظام تصنيف القابلية الإنتاجية للأرض سوف يصعب الحصول على غلة المحاصيل والأرباح[5]، إذن تصنف

---

(1) هادي ياسر عبود الجنابي، استصلاح الأراضي التطبيقي، كلية الزراعة جامعة القاسم الخضراء، 2016، ص ص 124 – 193، رابط الانترنت:
ttps://www.researchgate.net/publication/321162517

(2) عبد الله نجم العاني، مبادئ علم التربة، دار ابن الاثير للطباعة والنشر، جامعة الموصل، العراق، 2006، ص ص 159 – 209.

(3) H. Wishmeier and D. Smith, Predicting Rainfall-Erosion Losses: guide to conservation planning, Government Printing Office, USDA Handbook, No. 282, USA, 1978.

(4) K.G. Renard, et al., Prediction Soil Erosion by Water: A Gide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE), Government Printing Office, USDA Handbook No. 703, USA, 1997, p. 15.

(5) Altamont Motorsports Park Rezoning Draft EIR, Impact Sciences, Inc.,2008, Internet Link: https://www.acgov.org/cda/planning/ordinance/documents/4_2_Agricultual_Resources.pdf

القابلية الإنتاجية للأرض حسب إمكانية الأرض وصلاحيتها لنوع معين من العمليات الزراعية.

إذ يتم ذلك، نحو ثمانية أصناف مرتبة حسب الارقام الرومانية، ذلك اعتمادا على قيمة مؤشر Storie، على النحو الآتي(*):-

1- الصنف I: أراضٍ ليس لها محدد للإنتاج، أي أنها تصلح لإنتاج جميع المحاصيل الزراعية، وتقييمها حسب مؤشر Storie يتراوح بين (81 – 100%).

2- الصنف II: أراضٍ لها محددات معتدلة Moderately Limitation – لإنتاج محصول زراعي معين أو مجموعة محاصيل تقلل من اختيار المحاصيل – تحتاج إلى ممارسات بسيطة للحفاظ على التربة والمياه وتتطلب بعض الاهتمام بإدارة التربة كالتسميد العضوي وغيره، وتقييمها حسب مؤشر Storie يتراوح بين (61 – 80%).

3- الصنف III: أراضٍ لها محددات شديدة Severe limitations لإنتاج محصول أو مجموعة محاصيل زراعية، إذ تتطلب مجموعة من الإجراءات متمثلة بالإدارة الجيدة للتربة وزراعة المدرجات عند المنحدرات الأرضية المعتدلة، وتقييمها حسب مؤشر Storie يتراوح بين (41 – 60%).

4- الصنف IV: أراضٍ لها محددات شديدة جدا Very Severe limitation على زراعة المحاصيل؛ إذ من الصعوبة تطبيق ممارسات الحفاظ على التربة والمياه ويمكن استخدامها في زراعة الغابات والرعي، وتقييمها حسب مؤشر Storie يتراوح بين (21 – 40%).

5- الصنف V: أراضٍ غير مناسبة لزراعة المحاصيل، ولا توجد محددات لاستخدامها في الرعي وزراعة الغابات؛ إذ تعاني من التعرية، وتقييمها حسب دليل Storie، (10 – 20%).

6- الصنف VI: أراضٍ ذات انحدار شديد غالبا يكون (اكبر من 45 %) وتقييمها حسب مؤشر Storie (1 – 10%)، لذلك لها محددات الصنف السابق نفسها باستثناء أن انحدار سطح الأرض أشد وهي تصلح لزراعة الغابات والمراعي.

(*) للتفاصيل ينظر:

1- Onali Bhandari, Land Capability Classification And Crop Suitability Assessment in A watershed using RS And GIS – A case study of watershed in Dehradun, 14th Esri India user conference, Vol. 2013, 2013, p.p. 3-4.

2- USDA, Natural Resources Conservation Service, Introduction to Soils, Web Soil Survey, USA, Pennsylvania, p.24.

3- http://lawr.ucdavis.edu/classes/ssc118/Colusa_County/appendix.html

7- الصنفان VII و VIII: أراضٍ ذات منحدرات شديدة جدا ولا تصلح للاستعمال الزراعي من محاصيل وغابات ورعي بسبب التعرية الشديدة وانتشار الحجارة هنا وهناك، وقيمتهم عند مؤشر Storie يساوي صفراً.

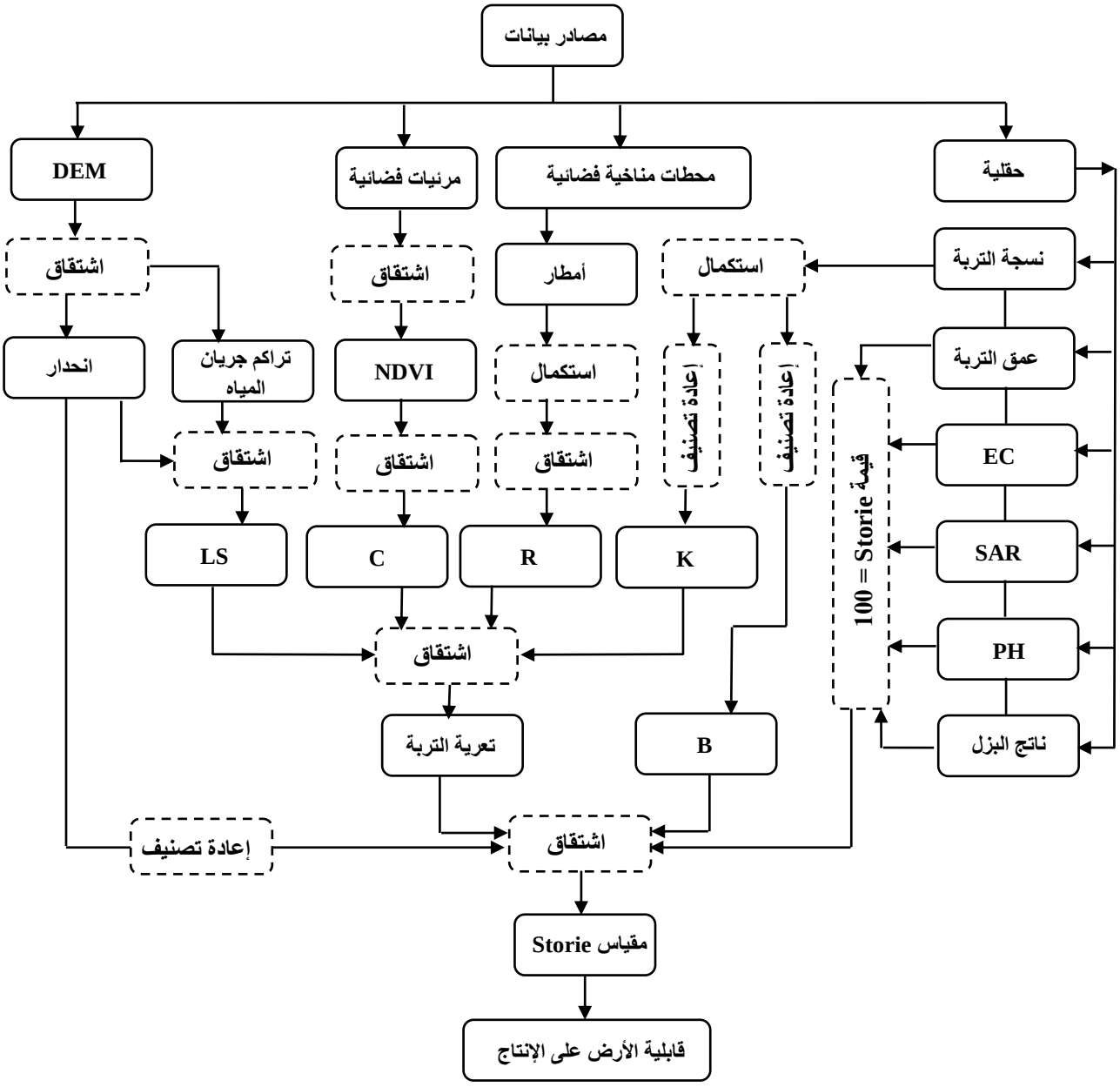
3 -1 – 2 النمذجة الخرائطية لعوامل Storie

Cartographic Modeling of Storie factors

للشروع في النمذجة الخرائطية للعوامل المحددة آنفا، لا بد من معرفة مسبقة حول الإجراءات التقنية اللازمة لتحويل العوامل من بيانات Data إلى معلومات Information. فالإجراءات هي عملية استخدام تقانة تلو أخرى بشكل منطقي وصولا إلى هدف محدد. ولتحقيق الهدف يجب تحديد البيانات المطلوبة اولا، والتقنية المتبعة لبناء نماذج خرائطية وصفية ثانيا، ثم الشروع في بناء الأنموذج الخرائطي الارشادي الذي يجسد قابلة الأرض على الإنتاج وفقا لمؤشر Storie ثالثا.

فبالنسبة للعامل A المعني بعمق التربة فقد أخذ قيمة 100% حسب مؤشر Storie، وكذلك الحال بالنسبة للعوامل الثانوية التابعة للعامل X، كل من (X1,X2,X3,X4) المعنيين، بحموضة التربة وقاعديتها والايصآلية الكهربائية ونسبة الصوديوم الممتز ومستوى البزل على التوالي، وهذا يعني ان قيم العوامل المذكورة مثالية في قابلية الأرض على الإنتاج ضمن مؤشر Storie، إلا أن هناك عوامل أخرى قد تغير مشهد قابلية الأرض على الإنتاج في قضاء سهل أربيل عند نمذجتها خرائطيا، كالعوامل B و C والعامل الفرعي X5 ضمن العامل X، وبهذا سوف تقتصر النمذجة الخرائطية على العوامل (C, B, X5) فقط على اعتبار أن العوامل الأُخرى ضمن مؤشر Storie قد حصلت على تقييم مثالي (100%) في قضاء سهل أربيل كما ذكر آنفا، ينظر الشكل (26)، والملحقين (9-1) و(9-2).

الشكل (26): مخطط النمذجة الخرائطية لقابلية الأرض على الإنتاج في قضاء سهل أربيل وفقا لمؤشر Storie



المصدر: عمل الباحث، اعتمادا على الملحقين (9-1) و(9-2).

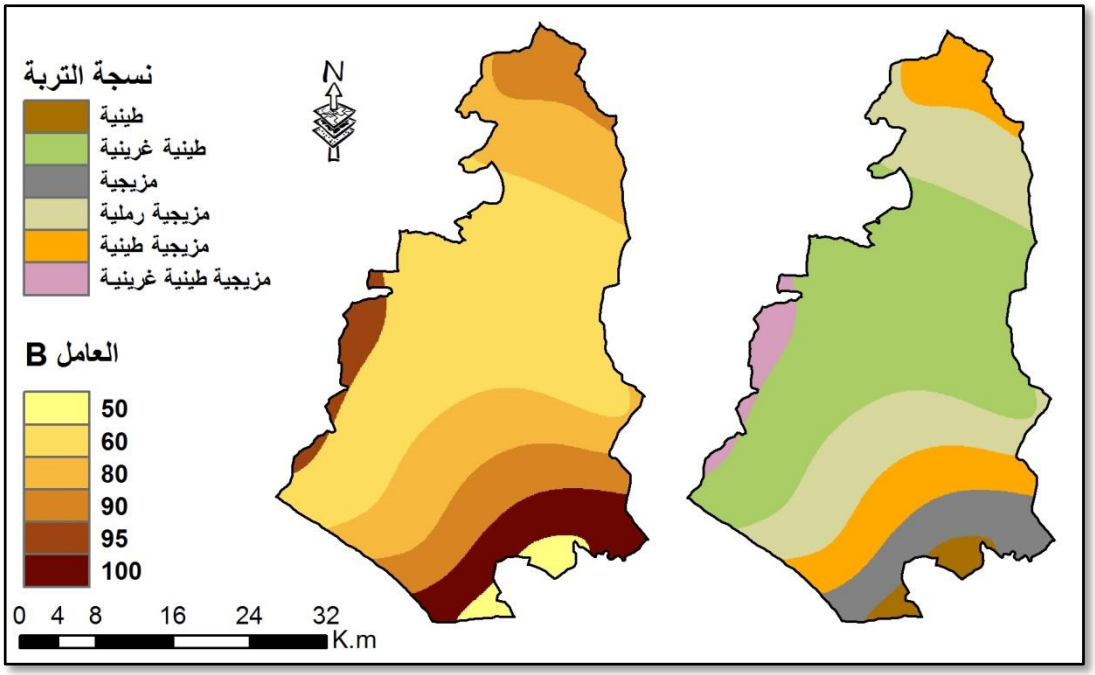
3-1-2-1 نمذجة العامل B (نسجة التربة بمقياس Storie)

B Factor Modeling (Storie Scale of Soil Texture)

من أجل نمذجة العامل B، اعتُمد على عينات من خصائص التربة لـ 18 موقعا داخل قضاء سهل أربيل وحوله، وقد استخدمت تقنية الاستكمال المكاني Spatial Interpolation المتواجدة في امتداد المحلل الإحصائي الأرضي Geostatistical Analyst التابع لبرنامج ArcGIS10.6.1 من أجل تحويل بيانات نسجة التربة إلى خريطة؛ إذ يعرف الاستكمال المكاني

بأنه عملية التنبؤ الرياضي بقيم مفقودة مكانيا لمتغير ما، من قيم مرصودة مكانيا (عينات) لذات المتغير داخل المنطقة المدروسة وحولها[1]، وقبل الشروع في عملية الاستكمال، تمت إعادة تصنيف نسجة التربة إلى صيغة عددية أو شفرات Cods، حتى يتسنى للاستكمال المكاني أن يعمل، كونه يعمل مع البيانات الكمية وليس الاسمية، ثم ادخلت القيم الخاصة بنسجة التربة حسب مقياس Storie ينظر الخريطة (23) والملحق (9-2).

الخريطة (23): العامل B (نسجة التربة بمقياس Storie) في قضاء سهل أربيل



المصدر: عمل الباحث، اعتمادا على برنامج ArcGIS Desktop 10.6.1 والملحقين (9-1) و(9-2).

3-1-2-2 نمذجة العامل C (انحدار سطح الأرض بمقياس Storie)

C Factor Modeling (Slope of the land's Surface by Storie Scale)

يعرف انحدار سطح الأرض Slope في نظم المعلومات الجغرافية بأنه مقدار التغير الحاصل في قيمة ارتفاع وحدة صورية، والوحدة الصورية المجاورة لها؛ إذ إن كل وحدة صورية تكون محاطة بثماني وحدات صورية بالنظام الخلوي، فكلما كان الفرق بين الوحدات الصورية المجاورة كبيرا دل على زيادة تضرس المنطقة، والعكس صحيح، ويحسب المنحدر الأرضي من

(1) Jin Li and Andrew D. Heap, A Review of Spatial Interpolation Methods for Environmental Scientists, Geoscience Australia, Chief Executive Officer Press, Australia, 2008, p. 1.

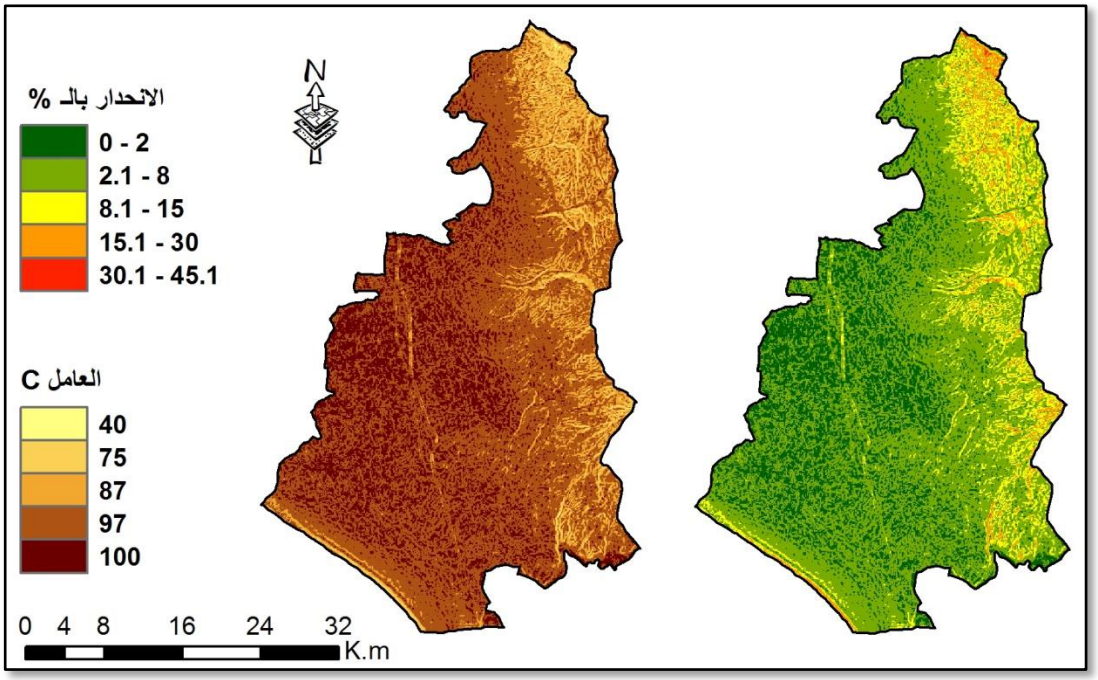
نماذج الارتفاعات الرقمية DEM بنظام الإحداثيات التربيعية ثنائية الابعاد 2D بطريقتين على النحو الآتي[1]:-

$$tan\,\theta = rise/run$$
$$SP = rise/run * 100$$

إذ إن: θ = زاوية الانحدار، $rise$ = المقابل، run = المجاور، SP = نسبة الانحدار.

وقد تم اشتقاق نسبة الانحدار آليا من الأنموذج الرقمي للارتفاعات DEM باستخدام الأداة Slope في برنامج ArcGIS desktop 10.6.1 ضمن امتداد المحلل المكاني Extension Spatial Analyst، ثم أعيد تصنيف المنحدرات الأرضية وفقا لمقياس Storie من أجل الحصول على العامل C، ينظر الخريطة (24).

الخريطة (24): العامل C (انحدار سطح الأرض بمقياس Storie) في قضاء سهل أربيل



المصدر: الباحث، اعتمادا على برنامج ArcGIS Desktop 10.6.1 والملحق (9-1) والأنموذج الرقمي للارتفاعات DEM.

3-1-2-3 نمذجة العامل X5 (تعرية التربة)

X5 Factor Modeling (Soil Erosion)

تعد تعرية التربة أحد الأسباب الرئيسة لتدهور التربة، وغالبا ما ترتبط بالكثافة الزراعية وإزالة الغابات والانشطة البشرية التي لم تهتم بالبيئة، وهي ناتج تفاعل بين استعمالات الأرض

(1) ESRI, ArcGIS Desktop 10.6.1Software Help, How Slope works, 2018.

والتضاريس وشدة الأمطار وأنواع التربة[1]، إذ تنطوي تعرية التربة على فصل ونقل طبقات التربة العليا، مما يؤدي إلى تدهور جودة التربة ومن ثم تقليل إنتاجية الأرض[2]، ان العامل X5 (كما ذكر سابقا) هو ناتج المعادلة العامة المنقحة لفقدان التربة RUSLE، التي تحتوي بدورها على مجموعة من المتغيرات الداخلة كعوامل متحكمة في تعرية التربة، لذلك لابد من نمذجة العوامل خرائطيا من أجل الوصول إلى خريطة تعرية التربة المعبرة عن العامل X5 ضمن معادلة Storie، ومن ثم نمذجة قابلية الأرض على الإنتاج خرائطيا، لذلك يمكن نمذجة العامل X5 الذي يتضمن مجموعة من المتغيرات الفرعية لمعادلة RUSLE على النحو الآتي:-

3-1-2-3-1 نمذجة العامل R (قابلية المطر على التعرية)

R Factor Modeling (Ability of Rain to Erosion)

يرتبط معدل تعرية التربة بتأثير سقوط الأمطار التي تعمل على تكسير سطح التربة والتسبب في حدوث الجريان السطحي[3]، لذلك تمت نمذجة قابلية المطر على التعرية (العامل R) خرائطيا بمرحلتين: تضمنت المرحلة الأولى في استكمال بيانات معدل المطر السنوي لمدة زمنية مقدارها 18 سنة (2002-2019) بما يتناسب مع المدد الزمنية للمرئيات الفضائية المستخدمة في الدراسة ولـ 30 محطة مناخية فضائية[*] (ينظر الملحق 9-3)، تقع داخل قضاء سهل أربيل وحوله وذلك من أجل الحصول على سطح خلوي معني بالمعدل السنوي لكمية الأمطار الساقطة على قضاء سهل أربيل، ثم تضمنت المرحلة الثانية إخضاع السطح المستكمل إلى معادلة خاصة بقابلية المطر على التعرية باستخدام الأداة Raster Calculator المعنية

(1) R. Roslee and K. Sharir, Soil Erosion Analysis using RUSLE Model at the Minitod Area, Journal of Physics: Conference Series, Vol. 1358, No. 1, 2019, p. 1.

(2) George Ashiagbor, et al., Modeling Soil Erosion using RUSLE and GIS Tools, International Journal of Remote Sensing & Geoscience (IJRSG), Vol. 2, No. 4, 2013, p. 7.

(3) R. Roslee and K. Sharir, Op cit., p. 1.

(*) استخدمت محطات مناخية فضائية بدلا من محطات مناخية أرضية لسببين: الأول في عدم تمكن الباحث من الحصول على بيانات من محطات مناخية أرضية، والثاني في ان المحطات المناخية الأرضية حتى وان وجدت هي ذات عدد قليل جدا، إذ تقع محطة واحدة داخل قضاء سهل أربيل وباقي المحطات الواقعة حول المنطقة لا تتعدى البضع محطات. مما لا يسمح بإجراء الاستكمال من جانب، وغياب المصداقية الإحصائية للأنموذج المستكمل في حالة وصول العدد إلى 10 محطات عند الاعتماد على المحطات الأرضية من جانب آخر، ذلك لقلة عدد المحطات.

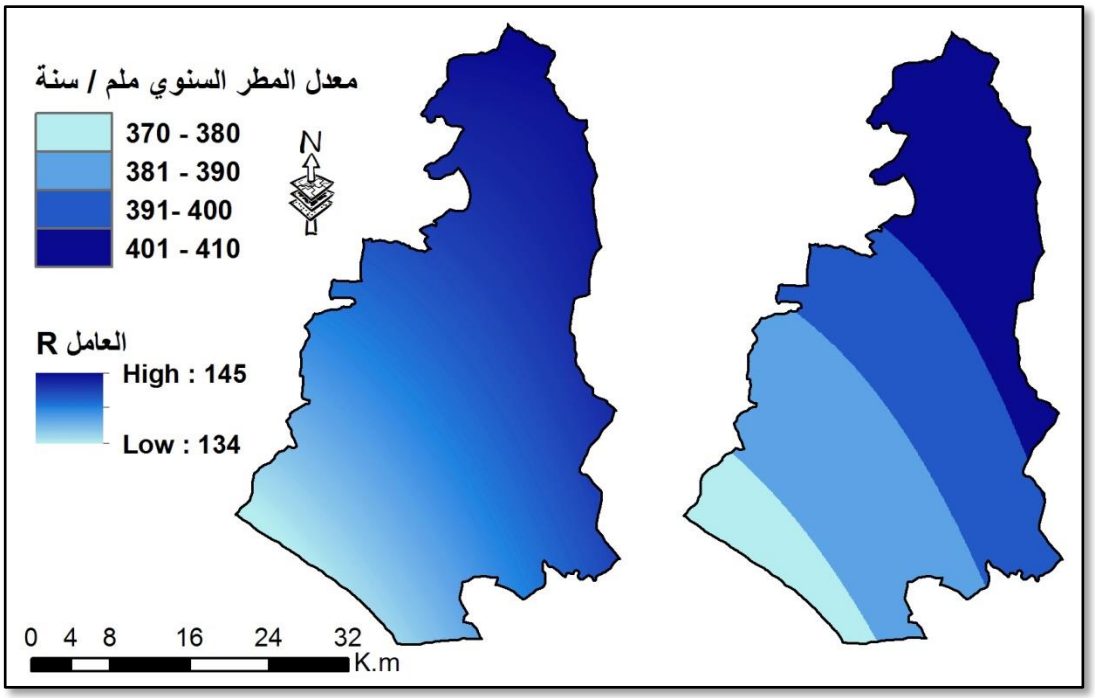
بجبر الخرائط Map Algebra، ضمن امتداد المحلل المكاني في برنامج ArcGIS Desktop 10.6.1، على النحو الآتي[1]:-

$$R = 3.85 + 0.35(p)$$

إذ إن:

R = قابلية المطر على التعرية، (p) = معدل المطر السنوي (ملم / سنة). ينظر الخريطة (25).

الخريطة (25): العامل R (قابلية المطر على التعرية بمقياس RUSLE) في قضاء سهل أربيل



المصدر: عمل الباحث اعتمادا على برنامج ArcGIS Desktop 10.6.1 والملحق (9-3).

(1) Iyad Zamareh, et al., Developing an Erosion Model of Surif, Beit Ummar, and Tarqumya Catchment Areas using Geographic Information System (GIS) Software and Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE), 2008, p. 76. Internet link: http://scholar.ppu.edu/bitstream/handle/123456789/1207/DEVOLOPING%20AN%20EROSION%20MODEL%20OF%20SURIF%2C%20BEIT%20UMMAR%2C%20AND%20TARQUMYA%20CATCHMENT%20AREAS%20USING%20GEOGRAPHIC%20INFORMATION%20SYSTEM%20%28GIS%29%20SOFTWARE%20AND%20REVISED%20UNIVERSAL%20SOIL%20LOSS%20EQUATION%20%28RUSLE%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y

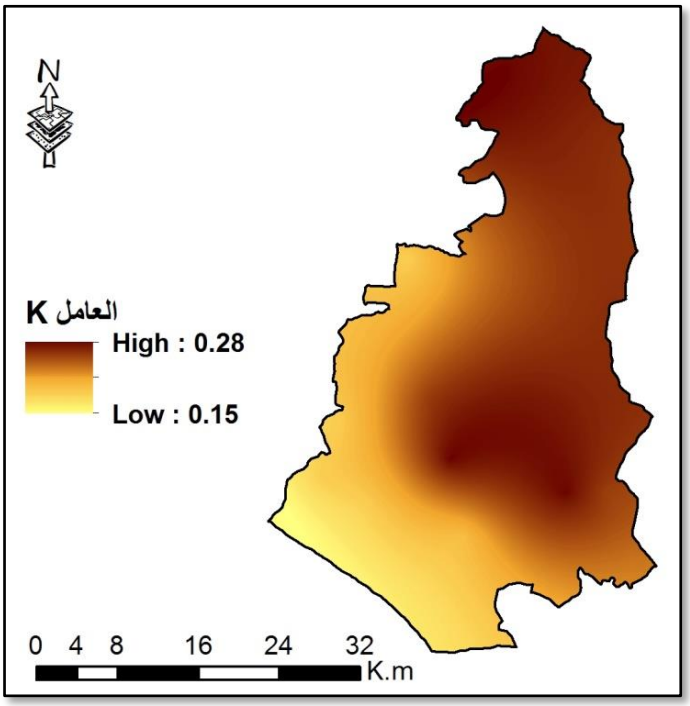
3-1-2-3-2 نمذجة العامل K (قابلية التربة على التعرية)

K Factor Modeling (Soil Susceptibility to Erosion)

يحدد عامل قابلية التربة على التعرية (K)، تماسك التربة وقدرتها على مقاومة التعرية المائية التي تسببها الأمطار[1]؛ إذ تعد نسجة التربة ومحتواها العضوي Organic Content عاملا حيويا في تحديد قابلية التربة على التعرية، فنسجة التربة تحدد مدى نفاذيتها Permeability التي تقاس بدورها بنسبة المكونات الثلاثة، الرمل والطين والغرين، كما تساعد المادة العضوية في تحسين قابلية التربة على الاحتفاظ بالماء ومن ثم سيؤثر ذلك على توليد السيح السطحي Runoff، لذلك فإن الترب الرملية أقل استجابة للتعرية المائية بسبب قدرتها على الترشيح والحد من السيح السطحي، على عكس الترب الطينية ذات النفاذية الواطئة التي تزيد من شدة السيح السطحي ونقل الرواسب[2].

تبعا لذلك فقد اعتمد على نسجة التربة في تقدير عامل قابلية التربة على التعرية، ذلك على مستوى المعالم النقطية، ثم أجري الاستكمال المكاني للقابلية من أجل وضع أنموذج خرائطي لها، ينظر الخريطة (26) والملحق (9-4).

الخريطة (26): العامل K (قابلية التربة على التعرية بمقياس RUSLE) في قضاء سهل أربيل



المصدر: عمل الباحث، اعتمادا على برنامج ArcGIS Desktop 10.6.1 والملحق (9-4).

(1) A.E. Gadem, et.al., Decision Support System for Soil Productivity and Erosion in Polk county, Nebraska, 2001, p. 11. Internet link: http://www.cse.unl.edu/~reich/publications/asprs2001-036.pdf

(2) George Ashiagbor, et al., op cit., p. 10.

3-1-2-3-3 نمذجة العامل LS (عامل الطوبوغرافيا)

LS Factor Modeling (Topography Factor)

تعد الطوبوغرافيا عاملا جغرافيا أساسيا يؤثر على تعرية التربة، فهي تتحكم في حركة واتجاه الجريان السطحي ومن ثم مقدار التعرية [1]. إن العامل (LS) هو مركب من متغيرين أساسيين معنيين بطول المنحدر الأرضي Slope Length، ونسبته Slope Percentage[2]. فطول المنحدر (L) هو المسافة الواقعة بين نقطة معينة تبدأ الأرض فيها بالانخفاض إلى الحد الذي يبدأ فيه ترسيب المواد السطحية، أو تدخل مياه الجريان السطحي في قناة محددة جيدا (جدول أو اخدود)، وبذلك تزداد تعرية التربة مع زيادة طول المنحدر، أما نسبة الانحدار (S) فتعني بمقدار شدة المنحدر الأرضي الذي يؤثر طرديا في شدة التعرية، ويقاس عامل الطوبوغرافيا باستخدام المعادلة الآتية[3]:-

$$LS = \left(\frac{QaM}{22.13}\right)^{0.5} * (\ 0.065 + 0.045 * Sg + 0.0065 * Sg^2)$$

إذ إن: LS= عامل الطوبوغرافيا، Qa= طبقة تراكم الجريان Flow Accumulation Layer، M= الدقة المكانية لطبقة تراكم الجريان، Sg= طبقة نسبة المنحدر الأرضي Slope Percentage Layer.

ومن أجل نمذجة العامل (LS)، تم حساب المنحدر الأرضي بالنسبة المئوية من الأنموذج الرقمي للارتفاعات DEM باستخدام الأداة Slope، وهو يعبر عن نسبة المنحدر، وحساب تراكم الجريان الذي يعبر عن طول المنحدر الأرضي، ذلك باستخدام مجموعة من أدوات التحليل الهيدرولوجي في امتداد المحلل المكاني ضمن برنامج ArcGIS Desktop 10.6.1، ابتداء من الأداة Fill، ثم الأداة Flow Direction ثم الأداة Flow Accumulation. بعد ذلك، تم تنفيذ المعادلة أعلاه باستخدام جبر الخرائط ضمن أداة Raster Calculator بعد الحصول على متغيري طول المنحدر وشدته، للوصول إلى عامل الطوبوغرافيا، ينظر الخريطة (27).

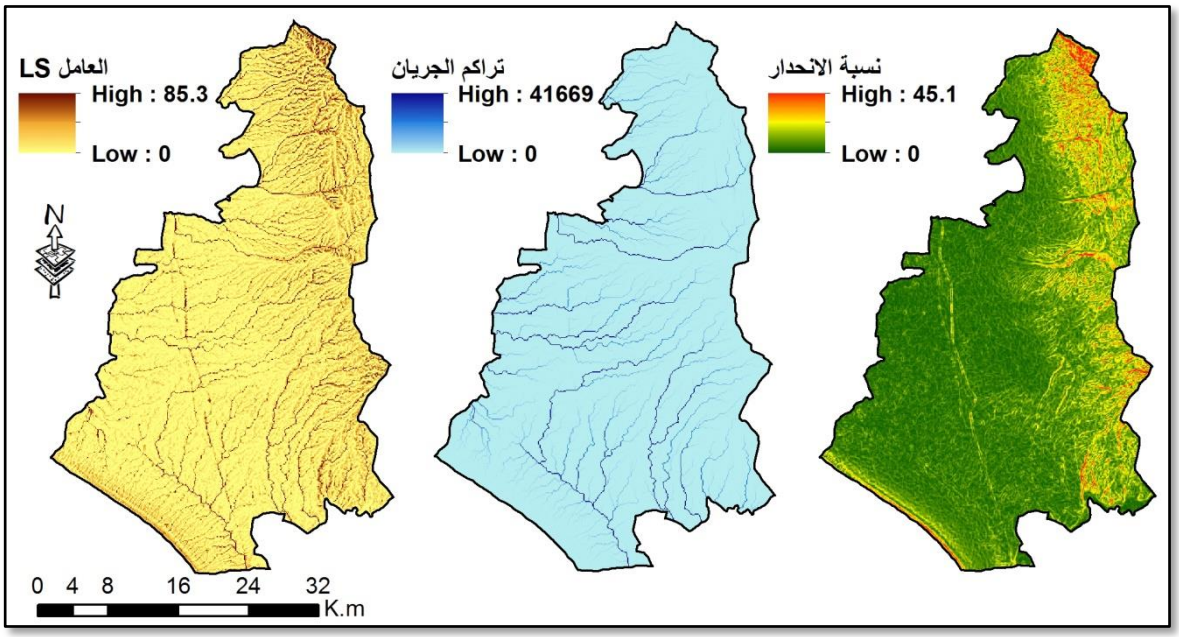
---

(1) Jinping Xue, et al., Assessment of Soil Erosion Dynamics Using the GIS-Based RUSLE Model: A Case Study of Wangjiagou Watershed from the Three Gorges Reservoir Region, Southwestern China, Journal of Water, Vol. 10, No. 12, 2018, p. 5.

(2) Akali Ngaywa Moses, GIS-RUSLE Interphase Modeling of Soil Erosion Hazard and Estimation of Sediment Yield for River Nzoia Basin in Kenya, Journal of Remote Sensing and GIS, Vol. 6, No. 3, 2017, p. 2.

(3) Yared Mesfin Tessema, et al., Soil Loss Estimation for Conservation Planning in the Welmel Watershed of the Genale Dawa Basin, Agronomy, Vol. 10, No. 6, 2020, p. 6.

الخريطة (27): العامل LS (عامل الطوبوغرافيا بمقياس RUSLE) في قضاء سهل أربيل



المصدر: عمل الباحث، اعتمادا على برنامج ArcGIS Desktop 10.6.1 والأنموذج الرقمي للارتفاعات DEM.

3-1-2-3-4 نمذجة العامل C (عامل الغطاء النباتي)

LS Factor Modeling (Vegetation Factor)

إن زيادة الغطاء النباتي تشير إلى انخفاض المساحة المكشوفة من التربة، ومن ثم انخفاض احتمالية تعرضها إلى التعرية، كما إن هذه الزيادة سوف تؤدي إلى خشونة السطح من حيث انتشار أوراق النباتات وعرقلة قابلية المطر على التعرية، فضلا عن نقل الرواسب بفعل الجريان السطحي[1]، لذلك يعد المؤشر النباتي المطبع NDVI أفضل البيانات في تقدير العامل C، ذلك وفقا للمعادلة التي وضعها Durigon على النحو الآتي[2]:-

$$C = \left(\frac{-NDVI + 1}{2}\right)$$

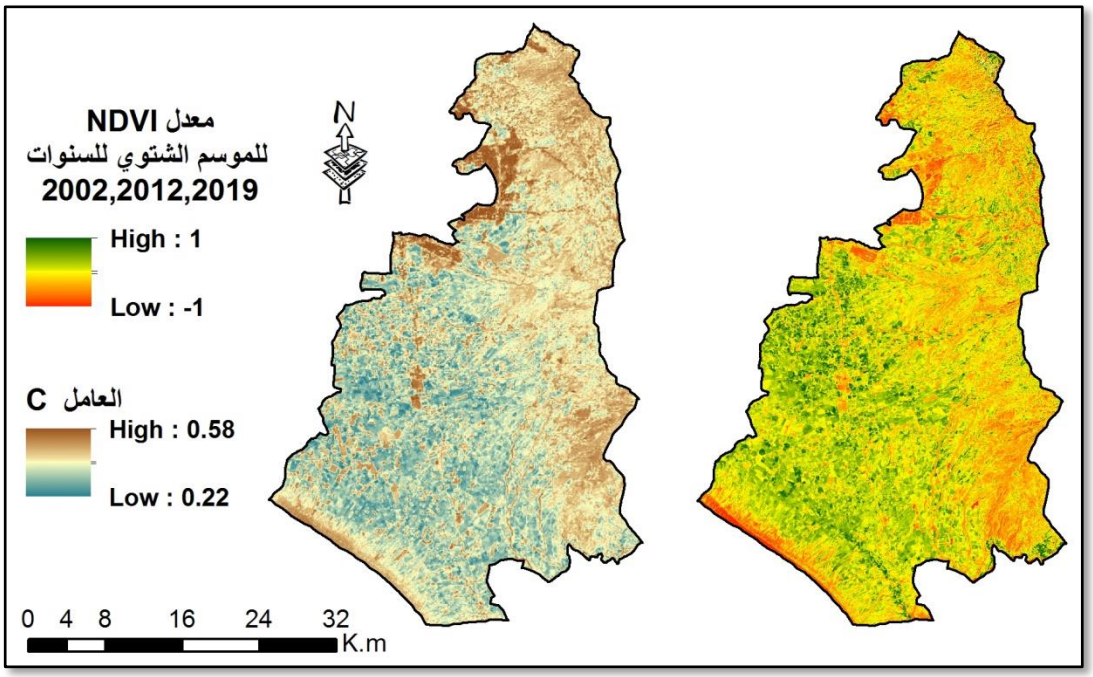
إذ إن: C = عامل الغطاء النباتي، $NDVI$ = مؤشر الغطاء النباتي المطبع.

(1) Narasayya Kamuju, Spatial Identification and Classification of Soil Erosion Prone Zones using Remote Sensing & GIS Integrated 'RUSLE' Model and SATEEC GIS System, International Journal of Engineering Sciences & Research Technology, Vol. 5, No. 10, 2016, p. 681.

(2) Daniel Fonseca de Carvalho, et al., Predicting soil erosion using RUSLE and NDVI time series from TM Landsat 5, Pesquisa Agropecuária Brasileira, Vol. 49, No.3, 2014, p. 218.

ومن أجل تنفيذ نمذجة العامل C خرائطيا مع الأخذ بنظر الاعتبار التغير المستمر للغطاء النباتي، تم استخراج معدل NDVI للموسم الزراعي الشتوي للسنوات المدروسة (2002,2012,2019) ثم إدخال الناتج إلى المعادلة باستخدام الأداة Raster Calculator لنمذجة العامل C خرائطيا، ينظر الخريطة (28).

الخريطة (28): العامل C (عامل الغطاء النباتي بمقياس RUSLE) في قضاء سهل أربيل



المصدر: عمل الباحث، اعتمادا على برنامج ArcGIS Desktop 10.6.1 ومرئيات Landsat 7 (ETM+) و Landsat 8 (OLI).

أما بالنسبة لعامل صيانة التربة (P) المعني بممارسات الحفاظ على التربة، كالزراعة الكنتورية والشريطية للتقليل من حجم الجريان السطحي بغية الحد من تعرية التربة، فقد تم إعطاء قيمة 1 للعامل R في معادلة RUSLE، نظرا لعدم وجود أي من ممارسات الحفاظ على التربة في قضاء سهل أربيل، ذلك استنادا على ما شوهد في أثناء الزيارة الميدانية لقضاء سهل أربيل، وبذلك تم تطبيق معادلة RUSLE لاشتقاق تعرية التربة خرائطيا، بناء على ضرب العوامل R وK وLS وC، باستخدام جبر الخرائط في الأداة Raster Calculator، ثم إعادة تصنيف تعرية التربة اعتمادا على طريقة RUSLE، إذ تظهر وحدة قياس كمية التعرية بـ (طن / هكتار / سنة) ولأربع مستويات [1]، ثم عُمِدَ إلى ضرب كمية التعرية بعامل قيمته

(1) D. L. D. Panditharathne, et al., Application of Revised Universal Soil Loss Equation (Rusle) Model to Assess Soil Erosion in "Kalu Ganga" River Basin in Sri Lanka, Applied and Environmental Soil Science, 2019, p.12.

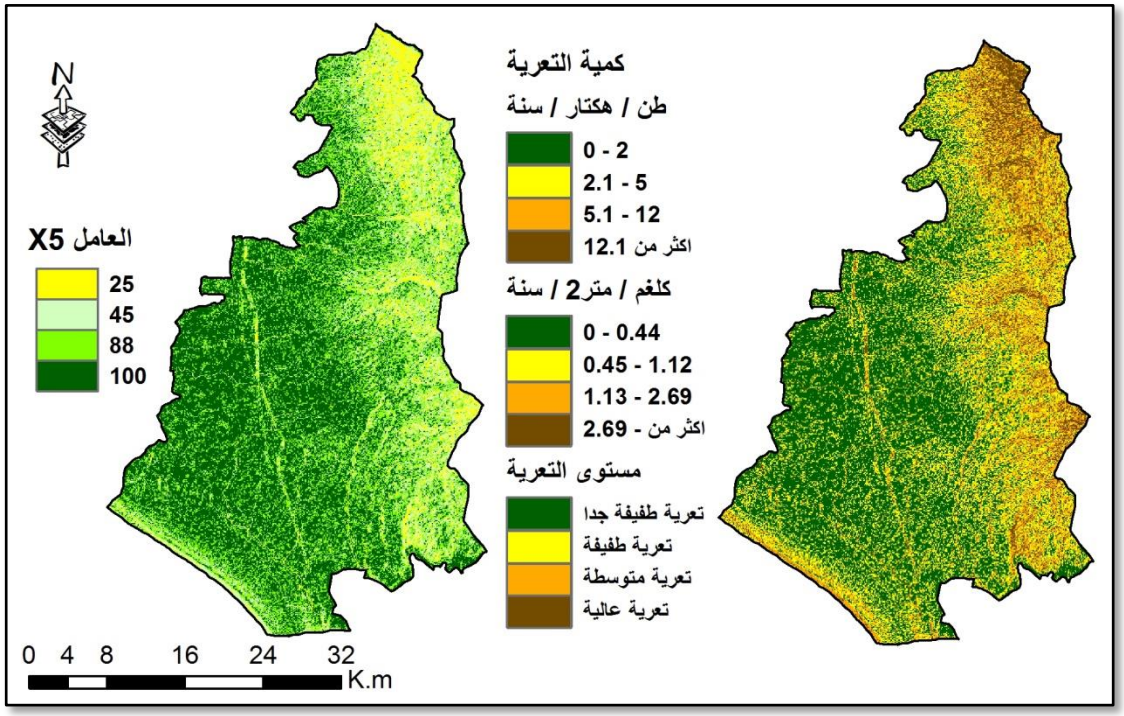
(0.2242) [1] حتى يتم تحويل وحدة قياس المساحة إلى النظام المتري بما يتناسب مع وحدات قياس المساحة المعتمدة في هذه الدراسة، ثم جاءت المرحلة الأخيرة بإعادة تصنيف مستوى تعرية التربة مرة ثانية اعتمادا على مؤشر Storie بوصفها العامل (X5) ضمن قابلية الأرض على الإنتاج، ينظر الجدول (7) والخريطة (29).

الجدول (7): تصنيف كمية ومستويات التعرية وفقا لمعادلة RUSLE

كمية التعرية طن / هكتار/ سنة	كمية التعرية كيلوغرام/ متر^2/ سنة	مستوى التعرية
0 - 2	0 - 44	تعرية طفيفة جدا
2.1 - 5	0.45 – 1.12	تعرية طفيفة
5.1 – 12	1.13 – 2.69	تعرية متوسطة
12 فاكثر	2.69 فأكثر	تعرية شديدة

المصدر: D. L. D. Panditharathne, et al, op cit., p. 12.

الخريطة (29): العامل X5 (تعرية التربة بمقياس Storie) في قضاء سهل أربيل

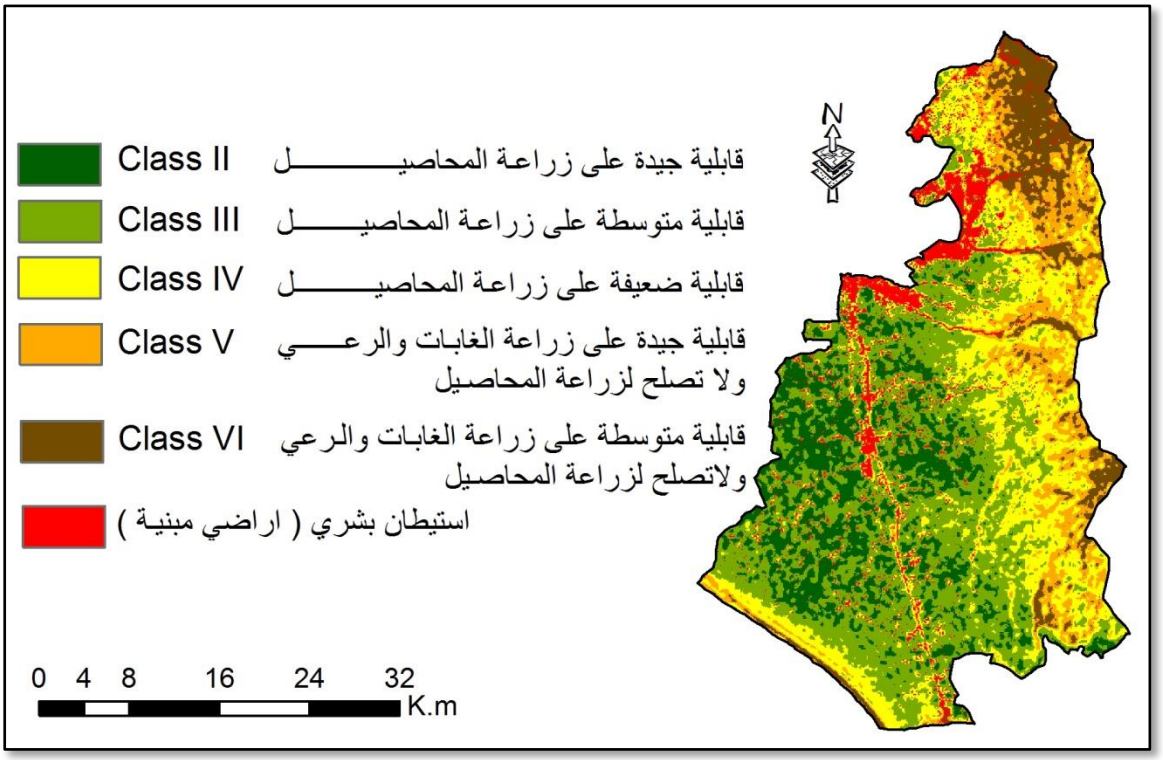


المصدر: عمل الباحث، اعتمادا على برنامج ArcGIS Desktop 10.6.1 والجدول (7) والملحق (9-1).

(1) K.G Renard, et. Al., Prediction Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE), USDA, Agriculture Handbook No. 703, Washington, USA, 1997, p. 327.

بعد نمذجة عوامل Storie خرائطيا، تم تنفيذ المعادلة الخاصة بقابلية الأرض على الإنتاج، ضمن بيئة جبر الخرائط باستخدام الأداة Raster Calculator للحصول على قيمة Storie، لقابلية الأرض على الإنتاج في قضاء سهل أربيل، ينظر الخريطة (30) والجدول (8).

الخريطة (30): قابلية الأرض على الإنتاج في قضاء سهل أربيل لعام 2019



المصدر: عمل الباحث اعتمادا على برنامج ArcGIS Desktop 10.6.1 والملحق (9-1).

الجدول (8): مساحة أصناف القابلية الإنتاجية للأرض في قضاء سهل أربيل لعام 2019

الصنف	المساحة بالكم^2	% من مجموع مساحة القضاء
Class II	203.04	15.56
Class III	452.84	34.69
Class IV	287.96	22.06
Class V	161.23	12.35
Class VI	102.83	7.88
استيطان بشري	97.40	7.46
المجموع	1305.3	100

المصدر: عمل الباحث اعتمادا على الخريطة (30).

وبذلك يلاحظ أن قضاء سهل أربيل يخلو من الصنف الأول Class I من قابلية الأرض على الإنتاج التي ليس لها أية محددات إنتاج وتصلح لجميع أنواع المحاصيل، وكذلك يخلو القضاء من الصنفين السابع والثامن Class VII, VIII اللذين لا يصلحان للنشاط الزراعي، وعلى الجانب الاخر، فإن أفضل الأراضي الزراعية التي تتوطن في قلب القضاء (وسطه) هي من الصنف الثاني Class II التي لها محددات معتدلة في إنتاج المحاصيل؛ إذ تشغل مساحة قدرها 203.04 كم^2 بواقع 15.56% من المساحة الكلية للقضاء، يحيطه الصنف الثالث Class III من القابلية بمساحة قدرها 452.84 كم^2 ونسبة 34.69% من مساحة المنطقة، وهذه المساحة تتوافق مكانيا مع توطن أصناف زراعة الحبوب والخضراوات والأراضي المحروثة على الخرائط المعنية باستعمالات الأرض والكشف عن التغير التي نُمذجت في الفصل الثاني. سواء كانت هذه الخرائط أصناف استعمالات الأرض أم خرائط الزيادة والنقصان ام خرائط النزعة المكانية، وكذلك الحال بالنسبة للأصناف الأُخرى المعنية بالقابلية الإنتاجية، إذ إن الصنفين الخامس والسادس Class V, VI ذات المساحة 161.23 و102.83 كم^2 وبنسبة 7.88 و7.46% من مساحة القضاء على التوالي، تتوافق مع توطن صنف المراعي والأراضي الجرداء على نحو عام، أما الصنف الرابع Class IV ذات المساحة 287.96 كم^2 ونسبة 22.06%، فهو صنف حرج بين الأراضي التي تصلح والتي لا تصلح لزراعة المحاصيل، بسبب المحددات الشديدة جدا، لذلك يعتمد استثمار هذه الأراضي لأغراض زراعة المحاصيل على درجة عالية من ممارسات الحفاظ على التربة، مما يجعلها مكلفة اقتصاديا؛ إذ ما استثمرت في زراعة المحاصيل مقارنة بزراعة الغابات والرعي.

3- 2 النمذجة الخرائطية لملاءمة الأرض على زراعة المحاصيل الاستراتيجية

Cartographic Modeling of Land Suitability for Strategic Crops Cultivation

يقصد بالملاءمة المكانية الزراعية بانها مقياس لمدى توافق خصائص الأرض الطبيعية والبشرية مع متطلبات نوع محدد من أنواع استعمالات الأرض الزراعية[1]، أي أنها تشمل حصر متطلبات المحاصيل وفحص الأرض لمدى إمكانيتها على دعم استعمال زراعي محدد بمستويات

(1) Kassa Teka and Mulu Haftu, Land Suitability Characterization for Crop and Fruit Production in Midlands of Tigray, Momona Ethiopian Journal of Science, Vol. 4, No. 1, 2012, p. 65.

ملاءمة مختلفة[1]، لذلك فتطبيقها يعد شرطا أساسيا من شروط الزراعة المستدامة المعنية بالحصول على أعلى إنتاج مع أقل تدهور للأرض [2].

لذلك فالملاءمة المكانية الزراعية تختلف مفاهيميا عن القابلية الإنتاجية للأرض، من حيث إن الاخيرة معنية بقدرة الأرض الموروثة من خصائصها الطبيعية على احتواء استعمالات الأرض الزراعية المختلفة، لذلك فهي تقع ضمن التقييم العام للأرض، أما الملاءمة المكانية الزراعية فهي معنية بمدى ملاءمة إمكانية الأرض على احتواء استعمال زراعي معين على وفق مستويات محددة، وبهذا تقع الملاءمة ضمن التقييم الخاص للأرض.

ظهر مصطلح الملاءمة الزراعية Suitability Agricultural اول مرة من لدن منظمة الأغذية والزراعة التابعة للأمم المتحدة Food and Agriculture Organization (FAO) عام 1976، بمؤلف تحت عنوان (إطار عمل لتقييم الأرض A Framework for Land Evaluation)، ليصبح بعد ذلك إطار عمل بحثي على المستوى العالمي [3].

وبذلك فإن النمذجة الخرائطية للملاءمة المكانية الزراعية مشابهة لمفهوم النمذجة الخرائطية لقابلية الأرض على الإنتاج، من حيث إنها تتمحور حول تحويل البيانات إلى نماذج خرائطية رقمية تعبر عن مستويات تصنيفية بمساحات محسوبة، بوصفها حاصل العمليات الحسابية التي يمكن تنفيذها خرائطيا Cartographically.

ونظرا لكون الملاءمة المكانية إحدى جوانب التقييم الخاص للأرض، وإن لكل محصول مستويات ملاءمة تختلف بطبيعتها عن غيره من المحاصيل، فسوف تعمد الدراسة إلى الشروع في نمذجة الملاءمة المكانية الزراعية للمحاصيل الاستراتيجية فقط، المتوطنة في قضاء سهل أربيل، التي تشمل القمح والشعير كمحاصيل شتوية والذرة الصفراء كمحصول صيفي، ذلك للأسباب الآتية:-

(1) A. O. Olaniyi, et al., Agricultural Land Use Suitability Assessment in Malaysia, Bulgarian Journal of Agricultural Science, Vol. 21, No 3, 2015, p. 561.

(2) Mohammad Shah Nawaz Khan and Mazhar Ali Khan, Land Suitability Analysis for Sustainable Agricultural Land Use Planning in Bulandshahr District of Uttar Pradesh, International Journal of Scientific and Research Publications, Vol. 4, No. 3, 2014, p. 1.

(3) David G. Rossiter, et al., A Theoretical Framework for land evaluation, Geoderma, Vol. 72, No. (3-4), 1996, p.p. 2-3.

1- يعد القمح والشعير فضلا عن الذرة الصفراء من أهم محاصيل الحبوب الاستراتيجية في العالم، كونها تمثل الغذاء الرئيس لغالبية السكان، ولها علاقة وثيقة بالأمن الغذائي، ومن ثم الأمن الوطني لأية دولة[1].

2- إن في حال الذهاب نحو نمذجة المحاصيل المزروعة كافة في قضاء سهل أربيل من حبوب وخضراوات وللموسمين الزراعيين الصيفي والشتوي، سوف يتطلب ذلك دراسة كاملة خاصة بموضوع الملاءمة المكانية للمحاصيل الزراعية، بينما لا تشكل الملاءمة المكانية الزراعية سوى جزء من فصل في هذه الدراسة بما يتناسب مع طبيعة أهدافها، لذلك يرى الباحث بأن الملاءمة المكانية للمحاصيل الاستراتيجية سوف تعطي الملامح الرئيسة للملاءمة المكانية الزراعية في قضاء سهل أربيل، بوصفه منطقة واقعة في دولة نامية.

3- 2 – 1 أصناف الملاءمة المكانية الزراعية

Class of Agricultural Spatial Suitability

تعد معرفة موارد الأراضي حاجة أساسية خاصة في البلدان النامية، ولتقليل الضغط على الموارد الطبيعية وتحديد الاستعمال المناسب للأرض، فمن الضروري إجراء تقييم علمي لها من خلال تصنيف مدى ملاءمتها لاستعمالات معينة[2]؛ إذ حددت منظمة الاغذية والزراعة التابعة للأمم المتحدة FAO أصناف الملاءمة ضمن صنفين رئيسين يتفرعان إلى مستويات ترتيبية ألا وهو الصنف (S ملائم) الذي يتفرع إلى ثلاثة مستويات والصنف (N غير ملائم) الذي يتفرع إلى مستويين، وبذلك يكون مجموع أصناف الملاءمة المكانية الزراعية خمسة مستويات، على النحو الآتي[3]:-

1- الصنف S1 (ملاءمة عالية Highly Suitable): وتشمل الأراضي التي ليس لها محددات تذكر لاستعمال زراعي معين، بحيث تقلل من إنتاجية المحصول أو تزيد من تكاليف الإنتاج فوق المستوى المقبول.

---

(1) داود فهد عبدالله وخالد ياسين الزبيدي، التحليل الاقتصادي والقياسي للسياسة السعرية للمحاصيل الاستراتيجية للعراق للمدة (1990 – 2013)، مجلة جامعة تكريت للعلوم الزراعية، المجلد 16، العدد 1، 2016، ص 234.

(2) Hanieh Saremi, et al., GIS based evaluation of land suitability: A case study for major crops in Zanjan University region, Journal of Food, Agriculture & Environment, Vol. 9, No. 1, 2011, p. 741.

(3) FAO and Agriculture Organization of the United Nations, A framework for land evaluation, Vol. 32, 1976, Web Book, Internet link: http://www.fao.org/3/x5310e/x5310e04.htm#3.2%20structure%20of%20the%20suitability%20classification

2- الصنف S2 (ملاءمة معتدلة Moderately Suitable): وتشمل الأراضي التي لها محددات معتدلة لاستعمال زراعي معين، وهذه المحددات تعمل على تقليل الإنتاجية وزيادة التكاليف بشكل نسبي فوق المستوى المقبول، وعلى الرغم من أن هذا الصنف من الأراضي لازال جيدا، لكنه أقل أهمية من الأراضي ذات الصنف S1.

3- الصنفS3 (ملاءمة ضعيفة Marginally Suitable): وتشمل الأراضي التي لها محددات شديدة لاستعمال زراعي معين، وهذه المحددات تعمل على زيادة تكاليف الإنتاج على نحو أكبر من المنافع المتوخاة من الاستعمال الزراعي المعني.

4- الصنف N1 (غير ملائم حاليا Currently not Suitable): وتشمل الأراضي التي لها محددات شديدة جدا تمنع توطن استعمال زراعي معين، مع احتمال التغلب على هذه المحددات بمرور الزمن، أي تكون التقنيات الحالية غير مجدية للاستصلاح فضلا عن عدم مقبولية النفقات المعدة لذلك في الوقت الحاضر.

5- الصنف N2 (غير ملائم دائما Permanently not Suitable): وتشمل الأراضي التي لها محددات شديدة جدا تمنع أية احتمالات ممكنة لتوطن استعمال زراعي معين.

3- 2 – 2 تقييم أصناف الملاءمة المكانية الزراعية

Class Rating of Agricultural Spatial Suitability

يُحكم على أصناف الملاءمة من خلال عملية تقييم خصائص الأرض بما فيها المناخ، إذ إن كل متغير من المتغيرات الداخلة في خاصية الأرض (طوبوغرافيا، تربة، مناخ)، له مديات عددية معينة متفق عليها عالميا ومن ثم له تقييم محدد[1]، أي يتم التقييم استنادا إلى مديات خاصة معنية بكل متطلب من متطلبات زراعة محصول معين، وتكون مقسمة على أساس أصناف الملاءمة الخمسة (S1, S2, S3, N1, N2,)، يعطى التصنيف الأعلى على الإطلاق ضمن الصنف S1 قيمة 100؛ إذ يكون المتطلب خالياً من المحددات، وكلما كثرت المحددات أو ابتعدت قيمة المتطلب عن الوضع المثالي لمحصول معين انخفضت قيمته عن الـ 100، وهكذا تكون أصناف الملاءمة عبارة عن مديات عددية قيمتها تبدأ من الصفر إلى الـ 100[2]،

(1) Edoardo A.C. Costantini, Manual of methods for soil and land evaluation, Science Publishers, USA, 2009, p. 8.

(2) C. Cys, et al., Land Evaluation Part II Methods in Land Evaluation, Agricultural Publication, Brussels – Belgium, 1991, p.127.

وعلى الجانب الآخر، تحسب كل خاصية من خصائص الأرض المناسبة لزراعة محصول معين بعد استيفاء متغيراتها، ذلك باستخدام معادلة خاصية الأرض على النحو الآتي[1]:-

$$I = A * \left(\frac{B}{100}\right) * \left(\frac{C}{100}\right) * \dots\dots \left(\frac{n}{100}\right)$$

إذ إن: I = ملاءمة خاصية الأرض، $A, B, C, \dots\dots n$ = المتغيرات الداخلة في ذات الخاصية.

بمعنى آخر تحسب ملاءمة كل متغير اعتمادا على قيمته من 100، وبذلك تقسم الدرجات على أساس أصناف الملاءمة الخمسة، في حين يتم حساب ملاءمة كل خاصية اعتمادا على المعادلة السابقة بإدخال المتغيرات المرتبطة بها ثم تقسم قيمة الخاصية من 100 على أساس الأصناف الخمسة، كما في الجدول (9).

الجدول (9): تقييم المتغيرات والخصائص للملاءمة المكانية الزراعية

أصناف الملاءمة	تقييم المتغيرات	تقييم الخصائص	مستوى المحددات
S1	85.1 - 100	75.1 - 100	لا يوجد محددات
S2	60.1 - 85	50.1 - 75	محددات متوسطة
S3	40.1 - 60	25.1 - 50	محددات شديدة
N1	20.1 - 40	12.5 - 25	محددات شديدة جدا
N2	0 - 20	0 – 12.4	محددات شديدة جدا

المصدر: C. Cys, et al., Land Evaluation Part II, op cit., p. 128.

3-2-3 نمذجة الخصائص الطبيعية للمحاصيل الاستراتيجية

Physical Characteristics Modeling of Strategic crops

تتضمن الخصائص الطبيعية لأي محصول في مفهوم الملاءمة المكانية الزراعية حسب ما أورده C.Sys وآخرون عام 1993، ثلاث خصائص رئيسة، ألا وهي خصائص المناخ التي تشمل متغيري الحرارة والأمطار بوصفها متغيرات رئيسة متحكمة في نمو المحصول، والخصائص الطوبوغرافية التي تشمل متغير انحدار سطح الأرض، وخصائص التربة الفيزيائية والكيميائية التي تشمل عمق التربة ونسجتها ومستوى البزل، فضلا عن درجة تفاعل التربة pH

(1) C. Cys, et al., Land Evaluation Part I Principle in Land Evaluation and Crop Production Calculations, Agricultural Publication, Brussels – Belgium, 1991, p.71.

والايصالية الكهربائية EC ومادة الأصل Organic Matter والسعة التبادلية الكاتيونية Cation Exchange Capacity (CEC) وبيكربونات الكالسيوم CaCo3[1].

تبعا لذلك فقد اعتُمد في استخراج الخصائص الطبيعية للمحاصيل الاستراتيجية على ما قدمه C.Sys وآخرون، مع اضافة متغير المياه الجوفية إلى المتغيرات آنفة الذكر، لكون محصول الذرة الصفراء يزرع في الموسم الصيفي المعتمد على مياه الري في قضاء سهل أربيل.

3-2-3-1 نمذجة الخصائص الطبيعية لمحصولي القمح والشعير

Modeling of Natural Characteristics of Wheat and Barley Crops

يعد القمح والشعير مصدرا رئيسا لغذاء السكان، إذ يشكل القمح مصدرا أساسيا للعناصر الغذائية لحوالي 40% من سكان العالم. كما يعد الشعير أيضاً غذاء رئيساً للسكان في المناطق التي لا يمكن فيها زراعة محاصيل الحبوب الرئيسة الأُخرى، فضلا عن إمكانية استخدامه كعلف للحيوانات، فالقمح هو أكثر محاصيل الحبوب زراعة في العالم، إذ تنتشر زراعته على نحو أكثر من 2180000 كم^2، وبذلك يحتل مكانة مركزية في تغذية الانسان، أما الشعير فيأتي في المرتبة الرابعة من المحاصيل الاستراتيجية ويزرع حاليا في أكثر من 100 دولة[2].

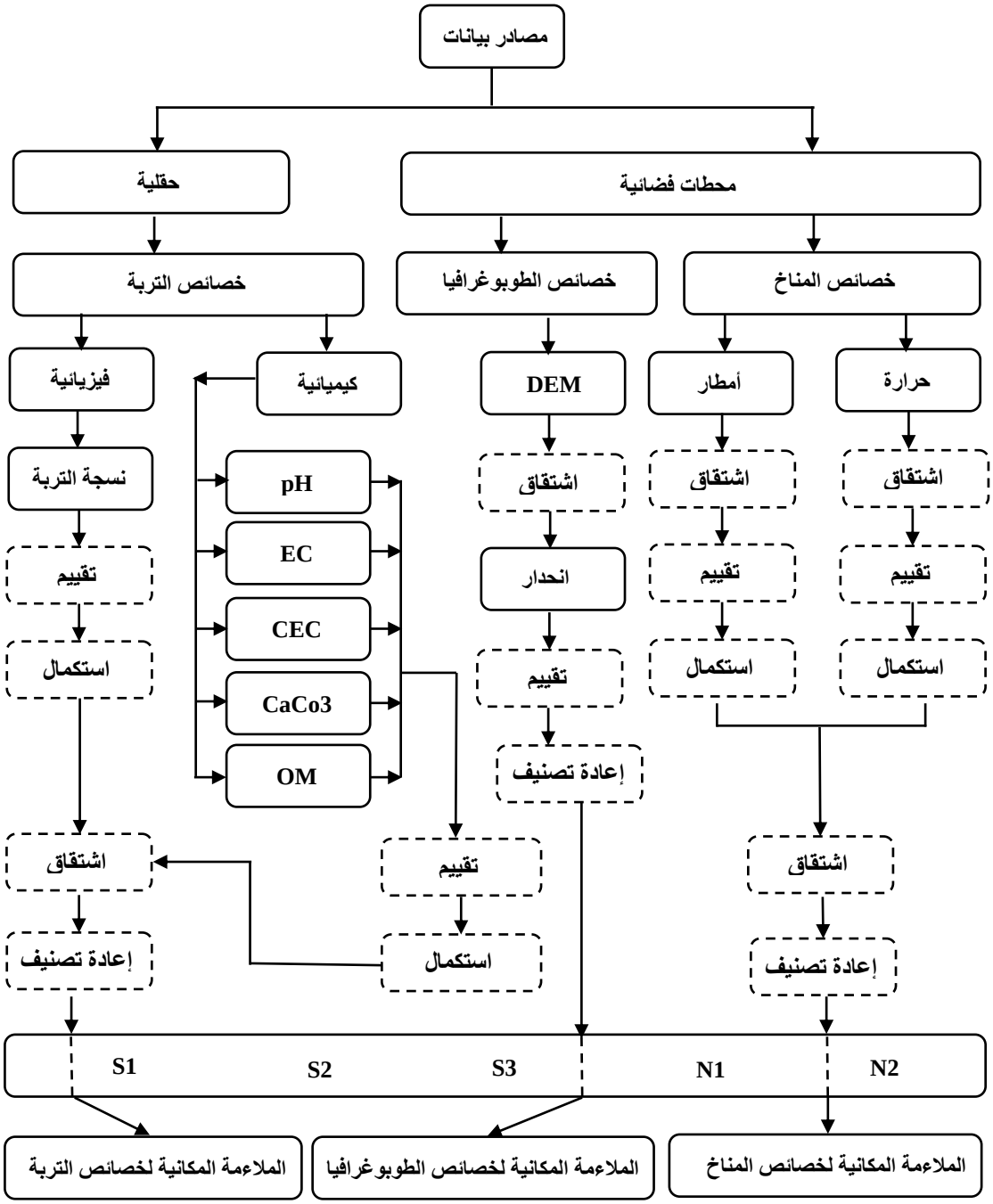
ومن منظور الملاءمة المكانية الزراعية، فمتطلبات زراعة القمح تختلف عن متطلبات زراعة الشعير من حيث الخصائص المناخية والتربة، وتتشابه من حيث الخصائص الطوبوغرافية[3]، وعلى الرغم من ذلك فإن القمح والشعير سوف يشتركان في ذات التكنيك المتبع في النمذجة الخرائطية لملاءمة الأرض على زراعتهما، بسبب أن كليهما من المحاصيل الشتوية المعتمدة على مياه الأمطار، وبهذا سوف تستخدم ذات المتغيرات في نمذجة الملاءمة المكانية للخصائص الطبيعية للمحصولين كليهما، ينظر الشكل (27).

(1) C. Cys, et al., Land Evaluation Part III Crops Requirements, Agricultural Publication, Brussels – Belgium, 1993, p.p. 25 – 174.

(2) Patricia Giraldo, et al., Worldwide Research Trends on Wheat and Barley: A Bibliometric Comparative Analysis, Agronomy, Vol. 9, No. 7, 2019, p.p. 1-3.

(3) C. Cys, et al., Land Evaluation Part III, p.p. 25 – 174.

الشكل (27): مخطط النمذجة الخرائطية لملاءمة الخصائص الطبيعية على زراعة محصولي القمح والشعير في قضاء سهل أربيل وفقا لتقييم الـ FAO



المصدر: عمل الباحث، اعتمادا على الملاحق (9-2)، (9-3) و(10).

3-2-3-1-1 نمذجة الخصائص المناخية لمحصولي القمح والشعير

Climatic modeling of wheat and barley crops

تعتمد زراعة القمح والشعير على الديم في قضاء سهل أربيل، فزراعة القمح تبدأ من 10/28 وتنتهي بـ 5/20، أي أن دورة النمو الكلية تبلغ 205 أيام، ابتداء من مرحلة النمو

الخضري، مرورا بمرحلة التزهير، وانتهاء بمرحلة النضج، أما الشعير فزراعته تبدأ من 11/15 وتنتهي بـ 5/4، وبذلك تبلغ دورة النمو الكلية لمحول الشعير 170 يوما، يتضمن بذلك مراحل النمو الخضري والتزهير والنضج. ينظر الجدول (10).

الجدول (10): مراحل نمو محصولي القمح والشعير في قضاء سهل أربيل

القمح				الشعير			
المرحلة	من	الى	عدد الايام	المرحلة	من	الى	عدد الايام
النمو الخضري	10-28	3-30	154	النمو الخضري	11-15	3-15	120
التزهير	3-30	4 – 8	9	التزهير	3-15	3-20	5
النضج	4-8	5 – 20	42	النضج	3-20	5-4	45
دورة النمو الكلية	10-28	5 – 20	205	دورة النمو الكلية	11-15	3-20	170

المصدر: جمهورية العراق، وزارة الزراعة، البرنامج الوطني لإعداد خرائط التقسيم البيئي الزراعي في العراق لعام2011.

وبناء على ما سبق، تم الاعتماد على المعدلات الشهرية والسنوية للحرارة والأمطار لـ 30 محطة مناخية فضائية تقع داخل قضاء سهل أربيل وحوله، وبمدة مناخية مقدارها 18 عاماً، ابتداء من عام 2002 إلى 2019، ذلك بما يتلاءم مع تاريخ التقاط المرئيات الفضائية المعتمدة في هذه الدراسة. ينظر الملحق (9-3).

كما اعتُمد على طريقة C.Sys وآخرين، في تقدير متطلبات الحرارة من أجل الملاءمة المكانية الزراعية للمحاصيل، مفادها جمع معدل الحرارة الشهري للأشهر الخاصة بمدة نمو المحصول موزونة بعدد ايام الاشهر المتضمنة مدة النمو، ومقسمة على عدد الايام المعنية بالمدة الكلية لنمو المحصول[1]، فعلى سبيل المثال من أجل حساب متطلبات الحرارة من البيانات لمحصول القمح، في ضوء دورة النمو الكلية لمعدل الحرارة الشهري للأشهر الواقعة ضمن مدة نمو محصول القمح تستخدم المعادلة الرياضية الآتية:-

((OCT *4) + (NOV *30) + (DEC *31) + (JAN *31) + (FEB *28) + (MAR *31) + (APR * 30) + (MAY *20)) / 205

أما متغير الأمطار فيمكن حسابه من خلال جمع مجموع الأمطار الشهرية التي تتضمنها دورة نمو المحصول، باستثناء الشهر الأول والاخير من دورة النمو؛ إذ يتم حاسب حصة الأمطار الداخلة في دورة نمو المحصول من أيام الشهر غير الكاملة بوزن مجموع المطر الشهري في عدد أيام الشهر غير الكاملة، ثم تقسيم الناتج على العدد الكلي لأيام الشهر ذاته.

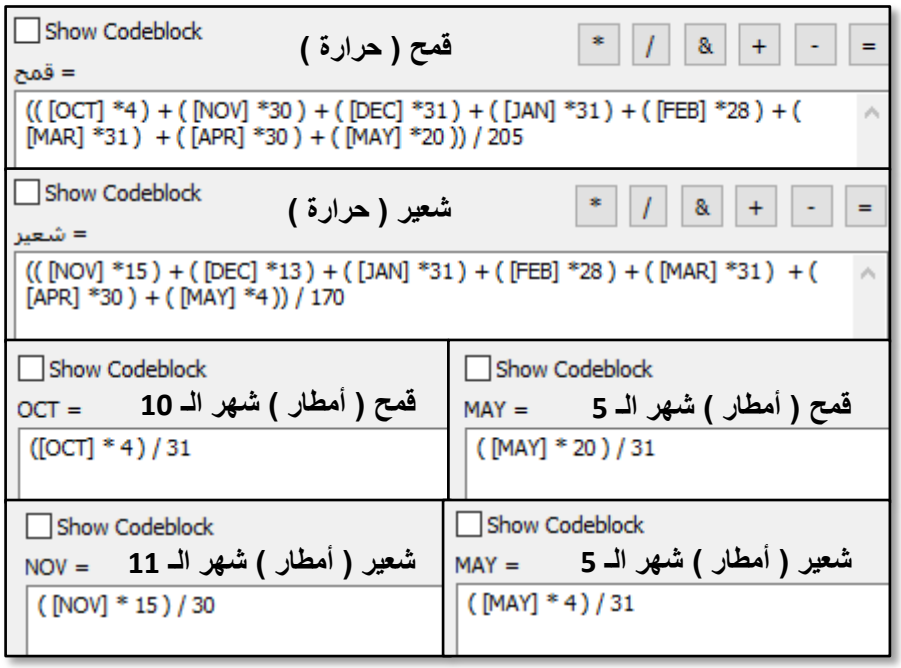
(1) C. Cys, et al., Land Evaluation Part II, Op cit., p.135.

فعلى سبيل المثال، يبدأ اليوم الأول في زراعة القمح بتاريخ 28/ 10 من كل عام، وهذا يعني أن آخر 4 أيام من الشهر الـ 10 البالغ 31 يوما، هي تقع ضمن الايام الداخلة في دورة نمو القمح، وان مجموع المطر الشهري للشهر 10 هو 176.44 ملم، فيمكن تقدير حصة الـ 4 أيام من الأمطار لمحصول القمح باستخدام المعادلة الآتية[1]:-

4 Days = (176.44*4) / 31 = 21.6 mm

تبعا لما سبق فقد عمدت الدراسة كخطوة اولى في النمذجة الخرائطية، على حساب معدل الحرارة ومجموع الأمطار لدورة نمو محصولي القمح والشعير في جدول البيانات الوصفية الخاصة بالمحطات المناخية الفضائية بعد إدخالها إلى برنامج ArcGIS 10.6.1، ثم استخدام التطبيق Field Calculator لتنفيذ المعادلات في أعلاه من أجل إكمال معدل الحرارة الشهري لدورة النمو الكاملة موزون بعدد أيام الاشهر، ومجموع الأمطار الشهرية لذات الدورة، مع وزن الشهرين الأول والاخير لكل محصول بعدد الايام الداخلة في دورة نمو محصولي القمح والشعير، ينظر الشكل (28).

الشكل (28): وزن معدل الحرارة ومجموع المطر الشهري لدورة نمو محصولي القمح والشعير في برنامج ArcGIS 10.6.1



المصدر: عمل الباحث، اعتمادا على برنامج ArcGIS Desktop 10.6.1.

(1) C. Cys, et al., Land Evaluation Part II, Op cit., p. 135.

بعد تنفيذ المعادلات في أعلاه، جاءت عملية التقييم Rating من 100 لمتغيري الحرارة والأمطار في جدول البيانات الوصفية حسب متطلبات محصولي القمح الشعير، استنادا إلى معايير خاصة بالملاءمة الزراعية، ينظر الملحق (10).

إن عملية التقييم الرقمي للبيانات وتحويلها إلى مقياس من 100 حتى يتنسى بعد ذلك تصنيفها ضمن حدود أصناف الملاءمة، تطلبت إجراء تجارب عدة من أجل الوصول إلى تقييم رقمي إحصائي ذي ثقة إحصائية مثالية يمكن تنفيذه آليا في نظم المعلومات الجغرافية، فعلى سبيل المثال، عندما يكون مجموع المطر السنوي لمحصول القمح ضمن مستوى الملاءمة العالية، محصوراً بين 700 و350، وقيمة الملاءمة لهذا المدى من بيانات الأمطار محصورة بين 100 و85%، إذ إن درجة الـ 100% تناظر مجموع المطر عندما يكون 700 ملم، ودرجة الـ 85% تناظر مجموع المطر عندما يكون 350 ملم. فيفترض ان تكون درجة مجموع الأمطار من 100 تساوي 92.5% عندما تكون كميتها تساوي 525 ملم، بوصفها المتوسط الحسابي للكمية بين القيمة العليا (700ملم) والقيمة الدنيا (350ملم). ينظر الملحق (10).

لذلك تم البدء في تقييم مجموع الأمطار من 100 باستخدام الطريقة التقليدية المعنية بالنسبة والتناسب، فأعطت نتائج مضللة وغير موضوعية، إذ إن طريقة النسبة والتناسب قد قيمت متوسط مدى كمية الأمطار للفئة الأولى من الملاءمة ذات القيمة 525 ملم بـ 75 %، أي بفارق مقداره 17.5%، عن التقييم المثالي البالغ 92.5%؛ إذ كانت العملية الرياضية هي (525*100/700)، ثم استُعين بالإحصاء من أجل اشتقاق معادلة انحدار خطية Liner Regression Equation لجميع أصناف الملاءمة لكمية الأمطار (S1,S2,S3,N1,N2) للقيم (700,350,250,200,) باستخدام البرنامج الإحصائي 19 Minitab(*)، ذلك بجعل القيم الحقيقية لمتغيرات الملاءمة كمتغير مستقل Independent Variable والتقييم هو المتغير التابع Dependent Variable، وبذلك يمكن التنبؤ بقيمة

(*) Minitab هو برنامج إحصائي احترافي يعمل على أتمته العمليات الإحصائية وانشاء الرسوم البيانية، مما يسمح للمستخدم بالتركيز بشكل أكبر على تحليل البيانات وتفسير النتائج. طور البرنامج في ولاية بنسلفانيا الأمريكية من لدن مجموعة من الباحثين الإحصائيين والتقنيين، صدرت النسخة الأولى عام 1970، في حين صدرت النسخة الاخيرة (19) عام 2020.

للتفاصيل ينظر إلى الموقع الرسمي للبرنامج على الشبكة العالمية:

https://www.minitab.com/en-us/

المتغير التابع عند تغير قيمة المتغير المستقل، وفقا لعلاقة خطية وضمن معادلة من الدرجة الأولى، على النحو الآتي[1]:-

$$Y = a + b*X$$

إذ إن:

Y = المتغير التابع (المتأثر)، X = المتغير المستقل (المؤثر)، a و b قيمتان ثابتتان تشتقان من البيانات المستخدمة، وهكذا كان اشتقاق المعادلة من البيانات التي ذكرت على النحو الآتي:

$$Y = 32.21 + 0.1041\ X$$

إذ إن:

Y = قيمة الملاءمة من 100 لكمية الأمطار، X = كمية الأمطار

ومع ذلك فقد كان معامل التحديد المعدل Adjusted R2 لهذه العلاقة يساوي 79.64%. وهذا يعني ان 20.36% من النتائج لا يمكن الوثوق بها عند عملية التقييم، وبهذا كان تقييم متوسط كمية الأمطار للصنف الأول من الملاءمة لمحصول القمح باستخدام المعادلة في أعلاه هو 88.64% أي بفارق مقداره 3.86% عن التقييم المثالي البالغ 92.5%.

ونظرا لعدم تطابق تقييم الملاءمة بين الحالة المثالية والحالة المتنبئ بها باستخدام معادلة الانحدار الخطي، تم اشتقاق معادلة انحدار تربيعية Quadratic Regression Equation بدلا من الخطية للبيانات ذاتها (كمية الأمطار وتقييمها لمحصول القمح)، وفقا لمعادلة من الدرجة الثانية على النحو الآتي [2][3][4]:-

$$Y = a + b*\ X + c*\ X2$$

إذ إن:

Y = المتغير التابع، X = المتغير المستقل، a و b قيمتان ثابتتان تشتقان من البيانات، **c** = معامل مشتق من البيانات لا يساوي صفراً، إذ إن متغير **c** لو اصبح صفرا لكانت المعادلة

---

(1) محمد صبحي أبو صالح، مبادئ الإحصاء، دار اليازوري العلمية للنشر والتوزيع، عمان، الاردن، 2010، ص230.

(2) http://www.columbia.edu/itc/sipa/math/quadratic.html

(3) https://www.varsitytutors.com/hotmath/hotmath_help/topics/quadratic-regression

(4) John O. Rawlings, et al., Applied Regression Analysis: A Research Tool, Second Edition, Springer , New York, USA, 1998, p.p. 102 – 118.

خطية، وبذلك كان المعادلة التربيعية لخط الانحدار من بيانات أصناف الملاءمة لكمية الأمطار الخاصة بمحصول القمح ومستوى تقييمها على النحو الآتي:

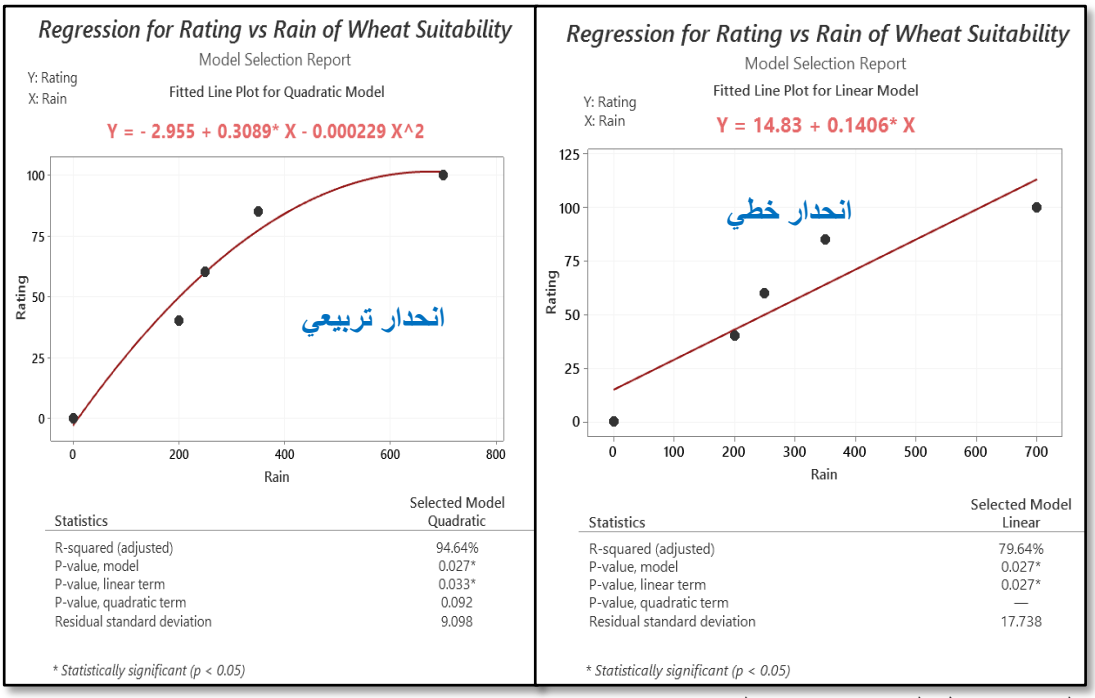
$$Y = - 2.955 + 0.3089*X - 0.000229*X^2$$

إذ إن:

Y = قيمة الملاءمة من 100 لكمية الأمطار، X = كمية الأمطار

وعلى الرغم من أن معادلة الانحدار التربيعي تعمل على تحسين خط العلاقة بحيث يكون بأقل انحراف ممكن عن توزيع البيانات إلا أن معامل التحديد المعدل قد ظهر بقيمة 94.64%، أي أن نسبة 5.36% من التقييم لا يمكن الوثوق بها عند تطبيق المعادلة، لذلك كان تقييم متوسط كمية الأمطار للصنف الأول من الملاءمة لمحصول القمح باستخدام المعادلة في أعلاه هو 96.09% أي بفارق مقداره 3.59-% عن التقييم المثالي البالغ 92.5%، ينظر الشكل (29).

الشكل (29): اشتقاق معادلات الانحدار الخطي والانحدار التربيعي لأصناف ملاءمة الأمطار على زراعة محصول القمح وما يقابلها من مستويات التقييم في برنامج Minitab 19.



المصدر: عمل الباحث، اعتمادا على برنامج Minitab 19.

إن الغاية من اشتقاق معادلات الانحدار هي من أجل التقييم وليس من أجل التنبؤ، ففي التنبؤ يعد معامل التحديد المعدل ذات جودة إحصائية عند وصوله إلى 80%، وبذلك فإن المعادلتين المشتقتين السابقتين تصلحان للتنبؤ ولا تصلحان للتقييم، بسبب أن الحدود بين أصناف الملاءمة على نحو عام تتأثر على مستوى 0.001 من الدرجة، فعلى سبيل المثال إن

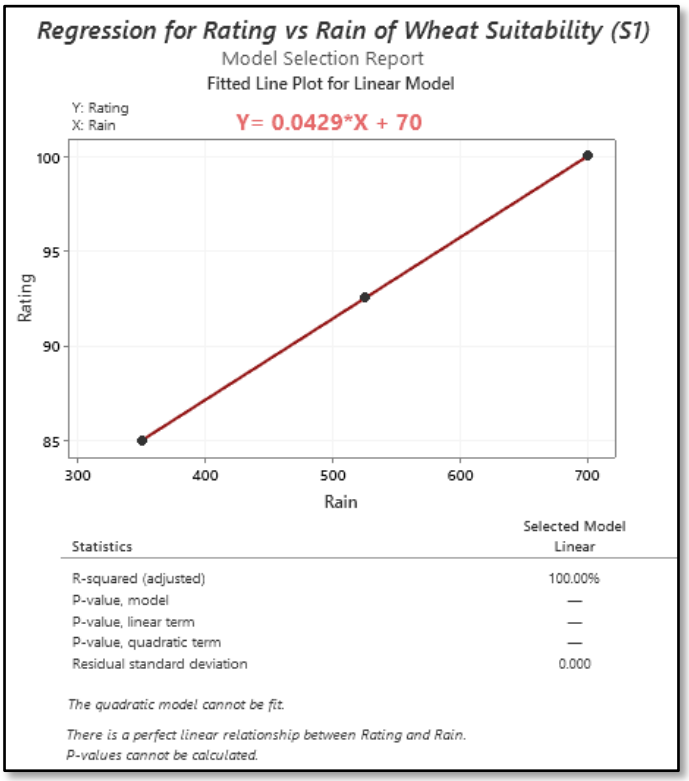
الحد الأدنى من الصنف الأول لملاءمة الأمطار على زراعة القمح هي 350 ملم، وعند النزول بهذا الحد إلى 349.999 ملم ينتقل صنف الملاءمة من المستوى الأول (الملاءمة العالية) إلى المستوى الثاني (الملاءمة المعتدلة)، لذلك تم اشتقاق معادلة انحدار خطية لكل صنف من أصناف الملاءمة ولكل متغير من المتغيرات الداخلة، بحيث يتم التعامل مع كل صنف على أنه حالة خاصة، وقد تم تجريب ذلك على ملاءمة الصنف الأول لمحصول القمح المحصور بين 700 و350 ملم بتقييم 100 و85% على التوالي فكانت نتيجة التنبؤ بالمتوسط مطابقة تماما ومعامل التحديد المعدل يساوي 100، وفقا للمعادلة الآتية:

$$Y = 0.0429*X + 70$$

إذ إن:

Y = قيمة الملاءمة من 100 لكمية الأمطار، **X** = كمية الأمطار الواقعة ضمن مدى الصنف الأول من الملاءمة. ينظر الشكل (30).

الشكل (30): اشتقاق معادلة الانحدار الخطي للصنف الأول (S1) من ملاءمة الأمطار على زراعة محصول القمح وما يقابلها من مستويات التقييم في برنامج Minitab 19.



المصدر: عمل الباحث، اعتمادا على برنامج Minitab 19.

وبناء على ما سبق، فقد وجِدَ بأن اشتقاق معادلة الانحدار الخطي لكل صنف من أصناف الملاءمة حل مثالي في التقييم بعد تجريبها على كافة المتغيرات المعتمدة في تقييم الملاءمة للمحاصيل الاستراتيجية، وبذلك فقد تم اشتقاق معادلات الانحدار الخطي لمتغيرات

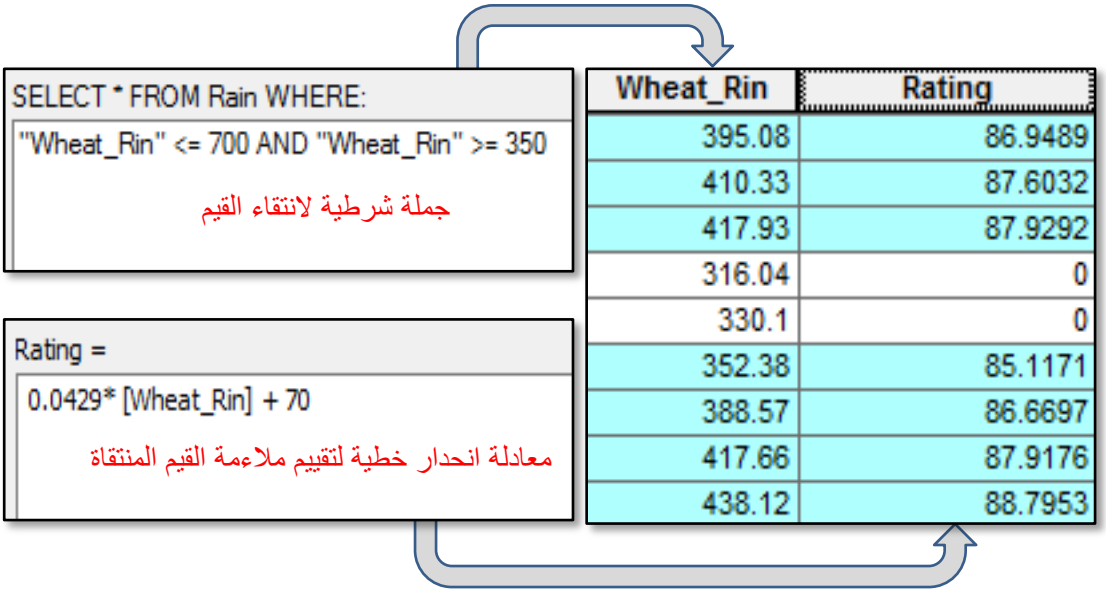
الحرارة والأمطار لمحصولي القمح والشعير، إلا أن المعادلات المشتقة تتطلب بناء جملٍ شرطية عند التعامل معها في نظم المعلومات الجغرافية، إذ يجب أولا انتقاء البيانات في جدول البيانات الوصفية Attribute Table على وفق جمل شرطية تتناسب مع الصنف المعني من الملاءمة لمتغير ما، ثم الشروع في تنفيذ المعادلات المشتقة، فعلى سبيل المثال، يتم انتقاء بيانات الأمطار التي تنحصر قيمها بين الـ 700 و350 ملم في جدول البيانات الوصفية، بوصفها ضمن صنف الملاءمة العالية S1، ثم تُنفذ المعادلة على البيانات المنتقاة، ثم يتم انتقاء بيانات الأمطار ضمن صنف الملاءمة المعتدلة؛ إذ تُنفذ معادلة الانحدار الخطية المشتقة لذات الصنف، وهكذا الحال بالنسبة لجميع أصناف الملاءمة. ينظر الجدول (11) والشكل (31).

الجدول (11): معادلات الانحدار الخطية المشتقة لتقييم ملاءمة الخصائص المناخية على زراعة محصولي القمح والشعير

الملاءمة / الخاصية	N2	S3	S2	S1
قمح–حرارة				
°C	> 30	25 – 30	23-25	18-23
معادلة التقييم	Y= 1.3333*X	Y=-4*X+160	Y=-12.5*X+372.5	Y=-3*X+154
°C	<8	10-8	12-10	18 – 12
معادلة التقييم	Y= 10*X-40	Y= 10*X-40	Y= 12.5*X – 65	Y= 2.5*X+55
قمح–أمطار				
ملم3	< 200	250 – 200	350 – 250	700-350
معادلة التقييم	Y= 15*X-2960	Y= 0.4*X-40	Y= 0.25*X-2.5	Y= 0.0429*X+70
ملم3	> 1750	1500 – 1750	1250 – 1500	700-1250
معادلة التقييم	Y=-0.3*X+565	Y=-0.08*X+180	Y=-0.1*X+210	Y=-0.0273*X+119.09
شعير – حرارة				
°C	> 40	30 – 40	20-30	15-20
معادلة التقييم	Y= 0.4178*X+23.287	Y=-2*X+120	Y=-2.5*X+135	Y=-3*X+145
°C	< 6	8-6	10-8	15 – 10
معادلة التقييم	Y = 6.6667*X	Y = 10*X-20	Y = 12.5*X-40	Y = 3*X+55
شعير – أمطار				
ملم3	< 150	200 – 150	300-200	650-300
معادلة التقييم	Y= 15*X – 2210	Y= 0.4*X-20	Y = 0.25*X+10	Y= 0.0429*X+72.143
ملم3	> 1500	1300-1500	1100-1300	650-1100
معادلة التقييم	Y=-0.3*X+490	Y=-0.1*X+190	Y=-0.125*X+222.5	Y=-0.0333*X+121.67

المصدر: عمل الباحث، اعتمادا على برنامج Minitab 19 والملحق (10).

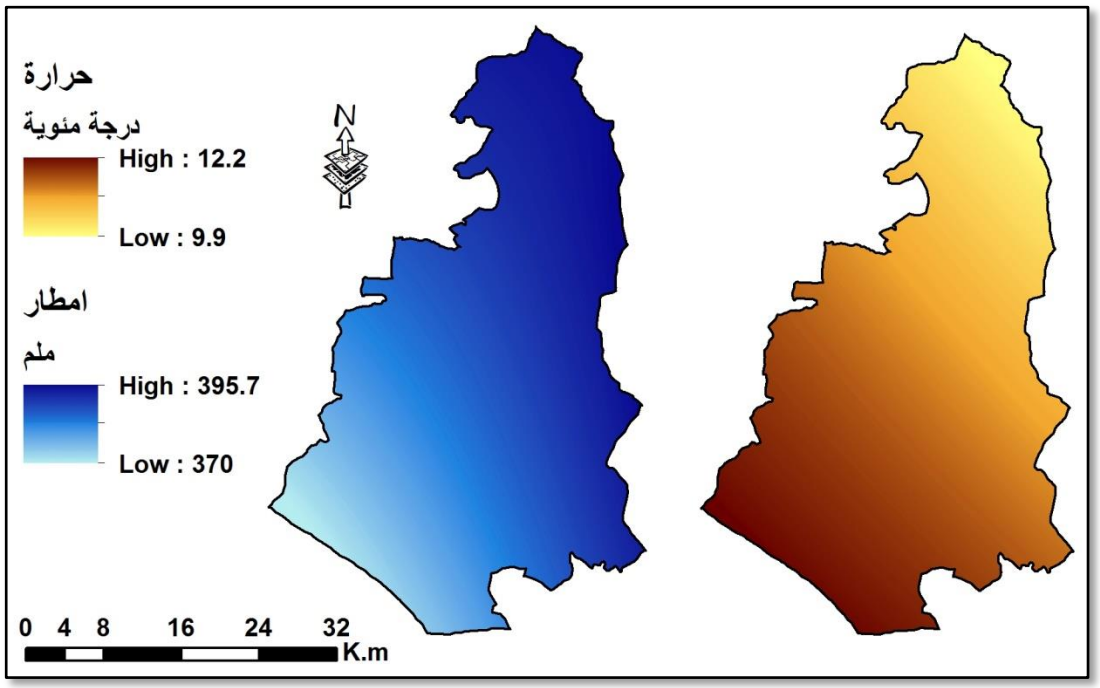
الشكل (31): آلية تقييم ملاءمة الأمطار على زراعة محصول القمح ضمن صنف الملاءمة العالية S1 في نظم المعلومات الجغرافية



المصدر: عمل الباحث، اعتمادا على برنامجي Minitab 19 و ArcGIS Desktop 10.6.1.

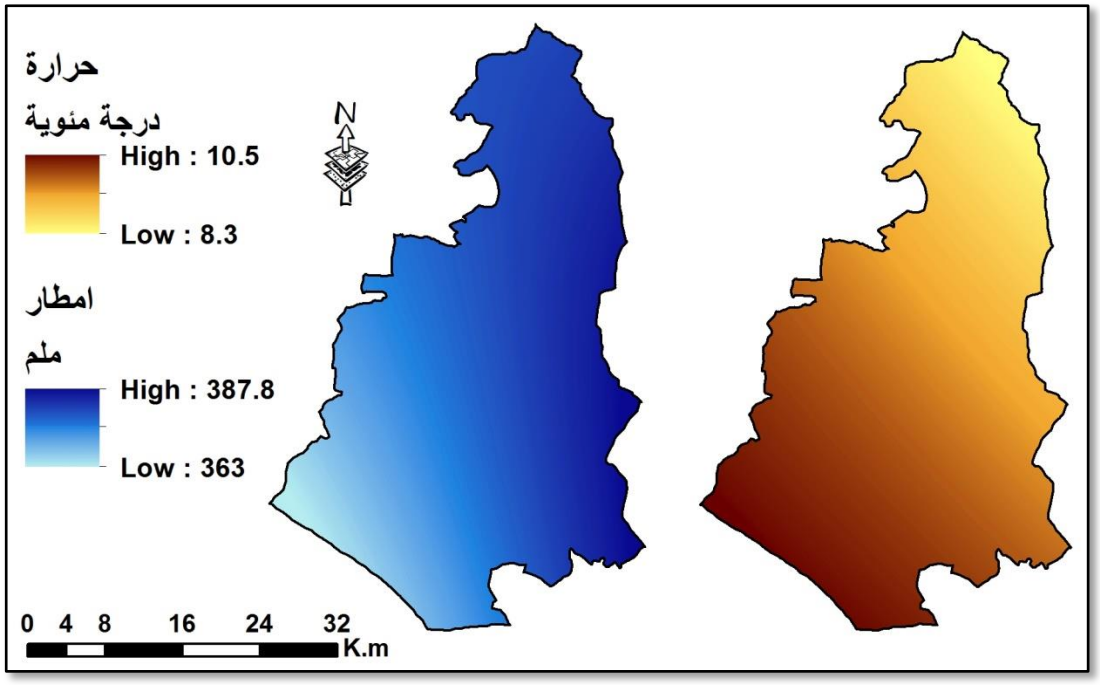
تبعا لذلك، تم إجراء الاستكمال المكاني لحقل التقييم الخاص بالحرارة والأمطار لمحصولي القمح والشعير، ثم نُفذت معادلة ملاءمة خاصية الأرض ضمن تطبيق جبر الخرائط باستخدام الأداة Raster Calculator، ثم أعيد تصنيف الناتج وفقا لمعايير ملاءمة الخصائص المناخية على زراعة محصولي القمح والشعير، للخروج بخريطة ملاءمة الخصائص المناخية، ينظر الخرائط (31)، (32) و(33).

الخريطة (31): معدلات الحرارة والأمطار للأعوام (2002 – 2019) ضمن دورة نمو القمح في قضاء سهل أربيل



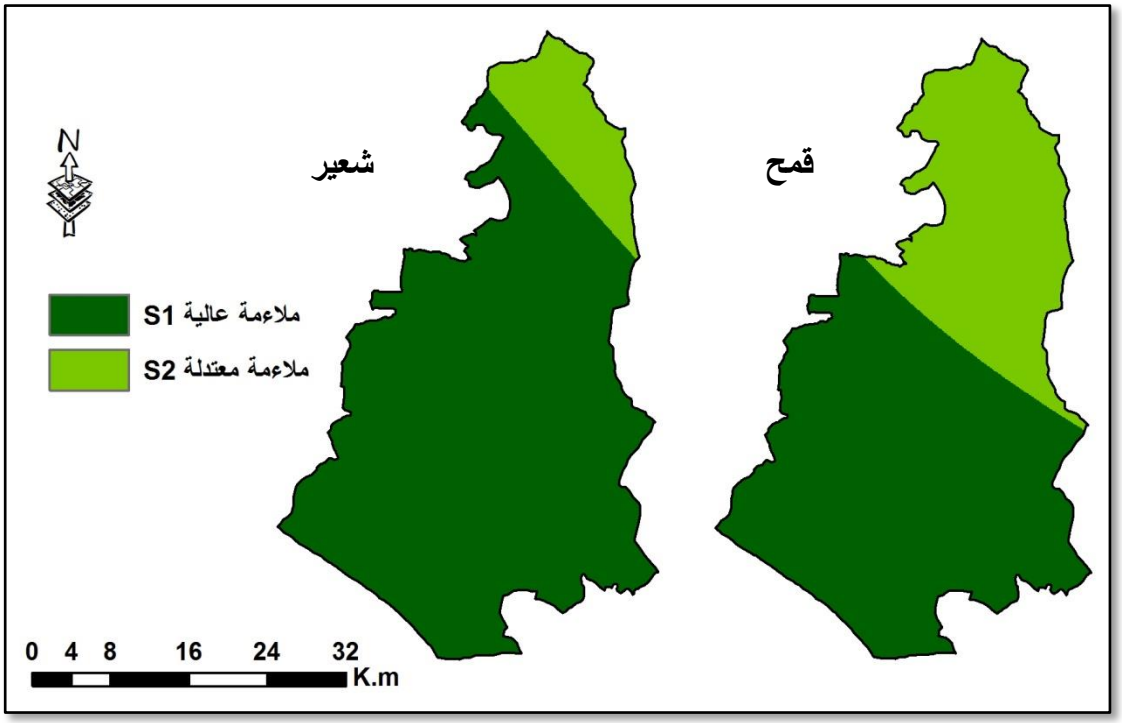
المصدر: عمل الباحث، اعتمادا على برنامج ArcGIS Desktop 10.6.1 و الملحق (9-3).

الخريطة (32): معدلات الحرارة والأمطار للأعوام (2002 – 2019) ضمن دورة نمو الشعير في قضاء سهل أربيل



المصدر: عمل الباحث، اعتمادا على برنامج ArcGIS Desktop 10.6.1 والملحق (9-3).

الخريطة (33): ملاءمة الخصائص المناخية على زراعة محصولي القمح والشعير في قضاء سهل أربيل وفقا لتصنيف الـ FAO



المصدر: عمل الباحث، اعتمادا على برنامج ArcGIS Desktop 10.6.1 والملحقين (9-3) و(10) .

تشغل ملاءمة الخصائص المناخية لزراعة محصولي القمح والشعير لصنف الملاءمة العالية S1 مساحة قدرها 879.66 كم^2 و1172.56 كم^2 ونسبة 67.4 و89.8% لكل من القمح والشعير على التوالي، في حين يشغل صنف الملاءمة المعتدلة S2 مساحة قدرها 425.647 و132.751 كم^2 وبنسبة 32.6 و10.8 % لكل من القمح والشعير على التوالي. وعلى الرغم من أن ملاءمة الخصائص المناخية تقل من الصنف S1 إلى الصنف S2 في الجزء الشمالي الشرقي من القضاء، إلا أن الشعير يتفوق عن القمح في صنف الملاءمة العالية للخصائص المناخية بمساحة قدرها 292.9 كم^2، لكونه ذات قدرة اكبر على تحمل الظروف المناخية مقارنة بالقمح.

3-2-3-1-2 نمذجة الخصائص الطوبوغرافية لمحصولي القمح والشعير

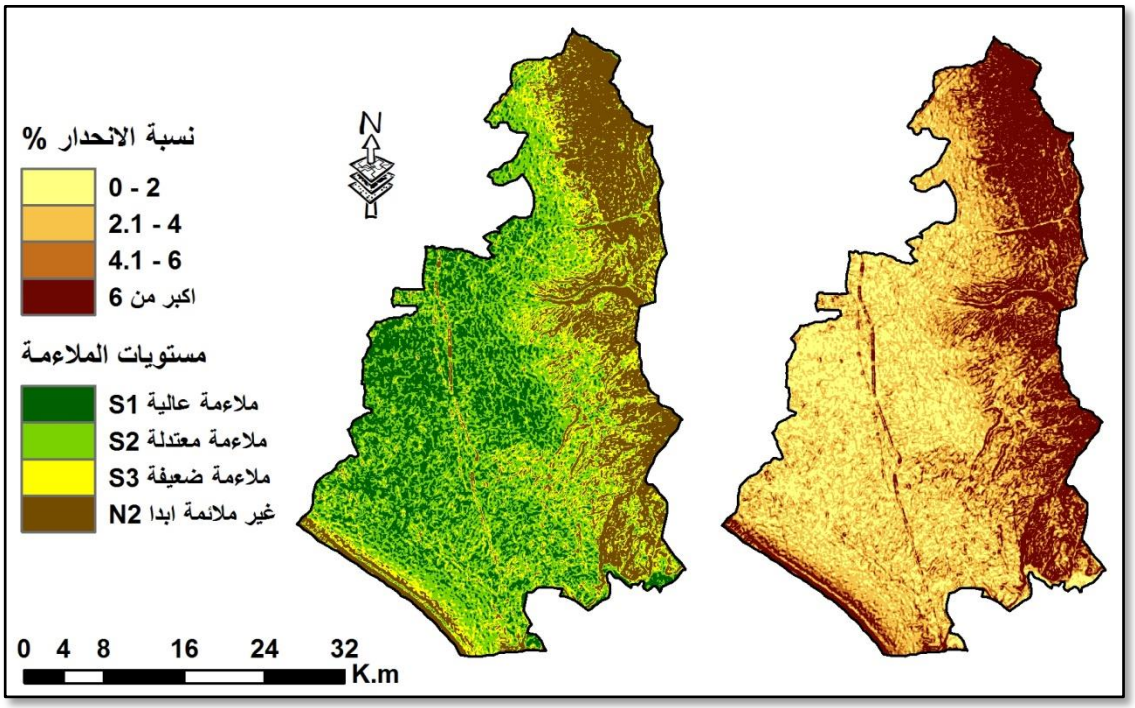
Modeling of Topographical Characteristics of Wheat and Barley Crops

من المعلوم أن الطوبوغرافية ذات عامل مؤثر في إنتاجية الأرض، إذ إن وعورة التضاريس تعرقل الزراعة بسبب سيادة التعرية الناتجة عن الجريان السطحي للماء، فضلا عن صعوبة استخدام المكننة الزراعية بالنسبة لمحاصيل القمح والشعير على عكس الأرض المنبسطة وشبه

المنبسطة، إذن زيادة التضاريس تتناسب طرديا مع انخفاض ملاءمة الأرض على زراعة القمح والشعير وحتى الذرة الصفراء كما اكده معيار الطوبوغرافيا الذي وضعه C.Sys وآخرون عام 1993 [1]، ينظر الملحق (10).

وقد نُمذجت خصائص الطوبوغرافيا خرائطيا بالاعتماد على الأنموذج الرقمي للارتفاعات DEM، الذي اشتق منه المنحدر الأرضي Slope، ثم صنف المنحدر الأرضي إلى فئات انحدارية تتناسب ومتطلبات محاصيل القمح والشعير، ثم أعيد تصنيفه مرة ثانية بعدما قيمت ملاءمته في ضوء المعايير المعتمدة. ينظر الخريطة (34).

الخريطة (34): ملاءمة الخصائص الطوبوغرافية على زراعة محصولي القمح والشعير في قضاء سهل أربيل وفقا لتصنيف الـ FAO



المصدر: عمل الباحث، اعتمادا على برنامج ArcGIS Desktop 10.6.1 والأنموذج الرقمي للارتفاعات DEM والملحق (10).

شكلت أصناف ملاءمة الخصائص الطوبوغرافية S1 و S2 و S3 و N2 مساحات قدرها 330.277 و 437.449 و 217.493 و 320.088 كم^2، وبنسب مقدارها 25.3% و 33.5% و 16.7% و 24.5 % على التوالي، وبذلك تقل ملاءمة الخصائص الطوبوغرافية باتجاه الشرق والشمالي الشرقي وتزيد الملاءمة باتجاه الغرب والجنوبي الغربي من القضاء باستثناء شريط

(1) C. Cys, et al., Land Evaluation Part III, p.p. 25 – 174.

مساحي متاخم مع الحدود الجنوبية الغربية من قضاء سهل أربيل، بمعنى آخر، إن أكثر من نصف مساحة القضاء بنسبة 58 % ذات ملاءمة عالية ومعتدلة من الناحية الطوبوغرافية لزراعة محصولي القمح والشعير، وإن 16.7 % هي ذات أراضٍ حدية تتطلب تكاليفا عالية في استصلاحها لزراعة المحصولين، في حين إن ربع مساحة المنطقة لا تصلح لزراعة المحصولين إطلاقا من الناحية الطوبوغرافية.

3-2-3-1-3 نمذجة خصائص التربة لمحصولي القمح والشعير

Modeling of Soil Characteristics for Wheat and Barley Crops

تعتمد نمذجة ملاءمة خصائص التربة على خواصها الفيزيائية والكيميائية بما يتناسب وزراعة محصولي القمح والشعير، لذلك اعتُمد في نمذجة الخصائص الفيزيائية على نسجة التربة، أما خصائص التربة الكيميائية فهي ذات الخصائص المعتمدة في نمذجة القابلية الإنتاجية للأرض باستثناء نسبة الصوديوم الممتز SAR مع اضافة خواص المادة العضوية Organic Mater (OM) والسعة التبادلية الكاتيونية Cation Exchange Capacity (CEC) فضلا عن كاربونات الكالسيوم CaCo3.

تعمل المادة العضوية كمخزن للكثير من العناصر الغذائية اللازمة للنبات، كما إنها تحافظ على القدرة التنظيمية من حيث تحسين بنيتها ونظام التهوية وتسلل المياه ومقاومتها لعمليات التعرية، لذلك تزداد خصوبة التربة بازدياد المادة العضوية[1]، كما إن ارتفاع السعة التبادلية الكاتيونية يعمل على جعل التربة ذات قدرة على امتلاك شحنة موجبة تزيد من إمكانيتها على الاحتفاظ بالمعادن المفيدة والمواد العضوية للحيلولة من دون ضياعها في مياه الري[2]، أما كاربونات الكالسيوم فتعد من أهم العوامل المؤثرة على الخصائص الفيزيائية والكيميائية للتربة، إذ إن ارتفاع كاربونات الكالسيوم في التربة يعمل على زيادة قلويتها، فضلا عن امتصاص العناصر الغذائية للتربة وحرمان النبات منها، كذلك تسبب في عرقلة حركة المياه داخل جسمها مما يؤثر ذلك سلبا على الزراعة[3].

---

(1) Alexandra Bot and José Benites, The importance of soil organic matter: Key to drought-resistant soil and sustained food production, FAO, Rome, Italy, 2005, p.p 1-2.

(2) Djamel Saidi, Importance and Role of Cation Exchange Capacity on the Physicals Properties of the Cheliff Saline Soils (Algeria), Procedia Engineering Journal, Elsevier, 2012, p. 336.

(3) FAO, Standard operating procedure for soil calcium carbonate equivalent Titrimetric method, Rome, , Italy, 2020, p. 3.

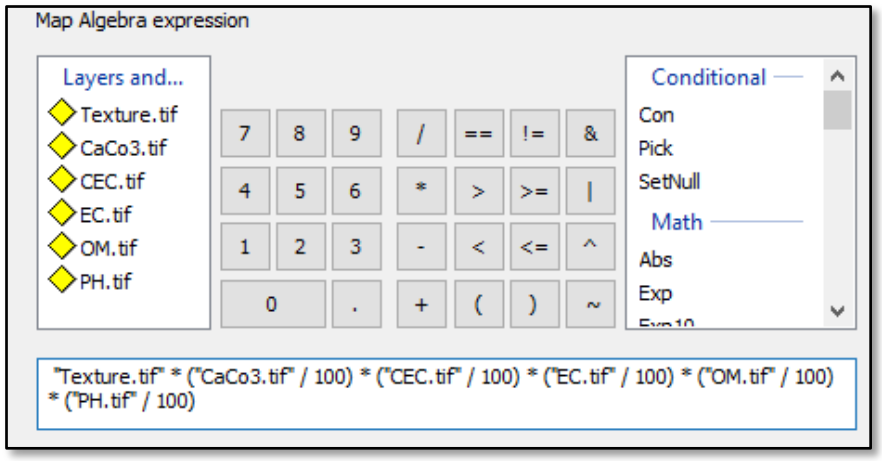
تبعا لم سبق، تم تقييم ملاءمة خصائص التربة الفيزيائية والكيميائية على زراعة القمح والشعير بعد اشتقاق جملة من معادلات الانحدار الخطية لكل متغير من متغيرات خصائص التربة، وحسب أصناف الملاءمة الزراعية لمحصولي القمح والشعير، ومن أجل اتمام الأنموذج الخرائطي لملاءمة خصائص التربة على زراعة محصولي القمح والشعير، تم استكمال نتائج تقييم الخصائص الفيزيائية والكيميائية للتربة، ثم إخضاع النماذج المستكملة إلى معادلة خاصية الأرض ضمن تطبيق جبر الخرائط، واخيرا تم إعادة تصنيف قيم الملاءمة للخروج بخرائط الملاءمة للمحصولين كليهما. ينظر الجدول (12) والشكل (32) والخريطتان (35) و(36).

الجدول (12): معادلات الانحدار الخطية المشتقة لتقييم ملاءمة خصائص التربة على زراعة محصولي القمح والشعير

الملاءمة / الخاصية	N2	S3	S2	S1
	القمح			
pH	>8.5	8.4–8.5	8.2–8.4	7.0–8.2
معادلة التقييم	Y=-75*X+677.5	Y=-200*X+1740	Y=-125*X+1110	Y=-12.5*X+187.5
EC	>8	6–8	4–6	0–4
معادلة التقييم	Y=-7.5*X+100	Y=-10*X+120	Y=-12.5*X+135	Y=-3.75*X+100
OM	<0.5	1-0.5	1.5–1	>1.5
معادلة التقييم	Y=300*X-110	Y=40*X+20	Y=50*X+10	Y=4.2857*X+78.571
CEC	-	-	<16	>24-16
معادلة التقييم	-	-	Y=5.3125*X	Y=0.7895*X+72.368
CaCo3	>60	40-60	30–40	3–30
معادلة التقييم	Y=-150*X+9040	Y=-X+100	Y=-2.5*X+160	Y=-0.5556*X+101.67
	الشعير			
pH	>8.5	8.4–8.5	8.2–8.4	7.0–8.2
معادلة التقييم	Y=-75*X+677.5	Y=-200*X+1740	Y=-125*X+1110	Y=-12.5*X+187.5
EC	>20	16-20	12-16	0–12
معادلة التقييم	Y=-5*X+140	Y=-5*X+140	Y=-6.25*X+160	Y=-1.25*X+100
OM	<0.5	1-0.5	1.5–1	>1.5
معادلة التقييم	Y=300*X-110	Y=40*X+20	Y=50*X+10	Y=4.2857*X+78.571
CEC	-	-	<16	>24-16
معادلة التقييم	-	-	Y=5.3125*X	Y=0.7895*X+72.368
CaCo3	>60	40-60	30–40	3–30
معادلة التقييم	Y=-150*X+9040	Y=-X+100	Y=-2.5*X+160	Y=-0.5556*X+101.67

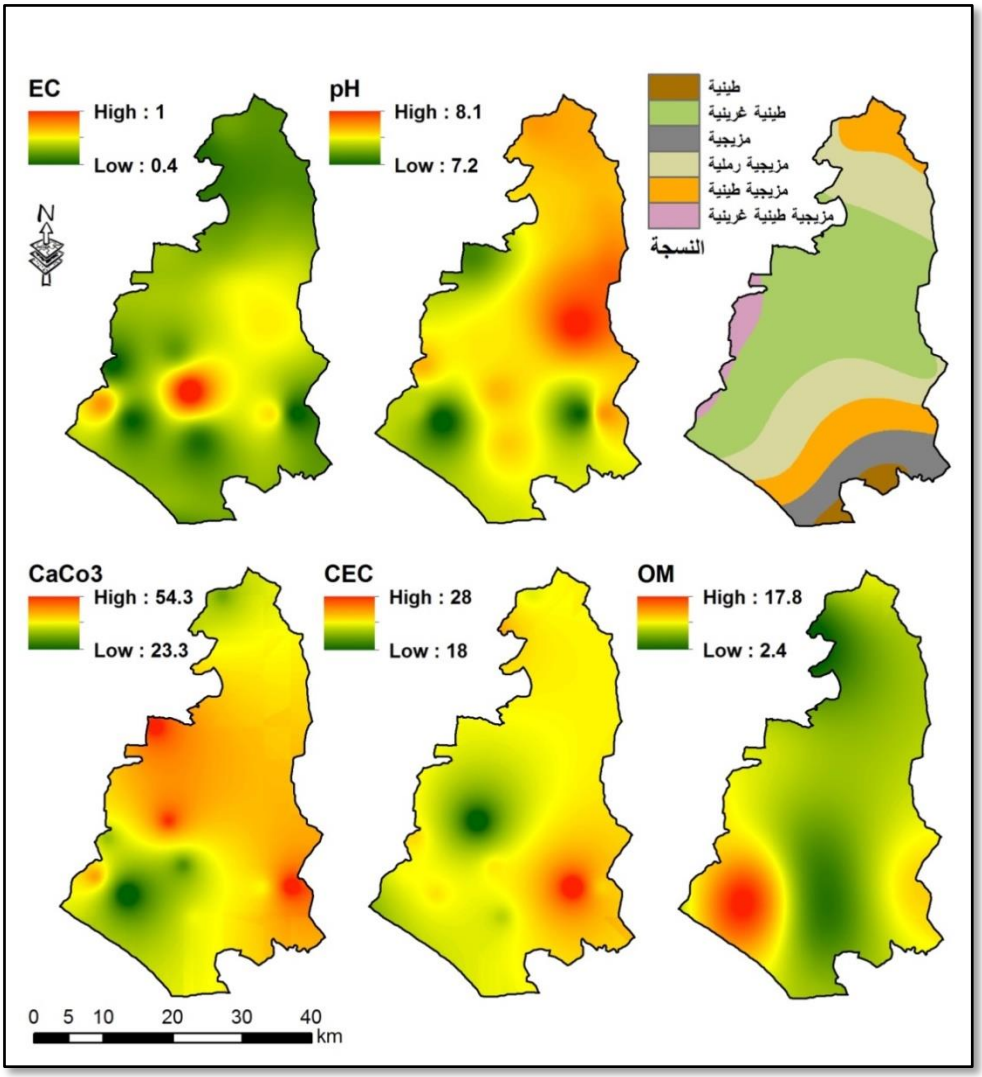
المصدر : عمل الباحث، اعتمادا على برنامج Minitab 19 والملحق (10).

الشكل (32): أنموذج من جبر الخرائط لتقييم خصائص التربة وفقا لمعادلة خاصية الأرض



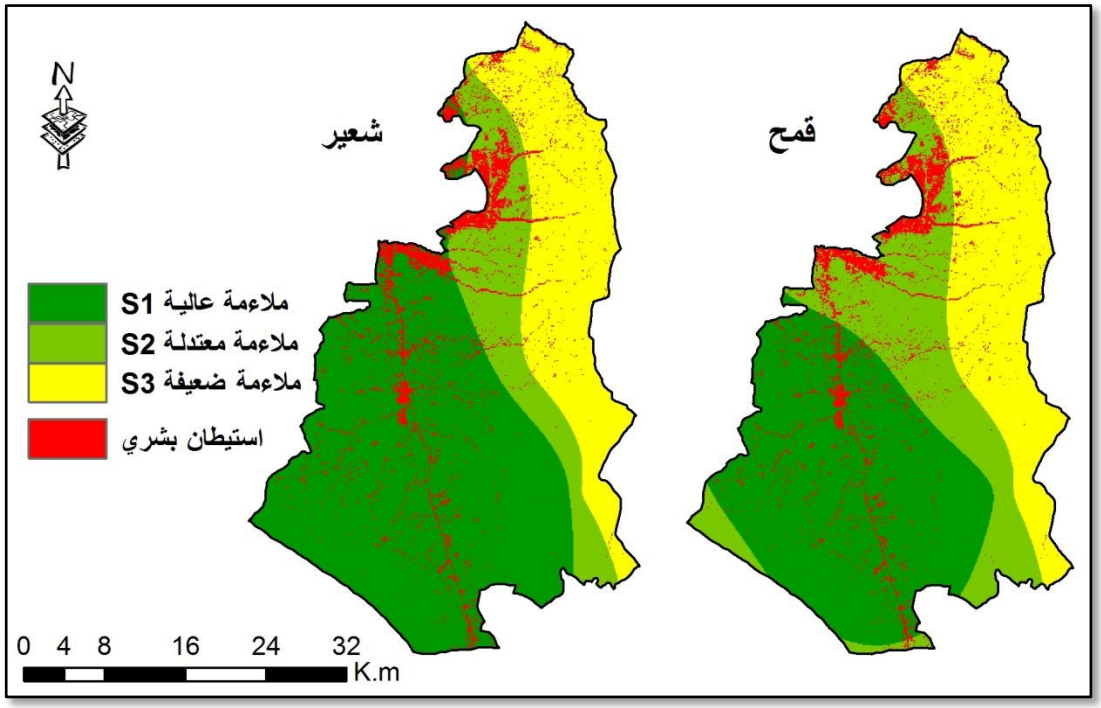
المصدر: عمل الباحث، اعتمادا على برنامج ArcGIS Desktop 10.6.1.

الخريطة (35): الخصائص الفيزيائية والكيميائية المعتمدة في تقييم ملاءمة التربة على زراعة محصولي القمح والشعير في قضاء سهل أربيل



المصدر: عمل الباحث، اعتمادا على برنامج ArcGIS desktop 1.6.1 والملحق (9-2).

الخريطة (36): ملاءمة خصائص التربة على زراعة محصولي القمح والشعير في قضاء سهل أربيل وفقا لتصنيف الـ FAO



المصدر: عمل الباحث، اعتمادا على برنامج ArcGIS Desktop 10.6.1 والملحقين (9-2) و(10).

يلاحظ من الخريطة (36) أن صنف الملاءمة العالية S1 للشعير أعلى منها في القمح؛ إذ شغلت مساحة قدرها 703.1 كم^2 وبنسبة 53.86% من المساحة الكلية للقضاء؛ إذ ما استثنيت مساحة الاستيطان البشري البالغة 97.4 كم^2 وبنسبته 7.46% من المساحة الكلية للقضاء عام 2019، بينما شغل صنف الملاءمة العالية لمحصول القمح مساحة قدرها 548.2 كم^2 بنسبة 42%، وكلا الصنفين يتوطنان في قلب القضاء عند الوسط وباتجاه جنوبي غربي، والسبب في ذلك معروف حول قدرة محصول الشعير على التكيف بالظروف المختلفة مقارنة بالقمح، لذلك تفوق بمساحة مقدارها 154.9 كم^2 أي ما يعادل 11.87% من المساحة الكلية لقضاء سهل أربيل، وعلى الجانب الآخر، فإن مساحة الملاءمة المعتدلة S2 لكلا المحصولين وقعت في الجزء الشمالي الشرقي من مساحة الملاءمة العالية على نحو عام، إلا أن القمح تفوق على الشعير من حيث مساحة الملاءمة المعتدلة التي بلغت 295.48 كم^2 وبنسبة 22.64% مقارنة بالشعير ذات الملاءمة المعتدلة البالغ مساحتها 181.432 كم^2 وبنسبة 13.9% من المساحة الكلية للقضاء، إذ يعزى ذلك في أن الجزء الأكبر من الأراضي ذات الملاءمة العالية في خصائص التربة لزراعة الشعير، قد أخذ حيزا اكبر مقارنة بذات الخصائص لمحصول القمح، لذلك ظهرت مساحة الأراضي ذات الملاءمة المعتدلة في خصائص التربة لمحصول القمح أكبر

مساحة. أما صنف الملاءمة الضعيفة S3 المتوطن في الجانب الشرقي مع القضاء، فهو يتوافق مكانيا مع تضرس سطح الأرض، ومع ذلك فقد ظهر فرق المساحة بتفوق صنف الملاءمة الضعيفة لمحصول القمح على الشعير بمقدار 40.85 كم^2 أي بنسبة 3.13% من المساحة الكلية للقضاء؛ إذ بلغت مساحة صنف الملاءمة الضعيفة من حيث خصائص التربة لزراعة محصولي القمح والشعير 364.21 كم^2 بنسبة 27.9% و323.36 كم^2 وبنسبة 24.77% من المساحة الكلية للقضاء على التوالي.

3-2-3-2 نمذجة الخصائص الطبيعية لمحصول الذرة الصفراء

Modeling of Physical Characteristics of the Maize Crop

تعد الذرة الصفراء من أهم المحاصيل الغذائية في العالم؛ إذ تتميز بأنها ذات قيمة غذائية عالية، كما تتفوق على القمح بنسبة الكربوهيدرات التي تحتويها فضلاً عن أنها تميل إلى تقديم إنتاجية عالية لكل وحدة من الأرض، مما يجعلها محصولاً رئيساً في ضمان توافر الغذاء وتعزيز الأمن الغذائي للمستهلكين[1]، وعلى الجانب الآخر، تسهم الذرة الصفراء في تأمين علف الحيوانات وتستخدم على نطاق واسع في العديد من المنتجات الصناعية[2]، كصناعة النشا وزيت الذرة على سبيل المثال لا الحصر، ويزرع محصول الذرة الصفراء في جميع بلدان العالم تقريبا، وقد شغل مساحة قدرها 1600000 كم^2 عام 2019 على المستوى العالمي، وإن من أهم ما يميز الذرة الصفراء عن المحاصيل الاستراتيجية الأُخرى، بأنه يمكن استهلاكها مباشرة من دون الحاجة للإزالة القشور كما هو الحال مع القمح والشعير [3].

وفي قضاء سهل أربيل تزرع الذرة الصفراء في العروة الخريفية أي في الموسم الزراعي الصيفي، لذلك تعتمد زراعتها على الارواء من المياه الجوفية بواسطة الآبار المحفورة هناك، وبهذا فإن الاختلاف الوحيد في التكنيك المتبع للشروع في النمذجة الخرائطية لملاءمة الخصائص الطبيعية على زراعة محصول الذرة الصفراء مقارنة بمحاصيل القمح والشعير، هو الاعتماد على درجة الحرارة وحدها بمثابة الخصائص المناخية، مع الاعتماد على بيانات المياه

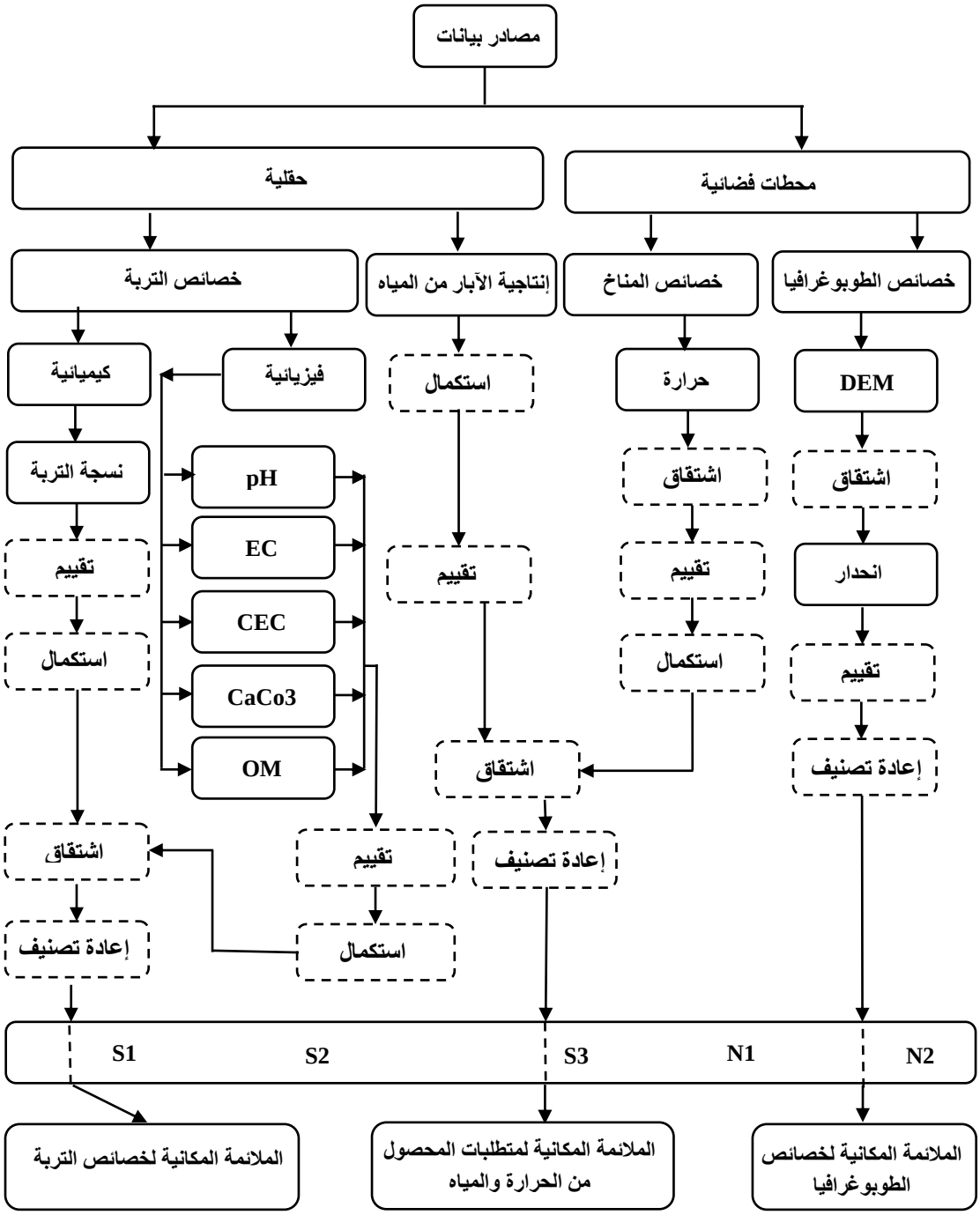
(1) Rose Mboya, et al., The dietary importance of maize in Katumba ward, Rungwe district, Tanzania, and its contribution to household food security, African Journal of Agricultural Research, Vol. 6, No. 11, 2011, p. 2617.

(2) Bekele Shiferaw, et al., Crops that feed the world 6. Past successes and future challenges to the role played by maize in global food security, Food security, Vol. 3, No. 3, 2011, p. 307.

(3) Josana A. Langner, et al., Maize: Key agricultural crop in food security and sovereignty in a future with water scarcity, Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Vol. 23, No. 9, 2019, p. 649.

الجوفية كمتغير منفرد في نمذجة مصادر مياه المحصول خرائطيا، ثم استخراج الملاءمة المكانية لمتطلبات المحصول من درجات الحرارة والمياه. ينظر الشكل (33).

الشكل (33): مخطط النمذجة الخرائطية لملاءمة الخصائص الطبيعية على زراعة محصول الذرة الصفراء في قضاء سهل أربيل



المصدر: عمل الباحث، اعتمادا على الملاحق (9-2)، (9-3) و(10).

3-2-3-2-1 نمذجة ملاءمة متطلبات الحرارة ومياه الري لمحصول الذرة الصفراء

Modeling the Suitability of Temperature and Irrigation Water Requirements for the Maize Crop

تعتمد زراعة محصول الذرة الصفراء في قضاء سهل أربيل على مياه الري؛ إذ يزرع ابتداء من 20 حزيران إلى 15 تشرين الأول، وبذلك تستغرق مدة زراعة المحصول 117 يوما[1]، في حين يعد موعد زراعة الذرة الصفراء في المناطق الشمالية في العراق مبكرا مقارنة بالمناطق الوسطى والجنوبية التي تبدأ فيها زراعة المحصول في 1 من شهر تموز عند الزراعة المبكرة إلى 30 تموز عند الزراعة المتأخرة[2]. إن السبب في تبكير زراعة الذرة الصفراء في المناطق الشمالية من العراق هو لتجنب تلاقي مدة نضوج المحصول مع موسم سقوط الأمطار الذي يبدأ في المناطق الشمالية قبل الجنوبية؛ إذ تعمل الأمطار بدورها على تعفن المحصول وتلفه عندما يتزامن سقوطها مع مرحلة النضج.

ومن أجل نمذجة متطلبات درجة الحرارة لمحصول الذرة الصفراء خرائطيا استنادا إلى ما سبق، اتبع ذات التكنيك المعتمد في نمذجة متطلبات الحرارة لمحصولي القمح والشعير، ذلك بجمع معدل الحرارة الشهري للأشهر الخاصة بمدة نمو المحصول موزونة بعدد أيام الأشهر المتضمنة مدة النمو، ومقسمة على عدد الأيام المعنية بالمدة الكلية لنمو المحصول، وبذلك كانت المعادلة التي نفذت في جدول البيانات الوصفية في برنامج ArcGIS Desktop 10.6.1 في هذا السياق، على النحو الآتي:-

((JUN*10) + (JUL*31) + (AUG*31) + (SEP*30) + (OCT *15)) / 117

ثم جاءت مرحلة تقييم درجة الحرارة اعتمادا على جملة معادلات انحدار خطية مشتقة لكل مستوى من مستويات الملاءمة.

وعلى الرغم من أن الذرة الصفراء تزرع في العروة الخريفية في قضاء سهل أربيل، وهي تعتمد كليا على مياه الري، إلا أنه تم اشتقاق معادلات انحدار خطية لمتطلبات المحصول من الأمطار أيضاً، وذلك لإفادة الباحثين في حال دراستهم للمحصول مستقبلا في مناطق أخرى، تزرع فيها الذرة الصفراء في العروة الربيعية التي تعتمد على مياه الأمطار باستثناء المراحل الأخيرة من مدة نضوج المحصول، ينظر الجدول (13).

---

(1) جمهورية العراق، وزارة الزراعة، البرنامج الوطني لإعداد خرائط التقسيم البيئي الزراعي في العراق، 2011.

(2) جمهورية العراق، وزارة الزراعة، شبكة الارصاد الجوية الزراعية العراقية، رابط الانترنت:

https://agromet.gov.iq/

الجدول (13): معادلات الانحدار الخطية المشتقة لتقييم ملاءمة الخصائص المناخية على زراعة محصول الذرة الصفراء

الملاءمة / الخاصية	N2	S3	S2	S1
حرارة				
^{o}C	< 14	16 - 14	18 - 16	24 - 18
معادلة التقييم	Y= 150*X - 2060	Y= 10*X - 100	Y= 12.5*X - 140	Y= 2.5*X + 40
^{o}C	> 40	35 - 40	32 - 35	24 - 32
معادلة التقييم	Y= -150*X + 6040	Y= -4*X + 200	Y= -8.3333*X + 351.67	Y= -1.875*X + 145
أمطار				
ملم3	< 300	400 – 300	500 - 400	750 - 500
معادلة التقييم	Y=15*X-4460	Y=0.2*X-20	Y=0.25*X-40	Y=0.06*X+55
ملم3	-	>1600	1200-1600	750-1200
معادلة التقييم	–	Y=-20*X+32060	Y=-0.0625*X+160	Y=-0.0333*X+125

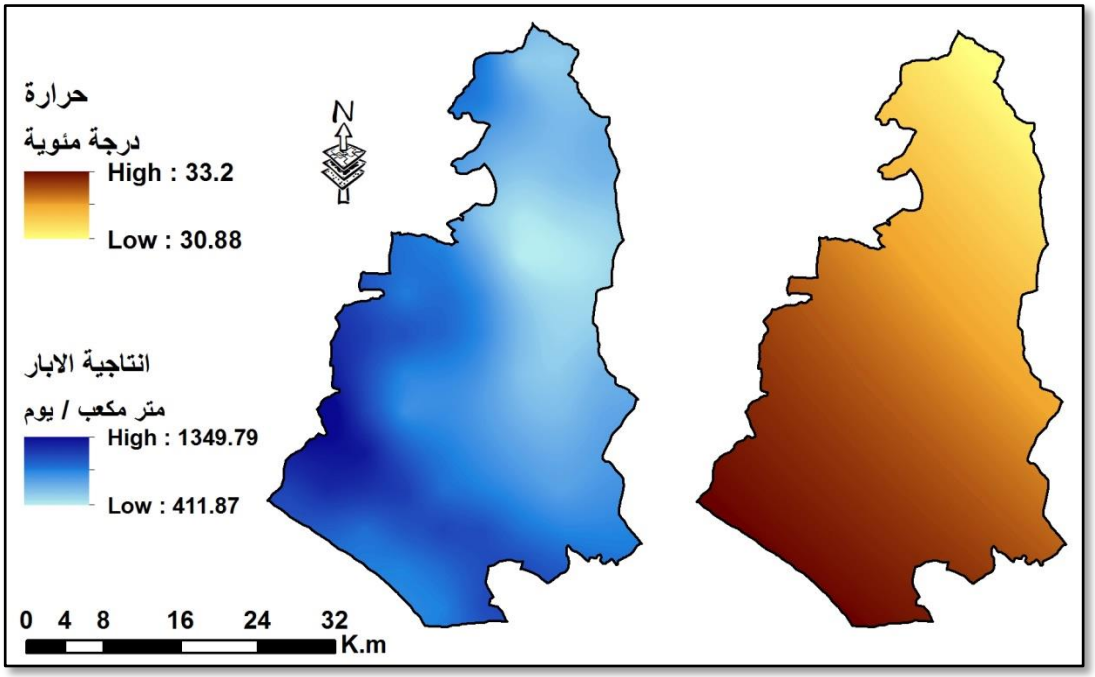
المصدر: الباحث، اعتمادا على برنامج Minitab 19 والملحق (10).

كما تتطلب زراعة الذرة الصفراء المعتمدة على مياه الري في دورة نمو المحصول البالغة 117 يوما، حجما مائيا مقداره 9500 م^3 / هكتار [1].

تبعا لذلك، تمت نمذجة متغير الحرارة خرائطيا بإخضاع البيانات المقيمة في جدول البيانات الوصفية إلى الاستكمال المكاني، أما متغير متطلبات المحصول من مياه الري، فقد تمت نمذجته باستكمال بيانات إنتاجية الآبار من المياه في قضاء سهل أربيل، ينظر الخريطة (37).

(1) الياس عويل، دليل زراعة محصول الذرة الصفراء، وزارة الزراعة والاصلاح الزراعي، الجمهورية العربية السورية، 2013، ص 19.

الخريطة (37): معدل الحرارة للسنوات (2002 – 2019) ضمن مدة نمو محصول الذرة الصفراء وإنتاجية الآبار من المياه في قضاء سهل أربيل للعام 2019



المصدر: عمل الباحث، اعتمادا على برنامج ArcGIS Desktop 10.6.1 والملحقين (9-3) و(11).

إن وحدة قياس إنتاجية الآبار من المياه هي بالمتر^3 / يوم، بينما وحدة قياس متطلبات زراعة الذرة الصفراء من مياه الري هي بالمتر^3 / هكتار كما ذكر آنفا، ومن أجل حساب ما إذا كانت إنتاجية الآبار في قضاء سهل أربيل تغطي الاحتياجات المائية لزراعة محصول الذرة الصفراء أم لا، لابد من توحيد وحدات القياس لغرض المقارنة، لذلك استُعين بمعادلة عمق الري Irrigation depth في تحويل وحدتي متطلبات الري للمحصول وإنتاجية الآبار من المياه إلى وحدة واحدة معنية بعمق الري، على النحو الآتي[1]:-

$$I_d = W_V / A$$

إذ إن:

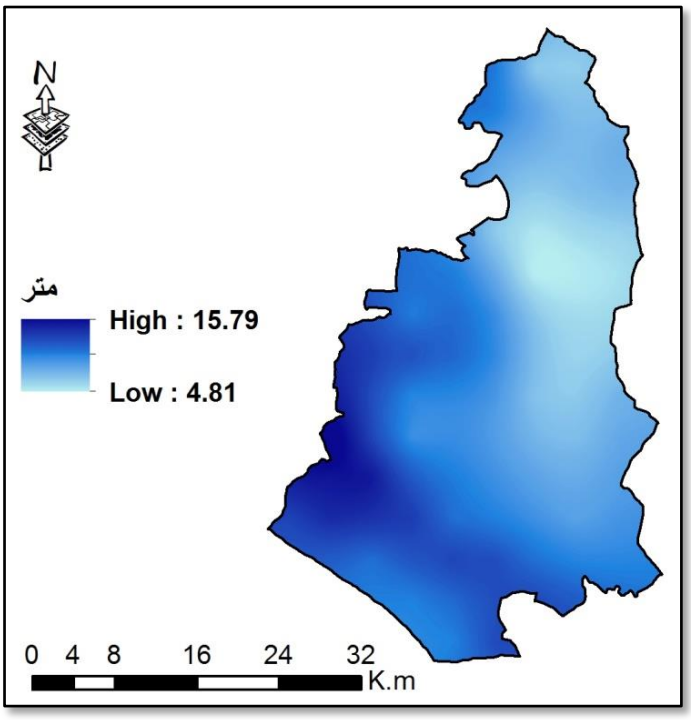
I_d = عمق الري، W_V = حجم الماء المضاف، A = مساحة المنطقة المزروعة.

وبقسمة 9500 متر^3 على 10000 متر^2 الذي يساوي هكتارا واحدا، سوف يكون عمق الري اللازم لاحتياجات الذرة الصفراء في دورة نموها البالغة 117 يوما 0.95 م تبعا لذلك، استخدم جبر الخرائط في قسمة الخريطة المنمذجة على 10000 ثم ضُربت في 117 لتحويلها

(1) T. Y. Oweis and A. Y. Taimeh, Evaluation of a Small Basin Water-Harvesting System in the Arid Region of Jordan, Water Resources Management, Vol. 10, No. 1, 1996, p. 25.

مـن أنمـوذج خرائطـي لإنتاجيـة الميـاه بـالمتر^3 / يـوم، إلـى أنمـوذج خرائطـي لعمـق الري المقاس بالمتر، والمتوفر في قضاء سهل اربيل خلال دورة نمو محصول الذرة الصفراء. ينظر الخريطة (38).

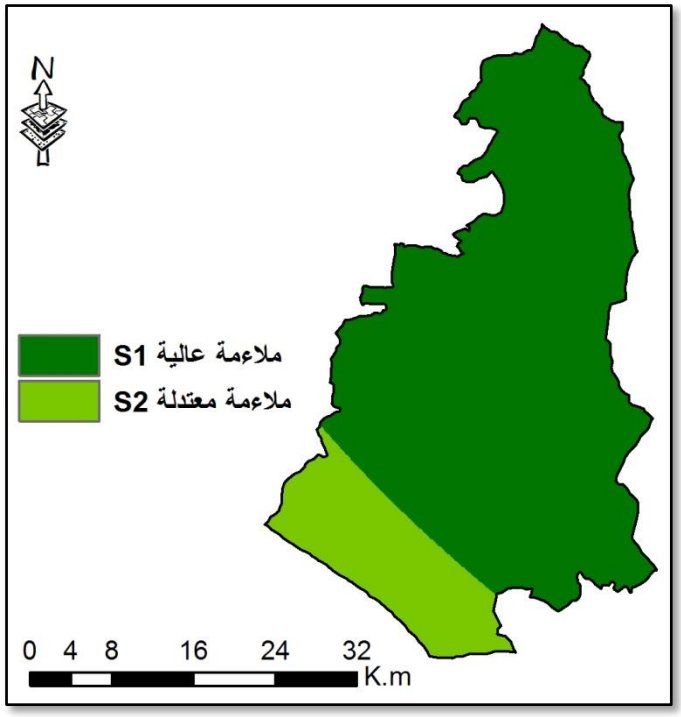
الخريطة (38): عمق الري المتوفر في قضاء سهل أربيل خلال مدة نمو محصول الذرة الصفراء



المصدر: عمل الباحث، اعتمادا على برنامج ArcGIS Desktop 10.6.1 والملحق (11).

وفي ضوء خريطة عمق الري المنمذجة آنفاً، يلاحظ أن أقل المناطق إنتاجية للمياه في قضاء سهل أربيل، تغطي حوالي أربعة اضعاف متطلبات محصول الذرة الصفراء من المياه خلال دوره نموه، ومن أجل الوصول إلى ملاءمة متطلبات محصول الذرة الصفراء من الحرارة والمياه، تم اعطاء تقييم لمياه الري بنسبة مقدارها 100%، ثم إدخالها بعد ذلك إلى معادلة خاصية الأرض للوصول إلى خريطة الملاءمة لمتغيري الحرارة ومياه الري، ينظر الخريطة (39).

الخريطة (39): ملاءمة متطلبات محصول الذرة الصفراء من معدل الحرارة للسنوات (2002 – 2019) ومياه الري للعام 2019 في قضاء سهل أربيل وفقا لتصنيف الـ FAO



المصدر: عمل الباحث، اعتمادا على برنامج ArcGIS Desktop 10.6.1 والملحقين (9-3) و(11).

يتضح من الخريطة في أعلاه سيادة صنف الملاءمة العالية لمتطلبات محصول الذرة الصفراء من درجات الحرارة ومياه الري في قضاء سهل أربيل بواقع 1091.47 كم^2 وبنسبة 84%، أما صنف الملاءمة المعتدلة فقد شغل مساحة مقدراها 213.84 كم^2 وبنسبة 16% من مجموع مساحة القضاء.

ونظرا لكون معيار الطوبوغرافيا لملاءمة زراعة محصول الذرة الصفراء مماثلاً لذات المعيار المستخدم في نمذجة ملاءمة زراعة القمح والشعير، فقد تم التجاوز عن نمذجته وعدّهُ ذات الأنموذج الخرائطي الذي يمكن استخدامه في بناء أنموذج الملاءمة الزراعية لمحصول الذرة الصفراء لاحقا، ينظر الملحق (10).

3-2-3-2-2 نمذجة ملاءمة خصائص التربة لمحصول الذرة الصفراء

Modeling the Suitability of Soil Properties for Maize Crop

اتبع في نمذجة ملاءمة خصائص التربة لمحصول الذرة الصفراء ذات التكنيك الذي اتبع في ذات النمذجة لمحصولي القمح والشعير؛ إذ قُيِّمَتْ ملاءمة خصائص التربة الفيزيائية والكيميائية على زراعة الذرة الصفراء بعد اشتقاق جملة من معادلات الانحدار الخطية لكل متغير من متغيرات خصائص التربة وحسب أصناف الملاءمة الزراعية للمحصول.

ومن أجل إتمام الأنموذج الخرائطي لملاءمة خصائص التربة على زراعة محصول الذرة الصفراء، تم استكمال تقييم الخصائص الفيزيائية والكيميائية للتربة، ثم اخضاع النماذج المستكملة

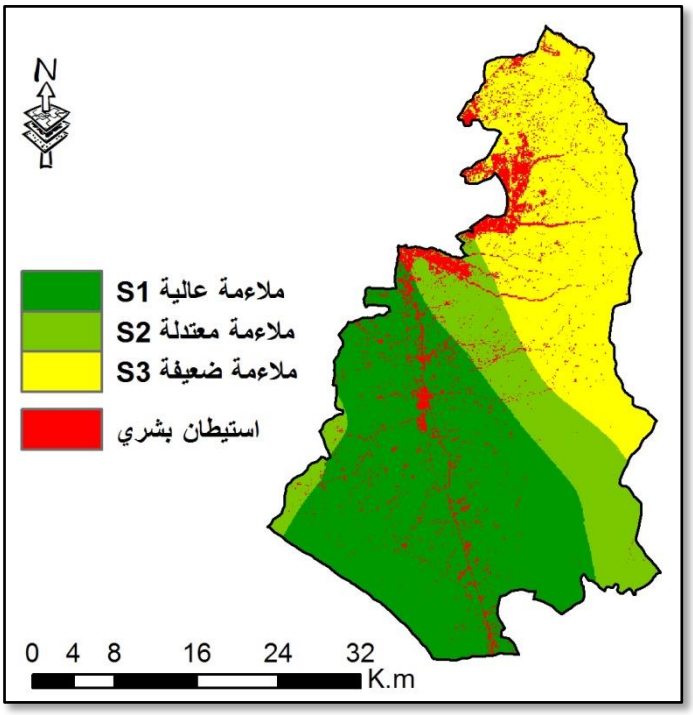
إلى معادلة خاصية الأرض ضمن تطبيق جبر الخرائط، وأخيرا اعيد تصنيف قيم الملاءمة للخروج بخرائط الملاءمة للمحصول. ينظر الجدول (14) والخريطة (40).

الجدول (14): معادلات الانحدار الخطية المشتقة لتقييم ملاءمة خصائص التربة على زراعة محصول الذرة الصفراء

الملاءمة / الخاصية	N2	S3	S2	S1
pH	>8.5	8.2–8.5	7.8–8.2	6.6–7.8
معادلة التقييم	Y=-75*X+677.5	Y= -66.667*X+606.67	Y=-62.5*X+572.5	Y=-12.5*X+182.5
EC	>10	7–10	5–7	0–5
معادلة التقييم	Y=-15*X+190	Y= -6.6667*X+106.67	Y=-12.5*X+147.5	Y=-3*X+100
OM	–	1.4	2–1.4	>3.5–2
معادلة التقييم	–	Y=2000*X-2740	Y=41.667*X+1.6667	Y=0.9452*X+83.11
CEC	–	–	<16	>24-16
معادلة التقييم	–	–	Y=5.3125*X	Y=0.7895*X+72.368
CaCo3	–	>40	30–40	0–30
معادلة التقييم	Y=-2.5*X+160	Y=-2.5*X+160	Y=-2.5*X+160	Y=-0.5*X+100

المصدر: عمل الباحث، اعتمادا على برنامج Minitab 19 والملحقين (9-2) و(10).

الخريطة (40): ملاءمة خصائص التربة على زراعة محصول الذرة الصفراء في قضاء سهل أربيل وفقا لتصنيف الـ FAO



المصدر: عمل الباحث، اعتمادا على برنامج ArcGIS Desktop 10.6.1 والملحقين (9-2) و(10).

أفصحت الخريطة آنفا عن الملاءمة المكانية العالية لخصائص التربة بمساحة مقدارها 596.2 كم^2 وبنسبة 45.7% من مجوع مساحة القضاء البالغة 1305.3كم^2، إذ ما أُخذ بنظر الاعتبار المساحة التي يشغلها الاستيطان البشري البالغة 97.4 كم^2 وبنسبة 7.46% من مجموع مساحة القضاء عام 2019، في حين شغل صنف الملاءمة المعتدلة أصغر مساحات أصناف الملائمة لخصائص التربة بواقع 218.5 كم^2 وبنسبة 16.7%، أما صنف الملاءمة الضعيفة المتوطن في الجزء الشمالي الشرقي من قضاء سهل أربيل فشغل مساحة مقدارها 393.2 كم^2 وبنسبة 30.14% من مجموع المساحة.

3-2-4 نمذجة الخصائص البشرية للمحاصيل الاستراتيجية

Human Characteristics Modeling of Strategic crops

على الرغم من وجود معايير عالمية للخصائص الطبيعية المؤثرة على الملاءمة الزراعية، على اعتبار أن الخصائص الطبيعية يمكن تقييسها بدقة وتحديد مدياتها على مستوى المحصول الواحد، ذلك اعتمادا على متطلباته من الخصائص الطبيعية، إلا أن الخصائص البشرية التي لا تقل أهمية عن الخصائص الطبيعية، فلا يوجد أي معيار عالمي يخص ملاءمتها على الزراعة. وهذا يفسر بأن الخصائص البشرية تتغير بوتيرة سريعة متأثرة في ذلك بجملة من العوامل الاقتصادية والاجتماعية والسياسية.

وعلى الجانب الآخر هناك الكثير من العوامل المؤثرة على الزراعة على نحو عام، كالأيدي العاملة وسهولة الوصول والملكية ورأس المال والمكننة الزراعية والسياسة الحكومية، إلا أن إدخال جميع هذه العوامل كخصائص لملاءمة الأرض على الزراعة في ظل النمذجة الخرائطية تحكمها مسألتان رئيستان، على النحو الآتي:-

1- مدى توفر بيانات تتناسب وطبيعة العامل الذي سيصار نمذجته خرائطيا، كخاصية تدخل في ملاءمة الأرض الزراعية.
2- مدى تحقيق العامل المؤثر على الزراعة تباينا مكانيا محليا ضمن الحيز المكاني المدروس، حتى يمكن عده خاصية تؤثر على أصناف خريطة الملاءمة المكانية الزراعية.

فعلى سبيل المثال، يمكن عد الملكية الزراعية عاملاً مؤثراً على الإنتاج الزراعي، من حيث إن الأراضي الزراعية المؤجرة تتميز بنشاط زراعي أكبر من الأراضي المملوكة، لكون من يؤجر الأرض سوف يسعى إلى تحقيق أعلى ربحية حتى يمكن الإفادة منها من جانب، وتأمين إيجارها من جانب آخر، على عكس الأراضي المملوكة التي لا تجبر المالك على القيام بنشاط زراعي، وهكذا فإن الشروع في النمذجة الخرائطية للملكية الزراعية يتطلب خرائط تفصيلية على مستوى قطعة الأرض الزراعية سواء كانت ملكاً أم ايجاراً، وهذا النوع من الخرائط لا يتوفر في الدوائر

الرسمية، فأكبر تفصيل للخرائط الكادسترالية المتوفرة في البلد هو على مستوى المقاطعة وليس على مستوى قطعة الأرض، فضلا عن المشكلات المزمنة بين الدولة والمزارعين فيما يتعلق بالملكية التاريخية للأرض كما هو واقع في قضاء سهل أربيل، مما يجعل الدوائر المعنية تحجب أي نوع من البيانات عن هذا الأمر ان كانت متوفرة اصلا.

وعلى الجانب الآخر، فإن العوامل الأُخرى كالسياسة الحكومية نحو النشاط الزراعي من تأمين رأس المال للمزارعين وتوفير المكننة الزراعية وغيرها، لا تحقق تباينا محليا على مستوى القضاء، فما يجري من سياسة حكومية نحو النشاط الزراعي سوف يجري على كامل القضاء وليس على أجزاء منه دون أخرى. وبذلك سوف لن تؤثر هذه العوامل على أصناف خريطة الملاءمة المكانية الزراعية عند نمذجتها خرائطيا.

لذلك تم انتخاب خاصيتين رئيستين يمكن نمذجتها خرائطيا في مجال الملاءمة الزراعية، وتتميز بتحقيق شرط التباين المكاني على مستوى قضاء سهل أربيل، ألا وهي الأيدي العاملة الزراعية Agricultural Labors وسهولة الوصولAccessibility، وهي بدورها خصائصا عامة ومهمة لجميع أنواع المحاصيل.

3-2-4 -1 نمذجة الأيدي العاملة الزراعية Agricultural Labors Modeling

يقصد بالأيدي العاملة الزراعية مجموعة الأفراد العاملين فعلا في النشاط الزراعي بغض النظر عن الجنس والعمر، وهي تشكل دعامة أساسية للإنتاج الزراعي الذي يتوقف بدوره على مدى توفر الأيدي العاملة خاصة بالدول النامية، ابتداء من حراثة الأرض مرورا بحصاد المحصول وانتهاء بالخزن والتسويق[1]، وقبل الشروع في نمذجة الأيدي العاملة الزراعية لا بد من الوقوف على طبيعة توزيع السكان في قضاء سهل أربيل لمعرفة موقع الأيدي العاملة من سكان المنطقة.

على الرغم من أن قضاء سهل أربيل يغلب على أراضيه الاستعمال الزراعي إلا أن 86.2% من مجموع سكانه بواقع 208255 نسمة، هم من الحضر مقابل 13.8% من الريف وبواقع 33468 نسمة، وبذلك بلغ عدد سكان القضاء 241723 نسمة عام 2019 حسب تقديرات دائرة إحصاء إقليم كوردستان، كما إن التوزيع البيئي للسكان حسب النواحي لا يختلف كثيرا مقارنة بذات التوزيع على مستوى القضاء.

(1) ابراهيم محمد حسون القصاب وصلاح حميد الجنابي، القوى العاملة الزراعية في العراق وإمكانية التعويض والمناقلة، مجلة الجمعية الجغرافية العراقية، المجلد 17، بغداد، 1986، ص 84.

فناحية كسنزان شمال ناحية بنصلاوة مركز قضاء سهل أربيل، تحتل المرتبة الأولى من مجموع عدد السكان فيها مقارنة بالنواحي الأُخرى، بسبب زيادة التحضر الناتج عن التوسع الحضري في الناحية وإقامة المشاريع السكنية المخططة فيها، ومن ثم استقطاب سكان مدينة أربيل باتجاهها، بقيام المجمعات السكنية الكبيرة. لذلك اظهرت الناحية نسبة عدد سكان 32.3% بواقع 78191 نسمة، فيما بلغت نسبة سكان الريف في ناحية كسنزان نحو 9.8% من مجموع سكانها، وبواقع 7680 نسمة، وهذا ما يفسر انخفاض ما تشكله الأيدي العاملة الزراعية من مجموع سكان ريفها إلى 4.8%.

أما ناحية بنصلاوة فاحتلت المرتبة الثانية في عدد سكان الحضر، بواقع 62273 نسمة وبنسبة مقدارها 99.3%، مقابل عدد سكان الريف البالغ 451 نسمة وبنسبة 0.7% من مجموع سكان الناحية، وبذلك تحتل نسبة مقدارها 26% من مجموع سكان القضاء وبواقع 62724 نسمة؛ إذ يغلب عليها الاستعمال الحضري أيضاً مما انعكس ذلك على انخفاض الأيدي العاملة بالزراعة؛ إذ بلغ عددها 18 عاملا فقط وبنسبة 4% من مجموع سكان الريف في الناحية، إذ إن معظم سكان الريف تركوا العمل الزراعي متوجهين نحو فرص العمل الحضرية المتوفرة في مركز القضاء، فضلا عن مدينة أربيل سواء كانت تجارية، صناعية ام خدمية، وكذلك الالتحاق بالسلك الأمني والعسكري، في حين إن ناحية دارةتو لا تختلف نسبة عدد سكانها كثيرا عن ناحية بنصلاوة (المركز)، إذ شكل عدد سكان دارةتو نسبة مقدارها 27.8% من مجموع سكان القضاء وبواقع 67275 نسمة، غير أن سكان الحضر فيها يشكل نسبة مقدارها 85.4% مقابل 14.6% لصالح سكان الريف، وبواقع 57451 و9824 نسمة على التوالي، وهذا انعكس على ارتفاع سكان الريف في الناحية مقارنة بناحية بنصلاوة، ويعزى ذلك إلى اتساع الأراضي الزراعية؛ إذ بلغت نسبة العاملين في الزراعة من سكان ريف دارةتو 5.6% وبواقع 552 عاملا.

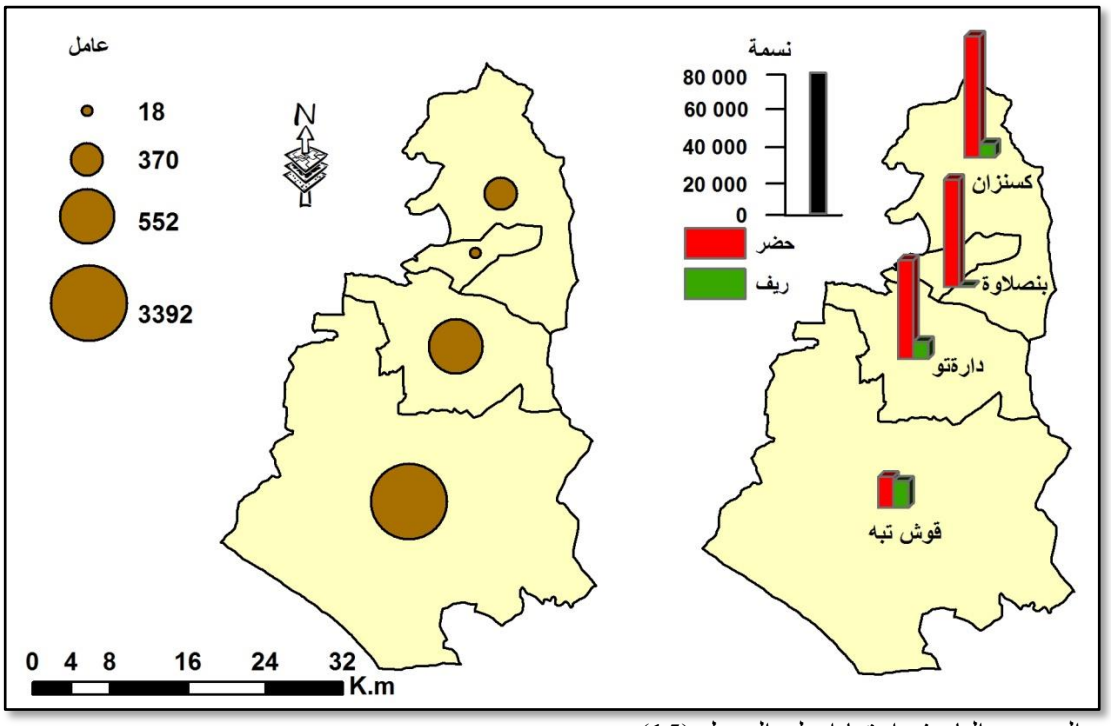
وبالتوجه نحو جنوب القضاء عند ناحية قوشتبة، تنخفض نسبة السكان نحو 13.8% وبواقع 33533 نسمة، غير أن سكان الريف يشكلون نسبة مقدارها 46.3% من مجموع سكان الناحية وبواقع 15513 نسمة، وهذا انعكس على ارتفاع عدد الأيدي العاملة في الزراعة الذي بلغ 3392 نسمة، وبنسبة 21.8 % من سكان ريف الناحية، إذ لازال العمل الزراعي في هذه الناحية هو السائد، بسبب البعد النسبي للناحية عن المد الحضري لمدينة أربيل، وبذلك فإن السكان أقل تأثرا بالتحضر، فضلا عن جودة الأراضي الزراعية من حيث انبساطها النسبي وملاءمة خصائص التربة (التي أظهرتها النماذج الخرائطية في موضوع نمذجة الخصائص الطبيعة) على زراعة المحاصيل الاستراتيجية، مما يشجع السكان على مزاولة العمل الزراعي من أجل استثمار أراضيهم زراعيا، ينظر الجدول (15) والخريطة (41).

الجدول (15): التوزيع البيئي للسكان والأيدي العاملة في الزراعة حسب الوحدات الإدارية في قضاء سهل أربيل لعام 2019

الوحدة الإدارية	مجموع السكان	% من مجموع سكان القضاء	سكان الحضر	% من مجموع سكان الناحية	سكان الريف	%من مجموع سكان الحضر	% من مجموع سكان الناحية	سكان الحضر	%من مجموع سكان الريف	% من مجموع سكان الناحية	الأيدي العاملة في الزراعة	نسبة الأيدي العاملة في الزراعة من سكان الريف
كسنزان	78191	32.3	70511	90.2	7680	33.8	90.2	70511	23	9.8	370	4.8
بنصلاوة	62724	26	62273	99.3	451	30	99.3	62273	1.4	0.7	18	4
دارةتو	67275	27.8	57451	85.4	9824	27.6	85.4	57451	29.3	14.6	552	5.6
قوشتبه	33533	13.8	18020	53.7	15513	8.6	53.7	18020	46.3	46.3	3392	21.8
مجموع القضاء	241723	100	208255	86.2	33468	100	86.2	208255	100	13.8	4332	13

المصدر جمهورية العراق، إقليم كوردستان، وزارة التخطيط، مديرية إحصاء محافظة أربيل، شعبة الإحصاء، سكان قضاء سهل أربيل، بيانات غير منشورة، 2019.

الخريطة (41): التوزيع البيئي للسكان والأيدي العاملة الزراعية في نواحي قضاء سهل أربيل لعام 2019



المصدر: الباحث، اعتمادا على الجدول (15).

يتضح مما سبق حقيقة مفادها أن ثمة علاقة طردية بين ارتفاع نسب سكان الريف وارتفاع نسب العاملين بالزراعة في القضاء، فعلى سبيل المثال اضطلعت ناحيتي قوشتبة ودارةتو في تركز الأيدي العاملة الزراعية فيهما وفي الوقت ذاته تشكلان نسب مرتفعة من مجموع سكان الريف في القضاء بنسبة 46.3 % و29.3% على التتابع. في حين انخفضت نسبة ما يشكله العاملون في ناحيتي كسنزان وبنصلاوة بانخفاض سكان ريفهما نحو 23 و1.4% من مجموع سكان ريف القضاء على التوالي.

ومن أجل تحويل توزيع الأيدي العاملة على أساس المقاطعات الزراعية إلى أنموذج خرائطي ذي سطح خلوي مستمر معني بملاءمة الأيدي العاملة على الزراعة، تمت الاستعانة بمعادلة الكثافة الزراعية لاستخراج عدد العاملين في الزراعة لكل كم^2 وفقا للمعادلة الآتية[1]:-

الكثافة الزراعية = العاملون في الزراعة / مساحة الأراضي الزراعية

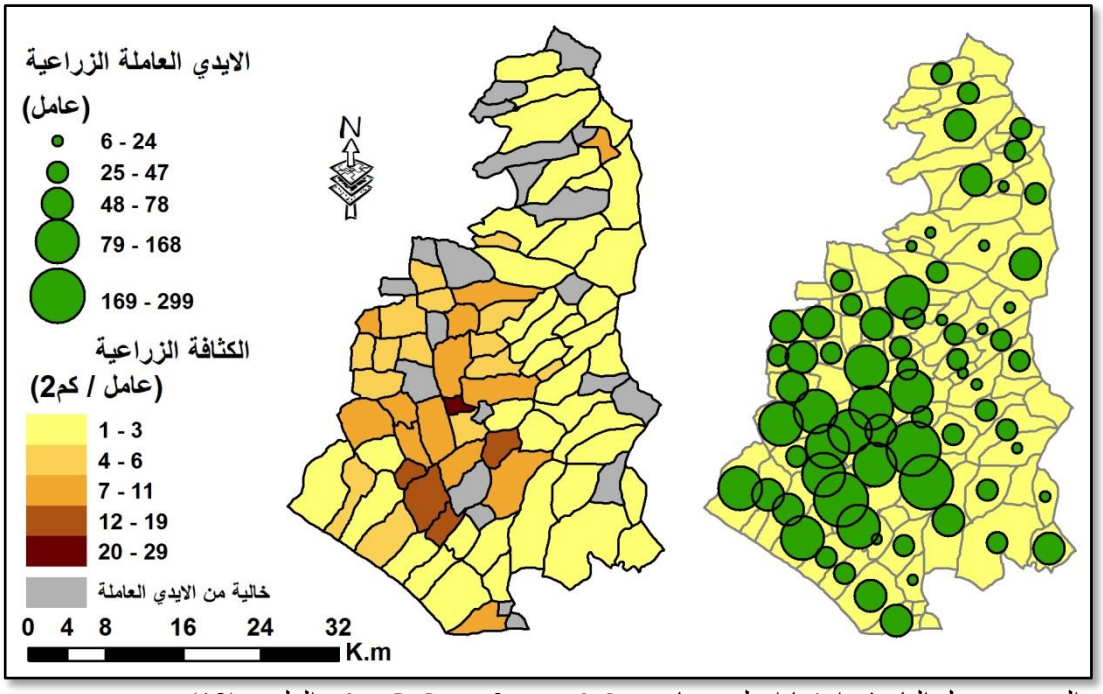
ولتنفيذ المعادلة خرائطيا في نظم المعلومات الجغرافية تم حساب مساحة الأرض لكل مقاطعة زراعية مطروح منها مساحة الأراضي المبنية بوصفها اراضي للاستيطان البشري، ثم قسمة عدد الأيدي العاملة الزراعية على الناتج، للوصول إلى خريطة كوروبليث Choropleth معنية بالكثافة الزراعية، إلا أن خريطة الكوروبليث لا يمكن إدخالها في النمذجة الخرائطية ما لم تحول إلى الصيغة الخلوية، لذلك تم تحويل المعالم المساحية الخاصة بالمقاطعات الزراعية إلى معالم نقطية تأخذ مركز الثقل الهندسي في كل مقاطعة مع بياناتها الوصفية، ثم إجراء عملية الاستكمال المكاني لبيانات الكثافة الزراعية للمعالم النقطية. ثم اعيد تصنيف السطح المستكمل إلى ثلاث فئات استنادا إلى الطريقة الخرائطية المعنية بالفواصل الطبيعية Natural Breaks، وهي طريقة تصنيف خرائطية طورها الخرائطي (الكارتوجرفر) Georg Jenks؛ إذ تعمل بدورها على فصل البيانات إلى أصناف استنادا إلى الفواصل الموروثة أو المتأصلة (التغيرات المفاجئة في قيم البيانات) من التوزيع التكراري للبيانات، وبذلك تحقق أقل تباين في البيانات عند الفئة الواحدة وأعلى تباين بين الفئات[2]، وذلك للخروج بملاءمة الأيدي العاملة على الزراعة، إنطلاقاً من مبدأ أن الأيدي العاملة الأكثر هي ملائمة بشكل أكبر للزراعة في الدول النامية على نحو عام. ينظر الخريطتان (42) و(43) والشكل (34).

---

(1) طه حمادي الحديثي، جغرافية السكان، دار الكتب للطباعة والنشر، ط2، جامعة الموصل، 2000، ص 643.

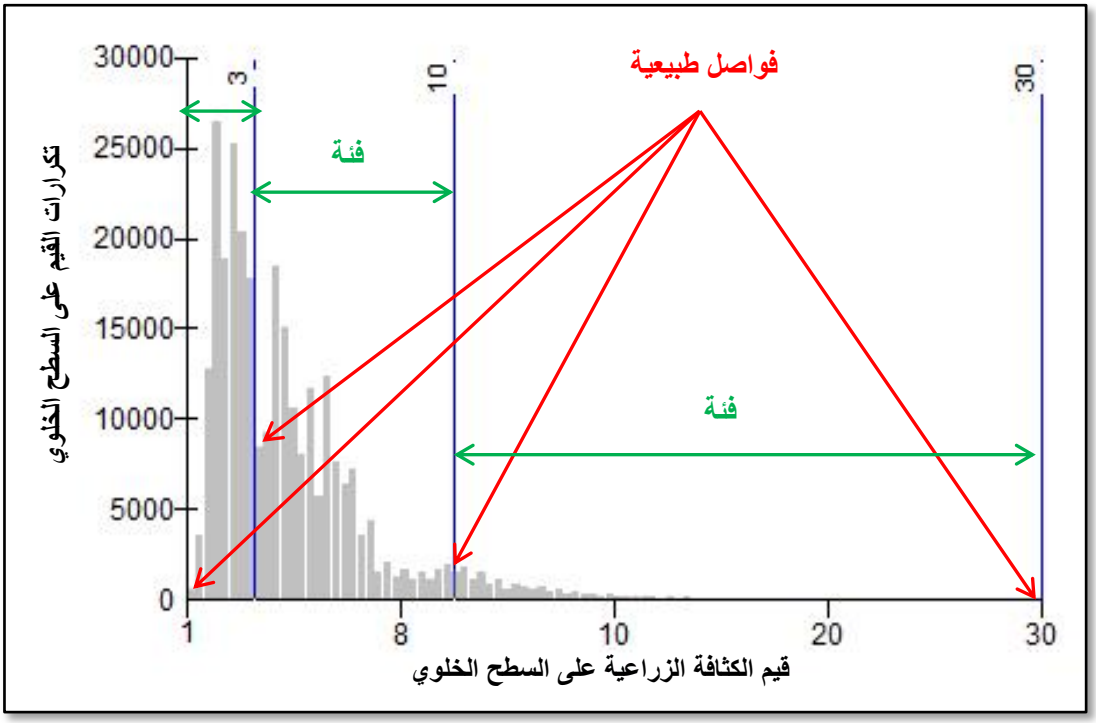
(2) Borden D. Dent, op cit., p.146.

الخريطة (42): الأيدي العاملة الزراعية والكثافة الزراعية حسب مقاطعات قضاء سهل أربيل لعام 2019



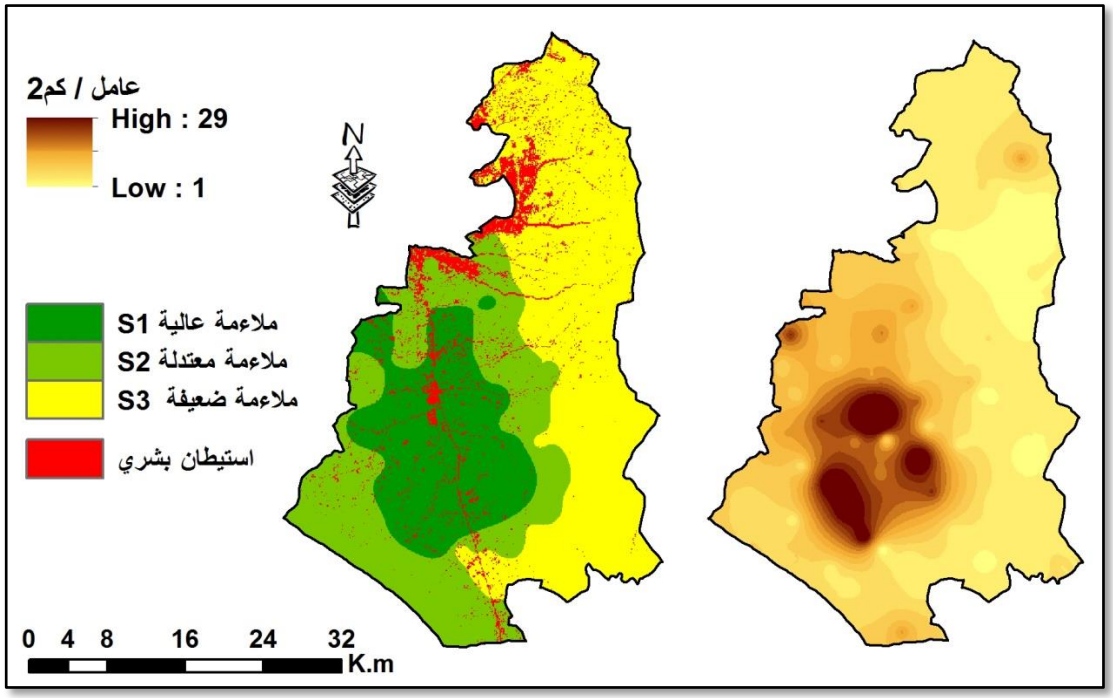
المصدر: عمل الباحث، اعتمادا على برنامج ArcGIS Desktop 10.6.1 والملحق (12).

الشكل (34): التصنيف الخرائطي باستخدام طريقة الفواصل الطبيعية للملاءمة الزراعية للأيدي العاملة بدلالة الكثافة الزراعية في قضاء سهل أربيل لعام 2019



المصدر: عمل الباحث، اعتمادا على برنامج ArcGIS Desktop 10.6.1 والخريطة (42).

الخريطة (43): الملاءمة المكانية الزراعية للأيدي العاملة بدلالة الكثافة الزراعية في قضاء سهل أربيل لعام 2019



المصدر: عمل الباحث، اعتمادا على برنامج ArcGIS Desktop 10.6.1 والخريطة (42) والملحق (12).

شغل صنف الملاءمة العالية مساحة مقدارها 275.8 كم^2، بنسبة 21.1% من مساحة قضاء سهل أربيل، إذ تتراوح الكثافة الزراعية فيها بين 10 – 29 عامل / كم^2، في حين أن صنف الملاءمة المعتدلة احتل مساحة نسبتها 28.4% وبواقع 370.9 كم^2، وقد تراوحت الكثافة الزراعية فيه بين 4 – 9 عامل / كم^2، أما صنف الملاءمة الضعيفة فقد بلغت مساحته مقدارها 561.2 كم^2 وبنسبة 43% من المساحة الكلية للقضاء، وتتراوح الكثافة الزراعية في أراضيه بين 1 – 3 عامل / كم^2 إذا ما اخذ بنظر الاعتبار أن مساحة الاستيطان البشري تشكل نسبة 7.5% بواقع 97.4 كم^2 من المساحة الكلية للقضاء، وهي لم تدخل ضمن حسابات مساحة أصناف الملاءمة.

يتضح مما سبق أن ملاءمة الأيدي العاملة على الزراعة تقل باتجاه شمال وشرق القضاء، بينما تزيد بالوسط نحو الجنوب الغربي على نحو عام؛ إذ يبدو جليا أن تركز الأيدي العاملة الزراعية يتوافق مكانيا مع ملاءمة الخصائص الطبيعية للمحاصيل الاستراتيجية التي أفصحت عنها نمذجة الخصائص المناخية والطوبوغرافية والتربة في خرائط سابقة.

3–2–4 –2 نمذجة سهولة الوصول Accessibility Modeling

يعد النقل أمرا أساسيا لضمان الوصول من والى الأنشطة الزراعية، فالنقل الفعال يزيد من الإنتاج الزراعي، إذ يربط المزارعين في مجموعة من الأنشطة الاقتصادية والاجتماعية ويقلل من مقدار الوقت المستغرق في السفر، فضلا عن تعزيزه للجهود نحو زيادة الإنتاجية[1]، أما سهولة الوصول فتشير عمومًا إلى الوصول المادي إلى السلع والخدمات والوجهات، وهو ما يقصده الناس عادةً بالنقل، وفي مجال الجغرافيا، تشير سهولة الوصول إلى السهولة النسبية للوصول إلى موقع أو منطقة معينة؛ إذ تزداد هذه السهولة عند كثافة طرق النقل فضلا عن تنوع اتجاهاتها[2]، لذلك يُنظر إلى طرق النقل في الريف، على أنها حافز لتطوير الزراعة من خلال سهولة الوصول من وإلى مراكز التسويق والخزن[3].

يضم قضاء سهل أربيل ثلاثة أنواع من طرق النقل ألا وهي، الطرق الرئيسة، الثانوية والترابية، يبلغ مجموع أطول الطرق الرئيسة 222.4 كم والثانوية 578.8 كم أما الترابية فكانت بنحو 709.1 كم عام 2019[4]، وعلى الجانب الآخر، فإن تسويق المنتجات الزراعية وخزنها يتم في مدينة أربيل الحاوية على مخزن للحبوب (سايلو) وكذلك سوق للمنتجات الزراعية (علوة).

وبناء على المعلومات في أعلاه يمكن بناء أنموذج خرائطي لسهولة الوصول من الأراضي الزراعية إلى مدينة أربيل لتسويق وخزن المنتجات الزراعية اعتمادا على إجراءين رئيسين: اولهما متمثل في نمذجة كثافة النقل، والآخر في نمذجة البعد عن مركز التسويق.

تضمن الإجراء الخاص بنمذجة كثافة النقل في الحصول على سطح خلوي Raster، بحيث إن كل وحدة صورية Pixel من السطح الخلوي تحتوي على قيمة لكثافة النقل، وعلى الرغم من وجود معادلتين لحساب كثافة النقل؛ إذ تتضمن الأولى قسمة أطوال طرق النقل على وحدة المساحة، والثانية بقسمة أطوال طرق النقل على عدد السكان، إلا أن الاختيار وقع على المعادلة الأولى بسبب عدم توفر بيانات حول عدد السكان حسب الوحدات الإدارية الصغيرة

---

(1) Esther Yeboah Danso-Wiredu, Mobility and Access for Off-Road Rural Farmers in West-Akim District, Ghana Journal of Geography, Vol. 3, 2011, p. 231.

(2) Todd Litman, Evaluating Accessibility for Transportation Planning: Measuring People's Ability to Reach Desired Goods and Activities, Victoria Transport Policy Institute, 2020, p. 6. Internet link: https:// www.vtpi.org/access.pdf

(3) Anthony Kwame Morgan, et al., Effect of road transport accessibility on agricultural produce marketing and livelihoods of farmers in the Kasena-Nankana West District of Ghana, The Journal of Development Practice, Vol. 5, 2019, p. 45.

(4) جمهورية العراق، إقليم كوردستان، وزارة الزراعة والمصادر المائية، مديرية زراعة أربيل، شعبة نظم المعلومات الجغرافية، بيانات طرق النقل في قضاء سهل أربيل لعام 2019.

المتمثلة بالمقاطعات الزراعية من أجل الخروج بخريطة تجسد التباين المكاني لكثافة النقل. فكانت المعادلة المختارة على النحو الآتي[1]:-

كثافة النقل = مجموع أطوال طرق النقل حسب الوحدة المكانية (متر) / مساحة الوحدة المكانية (كم^2)

وفي ضوء المعادلة في أعلاه تم إنشاء شبكة مربعات تغطي قضاء سهل أربيل باستخدام الأداة Fishnet[*]، إذ إن كل مربع يشغل مساحة قيمتها 1كم^2، ثم إجراء التطابق التعريفي Identity Overlay[**] بين طرق النقل بعدما دمجت الطرق الرئيسة بالثانوية واستثنيت الطرق الترابية من حساب الكثافة على اعتبار أنها غير صالحة للنقل في موسم التساقط المطري، مع المربعات التي انشئت.

إن الغاية من إجراء التطابق التعريفي هو لتعريف مجموع أطوال طرق النقل داخل المربع الواحد ذي المساحة 1كم^2، ثم حولت المربعات إلى معالم نقطية ليتسنى إخضاعها لعملية الاستكمال والحصول على سطح خلوي مستمر لكثافة النقل وعلى الجانب الآخر، اشتقت خريطة البعد عن مدينة أربيل بالكم، باستخدام المسافة الاقليدية Euclidean Distance[***] موزونة بكثافة النقل، عن طريق الأداة Cost Distance. إذ تمثل كثافة النقل هنا كلفة تراكمية Accumulative Cost يتم وزن المسافة الاقليدية بها، بمعنى آخر إن المسافة الأبعد عن

---

(1) حمادي عباس حمادي ومحمد فشلان هلول، التحليل الكمي لكفاءة شبكة طرق النقل البرية المعبدة في محافظة القادسية، مجلة القادسية في الاداب والعلوم التربوية، جامعة القادسية، العراق، العدد 1، 2019، ص 297.

(*) تعمل الأداة Fishnet على انشاء طبقة من المعالم المساحية أو الخطية التي يمكن ان تحتوي أيضاً على معالم نقطية في مراكزها المكانية على شكل شبكة من المربعات، وهي تتطلب ثلاث مجموعات من المعلومات، المدى المكاني للشبكة Spatial Extent، وعدد الصفوف والاعمدة Number of Colum's and records، وزاوية الدوران Rotation.

للتفاصيل ينظر:

ESRI, ArcGIS Desktop Software 10.6.1 Help, How Create Fishnet works, 2018.

(**) تعمل الأداة Identity Overlay على حساب المناطق المتقاطعة مكانيا عند عملية التطابق للبيانات المتجهة، وبذلك سوف تحصل المعالم المدخلة على البيانات الوصفية التي تنتمي إلى المعالم المطابقة معها، فمثلا عند تطابق شبكة المربعات مع طرق النقل، سوف يكون الناتج عبارة عن شبكة مربعات تحتوي على طول الطريق الذي يمر من خلال كل مربع.

للتفاصيل ينظر:

ESRI, ArcGIS Desktop Software 10.6.1 Help, Identity (Analysis), 2018.

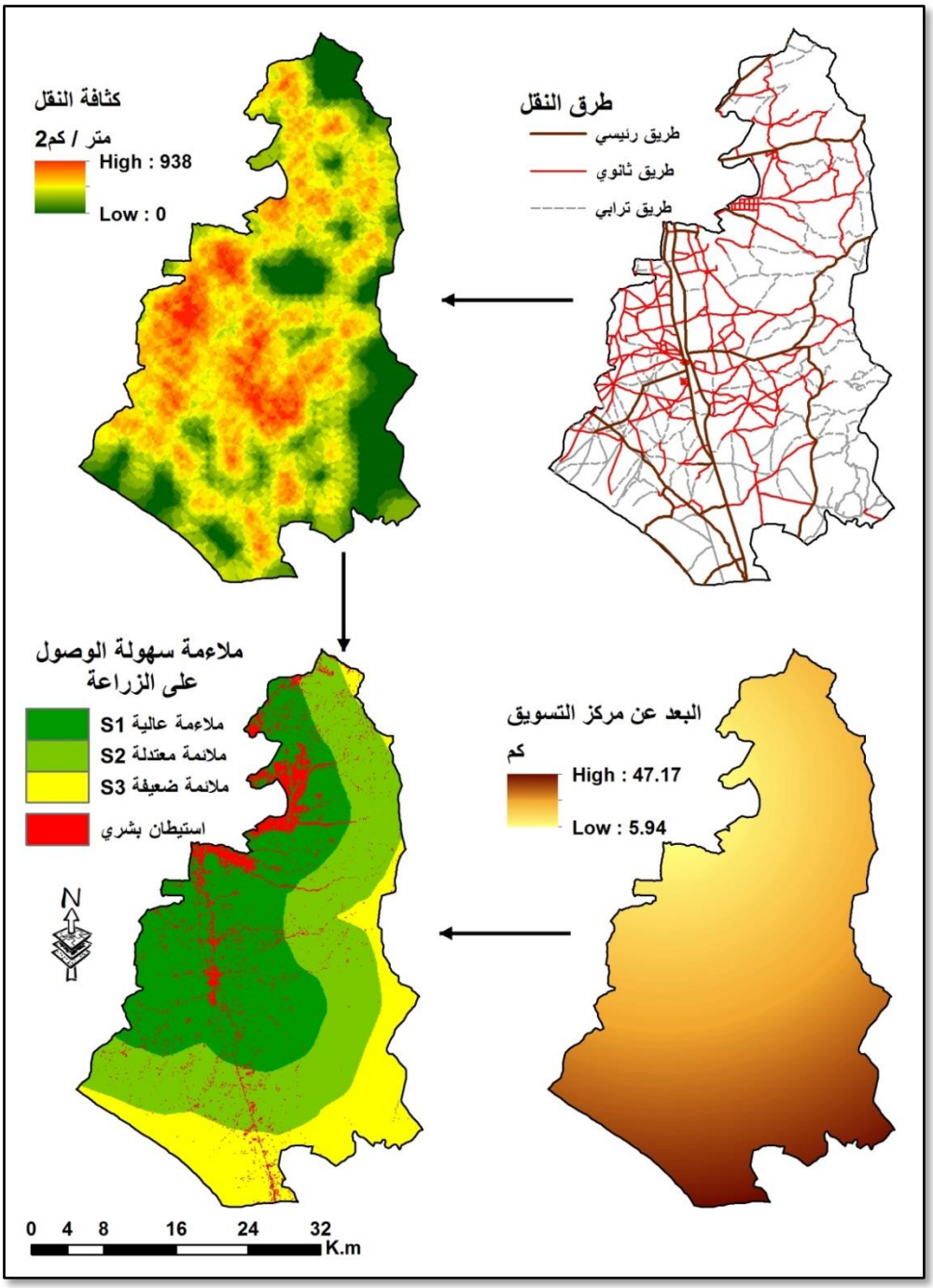
(***) المسافة الاقليدية هي استنتاج رياضي من رسم مثلث قائم الزاوية، إذ تحسب بجمع مربع العمود الأول مع مربع العمود الثاني الذي يشكل مع العمود الأول زاوية قائمة حسب نظرية فيثاغورس. اما الأداة Euclidean Distance فتعمل على استنتاج سطح خلوي بحيث ان كل خلية لها قيمة بعد عن معلم مصدري يختاره المستخدم.

للتفاصيل ينظر:

1. ESRI, ArcGIS Desktop Software 10.6.1 Help, Understanding Euclidean distance analysis, 2018.
2. Measures of distance between samples: Euclidean, Internet link: http://84.89.132.1/~michael/stanford/maeb4.pdf

مصدر محدد (مدينة أربيل) بكثافة نقل عالية قد تكون ذات أهمية نسبية أكبر من المسافة الأقرب إلى ذات المصدر عندما تكون بكثافة نقل واطئة، وبذلك تم الحصول على سطح خلوي للمسافة عن مدينة أربيل موزونة بكثافة النقل، وقد صنف السطح الخلوي إلى ثلاثة أصناف من الملاءمة استنادا إلى طريقة الفواصل الطبيعية، ينظر الخريطة (44).

الخريطة (44): سهولة الوصول بدلالة البعد عن مركز التسويق موزون بكثافة النقل في قضاء سهل أربيل لعام 2019



المصدر: عمل الباحث، اعتمادا على برنامج ArcGIS Desktop 10.6.1 وجمهورية العراق، إقليم كوردستان، وزارة الزراعة والمصادر المائية، مديرية زراعة أربيل، شعبة نظم المعلومات الجغرافية، طرق النقل في قضاء سهل أربيل، ملفات رقمية غير منشورة، 2019.

اتضح مما سبق أن الملاءمة العالية لسهولة الوصول تتوطن باتجاه الجزء الغربي ووسط قضاء سهل أربيل باستثناء مسافة 7.6 كم على جنوب الحدود الغربية من المنطقة التي تحاذي صنف الملاءمة المعتدلة والضعيفة؛ إذ شكلت صنف الملاءمة العالية نحو 36.1% وبواقع 471.6 كم^2 من الساحة الكلية للقضاء، ويعزى امتدادها إلى الجانب الغربي من القضاء ليس بسبب قرب المسافة عن مركز التسويق والخزن فحسب، إنما بسبب كثافة شبكة طرق النقل هناك التي تطورت أيضاً نتيجة للتوسع الحضري لمركز قضاء سهل أربيل، فضلا عن المد الحضري لمدينة أربيل ذاتها، مما تطلب ذلك انشاء المزيد من الطرق لربط الأجزاء الحضرية معا، كما إن توطن الملاءمة العالية في وسط (قلب) القضاء، جاء انعكاسا لزيادة كثافة النقل هناك نتيجة لزيادة طرق النقل من أجل ربط مفاصل القضاء مع بعضها بعضاً، كما ويقع صنف الملاءمة المعتدلة ظهير صنف الملاءمة العالية بسبب بعد المسافة عن مركز تسويق وخزن المنتجات الزراعية؛ إذ تحتل نحو 36.2% من مساحة القضاء وبواقع 472.1 كم^2. أما صنف الملاءمة الضعيفة المتوطن ظهير صنف الملاءمة المعتدلة عند الجزء الشرقي والجنوبي من القضاء، فقد شغل نحو 20.2% من مساحة المنطقة وبواقع 264.3 كم^2؛ إذ يعزى سبب توطنه هناك نتيجة البعد عن مركز التسويق والخزن، فضلا عن انخفاض كثافة النقل.

وبناء على ما تم نمذجته من الملاءمة المكانية الزراعية للخصائص الطبيعية والبشرية لكل محصول استراتيجي مبحوث، يبقى هناك سؤال يفرض نفسه على المسرح المفاهيمي والتقني في هذه الدراسة، الا وهو: ما هي الملاءمة المكانية الزراعية لجميع الخصائص المُنمذجة آنفا، مجتمعة مع بعضها بعضاً لكل محصول؟، وهل تؤثر الخصائص مجتمعة على خريطة الملاءمة النهائية بشكل متساوٍ، على مستوى المحصول الواحد؟.

تنطلق الإجابة على السؤالين الآنفين من حقيقة جغرافية مفادها أن العوامل الجغرافية طبيعية كانت أم بشرية لا تؤثر على أية ظاهرة بشكل متساوٍ، وإن الظاهرة الجغرافية هي ناتج تفاعل مجموعة من العوامل وليس حاصل جمع هذه العوامل، بمعنى آخر إن الظاهرة الجغرافية هي حاصل جمع جملة من العوامل المتفاعلة (الموزونة)، كل عامل له أهميته النسبية كدلالة على حجم تأثيره في هذا التفاعل، وقد تكون هذه الأهمية مختلفة عن العامل الآخر.

وعلى الضفة الأُخرى، فإن ما تمت دراسته من ملاءمة الخصائص الطبيعية والبشرية للمحاصيل الاستراتيجية فرادى، هي من أجل الكشف عن المحددات Limitations التي تحول دون ملاءمة خاصية الأرض على الزراعة، فعلى سبيل المثال إن توطن صنف الملاءمة الضعيفة لخصائص التربة على زراعة محصولي القمح والشعير، هي بالأساس رداءة هذه الخصائص التي تحدد من زراعة ذات المحصولين في الأراضي التي تتوطن فيها.

ومـن أجـل الشـروع فـي نمذجـة الملاءمـة الزراعيـة بمنظورهـا الشـامل لكـل محصـول استراتيجي في هذه الدراسة، لا بد من اتخاذ القرار السليم حول الأهمية النسبية لكل خاصية من الخواص التـي نُمـذجت ملاءمتهـا علـى الزراعـة آنفـا، وهـي سـتدخل كعامـل مـؤثر فـي الملاءمـة المكانية الزراعية الشاملة لكل محصول، ومن ثم سوف يتطلب الأمر دعما للقرار المكاني.

3-2- 5 دعم القرار المكاني في نمذجة الملاءمة على زراعة المحاصيل الاستراتيجية

Spatial Decision Support in the Suitability Modeling of Strategic Cropping

تتطلـب القـرارات المكانيـة المهمـة، كتحديـد الأهميـة النسـبية (أوزان) لمتغيـرات الملاءمـة المكانيـة الزراعيـة للمحاصـيل الاسـتراتيجية، معلومـات وأدوات للمسـاعدة فـي فهـم أولويـات كـل خاصية مؤثرة على مشهد الملاءمة المناط نمذجته خرائطيا، فكما هو معروف لدى الجغرافيين بأن العوامل الجغرافية المؤثرة على ظاهرة ما هي ليست بذات الأهمية، ففي الأحكام التقليدية على الأهمية النسبية لعوامل جغرافية مؤثرة، يتم البت فيها بناء على معرفة الباحث الجغرافي بموضوع دراسته وخبراته المكتسبة، وبذلك فإن أي حكم مبني على خبرات شخصية يعد قرارا غير موثوقاً، على عكس اتخاذ القرار الموثوق الناتج عن اختيار العامل الجغرافي الاكثر تأثيرا من خلال التقييم الرياضي لجميع البدائل المتاحة[1]، لذلك فإن التقنيات التي تساعد صانعي القرار فـي جعل القرارات أكثر موضوعية وثقة من خلال تقييم البدائل، تسمى بتحليل القرار متعدد المعايير Multi Criteria Decision Analysis (MCDA) [2]، فالقرار هنا معني بعملية المفاضلة بين البدائل والخيارات المطروحة واختيار أنسبها ليصار إلى حل مشكلة ما وتحقيق هدف محدد.

إن التطورات التي شهدها مجال دعم القرار المكاني Spatial Decision Support (SDS) علـى نحـو عـام، أدى إلـى الشـروع فـي تحسـينات دراماتيكيـة Dramatic Enhancements لقدرات نظم المعلومات الجغرافية فيما يخص عمليات التحليل؛ إذ أصبحت هذه النظم تعمل جنبا إلى جنب مع تحليل القرار متعدد المعايير، لذلك فقد أسهم هذا الجمـع بـين التقنيتـين فـي رفـع كفـاءة وجـودة المعالجـة المكانيـة [3]، وقـد كـان لتطـوير النمذجـة

(1) Krishnendu Mukherjee, et al., Supplier Selection: An MCDA-Based Approach, springer, Vol. 88, 2017, p. 5.

(2) Randal Greene, et al., GIS-Based Multiple-Criteria Decision Analysis, Journal of Geography Compass, Vol. 5, No. 6, 2011, p. 412.

(3) Aleksandar Rikalovic, et al., GIS Based Multi-Criteria Analysis for Industrial Site Selection, Procedia engineering, Vol. 69, 2014, p.p. 1055-1058.

الخرائطية على يد Tomlin خطوة محورية نحو دمج نظم المعلومات الجغرافية مع الـ MCDA؛ إذ شكل هذا الدمج منهجية عامة لتنظيم المعلومات الجغرافية في أنموذج مكاني يدعى بجبر الخرائط الموزون Weighted Map Algebra[1]، وبذلك أصبح الـ MCDA المستند على نظم المعلومات الجغرافية من أكثر التقنيات المعمول بها في مجال التخطيط والدراسات المكانية، مما أدى إلى زيادة الطلب على الأدوات الداعمة في تنفيذ الـ MCDA داخل بيئة نظم المعلومات الجغرافية خلال العقد الماضي، بغية تشغيله على مستوى النماذج الخرائطية وليس على مستوى البيانات العددية[2].

وتعد عمليات التحليل الهرمية Analytic Hierarchy Process (AHP) إحدى الأساليب المعتمدة في اتخاذ القرارات متعددة المعايير، التي تعتمد على توظيف الرياضيات في عملية اتخاذ القرار الخاص بانتقاء البديل الأمثل من بين مجموعة من البدائل طبقا لمعايير متعددة، إذ اثبتت هذه الطريقة نجاحها وكفاءتها العالية في حل المشكلات المعقدة. وهكذا تعرف الـ AHP بأنها منهجية متعددة المعايير لاتخاذ القرارات التي تمكن المستخدم من التوصل إلى نطاق من الأفضليات مستمد من مجموعة من بدائل[3]. طور هذه الطريقة عالم الرياضيات Tomas Saaty عام 1980، كأداة لدعم القرار متعدد المعايير Multi-Criteria Decision Making (MCDM)[4]. تعمل طريقة الـ AHP في نظم المعلومات الجغرافية على حساب قيمة الأهمية النسبية لكل متغير للشروع بإنتاج خريطة ذات فئات مرتبة على نحو متسلسل، مُعتمدة على قيمة الأهمية النسبية الذي تم تنسيبه إلى المتغيرات الداخلة في نمذجتها[5].

(1) J. Malczewski and C. Rinner, Advances in Geographic Information Science, Springer Science, New York, USA, 2015, p.59.

(2) Khalid Ahmed Ali, Multi-Criteria Decision Analysis for Primary School Site Selection in Al-Mahaweel district Using GIS Technique, journal of kerbala university, Vol. 14, No.1, 2018, p. 675.

(3) M. Abedini, et al., Landslide susceptibility mapping in Bijar city, Kurdistan Province, Iran: a comparative study by logistic regression and AHP models, Environmental Earth Sciences, Vol. 76, No. 8. 2017, p.14.

(4) Asmelash Abay, et al., GIS-based Landslide Susceptibility Evaluation Using Analytical Hierarchy Process (AHP) Approach: The Case of Tarmaber District, Ethiopia, Momona Ethiopian Journal of Science, Vol. 11, No. 1, 2019, p. 17.

(5) Kang-Tsung Chang, op cit., p.397.

ويتضمن دعم القرار متعدد المعايير لنمذجة الملاءمة الزراعية للمحاصيل الاستراتيجية باستخدام تقنية الـ AHP في نظم المعلومات الجغرافية مجموعة من الخطوات، على النحو الآتي[1][2]:-

1- تعريف الهدف أو المشكلة.

2- تجهيز المعايير على شكل نماذج خرائطية أو طبقات Layers، وإعادة تقييسها.

3- تحديد البدائل.

4- وزن المعايير.

5- جبر الخرائط للمعايير الموزونة.

6- استخلاص النتائج.

3-2-5-1 تعريف الهدف أو المشكلة Define the Target or Problem

إن المشكلة المناط معالجتها في هذا المضمار هي حول تحديد الأهمية النسبية (الوزن النسبي) لكل أنموذج ملاءمة يخص إحدى الخصائص المبحوثة آنفا (الخصاص المناخية، التربة، انحدار سطح الأرض، سهولة الوصول والأيدي العاملة)، حتى يتم التعبير عن التفاعل المكاني لملاءمة الخصائص مع بعضها بعضاً في مشهد ملاءمة موحد لكل محصول، فضلا عن تجنب الحكم الشخصي في هذا المجال.

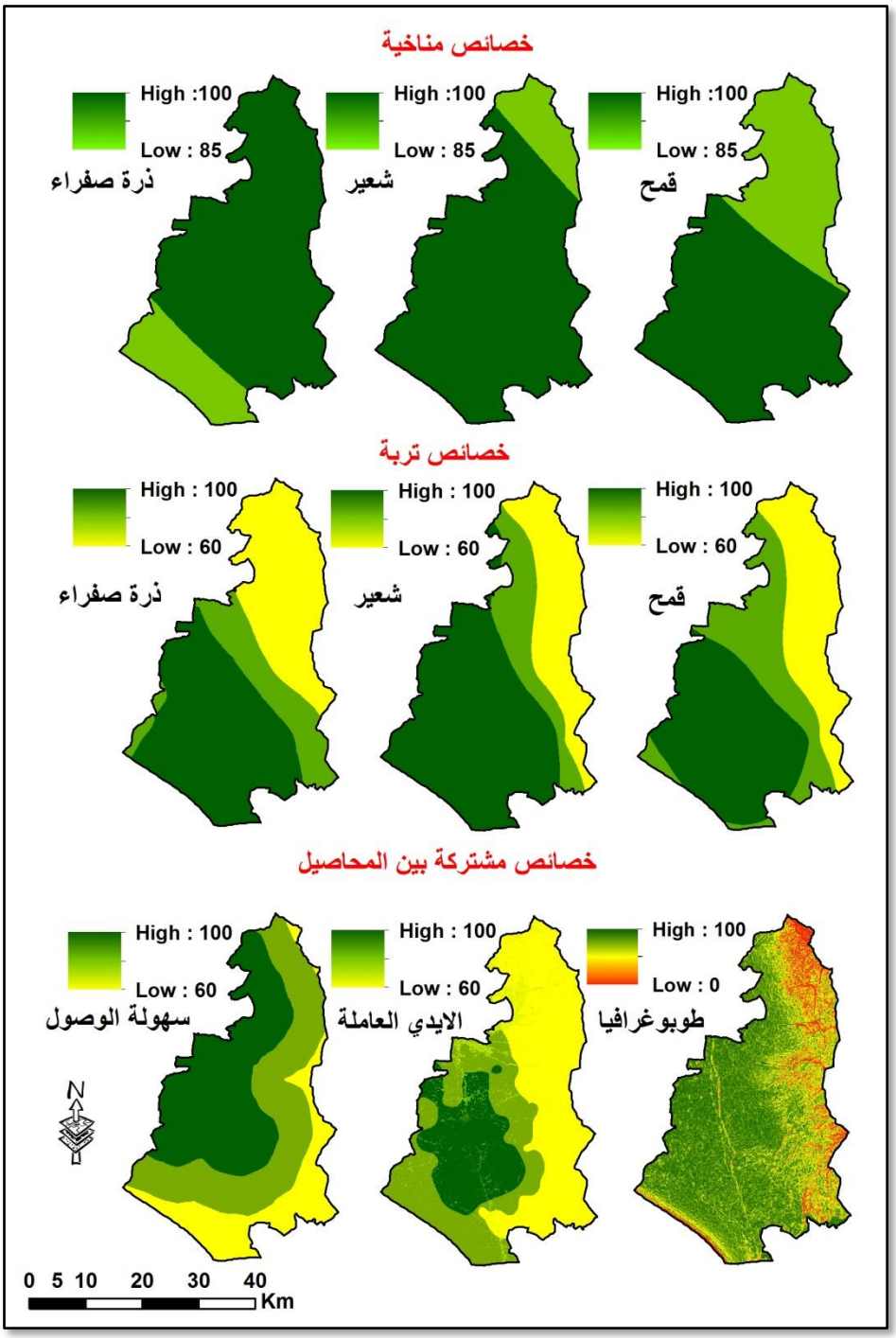
3-2-5-2 تجهيز المعايير Criteria Processing

تتضمن هذه المرحلة تهيئة المعايير الداخلة في عمليات التحليل الهرمية على شكل نماذج خرائطية يتم تقييسها جميعا بمقياس نسبي، حتى يتسنى تفسير نتيجة المضاهاة الطبقية الموزونة لاحقا Weighted Overlay، في ضوء التصنيف الذي وضعه C.Sys وآخرون حول الملاءمة المكانية الزراعية، ينظر الجدول (9) في صفحة 147، والخريطة (45).

(1) Bassam Qashqo, GIS-Based Multi-Criteria Decision Analysis for identifying water distribution points: a case study in Lapilang & Suspa regions, Nepal, Non Publishing Master of Science, MSc, University of Salzburg, Vienna, 2018, p. 4.

(2) Siobhan Ryan and Ellis Nimick, Multi-Criteria Decision Analysis and GIS, 2019, Internet link:
https://storymaps.arcgis.com/stories/b60b7399f6944bca86d1be6616c178cf

الخريطة (45): تقييس المعايير (الخصائص) بالمقياس النسبي وتجهيزها لـ AHP



المصدر: عمل الباحث، اعتمادا على برنامج ArcGIS Desktop 10.6.1 والجدول (9) والخرائط (33)، (34)، (36)، (39)، (40)، (43) و(44).

3-2-5-3 تحديد البدائل Identifying Alternatives

يتم تحديد البدائل اعتمادا على المقياس الذي وضعه Saaty، الذي يتضمن العلاقة بين مجموعة من المعايير مع مجموعة من البدائل في شكل هرمي؛ إذ إن كل معيار (أنموذج خرائطي لخاصية ما) له مجموعة بدائل قابلة للمقارنة الزوجية بينه وبين المعيار الآخر، وتقاس

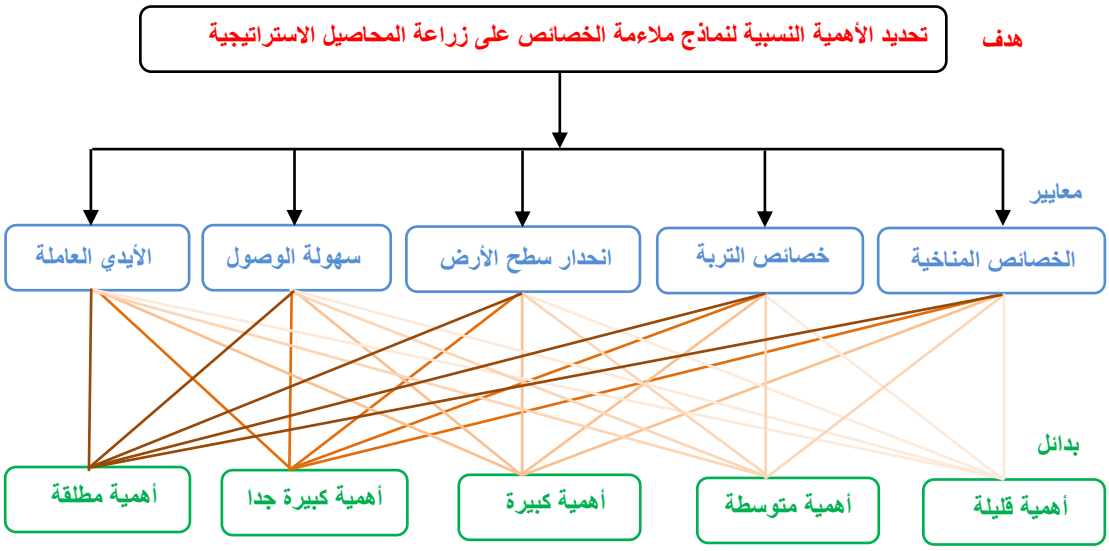
هذه البدائل بمقياس خاص وضعه Saaty، يتراوح من 1 إلى 9 [1]. تبعا لذلك، تم تحديد 5 بدائل لكل متغير استنادا على طريقة الAHP، ينظر الجدول (16) والشكل (35).

الجدول (16): المقياس الترتيبي للأهمية بطريقة AHP

درجة الأهمية	البدائل
1	أهمية قليلة
3	أهمية متوسطة
5	أهمية كبيرة
7	أهمية كبيرة جدا
9	أهمية مطلقة
الدرجات (2,4,6,8)	درجات بينية بين الاحكام

المصدر: Thomas L. Saaty, Op cit., p. 86.

الشكل (35): البنية الهرمية للخصائص الداخلة في ملاءمة الأرض على زراعة المحاصيل الاستراتيجية في قضاء سهل أربيل وفقا لطريقة AHP



المصدر: عمل الباحث، اعتمادا على الجدول (16).

(1) Thomas L. Saaty, Decision making with the Analytic Hierarchy Process, International journal of services, Vol. 1, No. 1, 2008, p. 85.

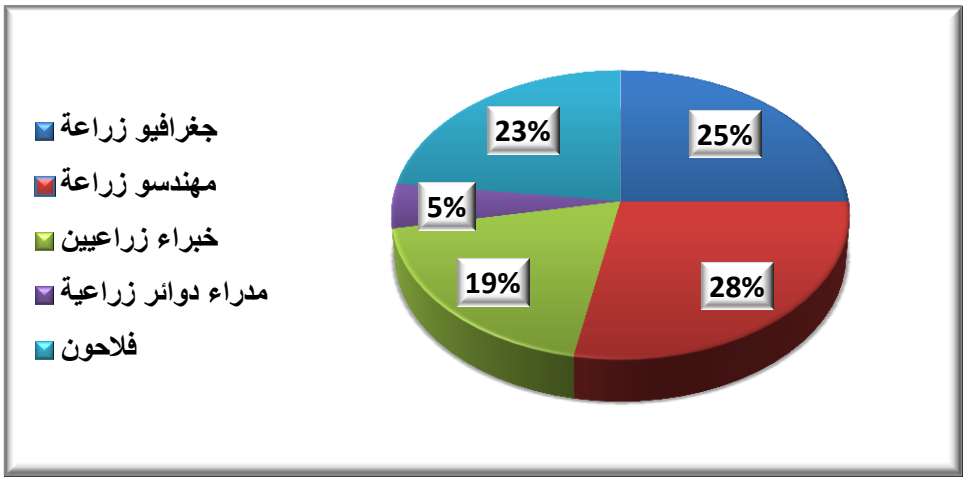
3-2-5-4 وزن المعايير Criteria Weight

تعد عملية وزن المعايير من أكثر المراحل أهمية لدعم القرار المكاني متعدد المعايير؛ إذ تتضمن ثلاث مراحل رئيسة، ألا وهي: جمع آراء المحكمين حول مقدار أهمية كل معيار، وبناء مصفوفة المقارنة الزوجية للبدائل، وانتهاء بقياس مستوى ثبات الأحكام الصادرة عن المعايير.

3-2-5-4-1 الاستبيان Questionnaire

تم إعداد استبانة لغرض الحصول على آراء المحكمين حول اختيار البديل المناسب لكل معيار، وقد وزعت الاستبانة على عينة قصدية Purposive Sample مكونة من 100 مستبين من داخل البلد وخارجه (استبانة الكترونية)، ومعنية بفئة محددة من المجتمع الذين لديهم خبرات حول دعم اختيار البديل المناسب لكل معيار[1]، وقد روعِيَ ان تكون مكونات العينة عند عملية جمع الأحكام متوازنة قدر الإمكان عند الشروع بعملية الاستبيان، ينظر الشكل (36) والملحق (13).

الشكل (36): مكونات العينة القصدية الداخلة في الـ AHP لنمذجة الملاءمة الزراعية للمحاصيل الاستراتيجية في قضاء سهل أربيل



المصدر: عمل الباحث، اعتمادا على الملحق (13).

فجاءت نتائج الاستبيان متماثلة فيما يخص ملاءمة الأرض على زراعة محصولي القمح والشعير؛ إذ حكم 91% من العينة على أن الخصائص المناخية هي ضمن الأهمية المطلقة، في حين إن 89% منها حكم على ان خصائص التربة هي ضمن الأهمية الكبيرة جدا، أما انحدار سطح الأرض فقد حُكم عليها ضمن الأهمية الكبيرة بنسبة 88% من مجموع أفراد العينة، بيد أن سهولة الوصول قد حصلت حكما على أنها ضمن الأهمية المتوسطة بنسبة 89%، وأخيرا حُكم

(1) سامي عزيز عباس العتبي واياد عاشور الطائي، مصدر سابق، ص 47.

85% من العينة القصدية على الأيدي العاملة بأنها ذات أهمية قليلة، ينظر الجدول (17). ولحساب المتوسط الموزون لاستجابات العينة حول جميع البدائل للمعيار الواحد، تم استخدام المعادلة الآتية[1]:-

$$x^{-} = \frac{\sum x_i w_i}{\sum w_i}$$

إذ إن: x^{-} = المتوسط الموزون لاستجابات العينة حول جميع البدائل للمعيار الواحد، x_i= عدد الإجابات الخاصة بالبديل، w_i = القيمة الرقمية لذات البديل، $\sum w_i$ = حجم العينة.

الجدول (17): نتائج الاستبيان حول أهمية الخصائص المختلفة لملاءمة الأرض على زراعة القمح والشعير في قضاء سهل أربيل

مقياس الأهمية	قيمة AHP	عدد الاستجابات				
		الخصائص المناخية	خصائص التربة	خصائص الطوبوغرافيا	سهولة الوصول	الأيدي العاملة
قليلة	1	0	0	0	2	85
متوسطة	3	0	0	0	89	14
كبيرة	5	0	9	88	9	1
كبيرة جدا	7	9	89	12	0	0
مطلقة	9	91	2	0	0	0
المجموع		100	100	100	100	100
المتوسط الموزون لاستجابات العينة على قيمة الأهمية		8.82	6.86	5.24	3.14	1.32

المصدر: عمل الباحث، اعتمادا على الجدول (16) والملحق (13).

أما استجابات العينة حول ملاءمة الأرض على زراعة محصول الذرة الصفراء، فلم تختلف كثيرا عن محصولي القمح والشعير؛ إذ استجاب 92% من العينة على أن خصائص الحرارة ومياه الري هي ذات أهمية مطلقة، وإن 88% من العينة قد حكم على خصائص التربة بأهمية كبيرة جدا، في حين أن 88% منها أيضاً حكم على خصائص الطوبوغرافيا بأنها ذات أهمية كبيرة، أما سهولة الوصول والأيدي العاملة فقد حُكم عليها بأنها ذات أهمية متوسطة، وبذلك

(1) سامي عزيز عباس العتبي واياد عاشور الطائي، مصدر سابق، ص 93.

اختلف الحكم بين المُستبينين حول أهمية الأيدي العاملة بالنسبة لزراعة القمح والشعير من جانب والذرة الصفراء من جانب آخر التي جاءت هنا مرتفعة مرتبة من الأهمية لصالح زراعة الذرة الصفراء، ويعزى ذلك إلى أن زراعة الذرة الصفراء تتطلب أيدي عاملة أكثر، وخاصة في أثناء الحصاد والعناية بالري. ينظر الجدول (18).

الجدول (18): نتائج الاستبيان حول أهمية الخصائص المختلفة لملاءمة الأرض على زراعة الذرة الصفراء في قضاء سهل أربيل

مقياس الأهمية	قيمة AHP	عدد الاستجابات				
		خصائص الحرارة والري	خصائص التربة	خصائص الطوبوغرافيا	سهولة الوصول	الأيدي العاملة
قليلة	1	0	0	0	2	14
متوسطة	3	0	1	0	89	85
كبيرة	5	0	9	88	9	1
كبيرة جدا	7	8	88	12	0	0
مطلقة	9	92	2	0	0	0
المجموع		100	100	100	100	100
المتوسط الموزون لاستجابات العينة على قيمة الأهمية		8.84	6.82	5.24	3.14	2.74

المصدر: عمل الباحث، اعتمادا على الجدول (16) والملحق (13).

3-2- 5-4-2 بناء مصفوفة المقارنة الزوجية

Building the Matrix of Marital comparison

تختص هذه المرحلة بتحويل الاحكام (البدائل) التي أقرها المُستبينين إلى أوزان تدخل في عملية جبر الخرائط، ذلك عن طريق بناء مصفوفة المقارنة الزوجية لكل معيارين بدلالة بديليهما. بمعنى آخر، إن كل معيار قد حصل على درجة من الأهمية محكوم عليها من لدن الخبراء المستبينين، وإن المقارنة الزوجية هنا معنية بتسجيل الفرق بين قيمة الأهمية الكبرى لمعيار ما وقيمة الأهمية الصغرى لمعيار آخر، فعلى سبيل المثال: إذا كانت قيمة المعيار الأول نحو 9 درجات بمقياس AHP وكانت قيمة المعيار الثاني نحو 7 درجات بذات المقياس، فان المعيار الأول أهم من المعيار الثاني بقيمة 2 بمقياس AHP عند مقارنة المعيار الأول مع الثاني، وعلى الجانب الآخر، عند مقارنة المعيار الثاني مع الأول سوف يكون الفرق بينما مقلوب قيمة الأهمية مساويا بذلك 1/2.

وقبل الشروع ببناء مصفوفة المقارنة الزوجية لابد من تعديل المتوسط الموزون لاستجابات العينة على قيمة الأهمية النسبية لكل معيار؛ إذ إن الغاية من استخدام المتوسط الموزون هو لإشراك جميع البدائل التي تم الحصول عليها بدلالة قيمة البديل المعدة وفقا لمقياس AHP، وقد تضمنت عملية التعديل تصحيح القيم الحقيقة Flout للمتوسط الموزون لاستجابات العينة إلى أقرب قيمة صحيحة Integer من مقياس AHP، ذلك لتسهيل عملية المقارنة الزوجية في المصفوفة. ينظر الجدول (19).

الجدول (19): تقريب المتوسط الموزون لاستجابات العينة إلى أقرب قيمة في مقياس AHP

القمح والشعير			الذرة الصفراء		
المعايير	**المتوسط الموزون لاستجابات العينة على قيمة الأهمية**	**التصحيح إلى مقياس AHP**	**المعايير**	**المتوسط الموزون لاستجابات العينة على قيمة الأهمية**	**التصحيح إلى مقياس AHP**
خصائص مناخية	8.82	9	خصائص الحرارة والري	8.84	9
خصائص تربة	6.86	7	خصائص تربة	6.82	7
خصائص طوبوغرافية	5.24	5	خصائص طوبوغرافية	5.24	5
سهولة الوصول	3.14	3	سهولة الوصول	3.14	3
الأيدي العاملة	1.32	1	الأيدي العاملة	2.74	3

المصدر: عمل الباحث، اعتمادا على الجدول (16)، (17) و(18).

وقد اعتمد على الامتداد GIS Decision Tools Extension وهو برنامج فرعي خاص بدعم القرار المكاني يضاف إلى برنامج ArcGIS Desktop[*]، يستخدم في بناء مصفوفة المقارنة الزوجية للبدائل المرتبطة بالمعايير، ذلك للشروع في استنتاج الأهمية النسبية لكل معيار داخل المصفوفة مع استخراج مؤشر مستوى ثبات الاحكام أو ما يسمى بنسبة التناسق.

(*) تم الحصول على الامتداد GIS Decision Tools من موقع مؤسسة ESRI على الرابط الآتي:
www.esri.com

إذ يقصد بنسبة التناسق Consistency Ratio بأنها النسبة الناتجة عن قسمة مؤشر التناسق Consistency index على مؤشر العشوائية Random Index وفقا للمعادلة الآتية[1]:-

$$\mathrm{CR} = \frac{CI}{RI}$$

إذ إن:

CR = نسبة التناسق، CI هو مؤشر التناسق الذي يحسب بدوره طبقا للمعادلة الآتية:-

$$\mathrm{CI} = \frac{\lambda \max - n}{n - 1}$$

إذ إن:

CI = مؤشر التناسق، $\lambda\ max$ = الجذر الكامن Eigen value لمصفوفة المقارنات الثنائية، n = عدد المعايير محل المقارنة.

اما مؤشر العشوائية فيمكن استخراجه من المعادلة الآتية:-

$$\mathrm{RI} = \frac{1.98(m-2)}{m}$$

إذ إن:

RI = مؤشر العشوائية، m = حجم المصفوفة

إن الغاية من استخراج نسبة التناسق هي معرفة مدى ثبات الأحكام التي جمعت بالاستبانة من الأفراد، والتأكد من عدم التناقض بين الأحكام، إذ لابد من قياس درجة الثبات في حساب أولويات البدائل لكل المعايير، من أجل الحصول على نتائج مقبولة وواقعية، من دون ذلك يجب إعادة الاستبانة مرة ثانية، وإعادة الحصول على احكام جديدة أكثر ثباتا وتناسقا.

تبعا لذلك فقد وضع Saaty نسبة تناسق قيمتها 0.1 (10%) كمحك للحكم على مستوى ثبات الاحكام في المصفوفة، فكلما كانت قيمة التناسق أقل من 0.1 دل ذلك على اقتراب الأحكام في المصفوفة من الثبات وعدم التناقض، أما عند عبور نسبة التناسق قيمة الـ 0.1، فسوف ترفض الأحكام وتعاد مرة ثانية من البداية عند مرحلة الاستبيان[2].

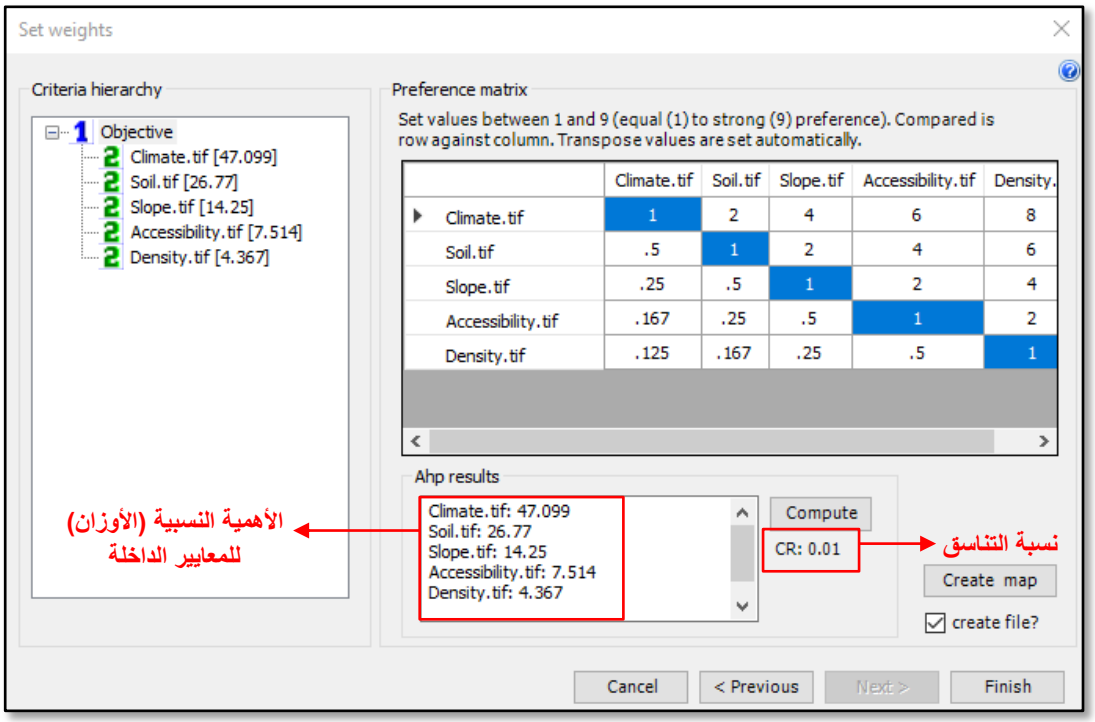
---

(1) Krishnendu Mukherjee, et al., Op.cit., p. 6.

(2) Fu Yang, et al., Integrated Geographic Information Systems–Based Suitability Evaluation of Urban Land Expansion: A Combination of Analytic Hierarchy Process and Grey Relational Analysis, Environmental Engineering Science, Vol. 26, No. 6, 2009, p. 1028.

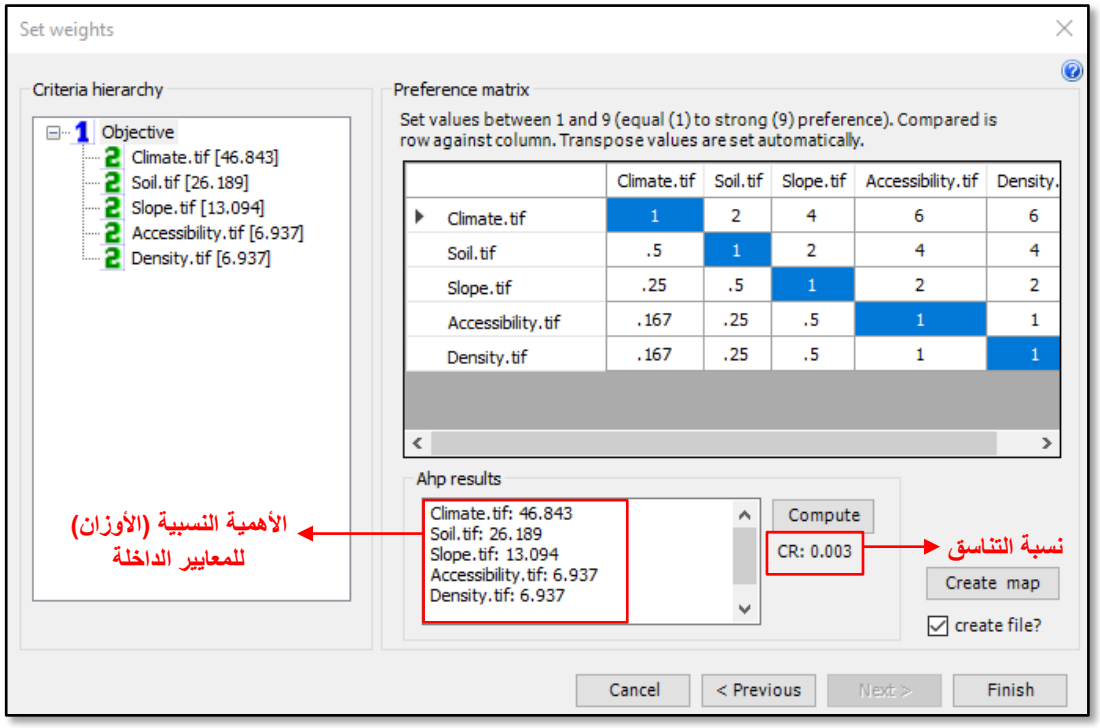
وعند بناء مصفوفة المقارنة الزوجية في البرنامج الفرعي GIS Decision Tools لبرنامج ArcGIS Desktop، تم الحصول على الأهمية النسبية (الأوزان) للمعايير الداخلة في عملية التحليل الهرمية، مع نسبة تناسق عالية جدا، مقدارها 0.01 بالنسبة لملاءمة الأرض على زراعة القمح والشعير، ونحو 0.003 بالنسبة لملاءمة الأرض على زراعة الذرة الصفراء، ينظر الشكلان (37)،(38) والجدول (20)، والملحقان (14-1) و (14-2).

الشكل (37): مصفوفة المقارنة الزوجية في الامتداد GIS Decision Tools لملاءمة الأرض على زراعة القمح والشعير في قضاء سهل أربيل



المصدر: عمل الباحث، اعتمادا على الامتداد GIS Decision Tools في برنامج ArcGIS Desktop 10.6.1، والجدول (19).

الشكل (38): مصفوفة المقارنة الزوجية في الامتداد GIS Decision Tools لملاءمة الأرض على زراعة الذرة الصفراء في قضاء سهل أربيل



المصدر: عمل الباحث، اعتمادا على الامتداد GIS Decision Tools في برنامج ArcGIS Desktop 10.6.1، والجدول (19).

الجدول (20): الأوزان المطلقة والأهمية النسبية للمعايير الداخلة في الـ AHP لملاءمة الأرض على زراعة المحاصيل الاستراتيجية في قضاء سهل أربيل

قمح وشعير			ذرة صفراء		
المعايير	القيمة الوزنية Σwi		المعايير	القيمة الوزنية Σwi	
	الوزن المطلق Score	الأهمية النسبية %		الوزن المطلق Score	الأهمية النسبية %
الخصائص المناخية	0.47099	47.099	خصائص الحرارة والري	0.46843	46.843
خصائص التربة	0.26770	26.770	خصائص التربة	0.26189	26.189
خصائص الطوبوغرافيا	0.14250	14.250	خصائص الطوبوغرافيا	0.13094	13.094
سهولة الوصول	0.07514	7.514	سهولة الوصول	0.06937	6.937
الأيدي العاملة	0.04367	4.367	الأيدي العاملة	0.06937	6.937
المجموع	1	100	المجموع	1	100

المصدر: عمل الباحث، اعتمادا على الامتداد GIS Decision Tools في برنامج ArcGIS Desktop 10.6.1و الجدول (19).

3-2- 6 تطوير أدوات لنمذجة ملاءمة الأرض على زراعة المحاصيل الاستراتيجية

Develop Tools for Modeling Land Suitability for Strategic Crop Cultivation

إن عملية تطوير الأدوات يجب أن تحقق مسألتين رئيستين في نظم المعلومات الجغرافية، تتضمن الأولى في ضرورة تحقيق جدوى تقنية، أي تحقيق التسهيلات التطبيقية واختصارها بأبسط صورة مع مزيد من الأتمتة (العمل الآلي) واقل تدخل ممكن من لدن المستخدم في أثناء عمل الأداة، والثانية في ضرورة تحقيق جدوى مكانية، من حيث جودة النتائج وموضوعيتها.

وبعد الشروع في دعم القرار المكاني والحصول على الأوزان والأهمية النسبية لكل معيار، عُمد إلى تطوير أدوات تحتوي على الأوزان المُستحصلة من الـ AHP، وتقوم بجبر الخرائط الموزون آليا، من أجل اختصار الإجراءات السابقة حول دعم القرار المكاني (جدوى تقنية) في حال تم التعامل مع متغيرات مشابهة في نمذجة ملاءمة الأرض على زراعة المحاصيل الاستراتيجية المبحوثة آنفا، ومن ثم لن يتطلب الأمر مرة ثانية القيام بإجراءات دعم القرار المكاني. وعلى الجانب الآخر، سوف تكون نتائج عمل الأدوات المطورة مدعومة بقرارات مكانية (جدوى مكانية) مسبقة، نتيجة لاحتواء الأدوات المطورة على الأوزان الداخلة في بنيتها.

تم تسمية الأدوات المطورة استنادا إلى العمل الوظيفي الذي طورت الأدوات من أجله، فكانت الأداة الأولى تحت مسمى Wheat and Barley Crops Suitability، وهي تقوم بنمذجة ملاءمة الأرض على زراعة محصولي القمح والشعير، ذلك استنادا إلى مجموعة من المدخلات التي يجب أن يتم نمذجتها أولا، سواء كان ذلك باستخدام معادلات الانحدار الخطي التي اشتُقت لنمذجة الخصائص الطبيعية، أو باستخدام الإجراءات التي وضِعت لنمذجة الخصائص البشرية، ومن ثم يمكن إدخال النماذج آنفة الذكر كمدخلات إلى الأداة المطورة.

بدأ تطوير الأداة ببناء الأنموذج المفاهيمي باستخدام التطبيق Model Builder الملحق ببرنامج ArcGIS Desktop 10.6.1، ثم حول الأنموذج إلى أداة بعد تحديد ماهية المُعاملات الرئيسة Parameters التي يجب أن تبقى بين ايدي المستخدم بحيث يستطيع التحكم بالنمذجة الخرائطية لملاءمة الأرض على زراعة القمح والشعير على نحو شامل، وبذلك احتوت الأداة Wheat and Barley Crops Suitability على المُعاملات الآتية:-

1- المُعامل Input Climate raster، ومنه يتم إدخال الأنموذج الخرائطي للخصائص المناخية بالصيغة الخلوية.

2- المُعامل Input Soil raster، ومنه يتم إدخال الأنموذج الخرائطي لخصائص التربة بالصيغة الخلوية.

3- المُعامل Input Slope raster، ومنه يتم إدخال الأنموذج الخرائطي لانحدار سطح الأرض (الخصائص الطوبوغرافية) بالصيغة الخلوية.

4- المُعامل Input Accessibility raster، ومنه يتم إدخال الأنموذج الخرائطي لسهولة الوصول بالصيغة الخلوية.

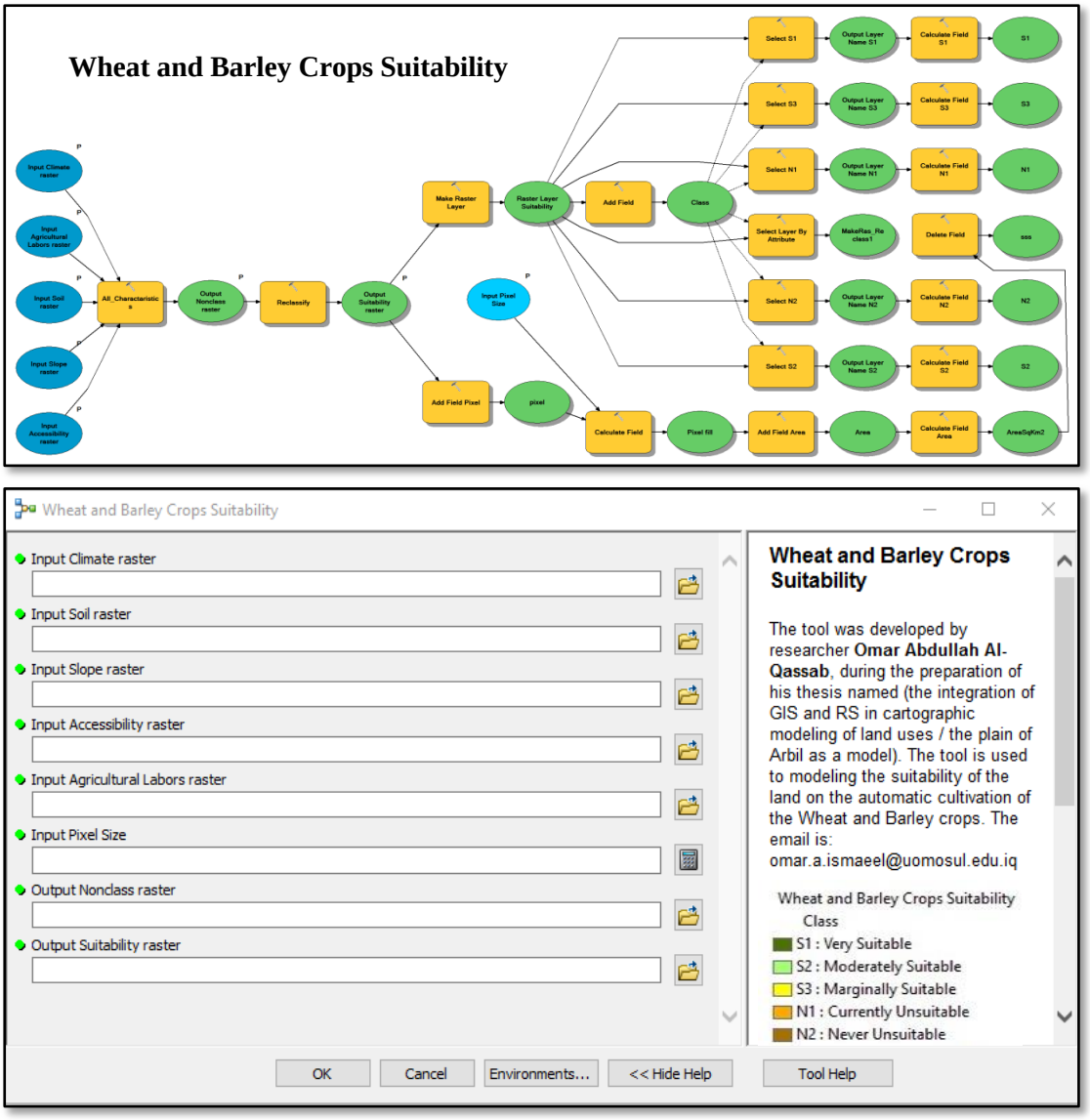
5- المُعامل Input Agricultural Labors raster، ومنه يتم إدخال الأنموذج الخرائطي للأيدي العاملة الزراعية بالصيغة الخلوية.

6- المُعامل Input Pixel Size، ومنه يتم إدخال حجم الوحدة الصورية Pixel على شكل رقم.

7- المُعامل Output Nonclass raster، ومنه يتم حفظ مخرجات الأداة في ذاكرة الحاسوب على شكل ملف خلوي غير مصنف، وهو يفيد كطبقة معلومات تفيد المستخدم في حال الاعتماد عليها عند إجراء تطبيقات لاحقة.

8- المُعامل Output Suitability raster، ومنه يتم حفظ المخرجات في ذاكرة الحاسوب على شكل أنموذج خرائطي، مصنف إلى مستويات ملاءمة الأرض على زراعة محصولي القمح والشعير، وذلك وفقا للمستويات التصنيفية التي وضعتها الـ FAO، ومحملا على نحو آلي بجدول بيانات وصفية يحتوي على أسماء الأصناف ومساحة كل صنف بالكم^2. ينظر الشكل (39) والملحقان (5-3) و(16).

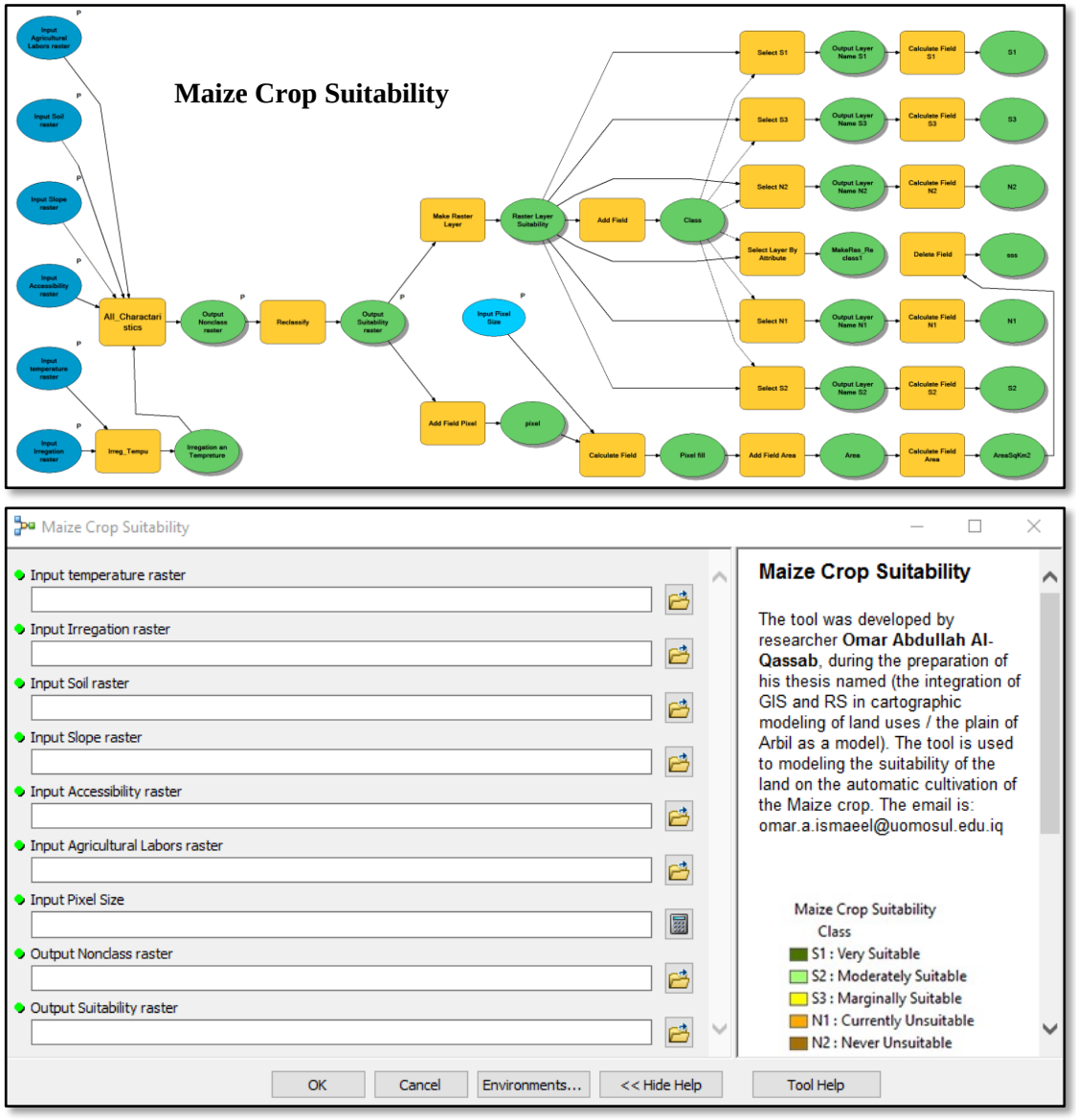
الشكل (39): الأنموذج المفاهيمي والأداة المطورة الخاصة بنمذجة ملاءمة الأرض على الزراعة الديمية لمحصولي القمح والشعير Wheat and Barley Crops Suitability في برنامج ArcGIS desktop 10.6.1



المصدر: عمل الباحث، اعتمادا على برنامج ArcGIS Desktop 10.6.1 والملحقين (5-3) و(16).

أما الأداة المطورة الخاصة بملاءمة الأرض على زراعة محصول الذرة الصفراء، فهي تقوم بنفس وظيفة الأداة السابقة، وقد سميت بـ Maize Crop Suitability، وبذلك فهي تحتوي على ذات مُعاملات الأداة السابقة، باستثناء أن المُعامل Input Climate raster تم استبداله هنا بمُعاملين، أحدهما تحت مسمى Input temperature raster، ومنه يتم إدخال الأنموذج الخرائطي لدرجة الحرارة بالصيغة الخلوية، والآخر تحت مسمى Input Irrigation raster، ومنه يتم إدخال الأنموذج الخرائطي لمياه الري بالصيغة الخلوية، على اعتبار أن محصول الذرة الصفراء يزرع صيفا (العروة الخريفية)؛ إذ لا يعتمد على مياه الأمطار كالقمح والشعير. ينظر الشكل (40) والملحقان (5-4) و(16).

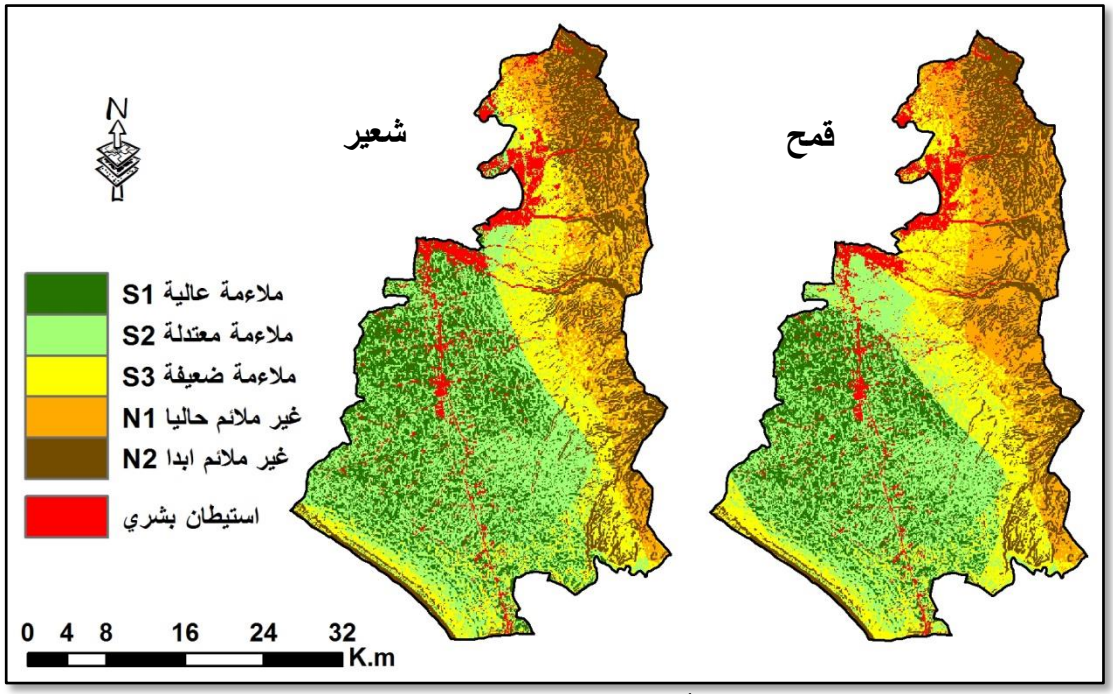
الشكل (40): الأنموذج المفاهيمي والأداة المطورة الخاصة بنمذجة ملاءمة الأرض على زراعة محصول الذرة الصفراء Maize Crop Suitability في برنامج ArcGIS desktop 10.6.1



المصدر: عمل الباحث، اعتمادا على برنامج ArcGIS Desktop 10.6.1 والملحقين (5-4) و(16).

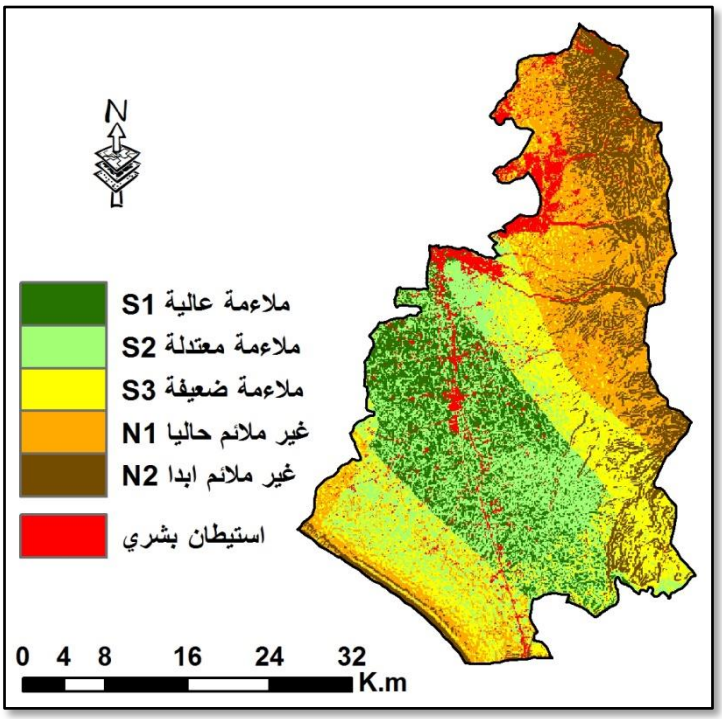
وبناء على ما سبق تم تجريب الأدوات المطورة على الخصاص المُنمذجة خلويا Raster في هذه الدراسة ومقارنتها مع الإجراءات النصف آلية واتت بنتائج متطابقة، وبهذا أنتجت الأدوات نماذج خرائطية إرشادية لملاءمة الأرض على زراعة المحاصيل الاستراتيجية المبحوثة آنفا؛ إذ جسدت هذه الخرائط التفاعل المكاني بين مجموعة من الخصائص الطبيعية والبشرية مدعومة بقرارات مكانية، ينظر الخريطتان (46)، (47) والجدول (21).

الخريطة (46): ملاءمة الأرض على الزراعة الديمية لمحصولي القمح والشعير في قضاء سهل أربيل لعام 2019 وفقا لتصنيف الـ FAO



المصدر: عمل الباحث، اعتمادا على الأداة Wheat and Barley Crops Suitability المطورة في برنامج ArcGIS Desktop 10.6.1.

الخريطة (47): ملاءمة الأرض على الزراعة الإروائية لمحصول الذرة الصفراء في قضاء سهل أربيل لعام 2019 وفقا لتصنيف الـ FAO



المصدر: عمل الباحث، اعتمادا على الأداة Maize Crop Suitability المطورة في برنامج ArcGIS Desktop 10.6.1.

الجدول (21): مساحة أصناف ملاءمة الأرض على زراعة المحاصيل الاستراتيجية في قضاء سهل أربيل

مستويات الملاءمة	قمح		شعير		ذرة صفراء	
	المساحة بالكم^2	نسبة المساحة %	المساحة بالكم^2	نسبة المساحة %	المساحة بالكم^2	نسبة المساحة %
ملاءمة عالية	214.20	16.41	261.56	20.04	169.10	12.95
ملاءمة معتدلة	351.54	26.93	387.59	29.69	315.60	24.18
ملاءمة ضعيفة	232.14	17.78	219.20	16.79	247.71	18.98
غير ملائمة حاليا	208.55	15.98	138.08	10.58	274.03	20.99
غير ملائمة ابدا	201.47	15.43	201.47	15.43	201.46	15.43
استيطان بشري	97.40	7.46	97.40	7.46	97.40	7.46
المجموع	1305.3	100	1305.3	100	1305.3	100

المصدر: عمل الباحث، اعتمادا على الخريطتين (46) و(47).

أفصحت النمذجة الخرائطية لملاءمة الأرض على زراعة المحاصيل الاستراتيجية أن قلب القضاء هو ذات أرض خصبة وملائمة لزراعة المحاصيل الاستراتيجية. وعلى الرغم من ذلك، فهناك تباين في مساحة مستويات الملاءمة بين المحاصيل في قضاء سهل أربيل كما يلاحظ في الجدول (21)، إذ يبدو أن هناك تفوقا لمحصول الشعير من حيث نسبة إشغال مساحة ملاءمة الأرض على زراعته البالغة 20.04% من مجموع مساحة القضاء، مقابل 16.41% و12.95% لمحصولي القمح والذرة الصفراء على التوالي بالنسبة لصنف الملاءمة العالية S1، أما صنف الملاءمة المعتدلة، فيلاحظ توطنه بين صنف الملاءمة العالية وعلى ظهيريه الشمالي والجنوبي، وقد تفوق الشعير من حيث ارتفاع نسبة مساحة هذا الصنف البالغة 29.69% مقارنة بالقمح والذرة الصفراء ذات النسب 26.93% و24.18% على التوالي، أما صنف الملاءمة الضعيفة، فقد جاءت النسبة الأكبر من مساحتها لصالح محصول الذرة الصفراء البالغة 18.98% يتبعها القمح ثم الشعير ذات النسب 17.78% و16.79% على التوالي، بيد أن صنف غير ملائمة حاليا N1 فقد استقر في الجزء الشرقي من القضاء بالنسبة لزراعة محصولي القمح والشعير، وفي الجزء الشمالي والشمالي الشرقي مع توطنه في الجزء الجنوبي من القضاء على شكل شريط متاخم للحدود الجنوبية الغربية من القضاء، وقد تفوق محصول الذرة الصفراء على نظيريه القمح والشعير من حيث المساحة؛ إذ شكلت مساحة صنف الـ N1 نحو 20.99% و15.98% و10.58% لمحاصيل الذرة الصفراء والقمح والشعير على التوالي، وأخيرا جاء

صنف غير ملاءمة أبدا N2 متماثلا في زراعة المحاصيل الثلاثة؛ إذ شكل نحو 15.43% من مجموع مساحة القضاء.

إن الوصف أعلاه جاء من ثنايا الخرائط التي انتجتها الأدوات المطورة في ضوء دعم القرار المكاني الذي تمخض عنه اختلاف أوزان المتغيرات الداخلة في النمذجة الخرائطية للملاءمة، وقد ظهر جليا تأثير ملاءمة التربة والطوبوغرافية على الخرائط النهائية لملاءمة الأرض على زراعة المحاصيل الاستراتيجية المبحوثة آنفا (الخريطتين 46 و47)، إذ لم يظهر اثر المناخ على الأنموذج الخرائطي للملاءمة على الرغم من امتلاكه أعلى أهمية نسبية نحو 47.099% بالنسبة للقمح والشعير و46.843% بالنسبة للذرة الصفراء، ويعزى ذلك إلى أن الخصائص المناخية ذات ملاءمة تتراوح بين عالية ومعتدلة، وأن الصنف المعتدل لملاءمة الخصائص المناخية تفاعل مع أصناف ضعيفة لملاءمة الخصائص الأُخرى كالتربة وانحدار سطح الأرض فضلا عن الأيدي العاملة في الجزء الشمالي الشرقي من القضاء، لذلك لم يتضح اثره كثيرا على التبيان المكاني في مستوى ملاءمة الأرض على زراعة محصولي القمح والشعير، أما ملاءمة الأرض على زراعة الذرة الصفراء، فقد اثر صنف الملاءمة المعتدلة للمناخ على المشهد النهائي لها؛ إذ لم يمتد صنف الملاءمة العالية إلى جنوب القضاء كما في القمح والشعير بسبب توطن صنف الملاءمة المعتدلة للمناخ مع أهمية نسبية كبيرة جدا، وكذلك بالنسبة للمتغيرات البشرية التي لم يظهر أثرها بشكل كبير في نمذجة خرائط الملاءمة بسبب انخفاض الأهمية النسبية لها، في حين إن احتواء خصائص التربة على صنف الملاءمة الضعيفة مع أهمية نسبية عالية بلغت نحو 26.770% بالنسبة للقمح والشعير 26.189% بالنسبة للذرة الصفراء من جانب، واحتواء خصائص الطوبوغرافيا على صنف غير ملاءمة أبدا N2 مع أهمية نسبية تأتي بالمرتبة الأدنى من خصائص التربة والاعلى من الخصائص البشرية نحو 14.250% بالنسبة للقمح والشعير و13.094% بالنسبة للذرة الصفراء، جعلت الخريطة النهائية لملاءمة الأرض على زراعة المحاصيل المعنية تحتوي على صنف غير ملاءمة حاليا N1 بسبب عمليات الجمع الموزونة (المضروبة) بالأوزان المستحصلة من دعم القرار المكاني، وهذا ما يبرر أيضاً تماثل صنف الـ N2 في المحاصيل الثلاثة بسبب احتواء هذا الجزء من الأرض على قيمة 0 من ملاءمة الطوبوغرافية على زراعة المحاصيل الاستراتيجية، وأن أية قيمة مهما كانت عالية تضرب في 0 سيكون الناتج 0. لذلك تعد خصائص التربة وانحدار سطح الأرض العوامل الأكثر تأثيرا في رسم خرائط ملاءمة الأرض على زراعة المحاصيل الاستراتيجية في قضاء سهل أربيل.

ومن الجدير بالذكر، إن نمذجة القابلية والملاءمة في هذه الفصل وقعت ضمن مستوى التكامل المتلاحم في سياق نظرية التكامل النشوئي لـ Ehlers بين الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية، إذ عملت الدراسة اثناء النمذجة الخرائطية لقابيله الأرض على الإنتاج

بالاستعانة بمخرجات الاستشعار عن بعد، كمعدل الـ NDVI لثلاث مدد زمنية (2002، 2012 و2019)، في نمذجة عامل الغطاء النباتي كمرحلة لنمذجة التعرية المائية بوصفها أنموذجا إرشاديا لمجموعة من النماذج الوصفية (متغيرات معادلة RUSLE)، ثم أدخل الأنموذج الخرائطي للتعرية المائية كأنموذج وصفي للشروع في أنموذج إرشادي أكثر عمقا معني بقابلية الأرض على الإنتاج (متغيرات معادلة Storie).

كذلك فإن المحطات الفضائية المناخية وأنموذج الارتفاع الرقمي ما هي إلا أحد البيانات التي يوفرها الاستشعار عن بعد فضلا عن المرئيات الفضائية، وقد عُولجت هذه البيانات في نظم المعلومات الجغرافية لتحويلها إلى نماذج خرائطية وصفية، بغية استنطاقها على نحو أكثر معنوية مما هي عليه، بما يدعم النمذجة الخرائطية في هذا الفصل، وهنا كان دور الاستشعار عن بعد غير فاعلٍ مع نظم المعلومات الجغرافية بسياق نظرية التكامل المنهجي، لكونه كان مزودا للبيانات، سواء كان ذلك في نمذجة قابلية الأرض على الإنتاج أم في نمذجة ملاءمة الأرض على زراعة المحاصيل الاستراتيجية.

كما إن تحويل المتغيرات إلى خصائص والخصائص إلى خرائط ملاءمة بقرارات مدعومة مكانيا، يتفق تماما مع تعريف الجغرافيا كونها علم العلاقات المكانية Spatial Relationships، وهذا المفهوم يأتي في المرحلة الثانية من الدراسات الجغرافية بمنظور المصفوفة الجغرافية، فالعلاقات المكانية ما هي الا نتاج تفاعل مجموعة من المتغيرات والخصائص لتجسيد الظاهرة قيد البحث الذي قد عُبر عنه في هذا الفصل بمجموعة كبيرة من التقنيات الرياضية والإحصائية المنفذة في نظم المعلومات الجغرافية مع البيانات التي وفرها الاستشعار عن بعد، وذلك من أجل وضع خرائط لقابلية الأرض على الإنتاج وملاءمتها على زراعة المحاصيل الاستراتيجية، مع تطوير أدوات للقيام بعمل النمذجة الخرائطية لملاءمة القمح والشعير والذرة الصفراء التي سوف تفيد الباحثين الآخرين الذين يرومون إلى النمذجة الخرائطية لملاءمة الأرض على زراعة ذات المحاصيل، ولا يحتاجون إلى دعم قرار مكاني في حال استخدام ذات المتغيرات، مع الأدوات المطورة.

وأخيرا يمكن لخرائط القابلية والملاءمة الزراعية أن تدعم عمليات التخطيط الزراعي، بوضعها بين أيدي أصحاب القرار، فاذا كان الاهتمام بالزراعة للمحاصيل كافة من أجل استثمار أفضل للأرض، يمكن الإفادة من خريطة قابلية الأرض على الإنتاج التي قد تكون أداة فعالة في تنظيم استعمالات الأرض الزراعية، أما إذا كان الاهتمام بالحد الأدنى من استثمار الأرض والتركيز على المحاصيل الاستراتيجية فقط، فيمكن الإفادة من خرائط ملاءمة الأرض على زراعة المحاصيل الاستراتيجية. وفي كلتا الحالتين سوف تدعم الخرائط المنمذجة تطوير الزراعة في قضاء سهل أربيل.

الفصل الرابع

النمذجة الخرائطية لملاءمة الأرض على التوسع المساحي الحضري ومستقبل استعمالاتها حتى عام 2029

Chapter 4

Cartographic Modeling of the Suitability of the Land to Urban Spatial Expansion and the Future of its uses until 2029

مدخل Preface

تزداد ظاهرة التوسع المساحي الحضري للمدن على حساب الأراضي الزراعية يوما بعد آخر، وعلى الرغم من أن المناطق الحضرية لا تمثل سوى جزء صغير من سطح الأرض إلا أن توسعها السريع على حساب الأراضي الزراعية قد أدى إلى تغيير كبير في اللاندسكيب الطبيعي، وخسارة الكثير من الأراضي الخصبة التي لا يمكن تعويضها إطلاقا، فهي بمثابة ثروة قومية إذا ما أحسن استثمارها، وعلى الجانب الآخر فإن الزيادة السكانية المستمرة شكلت قوة دافعة نحو توسع المساحات الحضرية على حساب الأراضي الزراعية كظاهرة مستمرة في جميع انحاء العالم، لاسيما في البلدان النامية، فمن المتوقع أن يتجاوز عدد سكان المناطق الحضرية 60% بحلول عام 2030، مع حدوث 90 % من الزيادة في البلدان النامية وفقًا لتوقعات الأمم المتحدة[1].

من هنا يأتي دور النمذجة الخرائطية في بناء سيناريوهات تجسد قدرة الأرض على استيعاب وترشيد التوسع المساحي الحضري مع الحفاظ على الأراضي الزراعية، والكشف عن ملامح مستقبل تغير استعمالات الأرض خرائطيا التي تعد بدورها وثائق مكانية يمكن الاعتماد عليها في عمليات التخطيط والتنمية.

4-1 النمذجة الخرائطية لملاءمة الأرض على التوسع المساحي الحضري

Cartographic Modeling of Land Suitability to Urban Spatial Expansion

أصبح احتواء التوسع المساحي الحضري على حساب الأراضي الزراعية محط تركيز عالمي في مجال التخطيط، مدفوعا بالتحفظات التي تنص على ضرورة الحفاظ على الأراضي الزراعية[2]، لذلك ظهر مصطلح ملاءمة التوسع المساحي الحضري في ثنايا مجموعة من الدراسات التي تناولت مجال التخطيط المكاني. والملاءمة هنا تعني مدى ملاءمة ظروف الأرض على استيعاب الاستعمال الحضري كأحد استعمالات الأرض، وتفسر على أنها مؤشر لإمكانية احتواء الأرض على الاستعمال الحضري، لذلك فالملاءمة العالية في هذا الصدد لها أعلى قيمة عندما يكون المكان أكثر احتمالية لجذب استعمالات الأرض الحضرية [3].

(1) YE Yuyao, et al., Construction of an ecological resistance surface model and its application in urban expansion simulations, Journal of Geographical Sciences, Vol. 25, No. 2, 2015, p. 212.

(2) Van der Merwe and Johannes Hendrik, GIS-aided land evaluation and decision-making for regulating urban expansion: A South African case study, Geo Journal, Vol. 43, No. 2, 1997, p.135.

(3) Masanobu Kii and Kazuki Nakamura, Development of a suitability model for estimation of global urban land cover, Transportation research procedia, Vol. 25, 2017, p.p. 3162 – 3164.

وعليه فان النمذجة الخرائطية في ضوء ملاءمة الأرض على التوسع المساحي الحضري، تعني ببناء أنموذج خرائطي ارشادي لملاءمة الأرض على التوسع المساحي الحضري، تدخل في بنيته مجموعة من المتغيرات الجغرافية المترجمة على شكل نماذج خرائطية وصفية أو ارشادية سابقة معاملة رياضيا، ذلك من أجل الكشف عن قابلية الحيز المكاني على استيعاب الأرض الحضرية مع الحفاظ – قدر الإمكان – على الأراضي الزراعية المتوطنة فيه.

يتضح مما سبق أن النمذجة الخرائطية لملاءمة الأرض على التوسع المساحي الحضري تختلف عن ملاءمة الأرض على زراعة المحاصيل، ذلك من حيث آلية اختيار المتغيرات الداخلة في أنموذج الملاءمة، إذ إن الثانية تعتمد على معايير عالمية، خاصة المتغيرات الطبيعية المرتبطة باحتياجات المحصول من تلك المتغيرات، في حين أن الأولى تعتمد على متغيرات لها علاقة بخصوصية الحيز المكاني المدروس، الأمر الذي وجب الاعتماد على جملة من المتغيرات التي لها علاقة بخصوصية الحيز المكاني لقضاء سهل أربيل، الذي يتمتع بأرض سهلية على نحو عام باستثناء الجزء الشرقي والجنوبي الغربي منه، فضلا عن عدم وجود أي استعمال ضاغط على التوسع المساحي الحضري(*)، كالمطارات والمصانع والمعسكرات، وهذه المتغيرات اعتمدتها مجموعة من الأبحاث العالمية والعراقية(**)، يمكن تحديدها على النحو الآتي:-

---

(*) الاستعمالات الضاغطة على التوسع المساحي هي مناطق قطع في استمرارية التوسع المساحي الحضري وتظهر كوحدة ايكولوجية أكثر وضوحا في المدن الكبرى، كما تعد مناطقا لا يرغب الاستعمال الحضري الجديد لاسيما الاستعمال السكني في مجاورتها، لأسباب نفسية واجتماعية ومكانية وصحية وامنية ووظيفية.
للتفاصيل ينظر:
صلاح حميد الجنابي، الاستعمالات الضاغطة على الاتساع المساحي لمدينة الموصل، مجلة الجمعية الجغرافية العراقية، المجلد 1، العدد 38، بغداد، 1998، ص ص 12 – 13.

(**) للتفاصيل ينظر:
1- Samer Raddad, Integrated a GIS and Multi Criteria Evaluation Approach for Suitability Analysis of Urban Expansion in Southeastern Jerusalem Region-Palestine, American Journal of Geographic Information System, Vol. 5, No. 1, 2016, p.p 24-31.
2- Meisam Jafari, et al., Dynamic Simulation of Urban Expansion Based on Cellular Automata and Logistic Regression Model: Case Study of the Hyrcanian Region of Iran, Sustainability, Vol. 8, No. 8, 2016, p.p 2- 18.
3- Renzhi Liu, et al., Land-use suitability analysis for urban development in Beijing, Journal of Environmental Management, Vol. 145, 2014, p.p. 170 -179.
4- رياض عبد الله احمد وعبد الله صالح مهدي، تقييم الملاءمة المكانية للتوسع المساحي لمدينة طوزخورماتو باستخدام برمجيات نظم المعلومات الجغرافية GIS، مجلة جامعة تكريت للعلوم الإنسانية، جامعة تكريت، المجلد 26، العدد 4، 2019، ص ص 232-203.
5- كامران ولي محمود، نمذجة التوسع الحضري لمدينة سوران باستخدام تقنيات نظم المعلومات الجغرافية، مجلة كلية الآداب، جامعة سوران، المجلد 21، العدد 1، 2017، ص ص 148-166.

1- القرب من الأراضي الحضرية، 2- القرب من طرق النقل الرئيسة، 3- عدم التجاوز على الأراضي الزراعية المجاورة، 4- انحدار سطح الأرض، 5- مصادر المياه.

وقبل البدء في نمذجة المتغيرات في أعلاه، لابد من الوقوف على المحرك الرئيس للتوسع المساحي الحضري ألا وهو حجم سكان الحضر، من أجل إلقاء الضوء على احتياجات سكان الحضر من الأرض الحضرية في قضاء سهل أربيل.

4-1-1 حجم سكان الحضر Urban Population Size

مع تزايد عدد سكان الحضر على مستوى عالمي تظافرت جهود المخططين للتعامل مع الطلبات المتزايدة لسكان الحضر[1]؛ إذ تشكل الزيادة السكانية ضغطا دائما على الأرض الحضرية الذي يرافقه ضغط على البنية التحتية وما يسببه من مشكلات، كالازدحام المروري وأزمة السكن ونمو العشوائيات على أعتاب المدينة ونحو ذلك [2]، فكلما كبر حجم السكان في المدينة ازدادت الحاجة إلى تخصيص مساحات جديدة من الأراضي لتلبية الطلب على الخدمات العامة والخاصة، ومن أجل معرفة ما إذا كانت الأراضي الحضرية تناسب حجم سكان الحضر في قضاء سهل أربيل، وجب اولا تحديد الأرض الحضرية على المرئيات الفضائية المصنفة، ومن ثم مقارنة حجم السكان مع تلك الأرض في ضوء التقديرات التي وضعتها وزارة الاعمار والاسكان العراقية التي تنص على أن نصيب الفرد من الأرض الحضرية في استعمالاتها كافة يجب أن لا يقل عن 100 م^2[3].

4-1-1-1 تحديد الأراضي الحضرية على خرائط استعمالات الأرض

Determining Urban Lands on Landuse Maps

إن عملية فصل الأراضي الحضرية عن المستوطنات الريفية الأُخرى من مرئيات Landsat المصنفة يكتنفه الكثير من الصعوبات، فالتصنيف الرقمي لا يميز الأرض الحضرية عن الريفية، إنما يعدها استيطاناً بشرياً في ضوء الانعكاسية الطيفية المتشابهة ما بين الأراضي المبنية Built Up في المنطقة الحضرية والمنطقة الريفية، فكلاهما يبنى بمادة الإسمنت والشوارع تعبد بمادة الإسفلت، مما يشكل نسجة Texture ذات انعكاسية طيفية تميز الأراضي

(1) William Robert Avis, Urban Expansion in Nigeria. K4D Helpdesk Report 692. Brighton, UK: Institute of Development Studies, 2019, p. 3.

(2) Alireza Sharifi and Mohammad Hosseingholizadeh, The Effect of Rapid Population Growth on Urban Expansion and Destruction of Green Space in Tehran from 1972 to 2017, Journal of the Indian Society of Remote Sensing, Vol. 47, No. 6, 2019, p. 8.

(3) جمهورية العراق، وزارة الاعمار والاسكان، الهيئة العامة للإسكان، شعبة الدراسات، كراس معايير الاسكان الحضري، 2010.

المبنية عن الأراضي الأُخرى. وهذا ما أوضحته خرائط استعمالات الأرض المصنفة في الفصل الثاني، إذ إن الاستيطان البشري عد صنفا يحتوي على نوعين من الاستيطان هما الحضري والريفي، أما في هذا الصدد فلابد من وضع تقنية تعمل على فصل المنطقة الحضرية عن الاستيطان الريفي في جسم المرئيات المصنفة على نحو موضوعي، حتى يتم الشروع في مناقشة مدى كفاية الأرض الحضرية في قضاء سهل أربيل على استيعاب حجم السكان في ضوء معيار وزارة الاعمار والاسكان العراقية. فضلا عن الاعتماد عليها في عملية محاكاة مستقبل استعمالات الأرض في قضاء سهل أربيل عند مراحل بحثية لاحقة.

لذلك تم وضع إجراء تقني يمكن من خلاله فصل صنف الاستيطان البشري إلى منطقة حضرية واستيطان ريفي، انطلاقا من مبدأ ان الاستيطان البشري الواقع داخل الحدود البلدية لمراكز نواحي قضاء سهل أربيل يعد أراضي حضرية، أما الواقع خارج الحدود البلدية فهو استيطان ريفي على اعتبار أن الحدود البلدية للأرض الحضرية هي الحد الفاصل بين المنطقة الحضرية Urban Area والمنطقة الريفية Rural Area[1].

تضمن التكنيك المستخدم في عملية الفصل تحويل المرئيات الفضائية إلى الصيغة المتجهة Vector، ثم فصل الصنف الخاص بالاستيطان البشري عن باقي أصناف استعمالات الأرض، بعد ذلك، أجريت عملية المضاهاة الطبقية التعريفية Identity Overlay[*]، لفصل صنف الاستيطان البشري إلى مناطق واقعة داخل الحدود البلدية لمراكز النواحي، ومناطق اخرى واقعة خارج حدود البلدية لذات المراكز، وفي خطوة ثانية تم دمج الصنفين الجديدين مع بقية استعمالات الأرض باستخدام عملية المضاهاة الطبقية لتوحيد المعالم Union Overlay [**]، من أجل الحصول على طبقة متجهة Vector Layer، تضم جميع استعمالات الأرض بما فيها

---

(1) William Robert Avis, Op cit., p. 3.

(*) يتم إجراء المضاهاة الطبقية التعريفية Identity Overlay اعتمادا على الأداة Identity في برنامج ArcGIS Desktop، التي تعمل بدورها على فصل المعالم مكانيا لطبقة الإدخال إلى مجموعتين، اعتمادا على طبقة اخرى تستخدم كمحك في ذلك. الأولى هي مجموعة المعالم الواقعة داخل طبقة المحك، والثانية مجموعة المعالم الواقعة خارجها.

للتفاصيل ينظر:

ESRI, ArcGIS Desktop 10.6.1 Software Help, Identity (Analysis), 2018.

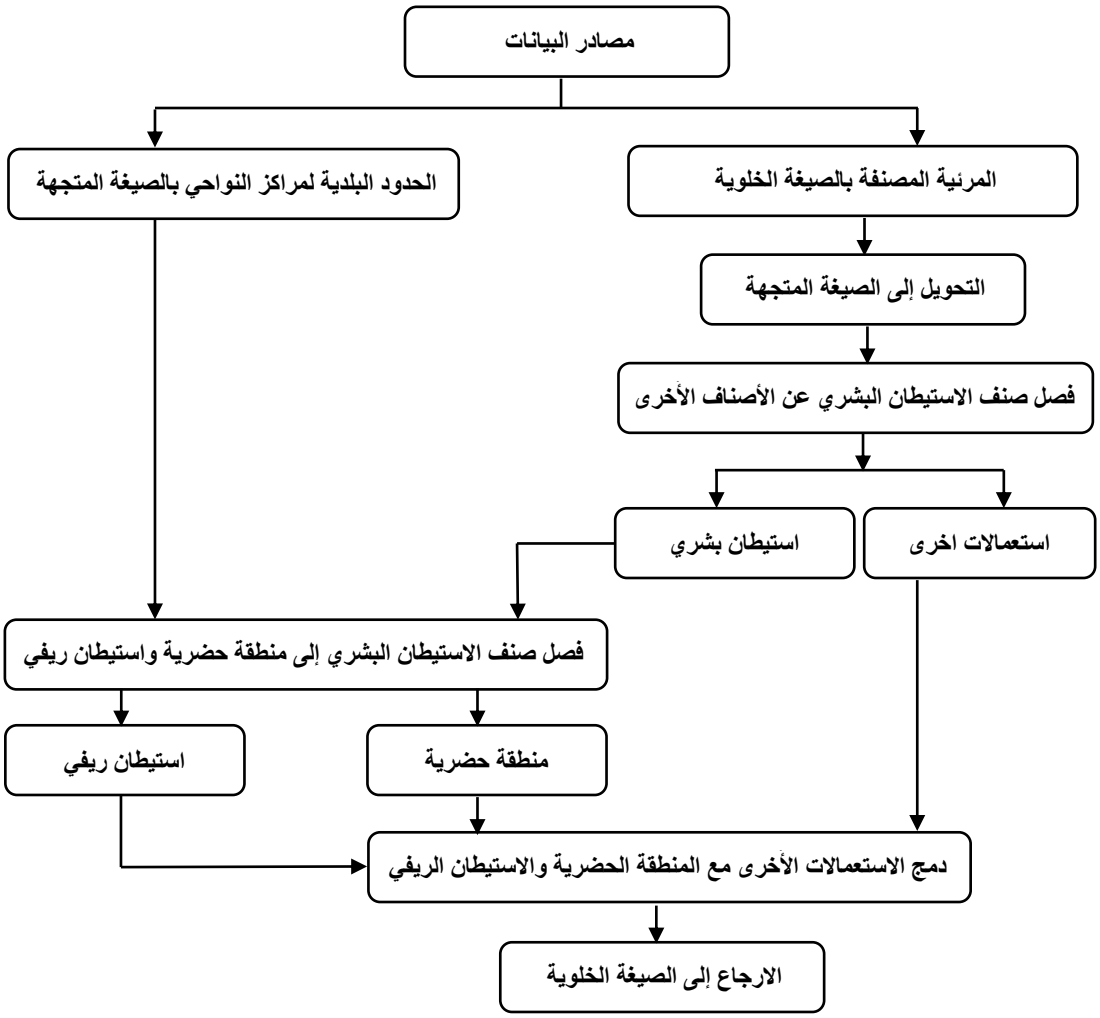
(**) يتم إجراء المضاهاة الطبقية لتوحيد المعالم Union Overlay اعتمادا على الأداة Union في برنامج ArcGIS Desktop، التي تعمل بدورها على توحيد المعالم التي تعود إلى طبقات مختلفة تم إدخالها إلى الأداة، نحو طبقة جديدة تحتوي على جميع البيانات المكانية والوصفية للطبقات الموحدة.

للتفاصيل ينظر:

ESRI, ArcGIS Desktop 10.6.1 Software Help, Union (Analysis), 2018.

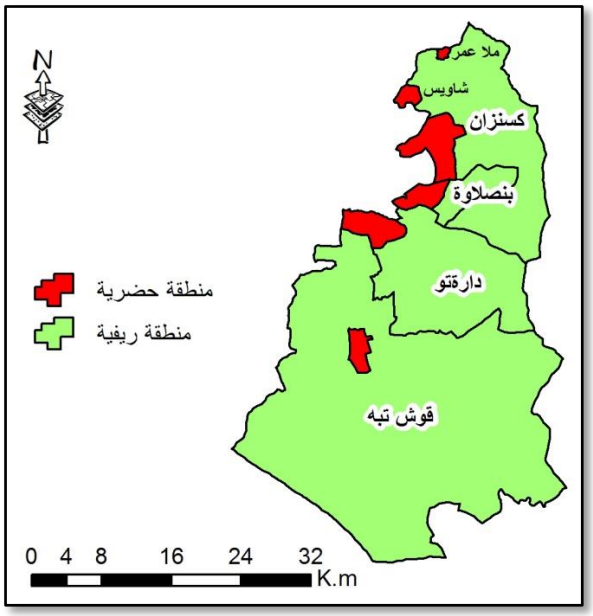
صنفا الأرض الحضرية والاستيطان الريفي، وأخيرا تمت إعادة تحويل الطبقة المتجهة إلى طبقة خلوية، للحصول على طبقة استعمالات الأرض تميز المنطقة الحضرية عن الاستيطان الريفي، وقد عمم التكنيك على طبقات استعمالات الأرض كافة للسنوات الثلاث 2019 ,2012 ,2002 وللموسمين الشتوي والصيفي، ينظر الشكل (41)، والخريطتان (48) و(49)، والجدول (22).

الشكل (41): التكنيك المستخدم في فصل المنطقة الحضرية عن الاستيطان الريفي على خرائط استعمالات الأرض المصنفة من مرئيات Landsat 7, 8



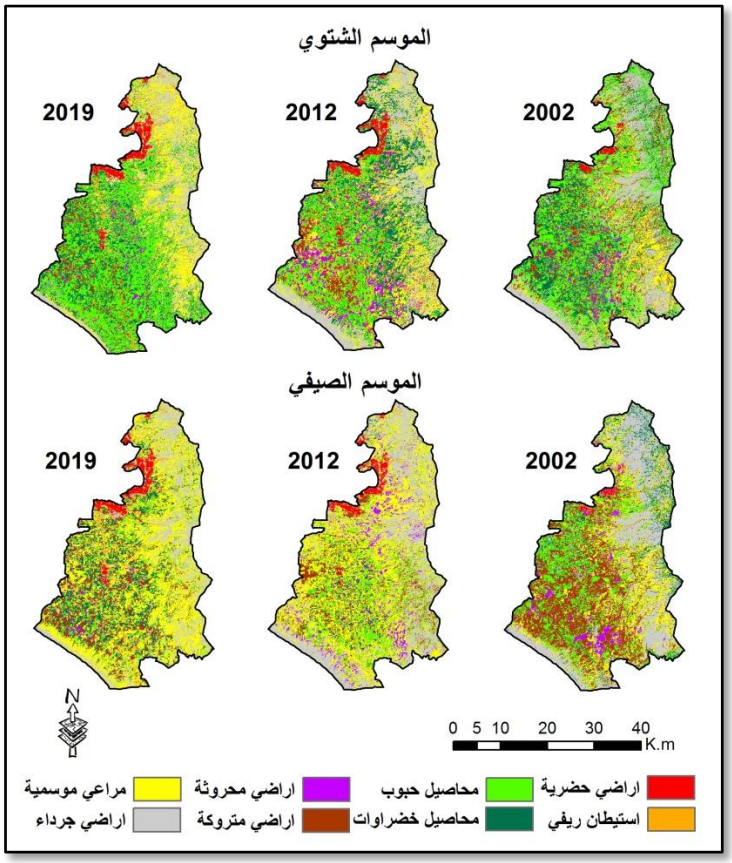
المصدر: عمل الباحث.

الخريطة (48): الحدود البلدية للمنطقة الحضرية في نواحي قضاء سهل أربيل لعام 2019



المصدر: جمهورية العراق، إقليم كوردستان، وزارة البلديات والسياحة، مديرية التخطيط العمراني، شعبة نظم المعلومات الجغرافية، الحدود الإدارية لمراكز نواحي قضاء سهل أربيل، ملفات رقمية غير منشورة، 2019.

الخريطة (49): المنطقة الحضرية في خرائط استعمالات الأرض المصنفة من مرئيات Landsat 7,8 وفقا للحدود البلدية لنواحي قضاء سهل أربيل لعام 2019



المصدر: عمل الباحث، اعتمادا على برنامج ArcGIS Desktop 10.6.1 والخرائط (4)، (5)، (6) و(48).

الجدول (22): مساحة الأراضي الحضرية حسب نواحي قضاء سهل أربيل للأعوام 2002 و2012 و2019

النواحي	2002		2012		2019	
	كم^2	هكتار	كم^2	هكتار	كم^2	هكتار
كسنزان	1.79	179	15.34	1534	19.84	1984
بنصلاوة	3.60	360	6.21	621	7.40	740
دارقتو	2.76	276	8.85	885	10.67	1067
قوش تبه	0.45	45	1.98	198	3.52	352
كامل القضاء	8.59	859	32.38	3238	41.42	4142

المصدر: عمل الباحث، اعتمادا على الخريطة (49).

4-1-1-2 تقدير حجم سكان الحضر المتوقع في قضاء سهل أربيل حتى عام 2029

Estimating the size of the Expected Urban Population in Qadhaa of Erbil plain until 2029

يعد الإسقاط السكاني من أهم المصادر التي تبنى عليها الخطط والبرامج الخدمية؛ إذ يمكن استخدام نتائجه في التعرف على الاحتياجات المستقبلية للسكان من المساحة الحضرية وما تحتويه من استعمالات الأرض، لذلك تم تقدير عدد السكان في قضاء سهل أربيل حسب نواحيه حتى عام 2029، باستخدام معادلة الوسط الهندسي لاستخراج معدل التغير والنمو السنوي، ومعادلة الاسقاط السكاني، كما في الجدول (23)، وذلك اعتمادا على تعداد السكان لعام 2010 وتقديراتها لعام 2019، وفقا للمعادلات الآتية[1]:-

$$r = \left(\sqrt[t]{\frac{P_1}{P_o}} - 1 \right) \times 100$$

إذ إن:

r = معدل النمو السنوي، P1 = عدد السكان في التعداد اللاحق، Po = عدد السكان في التعداد السابق، t = عدد السنوات بين التعدادين.

وينفذ الاسقاط السكاني اعتمادا على نتائج معادلة الوسط الهندسي في أعلاه ، وفقا للمعادلة الآتية: -

(1) طه حمادي الحديثي، مصدر سابق، ص 308.

$$p = (r)^{n-1} x (P1)$$

إذ إن:

p = عدد السكان المتوقع، r = معدل التغير السنوي، n = عدد السنوات بين التعداد الأخير وسنة الهدف، p1 = عدد السكان في التعداد الأخير.

الجدول (23): الأسقاط السكاني لحجم سكان الحضر المتوقع في قضاء سهل أربيل حتى عام 2029

الناحية	سكان الحضر			
	2010	2019	معدل النمو السنوي%	2029
كسنزان	54222	70511	2.96	94409
بنصلاوة	48100	62273	2.91	82969
دارةتو	44430	57451	2.90	76440
قوش تبه	13833	18020	2.98	24174
كامل القضاء	160585	208255	2.93	277992

المصدر: عمل الباحث، جمهورية العراق، إقليم كوردستان، وزارة التخطيط، مديرية إحصاء محافظة أربيل، شعبة الإحصاء، سكان قضاء سهل أربيل، بيانات غير منشورة، 2019.

إن الغاية من التنبؤ بعدد السكان حتى عام 2029، أي لمدة عشر سنوات فقط، هو لتجنب النتائج المظللة التي قد تحدث في عملية التنبؤ عند الابتعاد عن سنة الأساس، وبذات المبدأ سوف يتم في مراحل بحثية لاحقة التنبؤ بسيناريوهات استعمالات الأرض في قضاء سهل أربيل حتى عام 2029 ايضا، وذلك أن اختيار عشر سنوات فقط للتنبؤ بعدد السكان وتغير استعمالات الأرض هو للوقوف على أقرب مدة زمنية مستقبلية؛ إذ أن التنبؤ بسلوك الظاهرة البشرية لا يجب أن يتوغل في مستقبل بعيد قد لا يأخذ بنظر الاعتبار التغيرات السريعة التي قد تطرأ على سلوك الظاهرة في المدة المتنبأ بها، ومن ثم الوقوع في نتائج مضللة.

وهذا ما يؤكده التخطيط ايضاً؛ إذ تُوضع خرائط المُخطط الأساس للمدن Master Plan من أجل تنظيم توزيع استعمالات الأرض على حيزها الحضري وتطورها المستقبلي من حيث تغير الاستعمالات المختلفة، لمدة تتراوح بين 20 – 25 عام، وهي اطول مدة للمخطِط يبين فيها تصوره لمستقبل التطور الحاصل في الحيز الحضري، ومع ذلك يعاد النظر في خريطة المخطط الأساس كل 5 – 10 أعوام وحسب كبر الحيز، من أجل مواكبة المتطلبات الجديدة للأرض

الحضرية[1]. لذلك تم اختيار مدة 10 سنوات للتنبؤ، كحد أقصى لمحاكاة مستقبل استعمالات الأرض في قضاء سهل أربيل.

4-1-1-3 احتياجات السكان الحالية والمستقبلية من الأرض الحضرية حتى عام 2029

Current and Future Population needs for Urban Land until 2029

في ضوء حساب المساحة الحضرية وتقدير عدد سكان الحضر في القضاء حتى عام 2029 ومعيار نصيب الفرد من الأرض الحضرية التي وضعتها وزارة الاعمار والاسكان العراقية، لوحظ أن نصيب الفرد من الأرض الحضرية في قضاء سهل أربيل على نحو عام حوالي ضعف المعيار الذي وضعته وزارة الإعمار والإسكان بواقع 198.9 م^2 لكل فرد، ويعزى ذلك إلى أن معيار الـ 100 م^2 للفرد، وضِعَ لكي يتناسب مع المدن الكبرى التي تتميز باحتشاد الاستخدام الحضري، في حين تعد مراكز النواحي في قضاء سهل أربيل نويات حضرية لازالت تحمل في عمرانها طابع الريف، حيث قلة احتشاد العمران مع انخفاض في عدد السكان مقارنة بالمساحة التي يتوطن فيها. ينظر الجدول (24).

الجدول (24): نصيب الفرد من المساحة الحضرية لعام 2019 واحتياجات السكان المتوقعة من المساحة الحضرية حتى عام 2029 في قضاء سهل أربيل

الناحية	مساحة الحيز الحضري بالهكتار لعام 2019	نصيب الفرد من الأرض الحضرية بالمتر^2 لعام 2019	احتياجات السكان من المساحة الحضرية بالهكتار حتى عام 2029	فائض المساحة الحالية بالهكتار حتى عام 2029	عوز المساحة بالهكتار حتى عام 2029
كسنزان	1984	281.33	944.09	1039.91	-
بنصلاوة	740	118.76	829.69	-	89.69
دارةتو	1067	185.68	764.4	302.6	-
قوش تبه	352	195.53	241.74	110.26	-
كامل القضاء	4142	198.9	2779.92	1363.08	-

المصدر، عمل الباحث، اعتمادا على الجدولين (22) و(23).

(1) فلاح شاكر اسود، الخرائط الموضوعية، دار الكتب للطباعة والنشر، الموصل، 1991، ص 229.

كما يفصح الجدول (24) عن تباين محلي حول معيار نصيب الفرد من الأرض الحضرية حسب نواحي قضاء سهل أربيل، إذ اضطلعت ناحية كسنزان بأعلى نصيب للفرد من الأرض الحضرية على مستوى القضاء نحو 281.33 م^2، أي أن نصيب الفرد من الأرض الحضرية أعلى بحوالي ضعفي المعيار المقدر من وزارة الاعمار والاسكان على الرغم من ان الناحية تمتلك أعلى عدد لسكان الحضر على مستوى القضاء (الجدول 24)، مما انعكس ذلك على ظهور فائض في المساحة الحضرية عن عدد سكان الناحية المتوقع في عام 2029، ويعزى ذلك بأن ناحية كسنزان تحتوي على الكثير من المرافق الترفيهية ذات المساحات الكبيرة كمدينة الألعاب وحديقة الحيوانات التي يتوافد إليها السكان من داخل القضاء، فضلا عن خارجه كذلك احتوائها عن شبكة شوارع حديثة وواسعة، وهي امتدادا للشوارع السريعة لمدينة أربيل التي تقع ضمن الحدود البلدية للناحية، ناهيك عن ان معظم أراضيها تحتوي على مشاريع سكنية مخططة حديثا مع سعة مساحة المرافق الخدمية التابعة لها، كمجمع لانا ستي Lana City وانتلانتك ستي Atlantic City على سبيل المثال لا الحصر.

أما ناحية بنصلاوة فقد قدر فيها نصيب الفرد من الأرض الحضرية نحو 118.76م^2 لكل فرد، وهو قريب من معيار وزارة الإعمار والإسكان؛ إذ تمثل الناحية مركز قضاء سهل أربيل، لذلك تعد ذات نسيج حضري محتشد، وفي ضوء التنبؤ بعدد سكان الناحية حتى عام 2029، يتوقع ظهور عوز في الأرض الحضرية بواقع 89.69 هكتارا حتى تغطي الزيادة في عدد السكان بالحد الأدنى.

بيد أن ناحيتي داره تو وقوشتبه، اضطلعتا بنصيب فرد من الأرض الحضرية نحو 185.68 و195.53م^2 على التوالي، وهذا يعني أن نصيب الفرد من الأرض الحضرية يرتفع نحو الضعف في الناحيتين كلاهما مقارنة بالمعيار المعتمد. وهذا انعكس على توقع فائض بالمساحة الحضرية عن متطلبات السكان عام 2029 نحو 302.6 و110.26 هكتارا لكل من ناحيتي دارة تو وقوش تبه على التوالي؛ إذ يعزى ذلك إلى الأسباب ذاتها المذكورة آنفا من حيث إن النواحي لازالت تحمل الطابع الريفي في عمرانها غير المحتشد مع انخفاض في عدد السكان مقارنة بالمساحة التي يتوطن فيها، وان معيار الـ 100م^2 / فرد ليس سوى تقدير من وزارة الإعمار والإسكان العراقية، ويتناسب مع المدن الكبرى ذات الاحتشاد الحضري على عكس البلدات التي تشكل نويات حضرية.

وعلى الجانب الاخر يرى الباحث بأن هذه التوقعات لم تأخذ في الحسبان سوى الزيادة الطبيعية في عدد سكان نواحي القضاء وحتى حجم السكان الحالي (2019) ما هو الا تقديرات لعدد السكان وليس عدد السكان الفعلي؛ إذ إن آخر تعداد سكاني فعلي في إقليم كوردستان العراق

حصل عام 2010، وهذا بدوره قد يؤثر على دقة التقييم والتوقع، فضلاً عن عدم الأخذ بنظر الاعتبار التوسع المساحي لمدينة أربيل على حساب أرض القضاء من جهة الغرب، بدافع الزيادة السكانية سواء كانت طبيعية أم بعامل هجرة السكان إلى مدينة أربيل من المدن الأُخرى وكذلك الارياف، ومن ثم زيادة عدد سكان الحضر داخل اراضي قضاء سهل أربيل يتبعه زيادة في الضغط على الأرض الحضرية وانخفاض نصيب الفرد منها، وقد يكون للنمذجة الخرائطية لمستقبل استعمالات الأرض في القضاء رأي آخر حول التوسع المساحي الحضري عند مراحل بحثية لاحقة.

كما إن نمذجة ملاءمة الأرض على التوسع المساحي الحضري هي ليست محصورة في مدة زمنية محددة، إنما تسعى إلى وضع خريطة تجسد إمكانية الحيز المكاني لقضاء سهل أربيل على استيعاب الأرض الحضرية مع الأخذ بنظر الاعتبار حماية الأراضي الزراعية ذات الجودة والإنتاجية العالية من دون عامل الزمن.

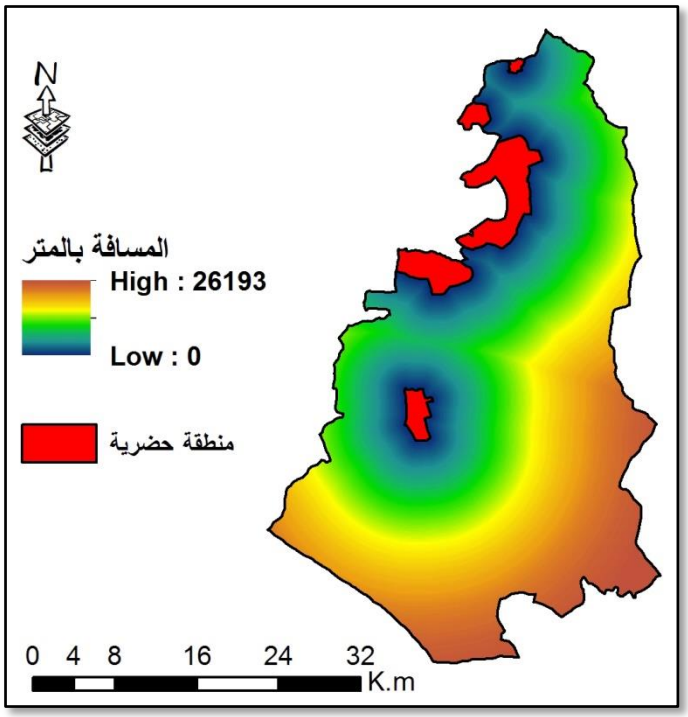
4-1-2 نمذجة القرب من الأرض الحضرية

Modeling the Proximity to Urban land

يعمل القرب من المنطقة الحضرية على الربط بين حدود الحيز الحضري والمناطق الحضرية الجديدة، ومن ثم سوف يسهم في تقليل الكلفة الاقتصادية لمد خدمات البنى التحتية، وتوسع شبكة الطرق فضلا عن أنه يؤدي إلى التجانس الحضري بين المناطق السكنية الحالية ومناطق التوسع المستقبلي[1]، وعلى هذا الأساس تم انشاء سطح خلوي للمسافة الاقليدية عن حدود المناطق الحضرية المتمثلة بمراكز نواحي قضاء سهل أربيل، إذ إن كل وحدة صورية Pixel تحمل قيمة مسافة عن أقرب منطقة حضرية لها، ذلك باستخدام الأداة Euclidian Distance ضمن الامتداد Spatial Analyst في برنامج ArcGIS Desktop 10.6.1، ينظر الخريطة (50).

(1) كامل كاظم بشير الكناني واحمد عبد السلام حنش الجابري، استخدام منهجية التحليل المكاني في تقييم الملاءمة المكانية للتوسع الحضري لمدينة الكوت، مجلة كلية التربية، جامعة واسط، العدد 12، 2012، ص 258.

الخريطة (50): القرب من الأرض الحضرية في قضاء سهل أربيل لعام 2019



المصدر: عمل الباحث، اعتمادا على برنامج ArcGIS Desktop 10.6.1، والخريطة (48).

4-1-3 نمذجة القرب من طرق النقل الرئيسة

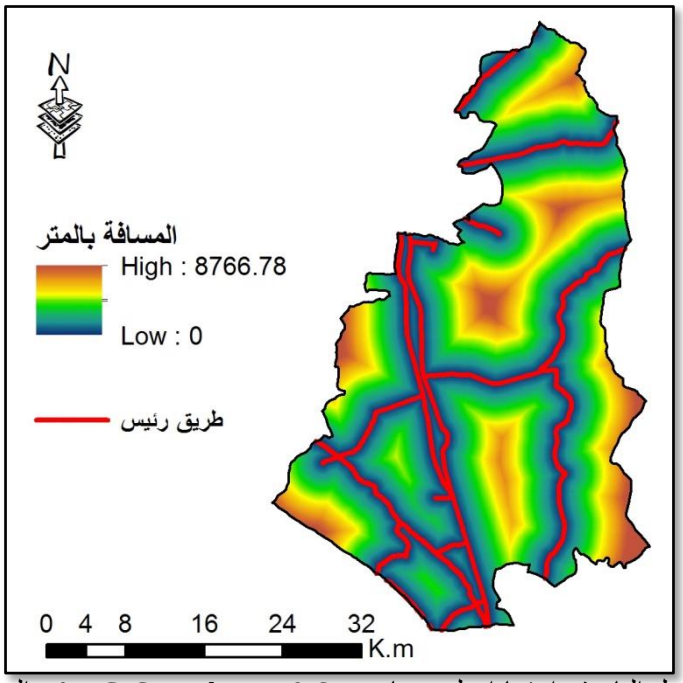
Modeling Proximity to Major Transport Roads

يعد النقل من أهم العوامل المسؤولة عن نمو الحيز الحضري وتوسعه المساحي، إذ لولاه لما تباعدت أطراف المدينة عن مركزها، لذلك يمثل أحد الأوجه المهمة في تفسير العلاقات المكانية بين استعمالات الأرض الحضرية، ويكشف عن مدى الارتباط والتفاعل المكاني بين المدينة وأطرافها[1]، كما تعد سهولة الوصول أحد أهم العوامل المؤثرة على اتجاهات التوسع الحضري، من حيث انجذاب التوسع باتجاه الطرق الرئيسة، وهذا يؤمن استمرار ربط حافات الحيز الحضري بقلبه[2]، لذلك يميل التوسع الحضري باتجاه طرق النقل الرئيسة من أجل ضمان سهولة الوصول من وإلى أطرافه الجديدة، من هذا المنطلق تم إنشاء سطح خلوي للمسافة الاقليدية عن طرق النقل الرئيسة المتوطنة في قضاء سهل أربيل، بحيث إن كل وحدة صورية Pixel تحمل قيمة مسافة عن أقرب طريق رئيس لها، ذلك باستخدام الأداة Euclidian Distance ضمن الامتداد Spatial Analyst في برنامج ArcGIS 10.6.1 ينظر الخريطة (51).

(1) عمر سالم يسلم المحدي، شبكة الطرق والنقل الحضري في مدينة المكلا دراسة جغرافية باستخدام نظم المعلومات الجغرافية، المؤتمر الدولي الثالث لنظم المعلومات الجغرافية وتحقيق التنمية المستدامة، قسم الجغرافيا، جامعة طرابلس، ليبيا، 2014، ص 48.

(2) David a. Hensher, et al., Handbook of Transport Geography and Spatial Systems, Emerald Group Publishing Limited, UK, Third edition, 2008, p. 31.

الخريطة (51): القرب من طرق النقل الرئيسة في قضاء سهل أربيل لعام 2019



المصدر: عمل الباحث، اعتمادا على برنامج ArcGIS Desktop 10.6.1 والخريطة (44).

4-1-4 نمذجة عامل انحدار سطح الأرض

Modeling the Slope factor of the Earth's surface

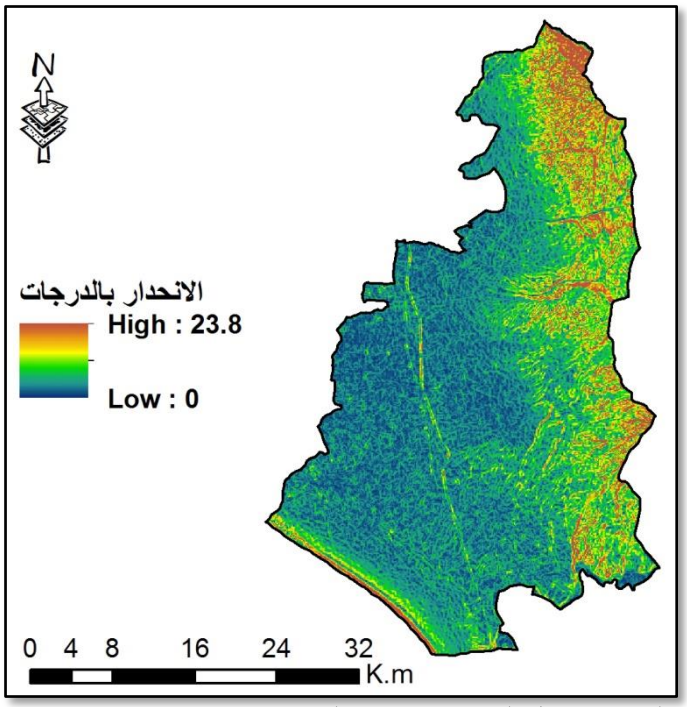
لقد كان تشييد المباني على الأراضي المنحدرة مشكلة على مر العصور، نظرا لم قد يحدث نتيجة المنحدرات غير المستقرة من كوارث على الأرض الحضرية كالانزلاقات الأرضية والانهيارات عند وقوع الزلازل، لذلك فان التوسع الحضري على المنحدرات الأرضية يتطلب إجراء الكثير من المعالجات حول تأهيل الأرض على تحمل العمران، وهذا يترتب عليه ارتفاع في تكاليف التوسع الحضري على الأراضي المنحدرة على الرغم من انخفاض اسعارها مقارنة بالأراضي السهلية[1]، لذلك يميل التوسع الحضري نحو استثمار الأراضي السهلية[2]، بسبب انخفاض تكاليف تشييد المباني والبنية التحتية التي تزداد كلما زادت شدة المنحدر الأرضي[3]. ومن أجل نمذجة عامل انحدار سطح الأرض، اعتمد على أنموذج الارتفاع الرقمي DEM في اشتقاق انحدار سطح الأرض لقضاء سهل أربيل، باستخدام الأداة Slope ضمن الامتداد Spatial Analyst في برنامج ArcGIS 10.6.1، ينظر الخريطة (52).

(1) Boualem El Kechebour, Relation between stability of slope and the urban density: Case study, Procedia Engineering, Vol. 114, 2015, p. p. 825-831.

(2) Amal Najihah M. Nor, et al., Impact of rapid urban expansion on green space structure, Ecological Indicators, Vol. 81, 2017, p. 276.

(3) Guoping Huang, Modeling Urban Spatial Growth in Mountainous Regions of Western China, Mountain Research and Development, Vol. 37, No. 3, 2017, p. 369.

الخريطة (52): انحدار سطح الأرض في قضاء سهل أربيل لعام 2019



المصدر: عمل الباحث، اعتمادا على برنامج ArcGIS Desktop 10.6.1 والأنموذج الرقمي للارتفاعات DEM.

4-1-5 نمذجة عامل المياه الجوفية Groundwater Factor Modeling

يعد توفير امدادات المياه من العناصر الرئيسة في عملية التوسع الحضري؛ إذ تتضمن معظم عمليات التحضر Urbanization[*] واردات كبيرة من المياه، باستثناء المناطق الغنية بالمياه الجوفية التي تعمل على سد متطلبات التحضر [1]، كما إن زيادة الطلب على المياه نتيجة الزيادة في معدل نمو سكان الحضر سيؤدي إلى زيادة المنافسة بين الاستعمالات الحضرية

(*) لا يتفق الباحثون على تعريف موحد لمفهوم التحضر، لأن ذلك يتوقف على طبيعة المجتمعات المختارة ودرجة تقدمها الحضاري، ولكونها ذات علاقة بنسب السكان والمعايير المستخدمة في ذلك المجتمع للتميز بين الريف والحضر، فالبعض يعرفه على انه الزيادة المطلقة في عدد سكان الحضر، إذ تكون الزيادة في سكان الريف هي أقل دائما من تلك التي تطرأ على سكان الحضر، بينما يعرفه آخرون بأنه عملية التحول من الزراعة إلى غيرها من المهن الشائعة في المدن مما يتمخض عن ذلك من تغيير في الأنماط السلوكية.

للتفاصيل ينظر:

عمر حسن حسين رواندزي ورزكار محمد عثمان، اتجاهات التوسع الحضري (المساحي) للمراكز الحضرية في قضاء سوران وآثارها البيئية، مجلة جامعة دهوك للعلوم الإنسانية والاجتماعية، جامعة دهوك، المجلد 17، العدد 2، 2014، ص 141.

(1) S. S. D. Foster, et al., Groundwater in urban development—a review of linkages and concerns, Impacts of Urban Growth on Surface Water and Groundwater Quality (IUGG), IAHS PUBLICATION, No. 259, 1999, p. p. 3-4.

المختلفة على استهلاك المياه. كالاستعمالات السكنية من مياه الشرب والاحتياجات المنزلية الأُخرى، فضلا عن الاستعمالات التجارية والصناعية وحتى الاستعمال الزراعي، لذلك هناك حقيقة مفادها بأن ديمومة المدينة تعتمد على مدى توفر المياه في المناطق التي تتوطن فيها[1].

ونظرا لاعتماد سكان قضاء سهل أربيل ريفا وحضرا على المياه الجوفية كمورد مائي رئيس، وعدم وجود أي مشروع لمد المياه إلى المراكز الحضرية في قضاء سهل أربيل من جانب آخر، وصلاحية المياه الجوفية المتوطنة في قضاء سهل أربيل للاستخدام البشري من جانب ثالث[2]، ووجود تنافس على استخدام المياه الجوفية بين الاستعمال الزراعي والحضري من جانب رابع، تم الاعتماد على أنموذج إنتاجية الأرض من المياه الجوفية الذي استخدم سابقا كمتغير في ملاءمة الأرض على زراعة محصول الذرة الصفراء في الفصل الثالث، في نمذجة التوسع المساحي الحضري، (يراجع الخريطة 37 في صحفة 169).

4-1-6 نمذجة البعد عن الأراضي الزراعية

Modeling the Distance from Agricultural lands

يعد التوسع المساحي الحضري على حساب الأراضي الزراعية ظاهرة مزمنة في كثير من الدول النامية، إذ يحدث زحف الأراضي الحضرية على حساب الاراض الزراعية بوتيرة أسرع وبطريقة غير عقلانية، وهذا يسبب العديد من الآثار السلبية على القطاع الزراعي[3]؛ إذ تستهلك المناطق الحضرية الأرض على نحو مباشر، وهذا يؤدي بدوره إلى تحول كبير في اللاندسكيب الطبيعي، وما يترتب عليه من فقدان الأراضي الزراعية فضلا عن احتمالية تغير المناخ الإقليمي في المنطقة[4]، وعلى الجانب الآخر، تعد عملية تحويل الأراضي الزراعية إلى اراضي حضرية بشكل مستمر اتجاها عالميا يتحدى القدرات على توفير الغذاء لعدد متزايد من السكان على مستوى طويل الأجل[1].

---

(1) Suraj Mohammed, Urbanization And Water Resources Vulnerability In The Kumasi Metropolitan Area, Ghana, Master Thesis, Linköping University, Department of Water and Environmental Studies, Sweden ,2004, p. 19.

(2)جمهورية العراق، إقليم كوردستان، وزارة الزراعة والمصادر المائية، دائرة المياه الجوفية، المياه الجوفية في محافظة أربيل، بيانات غير منشورة، 2019.

(3) Sadaf Khan and Himanchal, the Impact of Urban Expansion on Agricultural Land use Changes in Aligarh, Uttar Pradesh, India, International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences, 2019, p. 1.

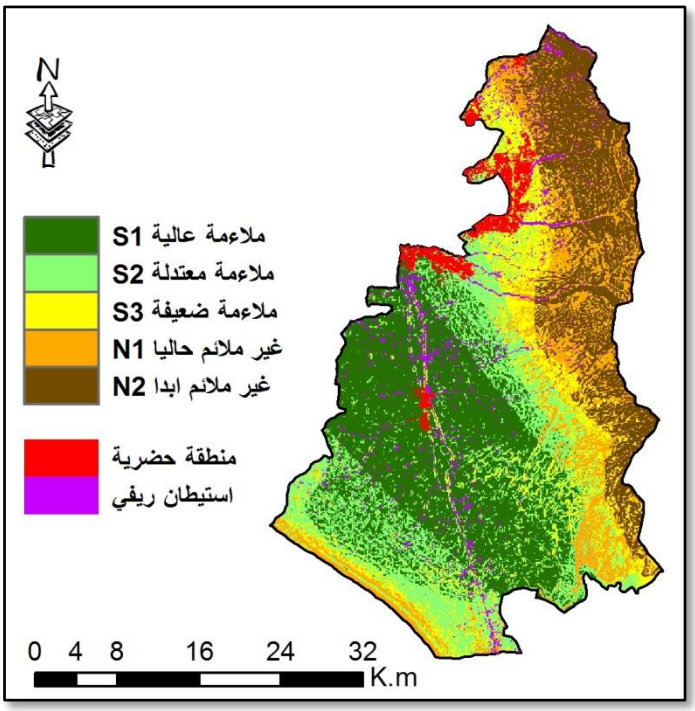
(4) Burak Güneralp, et al., Trends in urban land expansion, density, and land transitions from 1970 to 2010: a global synthesis, Environmental Research Letters, Vol. 15, No. 4, 2020, p. 1.

(1) Opeyemi A. Zubair, et al., Urban Expansion and the Loss of Prairie and Agricultural Lands: A Satellite Remote-Sensing Based Analysis at a Sub-Watershed Scale , Sustainability, Vol. 11, No. 17, 2019, p.p. 1-2.

ونظر لكون الأرض في قضاء سهل أربيل هي ذات قابلية إنتاجية مختلفة المستويات من جانب، وذات مستويات ملاءمة مختلفة على زراعة المحاصيل الاستراتيجية من جانب آخر، وإن التوسع المساحي الحضري حتميا ومدفوعا بزيادة الطلب على الأرض الحضرية الناتجة عن الزيادة المستمرة في نمو السكان، فيمكن توجيه التوسع المساحي الحضري باتجاه الأراضي الزراعية الاقل إنتاجية، في حال إن أخذ بعين الاعتبار استدامة الأرض الزراعية على نحو عام ولجميع المحاصيل الزراعية، أما في حال إن أخذ بنظر الاعتبار الحفاظ على الأراضي الملائمة لزراعة المحاصيل الاستراتيجية فقط بوصفها الأكثر أهمية في الدول النامية، فيمكن توجيه التوسع الحضري نحو الأراضي الأقل ملاءمة على زراعة المحاصيل الاستراتيجية.

وبذلك يمكن الاعتماد على خريطة قابلية الأرض على الإنتاج الزراعي التي نمذجت في الفصل الثالث (الخريطة 30 في صفحة 142)، أما نمذجة ملاءمة الأرض على زراعة المحاصيل الاستراتيجية، فقد تم جمع النماذج الخرائطية لملاءمة الأرض على زراعة القمح والشعير والذرة الصفراء ثم قسمتهم على (3)، باستخدام الأداة Map algebra التابعة إلى المحلل Spatial Analyst في برنامج ArcGIS 10.6.1 للخروج بخريطة تمثل ملامح ملاءمة الأرض على زراعة المحاصيل الاستراتيجية، ينظر الخريطة (53).

الخريطة (53): ملامح ملاءمة الأرض على زراعة المحاصيل الاستراتيجية في قضاء سهل أربيل لعام 2019



المصدر: عمل الباحث، اعتمادا على برنامج ArcGIS Desktop 10.6.1 والخرائط (46)، (47) و(49).

ومن أجل الشروع في نمذجة ملاءمة الأرض في قضاء سهل أربيل على التوسع المساحي الحضري، لا بد من اتخاذ القرار السليم حول الأهمية النسبية لكل معيار من المعايير التي نُمذجت آنفا على شكل نماذج خرائطية وصفية كعوامل مؤثرة في خريطة الملاءمة، ومن ثم يتطلب ذلك دعما للقرار المكاني.

4-1-7 دعم القرار المكاني في نمذجة ملاءمة الأرض على التوسع المساحي الحضري

Spatial Decision Support in Modeling the Land Suitability for Urban Spatial Expansion

لتجنب الحكم الشخصي حول تحديد الأهمية النسبية لكل معيار يدخل في مشهد ملاءمة الأرض على التوسع المساحي الحضري، ومن ثم تجسيد التفاعل المكاني رياضيا بين المعايير المؤثرة على شكل أنموذج خرائطي ارشادي، لابد من ايجاد اوزان المعايير الداخلة في الأنموذج الخرائطي، وبذلك تم تحديد الهدف من دعم القرار المكاني باستخدام طريقة AHP المعنية بعمليات التحليل الهرمية.

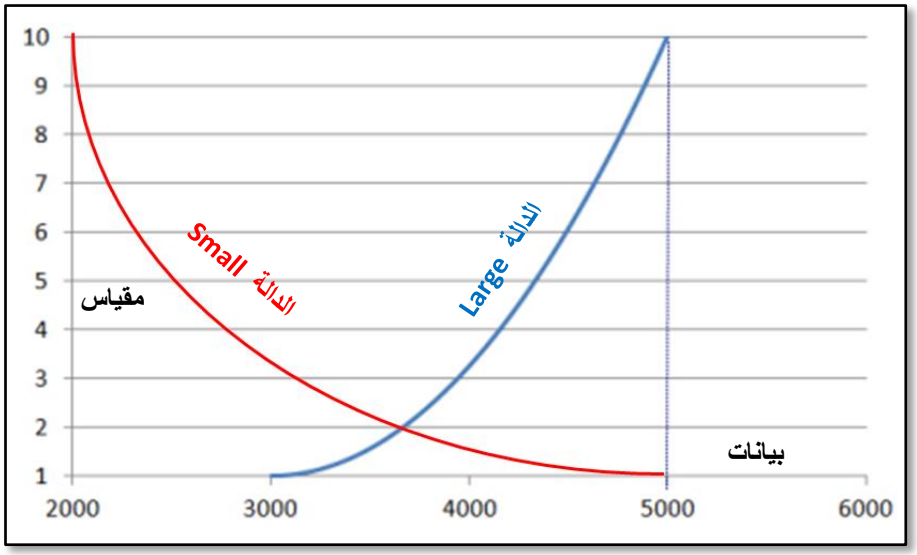
4-1-7-1 تجهيز المعايير Criteria Processing

لكي يتنسى تجهيز المعايير التي نُمذجت خرائطيا لابد من عملية تقييسها، أي إخضاعها إلى مقياس موحد يمكن من خلاله دمج المعايير بعد استخراج اوزانها من عمليات التحليل الهرمية. إن السبب في إجراء عملية التقييس Standardization هو اختلاف مقياس البيانات لكل معيار من المعايير، فعلى سبيل المثال إن معيار القرب عن المنطقة الحضرية مقاس بالمتر، في حين أن معيار انحدار سطح الأرض مقاس بالدرجات، لذلك لا يمكن دمج المعيارين المنمذجين خرائطيا على شاكلتهما، نظرا لاختلاف مقياسيهما. وعلى هذا الأساس لا يمكن إجراء عمليات التحليل الهرمية من دون توحيد المقاييس للمعايير جمعاء.

إن مقياس البيانات للمعايير لابد أن يكون مبنياً على أساس عوامل الجذب والطرد للتوسع المساحي الحضري، فإذا ما أخذ بنظر الاعتبار العوامل الجاذبة إلى التوسع المساحي الحضري في ضوء المعايير المنمذجة آنفا، فسوف يكون القرب من المنطقة الحضرية والقرب من طرق النقل الرئيسة والتوطن في مناطق غنية بالمياه الجوفية، فضلا عن التوطن في الأراضي السهلية عوامل جذب للتوسع المساحي الحضري، في حين إن الأراضي ذات القابلية الإنتاجية الزراعية العالية، والأراضي ذات الملاءمة العالية على زراعة المحاصيل الاستراتيجية هي عوامل طرد للتوسع المساحي الحضري؛ إذ ما أخذ بعين الاعتبار الإبتعاد عن التجاوز على الأراضي الزراعية ذات الجودة العالية.

ومـــن أجـــل ترجمـــة هـــذه المفـــاهيم رياضـــيا، اســـتُعين بالـــدوال الرياضـــية Large and Small Functions المتوفرة في الأداة Rescale by Function ضمن صندوق أدوات Reclass المتوفر في المحلل المكاني Spatial Analyst في برنامج ArcGIS 10.6.1. إذ تعمل الأداة Rescale by Function على استخدام دوال رياضية (خط أو منحنى) لتعيين قيم جديدة بدلا من القيم الأصلية للمتغيرات المُنمذجة خرائطيا، وعادة يكون المقياس محصور بين (1 – 10)، وهي طُورت خصيصا لغرض إجراء الملاءمة على نحو عام[1]. ينظر الشكل (42).

الشكل (42): عمل الدالتين Large and Small في برنامج ArcGIS Desktop 10.6.1



المصدر: ESRI, ArcGIS Desktop 10.6.1 Software Help, Rescale by Function (Spatial Analyst), 2018.

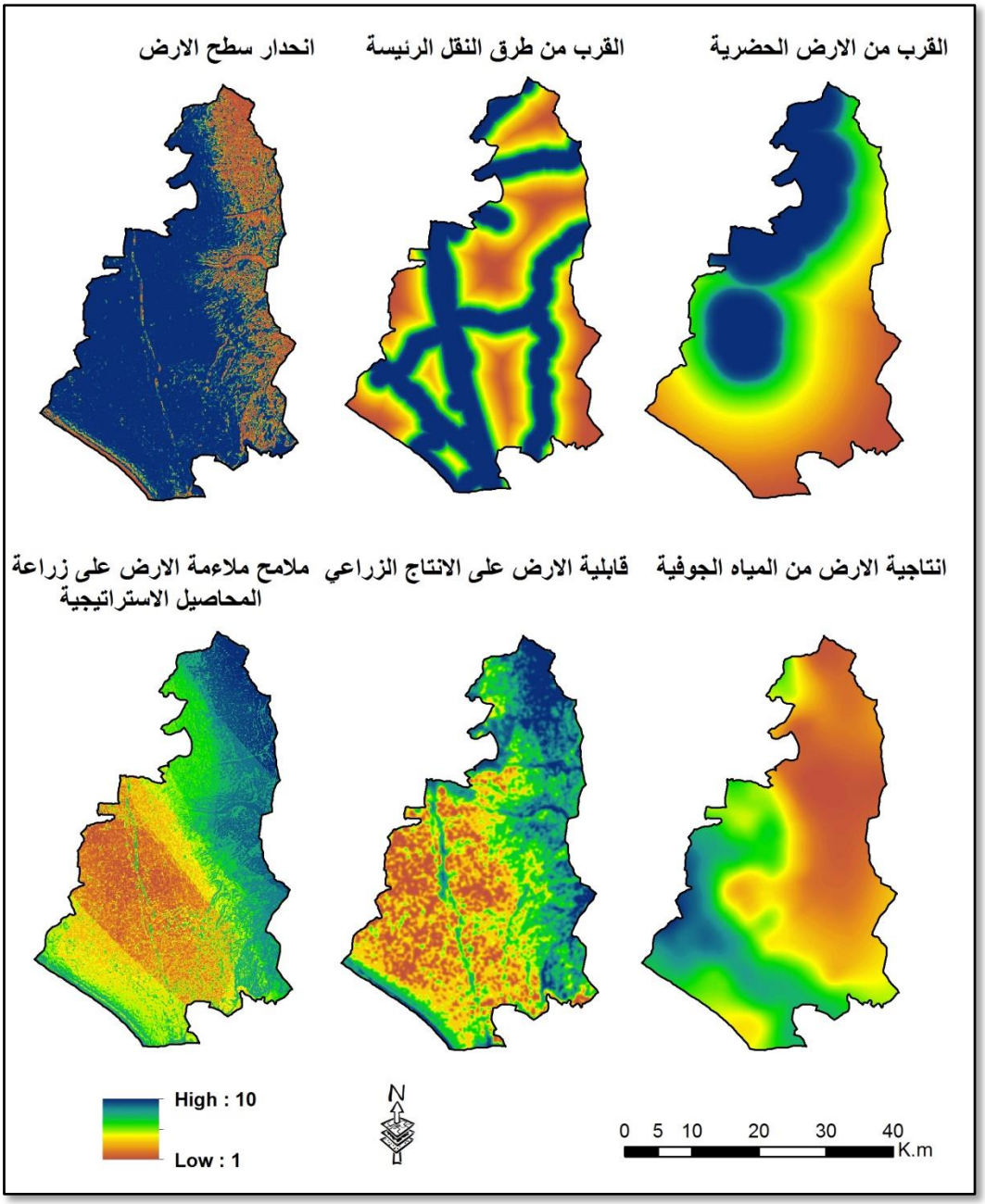
تعمل الدالة Large Function على إعطاء قيمة (10) للوحدات الصورية التي تحمل أعلى قيمة في المقياس الاصلي للبيانات، وقيمة (1) للوحدات الصورية التي تحمل أقل قيمة في المقياس الاصلي للبيانات، أما الوحدات الصورية الأُخرى فسوف تأخذ قيما محصورة بين الـ (10) و(1) استنادا إلى قربها من القيم العليا والقيم الدنيا في المقياس الاصلي للبيانات وفقا لعلاقة خطية، تبعا ذلك استخدمت الدالة Large Function مع متغير التوطن في الأراضي الغنية بالمياه الجوفية؛ إذ إن الأراضي ذات المياه الجوفية التي تحمل أعلى إنتاجية من المياه أخذت القيمة (10)، أما الأراضي ذات المياه الجوفية التي تحمل أقل إنتاجية من المياه اخذت القيمة (1)، وبقية الأراضي تدرجت بين الـ 10 والـ 1 استنادا إلى غناها بالمياه الجوفية.

(1) ESRI, ArcGIS Desktop 10.6.1 Software Help, Rescale by Function (Spatial Analyst), 2018.

أما الدالة Small Function، فتعمل على إعطاء قيمة (10) للوحدات الصورية التي تحمل أقل قيمة في المقياس الاصلي للبيانات، وقيمة (1) للوحدات الصورية التي تحمل أعلى قيمة للبيانات في المقياس الأصلي للبيانات، أما الوحدات الصورية الأُخرى فسوف تأخذ قيما محصورة بين الـ (10) و(1) استنادا إلى قربها من القيم العليا والقيم الدنيا في المقياس الاصلي للبيانات وفقا لعلاقة خطية أيضا، وبذلك استخدمت الدالة Small Function مع نماذج القرب من الأرض الحضرية والقرب من طرق النقل الرئيسة وانحدار سطح الأرض فضلا عن أنموذج قابلية الأرض على الإنتاج وأنموذج ملامح ملاءمة الأرض على زراعة المحاصيل الاستراتيجية.

إذ أعطيت قيمة (10) للوحدات الصورية التي تحمل أقل قيمة بعد عن الأراضي الحضرية، على اعتبار أن المناطق القريبة من الأراضي الحضرية هي مناطق جذب للتوسع المساحي الحضري، أما الوحدات الصورية التي تحمل أعلى قيمة بعد عن الأراضي الحضرية فأعطيت قيمة (1)، نظرا لانخفاض الجذب إلى أقل مستوياته. كذلك الحال بالنسبة للقرب من الطرق الرئيسة، في حين أن انحدار سطح الأرض فقد استخدمت الدالة في اعطاء قيمة (10) لأقل قيمة انحدار، وقيمة (1) لأعلى قيمة انحدار، ولم يختلف الأمر عن تقييس أنموذجي قابلية الأرض على الإنتاج وملامح ملاءمة الأرض على زراعة المحاصيل الاستراتيجية باستخدام الدالة Small Function، إذ أُعطيت قيمة (10) للوحدات الصورية التي تحمل أقل قيمة لقابلية على الإنتاج الزراعي، وقيمة (1) للوحدات الصورية التي تحمل أعلى قيمة لذات القابلية، كذلك الحال بالنسبة لأنموذج ملامح ملاءمة الأرض على زراعة المحاصيل الاستراتيجية من حيث اعطاء القيمة (10) للوحدات الصورية التي تحمل أقل قيمة لملاءمة الأرض على زراعة المحاصيل الاستراتيجية، وقيمة (1) للوحدات الصورية التي تحمل أعلى قيمة لذات الملاءمة. ينظر الخريطة (54).

الخريطة (54): تقييس المعايير الداخلة في أنموذج الـ AHP باستخدام الدالتين Large and Small لغرض نمذجة ملاءمة الأرض على التوسع المساحي الحضري في قضاء سهل أربيل لعام 2019



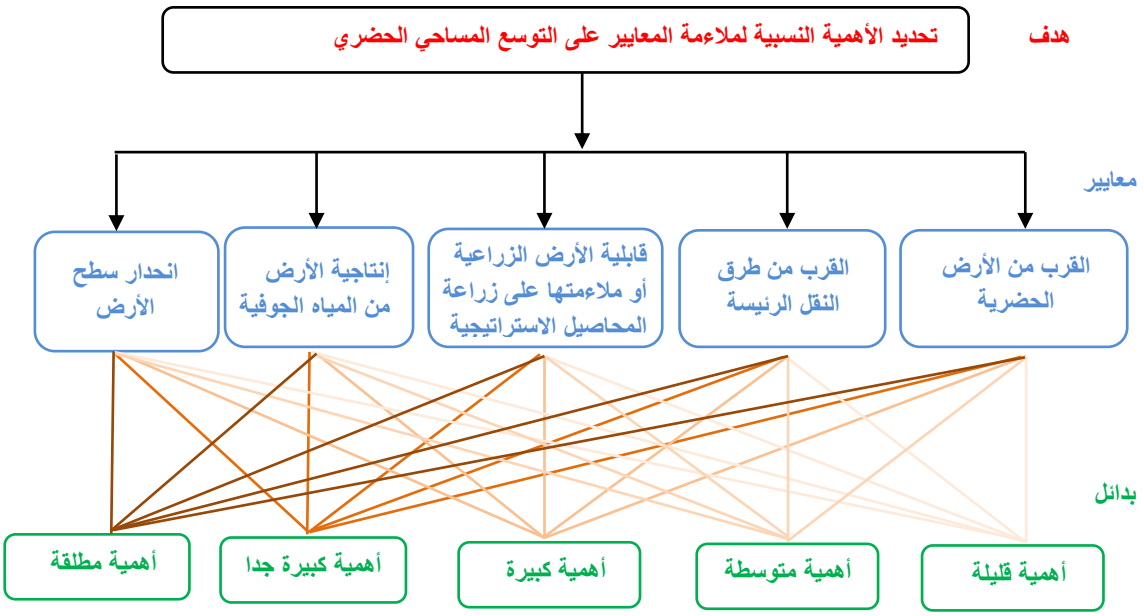
المصدر: عمل الباحث، اعتمادا على برنامج ArcGIS Desktop 10.6.1 والخرائط (30)، (37)، (50)، (51)، (52) و(53).

4–1–7–2 تحديد البدائل Identifying Alternatives

بما أن طريقة الـ AHP هي المعتمدة في دعم القرار المكاني حول نمذجة ملاءمة الأرض على التوسع المساحي الحضري، إذن فالمقياس المعتمد سيكون ذاته الذي وضعه Saaty (يراجع موضوع تحديد البدائل في الفصل الثالث، ص 188)؛ إذ يتضمن وضع علاقة

بين المعايير المعتمدة مع مجموعة من البدائل في تسلسل هرمي يسمح بالمقارنة الزوجية بين معيار ما ومعيار آخر، تبعا لذلك تم تحديد 5 بدائل لكل متغير استنادا على طريقة الـAHP، ينظر الشكل (43).

الشكل (43): البنية الهرمية للمعايير الداخلة في أنموذج ملاءمة الأرض على التوسع المساحي الحضري في قضاء سهل أربيل لعام 2019 وفقا لطريقة AHP



المصدر: عمل الباحث، اعتمادا على الجدول (17).

4-1-7-3 وزن المعايير Criteria Weight

من أجل وزن المعايير في عملية دعم القرار المكاني متعدد المعايير، لابد من إعداد استبانة يتم توزيعها على المحكمين لغرض الوقوف على مقدار أهمية كل معيار، ثم تبنى مصفوفة المقارنة الزوجية، وأخيرا يتم فحص مستوى ثبات الأحكام الصادرة عن الأهمية النسبية للمعايير.

4-1-7-3-1 الاستبيان Questionnaire

أعدت استبانة من أجل الحصول على آراء المحكمين حول اختيار البديل المناسب لكل معيار، وقد وزعت الاستبانة على عينية قصدية مكونة من 100 مُستبين داخل البلد وخارجه (استمارة الكترونية) وباختصاصين رئيسين، الا وهما جغرافيو المدن بنسبة 40% من عدد المُستبينين، ومخططون حضريون بنسبة 60% من ذات العدد، على اعتبار ان المخططين الحضريين هم من خلفيات علمية مختلفة ومنهم جغرافيون أيضا، وبذلك جُمعت الأحكام من خبراتهم حول دعم البديل المناسب لكل معيار، ينظر الملحق (13).

ومن خلال تفريغ نتائج الاستبيان لغرض الوقوف على الاحكام حول تحديد البدائل لكل متغير، وجد أن 89% من العينة حكمت على القرب من الأرض الحضري بأنه ذو أهمية كبيرة جدا، في حين أن 87% قد حكموا بأن معيار البعد عن الأراضي الزراعية ذات الإنتاجية العالية بانه ذو أهمية كبيرة جدا أيضا، أما معيار القرب من طرق النقل الرئيسة فقد حصل على حكم بانه ذو أهمية كبيرة، بيد أن معياري انحدار سطح الأرض وإنتاجية الأرض من المياه الجوفية قد حصلا على حكم بانهما ذوا أهمية متوسطة مقارنة بالمعايير السابقة، وقد استخرج المتوسط الموزون لاستجابة العينة حول جميع البدائل من أجل اشراك جميع المحكمين في عملية اتخاذ القرار من جانب، فضلا عن الحصول على مقياس AHP لكل معيار من جانب آخر. ينظر الجدول (25).

الجدول (25): نتائج الاستبيان لأهمية المعايير الداخلة في ملاءمة الأرض على التوسع المساحي الحضري لقضاء سهل أربيل لعام 2019

مقياس الأهمية	قيمة AHP	عدد الاستجابات				
		القرب من الأرض الحضرية	البعد عن الأراضي ذات القابلية والملاءمة الزراعية العالية	القرب من طرق النقل الرئيسة	انحدار سطح الأرض	إنتاجية الأرض من المياه الجوفية
قليلة	1	0	1	0	5	10
متوسطة	3	0	2	0	88	89
كبيرة	5	3	10	91	7	1
كبيرة جدا	7	89	87	9	0	0
مطلقة	9	8	0	0	0	0
المجموع		100	100	100	100	100
المتوسط الموزون لاستجابات العينة على قيمة الأهمية		7.1	6.66	5.18	3.04	2.82

المصدر: عمل الباحث، اعتمادا على الجدول (16) والملحق (13).

4-1-7-3-2 بناء مصفوفة المقارنة الزوجية

Building the Matrix of Matrix Comparison

قبل الشروع في بناء مصفوفة المقارنة الزوجية، يجب تعديل المتوسط الموزون لاستجابات العينة بدلالة قيمة الأهمية النسبية لكل معيار، أي تصحيح القيم الحقيقية Flout للمتوسط الموزون لاستجابات العينة إلى أقرب قيمة صحيحة Integer من مقياس AHP، ذلك من أجل تبسيط عملية المقارنة الزوجية في المصفوفة، ينظر الجدول (26).

الجدول (26): تقريب المتوسط الموزون لاستجابات العينة إلى أقرب قيمة في مقياس AHP

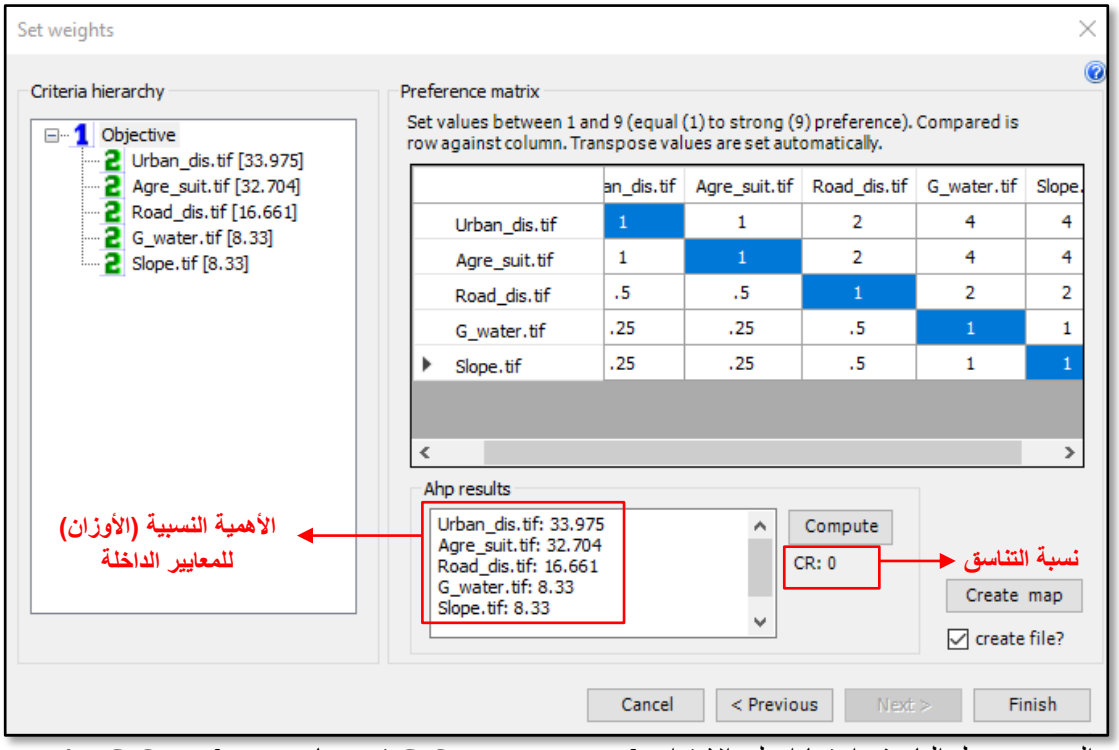
ت	المعايير	المتوسط الموزون لاستجابات العينة على قيمة الأهمية	التصحيح إلى مقياس AHP
1	القرب من الأرض الحضرية	7.1	7
2	البعد عن الأراضي ذات القابلية والملاءمة الزراعية العالية	6.66	7
3	القرب من طرق النقل الرئيسة	5.18	5
4	انحدار سطح الأرض	3.04	3
5	إنتاجية الأرض من المياه الجوفية	2.82	3

المصدر: عمل الباحث، اعتمادا على الجدول (17) والملحق (13).

وقد اعتُمد على الامتداد Extension GIS Decision Tools التابع لبرنامج ArcGIS Desktop 10.6.1 الذي اعتمد عليه سابقا في دعم القرار المكاني لملاءمة الأرض على زراعة المحاصيل الاستراتيجية، في بناء مصفوفة المقارنة الزوجية للبدائل المرتبط بالمعايير.

وبعد بناء مصفوفة المقارنة الزوجية الخاصة بملاءمة الأرض على التوسع المساحي الحضري، تم الحصول على نسبة تناسق قريبة من المثالية للأحكام قيمتها (0002)، ينظر الشكل (44) والجدول (27)، والملحق (14-3).

الشكل (44): مصفوفة المقارنة الزوجية في الامتداد GIS Decision Tools لملاءمة الأرض على التوسع المساحي الحضري في قضاء سهل أربيل لعام 2019



المصدر: عمل الباحث، اعتمادا على الامتداد GIS Decision Tools في برنامج ArcGIS Desktop 10.6.1و الجدول (26).

الجدول (27): الأوزان المطلقة والأهمية النسبية للمعايير الداخلة في الـ AHP لملاءمة الأرض على التوسع المساحي الحضري في قضاء سهل اربيل لعام 2019

ت	المعايير	القيمة الوزنية Σwi	
		الوزن المطلق Score	الأهمية النسبية %
1	القرب من الأرض الحضرية	0.33975	33.975
2	البعد عن الأراضي ذات القابلية والملاءمة الزراعية العالية	0.32704	32.704
3	القرب من طرق النقل الرئيسة	0.16661	16.661
4	انحدار سطح الأرض	0.0833	8.33
5	إنتاجية الأرض من المياه الجوفية	0.0833	8.33
	المجموع	1	100

المصدر: عمل الباحث، اعتمادا على الامتداد GIS Decision Tools في برنامج ArcGIS Desktop 10.6.1و الجدول (26).

8-1-4 تطوير أداة لنمذجة ملاءمة الأرض على التوسع المساحي الحضري

Developing a tool for Modeling land Suitability for Urban Spatial Expansion

من أجل اختصار إجراءات دعم القرار المكاني عند تطبيقه مرة اخرى على حيز مكاني مشابه لقضاء سهل أربيل، تم تطوير أداة لنمذجة ملاءمة الأرض على التوسع المساحي الحضري تحتوي في بنيتها على الأوزان التي تم استحصالها من دعم القرار المكاني، وبذلك سوف تفيد الأداة المطورة في نمذجة التوسع المساحي الحضري لأي حيز مكاني مشابه للظروف المكانية لقضاء سهل أربيل.

تعمل الأداة المطورة على جبر الخرائط الموزون للمتغيرات المنتخبة لملاءمة الأرض على التوسع المساحي الحضري التي تم تقييسها سابقا، وبقرارات مدعومة مكانيا، ثم إنتاج أنموذج خرائطي ذي أصناف موصوفة لمستويات ملاءمة الأرض على التوسع المساحي مع جدول بيانات وصفية يحتوي على الأصناف بمساحات محسوبة بالكم^2، وقد سميت الأداة استنادا على الوظيفية التي تقوم بها ألا وهي Urban Spatial Expansion Suitability، كما أُختبرت الأداة المطورة بمقارنة نتائجها مع ذات النتائج التي استُحصلت من نمذجة ملاءمة التوسع المساحي الحضري بالطريقة النصف آلية لقضاء سهل أربيل، وتمخض عن ذلك نتائج متماثلة. احتوت الأداة المطورة على مجموعة من المُعاملات Parameters على النحو الآتي:-

1- المُعامل Input Urban Distance Raster: ومنه يتم إدخال أنموذج المسافة الاقليدية عن الأراضي الحضرية بالصيغة الخلوية، بعد تقييسه.

2- المُعامل: Input Crops Suitability or Agricultural Land Capability raster ومنه يتم إدخال أنموذج ملاءمة الأرض على زراعة المحاصيل الاستراتيجية أو أنموذج قابلية الأرض على الإنتاج الزراعي، فإذا أراد المستخدم ان يأخذ بنظر الاعتبار قابلية الأرض على الإنتاج بوصفها تقيما عاما للأرض الزراعية، ومن ثم استدامة الأرض بمنظور قدرتها على إنتاج جميع المحاصيل، يمكنه إدخال أنموذج قابلية الأرض على الإنتاج الزراعي، أما إذا اراد المستخدم ان يأخذ بنظر الاعتبار استدامة الأرض الزراعية بمنظور ملاءمتها على زراعة المحاصيل الاستراتيجية فقط، بوصفها المحاصيل الاكثر أهمية في الدول النامية، فيمكنه إدخال أنموذج ملاءمة الأرض على زراعة المحاصيل الاستراتيجية، وفي كلتا الحالتين يجب تقييس الأنموذج المُدخل أولا.

3- المُعامل Input Distance from Roads raster: ومنه يتم إدخال أنموذج المسافة الاقليدية عن طرق النقل الرئيسة المتوطنة في الحيز المكاني لمنطقة الدراسة، بعد تقييسه.

4- المُعامل Input Slope raster: ومنه يتم إدخال أنموذج انحدار سطح الأرض بعد تقييسه.
5- المُعامل Input Ground Water raster: ومنه يتم إدخال أنموذج إنتاجية الأرض من المياه الجوفية بعد تقييسه.
6- المُعامل Input Pixel Size، ومنه يتم إدخال قيمة الدقة المكانية Spatial Resolution للوحدة الصورية بصيغة رقم Digit؛ إذ إن الغاية من هذا المُعامل هو لغرض الحساب الآلي لمساحة أصناف الملاءمة بالكم^2، وادراجها في جدول البيانات الوصفية بحقل تحت عنوان Area Sq Km.
7- المُعامل Output Non class raster: ومنه يتم إخراج أنموذج الملاءمة قبل عملية تصنيفه، والغاية من وضع هذا المُعامل هو للحصول على أنموذج ملاءمة ذات سطح مستمر غير مصنف، يمكن الإفادة منه في تطبيقات أكثر تقدماً في نظم المعلومات الجغرافية، مثل إدخاله كحدود شرطية للمحاكاة الخرائطية للتنبؤ بمستقبل استعمالات الأرض.
8- المُعامل Output Suitability raster: ومنه يتم إخراج أنموذج الملاءمة النهائي ذات الأصناف الموصوفة وبمساحات محسوبة، بوصفه وثيقة مكانية لمشهد ملاءمة الأرض على التوسع المساحي الحضري للمنطقة الهدف. وقد تم تصنيف مستويات الملاءمة استنادا على الطريقة الخرائطية Cartographic Classification Method المعنية بالفترات المتساوية Equal Intervals التي تعمل على تصنيف البيانات خرائطيا بفئات متساوية المدى، وتستخدم هذه الطريقة عادة عندما يكون حدود البيانات معلوم (اقل قيمة واعلى قيمة) عند تكرار عملية التصنيف[1]، وبما أن أنموذج الملاءمة ذو سطح مستمر بوحدات صورية محصورة بين الـ 1 والـ 10، وهذه القيم حتميا هي نتاج لعملية المضاهاة الطبقية الموزونة جبريا لمجموعة من المعايير المُقيسة مسبقا بين القيمة (1) كأقل جذب للتوسع المساحي الحضري، والقيمة (10) كأعلى جذب لذات التوسع، فبالتأكيد ستكون نتيجة المضاهاة الطبقية محصورة بين القيمتين المذكورتين، وعلى هذا الأساس تم تقسيم المدى على (3) فئات تعبر عن مستويات الملاءمة للتوسع المساحي الحضري، ينظر الجدول (28) والشكل (45) والخريطة (55) والملحقين (5-5) و(16).

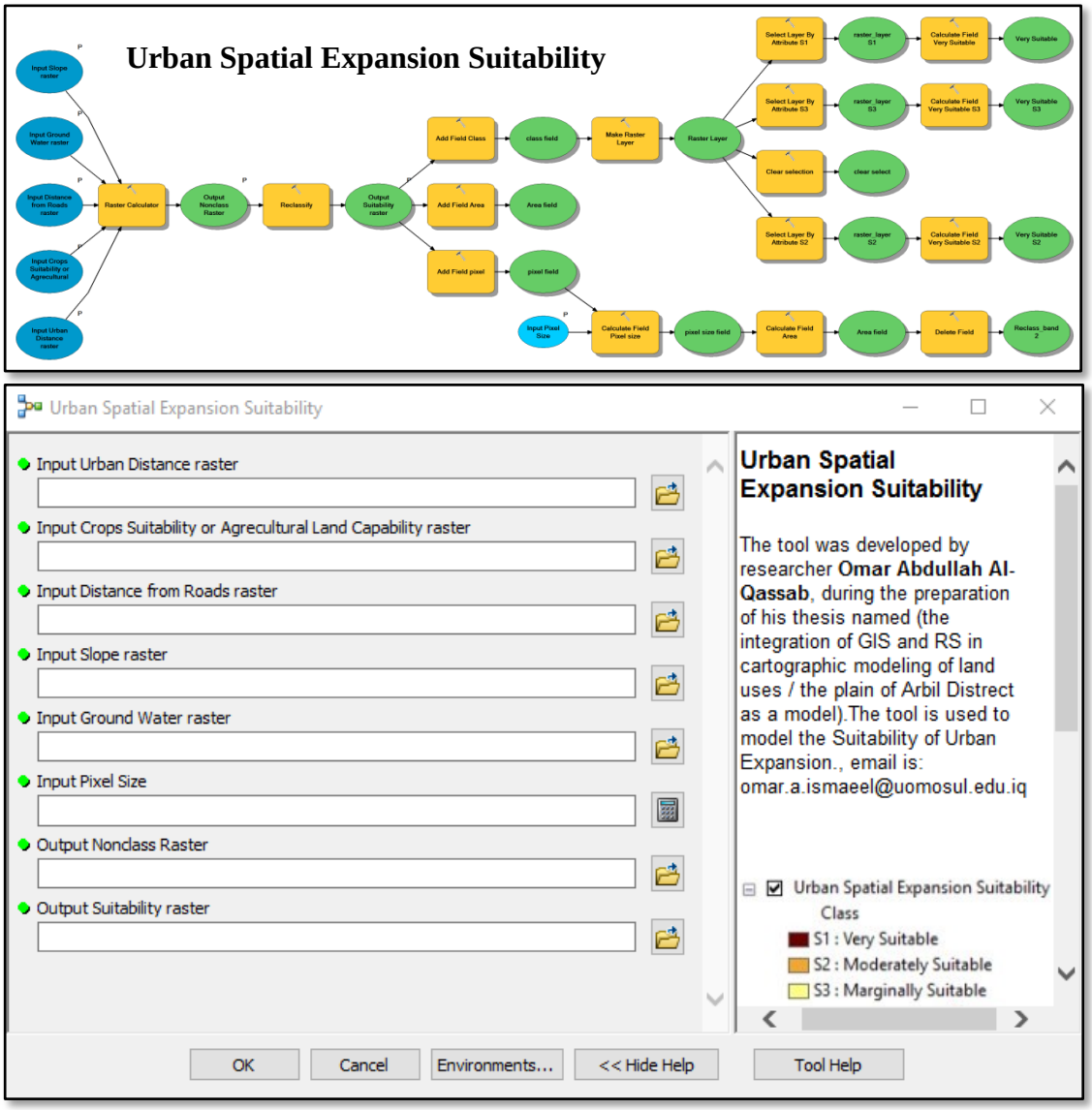
(1) Time Ormsby, et al., op cit., P.131.

الجدول (28): الحدود الرقمية لمستويات ملاءمة الأرض على التوسع المساحي الحضري للأنموذج الخرائطي الذي تنتجه الأداة المطورة Urban Spatial Expansion Suitability

ت	الفئات الرقمية	مستوى الملاءمة
1	1 – 3.333	ملاءمة ضعيفة
2	3.334 – 6.666	ملاءمة معتدلة
3	6.667 – 10	ملاءمة كبيرة

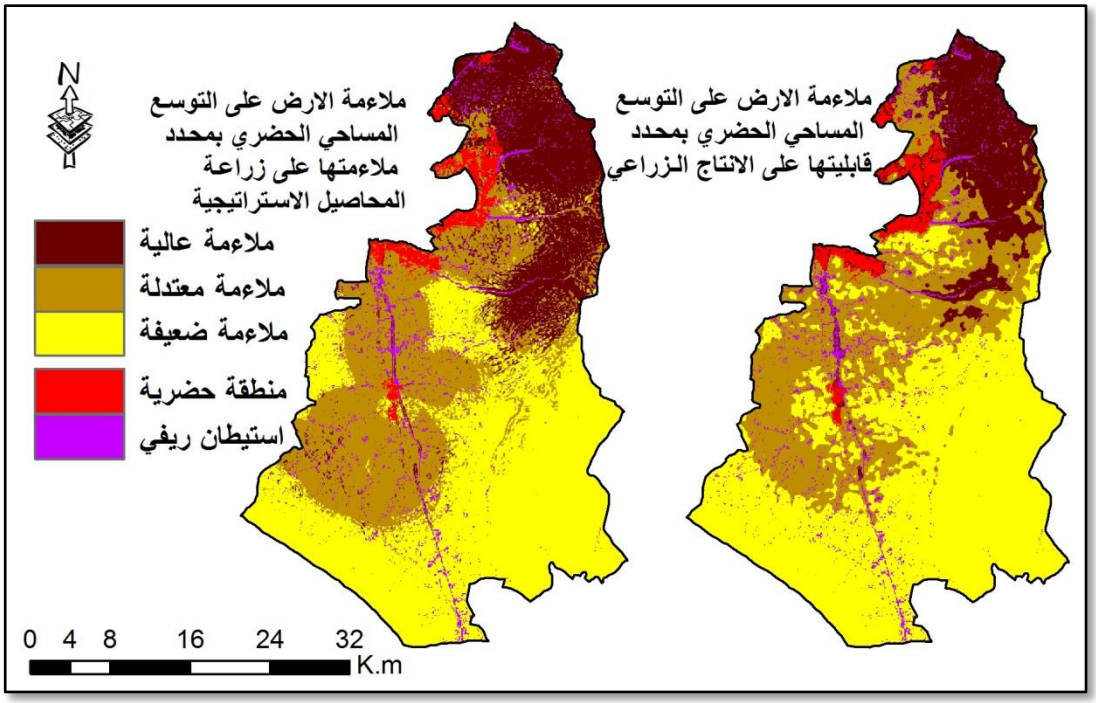
المصدر: عمل الباحث.

الشكل (45): الأنموذج المفاهيمي والأداة المطورة الخاصة بنمذجة ملاءمة الأرض على التوسع المساحي الحضري Urban Spatial Expansion Suitability في برنامج ArcGIS desktop 10.6.1



المصدر: عمل الباحث، اعتمادا على برنامج ArcGIS Desktop 10.6.1 والملحقين (5-5) و(16).

الخريطة (55): نماذج ملاءمة الأرض على التوسع المساحي الحضري بمحدد قابلية الأرض على الإنتاج الزراعية وملامح ملاءمتها على زراعة المحاصيل الاستراتيجية في قضاء سهل أربيل لعام 2019



المصدر: عمل الباحث، اعتماد على الأداة Urban Spatial Expansion Suitability المطورة في برنامج ArcGIS Desktop 10.6.1 والخريطة (54).

أفصحت النماذج الخرائطية عن اختلاف في أنماط توزيع مستويات ملاءمة الأرض على التوسع المساحي الحضري، على الرغم من وجود تشابه نسبي عام بين التوزيعين، مع تباين واضح في مساحة كل صنف من مستويات الملاءمة، نحو انخفاض مساحة صنفي الملاءمة العالية والمعتدلة وزيادة صنف مستوى الملاءمة الضعيفة عند الأخذ بنظر الاعتبار قابلية الأرض على الإنتاج الزراعي مقارنة بملامح ملاءمة الأرض على زراعة المحاصيل الاستراتيجية. ويعزى ذلك إلى أن قابلية الأرض على الإنتاج تأخذ في الاعتبار متطلبات جميع المحاصيل الزراعية، في حين ان ملامح ملاءمة الأرض على زراعة المحاصيل الاستراتيجية، قد اخذت بنظر الاعتبار متطلبات محاصيل القمح والشعير والذرة الصفراء فقط، متجاهلة بذلك متطلبات المحاصيل الأُخرى سواء كانت حبوباً أم خضراوات.

وفي ضوء ما تقدم يمكن مناقشة أصناف ملاءمة الأرض على التوسع المساحي الحضري في قضاء سهل أربيل لعام 2019 على النحو الآتي:-

1- الملاءمة العالية S1: Very Suitable، شكل هذا الصنف مساحة قدرها 170.55 كم^2 وبنسبة 13.07% عند الأخذ بنظر الاعتبار القابلية الإنتاجية الزراعية للأرض، في حين

شكل مساحة الصنف ذاته نحو 249 كم^2 بنسبة 19.08% عند الأخذ بنظر الاعتبار ملاءمة الأرض الزراعية للمحاصيل الاستراتيجية، وقد توطن هذا الصنف في الجزء الشمالي الشرقي من قضاء سهل أربيل في الخريطتين كلتيهما، حيث المناطق الابعد عن الأراضي الزراعية الخصبة والأقرب إلى المناطق الحضرية في قضاء سهل أربيل، مع سيادة أرض ذات منحدرات تتطلب كلفة مرتفعة عند تحويلها إلى أرض حضرية. بلغ هذا الصنف مساحة قدرت بنحو 3 أضعاف مساحة الأرض الحضرية البالغة 41.42 كم^2 عام 2019 وبواقع 170.55 كم^2 عند أنموذج ملاءمة التوسع المساحي الحضري بمحدد قابلية الأرض على الإنتاج الزراعي، في حين بلغ الصنف ذاته مساحة قدرت بـ 5 أضعاف المساحة الحضرية ذاتها وبواقع 249 كم^2 عند أنموذج ملاءمة التوسع المساحي الحضري بمحدد ملاءمة الأرض على زراعة المحاصيل الاستراتيجية. ينظر الجدول (29).

الجدول (29): مساحة مستويات ملاءمة الأرض على التوسع المساحي الحضري في قضاء سهل أربيل بمحددات قابلية الأرض على الإنتاج الزراعي وملامح ملاءمتها على زراعة المحاصيل الاستراتيجية لعام 2019

مستويات ملاءمة الأرض على التوسع المساحي الحضري	قابلية الأرض على الإنتاج الزراعي		ملامح ملاءمة الأرض على زراعة المحاصيل الاستراتيجية	
	المساحة بالكم^2	المساحة%	المساحة بالكم^2	المساحة%
ملاءمة عالية	170.55	13.07	249	19.08
ملاءمة معتدلة	367.03	28.12	385.97	29.57
ملاءمة ضعيفة	670.32	51.35	572.93	43.89
منطقة حضرية	41.42	3.17	41.42	3.17
استيطان ريفي	55.97	4.29	55.97	4.29
المجموع	1305.3	100	1305.3	100

المصدر: عمل الباحث، اعتمادا على الخريطة (55).

وهذا يعني أن هناك فائضاً في صنف الملاءمة العالية للتوسع المساحي الحضري يكفي لزيادة سكانية نحو أكثر من 3 أضعاف عدد سكان الحضر المقدر عام 2019 بمحدد قابلية الأرض على الإنتاج الزراعي، مقابل أكثر من 5 أضعاف لذات العدد المقدر، بمحدد ملامح الأرض على زراعة المحاصيل الاستراتيجية إن أُخذ جدلا أن التقديرات السكانية دقيقة، يراجع الجدولان (23) و(24).

2- الملاءمة المعتدلة S2: Moderately Suitable، يعد هذا الصنف أقل ملاءمة على التوسع المساحي الحضري من الصنف السابق، لتوطنه على القسم الأكبر من اراضي زراعية ذات قابلية إنتاجية متوسطة، فضلا عن ملاءمة متوسطة على زراعة المحاصيل الاستراتيجية، تشغل هذه الأراضي مساحة قدرها 367.03 كم^2 وبنسبة 28.12% من مجموع مساحة قضاء سهل أربيل، إذا ما استثنيت مساحة المنطقة الحضرية والاستيطان الريفي البالغة مجموعهما 97.4 كم^2 عند أنموذج ملاءمة الأرض على التوسع المساحي الحضري بمحدد قابلية الأرض على الإنتاج الزراعي، أي ما يعادل نحو 8 أضعاف المساحة الحضرية في قضاء سهل أربيل، مقابل الاضعاف ذاتها التي شكلها ذات الصنف عند مشهد التوسع المساحي الحضري بمحدد ملاءمة الأرض على زراعة المحاصيل الاستراتيجية، وبواقع 385.97 كم^2، أي ما يعادل 29.57% من مجموع مساحة القضاء، ويمكن عده صنف الملاءمة المعتدلة مخزونا أرضيا احتياطيا يمكن الإفادة منه عند التوسع المساحي الحضري في المستقبل البعيد، يراجع الجدول (29).

3- ملاءمة ضعيفة S3: Marginally Suitable، يمثل هذا الصنف أقل المناطق ملاءمة على التوسع المساحي الحضري في قضاء سهل أربيل، لأسباب مختلفة منها ما يتعلق ببعد المناطق المتوطنة في هذا الصف عن الأراضي الحضرية، وكذلك بعدها عن طرق النقل الرئيسة، والاهم من ذلك توطن مساحات كبيرة للأصناف العليا من قابلية الأرض على الإنتاج الزراعي وملامح ملاءمتها على زراعة المحاصيل الاستراتيجية فيها، وان أي استخدام حضري لهذه الأراضي سوف يؤدي بالنتيجة إلى فقدان اراض زراعية ذات جودة عالية لا يمكن تعويضها أبدا، وتشغل هذه الأراضي عند أنموذج التوسع المساحي الحضري بمحدد قابلية الأرض على الإنتاج 51.35% من المساحة الكلية للقضاء سهل أربيل بواقع 670.32 كم^2، يقابلها عند الصنف ذاته نحو 43.89% من مساحة القضاء وبواقع 572.93 كم^2 في أنموذج التوسع المساحي الحضري بمحدد ملامح ملاءمة الأرض على زراعة المحاصيل الاستراتيجية. وهذا يعني ان نصف مساحة القضاء تقريبا هي ذات أراضٍ زراعية خصبة لا يجب استخدامها للأغراض الحضرية إن أُريد استدامة الأرض الزراعية بوصفها ثروة قومية لا يمكن تعويضها في حال فقدانها، يراجع الجدول (29).

4-2 المحاكاة الخرائطية لمستقبل التوسع المساحي الحضري في قضاء سهل أربيل حتى عام 2029

Cartographic Simulation for the future of Urban Spatial Expansion in the Erbil Plain Until 2029

لقد تقدمت التقنيات الجغرافية على نحو هائل في بناء النماذج الرياضية وتنفيذها، مقارنة بما قدمته الثورة الكمية والمعلوماتية التي حدثت أبان القرن المنصرم، هذا التقدم كان مدفوعا في تغير قدرة الجغرافيين على تجسيد الحيز المكاني رقميا، إلا أن الفكر الدؤوب حول الجغرافيا يجب ان تكون أكثر تقدما مما كانت عليه، قد ادى إلى تطورات دراماتيكية في كيفية تصور المكان. ومع تطور نظم المعلومات الجغرافية بذلت محاولات مختلفة للتوسع في بيئات البرمجيات الجديدة من خلال إضافة إجراءات محددة لعملية المحاكاة المستقبلية، ذلك للاستجابة إلى معالجة المشكلات الجغرافية المعاصرة، كمستقبل التوسع المساحي الحضري [1].

تعرف المحاكاة Simulation بأنها تقليد أو تمثيل لعمل نظام حقيقي عبر مدة زمنية معينة، وانها تعمل على توليد تاريخ مصطنع للنظام؛ إذ يستخدم الحدث المشتق من المحاكاة لاستنتاج التغيرات والتفاعلات المختلفة التي قد تطرأ على النظام في حال اجرائها عليه في الواقع[2]، فاذا كان الأنموذج يعبر عن تجسيد مادي أو رياضي لنظام ما (ظاهرة)، فإن المحاكاة هي طريقة لتشغيل الأنموذج عبر الزمن[3].

بيد أن الغرض الرئيس من المحاكاة هو لمنع الاستخدام غير الكافي أو المفرط للموارد؛ إذ يتم تشغيلها في هذا المجال بدلا من الظاهرة الحقيقية للتقليل من مسألة عدم اليقين في سلوك الظاهرة الذي يأخذ سياق معين، كالتوسع المساحي الحضري المزمن، لذلك تتطلب المحاكاة

---

(1) Michael Batty, Modeling and Simulation in Geographic Information Science: Integrated Models and Grand Challenges, Procedia-Social and Behavioral Sciences, Vol. 21, 2011, p. 10.

(2) عدنان ماجد عبد الرحمن بري، النمذجة والمحاكاة باستخدام Excel, SIMAN, Arena and General Purpose Simulation System (GPSS WORLD)، جامعة الملك سعود، 2002، رابط الانترنت: http://www.abarry.net/or/SimulationBook.pdf

(3) James E. Coolahan, An Introduction to the Use of Modeling and Simulation Throughout the Systems Engineering Process, 2012, p. 5. Internet link: https://02f0a56ef46d93f03c90-22ac5f107621879d5667e0d7ed595bdb.ssl.cf2.rackcdn.com/sites/785/uploads/7422/Guide_to_Use_of_M-S_In_SE20151028-12012-mzlpec.pdf

بدورها أنموذجاً رياضياً خاصاً مطوراً حاسوبياً، يشمل المدخلات والمخرجات مع أخذ عنصر الزمن بنظر الاعتبار[1].

من هنا يمكن القول إن المحاكاة الخرائطية Cartographic Simulation هي عملية تطوير أنموذج خرائطي ارشادي ديناميكي لمستقبل حيز مكاني ما، وفقا لسيناريوهات مختلفة، بهدف فهم التغيرات والتفاعلات المكانية المحتملة التي تطرأ على الحيز المكاني ذاته عبر الزمن.

و نتيجة للتحضر السريع المؤدي إلى توسع مساحي غير مسيطر عليه في الدول النامية، اصبح قضية خطيرة على نحو متزايد، من حيث ارتفاع خسارة الأراضي الزراعية المجاورة ذات الأصناف الجيدة، ومن أجل فهم نتائج هذا التوسع للمناطق الحضرية في المستقبل، ظهرت المحاكاة باستخدام أنموذج الأتمتة الخلوية CA لغرض الكشف عن سيناريو التوسع الأفضل للمناطق الحضرية[2]، إلا أن هذا الأنموذج غير قادر على محاكاة النمو الحضري بالشكل الامثل، لكونه يركز على وظائف الجوار فقط (قواعد الانتقال Transition Rules) [3]. لذلك دأب العلماء على دمج أنموذج الأتمتة الخلوية بنماذج رياضية أخرى لها قدرة أفضل على التنبؤ، فكان دمج أنموذج الشبكات العصبية الاصطناعية ANN العائد إلى الذكاء الاصطناعي بأنموذج الأتمتة الخلوية CA من ابرز نماذج المحاكاة المركبة واحدثها واكثرها فاعلية ودقة في التنبؤ بمستقبل التوسع المساحي الحضري مقارنة بنماذج المحاكاة الأُخرى[4].

(1) Anu Maria, Introduction to Modeling and Simulation, Proceedings of the 29th conference on Winter simulation, 1997, p.p. 7-13.

(2) Salem S. Gharbia, et al., Land use scenarios and projections simulation using an integrated GIS cellular automata algorithms, Modeling Earth Systems and Environment, Vol. 2, No. 3, 2016, p. 2.

(3) Jinyao Lin and Xia Li, Simulating urban growth in a metropolitan area based on weighted urban flows by using web search engine, International Journal of Geographical Information Science, Vol. 29, No. 10, 2015, p. 1722.

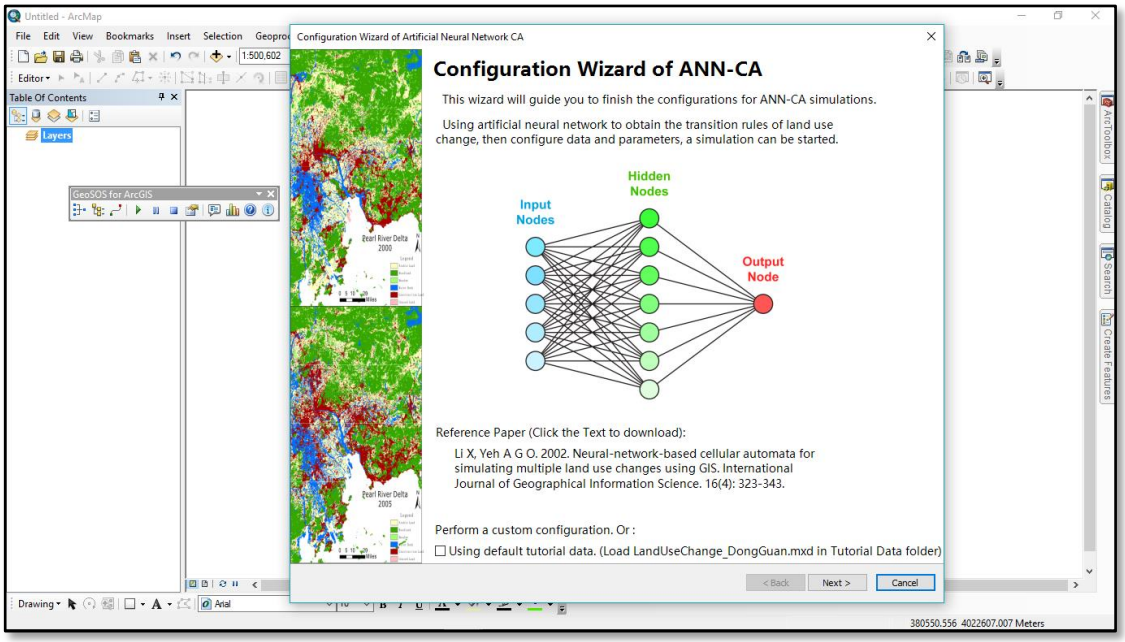
(4) Maher Milad Aburas, et al., Spatio-temporal simulation and prediction of land-use change using conventional and machine learning models: a review, Environ Monit Assess, Environmental monitoring and assessment, Vol. 191, No. 4, 2019, p. 9.

4-2-1 أنموذج المحاكاة المستخدم للتنبؤ بمستقبل التوسع المساحي الحضري

The Simulation Model used to Predict the future of Urban Spatial Expansion

اعتمد على أنموذج المحاكاة المركب من الأتمتة الخلوية والشبكات العصبية الاصطناعية ANN-CA للتنبؤ بمستقبل التوسع المساحي الحضري في قضاء سهل أربيل حتى عام 2029، وهو متوفر ضمن الامتداد GeoSOS Extension[*] الذي طوره فريق عمل صيني وعملوا على إجراء تحديثات له حتى عام 2018، ليعمل مع بيئة نظم المعلومات الجغرافية ضمن برنامج ArcGIS Desktop مع الاصدارة 10.2 وكذلك الاصدارات الأحدث[1]، ينظر الشكل (46).

الشكل (46): أنموذج المحاكاة ANN-CA في الامتداد GeoSOS ضمن برنامج ArcGIS Desktop 10.6.1



المصدر: http://www.geosimulation.cn

يعمل أنموذج المحاكاة ANN-CA وفقا لقوانين الانتقال المشابهة لمبدأ لعبة الحياة Game of Life في الأتمتة الخلوية CA (يراجع موضوع النمذجة الخرائطية والأتمتة الخلوية ص 40)، مع تحكم ذكي في قوانين الانتقال من لدن الشبكة العصبية المدمجة به. هذه الشبكة العصبية تعمل بدورها على دراسة تغير التوسع المساحي الحضري على الأنموذج الخرائطي بالصيغة الخلوية Raster في مدتين زمنيتين ماضيتين والتدرب عليهما، ثم تتنبأ بنموذج خرائطي

(*) GeoSOS هي اختصارا لـ **Geo**graphic **S**imulation and **O**ptimization **S**ystems نظم المحاكاة والتحسين الجغرافي.

(1) http://www.geosimulation.cn

ثالث في مدة زمنية لاحقة (سنة الأساس)، وفي خطوة ثانية تعمل على مقارنة الأنموذج الخرائطي المنتج مع أنموذج خرائطي حقيقي في المدة الزمنية ذاتها المتنبئ بها، ثم تُعاير النتائج Calibrated على أساسه للتنبؤ بالأنموذج الهدف.

وعلى الجانب الاخر، تعمل الشبكة العصبية على استقبال حدود شرطية Boundary Condition للتحكم في سيناريو التوسع المساحي الحضري بدلالة تلك الحدود، بمعنى آخر، يتم التعبير عن صنف المساحة الحضرية كأحد أصناف استعمالات الأرض في الأنموذج الخرائطي كمتغير تابع، في حين يمثل الأنموذج الخرائطي المعني بملاءمة الأرض على التوسع المساحي الحضري كمتغير مستقل يعمل على توجيه التوسع المساحي الحضري عند عملية المحاكاة نحو سيناريو معين، كما يقيس المتغير التابع (ملاءمة الأرض على التوسع المساحي الحضري) بالمنطق المضبب Fuzzy Logic في احدى الدوال الرياضية الخاصة بالتضبيب Fuzzification، بما يتناسب مع المفاهيم الجغرافية المعتمدة في عملية المحاكاة، ذلك للحصول على مديات عددية محصورة بين الـ 0 والـ 1، من أجل توجيه التوسع الحضري نحو ذات السيناريو، وبذلك يمثل الرقم 1 في الوحدة الصورية أعلى قيمة لتحويل استعمالات الأرض إلى أرض حضرية، في حين يمثل الرقم 0 أقل قيمة لتحويل الأرض إلى أرض حضرية، وهكذا تكون عملية تحويل الوحدة الصورية من استعمال ما إلى استعمال حضري بما يتناسب مع نظام الأتمتة الخلوية من جانب، والتحكم في قوانين الانتقال بالذكاء الاصطناعي من جانب آخر.

ويتم التعبير رياضيا عما ذكر، وفقا للمعادلات الآتية[1]:-

$$X= [x_1,x_2, \ldots . x_n]^T$$

إذ إن:

(x_i) هي العصبون Neuron (i) في طبقة الإدخال.

أما في الطبقة المخفية تقدر الإشارة المستلمة من العصبون (j) من عصبونات الإدخال على خلية الشبكة p عند الزمن t، كما في المعادلة الآتية:

$$net_j\ (p,t) = \sum_i w_{ij}\ \times\ x_i\ (p,t)$$

إذ إن:

$net_j\ (p,t)$ هي الإشارة المستلمة من لدن العصبون (j) في الطبقة المخفية، $x_i\ (p,t)$ هو المتغير $(i\ th)$ المرتبط بعصبون الإدخال (i) على خلية الشبكة (p) عند زمن التدريب (t)، أما

(1) Xiaoping Liu, et al., A future land use simulation model (FLUS) for simulating multiple land use scenarios by coupling human and natural effects, Landscape and Urban Planning, Vol. 168, 2017, p. 97.

(w_{ij}) فهي الوزن التكيفي ما بين طبقة الإدخال والطبقة المخفية التي يتم معايرتها في أثناء عملية التدريب.

كما إن العلاقة ما بين الطبقة المخفية وطبقة الإخراج تتحدد بدالة التفعيل الجيبية Sigmoid التي تكون فاعلة في بناء علاقة ارتباط ما بين الطبقة المخفية وطبقة الإخراج، كما في المعادلة الآتية:

$$\text{Sigmoid}\left(net_j\ (p,t)\right) = \frac{1}{1+e^{-net_{j(p,t)}}}$$

إذ إن:

كل عصبون في الطبقة الخارجية يقابل نوع استخدام أرض معينة، أما قيمة العصبون $(i\ th)$ في طبقة الإخراج تولد قيمة تمثل احتمالية حدوث نوع استخدام أرض $(i\ th)$ على الوحدة الصورية؛ إذ تشير القيمة العالية بأن الوحدة الصورية المخصصة، لها احتمالية حدوث أعلى لنوع استخدام الأرض الهدف واحتمالية حدوث استخدام الأرض نوع (k) على الوحدة الصورية (p) عند زمن التدريب (t)، ويعبر عنها بقيمة الـ P(p,k,t) التي تقدر طبقا للمعادلة الآتية:

$$\text{P(p,k,t)} = \sum_j w_{j,k} \times sigmoid\ \left(net_j(p,t)\right) = \sum_j w_{j,k}\ \times \frac{1}{1+e^{-net_{j(p,t)}}}$$

إذ إن:

$(w_{j,k})$ هو الوزن التكيفي ما بين الطبقة المخفية وطبقة الإخراج وبشكل مشابه للـ (w_{ij}) الذي يتم معايرته في أثناء عملية التدريب، وبعد عملية التدريب، تتم معايرة كل من (w_{ij}) و$(w_{j,k})$ ثم معايرتهما مرة ثانية باستخدام قواعد بيانات التدريب، وبعد بناء أنموذج الشبكة العصبية الاصطناعية، يمكن استخدامها لتقدير احتمالية حدوث صنف الاستعمال الحضري من بقية استعمالات الأرض الأُخرى في وحدة صورية معينة.

4-2-2 تحديد سيناريوهات التوسع المساحي الحضري حتى عام 2029

Define Scenarios for Urban Spatial Expansion until 2029

يعد السيناريو Scenario أداة فاعلة لتوسيع وجهات النظر وطرح الاسئلة وتحدي التفكير التقليدي حول المستقبل، أي إنه صورة ممكنة للمستقبل تشير إلى "ما يمكن للعلم قوله وما لا يمكنه قوله" حول الخيارات المستقبلية للسياسة المتبعة من صناع القرار[1]، لذلك فهي تمكن المخططين وصناع القرارات من التوقع واستكشاف المستقبل المحتمل وتقييم العواقب

(1) Olivier Therond, et al., Methodology to translate policy assessment problems into scenarios: the example of the SEAMLESS integrated framework, Environmental Science & Policy, Vol. 12, No. 5, 2009, p. 620.

المرتبطة به جراء استراتيجيات السياسة المختلفة، فضلا عن أن السيناريو – على نحو عام – مفيد للذين يحتاجون إليه من أجل التعامل مع التحديات المتوقعة والإفادة من الفرص المتوقعة ايضا[1].

والسيناريوهات على نوعين، إما أن تكون تنبؤيه Predictive Scenarios تعمل على استكشاف المستقبل المحتمل، استنادا على دراسة التغيرات الماضية مع الحاضر من جانب، والتنبؤ بالمستقبل في حال تكرار الظروف الماضية ذاتها من جانب آخر. وإما أن تكون معيارية Standard Scenarios تعمل على استكشاف المستقبل المفضل، استنادا على دراسة التغيرات الماضية مع الحاضر من جانب، وإدخال حدود شرطية Boundary Condition كمتغيرات مستقلة توجه الحدث نحو سياق مرغوب به من جانب ثان، ثم التنبؤ بالمستقبل عند السياق ذاته من جانب ثالث، لذلك يسمى هذا النوع من السيناريوهات بـ (ماذا لو What if)[2].

وفي ضوء ما ذُكر، تم تحديد ثلاثة سيناريوهات للتوسع المساحي الحضري المحتمل في قضاء سهل أربيل حتى عام 2029، بمنظور استدامة الأراضي الزراعية المتوطنة فيه عند استخدام أنموذج المحاكاة ANN-CA، على النحو الآتي:-

1- السيناريو (1): وهو سيناريو معياري يقتضي وجوب التوسع المساحي الحضري لمراكز نواحي قضاء سهل أربيل كنتيجة حتمية للتحضر الناتج عن زيادة عدد سكان الحضر، سواء كان ذلك بالزيادة الطبيعية لسكان النواحي أم بالهجرة السكانية نحو مراكز النواحي بوصفها نويات حضرية مستقطبة للسكان، إلا أن هذا التوسع سوف يأخذ بنظر الاعتبار استدامة الأرض الزراعية لجميع المحاصيل سواء كانت حبوباً أم خضراوات، وعدم التجاوز على الأصناف العليا منها قدر الإمكان، لذلك يجب إدخال الأنموذج الخرائطي المعني بملاءمة الأرض على التوسع المساحي الحضري وفقا لمحدد قابلية الأرض على الإنتاج الزراعي كحد شرطي عند عملية المحاكاة.
2- السيناريو (2): وهو سيناريو معياري أيضا، يقتضي وجوب التوسع المساحي الحضري لمراكز نواحي قضاء سهل أربيل كنتيجة حتمية للتحضر الناتج عن زيادة عدد سكان الحضر، سواء كان ذلك بالزيادة الطبيعية لسكان النواحي ام بالهجرة السكانية نحو مراكز النواحي بوصفها نويات حضرية مستقطبة للسكان، إلا أن هذا التوسع سوف يأخذ بنظر الاعتبار استدامة الأرض الزراعية الصالحة لزراعة المحاصيل الاستراتيجية فقط، من قمح

(1) Lena Bo¨ Rjeson, et al., Scenario types and techniques: Towards a user's guide, Futures, Vol. 38, No. 7, 2006, p. 726.

(2) Olivier Therond, et al., op cit., p. 620.

وشعير وذرة صفراء وعدم التجاوز على الأصناف العليا منها قدر الإمكان على اعتبار أنها تدخل في الامن الغذائي الوطني، لكونها تسهم في تحقيق الاكتفاء الذاتي من الغذاء الرئيس الذي تحتاجه الدول النامية، ومن ضمنها قضاء سهل أربيل في إقليم كوردستان العراق، لذلك يجب إدخال الأنموذج الخرائطي المعني بملاءمة الأرض على التوسع المساحي الحضري وفقا لمحدد ملامح ملاءمة الأرض على زراعة المحاصيل الاستراتيجية، كمحدد شرطي عند عملية المحاكاة.

3- السيناريو (3): وهو سيناريو تنبؤي، يقتضي وجوب التوسع المساحي الحضري لمراكز نواحي قضاء سهل أربيل كنتيجة حتمية للتحضر الناتج عن زيادة عدد سكان الحضر، سواء كان ذلك بالزيادة الطبيعية لسكان النواحي أم بالهجرة السكانية نحو مراكز النواحي بوصفها نويات حضرية مستقطبة للسكان، ولم يأخذ بنظر الاعتبار استدامة الأراضي الزراعية، إنما يكتفي بسياقات التوسع المساحي الحضري التي حدثت بين الماضي والحاضر ثم يعمل على اسقاطها في المستقبل المحدد. لذلك سوف يتطلب أنموذجاً خرائطياً ذا سطح خلوي تكون قيمة الوحدة الصورية فيه تساوي 1 بالمنطق المضبب، كمحدد شرطي عند عملية المحاكاة.

4-2-3 تضبيب الحدود الشرطية للسيناريوهات المعتمدة

Fuzzification of Conditional Boundaries for Supported Scenarios

التضبيب هو عملية تحويل القيم الرقمية الأصلية لمتغيرات الظاهرة الجغرافية (الحدود الشرطية) إلى إمكانية انتماء هذه القيم إلى مجموعة محددة، أي أن القيم الأصلية للمتغير يعاد تصنيفها من خلال دوال عضوية Membership Functions يحددها الباحث اعتمادا على رؤيته الجغرافية لطبيعة المتغير ومدى تأثيره على الظاهرة قيد البحث[1].

يتم التعريف المثالي للعضوية في المجموعة الضبابية من خلال حساب القيم المركزية للبيانات، أي القيم الاكثر تكرارا في المجموعة على المدرج التكراري بالمقياس الضبابي Fuzzy Scale، التي تبلغ قيمتها عند التضبيب (0.5) وهي تسمى بنقطة الانتقال Transition Point. هذه القيمة تعد وسطية ما بين الانتماء التام للمجموعة (1)، والا انتماء (0)، لذلك يتم اتخاذ القرار بمدى انتماء القيم في المجموعة أو صنف ما من خلال نقطة الانتقال، فإذا تحركت القيم المضببة نحو الانخفاض عن نقطة الانتقال، فتقل عندئذ احتمالية انتماء القيم الاصلية للمتغير الجغرافي إلى المجموعة أو الصنف، أما إذا تحركت القيم المضببة

(1) Jana Vojteková & Matej Vojtek, GIS-Based Landscape Stability Analysis: A Comparison of Overlay Method and Fuzzy Model for the Case Study in Slovakia, The Professional Geographer, Vol. 71, No. 4, 2019, p. 4.

نحو الارتفاع عن نقطة الانتقال، ستزيد عندئذ احتمالية انتماء القيم الاصلية للمتغير الجغرافي (الحد الشرطي) إلى المجموعة أو الصنف[1]. إن ما يحدد مدى درجة انتماء العضوية فوق أو دون نقطة الانتقال هي الدوال العضوية، وقد اعتمد في تضبيب الحدود الشرطية للسيناريوهات المحددة آنفا بغية الشروع بعملية المحاكاة في تشغيل الأنموذج ANN-CA، على الدالة العضوية للقيم الكبيرة Fuzzy Large Membership، من بين مجموعة دوال عضوية أدرجها معهد ابحاث النظم البيئية ESRI كأدوات في الامتداد Spatial Analyst التابع لبرنامج ArcGIS desktop 10.X [(*)].

تعمل الدالة Fuzzy Large على تضبيب البيانات المدخلة بذات الصفات الاصلية الموروثة في البيانات، أي أن القيم الأصلية العالية تتحول إلى قيم مضببة عالية؛ إذ تعمل الدالة على رفع احتمالية أن تكون القيم عضوا في المجموعة، والقيم الاصلية الواطئة تتحول إلى قيم مضببة واطئة، أي تعمل الدالة على خفض احتمالية أنْ تكون القيم عضوا في المجموعة[2]، كما في المعادلة الآتية [3]:-

$$\mu(x) = \frac{1}{1 + \left(\frac{x}{f_2}\right)^{f_1}}$$

إذ إن:

(x) = الفئة أو الصنف، $\mu(x)$ = قيمة العضوية في الفئة (x)، (f_2) = نقطة الانتقال، (f_1) = انتشار الدالة Spread of the function، ينظر الشكل (47).

---

(1) Yu N Mironova, Use of fuzzy sets in modeling of GIS objects, Journal of Physics: Conference Series, Vol. 1015, No. 3, 2018, p.5.

(*) هناك دوال عضوية كثيرة في المنطق المضبب غير التي ذكرت في المتن، كالدالة العضوية للقيم الصغيرة Fuzzy Small، الدالة شبه المنحرفة Trapezoidal Function، الدالة الخطية Liner Function، الدالة الجرسية Gaussian Function، الدالة الاسية Monotonic Function، وغيرها من الدوال، كل منها تفيد في حل مشكلة ما، ولم يتطرق اليها الباحث في المتن لعدم استخدامها في هذه الدراسة.

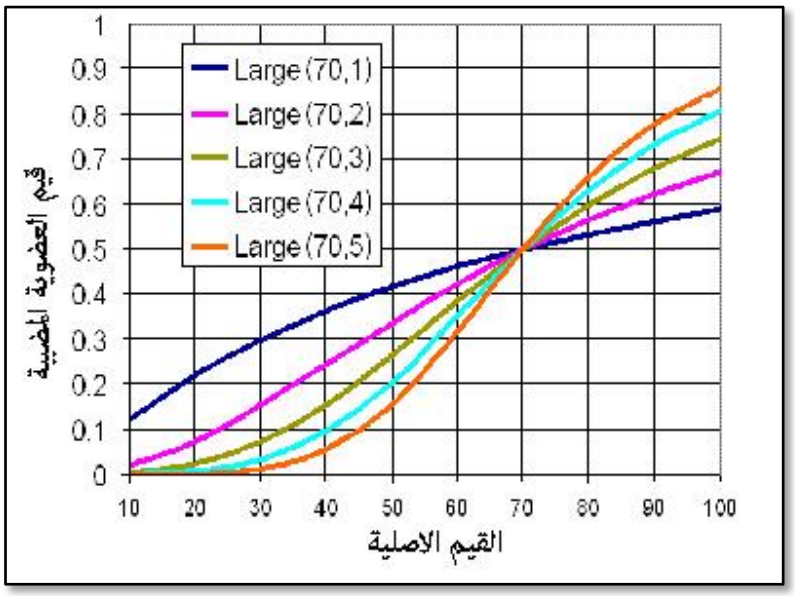
للتفاصيل ينظر:

F. Martin McNeill and Ellen Thro, Fuzzy Logic A Practical Approach, Academic Press, New York, USA, 1994.

(2) Theodosios Kritikos and Tim Davies, Assessment of rainfall-generated shallow landslide/ debris-flow susceptibility and runout using a GIS-based approach: application to western Southern Alps of New Zealand, Landslides, Vol. 12, No. 6, 2015, p.1055.

(3) ESRI, ArcGIS Desktop 10.6.1 , Software Help , Fuzzy Large (arcpy.sa), 2018.

الشكل (47): عملية التضبيب في الدالة Fuzzy Large



المصدر: https://sites.google.com/site/hogweedtest/fuzzy-logic

وبناء على ذلك تم استخدام الدالة Fuzzy Large في تضبيب أنموذجي ملاءمة الأرض على التوسع المساحي الحضري بمحدد قابلية الأرض على الإنتاج وملامح ملاءمتها على زراعة المحاصيل الاستراتيجية التي أنتجتها الأداة المطورة Urban Spatial Expansion Suitability الخاصة بنمذجة ملاءمة الأرض على التوسع المساحي الحضري، وذلك من خلال المُعامل Output Non class raster الذي يقدم للمستخدم أنموذجاً خرائطياً لملاءمة التوسع الحضري بسطح خلوي مستمر غير مصنف، أما من حيث إمكانية الحصول على سطح خلوي مضبب بالقيمة (1) فقط، فيمكن ضرب أي أنموذج خرائطي تنتجه الأداة المطورة سواء كان بمحدد قابلية الأرض على الإنتاج أم بملامح ملاءمتها على زراعة المحاصيل الاستراتيجية، بقيمة (0) مع جمعه بقيمة (1) بغية الحصول على أنموذج خرائطي ذي سطح خلوي بالمنطق المضبب بقيمة تساوي (1)، وذلك وفقا للمعادلة الموضوعة على النحو الآتي:-

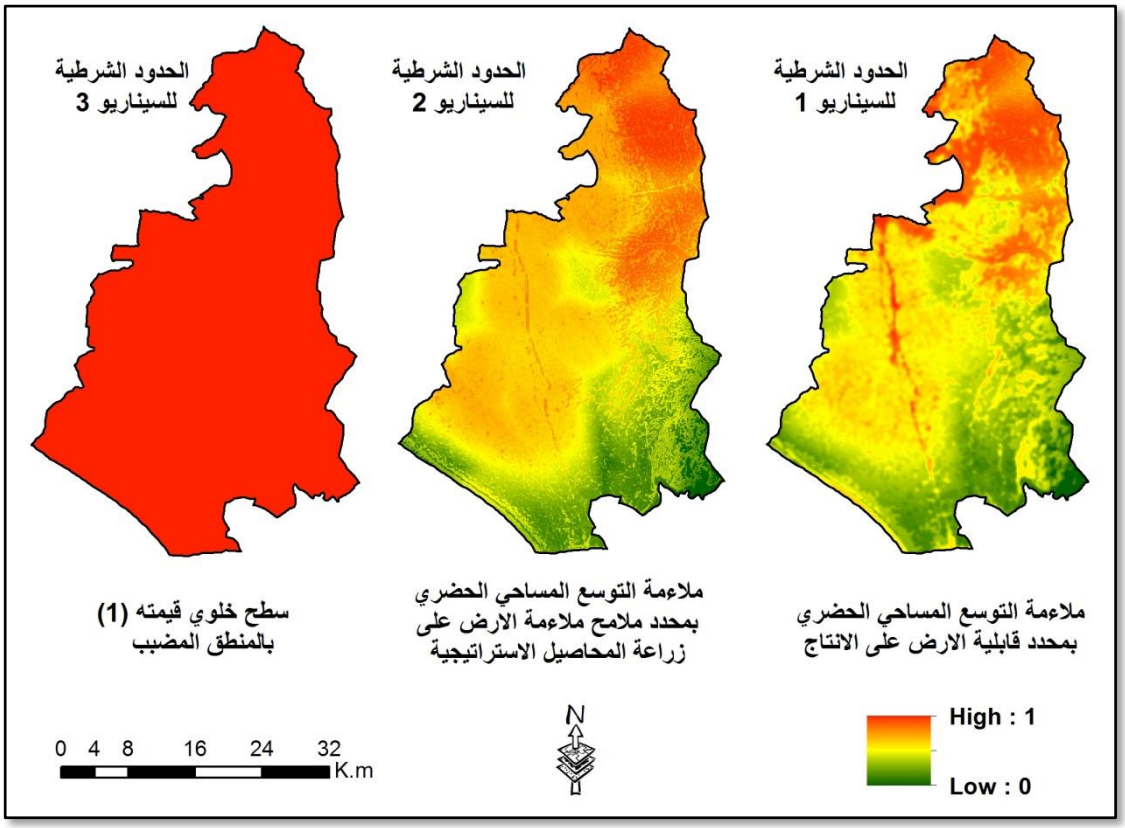
Fuzzy value (1) = (AnyCarto-model* 0) +1

إذ إن:

Fuzzy value (1) = السطح الخلوي المضبب بقيمة (1)، AnyCarto-model = أي أنموذج خرائطي ذو سطح خلوي مستمر.

وبذلك تم الحصول على النماذج الخرائطية المقيسة بالمنطق المضبب لتصبح جاهزة للإدخال كحدود شرطية في أنموذج المحاكاة ANN-CA، ينظر الخريطة (56).

الخريطة (56): النماذج الخرائطية للحدود الشرطية المقيسة بالمنطق المضبب والداخلة في أنموذج المحاكاة ANN-CA



المصدر: عمل الباحث، اعتمادا على برنامج ArcGIS desktop 10.6.1 والخريطة (55).

4-2-4 تشغيل أنموذج المحاكاة ANN-CA

Run Simulation Model ANN-CA

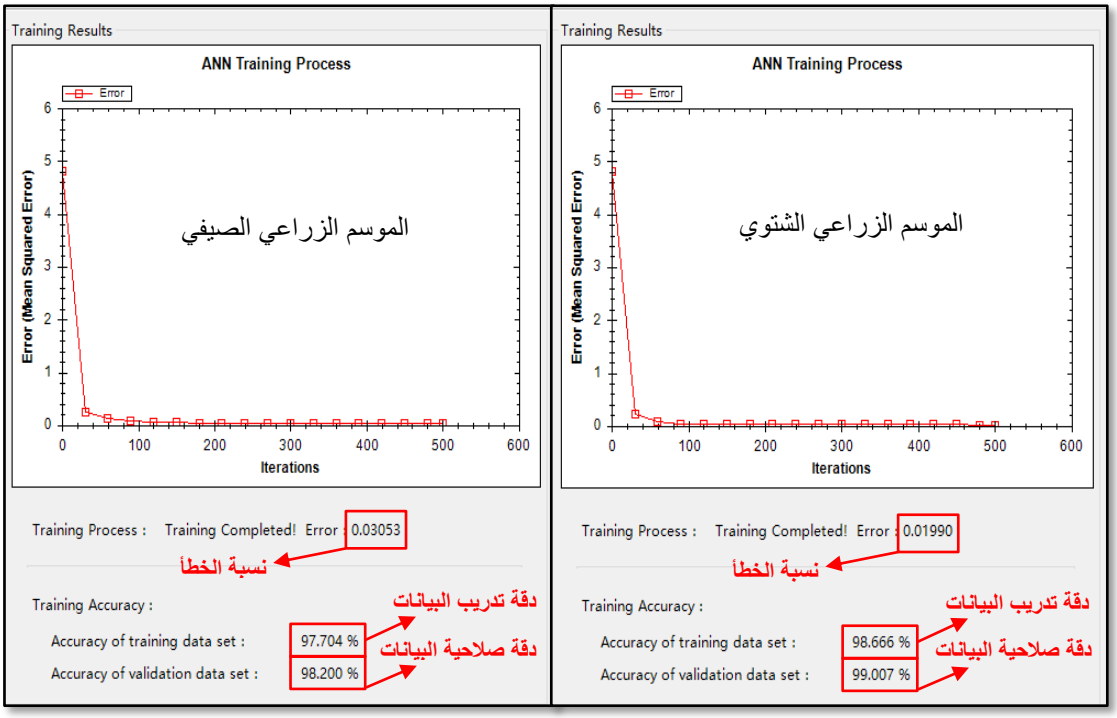
تضمن تشغيل أنموذج المحاكاة ANN-CA مرحلتين رئيستين يمكن مناقشتها على النحو الآتي:

1- مرحلة تدريب الشبكة العصبية الاصطناعية: وفي هذه المرحلة أدخل إلى أنموذج المحاكاة ANN-CA استعمالات الأرض في قضاء سهل أربيل لعامي 2002 و2012 للموسمين الزراعيين الشتوي والصيفي، مع الأنموذج الخرائطي المعني بملاءمة الأرض على التوسع المساحي الحضري بمحدد قابلية الأرض على الإنتاج المُقيس بالمنطق المضبب بوصفه حدودا شرطية، ذلك لإتاحة الفرصة للشبكة العصبية الاصطناعية أن تتدرب على التغيرات التي حصلت بين عامي 2002 و2012 على محاكاة السيناريو (1) للموسمين الزراعيين الشتوي والصيفي، وقد كررت العملية مع تغيير الحدود الشرطية السابقة، بإدخال الأنموذج

الخرائطي المعني بملاءمة الأرض على التوسع المساحي الحضري وفقا لمحدد ملامح ملاءمة الأرض على زراعة المحاصيل الاستراتيجية، المقيس بالمنطق المضبب ايضا، ذلك لجعل الشبكة العصبية الاصطناعية أن تتدرب مرة ثانية على التغيرات التي حصلت بين عامي 2002 و2012 للموسمين الزراعيين الشتوي والصيفي، للشروع في محاكاة السيناريو (2). ثم كررت العملية مرة ثالثة مع تغيير الحدود الشرطية، ذلك بإدخال سطح خلوي قيمته (1) بالمنطق المضبب، للشروع بمحاكاة السيناريو (3).

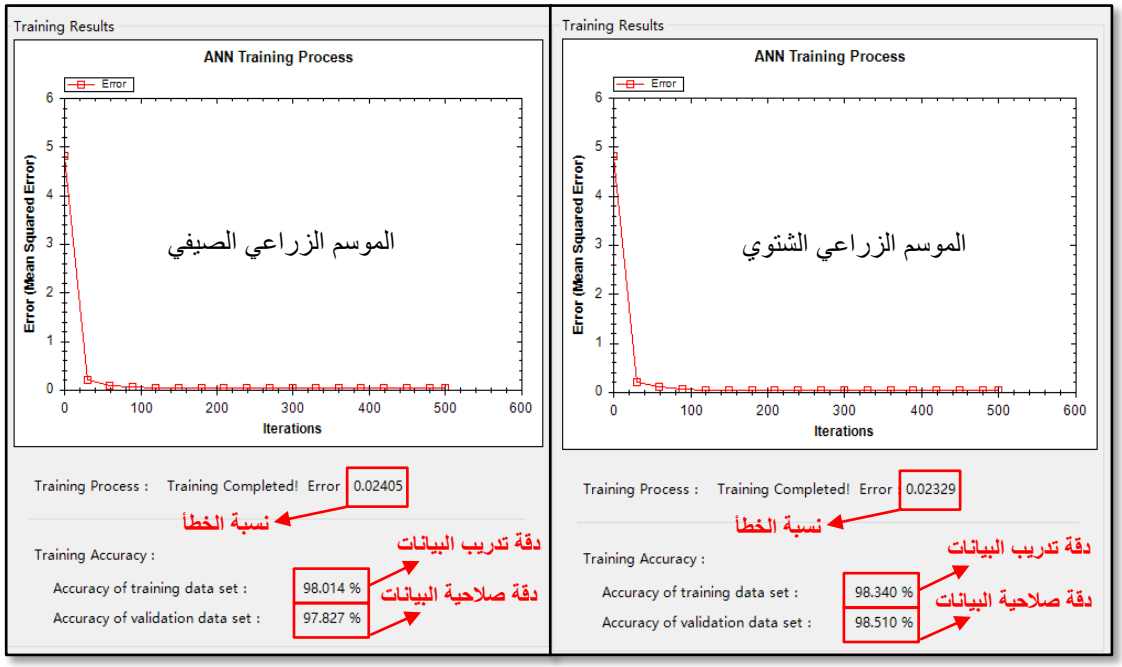
وقد شرعت مرحلة التدريب في الشبكات العصبية إلى اختبار صلاحية البيانات الداخلة Accuracy of Validation data set من استعمالات الأرض والحدود الشرطية في السيناريوهات (1) و(2) و(3) للموسم الزراعي الشتوي، ثم اظهرت مستويات دقة عالية جدا، مقدارها 99%، 98.5% و98% على التوالي، اما في الموسم الزراعي الصيفي فكانت نتائج صلاحية البيانات مشابه لنظيرها في الموسم الزراعي الشتوي للسيناريوهات (1) و(2) و(3)، إذ اظهرت دقة مقدارها 98.2% و97.8% و97.7% على التوالي، وهذا يدل على جودة الإجراءات السابقة ومنطقيتها في عملية النمذجة الخرائطية لاستعمالات الأرض ابتداء من تصنيف استعمالات الأرض من جانب، ونمذجة قابلية الأرض على الإنتاج وملامح ملاءمتها على زراعة المحاصيل الاستراتيجية من جانب ثانٍ، فضلا عن نمذجة ملاءمة الأرض على التوسع المساحي الحضري من جانب ثالث. ينظر الأشكال (48) و(49) و(50).

الشكل (48): اختبار صلاحية البيانات والحدود الشرطية المدخلة للسيناريو (1) ودقة التدريب على المحاكاة في الشبكات العصبية الاصطناعية للموسمين الزراعيين الصيفي والشتوي



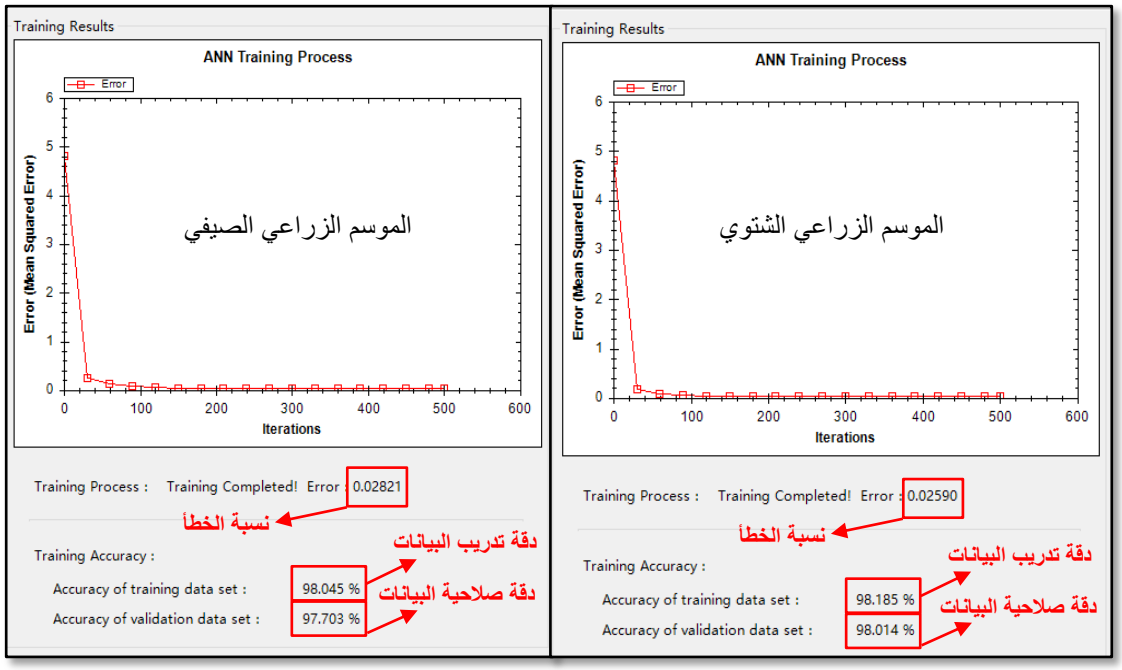
المصدر: عمل الباحث، اعتماد على الامتداد GeoSOS في برنامج ArcGIS Desktop 10.6.1 والخريطتين (49) و(56).

الشكل (49): اختبار صلاحية البيانات والحدود الشرطية المدخلة للسيناريو (2) ودقة التدريب على المحاكاة في الشبكات العصبية الاصطناعية للموسمين الزراعيين الصيفي والشتوي



المصدر: عمل الباحث، اعتماد على الامتداد GeoSOS في برنامج ArcGIS Desktop 10.6.1 والخريطتين (49) و(56).

الشكل (50): اختبار صلاحية البيانات والحدود الشرطية المدخلة للسيناريو (3) ودقة التدريب على المحاكاة في الشبكات العصبية الاصطناعية للموسمين الزراعيين الصيفي والشتوي



المصدر: عمل الباحث، اعتماد على الامتداد GeoSOS في برنامج ArcGIS Desktop 10.6.1 والخريطتين (49) و(56).

وتبعا لذلك فقد كانت دقة تدريب الشبكات العصبية على مجموعة البيانات Accuracy of training data set عالية جدا ايضا للسيناريوهات (1)، (2) و(3)، وللموسمين الزراعيين الشتوي والصيفي؛ إذ سجلت دقة التدريب على المحاكاة للموسم الزراعي الشتوي نحو 98.6%، 98.3% و98.1% على التوالي. وللموسم الزراعي الصيفي نحو 98.2%، 97.8% و98% على التوالي، وهكذا كانت قيمة الخطأ لعملية المحاكاة وفقا للسيناريوهات (1)، (2) و(3) للموسم الزراعي الشتوي نحو 0.01، 0.02 و0.02 على التوالي، وللموسم الزراعي الصيفي نحو 0.03، 0.02 و0.02 على التوالي. يراجع الاشكال (48)، (49) و(50).

2- مرحلة محاكاة مستقبل استعمالات الأرض حتى عام 2029: وفي هذه المرحلة تبدأ الشبكة العصبية للتنبؤ بالتغيرات التي سوف تطرأ على استعمالات الأرض في عام 2029، بعدما تدربت على طبيعة التغيرات التي طرأت على بيانات استعمالات الأرض بين اعوام 2002 و2012، ثم معايرة التنبؤ على بيانات استعمالات الأرض لعام 2019، ثم عملت على اسقاط التغيرات عند عام 2029 بسيناريوهات مختلفة، وذلك استنادا إلى الحدود الشرطية التي حُددت سابقا، وبالاعتماد على الأتمتة الخلوية ووفقا لقواعد الانتقال في لعبة الحياة من جانب، وذكاء الشبكة العصبية المعتمدة في عملية المحاكاة من جانب آخر تم إنتاج نماذج خرائطية مستقبلية لاستعمالات الأرض في قضاء سهل أربيل لعام 2029 وفقا للسيناريوهات المعتمدة، فضلا عن ان نتائج المحاكاة قد ظهرت بدقة عالية جدا في جميع السيناريوهات وللموسمين الزراعيين الشتوي والصيفي.

إذ سجلت الدقة الكلية Overall لنتائج محاكاة السيناريوهات (1) و(2) و(3) للموسم الزراعي الشتوي نحو 98.31%، 98.44% و98.76% على التوالي، في حين سجل معامل كابا بدقة لا تقل مقدارها عن الدقة الكلية وللسيناريوهات الثلاث نحو 0.978، 0.979 و0.984 على التوالي أيضا، أما نتائج محاكاة استعمالات الأرض للموسم الزراعي الصيفي فلم تختلف كثيرا عن نظيرتها، إذ سجلت الدقة الكلية للسيناريوهات (1) و(2) و(3) نحو 98.75%، 98.63% و98.62% على التوالي، في حين سجل معامل كابا لذات السيناريوهات نحو 0.983، 0.982 و0.982 على التوالي أيضا، ينظر الشكل (51).

الشكل (51): دقة محاكاة استعمالات الأرض في قضاء سهل أربيل حتى عام 2029 للموسمين الزراعيين الصيفي والشتوي



المصدر: عمل الباحث، اعتماد على الامتداد GeoSOS في برنامج ArcGIS Desktop 10.6.1 والخريطتين (49) و(56).

4-2-5 توقعات التوسع المساحي الحضري حسب السيناريوهات المعتمدة حتى عام 2029

Expectations of Urban Spatial Expansion According to the Approved Scenarios until 2029

اظهرت المحاكاة الخرائطية باستخدام الأنموذج ANN-CA، ثلاثة أنماط من التوسعات المساحية الحضرية لقضاء سهل أربيل استنادا إلى السيناريوهات المحددة، المعنية باستدامة الأراضي الزراعية، وكما هو متوقع سوف يستمر التوسع المساحي الحضري من عام 2019 إلى 2029 في جميع السيناريوهات بسبب زيادة الطلب على الأرض الحضرية المدفوع بزيادة السكان، وهذه الأنماط هي:-

1- السيناريو (1): في هذا النمط من التوسع سوف تصل مساحة الأرض الحضرية نحو 67.92 كم^2 عام 2029، وبزيادة مقدارها 26.5 كم^2 عن عام 2019، أي ما تعادل 2650 هكتارا. وهذه النتيجة تفند تماما ما تم تقديره من احتياجات السكان المتوقعة للأرض الحضرية لعام 2029، فاذا اعتمد جدلا على نصيب الفرد من الأرض الحضرية الذي حسب سابقا لعام 2019، البالغ 198.9 م^2 (يراجع الجدول 24)، فسيكون - بالاستعاضة - عدد سكان الحضر في قضاء سهل أربيل لعام 2029 حسب السيناريو (1) نحو 341478 نسمة(*)، أي بفارق مقداره نحو 63486 نسمة عن عدد السكان الذي تم توقعه سابقا باستخدام معادلتي الوسط الهندسي والاسقاط السكاني البالغ 277992 نسمة، (يراجع الجدول 23). وهذا يدل على عدم دقة الإحصاءات السكانية من جانب، وإن معادلة الوسط الهندسي تعتمد على الزيادة الطبيعية للسكان من دون عامل الهجرة من جانب آخر، سواء كان عامل الهجرة من ريف قضاء سهل أربيل نحو المراكز الحضرية لنواحيه، أم توسع مدينة أربيل المتاخمة للقضاء من جانبه الغربي نحو أراضيه وما يترتب على ذلك، انتقال السكان من الحيز الحضري للمدينة نحو أطرافها الجديدة بفعل الزيادة السكانية. ينظر الخريطة (57) والجدول (30).

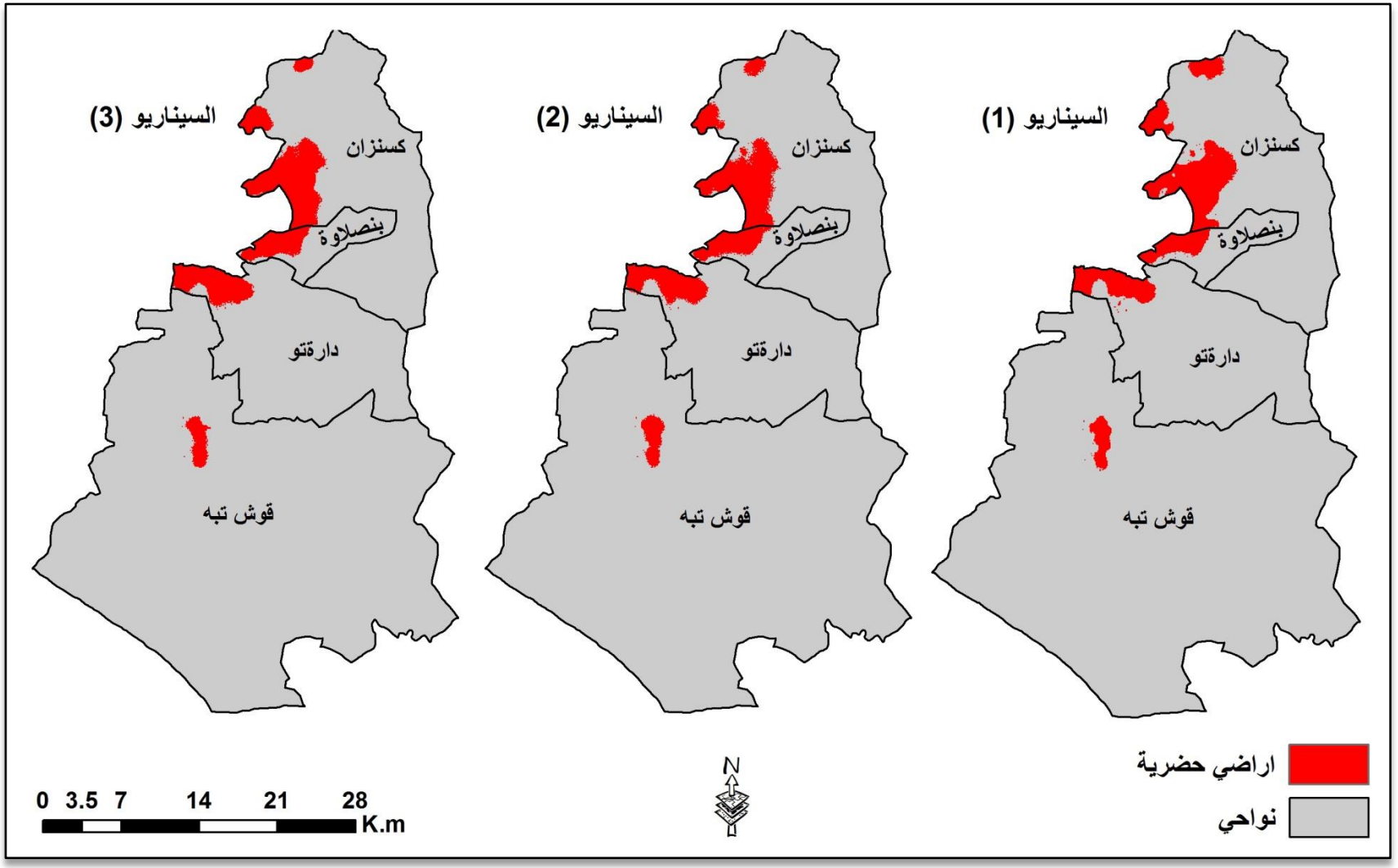
(*) تمت عملية التعويض للوصول إلى عدد السكان المتوقع بدلالة المساحة الحضرية الناتجة عن المحاكاة الخرائطية وفقا للمعادلة التي وضعها الباحث على النحو الآتي: -

عدد السكان المتوقع لعام 2029=

مساحة الأرض الحضرية التي تمت محاكاتها لذات العام بالكم2 * 1000000 / 198.9

اذ تضرب المساحة بالكم2 في مليون لتحويلها على م2، ثم يقسم الناتج على الرقم (198.9) بوصفه نصيب الفرد من الأرض الحضرية المقاس سنة 2019.

الخريطة (57): مستقبل التوسع المساحي الحضري في قضاء سهل أربيل وفقا للسيناريوهات المعتمدة حتى عام 2029



الجدول (30): فقدان الأراضي الزراعية المتوقع بالتوسع المساحي الحضري وفقا لمنظور قابلية الأرض على الإنتاج وملامح ملاءمتها على زراعة المحاصيل الاستراتيجية في قضاء سهل أربيل عام 2029

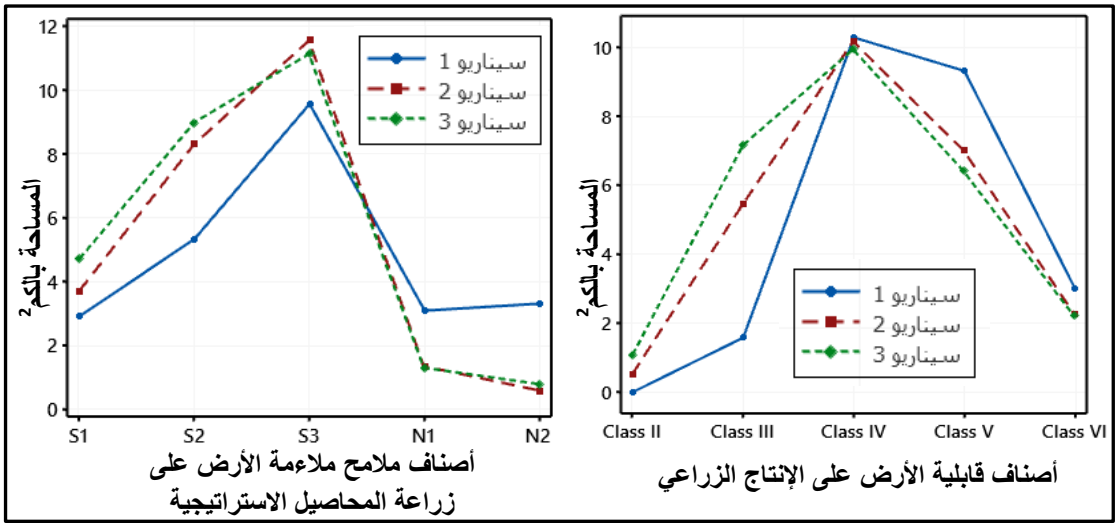
التوسع المساحي الحضري	المساحة بالكم^2		
	سيناريو 1	**سيناريو 2**	**سيناريو 3**
مساحة الأرض الحضرية عام 2019	41.42	41.42	41.42
مساحة الأرض الحضرية عام 2029	67.92	68.59	68.65
زيادة المساحة الحضرية بين عامي 2019 – 2029	26.5	27.17	27.23
فقدان الأراضي بمنظور قابلية الأرض على الإنتاج الزراعي	سيناريو 1	سيناريو 2	سيناريو 3
Class II	0	0.52	1.07
Class III	1.58	5.46	7.17
Class IV	10.29	10.15	9.96
Class V	9.32	7.02	6.45
Class VI	3.01	2.26	2.24
انضمام الاستيطان الريفي إلى المساحات الجديدة للأرض الحضرية	2.31	1.76	0.34
المجموع	26.5	27.17	27.23
فقدان الأراضي بمنظور ملامح ملاءمة الأرض على زراعة المحاصيل الاستراتيجية	سيناريو 1	سيناريو 2	سيناريو 3
S1	2.91	3.7	4.7
S2	5.33	8.3	8.99
S3	9.55	11.52	11.17
N1	3.09	1.33	1.29
N2	3.31	0.56	0.79
انضمام الاستيطان الريفي إلى المساحات الجديدة للأرض الحضرية	2.31	1.76	0.29
المجموع	26.5	27.17	27.23

المصدر: عمل الباحث، اعتمادا على برنامج ArcGIS Desktop 10.6.1 والخرائط (30)، (49)، (53) و(57).

وعلى الجانب الآخر، يشير التوقع وفقا للسيناريو (1) إلى أن التوسع المساحي الحضري في قضاء سهل أربيل حتى عام 2029 سوف يحدث بحذر شديد من حيث عدم تجاوزه – قدر الإمكان – على الأراضي الزراعية ذات القابلية الإنتاجية العالية، كذلك الحال بالنسبة للأراضي ذات الملاءمة العالية على زراعة المحاصيل الاستراتيجية؛ إذ سوف يتوجه التوسع الحضري نحو الأصناف الدنيا من تلك الأراضي.

تبعا لذلك سوف يكون هناك عدم تجاوز على أي من الأراضي الزراعية ذات صنف القابلية الإنتاجية (Class II)، مع خسارة الأراضي الزراعية ذات صنف القابلية (Class III) بمساحة تقدر نحو 1.58 كم^2، وهي أقل خسارة سوف تسجل للصنف ذاته مقارنة بالسيناريوهين (2) و(3)، كما سوف يزيد فقدان الأراضي الزراعية في هذا السيناريو عند الأصناف الدنيا لقابلية الأرض على الإنتاج على نحو اكبر من السيناريوهين (2) و(3)، إذ سوف يتوجه التوسع المساحي الحضري نحو قضم الأراضي الزراعية ذات الأصناف (Class IV، Class V و Class VI) بمساحات قدرها 10.29 كم^2، 9.32 كم^2 و 3.01 كم^2 على التوالي، وهي أعلى من المساحة التي ستُفقد من ذات الأصناف، مقارنة بالسيناريوهين (2) و(3)، والامر ذاته ينطبق على فقدان أصناف ملاءمة الأرض على زراعة المحاصيل الاستراتيجية، إذ توقع السيناريو (1)، بان هناك أقل فقدان للأراضي الزراعية ذات الأصناف العليا والمتوسطة (S1، S2 و S3) بمساحات تقدر بنحو 2.91 كم^2 و 5.33 كم^2 و 9.55 كم^2 على التوالي، مقارنة السيناريوهين (2) و(3)، مع أعلى فقدان للأراضي ذات الأصناف غير الملاءمة لزراعة المحاصيل الاستراتيجية (N1 و N2) بمساحة تقدر بنحو 3.09 كم^2 و 3.31 كم^2 على التوالي، مقارنة بالسيناريوهين (2) و(3). لذلك سوف يتوجه التوسع المساحي الحضري في هذا السيناريو نحو ضم أعلى مساحة من الاستيطان الريفي تقدر بـ 2.31 كم^2، مقارنة بالسيناريوهين (2) و(3)، ينظر الجدول (30)، والشكل (52).

الشكل (52): فقدان الأراضي الزراعية المتوقع بالتوسع المساحي الحضري وفقا لمنظور قابلية الأرض على الإنتاج وملامح ملاءمتها على زراعة المحاصيل الاستراتيجية في قضاء سهل أربيل عام 2029



المصدر: عمل الباحث، اعتمادا على برنامج Minitab 19 والجدول (30).

2- السيناريو (2): في هذا النمط من التوسع سوف تصل مساحة الأرض الحضرية نحو 68.59 كم^2 عام 2029، وبزيادة مقدارها 27.17 كم^2 عن عام 2019، أي ما تعادل 2717 هكتارا، وبذلك يتوقع أن يكون عدد سكان الحضر لعام 2029 نحو 344847 نسمة؛ إذا ما أخذ بنظر الاعتبار نصيب الفرد من الأرض الحضرية لعام 2019 البالغ 198.9 م^2. تزيد الأرض الحضرية في السيناريو (2) عن السيناريو (1) بمساحة تقدر نحو 0.67 كم^2، أي ما تعادل 67 هكتارا، بسبب اهتمام السيناريو (2) باستدامة الأرض بمنظور ملاءمتها على زراعة المحاصيل الاستراتيجية فقط مع إهمال المحاصيل الزراعية الأُخرى. مما سوف ينعكس ذلك على تباين فقدان الأرض الزراعية، سواء كان ذلك بمنظور قابلية الأرض على الإنتاج أم بملامح ملاءمتها على زراعة المحاصيل الاستراتيجية بين السيناريو (2) و(1)، ينظر الخريطة (57) والجدول (30) والشكل (52).

بناء على ذلك تشير التوقعات إلى أن التوسع المساحي الحضري سوف يعمل على قضم الأرض الزراعية عند الأصناف العليا من قابلية الأرض على الإنتاج (Class II و Class III)، بمساحات تقدر نحو 0.52 كم^2 و 5.46 كم^2 كذلك الحال بالنسبة للأراضي الزراعية ذات الأصناف العليا من ملامح ملاءمة الأرض على زراعة المحاصيل الاستراتيجية (S1 و S2)، بمساحات تقدر نحو 3.7 كم^2 و 8.3 كم^2، وهكذا سيكون الفاقد من مساحة الأراضي الزراعية ذات الأصناف العليا من قابلية الأرض على الإنتاج وملامح ملاءمتها على زراعة المحاصيل

الاستراتيجية، أعلى من مساحة الأصناف ذاتها عند السيناريو (1) وأقل من مساحة ذات الأصناف عند السيناريو (3).

وعلى الجانب الآخر سيكون هناك فقدان لمساحات الأراضي الزراعية ذات الأصناف الدنيا من قابلية الأرض على الإنتاج وملامح ملاءمتها على زراعة المحاصيل الاستراتيجية عند السيناريو (2) أدنى من مساحات الأصناف ذاتها مقارنة بالسيناريو (1)، واعلى من مساحات الأصناف ذاتها مقارنة بالسيناريو (3)، وهذا سوف ينطبق أيضاً على المساحة التي سوف تنضم من الاستيطان الريفي إلى الأرض الحضرية، من حيث انها أقل من ذات المساحة عند السيناريو (1)، واكبر عند السيناريو (3)، ينظر الجدول (30) والشكل (52).

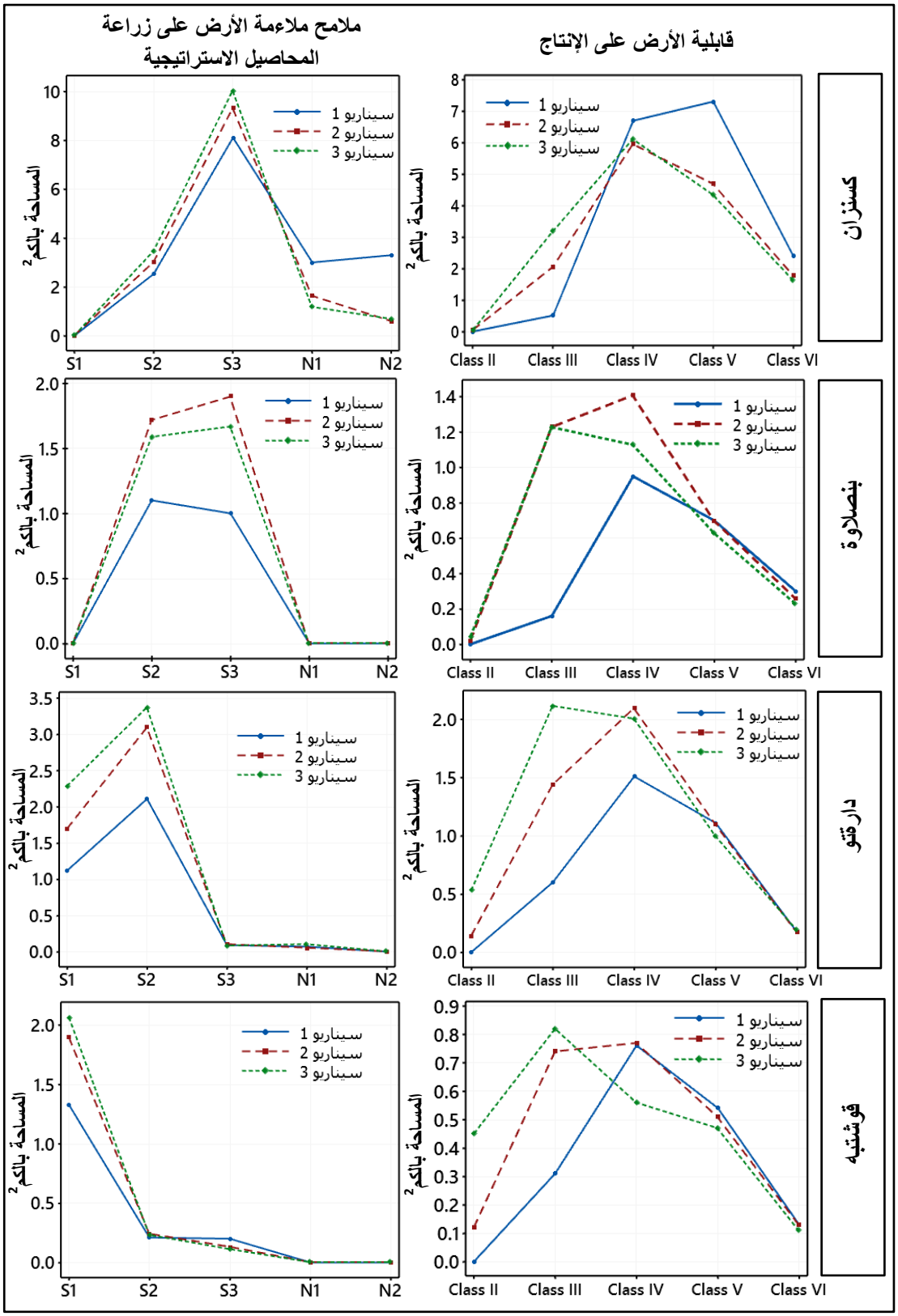
3- السيناريو (3): في هذا النمط من التوسع، سوف تصل مساحة الأرض الحضرية نحو 68.65 كم^2 عام 2029، وبزيادة مقدارها 27.23 كم^2 عن عام 2019، أي ما تعادل 2723 هكتارا. وبذلك يتوقع ان يكون عدد سكان الحضر لعام 2029 نحو 345148 نسمة، إذا ما أخذ بنظر الاعتبار نصيب الفرد من الأرض الحضرية لعام 2019 البالغ 198.9م^2، كما سوف يسجل التوسع المساحي الحضري أعلى مساحة مقارنة بالسيناريوهين (2) و(1)، لكونه سوف يهمل تماما استدامة الأرض الزراعية، قاضما بذلك الأراضي الزراعية الاقرب فالأقرب، عندها سوف تُفقد أكبر مساحة من الأراضي الزراعية عند الأصناف العليا من قابلية الأرض على الإنتاج، وملامح ملاءمتها على زراعة المحاصيل الاستراتيجية، مقارنة بالسيناريوهين (1) و(2)، وأدنى مساحة عند الأصناف الدنيا مقارنة بذات السيناريوهين. ينظر الخريطة (57) والجدول (30) والشكل (52).

وعلى مستوى نواحي قضاء سهل أربيل، فلم يختلف الأمر كثيرا عما هو متوقع من فقدان مساحة الأرض الزراعية عند السيناريو (1)؛ إذ سوف يضطلع مركز ناحية كسنزان بمساحة قدرها 38.34 كم^2 في عام 2029، أي بزيادة مقدراها 18.5 كم^2 (1850 هكتارا) عن ما كانت عليه مساحة الأرض الحضرية في ذات الناحية عام 2019 البالغة 19.84 كم^2، وهي أعلى زيادة لمساحة الأرض الحضرية التي سوف تسجلها الناحية مقارنة بالسيناريوهين (2) و(3) من جانب ومقارنة بالنواحي الأُخرى من جانب آخر، ويعزى ذلك إلى أن التوسع المساحي الحضري سوف يتجنب التجاوز على الأراضي الزراعية ذات الأصناف العليا من قابلية الأرض على الإنتاج، وحتماً سوف يتجنب التجاوز على الأراضي الزراعية ذات الأصناف العليا من ملامح ملاءمتها على زراعة المحاصيل الاستراتيجية، ونظرا لكون السيناريو (1) اخذ حدودا شرطية بعدم التجاوز – قدر الإمكان – على المحاصيل كافة في أثناء عملية المحاكاة، لذلك سوف يتوجه التوسع المساحي الحضري مدفوعا بزيادة عدد سكان الحضر في قضاء سهل أربيل،

نحو منطقة ملا عمر ومنطقة شاويس في قضاء كسنزان بمساحة أكبر مما سوف يسجله التوسع المساحي الحضري مع المنطقتين ذاتهما عند السيناريوهين (2)، (3).

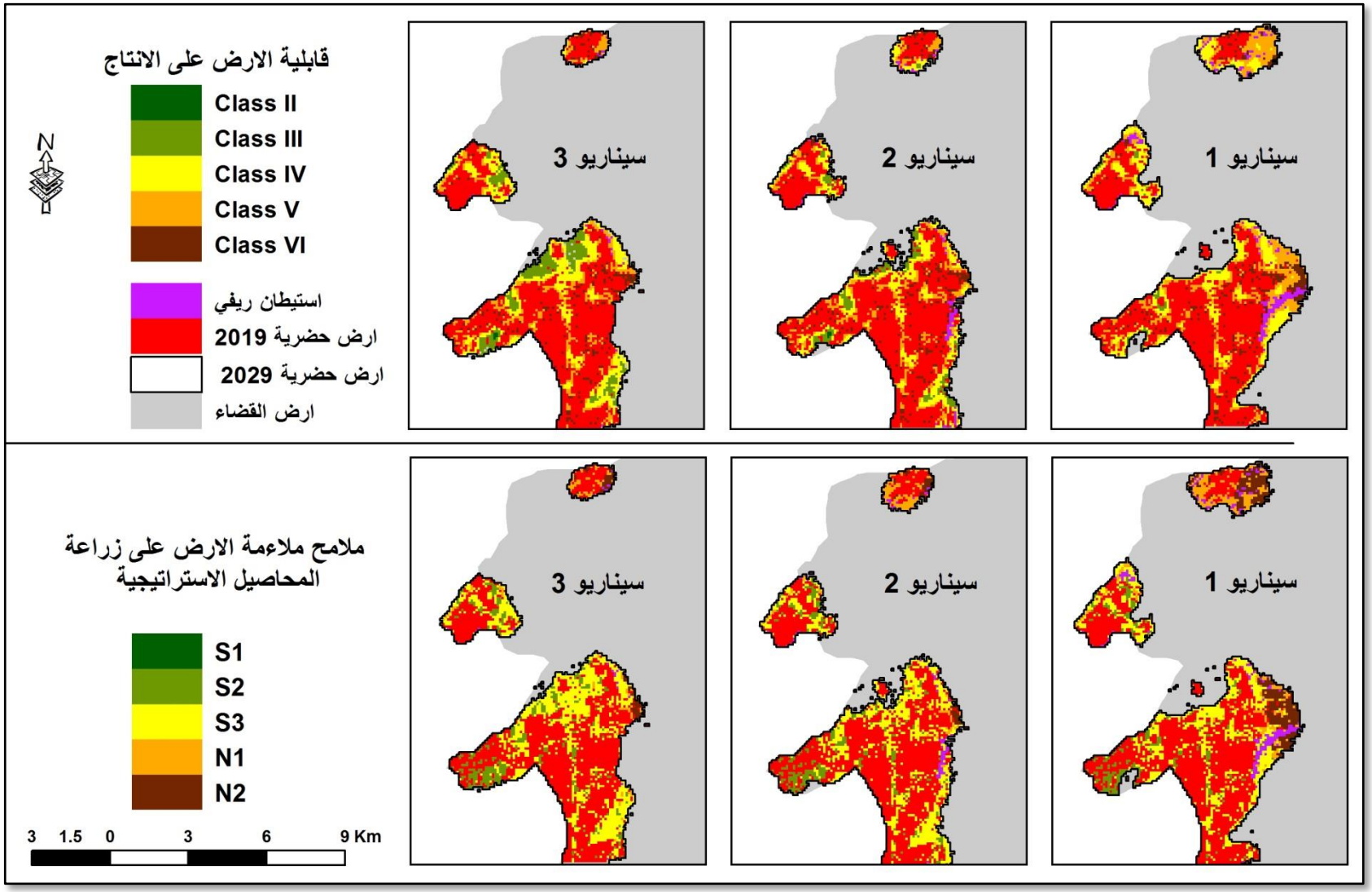
بناء على ما سبق سوف لن يتجاوز التوسع المساحي الحضري على الأراضي الزراعية ذات الصنف (Class II)، بمنظور قابلية الأرض على الإنتاج، يتبعه حتماً عدم تجاوز على الأراضي الزراعية ذات الصنف (S1) بمنظور ملامح ملاءمة الأرض على زراعة المحاصيل الاستراتيجية، فضلا عن أن التوسع سوف يؤدي إلى أقل فقدان للأراضي الزراعية ذات الصنف (Class III) بمنظور قابلية الأرض على الإنتاج بمساحة مقدارها 0.51 كم^2، مع أقل فقدان أيضاً للأراضي الزراعية ذات الأصناف (S2 وS3) بمنظور ملامح ملاءمة الأرض على زراعة المحاصيل الاستراتيجية بمساحة مقدارها 2.53 كم^2 و8.11 كم^2 على التوالي، مقارنة بالسيناريوهين (2) و(3)، وفي الوقت ذاته سوف يتوجه التوسع المساحي الحضري نحو قضم مساحات اكبر من الأراضي الزراعية ذات الأصناف الدنيا (Class IV، Class V و Class VI) بمنظور قابلية الأرض على الإنتاج، وحتما سوف تُقضم مساحات أكبر من الأصناف غير الملاءمة لزراعة المحاصيل الاستراتيجية (N1 وN2) مقارنة بالسيناريوهين (2) و(3)، مع ضم مساحات أكبر من الاستيطان الريفي مقارنة مع السيناريوهين ذاتهما. ينظر الشكل (53) والخريطة (58) والملحق (15).

الشكل (53): فقدان الأراضي الزراعية المتوقع بالتوسع المساحي الحضري وفقا لمنظور قابلية الأرض على الإنتاج وملامح ملاءمتها على زراعة المحاصيل الاستراتيجية حسب نواحي قضاء سهل أربيل عام 2029



المصدر:عمل الباحث، اعتمادا على برنامج Minitab 19 والمحلق (15).

الخريطة (58): مستقبل التوسع المساحي الحضري في ناحية كسنزان بمنظور استدامة الأرض الزراعية حتى عام 2029

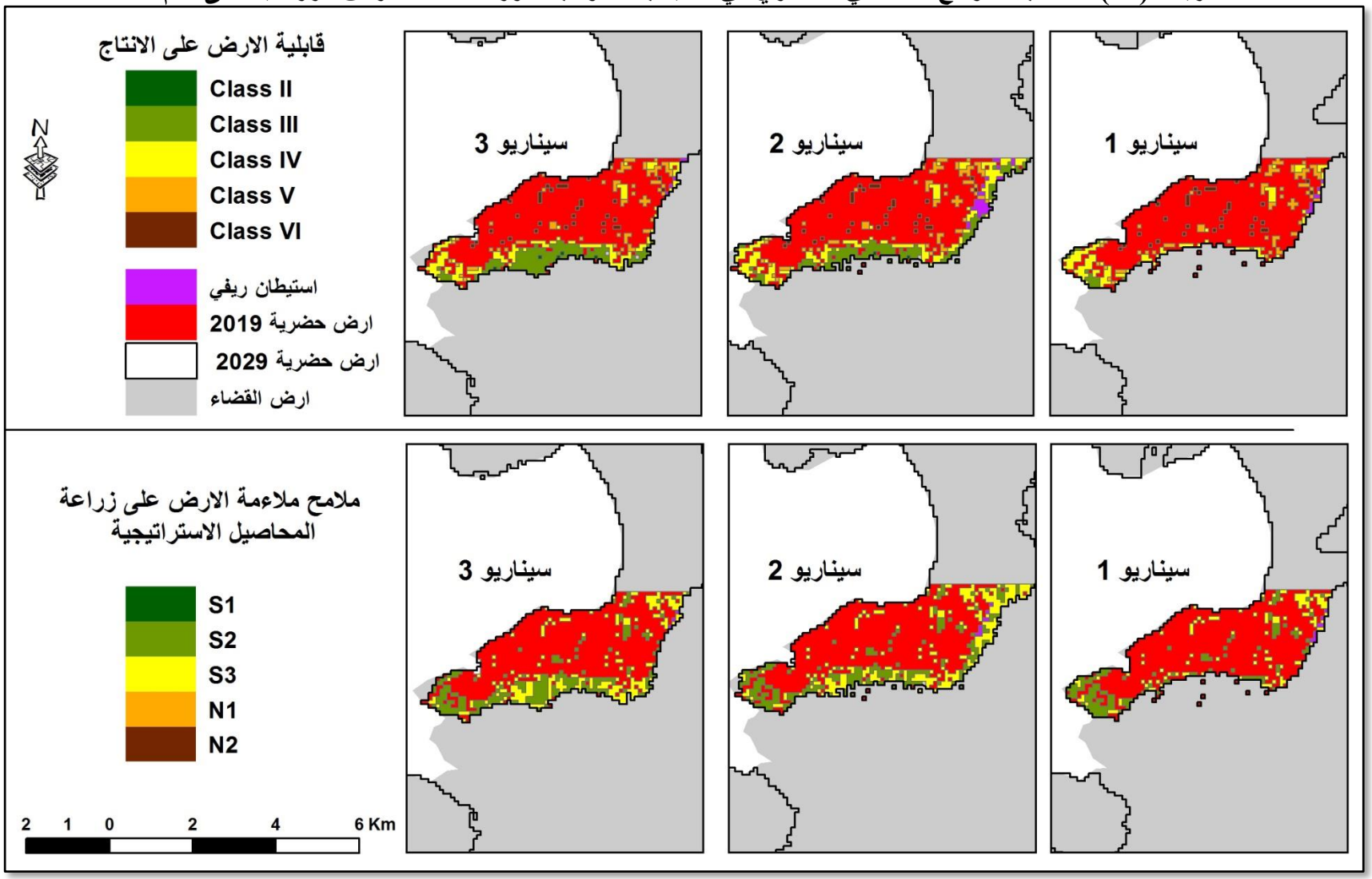


المصدر:عمل الباحث، اعتمادا على برنامج ArcGIS Desktop 10.6.1 والخرائط (30)، (53) و(57).

في حين أن التوسع المساحي الحضري في مركز ناحية بنصلاوة، سوف يتوجه نحو ملء الفضاءات الحضرية الفارغة من جانب، والتوسع على حساب الأراضي الزراعية في الجزء الجنوب الغربي من جانب آخر بفعل عامل الجوار عند السيناريو (1)، لذلك ستضطلع الناحية بمساحة مقدراها 9.57 كم^2، أي بزيادة مقدارها 2.17 كم^2 (217 هكتارا)، وهي أقل زيادة سوف تسجل مقارنة بزيادة المساحة الحضرية عند السيناريوهين (2) و(3) بمساحات تقدر نحو 3.86 كم^2 و3.3 كم^2 على التوالي، إذ يعزى ذلك إلى توطن أصناف عليا من الأراضي الزراعية ذات القابلية الإنتاجية العالية، من جهة الشرق والجنوب، مما سينعكس على اتجاه التوسع نحو الجنوب الغربي حيث الأصناف الدنيا من قابلية الأرض على الإنتاج، على الرغم من توطن أصناف عليا من ملامح ملاءمة الأرض على زراعة المحاصيل الاستراتيجية في ذات الجزء من التوسع. ذلك لكون القابلية الإنتاجية كما هو معلوم تأخذ بنظر الاعتبار جميع المحاصيل الزراعية، بينما ملامح ملاءمة الأرض تأخذ بنظر الاعتبار المحاصيل الاستراتيجية فقط (قمح، شعير وذرة صفراء)، وقد يكون الجزء ذاته يصلح لزراعة المحاصيل الاستراتيجية ولا يصلح لباقي المحاصيل الأُخرى.

وعلى الجانب الآخر سوف لن يكون هناك فاقد من الأراضي الزراعية ذات الصنف (Class II) بمنظور قابلية الأرض على الإنتاج عند السيناريوهين (1) و(2)، باستثناء السيناريو (3) الذي سوف يسجل فاقدا ضئيلا تقدر مساحته نحو 0.04 كم^2، ويعزى ذلك إلى عامل بعد الأراضي الزراعية التي تحمل الأصناف (Class II) عن مدى التوسع المساحي الحضري لناحية بنصلاوة، أما الصنف (Class III) من قابلية الأرض على الإنتاج، فسوف يسجل عند السيناريو (1) أقل فقدان له نحو 0.16 كم^2، ثم يزداد الفقدان بالانتقال إلى السيناريو (2) فـ (3) نحو مساحة تقدر بـ 1.72 كم^2 و1.23 كم^2 على التوالي، في حين إن الأصناف (Class IV و Class V و Class VI) ليس لها توجها عاما من حيث فقدان مساحاتها، إذ يظهر جليا تباين فقدان المساحة بالانتقال بين السيناريوهات الثلاثة بين زيادة ونقصان، ويعزى ذلك إلى أن نماذج ملاءمة الأرض على التوسع المساحي الحضري قد تقع مستوياتها العليا بفعل تطابق متغيراتها Overlay فوق الأصناف الدنيا والعليا من قابلية الأرض على الإنتاج أو ملاءمتها على زراعة المحاصيل الاستراتيجية سواء بسواء، لكون أنموذجي القابلية الإنتاجية للأرض وملامح ملاءمتها على زراعة المحاصيل الاستراتيجية ليست سوى محدد في أنموذج الملاءمة على التوسع المساحي الحضري، ومن ثم فان اولوية التوسع ستعتمد على نماذج الملاءمة على التوسع المساحي الحضري المكونة من جملة متغيرات ومنها قابلية الأرض على الإنتاج أو ملامح ملاءمة الأرض على زراعة المحاصيل الاستراتيجية. والامر ذاته ينطبق على فقدان الأراضي الزراعية ذات الأصناف (S1 وS2 وS3)، فعلى الرغم من عدم وجود أي فقدان للصنف (S1)، إلا أن الأراضي الزراعية ذات الصنف (S3) سوف تسجل فقدان اكبر عند السيناريو (2) نحو 1.9 كم^2 مقارنة بالسيناريو (3) نحو 1.67 كم^2، على الرغم من أن السيناريو (2) مصمم لاستدامة الأرض على زراعة المحاصيل الاستراتيجية، أما الأصناف (N1 وN2) غير الصالحة لزراعة المحاصيل الاستراتيجية، سوف لن تسجل أي فقدان عن السيناريوهات الثلاثة بسبب بعدها عن مدى التوسع المساحي الحضري الذي سوف يحدث في ناحية بنصلاوة. ينظر الملحق (15)، والشكل (53)، والخريطة (59).

الخريطة (59): مستقبل التوسع المساحي الحضري في ناحية بنصلاوة بمنظور استدامة الأرض الزراعية حتى عام 2029



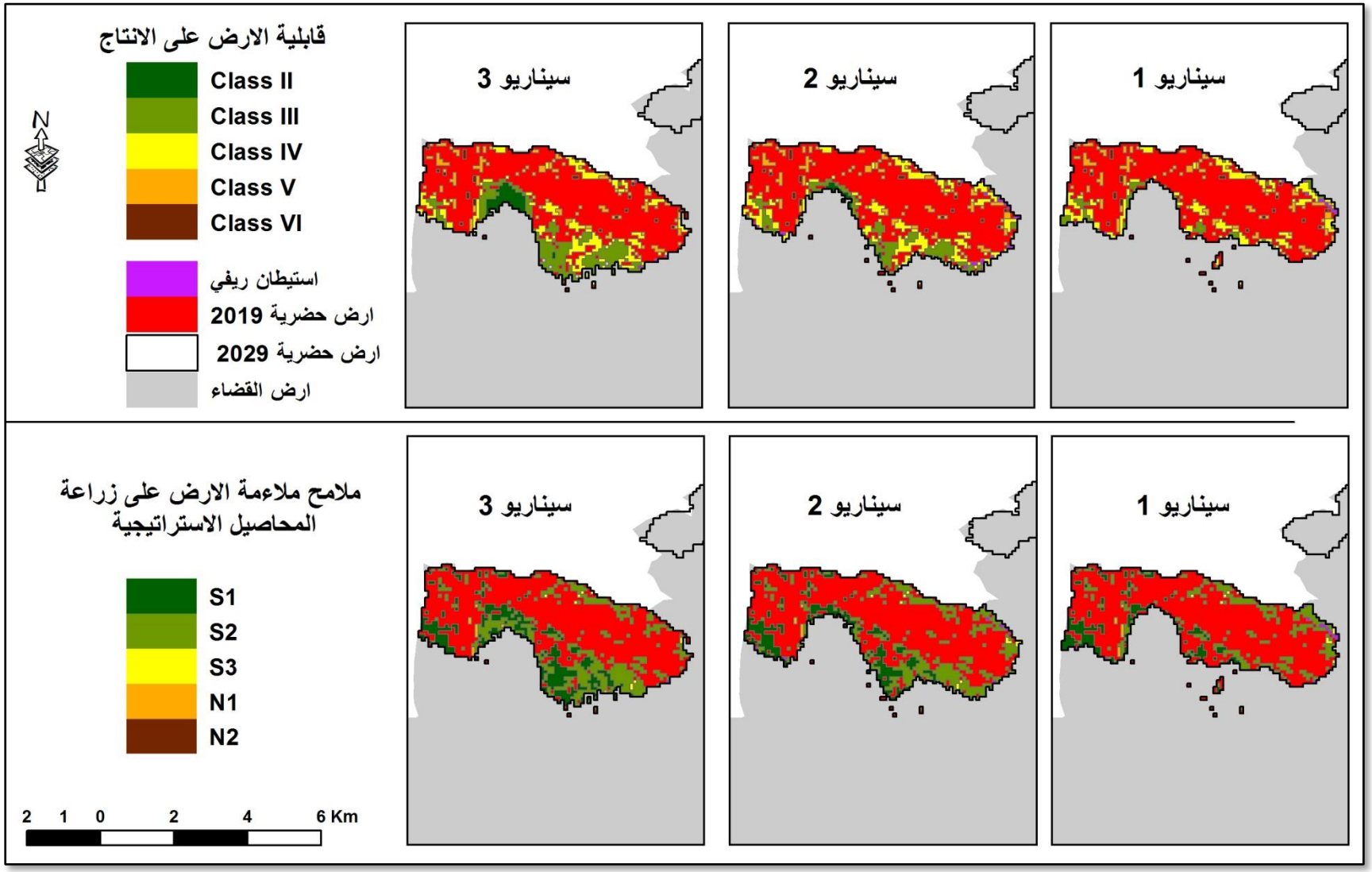
المصدر:عمل الباحث، اعتمادا على برنامج ArcGIS Desktop 10.6.1 والخرائط (30)، (53) و(57).

أما مركز ناحية دارقتو، فسوف يضطلع بمساحة تقدر نحو 14.16 كم^2 عند السناريو (1)، وبزيادة مقدارها 3.49 كم^2 (349 هكتارا). وهذا النمط من التوسع سوف يكون بحذر شديد، من حيث تجنب قضم الأراضي الزراعية ذات الأصناف العليا من قابليتها على الإنتاج، لذلك سوف تتوسع الرقعة الحضرية في هذه الناحية بشكل تراكمي وعلى حساب الأراضي الزراعية المجاورة ذات الأصناف الدنيا من قابليتها على الإنتاج من جانب وتعتمد على ملئ الأراضي غير المبنية داخل الحيز الحضري، أما عند السيناريو (2)، فستضطلع الناحية بمساحة تقدر نحو 15.8 كم^2، وبزيادة مقدارها 5.13 كم^2 (513 هكتارا) عن عام 2019، ذلك بسبب اهتمام السيناريو باستدامة الأرض الصالحة لزراعة المحاصيل الاستراتيجية فقط مهملا بذلك الأراضي الزراعية الأُخرى التي قد تتحول إلى أراضٍ حضرية بفعل التوسع المساحي الحضري على حسابها، أما السيناريو (3)، فقد أظهر بأن مساحة ناحية دارقتو سوف تصل إلى 16.55 كم^2، وبزيادة مقدارها 5.88 كم^2 (588 هكتارا)، عما كانت عليه الناحية عام 2019، وبذلك سوف يسجل السيناريو (3) أعلى زيادة لمساحة الأرض الحضري مقارنة بالسيناريوهين (1) و(2)، بسبب اعتماده على التوسع العشوائي من دون الأخذ بنظر الاعتبار جودة الأراضي الزراعية المجاورة.

وبناء على ما سبق يميل فقدان الأراضي ذات الأصناف العليا من قابليتها على الإنتاج نحو الارتفاع بالانتقال من السيناريو (1) نحو السيناريو (2) فـ (3)، بسبب اهمال الأراضي الزراعية ذات الأصناف العليا من قابليتها على الإنتاج، والامر ذلك ينطبق على الأراضي الزراعية ذات الأصناف العليا من ملامح ملاءمة الأرض على زراعة المحاصيل الاستراتيجية. فالأراضي الزراعية ذات الصنف (Class II) سوف لن تفقد عند السيناريو (1)، في حين يبدأ الفقدان بالازدياد مع الانتقال من السيناريو (2) إلى السيناريو (3) بمساحات مقدارها 1.7 كم^2 و2.29 كم^2 على التوالي، كذلك الحال بالنسبة للأراضي ذات الاصنف (Class III)؛ إذ يبدأ الفقدان بالازدياد مع الانتقال من السيناريو (1) فـ (2) فـ (3)، بمساحات مقدارها 0.6 كم^2 و 3.1 كم^2 و3.38 كم^2 على التوالي، أما بالنسبة للأراضي الزراعية ذات الأصناف الدنيا، فتميل نحو انخفاض فقدانها على نحو عام، بسبب ابتعادها النسبي عن مد التوسع المساحي الحضري في ناحية دارقتو.

وعلى الجانب الآخر سيتوجه التوسع المساحي الحضري نحو جنوب الناحية، عند السيناريوهين (2) و(3)، مع قضم مساحات زراعية ذات أصناف عليا من قابلية الأرض على الإنتاج وملامح ملاءمتها على زراعة المحاصيل الاستراتيجية، على نحو اكبر عند السيناريو (3) مقارنة بالسيناريو (2). ينظر الخريطة (60) والشكل (53) والملحق (15).

الخريطة (60): مستقبل التوسع المساحي الحضري في ناحية دارةتو بمنظور استدامة الأرض الزراعية حتى عام 2029

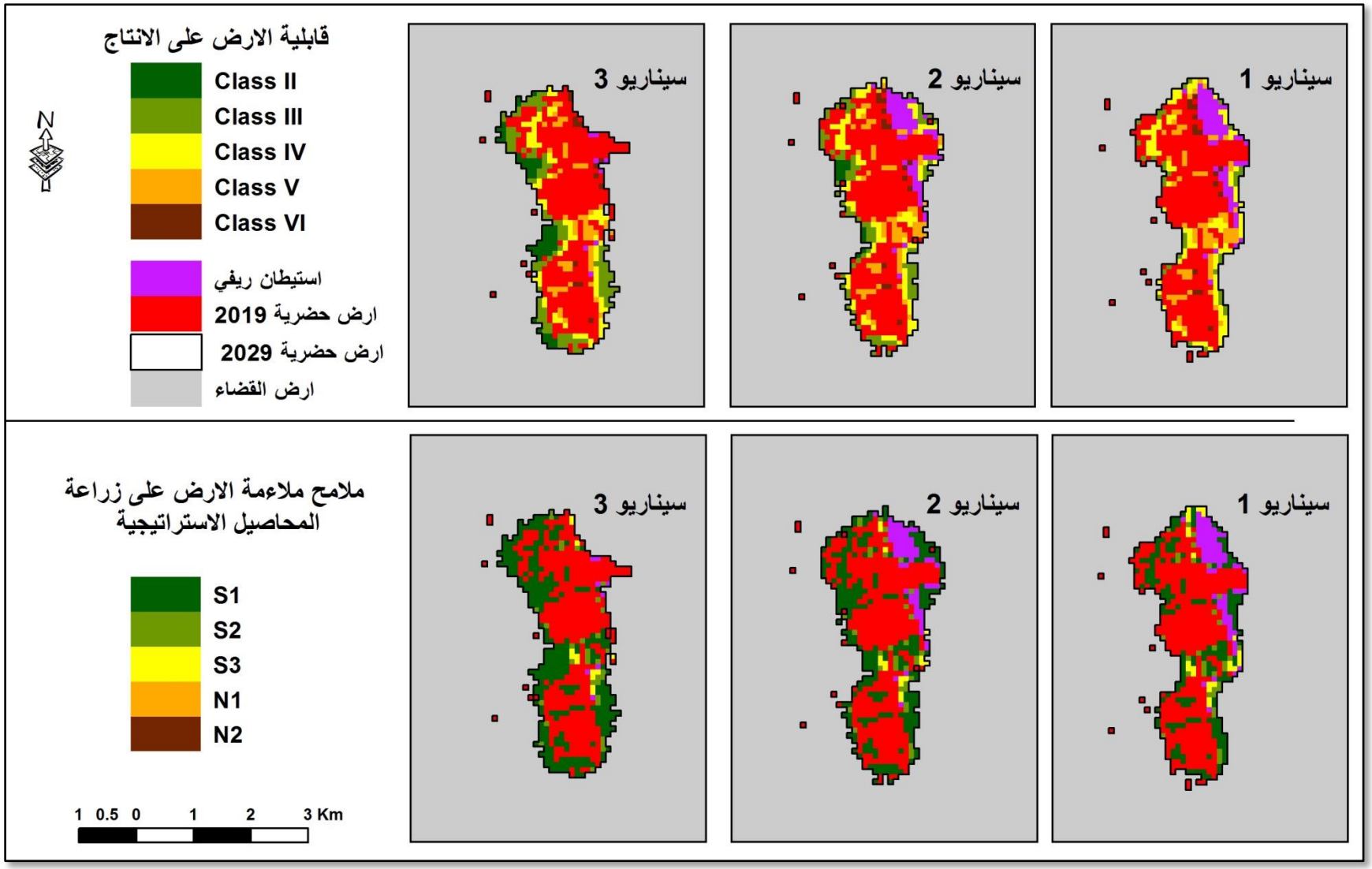


المصدر:عمل الباحث، اعتمادا على برنامج ArcGIS Desktop 10.6.1 والخرائط (30)، (53) و(57).

بيد أن مركز ناحية قوش تبه الأصغر مساحة بين مراكز النواحي الأُخرى في قضاء سهل أربيل سوف تصل مساحته نحو 5.85 كم^2 عند السيناريو (1)، أي بزيادة مقدارها 2.33 كم^2 (233 هكتارا) عما كان عليه مركز الناحية عام 2019، كما تصل الزيادة في المساحة الحضرية عند السيناريو (2) نحو 2.8 كم^2 (280 هكتارا)، في حين ستقل الزيادة في ذات المساحة عند السيناريو (3) وستبلغ 2.48 كم^2 (248 هكتارا)؛ إذ يعزى ذلك إلى أن التوسع المساحي الحضري سوف يتجه في السيناريوهين (1) و(2) نحو شرق مركز ناحية قوش تبه ضاما بذلك مساحات الاستيطان الريفي اليه؛ إذ سوف تبلغ مساحة الاستيطان الريفي المنضمة إلى الحيز الحضري لمركز الناحية عند السيناريو (1) نحو 0.59 كم^2، وعند السيناريو (2) نحو 0.53 كم^2، أما اتجاه التوسع عند السيناريو (3) فسيتوجه نحو غرب مركز الناحية ضاما مساحة ضئيلة جدا من الاستيطان الريفي نحو 0.07 كم^2.

يميل فقدان الأراضي الزراعية من الأصناف العليا للقابلية الإنتاجية نحو الارتفاع بالانتقال من السيناريو (1) فـ (2) فـ (3)، إذ سوف تبلغ مساحات الفقدان من الأراضي ذات الصنف (Class II) نحو 0 كم^2 0.12 كم^2 0.45 كم^2 على التوالي، وكذلك الحال مع فقدان الأراضي ذات الصنف (Class III)، مع السيناريوهات الثلاثة نحو 0.31 كم^2 و0.74 كم^2 0.82 كم^2، أما الأصناف الأُخرى، فسوف تسجل فقداناً بمساحات متقاربة واقل من الصنفين السابقين، كذلك الحال مع الأراضي ذات الأصناف العليا من ملامح ملاءمتها على زراعة المحاصيل الاستراتيجية؛ إذ سوف يزيد المفقود في الصنف (S1) بالانتقال من السيناريو (1) فـ (2) فـ (3)، نحو 1.33 كم^2 و1.9 كم^2 و2.07 كم^2 على التوالي، أما الصنفان (S2 و S3) فسوف يميلان إلى التقارب في الفقدان بين السيناريوهات الثلاثة. وأخيراً لن يكون هناك فقدان للأراضي الزراعية غير الملاءمة لزراعة المحاصيل الاستراتيجية (N1 و N2)، عند التوسع المساحي الحضري لمركز ناحية قوش تبه بفعل عامل البعد، إذ إن مركز الناحية يتوطن في قلب قضاء سهل أربيل الذي يتميز بأجود أنواع الأراضي الزراعية، وإن الصنفين المعنين بعيدان عن المد الحضري عند التوسع لمركز ناحية قوش تبه. ينظر الخريطة (61) والشكل (53) والملحق (15).

الخريطة (61): مستقبل التوسع المساحي الحضري في ناحية قوش تبه بمنظور استدامة الأرض الزراعية حتى عام 2029



المصدر:عمل الباحث، اعتمادا على برنامج ArcGIS Desktop 10.6.1 والخرائط (30)، (53) و(57).

4-2-6 الملامح المستقبلية لاستعمالات الأرض في قضاء سهل أربيل حسب السيناريوهات المعتمدة حتى عام 2029

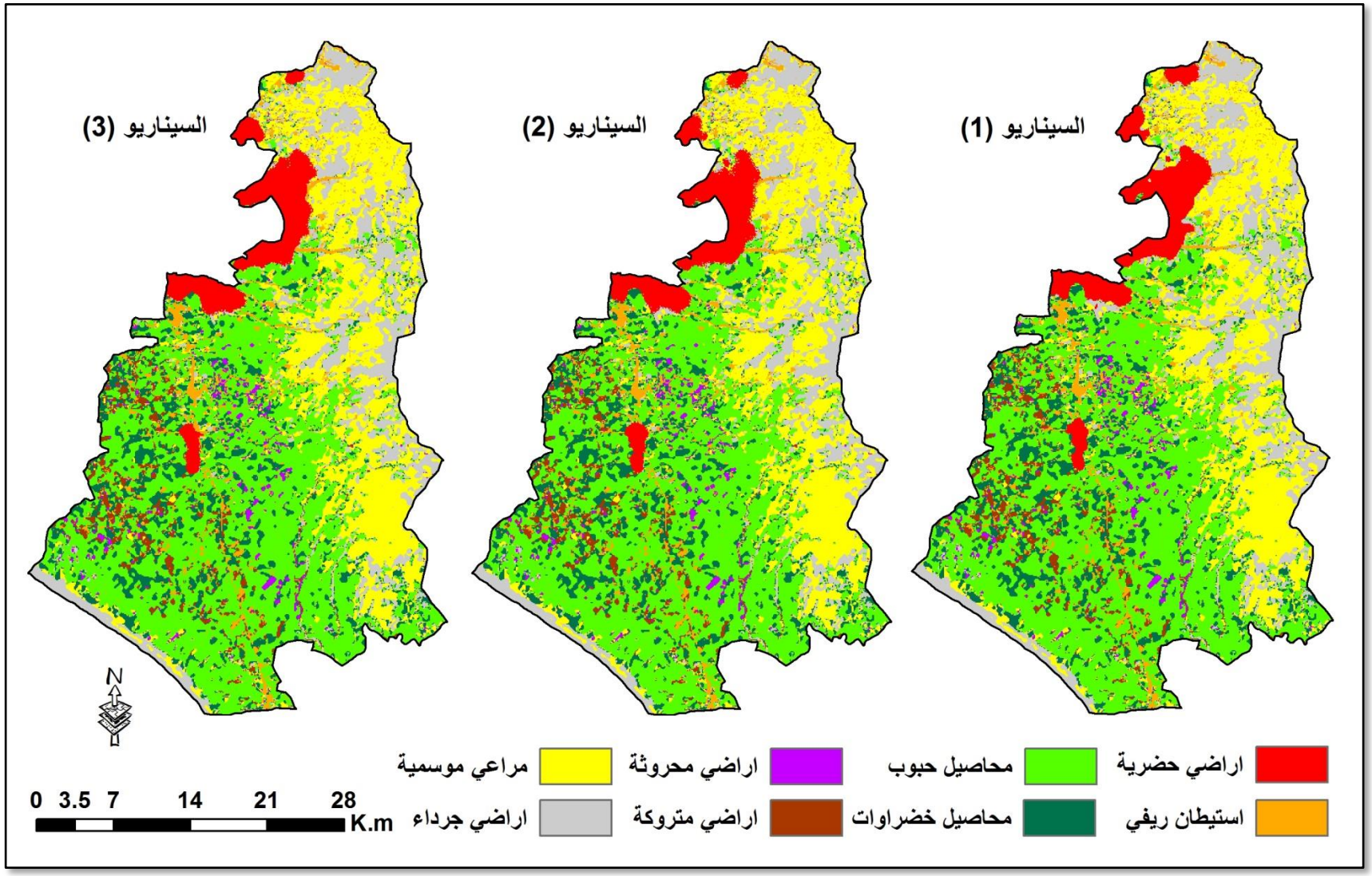
أفصحت المحاكاة الخرائطية لاستعمالات الأرض في قضاء سهل أربيل لعام 2029 باستخدام الأنموذج ANN-CA، إن هناك زحفا واضحا للأراضي الحضرية على حساب الأراضي الزراعية المجاورة، فضلا عن ظهور اختلافا في الامتداد المكاني لهذا الزحف بين السيناريوهات المحددة بمنظور استدامة الأراضي الزراعية، وللموسمين الزراعيين الشتوي والصيفي سواء بسواء.

كما سوف تحصل زيادة في صنف الاستيطان الريفي على مستوى السيناريوهات الثلاثة، بفعل الزيادة السكانية؛ إذ سوف يضطلع صنف الاستيطان الريفي عند السيناريوهات (1) و(2) و(3)، بمساحات تقدر نحو 62.69 كم^2 و63.45 كم^2 و65.16 كم^2 على التوالي، أي بزيادات مساحية مقدارها 6.72 كم^2 و7.48 كم^2 و9.19 كم^2 على التوالي ايضا، عما كانت عليه مساحة الاستيطان الريفي البالغة 55.97 كم^2 عام 2019، وهكذا سوف تتناسب زيادة مساحة الاستيطان الريفي طرديا مع اهمال استدامة الأراضي الزراعية، شأنها شأن الأرض الحضرية.

وعلى مستوى الاستعمالات الزراعية الأُخرى فيشير التوقع عند السيناريو (1)، إلى أن هناك ارتفاعاً سوف يحدث في مساحة الأراضي المزروعة بالحبوب بمساحة قدرها 68.85 كم^2 في الموسم الشتوي لعام 2029، وهذا الارتفاع لا يختلف كثيرا عن نظيريه في السيناريوهين (2) و(3). إذ يعزى ذلك إلى ان الارتفاع في مساحة الأراضي المزروعة بذات المحاصيل تعود إلى الزيادة التي سوف تحصل في عدد السكان على نحو عام، وما يترتب عليه من زيادة في استهلاك محاصيل الحبوب، ومن ثم التوسع في زراعتها، وقد يكون لوفرة الأمطار دور حاسم في زيادة مساحة هذا الاستعمال، خاصة وإن معظم محاصيل الحبوب تعتمد على الزراعة الديمية في قضاء سهل أربيل، أما في الموسم الزراعي الصيفي فسوف يحدث تناقص في مساحة الأراضي المزروعة بمحاصيل الحبوب بمساحة تقدر نحو 16.44- كم^2 عما كانت عليه عام 2019، والامر لا يختلف كثيرا عما هو في السيناريوهين (2) و(3)، وهذا يدل على استمرار الجهات المعنية في اهمال مشاريع الري، والاعتماد على الزراعة الديمية فقط.

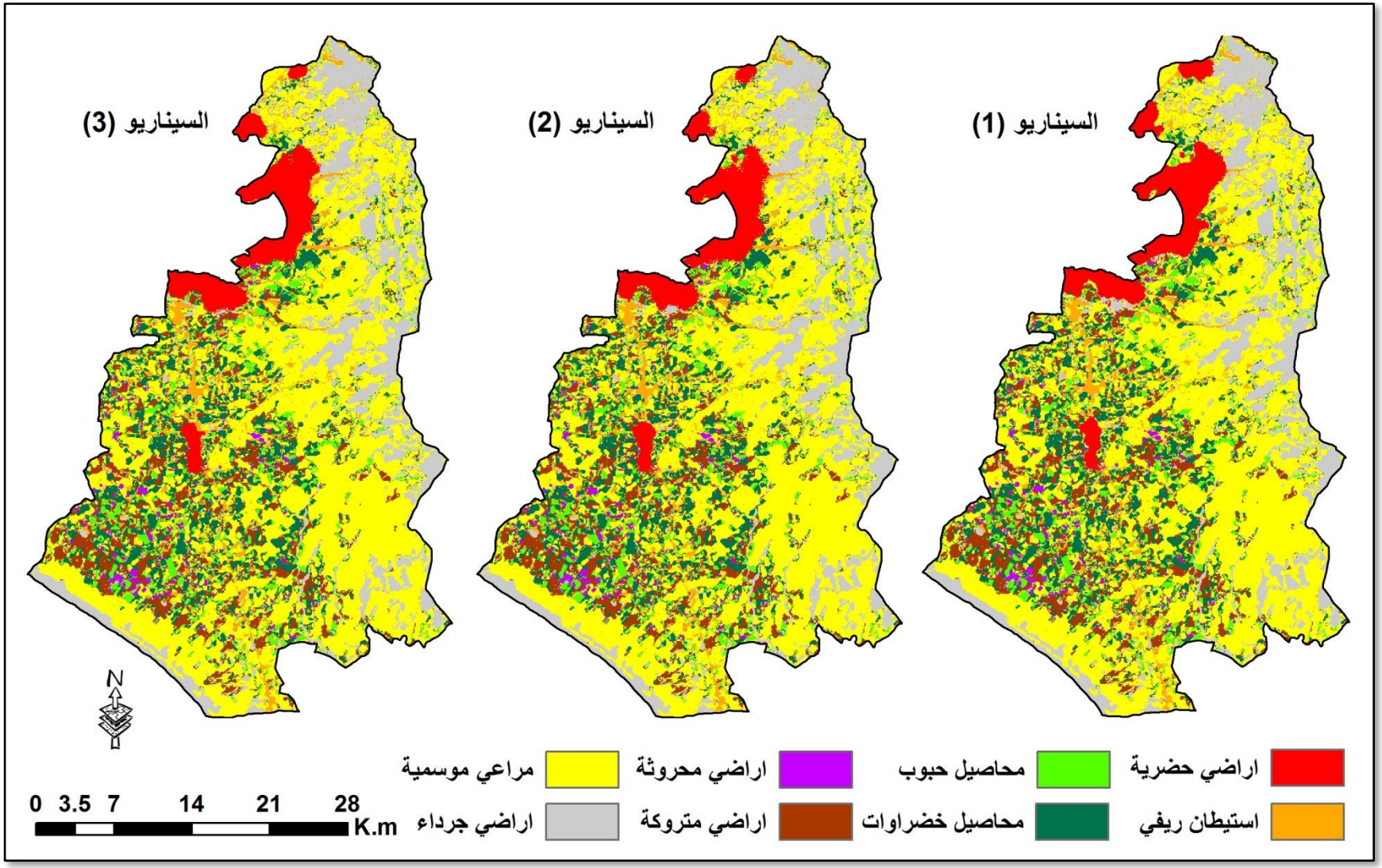
وعلى الجانب الآخر يشير التوقع طبقا للسيناريو (1)، بأن هناك تناقصاً في مساحة الأراضي المزروعة بمحاصيل الخضراوات تقدر بنحو 72.86- كم^2 في الموسم الزراعي الشتوي، ونحو 16.44- كم^2 في الموسم الزراعي الصيفي، والامر لا يختلف كثيرا عما هو في السيناريوهين (2) و(3)؛ وهذا يدل على زيادة الاعتماد على استيراد محاصيل الخضراوات من الخارج في المستقبل القريب، فضلا عن ضعف الإنتاج المحلي من هذه المحاصيل على منافسة ما هو سيستورد منها، في حين، أن صنف المراعي الموسمية سوف تزداد مساحته نحو 15.72 كم^2 و62.03 كم^2 في الموسمين الزراعيين الشتوي والصيفي على التوالي عن السيناريو (1)، والامر لا يختلف كثيرا عما سجله السيناريوهين (2) و(3)، ويعزى ذلك إلى أن التوسع في زراعة محاصيل الحبوب، سوف يخلف وراءه زيادة في مساحة المراعي الموسمية بعد عملية الحصاد. ينظر الخريطتان (62) و(63)، والجدولان (31) و(32)، والشكلان (54) و(55).

الخريطة (62): استعمالات الأرض في قضاء سهل أربيل للموسم الزراعي الشتوي المتوقع عام 2029



المصدر: عمل الباحث، اعتمادا على الامتداد GeoSOS في برنامج ArcGIS Desktop 10.6.1 والخريطتين (49) و(56).

الخريطة (63): استعمالات الأرض في قضاء سهل أربيل للموسم الزراعي الصيفي المتوقع عام 2029



المصدر: عمل الباحث، اعتمادا على الامتداد GeoSOS في برنامج ArcGIS Desktop 10.6.1 والخريطتين (49) و(56).

الجدول (31): مساحة استعمالات الأرض المتوقعة في قضاء سهل أربيل للموسم الزراعي الشتوي عام 2029 وتغيراتها وفقا للسيناريوهات المعتمدة

الصنف	2019	سيناريو 1: 2029		سيناريو 2: 2029		سيناريو 3: 2029	
	المساحة بالكم^2	المساحة بالكم^2	تغير المساحة من 2019 – 2029	المساحة بالكم^2	تغير المساحة من 2019 – 2029	المساحة بالكم^2	تغير المساحة من 2019 – 2029
اراضي حضرية	41.42	67.92	26.5	68.59	27.17	68.65	27.23
استيطان ريفي	55.97	62.69	6.72	63.45	7.48	65.16	9.19
محاصيل حبوب	430.26	499.11	68.85	497.96	67.7	498.34	68.08
محاصيل خضراوات	220.72	147.86	-72.86	147.33	-73.39	146.74	-73.98
اراضي محروثة	28.20	19.06	-9.14	19.08	-9.12	19.08	-9.12
اراضي متروكة	47.30	37.45	-9.85	37.29	-10.01	37.31	-9.99
مراعي موسمية	274.47	290.19	15.72	291.25	16.78	290.34	15.87
اراضي جرداء	206.96	181.02	-25.94	180.35	-26.61	179.68	-27.28
كامل القضاء	1305.3	1305.3		1305.3		1305.3	

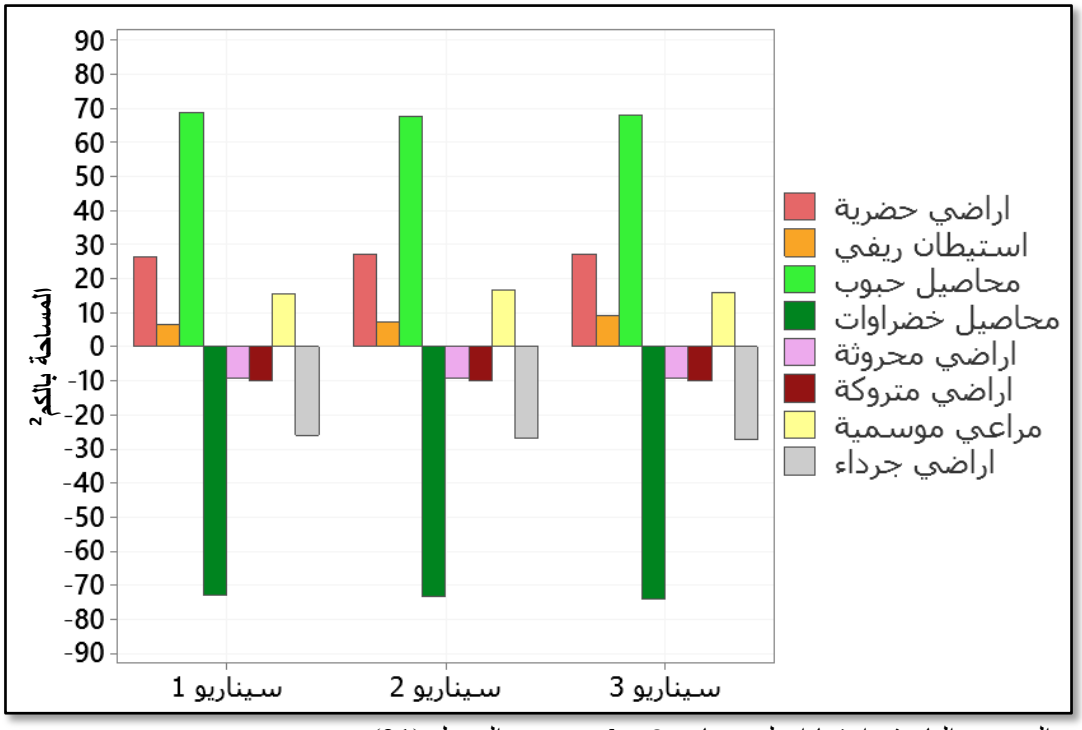
المصدر: الباحث، اعتمادا على الخريطة (62).

الجدول (32): مساحة استعمالات الأرض المتوقعة في قضاء سهل أربيل للموسم الزراعي الصيفي عام 2029 وتغيراتها وفقا للسيناريوهات المعتمدة

الصنف	2019	سيناريو 1: 2029		سيناريو 2: 2029		سيناريو 3: 2029	
	المساحة بالكم^2	المساحة بالكم^2	تغير المساحة من 2019 – 2029	المساحة بالكم^2	تغير المساحة من 2019 – 2029	المساحة بالكم^2	تغير المساحة من 2019 – 2029
اراضي حضرية	41.42	67.92	26.5	68.59	27.17	68.65	27.23
استيطان ريفي	55.97	62.69	6.72	63.35	7.38	65.16	9.19
محاصيل حبوب	105.61	80.34	-25.27	80.09	-25.52	79.7	-25.91
محاصيل خضراوات	164.92	148.48	-16.44	147.76	-17.16	147.87	-17.05
اراضي محروثة	29.80	23.48	-6.32	23.42	-6.38	23.3	-6.5
اراضي متروكة	120.86	111.48	-9.38	110.81	-10.05	110.33	-10.53
مراعي موسمية	553.38	615.41	62.03	616	62.62	615.21	61.83
اراضي جرداء	233.34	195.5	-37.84	195.28	-38.06	195.08	-38.26
كامل القضاء	1305.3	1305.3		1305.3		1305.3	

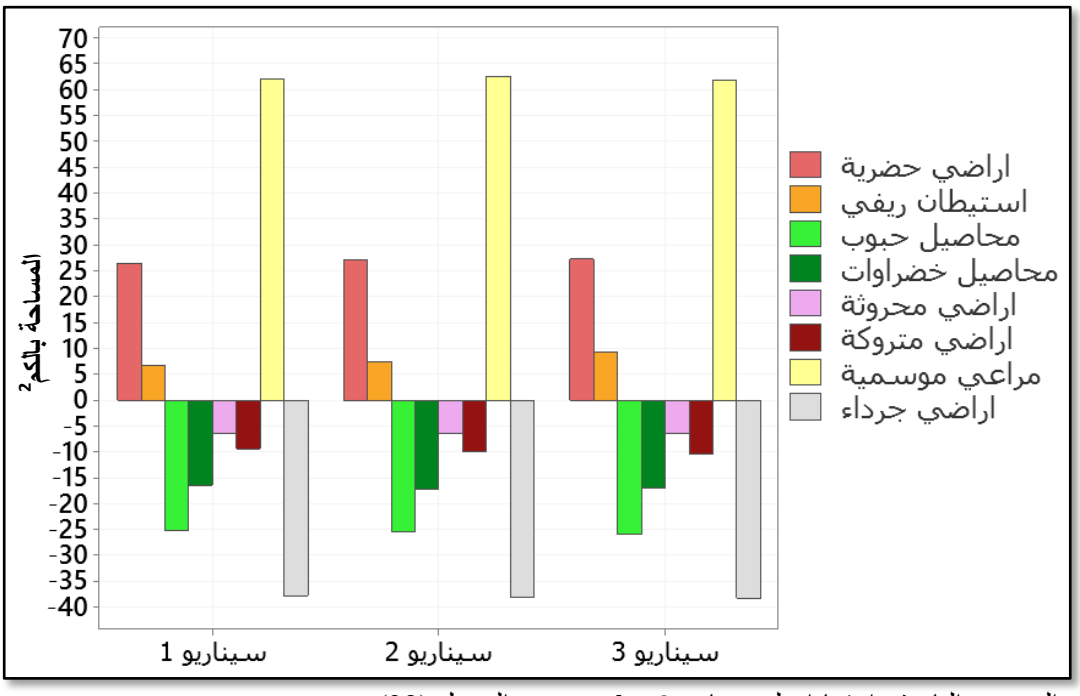
المصدر: الباحث، اعتمادا على الخريطة (63).

الشكل (54): تغير استعمالات الأرض في قضاء سهل أربيل المتوقعة للموسم الزراعي الشتوي لعام 2029 وفقا للسيناريوهات المعتمدة



المصدر: الباحث، اعتمادا على برنامج Minitab 19 والجدول (31).

الشكل (55): تغير استعمالات الأرض في قضاء سهل أربيل المتوقعة للموسم الزراعي الصيفي لعام 2029 وفقا للسيناريوهات المعتمدة



المصدر: الباحث، اعتمادا على برنامج Minitab 19 والجدول (32).

ومن الجدير بالذكر أن التوسع المساحي الحضري واقع لا محالة، ومدفوعا بالزيادة السكانية سواء كانت طبيعية أم بعامل الهجرة؛ واذا ما استمر التوسع المساحي عشوائيا، قاضما بذلك الأراضي الزراعية ذات الأصناف العليا من قابلية الأرض على الإنتاج من دون أي اعتبار، كما اظهره السيناريو (3)، سوف يخسر قضاء سهل أربيل صفته الزراعية بمرور الزمن، وتضمحل الزراعة بصفتها أحد عناصر القوة الاقتصادية في البلد، متوجها بذلك نحو التصحر وخسارة ثروة قومية لا يمكن تعويضها، أما إذا ما اعتمد على استدامة الأرض الزراعية لجميع المحاصيل بصورة شاملة، فسوف يكون هناك حذر في التوسع كما اظهره السيناريو (1)، وسيعوض التوسع الحضري نحو الأجزاء الشرقية من قضاء سهل أربيل حتى وإن كان التوسع أكثر كلفة من الناحية الاقتصادية، معتمدا في ذلك على الأصناف الدنيا من قابلية الأرض على الإنتاج، في حين لو اضطر التوسع المساحي الحضري على حساب الأراضي الزراعية ذات الأصناف العليا من قابلية الأرض على الإنتاج، فيمكن التعويض بعدم التجاوز على الأصناف العليا من ملاءمة الأرض على زراعة المحاصيل الاستراتيجية بوصفها محاصيل تدخل ضمن الامن الغذائي القومي، كما أظهره السيناريو (2). لذلك يجب اخذ ما ذكر بنظر الاعتبار عند وضع خرائط التخطيط الأساس لمراكز النواحي في قضاء سهل أربيل، خاصة وانها ستستنفذ حتى عام 2029 بملء الفضاءات الحضرية داخل حدودها.

ومن المنظور الزراعي فإن الاستمرار في الاعتماد على الزراعة الديمية لإنتاج المحاصيل الاستراتيجية سوف لن يرتقي بالزراعة نحو الإنتاج الواسع المنظم، لذلك لابد من البدء بمشاريع إروائية للشروع بزراعة المحاصيل الاستراتيجية اعتمادا على مياه الري من أجل تطوير الزراعة في القضاء، وهذا سينعكس أيضاً على تطوير زراعة الخضراوات والتقليل من الاعتماد على ما هو مستورد.

وعلى الجانب الآخر فإن نجاح رسم سيناريوهات مستقبلية لاستعمالات الأرض في قضاء سهل أربيل ما هو إلا نتيجة حتمية من تحقيق التكامل المنهجي الذي وضعه Mesev ضمن الدور الفاعل للاستشعار عن بعد في تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية؛ إذ قدم الاستشعار عن بعد في هذه الدراسة نماذج خرائطية لاستعمالات الأرض في الماضي والحاضر، ثم استكمل العمل مع نظم المعلومات الجغرافية نحو تقديم أنموذج مستقبلي لاستعمالات الأرض بسيناريوهات مختلفة، وقد تحقق ذلك بتكاملات ضمنية بين نظم المعلومات الجغرافية من جانب ونظم دعم القرار المكاني وتطبيقات الذكاء الاصطناعي من جانب آخر.

ومن منظور المصفوفة الجغرافية فإن محاكاة مستقبل استعمالات الأرض بسيناريوهات مختلفة في ضوء الحدود الشرطية (مِحكات) الموضوعة، وقعت ضمن التغيرات الطارئة على

التباين المكاني، لكون المحاكاة أخذت في الاعتبار مجموعة من الظواهر المتفاعلة (استعمالات الأرض، وقابلية الأرض على الإنتاج، فضلا عن ملامح ملاءمتها على زراعة المحاصيل الاستراتيجية)، في أزمنة مختلفة.

وبذلك قدمت الدراسة، مجموعة من الخرائط، بوصفها وثائق مكانية يمكن أن تسهم بفاعلية في مجال التخطيط من خلال تجسيدها لصورة الماضي لاستعمالات الأرض في قضاء سهل أربيل منذ تأسيسه مرورا بحاضره ونحو مستقبله حتى عام 2029 بسيناريوهات مختلفة، فضلا عن خرائط القابلية الإنتاجية للأرض وملاءمتها على زراعة المحاصيل الاستراتيجية، وكذلك ملاءمة الأرض على التوسع المساحي الحضري، ويبقى الأمر مناطا بيد أصحاب القرار الذين يمكنهم الإفادة من تلك الخرائط بما يدعم عمليات التخطيط والتنمية.

الإستنتاجات والمقترحات

Conclusions and Suggestion

الإستنتاجات

1- عملت النمذجة الخرائطية على النهوض بالبنية التحتية للجغرافيا نحو مصاف العلوم التجريبية من خلال قياس مستوى الثقة لأنواع مختلفة من النماذج الخرائطية، ابتداء بخريطة استعمالات الأرض مرورا بخرائط تقييم الأرض على استيعاب الاستعمالات المختلفة، وانتهاء بخرائط التنبؤ بمستقبل استعمالات الأرض وبذلك دعمت النمذجة الخرائطية المنهج في الجغرافيا بما يتماشى مع التطور التكنولوجي الذي تشهده العلوم.

2- على الرغم من قدرة برمجيات الاستشعار عن بعد في الكشف عن التغيرات التي تطرأ على استعمالات الأرض الا أن برمجيات نظم المعلومات الجغرافية لازالت رائدة في تقديم نماذج خرائطية متعددة المناظير حول هذه التغيرات، كالنمذجة الخرائطية لتغير الاستعمالات المتوطنة في حيز مكاني معين نحو استعمال ما، فضلا عن خرائط النزعة المكانية.

3- يمكن استخدام الأداتين MBU و Change Detection for Spectral Indices المطورتين في هذه الدراسة مع أي حيز مكاني آخر وبغض النظر عن سعة المساحة والموقع الجغرافي وخصوصية الحيز المكاني، لكونها تتعامل مع الحزم المتوفرة في مرئيات Landsat سواء من المستشعر ETM+ ام OLI أي تتعامل مع الاطياف وليس مع خصوصية المكان، كما يمكن تداول الأداتين والعمل عليهما من لدن الباحثين الجغرافيين والمخططين بعد الحصول على رخصة من مؤسسة ESRI، شريطة أن يتوفر في حواسيبهم برنامج ArcGIS Desktop ضمن الاصدارة 10.6.1، وكذلك الاصدارات الأحدث.

4- بينت الدراسة قدرة نظم المعلومات الجغرافية على نمذجة خريطة قابلية الأرض على الإنتاج الزراعي، بتوليف جملة من المعادلات الرياضية المتفق عليها عالميا، مع البيانات التي يوفرها الاستشعار عن بعد، وكذلك البيانات المستحوذة من مصادر اخرى، وهذا يثبت بان النمذجة الخرائطية هي من صلب عمل نظم المعلومات الجغرافية وليس علم الخرائط، وإن كان الاخير مساهما فيها.

5- تتطلب النمذجة الخرائطية لملاءمة الأرض على زراعة المحاصيل الاستراتيجية تكاملات ضمنية بين نظم المعلومات الجغرافية من جانب والإحصاء ونظم دعم القرار المكاني من جانب آخر، ذلك للتقليل من حتمية الرياضيات المستخدمة في جبر الخرائط؛ إذ تعمل نظم المعلومات الجغرافية على تحويل البيانات العددية وفقا لمعادلات رياضية إلى طبقات خلوية Raster Layers، في حين يعمل الإحصاء على تحويل الحدود التصنيفية المتفق عليها عالميا لمستويات الملاءمة إلى معادلات انحدار خطية، تدخل في بيئة نظم المعلومات الجغرافية للشروع بعملية التصنيف. بينما يعمل نظام دعم القرار المكاني على تقديم الأوزان اللازمة للمتغيرات الداخلة في عملية جبر الخرائط وفقا لآراء جملة من المحكمين وبمستوى ثقة مقبولة إحصائيا.

6- يمكن استخدام الأداتين Wheat and Barley Crops Suitability و Maize Crop Suitability المطورتين في هذه الدراسة مع أي حيز مكاني يتمتع بسياسة زراعية واحدة، أي عدم وجود أي تباين محلي في العوامل البشرية المؤثرة على الزراعة داخل حدوده، باستثناء الأيدي العاملة وسهولة الوصول، كما يمكن تداول الأداتين والعمل عليهما من لدن الباحثين الجغرافيين والمخططين بعد الحصول على رخصة من مؤسسة ESRI، شريطة ان يتوفر في حواسيبهم برنامج ArcGIS Desktop ضمن الاصدارة 10.6.1، وكذلك الاصدارات الاحدث.

7- أظهرت الدراسة قدرة نظم المعلومات الجغرافية على زيادة المحتوى المعلوماتي للنماذج الخرائطية التي ينتجها الاستشعار عن بعد. وقد ظهر ذلك جليا عند فصل صنف الاستيطان البشري إلى صنفين مختلفين في المفهوم، هما المنطقة الحضرية والاستيطان الريفي، وذلك استنادا إلى بيانات الحدود البلدية للمراكز الحضرية؛ إذ كانت هذه خطوة محورية للشروع في نمذجة خرائطية أكثر تقدما نحو ملاءمة الأرض على التوسع المساحي الحضري، وقد وقع ذلك ضمن مستوى التكامل الفاعل بين الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية بسياق نظرية التكامل المنهجي.

8- تعتمد النمذجة الخرائطية لملاءمة الأرض على التوسع المساحي الحضري، على خصوصية الحيز المكاني المدروس من حيث انتخاب المتغيرات المؤثرة في رسم مستويات الملاءمة على سطح الخريطة شريطة أن تكون الأوزان مستنبطة من نظم دعم القرار المكاني وليس من الاجتهادات الشخصية في تعيين أوزان المتغيرات حتى يتم الحكم بموضوعية عن مشهد ملاءمة التوسع المساحي الحضري في المنطقة المدروسة.

9- يمكن استخدام الأداة Urban Spatial Expansion Suitability المطورة في هذه الدراسة مع أي حيز مكاني يشبه الخصوصية المكانية لقضاء سهل أربيل، أي يتمتع بغياب الاستعمالات الضاغطة على التوسع المساحي الحضري، فضلا عن غياب تواجد موارد مائية باستثناء المياه الجوفية، كما يمكن تداول الأداة المطورة والعمل عليهما من لدن الباحثين الجغرافيين والمخططين بعد الحصول على رخصة من مؤسسة ESRI، شريطة ان يتوفر في حواسيبهم برنامج ArcGIS Desktop ضمن الاصدارة 10.6.1، وكذلك الاصدارات الأحدث.

10- كشفت النمذجة الخرائطية عن تذبذب النشاط الزراعي في قضاء سهل أربيل بين تقلص وانبساط بين الأعوام 2002، 2012، 2019، ذلك على صعيد زراعة الحبوب والخضراوات. إذ ظهر التغير في الاستعمالات عشوائيا وبنزعات مكانية غير ثابتة، وهكذا كان تغير استعمالات الأرض الزراعية في القضاء انعكاسا حتميا للظروف السياسية والاقتصادية التي أحاطت بالدولة نتيجة لغياب التخطيط.

11- يتمتع قضاء سهل أربيل بأرض خصبة ذات أصناف جيدة ومتوسطة من قابلية الأرض على الإنتاج الزراعي وبمساحة تقدر نحو أكثر من 50% من المساحة الكلية للقضاء، وقد انعكس ذلك على تمتع القضاء بأصناف عليا من ملاءمة الأرض على زراعة المحاصيل الاستراتيجية، وفي حال تم التخطيط لاستثمار هذه المساحات الواسعة من الأراضي لأغراض الزراعة سوف يدعم ذلك اقتصاد البلد بشكل كبير.

12- اظهرت المحاكاة الخرائطية أن هناك تغيرا سوف يطرأ على استعمالات الأرض الزراعية حتى عام 2029 في الموسم الزراعي الشتوي نحو زيادة مساحة الأراضي المزروعة بالحبوب كنتيجة لزيادة السكان مع تقلص في زراعة الأراضي بمحاصيل الخضراوات. فضلا عن تقلص في المساحات المزروعة بمحاصيل الحبوب والخضراوات معا في الموسم الزراعي الصيفي.

13- هناك توسع مستمر للأراضي الحضرية على حساب الأراضي الزراعية في قضاء سهل أربيل، وبمستويات مساحية قافزة، للمدة (2002-2019)، في حين يتوقع ان تزيد المساحة حتى عام 2029 بزيادة مقدارها 27 كم^2، إذا ما أُخذ معدل الزيادة المساحية للأرض الحضرية بين السيناريوهات المختلفة، وبذلك فإن قضاء سهل أربيل سيفقد صفته الزراعية بمرور الزمن متوجها نحو التحضر، في حال غياب التخطيط.

14- يتميز قضاء سهل أربيل بملاءمة جيدة على التوسع المساحي الحضري عند الأخذ بنظر الاعتبار عدم التجاوز – قدر الإمكان – على الأراضي الزراعية ذات الأصناف الجيدة بمنظور قابلية الأرض على الإنتاج الزراعي، فضلا عن ملاءمتها على زراعة المحاصيل الاستراتيجية، وفي حال الاعتماد على بيانات السكان المقدرة وافتراض أنها صحيحة، فيتوقع أنها تكفي لزيادة سكانية نحو 3 أضعاف العدد المقدر للسكان لعام 2019، إذ ما اخذ بعين الاعتبار استدامة الأرض لجميع المحاصيل الزراعية. و5 اضعاف العدد المقدر للسكان لذات العام، إذا ما أخذ بنظر الاعتبار استدامة الأرض لزراعة المحاصيل الاستراتيجية.

15- بينت السيناريوهات الخرائطية التي أنتجها أنموذج المحاكاة ANN-CA حول معدل الزيادة المساحية للأرض الحضرية التي قدرت بنحو 27كم^2 حتى عام 2029 أن في حال استمرار التوسع المساحي الحضري بذات الوتيرة المتوقعة، سوف يكون صنف الملاءمة العالية على التوسع المساحي الحضري في قضاء سهل أربيل كافيا لاستيعاب الأرض الحضرية لـ 60 سنة أخرى عند الأخذ بعين الاعتبار استدامة الأرض لجميع المحاصيل الزراعية، ونحو 90 سنة أخرى عند الالتزام باستدامة الأراضي لزراعة المحاصيل الاستراتيجية فقط.

المقترحات

1- توسيع نطاق العمل بالنمذجة الخرائطية ليشمل معالجة الظواهر البشرية الأُخرى، فضلا عن اللاندسكيب الطبيعي، لما تتمتع به من إمكانيات تجريبية نابعة من قدرات إحصائية ورياضية متفاعلة في قياس الظاهرة المدروسة.

2- الابتعاد عن ترجيح (وزن) المتغيرات الجغرافية بأسلوب شخصي اجتهادي عند معالجة أي ظاهرة في نظم المعلومات الجغرافية، والاعتماد على التقييم المتعدد المعايير كجانب من دعم القرار المكاني في عمليات الترجيح من أجل الحصول على الدقة والموضوعية عند عملية النمذجة.

3- توخي الحذر عند العمل على الأنموذج الرياضي ANN-CA من أجل المحاكاة الخرائطية لمستقبل استعمالات الأرض من حيث التأكد من جودة النمذجة الخرائطية ومستوى الثقة الإحصائية الناتجة عنها، نظرا لحساسية الأنموذج في استقبال الخرائطية المنمذجة كمدخلات، من دون ذلك سوف لن يقدم أنموذج ANN-CA أي مستوى مقبول للثقة يمكن من خلاله اعتماد السيناريوهات الخرائطية كوثائق مكانية جاهزة للتحليل والتفسير.

4- القيام بمشاريع إروائية وتجنب الاعتماد على الزراعة الديمية فقط، من أجل الارتقاء بالزراعة إلى مستوى الإنتاج الواسع المنظم من جانب، فضلا عن استدامة الأرض الزراعية من جانب آخر.

5- توجيه التوسع المساحي الحضري في قضاء سهل أربيل نحو جانبه الشرقي على الرغم من كلفة التوسع من الناحية الاقتصادية، إذ الارتفاع النسبي للمنحدرات الأرضية، وكذلك توطن أصناف دنيا من قابلية الأرض على الإنتاج وملاءمتها على زراعة المحاصيل الاستراتيجية، للحيلولة دون فقدان الأراضي الزراعية الجيدة بوصفها ثروة قومية لا يمكن تعويضها.

6- بناء جسر للتواصل بين مخرجات الجغرافيين والجهات الحكومية، وتفعيل دورهم في عملية التخطيط، لأنهم يسهمون في إنتاج خرائط تقييمية نابعة من تقنيات متقدمة في معالجة البيانات ونمذجتها، وذلك من خلال توجيه سياسة الوزارات مثل وزارة الزراعة ووزارة البلديات والاشغال العامة نحو الإفادة من تلك الدراسات.

المصادر

References

اولا: المراجع العربية

الدوائر الحكومية والإحصاءات الرسمية

1- جمهورية العراق، إقليم كوردستان، وزارة البلديات والسياحة، مديرية التخطيط العمراني، شعبة نظم المعلومات الجغرافية، الحدود الإدارية لمراكز نواحي قضاء سهل أربيل، ملفات رقمية غير منشورة، 2019.

2- جمهورية العراق، إقليم كوردستان، وزارة التخطيط، مديرية إحصاء محافظة أربيل، شعبة الإحصاء، سكان قضاء سهل أربيل، بيانات غير منشورة، 2019.

3- جمهورية العراق، إقليم كوردستان، وزارة التخطيط، مديرية إحصاء محافظة أربيل، شعبة الإحصاء الزراعي، الأيدي العاملة الزراعية، بيانات غير منشورة، 2019.

4- جمهورية العراق، إقليم كوردستان، وزارة التخطيط، مديرية إحصاء محافظة أربيل، شعبة نظم المعلومات الجغرافية، الخرائط الإدارية لمحافظة أربيل، ملفات رقمية غير منشورة، 2018.

5- جمهورية العراق، إقليم كوردستان، وزارة الداخلية، دائرة محافظة أربيل، قائمقامية قضاء سهل أربيل، الشعبة الإدارية، كتاب اعلان سهل أربيل كقضاء ضمن محافظة أربيل، المرقم 372 لسنة 2002.

6- جمهورية العراق، إقليم كوردستان، وزارة الزراعة والمصادر المائية، دائرة المياه الجوفية، المياه الجوفية في محافظة أربيل، بيانات غير منشورة، 2019.

7- جمهورية العراق، إقليم كوردستان، وزارة الزراعة والمصادر المائية، مديرية زراعة أربيل، شعبة نظم المعلومات الجغرافية، طرق النقل في قضاء سهل أربيل، ملفات رقمية غير منشورة، 2019.

8- جمهورية العراق، وزارة الاعمار والاسكان، الهيئة العامة للإسكان، شعبة الدراسات، كراس معايير الاسكان الحضري، 2010.

9- جمهورية العراق، وزارة الزراعة، البرنامج الوطني لإعداد خرائط التقسيم البيئي الزراعي في العراق، 2011.

10- جمهورية العراق، وزارة الزراعة، شبكة الارصاد الجوية الزراعية العراقية، رابط الانترنت: https://agromet.gov.iq.

الرسائل الجامعية

1- أبو صاع، اسراء صبحي عبد الرحمن، التغيرات في الغطاءات الأرضية/ استعمالات الأرض في محافظة تولكرم بين عامي 2005 و2011 باستخدام تقنية نظم المعلومات الجغرافية GIS، رسالة ماجستير غير منشورة، كلية الدراسات العليا، جامعة النجاح الوطنية، 2014.

2- الخفاجي، جمعة مبارك عزيز، تقييم خرائط استعمالات الأرض في المراكز الحضرية لقضاء الزبير باستخدام تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية، اطروحة دكتوراه غير منشورة، كلية التربية للعلوم الإنسانية، جامعة البصرة، 2019.

3- رزق، محمد حسين عبد الستار، استخدام الأرض في شياخة بهتيم " مدينة شبرا الخيمة" باستخدام نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد، رسالة ماجستير غير منشورة، كلية الاداب، جامعة عين شمس، 2009.

4- عبد الفتاح، السيد عبد الفتاح، تقييم طرق تصنيف المرئيات الفضائية لدراية التغير العمراني بمحافظة البحيرة " نماذج تطبيقية لبناء نظام معلومات جغرافي"، اطروحة دكتوراه غير منشورة، كلية الآداب، جامعة القاهرة، 2017.

5- عبد اللطيف، مكي غازي، استخدام تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية في التصنيف والتحليل المكاني لاستعمالات الأرض في قضاء الأعظمية (دراسة كارتوكرافية تحليلية)، اطروحة دكتوراه غير منشورة، كلية التربية (ابن رشد)، جامعة بغداد، 2006.

6- علي، مصطفى حلو، دراسة تغير الغطاء الأرضي واستعمالات الأرض في محافظة ميسان باستخدام تقنيتي الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية، اطروحة دكتوراه غير منشورة، كلية التربية للعلوم الإنسانية، جامعة البصرة، 2018.

7- قهرمان، ليلى محمد، تحليل جغرافي لخصائص ومشاكل ترب محافظة أربيل وقابلية أراضيها الإنتاجية، اطروحة دكتوراه غير منشورة، كلية الآداب، جامعة صلاح الدين، 2004.

الدوريات والمجلات العلمية

1- حمادي، عباس حمادي وهلول، محمد فشلان، التحليل الكمي لكفاءة شبكة طرق النقل البرية المعبدة في محافظة القادسية، مجلة القادسية في الاداب والعلوم التربوية، جامعة القادسية، العراق، العدد 1، 2019.

2- دياب، علي محمد، المدخل والمنهج في الدراسات الجغرافية البشرية، مجلة جامعة دمشق، المجلد 26، العدد 3+4، 2010.

3- دياب، علي محمد، دور مناهج البحث العلمي العامة المعاصرة في تطوير نظرية الجغرافية البشرية، مجلة جامعة دمشق، المجلد 26، العدد 1+2، 2010.
4- رواندزي، عمر حسن حسين وعثمان، رزكار محمد، اتجاهات التوسع الحضري (المساحي) للمراكز الحضرية في قضاء سوران وآثارها البيئية، مجلة جامعة دهوك للعلوم الإنسانية والاجتماعية، جامعة دهوك، المجلد 17، العدد 2، 2014.
5- سرحان، ابراهيم خليل وآخرون، استخدام الشبكات العصبية Neural Networks في تخمين الحديد الجاهز في التربة لبعض مناطق وسط وشمال العراق، مجلة زراعة الرافدين، المجلد 39، العدد 4، 2011.
6- عبد الجبار، امية غانم، استخدام الشبكات العصبية الاصطناعية بخوارزميات مختلفة في نمذجة درجات حرارة التربة على اعماق واوقات مختلفة بدلالات بعض المعلومات المناخية، مجلة تكريت للعلوم الصرفة، المجلد 5، العدد 18، 2013.
7- عبد العزيز، بثينة عبد الجادر والوكيل، خولة حسين، التنبؤ بالمعدلات الشهرية لدرجات الحرارة العظمى والصغرى في مدينة بغداد باستخدام الشبكات العصبية المتعددة المتغيرات، مجلة كلية الرافدين الجامعة للعلوم، العدد 36 ، 2015.
8- عبدالله، داود فهد والزبيدي، خالد ياسين، التحليل الاقتصادي والقياسي للسياسة السعرية للمحاصيل الاستراتيجية للعراق للمدة (1990 – 2013)، مجلة جامعة تكريت للعلوم الزراعية، المجلد 16، العدد 1، 2016.
9- القصاب، ابراهيم محمد حسون والجنابي، صلاح حميد، القوى العاملة الزراعية في العراق وإمكانية التعويض والمناقلة، مجلة الجمعية الجغرافية العراقية، المجلد 17، بغداد، 1986.
10- الكناني، كامل كاظم بشير والجابري، احمد عبد السلام حنش، استخدام منهجية التحليل المكاني في تقييم الملاءمة المكانية للتوسع الحضري لمدينة الكوت، مجلة كلية التربية، جامعة واسط، العدد 12، 2012.
11- المحمدي، عمر سالم يسلم، شبكة الطرق والنقل الحضري في مدينة المكلا دراسة جغرافية باستخدام نظم المعلومات الجغرافية، المؤتمر الدولي الثالث لنظم المعلومات الجغرافية وتحقيق التنمية المستدامة، قسم الجغرافيا، جامعة طرابلس، ليبيا، 2014.
12- ملحم، خنساء، نظم تصنيف الغطاء الأرضي واستخدامات الأراضي: دراسة في الأساس النظري والمنهجي، مجلة جامعة دمشق، المجلد 33، العدد 2، 2017.
13- نامق، فيصل ناجي، توظيف التحليل العاملي الاستكشافي لاستخلاص عوامل الولاء المنظمي والرضا الوظيفي دراسة حالة في الكلية التقنية الإدارية – بغداد، مجلة العلوم الاقتصادية والإدارية، المجلد 19، العدد 20، 2013.

الكتب

1- أبو صالح، محمد صبحي، مبادئ الإحصاء، دار اليازوري العلمية للنشر والتوزيع، عمان، الاردن، 2010.

2- ابو عيانة، محمد فتحي، السكان والعمران الحضري، دار المعرفة الجامعية، الاسكندرية، 1987.

3- اسود، فلاح شاكر، الخرائط الموضوعية، دار الكتب للطباعة والنشر، الموصل، 1991.

4- بشته، عادل زين العابدين ومستاه، محمد ابراهيم، تقنيات الاستشعار عن بعد وبعض التطبيقات في علوم الأرض، مركز النشر العلمي، جامعة الملك عبدالعزيز، المملكة العربية السعودية، 2013.

5- الجوهري، يسرى، اسس الجغرافيا العامة، منشأة المعارف، الاسكندرية، 1977.

6- الحديثي، طه حمادي، جغرافية السكان، دار الكتب للطباعة والنشر، ط2، جامعة الموصل، 2000.

7- خليل، عمر محمد، مبادئ الاستشعار عن بعد، دار شعاع للنشر والعلوم، حلب، سوريا، 2011.

8- الداغستاني، حكمت صبحي، مبادئ التحسس النائي وتفسير المرئيات، دار ابن الاثير للطباعة والنشر، جامعة الموصل، العراق، 2004.

9- عباس، محمد خضر، نشوء ومورفولوجيا التربة، دار الكتب للطباعة والنشر، جامعة الموصل، 1989.

10-العتبي، سامي عزيز عباس والطائي، اياد عاشور، الإحصاء والنمذجة في الجغرافيا، مكتبة اكرم للطباعة، بغداد، العراق، 2012.

11-عودة، سميح احمد محمود، الخرائط: مدخل إلى طرق استعمال الخرائط واساليب انشائها الفنية، المركز العربي للخدمات الطلابية، عمان، الاردن، ط2، 1996.

12-غنيم، عثمان محمد، تخطيط استخدام الأرض الريفي والحضري: اطار جغرافي عام، دار صفاء للطباعة والنشر، عمان، الاردن، 2008.

الكتب المنشورة على الشبكة العالمية

1- بري، عدنان ماجد عبد الرحمن، النمذجة والمحاكاة باستخدام Excel, SIMAN, Arena and General Purpose Simulation System (GPSS WORLD)،

جامعـــــــــة الملـــــــــك ســـــــــعود، 2002، رابـــــــــط الانترنـــــــــت:
.http://www.abarry.net/or/SimulationBook.pdf

2- عويل، الياس، دليل زراعة محصول الذرة الصفراء، وزارة الزراعة والاصلاح الزراعي، الجمهوريـــــــــة العربيـــــــــة الســـــــــورية، 2013، رابـــــــــط الانترنـــــــــت
https://drive.google.com/file/d/1GNEOvXpG1gJ2ncGEhlwLFRmJgBLCDbz_/view

ثانيا: المراجع الاجنبية

Thesis's

1- Abdullah, Renas Faris, Comparison of Agricultural Field and Plant Changes Using GIS In 2004-2014: Erbil Plain District Case, Master Thesis is not published, Department of Bioengineering and Sciences, Kahramanmaraş University, 2017.
2- Hama-Amen, Char O., Using Different Methods to Determine Critical Level of Potassium for Wheat Plant (Triticum durum) in Erbil Plain Soils, MD Thesis is not Published, College of Agriculture, University of Salahaddin, Kurdistan Region of Iraq, 2012.
3- Linh, Hoang Khanh, Land Use/Cover for Land Use Planning in Da Nang City، Viet Nam, PhD Thesis, University School of Science (GAUSS), Turkey, 2013.
4- Mohammed, Suraj, Urbanization And Water Resources Vulnerability In The Kumasi Metropolitan Area, Ghana, Master Thesis, Linköping University, Department of Water and Environmental Studies, Sweden ,2004.
5- N. M., Albert Allotey, Using Remote Sensing/GIS for A study of Agricultural Landuse Change in Akwapim South District, PhD thesis, University of Ghana, Ghana, 2000.
6- Nguyen, Hoang Khanh Linh, Detecting and Modeling the Changes of Land Use/Cover for Land Use Planning in Da Nang City, Viet Nam, PhD Thesis is not published, School of Science, Göttingen University, 2013.
7- Qashqo, Bassam, GIS-Based Multi-Criteria Decision Analysis for identifying water distribution points: a case study in Lapilang & Suspa regions, Nepal, Non Publishing Master of Science, MSc, University of Salzburg, Vienna, 2018.
8- Raghunath, M., Application of Remote Sensing and GIS in Urban Land Suitability Modeling at Parcel Level using Multi-Criteria Decision Analysis, Master Thesis is not published, Indian Institute of Remote Sensing, Andhra University, 2006.

9- Zhou, Libin, Integrating Artificial Neural Networks, Image Analysis and GIS for Urban Spatial Growth Characterization, PhD. Thesis, Florida State University, USA, 2012.

Research's and Publications

1- Abay, Asmelash, et al., GIS-based Landslide Susceptibility Evaluation Using Analytical Hierarchy Process (AHP) Approach: The Case of Tarmaber District, Ethiopia, Momona Ethiopian Journal of Science, Vol. 11, No. 1, 2019.
2- Abedini, M., et al., Landslide susceptibility mapping in Bijar city, Kurdistan Province, Iran: a comparative study by logistic regression and AHP models, Environmental Earth Sciences, Vol. 76, No. 8. 2017.
3- Abubahia, Ahmed M., et al., Preference Learning Based Decision Map Algebra: Specification and Implementation, UK Workshop on Computational Intelligence, Springer, 2019.
4- Aburas, Maher Milad, et al., Spatio-temporal simulation and prediction of land-use change using conventional and machine learning models: a review, Environ Monit Assess, Environmental monitoring and assessment, Vol. 191, No. 4, 2019.
5- Ahmad, Nehal, et al., Land Use Change Detection of Yamuna River Flood Plain Using Geospatial Technique, International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE), Vol. 8, No. 14, 2019.
6- Al-amri, Salem Saleh, Contrast Stretching Enhancement in Remote Sensing Image, BIOINFO Sens, Vol. 1, 2011.
7- Al-Fares, Wafi, Historical Land Use/Land Cover Classification Using Remote Sensing - A Case Study of the Euphrates River Basin in Syria, Springer Science & Business Media, New York, USA, 2013.
8- Ali, Khalid Ahmed, Multi-Criteria Decision Analysis for Primary School Site Selection in Al-Mahaweel district Using GIS Technique, journal of kerbala university, Vol. 14, No.1, 2018.
9- Anderson, James R., et al., A Land Use and Land Cover Classification System for Use with Remote Sensor Data, Vol. 964, US Government Printing Office, 1976.
10- Batty, Michael, Modeling and Simulation in Geographic Information Science: Integrated Models and Grand Challenges, Procedia-Social and Behavioral Sciences, Vol. 21, 2011.
11- Bhattia, Saad Saleem and Tripathia, Nitin Kumar, Built-up area extraction using Landsat 8 OLI imagery, GIScience & remote sensing, Vol. 51, No. 4, 2014.

12- Bisrat, Ethiopia and Berhanu, Belete, Identification of Surface Water Storing Sites Using Topographic Wetness Index (TWI) and Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), JNRD-Journal of Natural Resources and Development, Vol. 1, 2018.
13- Brown, Daniel G., et al., Spatial process and data models: Toward integration of agent-based models and GIS, Journal of Geographical Systems, Vol. 7, No. 1, 2005.
14- Câmara, Gilberto, et al., Towards a Generalized Map Algebra: Principles and Data Types, Conference: GeoInfo, Brazil, 2005.
15- Car, Adriana and Frank, Andrew U. , Computers, environment and urban systems, Vol. 19, No. 2, 1995.
16- Cordeiro, João Pedro Cerveira, et al., Yet Another Map Algebra, Geoinformatica, Vol. 13, No. 2, 2009.
17- D. R., Sowmya, et. al., Remote Sensing Satellite Image Processing Techniques for Image Classification: A Comprehensive Survey, International Journal of Computer Applications, Vol. 161, No. 11, 2017.
18- de Carvalho, Daniel Fonseca, et al., Predicting soil erosion using RUSLE and NDVI time series from TM Landsat 5, Pesquisa Agropecuária Brasileira, Vol. 49, No.3, 2014.
19- Ehlers, Manfred, et al., Integration of Remote Sensing and GIS: Data and Data Access, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 57, No. 6, 1991.
20- Ehlers, Manfred, et al., Integration of Remote Sensing with Geographic Information Systems: A Necessary Evolution, American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 55, 1989.
21- Feng, Yongjiu, Modeling dynamic urban land-use change with geographical cellular automata and generalized pattern search-optimized rules, International Journal of Geographical Information Science, Vol. 31, No. 6, 2017.
22- Foomani, M. S., et al., et al., Using Boolean and fuzzy logic combined with analytic hierarchy process for hazardous waste landfill site selection: A case study from Hormozgan province, Iran, Advances in Environmental Technology, Vol. 3, No. 1,2017.
23- Foster, S. S. D., et al., Groundwater in urban development—a review of linkages and concerns, Impacts of Urban Growth on Surface Water and Groundwater Quality (IUGG), IAHS PUBLICATION, No. 259, 1999.
24- Gharbia, Salem S., et al., Land use scenarios and projections simulation using an integrated GIS cellular automata algorithms, Modeling Earth Systems and Environment, Vol. 2, No. 3, 2016.

25- Giordano, Alberto, et al., A Conceptual Model of GIS-Based Spatial Analysis, Cartographica: The International Journal for Geographic Information and Geovisualization, Vol. 31, No. 4, 1994.
26- Giraldo, Patricia, et al., Worldwide Research Trends on Wheat and Barley: A Bibliometric Comparative Analysis, Agronomy, Vol. 9, No. 7, 2019.
27- Greene, Randal, et al., GIS-Based Multiple-Criteria Decision Analysis, Journal of Geography Compass, Vol. 5, No. 6, 2011.
28- Guan, Dongjie, et al., Dynamic simulation of land use change based on logistic-CA-Markov and WLC-CA-Markov models: a case study in three gorges reservoir area of Chongqing, China, Environmental Science and Pollution Research, Vol. 26, No. 20, 2019.
29- Güneralp, Burak, et al., Trends in urban land expansion, density, and land transitions from 1970 to 2010: a global synthesis, Environmental Research Letters, Vol. 15, No. 4, 2020.
30- HE, Chunyang, et al., Improving the normalized difference built-up index to map urban built-up areas using a semiautomatic segmentation approach, Remote Sensing Letters, Vol. 1, No. 4, 2010.
31- Herbei, R.C., et al., Spatial Analysis Methods of Raster Data Used into the Geographical Information Systems, Inżynieria Mineralna, Vol. 19, 2018.
32- Herrington, Susan, The Nature of Ian McHarg's Science, Landscape Journal, Vol. 29, No. 1, 2010.
33- Huang, Guoping, Modeling Urban Spatial Growth in Mountainous Regions of Western China, Mountain Research and Development, Vol. 37, No. 3, 2017.
34- Islam, Kamrul, et al., Modeling land use change using Cellular Automata and Artificial Neural Network: The case of Chunati Wildlife Sanctuary, Ecological indicators, Vol. 88, 2018.
35- Jianyaa, Gong, et al., A review of Multi-Temporal Remote Sensing Data Change Detection Algorithms, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. 37, No. 7, 2008.
36- Jovanovic, Jasmina and Zivkovic, Dragica, cartographic modeling of the population density in the function of research of spatial – demographical relations, Journal of the Geographical Institute" Jovan Cvijic", SASA, Vol. 54, 2005.
37- Kamuju, Narasayya, Spatial Identification and Classification of Soil Erosion Prone Zones using Remote Sensing & GIS Integrated 'RUSLE' Model and SATEEC GIS System, International Journal of Engineering Sciences & Research Technology, Vol. 5, No. 10, 2016.

38- Kechebour, Boualem El, Relation between stability of slope and the urban density: Case study, Procedia Engineering, Vol. 114, 2015.
39- Khan, Mohammad Shah Nawaz and Khan, Mazhar Ali, Land Suitability Analysis for Sustainable Agricultural Land Use Planning in Bulandshahr District of Uttar Pradesh, International Journal of Scientific and Research Publications, Vol. 4, No. 3, 2014.
40- Khan, Sadaf and Himanchal, the Impact of Urban Expansion on Agricultural Land use Changes in Aligarh, Uttar Pradesh, India, International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences, 2019.
41- Kritikos, Theodosios and Davies, Tim, Assessment of rainfall-generated shallow landslide/ debris-flow susceptibility and runout using a GIS-based approach: application to western Southern Alps of New Zealand, Landslides, Vol. 12, No. 6, 2015.
42- Langner, Josana A., et al., Maize: Key agricultural crop in food security and sovereignty in a future with water scarcity, Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Vol. 23, No. 9, 2019.
43- Liao, Jiangfu, et al., Urban sprawl scenario simulations based on cellular automata and ordered weighted averaging ecological constraints, Ecological Indicators, Vol. 17, 2019.
44- Lin, Jinyao and Li, Xia, Simulating urban growth in a metropolitan area based on weighted urban flows by using web search engine, International Journal of Geographical Information Science, Vol. 29, No. 10, 2015.
45- Liu, Xiaoping, et al., A future land use simulation model (FLUS) for simulating multiple land use scenarios by coupling human and natural effects, Landscape and Urban Planning, Vol. 168, 2017.
46- Liu, Xiaoping, et al., Zoning farmland protection under spatial constraints by integrating remote sensing, GIS and artificial immune systems, International Journal of Geographical Information Science, Vol. 25, 2011.
47- Machlis, G. E., et al., The Human Ecosystem, Part I: The Human Ecosystem as an Organizing Concept in Ecosystem Management, Society & Natural Resources, Vol. 10, No. 4, 1997.
48- Madanian, Maliheh Alsadat, et al., Monitoring Land Use/Cover Changes Using Different Change Detection Techniques (Case Study: Falavarjan Area, Isfahan, Iran), International Conference on Applied Life Sciences, Turkey, 2012.
49- Maria, Anu, Introduction to Modeling and Simulation, Proceedings of the 29th conference on Winter simulation, 1997.
50- Mboya, Rose, et al., The dietary importance of maize in Katumba ward, Rungwe district, Tanzania, and its contribution to household

food security, African Journal of Agricultural Research, Vol. 6, No. 11, 2011.
51- Mennis, Jeremy, et al., Cubic Map Algebra Functions for Spatio-Temporal Analysis, Cartography and Geographic Information Science, Vol. 32, No. 1, 2005.
52- Mironova, Yu N, Use of fuzzy sets in modeling of GIS objects, Journal of Physics: Conference Series, Vol. 1015, No. 3, 2018.
53- Monserud, Robert A. and Leemans, Rik, Comparing global vegetation maps with the Kappa statistic, Ecological modelling, Vol. 62, No. 4, 1992.
54- Morgan, Anthony Kwame, et al., Effect of road transport accessibility on agricultural produce marketing and livelihoods of farmers in the Kasena-Nankana West District of Ghana, The Journal of Development Practice, Vol. 5, 2019.
55- Moses, Akali Ngaywa, GIS-RUSLE Interphase Modeling of Soil Erosion Hazard and Estimation of Sediment Yield for River Nzoia Basin in Kenya, Journal of Remote Sensing and GIS, Vol. 6, No. 3, 2017.
56- Mukherjee, Krishnendu, et al., Supplier Selection: An MCDA-Based Approach, springer, Vol. 88, 2017.
57- Nor, Amal Najihah M., et al., Impact of rapid urban expansion on green space structure, Ecological Indicators, Vol. 81, 2017.
58- Ogashawara, Igor and Bastos, Vanessa da Silva Brum, A Quantitative Approach for Analyzing the Relationship between Urban Heat Islands and Land Cover, Remote Sensing, Vol. 4, No. 11, 2012.
59- Ogashawara, Igor and Bastos, Vanessa da Silva Brum, A Quantitative Approach for Analyzing the Relationship between Urban Heat Islands and Land Cover, Remote Sensing, Vol. 4, No. 3, 2012.
60- Olaniyi, A. O., et al., Agricultural Land Use Suitability Assessment in Malaysia, Bulgarian Journal of Agricultural Science, Vol. 21, No 3, 2015.
61- Openshaw, Stan, Some suggestions concerning the development of artificial intelligence tools for spatial modeling and analysis in GIS, The annals of regional science, Vol. 26, No.1, 1992.
62- Oweis, T. Y. and Taimeh, A. Y., Evaluation of a Small Basin Water-Harvesting System in the Arid Region of Jordan, Water Resources Management, Vol. 10, No. 1, 1996.
63- Panditharathne, D. L. D., et al., Application of Revised Universal Soil Loss Equation (Rusle) Model to Assess Soil Erosion in "Kalu Ganga" River Basin in Sri Lanka, Applied and Environmental Soil Science, 2019.

64- Pradhan, Biswajeet, Artificial Intelligence and Spatial Modeling Applications in Natural Hazards and Environmental, Conference of the Arabian Journal of Geosciences, Springer, 2018.
65- Rikalovic, Aleksandar, et al., GIS Based Multi-Criteria Analysis for Industrial Site Selection, Procedia engineering, Vol. 69, 2014.
66- Rizvi, Raza H., et al., Spectral Analysis of Remote Sensing Image for Assessment of Agroforestry Areas in Yamunanagar district of Haryana, National Symposium on Advances in Geo-spatial Technologies with Special Emphasis on Sustainable Rainfed Agriculture, RRSSC, Nagpur, 2009.
67- Rjeson, Lena Bo, et al., Scenario types and techniques: Towards a user's guide, Futures, Vol. 38, No. 7, 2006.
68- Rossiter, David G., et al., A Theoretical Framework for land evaluation, Geoderma, Vol. 72, No. (3-4), 1996.
69- Saaty, Thomas L., Decision making with the Analytic Hierarchy Process, International journal of services, Vol. 1, No. 1, 2008.
70- Saidi, Djamel, Importance and Role of Cation Exchange Capacity on the Physicals Properties of the Cheliff Saline Soils (Algeria), Procedia Engineering Journal, Elsevier, 2012.
71- Saifullah, K., et al, Spatial modeling of land use/cover change (LUCC) in South Tangerang City, In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Vol. 54, No. 1, 2018.
72- Saremi, Hanieh, et al., GIS based evaluation of land suitability: A case study for major crops in Zanjan University region, Journal of Food, Agriculture & Environment, Vol. 9, No. 1, 2011.
73- Shiferaw, Bekele, et al., Crops that feed the world 6. Past successes and future challenges to the role played by maize in global food security, Food security, Vol. 3, No. 3, 2011.
74- Sisodia, Pushpendra Singh, et. al., Analysis of Supervised Maximum Likelihood Classification for Remote Sensing Image, International Conference on Recent Advances and Innovations in Engineering, Jaipur, India, 2014.
75- Sonawane, Kishor R. and Bhagat, Vijay S., Improved Change Detection of Forests Using Landsat TM and ETM+ data, Remote Sensing of Land, Vol. 1, No.1, 2016.
76- Szabo, Szilard, et al., Specific Features of NDVI, NDWI and MNDWI as Reflected in landcover Categories, Landscape & Environment, Vol. 10, No. (4-3), 2016.
77- Takeyama, Masanao and Couclelis, Helen, Map dynamics: integrating cellular automata and GIS through Geo-Algebra, International Journal of Geographical Information Science, Vol. 11, No. 1, 1997.

78- Tawfiq, Luma. N. M. and AL-Mosawi, Alaa K. J., The Effect of Number of Training Samples For Feed Forward Neural Network, Journal of Al-Qadisiyah for computer science and mathematics, Vol. 2, No. 2, 2010.
79- Teka, Kassa and Haftu, Mulu, Land Suitability Characterization for Crop and Fruit Production in Midlands of Tigray, Momona Ethiopian Journal of Science, Vol. 4, No. 1, 2012.
80- Tessema, Yared Mesfin, et al., Soil Loss Estimation for Conservation Planning in the Welmel Watershed of the Genale Dawa Basin, Agronomy, Vol. 10, No. 6, 2020.
81- Therond, Olivier, et al., Methodology to translate policy assessment problems into scenarios: the example of the SEAMLESS integrated framework, Environmental Science & Policy, Vol. 12, No. 5, 2009.
82- Tomlin, C. Dana, Map algebra: one perspective, Landscape and Urban Planning, Vol. 30, No. (1-2), 1994.
83- Umoh, Uduak A. and Hart, Emmanuel H., Cellular Automata Model for Prediction of Urban Growth Pattern, International Journal of Science and Technology, Vol. 6, 2014.
84- Vojteková, Jana and Vojtek, Matej, GIS-Based Landscape Stability Analysis: A Comparison of Overlay Method and Fuzzy Model for the Case Study in Slovakia, The Professional Geographer, Vol. 71, No. 4, 2019.
85- Voženílek, V., Artificial intelligence and GIS: mutual meeting and passing, 2009 International conference on intelligent networking and collaborative systems. IEEE, 2009.
86- Wang, Yeqiao and Zhang, Xinsheng, A dynamic modeling approach to simulating socioeconomic effects on landscape changes, Ecological Modelling, Vol. 140, No. (1-2), 2001, p. 141.
87- Warrens, Matthijs J, Five Ways to Look at Cohen's Kappa, Journal of Psychology & Psychotherapy, Vol. 5, No. 4, 2015. Russell G. Congalton, A Review of Assessing the Accuracy of Classifications of Remotely Sensed Data, Remote sensing of environment, Vol. 37, No. 1, 1991.
88- Xue, Jinping, et al., Assessment of Soil Erosion Dynamics Using the GIS-Based RUSLE Model: A Case Study of Wangjiagou Watershed from the Three Gorges Reservoir Region, Southwestern China, Journal of Water, Vol. 10, No. 12, 2018.
89- Yang, Fu, et al., Integrated Geographic Information Systems–Based Suitability Evaluation of Urban Land Expansion: A Combination of Analytic Hierarchy Process and Grey Relational Analysis, Environmental Engineering Science, Vol. 26, No. 6, 2009.
90- Yin, Gaohong, et. al., Gap-Filling of Landsat 7 Imagery Using the Direct Sampling Method, Remote Sensing, Vol. 9, No. 1, 2017.

91- Young, Nicholas E., et al., A survival guide to Landsat preprocessing, Ecology, Vol. 98, No. 4, 2017.
92- Yousefi, Hossein, Spatial Site Selection for Solar Power Plants Using a GIS-Based Boolean-Fuzzy Logic Model: A Case Study of Markazi Province, Iran, Energies, Vol. 11, No. 7, 2018.
93- Yousefi, Mahyar, et al., Exploration information systems – A proposal for the future use of GIS in mineral exploration targeting, Ore Geology Reviews, Vol. 111, 2019.
94- ZHA, Y., Use of normalized difference built-up index in automatically mapping, urban areas from TM imagery, International journal of remote sensing, Vol. 24, No. 3, 2003.
95- Zubair, Opeyemi A., et al., Urban Expansion and the Loss of Prairie and Agricultural Lands: A Satellite Remote-Sensing Based Analysis at a Sub-Watershed Scale , Sustainability, Vol. 11, No. 17, 2019.

Books

1- Abdelrahim, Mohamed, Remote Sensing and GIS Integration: Towards Intelligent Imagery within A spatial data Infrastructure, University of New Brunswick, Canada, 2001.
2- Adamatzky, Andrew, Game of Life Cellular Automata, Springer, New York, USA, 2010.
3- Bot, Alexandra and Benites, José, The importance of soil organic matter: Key to drought-resistant soil and sustained food production, FAO, Rome, Italy, 2005.
4- Campbell, James B. and Wynne, Randolph H., Introduction to Remote Sensing, Guilford Press, New York, USA , 5th edition, 2011.
5- Chang, Kang-Tsung, Introduction to geographic information systems, Mc-Graw Hill, New York, USA, Third Edition, 2006.
6- Chen, C.H., Signal and image processing for remote sensing, Taylor & Francis, New York, USA, 2007.
7- Costantini, Edoardo A.C., Manual of methods for soil and land evaluation, Science Publishers, USA, 2009.
8- Crowley, Kevin D., et.al , Rediscovering Geography: New Relevance for Science and Society, National Academy Press , Washington, USA, 1997.
9- Cys, C., et al., Land Evaluation Part I Principle in Land Evaluation and Crop Production Calculations, Agricultural Publication, Brussels – Belgium, 1991.
10- Cys, C., et al., Land Evaluation Part II Methods in Land Evaluation, Agricultural Publication, Brussels – Belgium, 1991.

11- Cys, C., et al., Land Evaluation Part III Crops Requirements, Agricultural Publication, Brussels – Belgium, 1993.
12- De Jong, Steven M. and Van Der Meer, Freek D., Remote Sensing Image Analysis: Including the Spatial Domain, Springer, New York, USA, 2005.
13- Dent, Borden D., Cartography Thematic Map Design, Fifth Edition, McGraw-Hill, Boston, USA, 1999.
14- Deshmukh, Benidhar, Remote Sensing and Image Interpretation, John Wiley & Sons, New Delhi, India, 2012.
15- FAO, Standard operating procedure for soil calcium carbonate equivalent Titrimetric method, Rome, , Italy, 2020, p. 3.
16- Gao, Jay, Digital Analysis of Remotely Sensed Imagery, McGraw-Hill Education, New York, USA, 2009, p. 34.
17- Giri, Chandrap , Remote sensing of Land use and Land cover, CRC press, USA, 2012.
18- Godchild, Michael F., et al., The International Encyclopedia of Geography, John Wiley & Sons, USA, 2017.
19- Gregorio, Antonio Di, Land Cover Classification System, FAO, Rome, 2016.
20- Hensher, David a., et al., Handbook of Transport Geography and Spatial Systems, Emerald Group Publishing Limited, UK, Third edition, 2008.
21- Heywood, Ian, et al., An Introduction to Geographical Information Systems, Prentice Hall, England, third Edition, 2006.
22- Heywood, Ian, et al., An Introduction to Geographical Information Systems, Prentice Hall, England, fourth Edition, 2011.
23- Ishida, Toru et al., Field Informatics: Kyoto University Field Informatics Research Group, Springer Science & Business Media, New York, USA, 2012.
24- Khorram, Siamak , et al., Remote Sensing, springer, New York, USA, 2012.
25- Lambin, Eric F. and Geist, Helmut, Land-Use and Land-Cover Change/ Local Processes and Global Impacts, Springer-Verlag, Berlin, Germany, 2006.
26- Liu, Jian Guo and Mason, Philippa J., Essential Image Processing and GIS for Remote Sensing, Second Edition, John Wiley & Sons, USA, 2009.
27- Liu, Jian Guo and Mason, Philippa J., Image Processing and GIS for Remote Sensing: Techniques and Applications, Second Edition, John Wiley & Sons, USA, 2016.
28- Longly, Paul A., et al., Geographic Information and Science, John Wiley & Sonce, England, Second Edition, 2005.
29- Lunetta, Ross S. and Lyon, Ohn G., Remote Sensing and GIS Accuracy Assessment, CRC Press, New York, USA, 2004.

30- Maguire, David J., et al., GIS: Spatial Analysis and Modeling, ESRE Press, Redland, California, USA, 2005.
31- Malczewski, J. and Rinner, C., Advances in Geographic Information Science, Springer Science, New York, USA, 2015.
32- Malczewski, Jacek and Rinner, Claus, Multicriteria Decision Analysis in Geographic Information Science, Springer, New York, 2015.
33- McNeill, F. Martin and Thro, Ellen, Fuzzy Logic A Practical Approach, Academic Press, New York, USA, 1994.
34- Mesev, Victor, Integration of GIS and Remote Sensing, John Wiley & Sons, USA , 2007.
35- Mezainis, Valids, et al., Advanced Remote Sensing and GIS, Training Manual Developed by CEGIS, USFS and BFD, USA, 2015.
36- Ormsby, Time, et al., Getting to Know ArcGIS, ESRI Press, California, USA, 2004.
37- Rawlings, John O., et al., Applied Regression Analysis: A Research Tool, Second Edition, Springer , New York, USA, 1998.
38- Reddy, M. Anji, Remote Sensing and Geographical Information Systems, Third Edition, BS Publications, Hyderabad, India, 2008.
39- Renard, K.G, et. Al., Prediction Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE), USDA, Agriculture Handbook No. 703, Washington, USA, 1997.
40- Richards, J. A., et al., Remote Sensing Digital Image Analysis, Third Edition, Berlin: Springer, 1999.
41- Richards, John A. and Jia, Xiuping, Remote Sensing Digital Image Analysis An Introduction, 4th Edition, Springer, Germany, 2006.
42- Richards, John A. and Jia, Xiuping, Remote Sensing Digital Image Analysis An Introduction, 4th Edition, Springer, USA, 2006.
43- Schowengerdt, Robert A., Remote Sensing: Models and Methods for Image Processing, Third Edition , Elsevier, USA, 2007.
44- Siamak Khorram, et al., Remote Sensing, Springer, New York, USA, 2012.
45- Stein, Alfred, et. al., Spatial Statistics for Remote Sensing, Kluwer Academic Publishers, USA, 2002.
46- Tomlin, C. Dana, Geographic Information Systems and Cartographic Modeling, Prentice Hall, England, 1990.
47- Tomlin, C. Dana, GIS and Cartographic Modeling, ESRI Press, California, USA, Second Edition, 2012.
48- Weng, Qihao, Remote Sensing and GIS Integration, Theories, Methods, and Applications, McGraw-Hill, New York, USA, 2010.

Internet Papers

1- Coolahan, James E., An Introduction to the Use of Modeling and Simulation Throughout the Systems Engineering Process, 2012, Internet link: https://02f0a56ef46d93f03c90-22ac5f107621879d5667e0d7ed595bdb.ssl.cf2.rackcdn.com/sites/785/uploads/7422/Guide_to_Use_of_M-S_In_SE20151028-12012-mzlpec.pdf

2- Exelis VIS, Exploring ENVI, Internet link: http://www.harrisgeospatial.com/portals/0/CBT/Mastering_the_Basics_of_ENVI/presentation_content/external_files/Exploring_ENVI52_March2015.pdf

3- FAO and Agriculture Organization of the United Nations, A framework for land evaluation, Vol. 32, 1976, Web Book, Internet link: http://www.fao.org/3/x5310e/x5310e04.htm#3.2%20structure%20of%20the%20suitability%20classification

4- Gadem, A.E., et.al., Decision Support System for Soil Productivity and Erosion in Polk county, Nebraska, 2001, Internet link: http://www.cse.unl.edu/~reich/publications/asprs2001-036.pdf

5- Godchild, Michael F., Cartography: GIS and Cartography (Relationship Between), University of California, Santa Barbara, USA, 2012, Internet link: http://www.geog.ucsb.edu/~good/papers/474B.pdf

6- Gotlib, Dariusz and Olszewski, Robert, From conceptual modeling to a map, International Cartographic Association ICA , 2017, Internet link: https://www.researchgate.net/publication/325187632_From_conceptual_modeling_to_a_map

7- Lantman, Van Schrojenstein, et al., Land-Use Modeling in Planning Practice, The GeoJournal Library, Springer Science, USA, 2011, Internet link: https://zero.sci-hub.tw/5165/f3572c6c6676630f8648235864b74cbe/vanschrojensteinlantman2011.pdf

8- Lisboa-Filho, Jugurta, et al., A UML Profile for Conceptual Modeling in GIS Domain, DE@ CAISE, 2010, p. 19. Ann Blyth, et al., Spatial Analysis and Modeling, National Land Service under the Ministry of Agriculture, 2008, Internet link: https://www.geoportal.lt/geoportal/documents/18923/19607/GII-07_training_material.pdf/2352100c-43b7-4ae4-829a-a885625caf34

9- Litman, Todd, Evaluating Accessibility for Transportation Planning: Measuring People's Ability to Reach Desired Goods and Activities, Victoria Transport Policy Institute, 2020, Internet link: https:// www.vtpi.org/access.pdf

10- Measures of distance between samples: Euclidean, Internet link: http://84.89.132.1/~michael/stanford/maeb4.pdf

11- Natural Resources Canada, Internet link**:** https://www.nrcan.gc.ca/maps-tools-publications/satellite-imagery-air-photos/remote-sensing-tutorials/image-interpretation-analysis/image-enhancement/9389

12- NDVI, NDBI & NDWI Calculation Using Landsat 7, 8, internet link: https://www.linkedin.com/pulse/ndvi-ndbi-ndwi-calculation-using-landsat-7-8-tek-bahadur-kshetri
13- Pechanec, Vilém, et al., Integration neural networks and GIS in modeling landscape changes, International Multidisciplinary Scientific GeoConference, SGEM, 2014, internet link: https://www.researchgate.net/publication/290872857_Integration_neural_networks_and_GIS_in_modeling_landscape_changes
14- Ryan, Siobhan and Nimick, Ellis, Multi-Criteria Decision Analysis and GIS, 2019, Internet link: https://storymaps.arcgis.com/stories/b60b7399f6944bca86d1be6616c178cf
15- Tran, Dung and Lee, Hollylynne, The Difference Between Statistics and Mathematics, Teaching statistics through data investigations MOOC-Ed, Friday Institute for Educational Innovation: NC State University, Raleigh, NC, 2015, Internet link: https://fi-courses.s3.amazonaws.com/tsdi/unit_2/Essentials/Statvsmath.pdf.
16- Trodd, Nigel, Cartographic Modeling , Internet link: http://geo.exa.unrc.edu.ar/Posgrado/ARCHIVOS%20UTILES/trodd_cartographic_modelling.pdf
17- University of California, A Revised Storie Index for Use with digital Soils Information ,Division of Agriculture and Natural Resources, 2008, p. 6. Internet link: https://anrcatalog.ucanr.edu/pdf/8335.pdf
18- USDA, Interne link: http://lawr.ucdavis.edu/classes/ssc118/Colusa_County/appendix.html
19- Using the "Map Algebra" ArcGIS Toolbox Function to Identify Criteria Locations, Internet Link: http://www.tmacog.org/Environment/Stormwater/Urban_bmp9_12/web_final/Suitibility_methods
20- van der wel, F.J.M., Cartography, remote sensing and GIS, 2000, Internet link: https://dspace.library.uu.nl/bitstream/handle/1874/522/c2.pdf;jsessionid=4718966C167F1DA36C53B60FF88AB19B?sequence=19.
21- Zamareh, Iyad, et al., Developing an Erosion Model of Surif, Beit Ummar, and Tarqumya Catchment Areas using Geographic Information System (GIS) Software and Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE), 2008, Internet link: http://scholar.ppu.edu/bitstream/handle/123456789/1207/DEVOLOPING%20AN%20EROSION%20MODEL%20OF%20SURIF%2C%20BEIT%20UMMAR%2C%20AND%20TARQUMYA%20CATCHMENT%20AREAS%20USING%20GEOGRAPHIC%20INFORMATION%20SYSTEM%20%28GIS%29%20SOFTWARE%20AND%20REVISED%20UNIVERSAL%20SOIL%20LOSS%20EQUATION%20%28RUSLE%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
22- Zurmotai, Najibullah Hassan, GIS, Remote Sensing and GPS: their activity, Integration and Fieldwork, Kabul Polytechnic University, Research Gate, 2016, Internet link: https://www.researchgate.net/publication/311206263.

Internet Sites

1- www.arcgis.com
2- www.earthexplorer.usgs.gov
3- www.esri.com
4- www.geosimulation.cn
5- www.minitab.com
6- www.ncgia.ucsb.edu
7- www.search.asf.alaska.edu

Internet links

1- http://www.columbia.edu/itc/sipa/math/quadratic.html
2- https://en.wikipedia.org/wiki/Dana_Tomlin
3- https://gis.stackexchange.com/questions/75151/fixing-landsat-7-slc-off-in-envi
4- https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer
5- https://satellites.pro/Iraq_map#35.995230,44.074402,10
6- https://sentinel.esa.int/web/sentinel/home
7- https://www.harrisgeospatial.com/docs/PrincipalComponentAnalysis.html#View
8- https://www.harrisgeospatial.com/Software-Technology/ENVI
9- https://www.satimagingcorp.com/satellite-sensors/other-satellite-sensors/landsat-8/
10- https://www.varsitytutors.com/hotmath/hotmath_help/topics/quadratic-regression
11- https://yandex.com/maps/?l=sat&ll=44.179870%2C35.941319&z=11

Software's Help

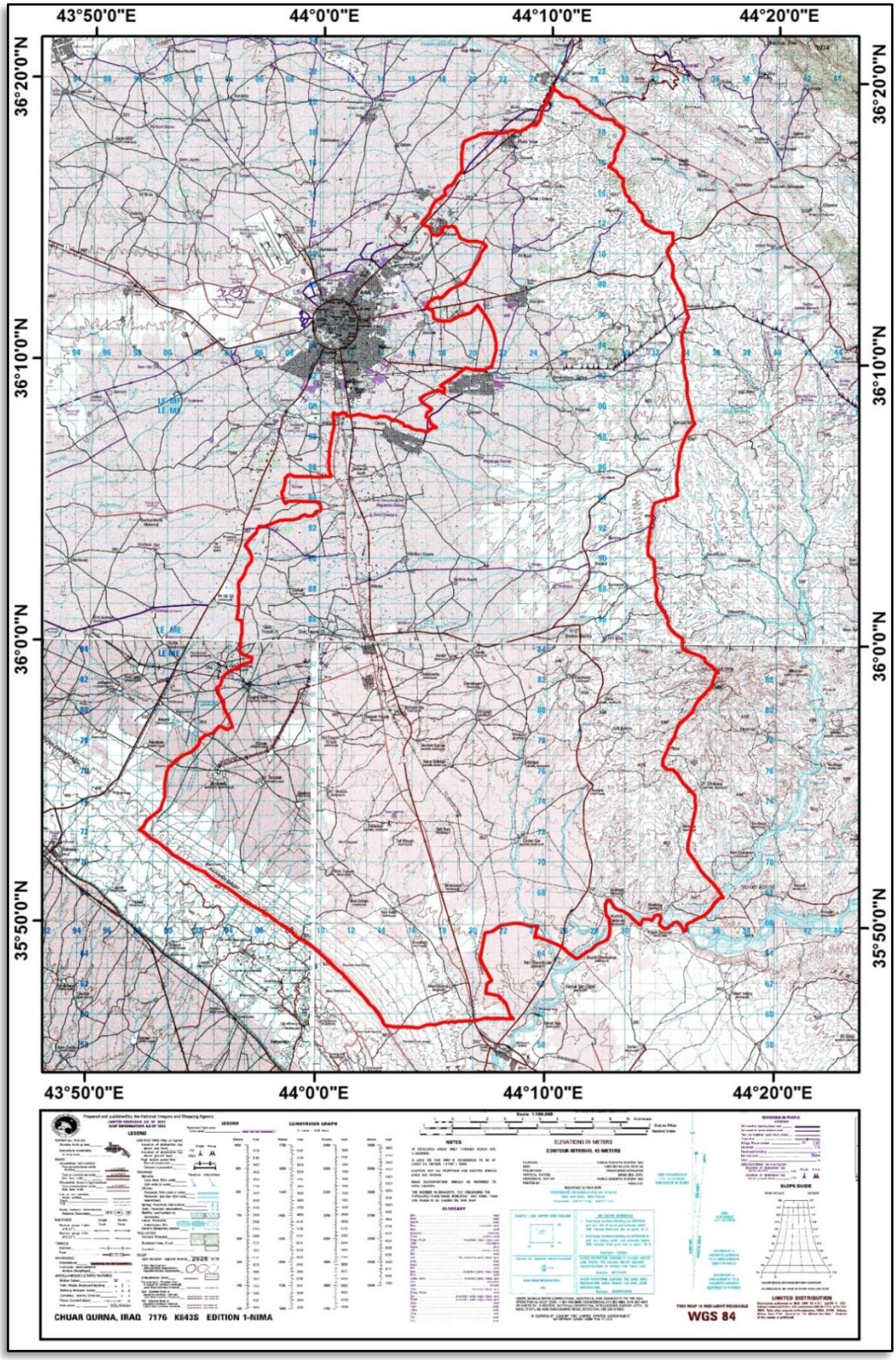
1- ESRI, ArcGIS Desktop 10.6.1 Software Help, 2018.
2- Idrisi Selva 17.0 software help, Clark University, Clark lap, Massachusetts, New England, USA, 2012.

الملاحق

Appendices

الملحق (1): الخريطة الطوبوغرافية المُشبّكة والمعتمدة في الزيارة الميدانية والنظام المتبع في تصنيف المرئيات الفضائية

1-1 الخريطة الطوبوغرافية المعتمدة في الزيارات الميدانية لقضاء سهل اربيل



المصدر : National Imagery and Mapping Agency, 2001 ، ارقام اللوحات هي: K643X7076، K643X4961 و K643S7176.

2-1 نظام Anderson لتصنيف استعمالات الارض والغطاء الارضي ضمن المستوى الاول والثاني

المستوى الاول	المستوى الثاني
اراضي مبنية Built up Land	اراضي حضرية Urban land
	اراضي مبنية (قرى) Built up Agricultural Land
ارضي زراعية Agricultural Land	محاصيل حبوب Grain Crops
	محاصيل خضروات Vegetable Crops
	اراضي زراعية متروكة Abandoned Agricultural Land
	اراضي زراعية محروثة Plowed Agricultural Land
	بساتين Orchards
	حدائق Gardens
مراعي Rangeland Land	مراعي موسمية Seasonal Rangeland
	شجيرات ومراعي مختلطة Shrub and Brush Rangeland
	مراعي عشبية Herbaceous Rangeland
غابات Forest Land	غابات متساقطة الاوراق Deciduous Forest Land
	غابات دائمة الخضرة Evergreen Forest Land
	غابات مختلطة Mixed Forest Land
مسطحات مائية Water	المجاري المائية والقنوات Drainage and Channels
	البحيرات Lakes
	السدود التجميعية والتخزينية Reservoirs
اراضي رطبة Wetland	اراضي رطبة غابية Forest Wet Land
	اراضي رطبة غير غابية Un- Forest Wet Land
اراضي جرداء Barren Land	اراضي ملحية جافة Salt Area
	شواطئ Beach
	مناطق رملية وشواطئ أخرى Sand Areas and other Beaches
	مكاشف صخرية Rock out crops
	مناطق انتقالية Transformation Land
	اراضي عقيمة أو ميتة Dead land
التندرا Tundra	اعشاب التندرا Herbaceous Tundra
	اراضي تندرا جرداء Bare Land Tundra
الثلج الدائم او الجليد Perennial Snow or Ice	حقول الثلج المعمرة Perennial Snowfields
	الثلاجات Glaciers

المصدر :

James R. Anderson, et al., A Land Use and Land Cover Classification System for Use with Remote Sensor Data, U.S. Geological Survey paper, 1976, p.p. 6-22.

الملحق (2): مصفوفات الارتباط بين الحزم والمركبات في عمليات تحليل المركبات الأساسية للمرئيات الفضائية المعتمدة في الدراسة باستخدام برنامج ENVI 5.3

L7_30_4_2002 (الموسم الشتوي)								
محتوى المعلومات		مصفوفة الارتباط						
النسبة %	القيمة الذاتية	الحزمة 7	الحزمة 5	الحزمة 4	الحزمة 3	الحزمة 2	الحزمة 1	
94.003	6691140.646	0.98	0.96	0.82	0.99	0.98	1.00	المركب 1
5.760	409993.351	0.98	0.98	0.89	0.99	1.00	0.98	المركب 2
0.158	11309.994	0.99	0.97	0.84	1.00	0.99	0.99	المركب 3
0.050	3625.455	0.84	0.92	1.00	0.84	0.89	0.82	المركب 4
0.018	1329.598	0.98	1.00	0.92	0.97	0.98	0.96	المركب 5
0.007	535.158	1.00	0.98	0.84	0.99	0.98	0.98	المركب 6
100	7117934.202	المجموع						

L7_11_7_2002 (الموسم الصيفي)								
محتوى المعلومات		مصفوفة الارتباط						
النسبة %	القيمة الذاتية	الحزمة 7	الحزمة 5	الحزمة 4	الحزمة 3	الحزمة 2	الحزمة 1	
99.182	5417625.832	0.97	0.97	0.97	0.98	0.99	1.00	المركب 1
0.533	29138.249	0.98	0.99	0.99	0.99	1.00	0.99	المركب 2
0.200	10957.068	0.98	0.99	0.99	1.00	0.99	0.98	المركب 3
0.066	3612.683	0.97	0.99	1.00	0.99	0.99	0.97	المركب 4
0.014	797.196	0.99	1.00	0.99	0.99	0.99	0.97	المركب 5
0.003	174.075	1.00	0.99	0.97	0.98	0.98	0.97	المركب 6
100	5462305.103	المجموع						

L7_1_4_2012 (الموسم الشتوي)								
محتوى المعلومات		مصفوفة الارتباط						
النسبة %	القيمة الذاتية	الحزمة 7	الحزمة 5	الحزمة 4	الحزمة 3	الحزمة 2	الحزمة 1	
97.643	3426718.563	0.94	0.91	0.85	0.96	0.961	1.00	المركب 1
2.014	72413.661	0.99	0.98	0.94	0.99	1.00	0.96	المركب 2
0.226	7962.376	0.99	0.98	0.93	1.00	0.99	0.96	المركب 3
0.030	1056.699	0.94	0.97	1.00	0.93	0.94	0.85	المركب 4
0.029	1024.711	0.99	1.00	0.97	0.98	0.98	0.91	المركب 5
0.007	250.239	1.00	0.99	0.94	0.99	0.99	0.94	المركب 6
100	3509426.249	المجموع						

L7_22_7_2012 (الموسم الصيفي)								
محتوى المعلومات		مصفوفة الارتباط						
النسبة %	القيمة الذاتية	الحزمة 7	الحزمة 5	الحزمة 4	الحزمة 3	الحزمة 2	الحزمة 1	
99.57	5575266.851	0.98	0.97	0.97	0.98	0.99	1.00	المركب 1
0.238	13355.493	0.99	0.99	0.99	0.99	1.00	0.99	المركب 2
0.139	7805.476	0.99	0.99	0.99	1.00	0.99	0.98	المركب 3
0.031	1765.033	0.98	0.99	1.00	0.99	0.99	0.97	المركب 4
0.016	936.477	0.99	1.00	0.99	0.99	0.99	0.97	المركب 5
0.003	210.611	1.00	0.99	0.98	0.99	0.99	0.98	المركب 6
100	5599339.941	المجموع						

L7_1_4_2019 (الموسم الشتوي)								
محتوى المعلومات		مصفوفة الارتباط						
النسبة %	القيمة الذاتية	الحزمة 7	الحزمة 6	الحزمة 5	الحزمة 4	الحزمة 3	الحزمة 2	
89.828	4871149.016	0.96	0.93	0.83	0.98	0.98	1.00	المركب 1
9.614	521378.554	0.98	0.97	0.90	0.99	1.00	0.98	المركب 2
0.474	25753.549	0.99	0.97	0.87	1.00	0.99	0.98	المركب 3
0.042	2306.020	0.88	0.94	1.00	0.87	0.90	0.83	المركب 4
0.029	1621.787	0.98	1.00	0.94	0.97	0.97	0.93	المركب 5
0.008	485.042	1.00	0.98	0.88	0.99	0.98	0.96	المركب 6
100	5422693.968	المجموع						

L7_2_7_2019 (الموسم الشتوي)								
محتوى المعلومات		مصفوفة الارتباط						
النسبة %	القيمة الذاتية	الحزمة 7	الحزمة 6	الحزمة 5	الحزمة 4	الحزمة 3	الحزمة 2	
99.044	13570814.913	0.98	0.97	0.97	0.98	0.99	1.00	المركب 1
0.579	79371.978	0.98	0.98	0.98	0.99	1.00	0.99	المركب 2
0.268	36766.453	0.98	0.99	0.98	1.00	0.99	0.98	المركب 3
0.088	12185.128	0.97	0.99	1.00	0.98	0.98	0.97	المركب 4
0.016	2283.374	0.99	1.00	0.99	0.99	0.98	0.97	المركب 5
0.002	335.155	1.00	0.99	0.97	0.98	0.98	0.98	المركب 6
100	13701757.001	المجموع						

الملحق (3): مصفوفات الخطأ في برنامج ENVI 5.3 لتصنيف استعمالات الأرض

1-3 : مصفوفة الخطأ لتصنيف استعمالات الأرض في الموسم الشتوي من العام 2002

Class Confusion Matrix

File

Confusion Matrix: [Memory3] (1345x2130x1)

Overall Accuracy = (6605/6617) 99.8186%
Kappa Coefficient = 0.9976

	Ground Truth (Pixels)				
Class	Vegetables	Crops	Soils	Cultivated	Rangeland
Unclassified	0	0	0	0	0
Vegetables [G	759	0	0	0	0
Crops [Green]	0	892	0	0	0
Soils [White]	0	0	702	0	0
Cultivated [M	0	0	0	887	0
Rangeland [Ye	0	0	5	0	278
Barren [Sienn	0	0	0	0	2
Urban [Red] 1	0	0	0	0	0
Total	759	892	707	887	280

	Ground Truth (Pixels)		
Class	Barren	Urban	Total
Unclassified	0	0	0
Vegetables [G	0	0	759
Crops [Green]	0	0	892
Soils [White]	0	0	702
Cultivated [M	0	0	887
Rangeland [Ye	3	0	286
Barren [Sienn	2926	0	2928
Urban [Red] 1	2	161	163
Total	2931	161	6617

	Ground Truth (Percent)				
Class	Vegetables	Crops	Soils	Cultivated	Rangeland
Unclassified	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Vegetables [G	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Crops [Green]	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00
Soils [White]	0.00	0.00	99.29	0.00	0.00
Cultivated [M	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00
Rangeland [Ye	0.00	0.00	0.71	0.00	99.29
Barren [Sienn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.71
Urban [Red] 1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

	Ground Truth (Percent)		
Class	Barren	Urban	Total
Unclassified	0.00	0.00	0.00
Vegetables [G	0.00	0.00	11.47
Crops [Green]	0.00	0.00	13.48
Soils [White]	0.00	0.00	10.61
Cultivated [M	0.00	0.00	13.40
Rangeland [Ye	0.10	0.00	4.32
Barren [Sienn	99.83	0.00	44.25
Urban [Red] 1	0.07	100.00	2.46
Total	100.00	100.00	100.00

Class	Commission (Percent)	Omission (Percent)	Commission (Pixels)	Omission (Pixels)
Vegetables [G	0.00	0.00	0/759	0/759
Crops [Green]	0.00	0.00	0/892	0/892
Soils [White]	0.00	0.71	0/702	5/707
Cultivated [M	0.00	0.00	0/887	0/887
Rangeland [Ye	2.80	0.71	8/286	2/280
Barren [Sienn	0.07	0.17	2/2928	5/2931
Urban [Red] 1	1.23	0.00	2/163	0/161

Class	Prod. Acc. (Percent)	User Acc. (Percent)	Prod. Acc. (Pixels)	User Acc. (Pixels)
Vegetables [G	100.00	100.00	759/759	759/759
Crops [Green]	100.00	100.00	892/892	892/892
Soils [White]	99.29	100.00	702/707	702/702
Cultivated [M	100.00	100.00	887/887	887/887
Rangeland [Ye	99.29	97.20	278/280	278/286
Barren [Sienn	99.83	99.93	2926/2931	2926/2928
Urban [Red] 1	100.00	98.77	161/161	161/163

2-3 : مصفوفة الخطأ لتصنيف استعمالات الأرض في الموسم الصيفي من العام 2002

Class Confusion Matrix

File

Confusion Matrix: [Memory5] (1345x2130x1)

Overall Accuracy = (3445/3447) 99.9420%
Kappa Coefficient = 0.9984

	Ground Truth (Pixels)				
Class	Vegetables	Crops	Soils	Caltuvated	Rangeland
Unclassified	0	0	0	0	0
Vegetables [G	45	0	0	0	0
Crops [Green2	0	56	0	0	0
Soils [White]	0	0	59	0	0
Caltuvated [M	0	0	0	515	0
Rangeland [Ye	0	0	0	2	43
Barren [Sienn	0	0	0	0	0
Urban [Red] 3	0	0	0	0	0
Total	45	56	59	517	43

	Ground Truth (Pixels)		
Class	Barren	Urban	Total
Unclassified	0	0	0
Vegetables [G	0	0	45
Crops [Green2	0	0	56
Soils [White]	0	0	59
Caltuvated [M	0	0	515
Rangeland [Ye	0	0	45
Barren [Sienn	2689	0	2689
Urban [Red] 3	0	38	38
Total	2689	38	3447

	Ground Truth (Percent)				
Class	Vegetables	Crops	Soils	Caltuvated	Rangeland
Unclassified	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Vegetables [G	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Crops [Green2	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00
Soils [White]	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00
Caltuvated [M	0.00	0.00	0.00	99.61	0.00
Rangeland [Ye	0.00	0.00	0.00	0.39	100.00
Barren [Sienn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Urban [Red] 3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

	Ground Truth (Percent)		
Class	Barren	Urban	Total
Unclassified	0.00	0.00	0.00
Vegetables [G	0.00	0.00	1.31
Crops [Green2	0.00	0.00	1.62
Soils [White]	0.00	0.00	1.71
Caltuvated [M	0.00	0.00	14.94
Rangeland [Ye	0.00	0.00	1.31
Barren [Sienn	100.00	0.00	78.01
Urban [Red] 3	0.00	100.00	1.10
Total	100.00	100.00	100.00

Class	Commission (Percent)	Omission (Percent)	Commission (Pixels)	Omission (Pixels)
Vegetables [G	0.00	0.00	0/45	0/45
Crops [Green2	0.00	0.00	0/56	0/56
Soils [White]	0.00	0.00	0/59	0/59
Caltuvated [M	0.00	0.39	0/515	2/517
Rangeland [Ye	4.44	0.00	2/45	0/43
Barren [Sienn	0.00	0.00	0/2689	0/2689
Urban [Red] 3	0.00	0.00	0/38	0/38

Class	Prod. Acc. (Percent)	User Acc. (Percent)	Prod. Acc. (Pixels)	User Acc. (Pixels)
Vegetables [G	100.00	100.00	45/45	45/45
Crops [Green2	100.00	100.00	56/56	56/56
Soils [White]	100.00	100.00	59/59	59/59
Caltuvated [M	99.61	100.00	515/517	515/515
Rangeland [Ye	100.00	95.56	43/43	43/45
Barren [Sienn	100.00	100.00	2689/2689	2689/2689
Urban [Red] 3	100.00	100.00	38/38	38/38

3-3 : مصفوفة الخطأ لتصنيف استعمالات الأرض في الموسم الشتوي من العام 2012

Class Confusion Matrix

File

Confusion Matrix: [Memory1] (1345x2130x1)

Overall Accuracy = (7057/7064) 99.9009%
Kappa Coefficient = 0.9977

	Ground Truth (Pixels)				
Class	Urban	Crops	Soils	Cultivated	Rangeland
Unclassified	0	0	0	0	0
Urban [Red] 3	333	0	0	0	0
Crops [Green]	0	397	0	0	0
Soils [Black]	0	0	296	0	0
Cultivated [M	0	0	0	592	0
Rangeland [Ye	0	0	0	1	61
Barren [Sienn	0	0	0	0	0
Vegetables [G	0	0	0	0	0
Total	333	397	296	593	61

	Ground Truth (Pixels)		
Class	Barren	Vegetables	Total
Unclassified	0	0	0
Urban [Red] 3	6	0	339
Crops [Green]	0	0	397
Soils [Black]	0	0	296
Cultivated [M	0	0	592
Rangeland [Ye	0	0	62
Barren [Sienn	5227	0	5227
Vegetables [G	0	151	151
Total	5233	151	7064

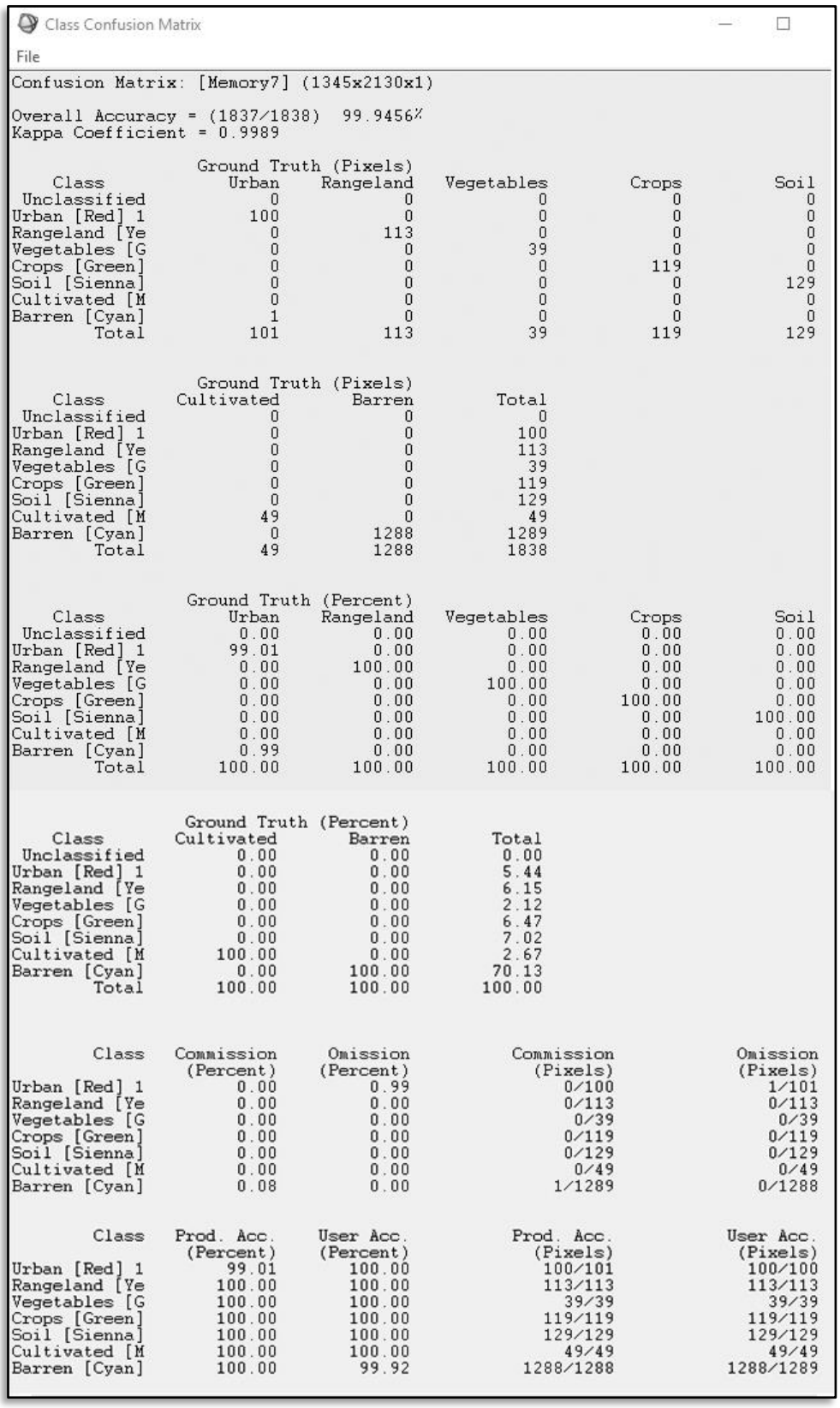
	Ground Truth (Percent)				
Class	Urban	Crops	Soils	Cultivated	Rangeland
Unclassified	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Urban [Red] 3	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Crops [Green]	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00
Soils [Black]	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00
Cultivated [M	0.00	0.00	0.00	99.83	0.00
Rangeland [Ye	0.00	0.00	0.00	0.17	100.00
Barren [Sienn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Vegetables [G	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

	Ground Truth (Percent)		
Class	Barren	Vegetables	Total
Unclassified	0.00	0.00	0.00
Urban [Red] 3	0.11	0.00	4.80
Crops [Green]	0.00	0.00	5.62
Soils [Black]	0.00	0.00	4.19
Cultivated [M	0.00	0.00	8.38
Rangeland [Ye	0.00	0.00	0.88
Barren [Sienn	99.89	0.00	73.99
Vegetables [G	0.00	100.00	2.14
Total	100.00	100.00	100.00

Class	Commission (Percent)	Omission (Percent)	Commission (Pixels)	Omission (Pixels)
Urban [Red] 3	1.77	0.00	6/339	0/333
Crops [Green]	0.00	0.00	0/397	0/397
Soils [Black]	0.00	0.00	0/296	0/296
Cultivated [M	0.00	0.17	0/592	1/593
Rangeland [Ye	1.61	0.00	1/62	0/61
Barren [Sienn	0.00	0.11	0/5227	6/5233
Vegetables [G	0.00	0.00	0/151	0/151

Class	Prod. Acc. (Percent)	User Acc. (Percent)	Prod. Acc. (Pixels)	User Acc. (Pixels)
Urban [Red] 3	100.00	98.23	333/333	333/339
Crops [Green]	100.00	100.00	397/397	397/397
Soils [Black]	100.00	100.00	296/296	296/296
Cultivated [M	99.83	100.00	592/593	592/592
Rangeland [Ye	100.00	98.39	61/61	61/62
Barren [Sienn	99.89	100.00	5227/5233	5227/5227
Vegetables [G	100.00	100.00	151/151	151/151

4-3 : مصفوفة الخطأ لتصنيف استعمالات الأرض في الموسم الصيفي من العام 2012



Class Confusion Matrix

File

Confusion Matrix: [Memory7] (1345x2130x1)

Overall Accuracy = (1837/1838) 99.9456%
Kappa Coefficient = 0.9989

	Ground Truth (Pixels)				
Class	Urban	Rangeland	Vegetables	Crops	Soil
Unclassified	0	0	0	0	0
Urban [Red] 1	100	0	0	0	0
Rangeland [Ye	0	113	0	0	0
Vegetables [G	0	0	39	0	0
Crops [Green]	0	0	0	119	0
Soil [Sienna]	0	0	0	0	129
Cultivated [M	0	0	0	0	0
Barren [Cyan]	1	0	0	0	0
Total	101	113	39	119	129

	Ground Truth (Pixels)		
Class	Cultivated	Barren	Total
Unclassified	0	0	0
Urban [Red] 1	0	0	100
Rangeland [Ye	0	0	113
Vegetables [G	0	0	39
Crops [Green]	0	0	119
Soil [Sienna]	0	0	129
Cultivated [M	49	0	49
Barren [Cyan]	0	1288	1289
Total	49	1288	1838

	Ground Truth (Percent)				
Class	Urban	Rangeland	Vegetables	Crops	Soil
Unclassified	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Urban [Red] 1	99.01	0.00	0.00	0.00	0.00
Rangeland [Ye	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00
Vegetables [G	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00
Crops [Green]	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00
Soil [Sienna]	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
Cultivated [M	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Barren [Cyan]	0.99	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

	Ground Truth (Percent)		
Class	Cultivated	Barren	Total
Unclassified	0.00	0.00	0.00
Urban [Red] 1	0.00	0.00	5.44
Rangeland [Ye	0.00	0.00	6.15
Vegetables [G	0.00	0.00	2.12
Crops [Green]	0.00	0.00	6.47
Soil [Sienna]	0.00	0.00	7.02
Cultivated [M	100.00	0.00	2.67
Barren [Cyan]	0.00	100.00	70.13
Total	100.00	100.00	100.00

Class	Commission (Percent)	Omission (Percent)	Commission (Pixels)	Omission (Pixels)
Urban [Red] 1	0.00	0.99	0/100	1/101
Rangeland [Ye	0.00	0.00	0/113	0/113
Vegetables [G	0.00	0.00	0/39	0/39
Crops [Green]	0.00	0.00	0/119	0/119
Soil [Sienna]	0.00	0.00	0/129	0/129
Cultivated [M	0.00	0.00	0/49	0/49
Barren [Cyan]	0.08	0.00	1/1289	0/1288

Class	Prod. Acc. (Percent)	User Acc. (Percent)	Prod. Acc. (Pixels)	User Acc. (Pixels)
Urban [Red] 1	99.01	100.00	100/101	100/100
Rangeland [Ye	100.00	100.00	113/113	113/113
Vegetables [G	100.00	100.00	39/39	39/39
Crops [Green]	100.00	100.00	119/119	119/119
Soil [Sienna]	100.00	100.00	129/129	129/129
Cultivated [M	100.00	100.00	49/49	49/49
Barren [Cyan]	100.00	99.92	1288/1288	1288/1289

5-3 : مصفوفة الخطأ لتصنيف استعمالات الأرض في الموسم الشتوي من العام 2019

Class Confusion Matrix

File

Confusion Matrix: [Memory4] (1345x2130x1)

Overall Accuracy = (3200/3205) 99.8440%
Kappa Coefficient = 0.9920

	Ground Truth (Pixels)				
Class	Urban	Vegetables	Crops	Cultevated	Rangeland
Unclassified	0	0	0	0	0
Urban	51	0	0	0	0
Vegetables	0	60	0	0	0
Crops	0	0	52	0	0
Cultevated	0	0	0	64	0
Rangeland	0	0	0	0	60
Barren	2	0	0	0	0
Soil	0	0	0	0	0
Total	53	60	52	64	60

	Ground Truth (Pixels)		
Class	Barren	Soil	Total
Unclassified	0	0	0
Urban	0	0	51
Vegetables	0	0	60
Crops	0	0	52
Cultevated	1	0	65
Rangeland	0	0	60
Barren	2870	1	2873
Soil	1	43	44
Total	2872	44	3205

	Ground Truth (Percent)				
Class	Urban	Vegetables	Crops	Cultevated	Rangeland
Unclassified	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Urban	96.23	0.00	0.00	0.00	0.00
Vegetables	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00
Crops	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00
Cultevated	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00
Rangeland	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
Barren	3.77	0.00	0.00	0.00	0.00
Soil	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

	Ground Truth (Percent)		
Class	Barren	Soil	Total
Unclassified	0.00	0.00	0.00
Urban	0.00	0.00	1.59
Vegetables	0.00	0.00	1.87
Crops	0.00	0.00	1.62
Cultevated	0.03	0.00	2.03
Rangeland	0.00	0.00	1.87
Barren	99.93	2.27	89.64
Soil	0.03	97.73	1.37
Total	100.00	100.00	100.00

Class	Commission (Percent)	Omission (Percent)	Commission (Pixels)	Omission (Pixels)
Urban	0.00	3.77	0/51	2/53
Vegetables	0.00	0.00	0/60	0/60
Crops	0.00	0.00	0/52	0/52
Cultevated	1.54	0.00	1/65	0/64
Rangeland	0.00	0.00	0/60	0/60
Barren	0.10	0.07	3/2873	2/2872
Soil	2.27	2.27	1/44	1/44

Class	Prod. Acc. (Percent)	User Acc. (Percent)	Prod. Acc. (Pixels)	User Acc. (Pixels)
Urban	96.23	100.00	51/53	51/51
Vegetables	100.00	100.00	60/60	60/60
Crops	100.00	100.00	52/52	52/52
Cultevated	100.00	98.46	64/64	64/65
Rangeland	100.00	100.00	60/60	60/60
Barren	99.93	99.90	2870/2872	2870/2873
Soil	97.73	97.73	43/44	43/44

6-3 : مصفوفة الخطأ لتصنيف استعمالات الأرض في الموسم الصيفي من العام 2019

Class Confusion Matrix

File

Confusion Matrix: [Memory1] (1345x2130x1)

Overall Accuracy = (2136/2138) 99.9065%
Kappa Coefficient = 0.9986

	Ground Truth (Pixels)				
Class	Urban	Crops	Soils	Cultivated	Barren
Unclassified	0	0	0	0	0
Urban [Red] 2	218	0	0	0	0
Crops [Green]	0	44	0	0	0
Soils [Sienna	0	0	51	0	0
Cultivated [M	0	0	0	110	0
Barren [Cyan]	0	0	0	0	1017
Rangeland [Ye	0	0	0	0	1
Vegetables [M	0	0	0	0	0
Total	218	44	51	110	1018

	Ground Truth (Pixels)		
Class	Rangeland	Vegetables	Total
Unclassified	0	0	0
Urban [Red] 2	0	0	218
Crops [Green]	0	0	44
Soils [Sienna	0	0	51
Cultivated [M	0	0	110
Barren [Cyan]	1	0	1018
Rangeland [Ye	623	0	624
Vegetables [M	0	73	73
Total	624	73	2138

	Ground Truth (Percent)				
Class	Urban	Crops	Soils	Cultivated	Barren
Unclassified	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Urban [Red] 2	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Crops [Green]	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00
Soils [Sienna	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00
Cultivated [M	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00
Barren [Cyan]	0.00	0.00	0.00	0.00	99.90
Rangeland [Ye	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10
Vegetables [M	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

	Ground Truth (Percent)		
Class	Rangeland	Vegetables	Total
Unclassified	0.00	0.00	0.00
Urban [Red] 2	0.00	0.00	10.20
Crops [Green]	0.00	0.00	2.06
Soils [Sienna	0.00	0.00	2.39
Cultivated [M	0.00	0.00	5.14
Barren [Cyan]	0.16	0.00	47.61
Rangeland [Ye	99.84	0.00	29.19
Vegetables [M	0.00	100.00	3.41
Total	100.00	100.00	100.00

Class	Commission (Percent)	Omission (Percent)	Commission (Pixels)	Omission (Pixels)
Urban [Red] 2	0.00	0.00	0/218	0/218
Crops [Green]	0.00	0.00	0/44	0/44
Soils [Sienna	0.00	0.00	0/51	0/51
Cultivated [M	0.00	0.00	0/110	0/110
Barren [Cyan]	0.10	0.10	1/1018	1/1018
Rangeland [Ye	0.16	0.16	1/624	1/624
Vegetables [M	0.00	0.00	0/73	0/73

Class	Prod. Acc. (Percent)	User Acc. (Percent)	Prod. Acc. (Pixels)	User Acc. (Pixels)
Urban [Red] 2	100.00	100.00	218/218	218/218
Crops [Green]	100.00	100.00	44/44	44/44
Soils [Sienna	100.00	100.00	51/51	51/51
Cultivated [M	100.00	100.00	110/110	110/110
Barren [Cyan]	99.90	99.90	1017/1018	1017/1018
Rangeland [Ye	99.84	99.84	623/624	623/624
Vegetables [M	100.00	100.00	73/73	73/73

الملحق (4): مصفوفات الخطأ المجدولة لتصنيف استعمالات الأرض

4-1 مصفوفة الخطأ لتصنيف استعمالات الأرض في الموسم الشتوي من العام 2002

الأصناف	الوصف	Urban	Crops	Vegetables	Cultivated	Soil	Rangeland	Barren	العدد الكلي	دقة المستخدم(%)
Settlements	استيطان بشري	161	0	0	0	0	0	2	163	98.77
Crops	محاصيل حبوب	0	892	0	0	0	0	0	892	100
Vegetables	محاصيل خضروات	0	0	759	0	0	0	0	759	100
Cultivated	اراضي محروثة	0	0	0	887	0	0	0	887	100
Soil	اراضي متروكة	0	0	0	0	702	0	0	702	100
Rangeland	مراعي موسمية	0	0	0	0	5	278	3	286	97.20
Barren	اراض جرداء	0	0	0	0	0	2	2926	2928	99.93
العدد الكلي		161	892	759	887	707	280	2931	6617	
دقة المنتج(%)		100	100	100	100	99.29	99.29	99.83	الدقة الكلية = 99.8186%	

4-2 مصفوفة الخطأ لتصنيف استعمالات الأرض في الموسم الصيفي من العام 2002

الأصناف	الوصف	Urban	Crops	Vegetables	Cultivated	Soil	Rangeland	Barren	العدد الكلي	دقة المستخدم(%)
Settlements	استيطان بشري	38	0	0	0	0	0	0	38	100
Crops	محاصيل حبوب	0	56	0	0	0	0	0	56	100
Vegetables	محاصيل خضراوت	0	0	45	0	0	0	0	45	100
Cultivated	اراضي محروثة	0	0	0	515	0	0	0	515	100
Soil	اراضي متروكة	0	0	0	0	59	0	0	59	100
Rangeland	مراعي موسمية	0	0	0	2	0	43	0	45	95.56
Barren	اراض جرداء	0	0	0	0	0	0	2689	2689	100
العدد الكلي		38	56	45	517	59	43	2689	3447	
دقة المنتج(%)		100	100	100	99.61	100	100	100	الدقة الكلية = 99.9420 %	

3-4 مصفوفة الخطأ لتصنيف استعمالات الأرض في الموسم الشتوي من العام 2012

الأصناف	الوصف	Urban	Crops	Vegetables	Cultivated	Soil	Rangeland	Barren	العدد الكلي	دقة المستخدم(%)
Settlements	استيطان بشري	333	0	0	0	0	0	6	339	98.23
Crops	محاصيل حبوب	0	397	0	0	0	0	0	397	100
Vegetables	محاصيل خضراوت	0	0	151	0	0	0	0	151	100
Cultivated	اراضي محروثة	0	0	0	592	0	0	0	592	100
Soil	اراضي متروكة	0	0	0	0	296	0	0	296	100
Rangeland	مراعي موسمية	0	0	0	1	0	61	0	62	98.39
Barren	اراض جرداء	0	0	0	0	0	0	5227	5227	100
العدد الكلي		333	397	151	593	296	61	5233	7064	
دقة المنتج(%)		100	100	100	99.83	100	100	99.89	الدقة الكلية = 99.9009%	

4-4 مصفوفة الخطأ لتصنيف استعمالات الأرض في الموسم الشتوي من العام 2012

الأصناف	الوصف	Urban	Crops	Vegetables	Cultivated	Soil	Rangeland	Barren	العدد الكلي	دقة المستخدم(%)
Settlements	استيطان بشري	100	0	0	0	0	0	0	100	100
Crops	محاصيل حبوب	0	119	0	0	0	0	0	119	100
Vegetables	محاصيل خضراوت	0	0	39	0	0	0	0	39	100
Cultivated	اراضي محروثة	0	0	0	49	0	0	0	49	100
Soil	اراضي متروكة	0	0	0	0	129	0	0	129	100
Rangeland	مراعي موسمية	0	0	0	0	0	113	0	113	100
Barren	اراض جرداء	1	0	0	0	0	0	1288	1289	99.92
العدد الكلي		101	119	39	49	129	113	1288	1838	
دقة المنتج(%)		99.01	100	100	100	100	100	100	الدقة الكلية = 99.9456%	

5-4 مصفوفة الخطأ لتصنيف استعمالات الأرض في الموسم الشتوي من العام 2019

الأصناف	الوصف	Urban	Crops	Vegetables	Cultivated	Soil	Rangeland	Barren	العدد الكلي	دقة المستخدم(%)
Settlements	استيطان بشري	51	0	0	0	0	0	0	51	100
Crops	محاصيل حبوب	0	52	0	0	0	0	0	52	100
Vegetables	محاصيل خضراوت	0	0	60	0	0	0	0	60	100
Cultivated	اراضي محروثة	0	0	0	64	0	0	1	65	98.46
Soil	اراضي متروكة	0	0	0	0	43	0	1	44	97.73
Rangeland	مراعي موسمية	0	0	0	0	0	60	0	60	100
Barren	اراض جرداء	2	0	0	0	1	0	2870	2873	99.90
العدد الكلي		53	52	60	64	44	60	2872	3205	
دقة المنتج(%)		96.23	100	100	100	97.73	100	99.93	الدقة الكلية = 99.8440 %	

6-4 مصفوفة الخطأ لتصنيف استعمالات الأرض في الموسم الصيفي من العام 2019

الأصناف	الوصف	Urban	Crops	Vegetables	Cultivated	Soil	Rangeland	Barren	العدد الكلي	دقة المستخدم (%)
Settlements	استيطان بشري	218	0	0	0	0	0	0	218	100
Crops	محاصيل حبوب	0	44	0	0	0	0	0	44	100
Vegetables	محاصيل خضراوت	0	0	73	0	0	0	0	73	100
Cultivated	اراضي محروثة	0	0	0	110	0	0	0	110	100
Soil	اراضي متروكة	0	0	0	0	51	0	0	51	100
Rangeland	مراعي موسمية	0	0	0	0	0	623	1	624	99.84
Barren	اراض جرداء	0	0	0	0	0	1	1017	1018	99.90
العدد الكلي		218	44	73	110	51	624	1018	2138	
دقة المنتج(%)		100	100	100	100	100	99.84	99.90	الدقة الكلية = 99.9065 %	

الملحق (5): الشفرات المصدرية Sources Codes للأدوات المطورة بلغة بايثون Python في برنامج ArcGIS Desktop 10.6.1

1-5 : الشفرة المصدرية للأداة المطورة MBU

```
# MBU.py
# Created on: 2020-05-15 21:35:49.00000
#   (generated by ArcGIS/ModelBuilder)
# Usage: BU <Input_Red_Band> <Input_NIR_Band> <Input_MIR_Band> <Output_BU_Raster>
# Description:

# Script arguments
Input_Red_Band = arcpy.GetParameterAsText(0)
Input_NIR_Band = arcpy.GetParameterAsText(1)
Input_MIR_Band = arcpy.GetParameterAsText(2)
Output_BU_Raster = arcpy.GetParameterAsText(3)
# Local variables:
NDBI = "c:\\users\\alghanim\\documents\\arcgis\\default.gdb\\band_1_rast2"
NDVI = "c:\\users\\alghanim\\documents\\arcgis\\default.gdb\\band_1_rast1"
# Process:  NDBI Calculating
arcpy.gp.RasterCalculator_sa("Float(\"%Input MIR Band%\" - \"%Input NIR Band%\")
/ Float(\"%Input MIR Band%\" + \"%Input NIR Band%\")", NDBI)
# Process:  NDVI Calculating
arcpy.gp.RasterCalculator_sa("Float(\"%Input NIR Band%\" - \"%Input Red Band%\")
/ Float(\"%Input NIR Band%\" + \"%Input Red Band%\")", NDVI)
# Process: Raster Calculator for BU
arcpy.gp.RasterCalculator_sa("Float(\"%NDBI%\" - \"%NDVI%\") / 2",
Output_BU_Raster)
```

2-5 : الشفرة المصدرية للأداة المطورة Change Detection For Spectral Indices

```
# Change Detection For Spectral Indices.py
# Created on: 2020-05-17 00:23:43.00000
#   (generated by ArcGIS/ModelBuilder)
# Usage: Change detection <Input_Before_raster> <Input_After_raster>
<Input_Pixel_Size> <Output_Image_Difference> <Output_Change_Detection>
# Description:

# Script arguments
Input_Before_raster = arcpy.GetParameterAsText(0)
Input_After_raster = arcpy.GetParameterAsText(1)
Input_Pixel_Size = arcpy.GetParameterAsText(2)
Output_Image_Difference = arcpy.GetParameterAsText(3)
Output_Change_Detection = arcpy.GetParameterAsText(4)

# Local variables:
Classification_Methods = "NATURAL_BREAKS"
Pixel_Size = Output_Change_Detection
Area_SqM = Output_Change_Detection
Area_SqKm = Output_Change_Detection
Raster_Layer_change_detection = ""
Change_Type_field = Raster_Layer_change_detection
Select__1_value_ = Change_Type_field
Select_2_value_ = Change_Type_field
Select_0_value_ = Change_Type_field
Select_4_value_ = Change_Type_field
Select_5_value__ = Change_Type_field
Input__1_discription_ = Select__1_value_
Input_2_discription__ = Select_2_value_
Input_0_discription__ = Select_0_value_
Input_4_discription_ = Select_4_value_
Input_5_discription_ = Select_5_value__
```

```
pixel_size_Value = Pixel_Size
v_Value_AreaSqM = Area_SqM
Value_Area_SqKm = Area_SqKm
cwwhde_tif = Value_Area_SqKm

# Process: Raster Calculator
arcpy.gp.RasterCalculator_sa("\"%Input After raster%\" - \"%Input Befor
raster%\"", Output_Image_Difference)
# Process: Slice
arcpy.gp.Slice_sa(Output_Image_Difference, Output_Change_Detection, "5",
Classification_Methods, "1")
# Process: Make Raster Layer
arcpy.MakeRasterLayer_management(Output_Change_Detection,
Raster_Layer_change_detection, "", "398145 3959085 436455 4020945", "")
# Process: Add Field
arcpy.AddField_management(Raster_Layer_change_detection, "ChangeType", "TEXT",
"", "", "50", "", "NULLABLE", "NON_REQUIRED", "")
# Process: Select Layer By Attribute -1
arcpy.SelectLayerByAttribute_management(Change_Type_field, "NEW_SELECTION",
"\"Value\" = 1")
# Process: Calculate Field -1
arcpy.CalculateField_management(Select__1_value_, "ChangeType", "\"Decreased\"",
"VB", "")
# Process: Select Layer By Attribute 2
arcpy.SelectLayerByAttribute_management(Change_Type_field, "NEW_SELECTION",
"\"Value\" = 2")
# Process: Calculate Field 2
arcpy.CalculateField_management(Select_2_value_, "ChangeType", "\"Some
Decrease\"", "VB", "")
# Process: Select Layer By Attribute 0
arcpy.SelectLayerByAttribute_management(Change_Type_field, "NEW_SELECTION",
"\"Value\" = 3")
# Process: Calculate Field 0
arcpy.CalculateField_management(Select_0_value_, "ChangeType", "\"Unchanged\"",
"VB", "")
# Process: Select Layer By Attribute 4
arcpy.SelectLayerByAttribute_management(Change_Type_field, "NEW_SELECTION",
"\"Value\" = 4")
# Process: Calculate Field 4
arcpy.CalculateField_management(Select_4_value_, "ChangeType", "\"Some
Increase\"", "VB", "")
# Process: Select Layer By Attribute 5
arcpy.SelectLayerByAttribute_management(Change_Type_field, "NEW_SELECTION",
"\"Value\" = 5")
# Process: Calculate Field 5
arcpy.CalculateField_management(Select_5_value__, "ChangeType", "\"Increased\"",
"VB", "")
# Process: Add Field for Pixel Size
arcpy.AddField_management(Output_Change_Detection, "Pixel_S", "DOUBLE", "", "",
"50", "", "NULLABLE", "NON_REQUIRED", "")
# Process: Calculate Field for pixel size
arcpy.CalculateField_management(Pixel_Size, "Pixel_S", Input_Pixel_Size, "VB",
"")
# Process: Add Field for AreaSqM
arcpy.AddField_management(Output_Change_Detection, "AreaSqM", "DOUBLE", "", "",
"50", "", "NULLABLE", "NON_REQUIRED", "")
# Process: Calculate Field AreaSqM
arcpy.CalculateField_management(Area_SqM, "AreaSqM", "[Pixel_S] * [Pixel_S] *
[Count]", "VB", "")
# Process: Add Field for AreaSqKm
arcpy.AddField_management(Output_Change_Detection, "AreaSqKm", "FLOAT", "", "",
"50", "", "NULLABLE", "NON_REQUIRED", "")
# Process: Calculate Area SqKm
arcpy.CalculateField_management(Area_SqKm, "AreaSqKm", "[AreaSqM] /1000000",
"VB", "")
# Process: Delete Field
arcpy.DeleteField_management(Value_Area_SqKm, "Pixel_S")
```

3-5 : الشفرة المصدرية للأداة المطورة Wheat and Barley Crops Suitability

```
# Wheat and Barley Crops Suitability.py
# Created on: 2020-11-07 00:5:50.00000
#   (generated by ArcGIS/ModelBuilder)
# Usage: Wheat and Barley Crops Suitability <Input_Climate_raster>
<Input_Soil_raster> <Input_Slope_raster> <Input_Accessibility_raster>
<Input_Agricultural_Labors_raster> <Input_Pixel_Size> <Output_Nonclass_raster>
<Output_Suitability_raster>
# Description:

# Script arguments
Input_Climate_raster = arcpy.GetParameterAsText(0)
Input_Soil_raster = arcpy.GetParameterAsText(1)
Input_Slope_raster = arcpy.GetParameterAsText(2)
Input_Accessibility_raster = arcpy.GetParameterAsText(3)
Input_Agricultural_Labors_raster = arcpy.GetParameterAsText(4)
Input_Pixel_Size = arcpy.GetParameterAsText(5)
Output_Nonclass_raster = arcpy.GetParameterAsText(6)
Output_Suitability_raster = arcpy.GetParameterAsText(7)
# Local variables:
pixel = Output_Suitability_raster
Raster_Layer_Suitability = ""
Output_Layer_Name_S1 = Raster_Layer_Suitability
Output_Layer_Name_S2 = Raster_Layer_Suitability
Output_Layer_Name_S3 = Raster_Layer_Suitability
Output_Layer_Name_N2 = Raster_Layer_Suitability
Output_Layer_Name_N1 = Raster_Layer_Suitability
Class = Raster_Layer_Suitability
MakeRas_Reclass1 = Raster_Layer_Suitability
S2 = Output_Layer_Name_S2
N2 = Output_Layer_Name_N2
S1 = Output_Layer_Name_S1
S3 = Output_Layer_Name_S3
N1 = Output_Layer_Name_N1
Pixel_fill = pixel
Area = Pixel_fill
AreaSqKm2 = Area
sss = AreaSqKm2

# Process: All_Charactaristics
arcpy.gp.RasterCalculator_sa("(\"%Input Climate raster%\" * 0.47099) + (\"%Input
Soil raster%\" * 0.26770) + (\"%Input Slope raster%\" * 0.14250) + (\"%Input
Accessibility raster%\" * 0.07514) + (\"%Input Agricultural Labors raster%\" *
0.04367) ", Output_Nonclass_raster)
# Process: Reclassify
arcpy.gp.Reclassify_sa(Output_Nonclass_raster, "", "63.625557 65.401825
5;65.401825 79.409683 4;79.409683 87.964317 3;87.964317 94.177673 2;94.177673
99.043808 1", Output_Suitability_raster, "DATA")
# Process: Make Raster Layer
arcpy.MakeRasterLayer_management(Output_Suitability_raster,
Raster_Layer_Suitability, "", "398180.756499999 3959066.5671 436430.756499999
4020716.5671", "")
# Process: Add Field
arcpy.AddField_management(Raster_Layer_Suitability, "Class", "TEXT", "", "",
"100", "", "NULLABLE", "NON_REQUIRED", "")
# Process: Select S2
arcpy.SelectLayerByAttribute_management(Raster_Layer_Suitability,
"NEW_SELECTION", "Value = 2")
# Process: Calculate Field S2
arcpy.CalculateField_management(Output_Layer_Name_S2, "Class", "\"S2 : Moderately
Suitable\" ", "VB", "")
# Process: Select N2
arcpy.SelectLayerByAttribute_management(Raster_Layer_Suitability,
"NEW_SELECTION", "Value = 5")
```

```
# Process: Calculate Field N2
arcpy.CalculateField_management(Output_Layer_Name_N2, "Class", "\"N2 : Never
Unsuitable\"", "VB", "")
# Process: Select S1
arcpy.SelectLayerByAttribute_management(Raster_Layer_Suitability,
"NEW_SELECTION", "Value = 1")
# Process: Calculate Field S1
arcpy.CalculateField_management(Output_Layer_Name_S1, "Class", "\"S1 : Very
Suitable\"", "VB", "")
# Process: Select S3
arcpy.SelectLayerByAttribute_management(Raster_Layer_Suitability,
"NEW_SELECTION", "Value = 3")
# Process: Calculate Field S3
arcpy.CalculateField_management(Output_Layer_Name_S3, "Class", "\"S3 : Marginally
Suitable\" ", "VB", "")
# Process: Select N1
arcpy.SelectLayerByAttribute_management(Raster_Layer_Suitability,
"NEW_SELECTION", "Value = 4")
# Process: Calculate Field N1
arcpy.CalculateField_management(Output_Layer_Name_N1, "Class", "\"N1 : Currently
Unsuitable\" ", "VB", "")
# Process: Select Layer By Attribute
arcpy.SelectLayerByAttribute_management(Raster_Layer_Suitability,
"CLEAR_SELECTION", "")
# Process: Add Field Pixel
arcpy.AddField_management(Output_Suitability_raster, "Pixel", "DOUBLE", "", "",
"", "", "NULLABLE", "NON_REQUIRED", "")
# Process: Calculate Field
arcpy.CalculateField_management(pixel, "Pixel", Input_Pixel_Size, "VB", "")
# Process: Add Field Area
arcpy.AddField_management(Pixel_fill, "AreaSqKm2", "DOUBLE", "", "", "", "",
"NULLABLE", "NON_REQUIRED", "")
# Process: Calculate Field Area
arcpy.CalculateField_management(Area, "AreaSqKm2", "( [Count] * [Pixel] * [Pixel]
) / 1000000", "VB", "")
# Process: Delete Field
arcpy.DeleteField_management(AreaSqKm2, "Pixel")
```

4-5 : الشفرة المصدرية للأداة المطورة Maize Crop Suitability

```
# Maize Crop Suitability.py
# Created on: 2020-11-21 00:11:29.00000
# (generated by ArcGIS/ModelBuilder)
# Usage: Maize Crop Suitability <Input_temperature_raster>
<Input_Irregation_raster> <Input_Soil_raster> <Input_Slope_raster>
<Input_Accessibility_raster> <Input_Agricultural_Labors_raster>
<Input_Pixel_Size> <Output_Nonclass_raster> <Output_Suitability_raster>
# Description:


# Script arguments
Input_temperature_raster = arcpy.GetParameterAsText(0)
Input_Irregation_raster = arcpy.GetParameterAsText(1)
Input_Soil_raster = arcpy.GetParameterAsText(2)
Input_Slope_raster = arcpy.GetParameterAsText(3)
Input_Accessibility_raster = arcpy.GetParameterAsText(4)
Input_Agricultural_Labors_raster = arcpy.GetParameterAsText(5)
Input_Pixel_Size = arcpy.GetParameterAsText(6)
Output_Nonclass_raster = arcpy.GetParameterAsText(7)
Output_Suitability_raster = arcpy.GetParameterAsText(8)
# Local variables:
Irregation_an_Tempreture =
"C:\\Users\\alghanim\\Documents\\ArcGIS\\Default2.gdb\\aaaa"
pixel = Output_Suitability_raster
Raster_Layer_Suitability = ""
```

```
Output_Layer_Name_S1 = Raster_Layer_Suitability
Output_Layer_Name_S2 = Raster_Layer_Suitability
Output_Layer_Name_S3 = Raster_Layer_Suitability
Output_Layer_Name_N2 = Raster_Layer_Suitability
Output_Layer_Name_N1 = Raster_Layer_Suitability
Class = Raster_Layer_Suitability
MakeRas_Reclass1 = Raster_Layer_Suitability
S2 = Output_Layer_Name_S2
N2 = Output_Layer_Name_N2
S1 = Output_Layer_Name_S1
S3 = Output_Layer_Name_S3
N1 = Output_Layer_Name_N1
Pixel_fill = pixel
Area = Pixel_fill
AreaSqKm2 = Area
sss = AreaSqKm2

# Process: Irreg_Tempu
arcpy.gp.RasterCalculator_sa("(\"%Input Irregation raster%\"  / 100) * (\"%Input
temperature raster%\" / 100) * 100", Irregation_an_Tempreture)
# Process: All_Charactaristics
arcpy.gp.RasterCalculator_sa("(\"%Irregation an Tempreture%\" * 0.46843) +
(\"%Input Soil raster%\" * 0.26189) + (\"%Input Slope raster%\" * 0.13094) +
(\"%Input Accessibility raster%\" * 0.06937) + (\"%Input Agricultural Labors
raster%\" * 0.06937)", Output_Nonclass_raster)
# Process: Reclassify
arcpy.gp.Reclassify_sa(Output_Nonclass_raster, "", "71.292336 76.076309
5;76.076309 82.358612 4;82.358612 87.885063 3;87.885063 93.285866 2;93.285866
99.075745 1", Output_Suitability_raster, "DATA")
# Process: Make Raster Layer
arcpy.MakeRasterLayer_management(Output_Suitability_raster,
Raster_Layer_Suitability, "", "398180.756499999 3959066.5671 436430.756499999
4020716.5671", "")
# Process: Add Field
arcpy.AddField_management(Raster_Layer_Suitability, "Class", "TEXT", "", "",
"100", "", "NULLABLE", "NON_REQUIRED", "")
# Process: Select S2
arcpy.SelectLayerByAttribute_management(Raster_Layer_Suitability,
"NEW_SELECTION", "Value = 2")
# Process: Calculate Field S2
arcpy.CalculateField_management(Output_Layer_Name_S2, "Class", "\"S2 : Moderately
Suitable\" ", "VB", "")
# Process: Select N2
arcpy.SelectLayerByAttribute_management(Raster_Layer_Suitability,
"NEW_SELECTION", "Value = 5")
# Process: Calculate Field N2
arcpy.CalculateField_management(Output_Layer_Name_N2, "Class", "\"N2 : Never
Unsuitable\"", "VB", "")
# Process: Select S1
arcpy.SelectLayerByAttribute_management(Raster_Layer_Suitability,
"NEW_SELECTION", "Value = 1")
# Process: Calculate Field S1
arcpy.CalculateField_management(Output_Layer_Name_S1, "Class", "\"S1 : Very
Suitable\"", "VB", "")
# Process: Select S3
arcpy.SelectLayerByAttribute_management(Raster_Layer_Suitability,
"NEW_SELECTION", "Value = 3")
# Process: Calculate Field S3
arcpy.CalculateField_management(Output_Layer_Name_S3, "Class", "\"S3 : Marginally
Suitable\" ", "VB", "")
# Process: Select N1
arcpy.SelectLayerByAttribute_management(Raster_Layer_Suitability,
"NEW_SELECTION", "Value = 4")
# Process: Calculate Field N1
arcpy.CalculateField_management(Output_Layer_Name_N1, "Class", "\"N1 : Currently
Unsuitable\" ", "VB", "")
# Process: Select Layer By Attribute
```

```
arcpy.SelectLayerByAttribute_management(Raster_Layer_Suitability,
"CLEAR_SELECTION", "")
# Process: Add Field Pixel
arcpy.AddField_management(Output_Suitability_raster, "Pixel", "DOUBLE", "", "",
"", "", "NULLABLE", "NON_REQUIRED", "")
# Process: Calculate Field
arcpy.CalculateField_management(pixel, "Pixel", Input_Pixel_Size, "VB", "")
# Process: Add Field Area
arcpy.AddField_management(Pixel_fill, "AreaSqKm2", "DOUBLE", "", "", "", "",
"NULLABLE", "NON_REQUIRED", "")
# Process: Calculate Field Area
arcpy.CalculateField_management(Area, "AreaSqKm2", "( [Count] * [Pixel] * [Pixel]
) / 1000000", "VB", "")
# Process: Delete Field
arcpy.DeleteField_management(AreaSqKm2, "Pixel")
```

5-5 : الشفرة المصدرية للأداة المطورة Urban Spatial Expansion Suitability

```
# Urban Expansion.py
# Created on: 2021-02-28 12:46:39.00000
# (generated by ArcGIS/ModelBuilder)
# Usage: Urban Expansion <Input_Urban_Distance_raster>
<Input_Crops_Suitability_or_Agrecultural_Land_Capability_raster>
<Input_Distance_from_Roads_raster> <Input_Slope_raster>
<Input_Ground_Water_raster> <Input_Pixel_Size> <Output_Nonclass_Raster>
<Output_Suitability_raster>
# Description:

# Script arguments
Input_Urban_Distance_raster = arcpy.GetParameterAsText(0)
Input_Crops_Suitability_or_Agrecultural_Land_Capability_raster =
arcpy.GetParameterAsText(1)
Input_Distance_from_Roads_raster = arcpy.GetParameterAsText(2)
Input_Slope_raster = arcpy.GetParameterAsText(3)
Input_Ground_Water_raster = arcpy.GetParameterAsText(4)
Input_Pixel_Size = arcpy.GetParameterAsText(5)
Output_Nonclass_Raster = arcpy.GetParameterAsText(6)
Output_Suitability_raster = arcpy.GetParameterAsText(7)

# Local variables:
pixel_field = Output_Suitability_raster
class_field_ = Output_Suitability_raster
Area_field_ = Output_Suitability_raster
pixel_size_field = pixel_field
Area_field = pixel_size_field
Reclass_band2 = Area_field
Raster_Layer = "raster_layer"
raster_layer_S1 = Raster_Layer
raster_layer_S2 = Raster_Layer
raster_layer_S3 = Raster_Layer
clear_select = Raster_Layer
Very_Suitable = raster_layer_S1
Very_Suitable_S2 = raster_layer_S2
Very_Suitable_S3 = raster_layer_S3

# Process: Raster Calculator
arcpy.gp.RasterCalculator_sa("(\"%Input Urban Distance raster%\" * 0.33975) +
(\"%Input Crops Suitability or Agrecultural Land Capability raster%\" * 0.32704)
+ (\"%Input Distance from Roads raster%\" * 0.16661) +  (\"%Input Slope raster%\"
* 0.0833) + (\"%Input Ground Water raster%\" * 0.0833) ", Output_Nonclass_Raster)
# Process: Reclassify
arcpy.gp.Reclassify_sa(Output_Nonclass_Raster, "", "2.924933 6.600000 3;6.600000
7.400000 2;7.400000 9.545998 1", Output_Suitability_raster, "NODATA")
# Process: Add Field Area
```

```
arcpy.AddField_management(Output_Suitability_raster, "AreaSqKm", "FLOAT", "", "",
"100", "", "NULLABLE", "NON_REQUIRED", "")
# Process: Add Field pixel
arcpy.AddField_management(Output_Suitability_raster, "Pixel", "SHORT", "", "",
"", "", "NULLABLE", "NON_REQUIRED", "")

# Process: Calculate Field Pixel size
arcpy.CalculateField_management(pixel_field, "Pixel", Input_Pixel_Size, "VB", "")
# Process: Calculate Field Area
arcpy.CalculateField_management(pixel_size_field, "AreaSqKm", "( [Count] *
[Pixel] * [Pixel] ) / 1000000", "VB", "")
# Process: Delete Field
arcpy.DeleteField_management(Area_field, "Pixel")
# Process: Add Field Class
arcpy.AddField_management(Output_Suitability_raster, "Class", "TEXT", "", "",
"100", "", "NULLABLE", "NON_REQUIRED", "")
# Process: Make Raster Layer
arcpy.MakeRasterLayer_management(class_field_, Raster_Layer, "",
"398180.756499999 3959066.5671 436430.756499999 4020716.5671", "")
# Process: Select Layer By Attribute S1
arcpy.SelectLayerByAttribute_management(Raster_Layer, "NEW_SELECTION", "Value =
1")
# Process: Calculate Field Very Suitable
arcpy.CalculateField_management(raster_layer_S1, "Class", "\"S1 : Very Suitable\"
", "VB", "")
# Process: Select Layer By Attribute S2
arcpy.SelectLayerByAttribute_management(Raster_Layer, "NEW_SELECTION", "Value =
2")
# Process: Calculate Field Very Suitable S2
arcpy.CalculateField_management(raster_layer_S2, "Class", "\"S2 : Moderately
Suitable\" ", "VB", "")
# Process: Select Layer By Attribute S3
arcpy.SelectLayerByAttribute_management(Raster_Layer, "NEW_SELECTION", "Value =
3")
# Process: Calculate Field Very Suitable S3
arcpy.CalculateField_management(raster_layer_S3, "Class", "\"S3 : Marginally
Suitable\" ", "VB", "")
# Process: Clear selection
arcpy.SelectLayerByAttribute_management(Raster_Layer, "CLEAR_SELECTION", "")
```

الملحق (6): كشف التغير لمؤشري NDVI وMBU باستخدام الأداة المطورة Change Detection for Spectral Indices بين السنوات 2002 ، 2012 ، 2019

6-1 : كشف التغير لمؤشر NDVI بين عامي 2002 - 2012

NDVI	الموسم الشتوي		الموسم الصيفي	
وصف التغير	المساحة بالكم^2	النسبة %	المساحة بالكم^2	النسبة %
نقصان شديد	142.681	10.9309	32.4906	2.48913
نقصان طفيف	342.804	26.2625	289.995	22.2165
عدم تغير	445.366	34.1198	750.078	57.4644
زيادة طفيفة	284.755	21.8153	204.722	15.6838
زيادة شديدة	89.6958	6.87166	28.0142	2.14619
المجموع	1305.3	100	1305.3	100

6- 2 : كشف التغير لمؤشر NDVI بين عامي 2012 - 2019

NDVI	الموسم الشتوي		الموسم الصيفي	
وصف التغير	المساحة بالكم^2	النسبة %	المساحة بالكم^2	النسبة %
نقصان شديد	77.129	5.90891	28.7884	2.2055
نقصان طفيف	354.168	27.1331	150.136	11.502
عدم تغير	381.542	29.2302	772.488	59.1809
زيادة طفيفة	357.146	27.3612	321.909	24.6614
زيادة شديدة	135.311	10.3666	31.9826	2.45021
المجموع	1305.3	100	1305.3	100

6-3 : كشف التغير لمؤشر MBU بين عامي 2002 – 2012

MBU	الموسم الشتوي		الموسم الصيفي	
وصف التغير	المساحة بالكم^2	النسبة %	المساحة بالكم^2	النسبة %
نقصان شديد	88.386	6.77132	54.1411	4.14779
نقصان طفيف	282.455	21.6395	276.747	21.2018
عدم تغير	444.786	34.0751	631.461	48.3766
زيادة طفيفة	349.775	26.7967	306.428	23.4756
زيادة شديدة	139.894	10.7174	36.5261	2.79823
المجموع	1305.3	100	1305.3	100

6-4 : كشف التغير لمؤشر MBU بين عامي 2012 – 2019

MBU	الموسم الشتوي		الموسم الصيفي	
وصف التغير	المساحة بالكم^2	النسبة %	المساحة بالكم^2	النسبة %
نقصان شديد	142.228	10.8962	43.4268	3.32694
نقصان طفيف	358.215	27.4431	354.811	27.1822
عدم تغير	357.673	27.4016	689.055	52.789
زيادة طفيفة	359.053	27.5073	169.575	12.9914
زيادة شديدة	88.131	6.75178	48.4319	3.7105
المجموع	1305.3	100	1305.3	100

الملحق (7): مصفوفة التغيرات في استعمالات الأرض بين السنوات 2002، 2012، 2019 للموسمين الشتوي والصيفي في قضاء سهل أربيل

7-1 : مصفوفة التغير في استعمالات الأرض للموسم الشتوي بين عامي 2002 – 2012

2012 / 2002	استيطان بشري	محاصيل حبوب	محاصيل خضراوات	اراضي محروثة	اراضي متروكة	مراعي موسمية	اراضي جرداء	المجموع
استيطان بشري	14.4828	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	14.4828
محاصيل حبوب	9.4608	98.163901	79.266601	41.8365	35.2107	84.790801	65.812501	414.541804
محاصيل خضراوات	5.7591	66.104101	36.944101	18.1116	19.1079	40.167901	16.8885	203.083203
اراضي محروثة	0.9639	15.3009	7.1523	6.804	6.9579	10.4652	1.62	49.2642
اراضي متروكة	9.8091	39.390301	20.7441	17.6499	14.7825	38.296801	17.901	158.573702
مراعي موسمية	4.2039	22.8258	31.2174	18.9783	5.3217	61.349401	22.0806	165.977101
اراضي جرداء	5.5566	20.7765	34.360201	13.6242	5.6052	85.414501	134.046902	299.384104
المجموع	50.236	262.5615	209.6847	117.0045	86.9859	320.4846	258.3495	1305.3

7-2 : مصفوفة التغير في استعمالات الأرض للموسم الصيفي بين عامي 2002 – 2012

2012 / 2002	استيطان بشري	محاصيل حبوب	محاصيل خضراوات	اراضي محروثة	اراضي متروكة	مراعي موسمية	اراضي جرداء	المجموع
استيطان بشري	14.4828	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	14.4828
محاصيل حبوب	4.8438	25.8714	12.4254	17.2692	16.7994	104.174101	28.9899	210.3732
محاصيل خضراوات	1.9845	2.7135	3.7665	3.9528	1.5876	45.740701	35.583301	95.3289
اراضي محروثة	1.5876	9.477	3.0294	4.4874	4.8843	25.2072	6.8364	55.5093
اراضي متروكة	7.5735	52.722901	18.6462	17.3664	38.3454	141.272101	29.079	305.0055
مراعي موسمية	8.8371	44.444701	8.343	18.2736	22.7529	113.157001	61.155001	276.9633
اراضي جرداء	10.9269	9.2664	4.7547	14.6286	4.8114	87.480001	215.767802	347.6358
المجموع	50.236	144.5	50.965	75.978	89.181	517.03	377.41	1305.3

7-3 : مصفوفة التغير في استعمالات الأرض للموسم الشتوي بين عامي 2012 – 2019

تغير استعمالات الأرض في الموسم الشتوي بين عامي 2012 – 2019								
2019 / 2012	استيطان بشري	محاصيل حبوب	محاصيل خضراوات	اراضي محروثة	اراضي متروكة	مراعي موسمية	اراضي جرداء	المجموع
استيطان بشري	50.2362	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	50.2362
محاصيل حبوب	17.091	119.653201	63.050401	8.6184	16.6293	22.7934	14.7258	262.561502
محاصيل خضراوات	4.8276	79.493401	37.316701	4.4793	4.941	47.952001	30.6747	209.684703
اراضي محروثة	3.8232	55.0638	25.2882	3.1347	5.9454	16.1514	7.5978	117.0045
اراضي متروكة	5.7753	41.6745	19.3023	2.2437	8.4888	4.1553	5.346	86.9859
مراعي موسمية	7.2657	99.346501	50.754601	6.4152	7.2414	98.342101	51.119101	320.484604
اراضي جرداء	8.3835	35.0244	25.0047	3.3048	4.0581	85.074301	97.499701	258.349502
المجموع	97.403	430.26	220.72	28.1961	47.304	274.468503	206.963102	1305.3

7-4 : مصفوفة التغير في استعمالات الأرض للموسم الصيفي بين عامي 2012 – 2019

تغير استعمالات الأرض في الموسم الصيفي بين عامي 2012 – 2019								
2019 / 2012	استيطان بشري	محاصيل حبوب	محاصيل خضراوات	اراضي محروثة	اراضي متروكة	مراعي موسمية	اراضي جرداء	المجموع
استيطان بشري	50.2362	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	50.2362
محاصيل حبوب	3.3706	18.63	24.0408	6.642	19.8612	63.487801	8.4645	144.4969
محاصيل خضراوات	5.0868	4.698	9.4527	1.3284	6.1074	19.2375	5.0544	50.9652
اراضي محروثة	1.4256	8.586	13.5513	1.7496	7.2252	36.6039	6.8364	75.978
اراضي متروكة	3.1185	9.2583	13.0572	4.9167	17.8686	33.9066	7.0551	89.181
مراعي موسمية	20.6064	50.130901	85.754701	12.5064	56.327401	228.484802	63.220501	517.0311
اراضي جرداء	13.5594	14.3046	19.0512	2.6568	13.4703	171.655202	142.713901	377.4114
المجموع	97.403	105.6078	164.9079	29.7999	120.8601	553.37581	233.3448	1305.3

الملحق (8): الزيادة والنقصان في تغير استعمالات الأرض في قضاء سهل أربيل بين السنوات 2002 ، 2012 ، 2019

8- 1 : الزيادة والنقصان في مساحة استعمالات الأرض للموسم الشتوي بين عامي 2002 – 2012

نوع الاستعمال	زيادة في المساحة بالكم^2	نقصان في المساحة بالكم^2	مساحة لم تتغير بالكم^2
استيطان بشري	35.7534	0.00	14.4828
محاصيل حبوب	164.397601	316.377902	98.163901
محاصيل خضراوات	172.740601	166.139101	36.944101
اراضي محروثة	110.200501	42.4602	6.804
اراضي متروكة	72.203401	143.791201	14.7825
مراعي موسمية	259.135202	104.627701	61.349401
اراضي جرداء	124.302601	165.337202	134.046902

8- 2 : الزيادة والنقصان في مساحة استعمالات الأرض للموسم الصيفي بين عامي 2002 – 2012

نوع الاستعمال	زيادة في المساحة بالكم^2	نقصان في المساحة بالكم^2	مساحة لم تتغير بالكم^2
استيطان بشري	35.7534	0.00	14.4828
محاصيل حبوب	118.624501	184.5018	25.8714
محاصيل خضراوات	47.1987	91.562401	3.7665
اراضي محروثة	71.490601	51.0219	4.4874
اراضي متروكة	50.835601	266.660102	38.3454
مراعي موسمية	403.874102	163.806302	113.157001
اراضي جرداء	161.643602	131.868001	215.767802

8- 3 : الزيادة والنقصان في مساحة استعمالات الأرض للموسم الشتوي بين عامي 2012 – 2019

نوع الاستعمال	زيادة في المساحة بالكم^2	نقصان في المساحة بالكم^2	مساحة لم تتغير بالكم^2
استيطان بشري	47.166301	0.00	50.2362
محاصيل حبوب	310.602602	142.908301	119.653201
محاصيل خضراوات	183.400202	172.368002	37.316701
اراضي محروثة	25.0614	113.869801	3.1347
اراضي متروكة	38.8152	78.4971	8.4888
مراعي موسمية	176.126401	222.142502	98.342101
اراضي جرداء	109.463401	160.849801	97.499701

8- 4 : الزيادة والنقصان في مساحة استعمالات الأرض للموسم الصيفي بين عامي 2012 – 2019

نوع الاستعمال	زيادة في المساحة بالكم^2	نقصان في المساحة بالكم^2	مساحة لم تتغير بالكم^2
استيطان بشري	47.166301	0.00	50.2362
محاصيل حبوب	86.977801	125.865901	18.63
محاصيل خضراوات	155.455201	41.5125	9.4527
اراضي محروثة	28.0503	74.228401	1.7496
اراضي متروكة	102.991501	71.312401	17.8686
مراعي موسمية	324.891002	288.546302	228.484802
اراضي جرداء	90.630901	234.697502	142.713901

الملحق (9) :

الملحق (9 - 1): معايير تقييم قابلية الأرض على الإنتاج بطريقة Storie

ت	عمق التربة بالسم (العامل A)	التقييم من %
1	اكثر من 120	100
2	120 – 60	80
3	59 - 30	60
4	29 – 15	40
5	اقل من 15	20
ت	**نسجة التربة (العامل B)**	**التقييم من %**
1	طينية	50
2	طينية غرينية	60
3	رملية	60
4	مزيجية	80
5	طينية رملية	80
6	غرينية رملية	80
7	مزيجية رملية	90
8	مزيجية طينية	95
9	غرينية	100
10	مزيجية طينية غرينية	100
ت	**انحدار سطح الأرض بالـ % (العامل C)**	**التقييم من %**
1	2 - 0	100
2	8 – 2.1	97
3	15 – 8.1	87
4	30 – 15.1	75
5	45 – 30.1	40
6	اكثر من 45	17
ت	**حموضة التربة وقاعديتها PH (العامل X1)**	**التقييم من %**
1	8.5 – 4.5	100
2	اقل من 4.5 أو أعلى من 8.5	50
ت	**الايصآلية الكهربائية EC (عامل X2)**	**التقييم من %**
1	4 – 0	100
2	5	90
3	8	75
4	10	60
5	12	50
ت	**نسبة الصوديوم الممتز SAR (عامل X3)**	**التقييم من %**
1	7 – 0	100
2	10	90
3	21	75
4	50	50

ت	مستوى البزل (عامل X4)	التقييم من %
1	بزل جيد	100
2	بزل معتدل	85
3	بزل بطيء	70
4	بزل رديء	50
ت	مستوى تعرية التربة (عامل X5)	التقييم من %
1	تعرية طفيفة جدا	100
2	تعرية طفيفة	88
3	تعرية متوسطة	45
4	تعرية شديدة	25
5	تعرية شديدة جدا	20

المصدر :

1- USDA, Interne link: http://lawr.ucdavis.edu/classes/ssc118/Colusa_County/appendix.html

2- University of California, A Revised Storie Index for Use with digital Soils Information ,Division of Agriculture and Natural Resources, 2008, p. 6. Internet link: https://anrcatalog.ucanr.edu/pdf/8335.pdf

الملحق (9 - 2): الخصائص الفيزيائية والكيميائية للتربة في قضاء سهل أربيل

العينة	WGS84 Zone 38		الخصائص الفيزيائية					الخصائص الكيميائية						مستوى البزل
			Clay	Silt	Sand	Texture	Depth	pH	EC	SAR	CEC	OM	CaCo3	
	X	Y	g/Km	g/Km	g/Km	Class	Cm	-	dS/m	-	Cmol/gk	g/Km	g/Km	
1	413806	3984340	230.80	320.50	448.70	loam	100 - 150	7.79	0.51	0.55	17.92	7.90	51.80	Good
2	416022	3978120	282.10	474.40	243.60	clay loam	100 - 150	7.88	1.06	0.56	23.32	6.40	32.50	Good
3	417423	3970610	487.20	397.40	115.40	clay	100 - 150	7.84	0.42	0.14	22.13	5.50	39.80	Good
4	431441	3974960	243.60	410.30	346.20	loam	100 - 150	7.95	0.38	0.51	23.86	11.70	54.30	Good
5	411980	3998040	381.00	520.00	99.00	silty clay loam	100 - 150	7.45	0.59	0.48	22.82	8.80	54.00	Good
6	417042	4012050	294.90	461.50	243.60	clay loam	100 - 150	7.85	0.43	0.30	24.56	2.60	37.60	Good
7	421630	4016930	371.80	384.60	243.60	clay loam	100 - 150	7.94	0.53	0.14	22.67	7.90	34.10	Good
8	404964	3982050	333.30	512.80	153.80	silty clay loam	100 - 150	7.89	0.38	0.38	23.64	11.70	36.10	Good
9	407823	3973850	320.50	551.30	128.20	silty clay loam	100 - 150	7.29	0.39	0.62	23.48	17.70	23.40	Good
10	403382	3976310	249.90	589.70	115.40	siltyclay loam	100 - 150	7.66	0.84	0.77	23.00	13.70	45.50	Good
11	391471	3971230	51.30	320.50	628.20	sandy loam	100 - 150	7.78	0.60	0.26	16.95	4.30	36.70	Good
12	395272	3985530	384.60	525.60	89.70	silty clay loam	100 - 150	7.75	0.49	0.52	25.48	14.30	52.30	Good
13	394939	3993140	357.00	515.00	128.00	silty clay loam	100 - 150	7.42	0.84	0.95	25.00	10.90	28.00	Good
14	409040	4011040	435.90	397.40	166.70	silty clay	100 - 150	7.90	0.28	0.73	24.29	4.30	43.10	Good
15	410837	4023390	410.30	474.40	115.40	silty clay	100 - 150	7.70	0.41	0.39	22.08	11.70	42.20	Good
16	427594	3974860	350.00	444.70	205.30	clay loam	100 - 150	7.35	0.73	0.57	28.07	9.60	41.00	Good
17	444041	4003950	291.06	446.99	261.95	clay loam	100 - 150	7.81	0.47	-	-	-	-	Good
18	427116	3987870	375.07	490.47	134.46	silty clay loam	100 - 150	8.16	0.71	-	-	-	-	Good

المصدر :

Char O. Hama-Amen, Using Different Methods to Determine Critical Level of Potassium for Wheat Plant (Triticum durum) in Erbil Plain Soils, MD Thesis is not Published, College of Agriculture, University of Salahaddin, Kurdistan Region of Iraq, 2012, p.p 32 -33.

ليلى محمد قهرمان، تحليل جغرافي لخصائص ومشاكل ترب محافظة أربيل وقابلية أراضيها الإنتاجية، اطروحة دكتوراه غير منشورة ، كلية الآداب ، جامعة صلاح الدين ، إقليم كوردستان العراق، 2004، ص ص 157- 172.

الملحق (9 - 3): معدل الحرارة والمطر السنوي للمحطات المناخية الفضائية الواقعة في قضاء سهل أربيل وحوله للمدة 2002 – 2019

1- معدل الحرارة السنوي

المحطة	WGS84 Zone 38		المسافة عن المركز المكاني للقضاء بالكم	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	MEAN
	X	Y														
1	385586	3846030	143.95	7.29	7.99	14.85	20.28	27.86	33.16	37.65	37.12	33.09	24.17	16.49	11.50	22.71
2	431353	3845580	140.64	7.98	8.30	15.10	20.71	27.83	33.15	38.03	37.79	33.67	24.67	16.92	12.35	23.13
3	477118	3845350	151.53	7.64	7.70	14.43	20.18	27.03	32.98	37.85	37.57	33.36	24.23	16.48	12.23	22.73
4	340789	3902170	115.27	6.60	7.50	14.12	19.32	27.03	32.79	37.33	36.62	32.61	23.50	15.77	10.56	22.06
5	386280	3901480	90.84	6.97	7.65	14.26	19.57	27.03	32.66	37.36	36.81	32.74	23.68	15.94	11.24	22.25
6	431769	3901030	85.53	7.03	7.37	13.89	19.42	26.57	32.39	37.45	37.07	32.91	23.70	15.91	11.56	22.19
7	477257	3900800	102.38	5.95	6.06	12.48	18.25	25.13	31.42	36.35	35.93	31.78	22.41	14.68	10.65	21.01
8	522743	3900800	133.21	4.84	4.68	11.05	17.04	23.79	30.31	35.04	34.56	30.46	21.00	13.27	9.53	19.72
9	296558	3958560	126.56	6.05	6.96	13.31	18.60	25.84	32.02	36.74	36.00	32.04	22.73	14.97	9.87	21.34
10	341772	3957630	83.28	6.25	7.13	13.47	18.85	26.16	32.23	36.97	36.26	32.25	22.96	15.19	10.35	21.59
11	386983	3956940	43.95	6.41	7.13	13.45	18.84	26.11	32.24	37.05	36.43	32.35	23.06	15.28	10.78	21.68
12	432191	3956480	31.66	5.76	6.18	12.41	18.01	25.34	31.69	36.55	36.01	31.85	22.31	14.58	10.32	21.00
13	477397	3956250	64.41	4.55	4.62	10.79	16.61	23.82	30.27	35.06	34.54	30.45	20.76	13.13	9.10	19.56
14	522603	3956250	106.62	2.79	2.38	8.70	14.67	21.61	28.15	32.94	32.38	28.38	18.58	11.00	7.20	17.49
15	297839	4014030	125.54	5.67	6.58	12.63	18.13	24.93	31.69	36.63	35.86	31.86	22.24	14.49	9.89	20.97
16	342769	4013100	82.07	5.68	6.52	12.63	18.21	25.15	31.79	36.70	35.97	31.89	22.25	14.46	10.00	21.02
17	387694	4012400	41.99	5.61	6.33	12.37	17.93	25.02	31.59	36.51	35.85	31.72	22.09	14.21	10.02	20.85
18	432618	4011940	28.99	3.98	4.41	10.31	16.01	23.21	29.77	34.67	34.10	29.99	20.08	12.40	8.56	19.04
19	477539	4011710	62.97	2.12	2.09	8.08	13.85	21.02	27.49	32.35	31.84	27.79	17.76	10.38	6.61	16.87
20	522461	4011710	105.54	0.26	0.35	5.97	11.83	18.72	25.16	30.12	29.59	25.57	15.49	8.27	4.46	14.68
21	299136	4069500	147.16	4.73	5.67	11.38	16.81	23.47	30.77	35.73	34.96	30.98	21.10	13.37	9.61	19.97
22	343777	4068570	112.65	3.75	4.55	10.33	15.80	22.56	29.70	34.70	34.01	29.92	19.94	12.20	8.60	18.92
32	388414	4067870	88.02	3.21	3.83	9.59	15.04	22.07	29.01	33.92	33.35	29.19	19.22	11.37	7.88	18.22
24	433050	4067400	82.65	1.52	1.88	7.62	13.16	20.21	26.89	31.81	31.28	27.20	17.08	9.53	6.21	16.28
25	477683	4067170	99.68	1.01	0.95	4.95	10.50	17.39	23.77	28.72	28.30	24.28	14.07	7.06	3.73	13.48
26	522317	4067170	130.63	1.98	2.35	3.92	9.63	16.31	22.56	27.41	27.01	22.97	12.84	6.01	2.40	12.31
27	344797	4124040	157.48	2.07	1.25	5.13	10.23	16.49	23.61	28.85	28.41	24.41	14.16	6.92	4.52	13.37
28	389143	4123340	141.02	2.98	2.04	4.06	9.16	15.56	22.60	27.69	27.40	23.35	12.99	5.80	3.38	12.33
29	433487	4122870	137.75	3.52	2.57	3.49	8.53	15.13	21.91	26.75	26.42	22.46	12.09	5.20	2.49	11.61
30	477829	4122640	148.52	3.63	2.98	3.04	8.26	14.88	21.18	25.88	25.64	21.70	11.46	4.88	1.81	11.09

المصدر : NASA https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer

2- معدل المطر السنوي

المحطة	WGS84 Zone 38		المسافة عن المركز المكاني للقضاء بالكم	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	SUM
	X	Y														
1	344797	4124040	157.48	98.55	42.05	102.37	79.17	23.95	22.77	1.88	0.68	2.81	18.29	28.72	89.78	511.02
2	389143	4123340	141.02	85.67	47.00	96.28	71.29	23.05	29.92	2.73	1.12	1.28	20.13	21.73	76.09	476.29
3	433487	4122870	137.75	74.31	31.76	73.53	63.25	24.46	26.36	3.47	0.64	0.84	16.07	13.03	73.92	401.64
4	477829	4122640	148.52	69.16	26.71	66.78	60.40	25.60	24.93	3.44	0.48	0.72	14.68	10.75	74.73	378.38
5	299136	4069500	147.16	96.41	33.23	99.28	87.24	12.54	10.50	0.54	0.21	0.87	9.10	24.20	97.72	471.84
6	343777	4068570	112.65	93.97	36.23	100.26	83.17	13.01	13.76	0.76	0.31	0.72	10.05	21.27	93.83	467.34
7	388414	4067870	88.02	87.68	40.60	97.72	73.46	12.70	18.76	1.21	0.54	0.15	11.19	13.27	85.36	442.64
8	433050	4067400	82.65	79.65	31.41	86.81	66.43	15.33	15.16	1.38	0.21	0.12	9.08	7.24	92.25	405.07
9	477683	4067170	99.68	76.65	28.71	84.17	64.32	16.38	14.35	1.38	0.12	0.13	8.49	5.60	95.19	395.49
10	522317	4067170	130.63	71.15	26.07	82.85	60.58	16.51	15.05	1.08	0.06	0.35	8.27	5.08	98.40	385.45
11	297839	4014030	125.54	79.58	31.98	88.96	78.45	7.13	5.80	0.22	0.10	0.15	5.29	17.56	88.16	403.38
12	342769	4013100	82.07	79.26	33.90	90.83	76.90	6.70	6.18	0.23	0.09	0.12	5.26	14.94	90.38	404.79
13	387694	4012400	41.99	74.60	40.24	92.63	69.36	5.70	8.30	0.36	0.15	0.01	5.36	6.60	94.11	397.42
14	432618	4011940	28.99	72.73	38.70	94.54	67.58	6.73	6.21	0.31	0.05	0.01	4.50	3.26	107.04	401.66
15	477539	4011710	62.97	74.83	38.63	99.94	69.37	7.64	6.47	0.31	0.03	0.02	4.56	2.65	112.71	417.16
16	522461	4011710	105.54	75.26	36.73	103.78	67.64	9.07	8.62	0.26	0.02	0.06	5.39	2.80	117.26	426.89
17	296558	3958560	126.56	54.01	35.59	72.51	61.60	3.45	2.09	0.06	0.02	0.03	2.77	9.22	76.89	318.24
18	341772	3957630	83.28	54.91	38.28	76.39	63.02	3.13	1.82	0.05	0.01	0.01	2.57	7.77	84.03	331.99
19	386983	3956940	43.95	53.21	45.71	83.15	62.51	2.35	2.23	0.05	0.03	0.00	2.19	2.85	100.41	354.69
20	432191	3956480	31.66	57.94	48.09	94.03	67.39	2.56	1.52	0.03	0.00	0.00	1.91	1.58	115.07	390.12
21	477397	3956250	64.41	63.58	48.74	104.47	72.32	3.37	1.96	0.02	0.00	0.00	2.14	1.47	121.57	419.64
22	522603	3956250	106.62	69.30	47.49	112.94	74.07	5.41	4.00	0.02	0.00	0.01	3.22	2.03	123.66	442.15
23	340789	3902170	115.27	30.93	41.61	58.95	46.67	1.28	0.30	0.00	0.00	0.00	0.94	2.50	73.39	256.57
24	386280	3901480	90.84	35.32	48.73	71.58	54.13	1.21	0.24	0.00	0.00	0.00	0.68	0.97	95.11	307.97
25	431769	3901030	85.53	47.04	51.44	92.18	65.96	1.93	0.32	0.00	0.00	0.00	0.78	0.96	110.39	371.00
26	477257	3900800	102.38	52.26	52.51	100.37	70.80	2.35	0.43	0.00	0.00	0.00	0.92	1.04	114.84	395.52
27	522743	3900800	133.21	58.76	52.21	105.39	73.53	4.51	1.35	0.00	0.00	0.00	1.68	1.67	111.75	410.85
28	385586	3846030	143.95	24.18	45.17	59.14	43.39	1.22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.17	0.33	76.65	250.25
29	431353	3845580	140.64	38.69	47.44	79.71	57.75	2.07	0.03	0.00	0.00	0.00	0.34	0.61	86.98	313.62
30	477118	3845350	151.53	43.40	48.42	84.36	62.24	2.49	0.05	0.00	0.00	0.00	0.42	0.70	89.22	331.30

المصدر : NASA https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer

الملحق (9 - 4) : قيمة العامل K بمقياس RUSLE

ت	نسجة التربة	قيمة العامل K
1	Clay	0.22
2	Clay Loam	0.30
3	Fine Sandy Loam	0.18
4	Loam	0.30
5	Loamy Sand	0.04
6	Sand	0.02
7	Sandy Clay Loam	0.20
8	Sandy Loam	0.13
9	Silt Loam	0.38
10	Silt Clay	0.26
11	Silt Clay Loam	0.32

المصدر :

Iyad Zamareh, et al., Developing an Erosion Model of Surif, Beit Ummar, and Tarqumya Catchment Areas using Geographic Information System (GIS) Software and Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE), 2008, p. 76. Internet link: http://scholar.ppu.edu/bitstream/handle/123456789/1207/DEVOLOPING%20AN%20EROSION%20MODEL%20OF%20SURIF%2C%20BEIT%20UMMAR%2C%20AND%20TARQUMYA%20CATCHMENT%20AREAS%20USING%20GEOGRAPHIC%20INFORMATION%20SYSTEM%20%28GIS%29%20SOFTWARE%20AND%20REVISED%20UNIVERSAL%20SOIL%20LOSS%20EQUATION%20%28RUSLE%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y

الملحق (10) : معايير الملاءمة المكانية الزراعية لمحاصيل القمح والشعير والذرة الصفراء

Land Qualities صفات الأرض	Variables متغير	Unit الوحدة	Crop المحصول	أصناف الملائمة				
				S1	S2	S3	N1	N2
				تقييم الأصناف من 100				
				100 – 85	85 – 60	60 – 40	40 – 25	25 - 0
المناخ	الحرارة	^{o}C	قمح	18 - 23	23 - 25	25 - 30	-	> 30
				18 – 12	12 - 10	10 - 8	-	< 8
			شعير	15 - 20	20 - 30	30 – 40	-	> 40
				15 – 10	10 - 8	8 - 6	-	< 6
			ذرة صفراء	24 - 18	18 - 16	16 - 14	-	< 14
				24 - 32	32 - 35	35 - 40	-	> 40
	الأمطار	ملم / سنة	قمح	700 - 350	350 – 250	250 – 200	-	< 200
				700 - 1250	1250 – 1500	1500 – 1750	-	> 1750
			شعير	650 - 300	300 - 200	200 – 150	-	< 150
				650 - 1100	1100 - 1300	1300 - 1500	-	> 1500
			ذرة صفراء	750 - 1200	1200 - 1600	> 1600	-	-
				750 - 500	500 - 400	400 – 300	-	< 300
الطوبوغرافيا	انحدار	%	قمح	0 – 2	2 - 4	4 - 6	-	> 6
			شعير	0 – 2	2 - 4	4 - 6	-	> 6
			ذرة صفراء	0 – 2	2 - 4	4 - 6	-	> 6
الخصائص الفيزيائية للتربة	النسجة	صنف	قمح	SI,SIC,L,CL,SICL	SC & SCL	LS	-	S
			شعير	SI,SIC,L,CL,SICL	SC & SCL	LS	-	S
			ذرة صفراء	C, SiC, SiCL، CL, Si, SiL, SC, L, SCL	SL, LS	S	-	C massive
	عمق التربة	سم	قمح	100 - > 150	75 – 100	75 – 50	-	< 50
			شعير	> 90 – 50	50 – 20	20 – 10	-	< 10
			ذرة صفراء	> 75	75 –50	49–20	-	< 20

Land Qualities صفات الأرض	Variables متغير	Unit الوحدة	Crop المحصول	أصناف الملائمة				
				S1	S2	S3	N1	N2
				تقييم الأصناف من 100				
				100 – 85	85 – 60	60 – 40	40 – 25	25 - 0
الخصائص الكيميائية للتربة	المادة العضوية OM	%	قمح	> 1.5	1.5 – 1	1- 0.5	-	< 0.5
			شعير	> 1.5	1.5 – 1	1- 0.5	-	< 0.5
			ذرة صفراء	> 3.5 – 2	2 – 1.4	< 1.4	-	-
	CaCo3	%	قمح	3 – 30	30 – 40	40 - 60	-	> 60
			شعير	3 – 30	30 – 40	40 - 60	-	> 60
			ذرة صفراء	0 – 30	30 – 40	> 40	-	-
	CEC	Me/100 gr Soil	قمح	> 24 - 16	< 16 (-)	< 16 (+)	-	-
			شعير	> 24 - 16	< 16 (-)	< 16 (+)	-	-
			ذرة صفراء	> 24 - 16	< 16 (-)	< 16 (+)	-	-
	ECe	dS/m	قمح	0 – 4	4 – 6	6 – 8	-	> 10
			شعير	0 – 12	12 - 16	16 - 20	-	> 20
			ذرة صفراء	0 – 5	5 – 7	7 – 10	-	> 10
خصوبة التربة	pH	-	قمح	7.0 – 8.2	8.2 – 8.4	8.4 – 8.5	-	> 8.5
			شعير	7.0 – 8.2	8.2 – 8.4	8.4 – 8.5	-	> 8.5
			ذرة صفراء	6.6 – 7.8	7.8 – 8.2	8.2 – 8.5	-	> 8.5

المصدر

1. C. Cys, et al., Land Evaluation Part III Crops Requirements, Agricultural Publication, Brussels – Belgium, 1993, p.p 25 – 174.
2. Edoardo A.C. Costantini, Manual of methods for soil and land evaluation, Science Publishers, USA, 2009, p.p 163 – 176.

الملحق (11) : إنتاجية الآبار من المياه في قضاء سهل أربيل لعام 2019.

رقم البئر	WGS84 Zone 38		الإنتاجية م3 / يوم	رقم البئر	WGS84 Zone 38		الإنتاجية م3 / يوم	رقم البئر	WGS84 Zone 38		الإنتاجية م3 / يوم
	X	Y			X	Y			X	Y	
1	416181	3961070	847.05	28	416181	3977070	866.16	55	416181	3993070	923.28
2	420181	3961070	1031.71	29	420181	3977070	781.58	56	420181	3993070	792.81
3	412181	3965070	849.49	30	424181	3977070	703.21	57	424181	3993070	558.07
4	416181	3965070	926.38	31	428181	3977070	668.10	58	428181	3993070	486.16
5	420181	3965070	1019.14	32	432181	3977070	718.52	59	412181	3997070	905.28
6	424181	3965070	1041.41	33	404181	3981070	1350.11	60	416181	3997070	866.30
7	428181	3965070	977.15	34	408181	3981070	1057.38	61	420181	3997070	674.21
8	404181	3969070	971.93	35	412181	3981070	783.14	62	424181	3997070	412.92
9	408181	3969070	906.27	36	416181	3981070	799.16	63	428181	3997070	432.21
10	412181	3969070	999.75	37	420181	3981070	734.47	64	432181	3997070	470.08
11	416181	3969070	1054.69	38	424181	3981070	630.40	65	420181	4001070	554.50
12	420181	3969070	1027.60	39	428181	3981070	599.32	66	424181	4001070	446.20
13	424181	3969070	901.65	40	432181	3981070	680.83	67	428181	4001070	496.25
14	428181	3969070	829.90	41	408181	3985070	1031.20	68	432181	4001070	523.28
15	432181	3969070	826.04	42	412181	3985070	825.78	69	424181	4005070	550.61
16	400181	3973070	1052.80	43	416181	3985070	821.82	70	428181	4005070	593.22
17	404181	3973070	1150.66	44	420181	3985070	757.21	71	432181	4005070	628.48
18	408181	3973070	1117.97	45	424181	3985070	579.33	72	420181	4009070	709.35
19	412181	3973070	1083.64	46	428181	3985070	549.05	73	424181	4009070	645.29
20	416181	3973070	908.48	47	432181	3985070	639.46	74	428181	4009070	612.02
21	420181	3973070	854.26	48	408181	3989070	1078.09	75	432181	4009070	658.14
22	424181	3973070	778.84	49	412181	3989070	1011.64	76	420181	4013070	865.67
23	428181	3973070	713.58	50	416181	3989070	940.86	77	424181	4013070	701.16
24	432181	3973070	760.08	51	420181	3989070	814.65	78	428181	4013070	590.99
25	404181	3977070	1229.62	52	424181	3989070	599.57	79	420181	4017070	883.44
26	408181	3977070	1220.03	53	428181	3989070	515.75	80	424181	4017070	548.04
27	412181	3977070	982.40	54	412181	3993070	863.52	81	428181	4017070	542.97

المصدر : جمهورية العراق ، جمهورية العراق، إقليم كوردستان، وزارة الزراعة والمصادر المائية، دائرة المياه الجوفية، المياه الجوفية في محافظة أربيل، بيانات غير منشورة، 2019.

الملحق (12) : الأيدي العاملة والكثافة الزراعية حسب مقاطعات قضاء سهل أربيل لعام 2019.

ID	الناحية	المقاطعة	الأيدي العاملة الزراعية	المساحة الزراعية	الكثافة الزراعية عامل / كم^2
1	كةسنةزان	ازيانة	29	13.55	2
2		بستانة كبير	66	32.24	2
3		بيستانة صغير	15	23.30	1
4		طرسور	37	15.38	2
5		قشقة	53	34.54	2
6		كسنزان علي	56	18.82	3
7		ضالة طردلة	0	12.19	0
8		كلجين	1	3.39	0
9		شربوت	32	10.15	3
10		ميركان افندي	6	6.84	1
11		باغضة	42	6.12	7
12		ثالانى	33	25.27	1
13		سردشت	0	6.24	0
14		زروا	0	3.70	0
15		كسنزان اسماعيل	0	10.56	0
16		سورش خزر	0	2.37	0
17	بنصلاوة	بنصلاوة كبير	10	13.78	1
18		بنصلاوة صغير	8	17.97	0
19	دارةتوو	شيراوة	27	15.13	2
20		باغمرة شهاب	15	3.19	5
21		هلجة صغير	12	4.41	3
22		لاجان	11	10.84	1
23		سرمزرا	33	13.34	2
24		هلجة كبير	27	15.32	2
25		اومرة سور	30	9.94	3
26		ثونطينة	41	23.69	2
27		سيقوضان	22	12.46	2
28		كولك صغير	22	5.19	4
29		طردشيخان	45	10.92	4
30		شربوت بجوك	33	7.19	5
31		مام ضوغان	47	10.82	4
32		باغمرة افندى	119	15.97	7
47	قوشتةثة	طردهرشه اسعد	0	4.41	0
48		ثلنطة	0	1.39	0
49		باشتثه	101	5.56	18
50		دووكلة	32	12.56	3
51		قولتثه رشيد	95	9.78	10
52		بيرعاربات	93	21.67	4
53		قورشاغاو	102	32.02	3
54		دوطردكان	134	19.21	7
55		قارة جنجة	72	18.25	4
56		طرد ملا	100	15.37	7
57		قوجة بلباس	75	14.57	5
58		ميرخوزار	30	7.36	4
59		علياوة	53	4.93	11
60		برايم لك	30	8.54	4
61		قازي خانة	96	8.85	11
62		كوسكة	52	8.03	6
63		كانى طنة	73	16.81	4
64		ضيلبشة	105	3.61	29
65		همزة كور	30	6.84	4
66		توبزاوة	129	16.78	8
67		اومر مامكة	75	17.54	4
68		كروز	168	18.88	9
69		ثلكانة	24	10.81	2
70		مورتكة على	53	15.15	3
71		لوركة	0	11.72	0
72		حسن مترب	0	12.98	0
73		طردلانكة مجيد	0	7.78	0
74		اومراوة	30	15.15	2
75		طومطرو	35	11.32	3
76		دولة سزة	90	12.00	8
77		تيزاوة	120	8.00	15
78		دولة بكرة	299	18.56	16

ID	الناحية	المقاطعة	الأيدي العاملة الزراعية	المساحة الزراعية	الكثافة الزراعية عامل / كم^2	ID	الناحية	المقاطعة	الأيدي العاملة الزراعية	المساحة الزراعية	الكثافة الزراعية عامل / كم^2
33		خورخور	68	8.68	8	79		كرذور	29	14.89	2
34		ثيرجنة	0	7.23	0	80		كولك كبير	29	49.93	1
35		داره تو	0	11.28	0	81		الينجاغ صغير	196	10.37	19
36		طردرشة مفتي	0	2.94	0	82		ميرزاغا	33	15.31	2
37		دوشيوان	77	29.18	3	83		ثوريجة	288	25.81	11
38		اومر مامكة	17	17.54	1	84		طردسور	78	37.35	2
39		ملا عمر شوك	27	13.27	2	85		سيبيران	52	22.19	2
40		قلمان	68	10.30	7	86		قولتثة يابه	36	6.48	6
41	قوشتةثة	ميراكان خزر	38	19.47	2	87		طردشينة	0	2.76	0
42		شيخانان	17	18.63	1	88		بيوكة	0	12.67	0
43		طرديش	30	14.77	2	89		قوثقران	0	5.57	0
44		صوفى ابراهيم	47	19.19	2	90		قوشتةثة	0	11.05	0
45		كانى بزرة	17	15.14	1	91		شيراوة	0	15.13	0
46		ابلاغ	17	8.89	2	92		قارة جنجة	0	18.25	0

المصدر : جمهورية العراق، جمهورية العراق، إقليم كوردستان، وزارة التخطيط، مديرية إحصاء محافظة أربيل، شعبة الإحصاء الزراعي، الأيدي العاملة الزراعية، بيانات غير منشورة، 2019.

الملحق (13) : الاستبانة المعتمدة في الدراسة

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة الموصل / كلية التربية للعلوم الإنسانية

قسم الجغرافيا

م / استبانة

المحكم الكريم ..

الاستبانة التي بين يديك هي لأغراض علمية بحتة، تخص دراسة دكتوراه، حول تكامل نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد في النمذجة الخرائطية لاستعمالات الأرض / قضاء سهل أربيل أنموذجاً .

يرجى من سعادتكم ابداء الرأي والاجابة عن الاسئلة الواردة في الاستبانة بما ترونه مناسبا، على وفق خبرتكم العلمية.. وشكرا لجنابكم مقدما على جميل التعاون وسرعة الاستجابة.

الباحث

عمر عبد الله القصاب

- **المحور الزراعي**

1- المهنة

a. خبير زراعي
b. مهندس زراعي
c. مدير دائرة زراعية
d. جغرافي زراعة
e. فلاح

2- المطلوب : حدد أهمية العوامل الواردة في زراعة محاصيل الحبوب ادناه ..

أ - القمح

المعايير	مقياس الأهمية				
	قليلة	متوسطة	كبيرة	كبيرة جدا	مطلقة
الخصائص المناخية					
خصائص التربة					
خصائص الطوبوغرافيا					
الأيدي العاملة					
سهولة الوصول					

ب - الشعير

المعايير	مقياس الأهمية				
	قليلة	متوسطة	كبيرة	كبيرة جدا	مطلقة
الخصائص المناخية					
خصائص التربة					
خصائص الطوبوغرافيا					
الأيدي العاملة					
سهولة الوصول					

ج – الذرة الصفراء

المعايير	مقياس الأهمية				
	قليلة	متوسطة	كبيرة	كبيرة جدا	مطلقة
متطلبات الحرارة ومياه الري					
خصائص التربة					
خصائص الطوبوغرافيا					
الأيدي العاملة					
سهولة الوصول					

- **المحور الحضري**

1- المهنة

a. جغرافي مدن
b. مخطط حضري

2- المطلوب : حدد أهمية العوامل الواردة ادناه في التوسع المساحي الحضري اخذا بنظر الاعتبار استدامة الأرض الزراعية

المعايير	مقياس الأهمية				
	قليلة	متوسطة	كبيرة	كبيرة جدا	مطلقة
البعد عن الأراضي الزراعية					
القرب من الأرض الحضرية					
القرب من طرق النقل الرئيسة					
المياه الجوفية					
انحدار سطح الأرض					

الملحق (14) : التقارير الإحصائية لعمليات التحليل الهرمية AHP في الامتداد GIS Decision Tools التابع لبرنامج ArcGIS Desktop 10.6.1

14-1 التقرير الإحصائي لعمليات التحليل الهرمية لخصائص محصولي القمح والشعير

[Suitability analysis with the AHP]
[Criteria and source layers]
Climate.tif E:\Suitability Data\AHP\Wheat and Barley\Climate.tif
Soil.tif E:\Suitability Data\AHP\Wheat and Barley\Soil.tif
Slope.tif E:\Suitability Data\AHP\Wheat and Barley\Slope.tif
Accessibility.tif E:\Suitability Data\AHP\Wheat and Barley\Accessibility.tif
Density.tif E:\Suitability Data\AHP\Wheat and Barley\Density.tif
[Criteria hierarchy]
[Objective]
Climate.tif [0.471] -> [0.471]
Soil.tif [0.268] -> [0.268]
Slope.tif [0.143] -> [0.143]
Accessibility.tif [0.075] -> [0.075]
Density.tif [0.044] -> [0.044]
[AHP preference matrices and results]
Parent criterion: Objective
[Preference matrix]

	Climate.tif	Soil.tif	Slope.tif	Accessibility.tif	Density.tif
Climate.tif	1.0	2.0	4.0	6.0	8.0
Soil.tif	0.5	1.0	2.0	4.0	6.0
Slope.tif	0.25	0.5	1.0	2.0	4.0
Accessibility.tif	0.167	0.25	0.5	1.0	2.0
Density.tif	0.125	0.167	0.25	0.5	1.0

[Criteria weights]
Climate.tif 47.0991
Soil.tif 26.7696
Slope.tif 14.2502
Accessibility.tif 7.514
Density.tif 4.367
[Consistency ratio CR]
0.0103

14-2 التقرير الإحصائي لعمليات التحليل الهرمية لخصائص محصول الذرة الصفراء

[Suitability analysis with the AHP]
[Criteria and source layers]
Climate.tif E:\Suitability Data\AHP\Maize\Climate.tif
Soil.tif E:\Suitability Data\AHP\Maize\Soil.tif
Slope.tif E:\Suitability Data\AHP\Maize\Slope.tif
Accessibility.tif E:\Suitability Data\AHP\Maize\Accessibility.tif
Density.tif E:\Suitability Data\AHP\Maize\Density.tif
[Criteria hierarchy]
[Objective]
Climate.tif [0.468] -> [0.468]
Soil.tif [0.262] -> [0.262]
Slope.tif [0.131] -> [0.131]
Accessibility.tif [0.069] -> [0.069]
Density.tif [0.069] -> [0.069]
[AHP preference matrices and results]
Parent criterion: Objective
[Preference matrix]

	Climate.tif	Soil.tif	Slope.tif	Accessibility.tif	Density.tif
Climate.tif	1.0	2.0	4.0	6.0	6.0
Soil.tif	0.5	1.0	2.0	4.0	4.0
Slope.tif	0.25	0.5	1.0	2.0	2.0
Accessibility.tif	0.167	0.25	0.5	1.0	1.0
Density.tif	0.167	0.25	0.5	1.0	1.0

[Criteria weights]
Climate.tif 46.8434
Soil.tif 26.189
Slope.tif 13.0945
Accessibility.tif 6.9366
Density.tif 6.9366
[Consistency ratio CR]
0.003

3-14 التقريـر الإحصـائي لعلميـات التحليـل الهرميـة لمعـايير ملاءمـة الأرض علـى التوسـع المساحي الحضري

[Suitability analysis with the AHP]
[Criteria and source layers]
Urban_dis.tif E:\Urban Suutability 2\متغيرات ملاءمة مقيسة\Urban_dis.tif
Agre_suit.tif E:\Urban Suutability 2\متغيرات ملاءمة مقيسة\Crops_Suitability.tif
Road_dis.tif E:\Urban Suutability 2\متغيرات ملاءمة مقيسة\Road_dis.tif
G_water.tif E:\Urban Suutability 2\متغيرات ملاءمة مقيسة\Ground_water.tif
Slope.tif E:\Urban Suutability 2\متغيرات ملاءمة مقيسة\Slope.tif
[Criteria hierarchy]
[Objective]
Urban_dis.tif [0.34] -> [0.34]
Agre_suit.tif [0.327] -> [0.327]
Road_dis.tif [0.167] -> [0.167]
G_water.tif [0.083] -> [0.083]
Slope.tif [0.083] -> [0.083]
[AHP preference matrices and results]
Parent criterion: Objective
[Preference matrix]

	Urban_dis.tif	Agre_suit.tif	Road_dis.tif	G_water.tif
Urban_dis.tif	1.0	1.0	2.0	4.0
Agre_suit.tif	1.0	1.0	2.0	4.0
Road_dis.tif	0.5	0.5	1.0	2.0
G_water.tif	0.25	0.25	0.5	1.0
Slope.tif	0.25	0.25	0.5	1.0

[Criteria weights]
Urban_dis.tif 33.9752
Agre_suit.tif 32.7036
Road_dis.tif 16.6606
G_water.tif 8.3303
Slope.tif 8.3303
[Consistency ratio CR]
0.0002

الملحق (15) : فقدان الأراضي الزراعية المتوقع بالتوسع المساحي الحضري وفقا لمنظور قابلية الأرض على الإنتاج وملامح ملاءمتها على زراعة المحاصيل الاستراتيجية حسب النواحي في قضاء سهل أربيل عام 2029

الناحية	التوسع المساحي الحضري	المساحة بالكم^2		
		سيناريو 1	سيناريو 2	سيناريو 3
كسنزان	مساحة الأرض الحضرية عام 2019	19.84	19.84	19.84
	مساحة الأرض الحضرية عام 2029	38.34	35.21	35.4
	زيادة المساحة الحضرية بين عامي 2019 - 2029	18.5	15.37	15.56
	فقدان الأراضي بمنظور قابلية الأرض على الإنتاج الزراعي	سيناريو 1	سيناريو 2	سيناريو 3
	Class II	0	0.04	0.04
	Class III	0.51	2.05	3.19
	Class IV	6.71	5.97	6.13
	Class V	7.32	4.71	4.36
	Class VI	2.4	1.79	1.64
	انضمام الاستيطان الريفي إلى المساحات الجديدة للأرض الحضرية	1.56	0.81	0.2
	المجموع	38.34	35.21	35.4
	فقدان الأراضي بمنظور ملامح ملاءمة الأرض على زراعة المحاصيل الاستراتيجية	سيناريو 1	سيناريو 2	سيناريو 3
	S1	0	0	0
	S2	2.53	3.01	3.46
	S3	8.11	9.33	10.05
	N1	3	1.63	1.17
	N2	3.3	0.59	0.68
	انضمام الاستيطان الريفي إلى المساحات الجديدة للأرض الحضرية	1.56	0.81	0.2
	المجموع	38.34	35.21	35.4
بنصلاوة	مساحة الأرض الحضرية عام 2019	سيناريو 1	سيناريو 2	سيناريو 3
		7.4	7.4	7.4
	مساحة الأرض الحضرية عام 2029	9.57	11.26	10.7
	زيادة المساحة الحضرية بين عامي 2019 - 2029	2.17	3.86	3.3
	فقدان الأراضي بمنظور قابلية الأرض على الإنتاج الزراعي	سيناريو 1	سيناريو 2	سيناريو 3
	Class II	0	0	0.04
	Class III	0.16	1.72	1.23
	Class IV	0.95	1.9	1.13
	Class V	0.7	0	0.63
	Class VI	0.3	0	0.23
	انضمام الاستيطان الريفي إلى المساحات الجديدة للأرض الحضرية	0.06	0.24	0.04
	المجموع	9.57	11.26	10.7
	فقدان الأراضي بمنظور ملامح ملاءمة الأرض على زراعة المحاصيل الاستراتيجية	سيناريو 1	سيناريو 2	سيناريو 3
	S1	0	0	0
	S2	1.1	1.72	1.59
	S3	1	1.9	1.67
	N1	0	0	0
	N2	0	0	0
	انضمام الاستيطان الريفي إلى المساحات الجديدة للأرض الحضرية	0.06	0.24	0.04
	المجموع	9.57	11.26	10.7

دارةتو	مساحة الأرض الحضرية عام 2019	سيناريو 1	سيناريو 2	سيناريو 3
		10.67	10.67	10.67
	مساحة الأرض الحضرية عام 2029	14.16	15.8	16.55
	زيادة المساحة الحضرية بين عامي 2019 - 2029	3.49	5.13	5.88
	فقدان الأراضي بمنظور قابلية الأرض على الإنتاج الزراعي	سيناريو 1	سيناريو 2	سيناريو 3
	Class II	0	1.7	2.29
	Class III	0.6	3.1	3.38
	Class IV	1.51	0.1	0.08
	Class V	1.11	0.05	0.1
	Class VI	0.17	0	0
	انضمام الاستيطان الريفي إلى المساحات الجديدة للأرض الحضرية	0.1	0.18	0.03
	المجموع	14.16	15.8	16.55
	فقدان الأراضي بمنظور ملامح ملاءمة الأرض على زراعة المحاصيل الاستراتيجية	سيناريو 1	سيناريو 2	سيناريو 3
	S1	1.12	1.7	2.29
	S2	2.11	3.1	3.38
	S3	0.09	0.1	0.08
	N1	0.07	0.05	0.1
	N2	0	0	0
	انضمام الاستيطان الريفي إلى المساحات الجديدة للأرض الحضرية	0.1	0.18	0.03
	المجموع	14.16	15.8	16.55
قوشتبة	مساحة الأرض الحضرية عام 2019	سيناريو 1	سيناريو 2	سيناريو 3
		3.52	3.52	3.52
	مساحة الأرض الحضرية عام 2029	5.85	6.32	6
	زيادة المساحة الحضرية بين عامي 2019 - 2029	2.33	2.8	2.48
	فقدان الأراضي بمنظور قابلية الأرض على الإنتاج الزراعي	سيناريو 1	سيناريو 2	سيناريو 3
	Class II	0	0.12	0.45
	Class III	0.31	0.74	0.82
	Class IV	0.76	0.77	0.56
	Class V	0.54	0.51	0.47
	Class VI	0.13	0.13	0.11
	انضمام الاستيطان الريفي إلى المساحات الجديدة للأرض الحضرية	0.59	0.53	0.07
	المجموع	5.85	6.32	6
	فقدان الأراضي بمنظور ملامح ملاءمة الأرض على زراعة المحاصيل الاستراتيجية	سيناريو 1	سيناريو 2	سيناريو 3
	S1	1.33	1.9	2.07
	S2	0.21	0.24	0.23
	S3	0.2	0.13	0.11
	N1	0	0	0
	N2	0	0	0
	انضمام الاستيطان الريفي إلى المساحات الجديدة للأرض الحضرية	0.59	0.53	0.07
	المجموع	5.85	6.32	6

المصدر: عمل الباحث، اعتمادا على الامتداد GeoSOS في برنامج ArcGIS Desktop 10.6.1 والخرائط (1)، (30)، (48)، (53) و(57).

الملحق (16)


تكامل نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد في النمذجة الخرائطية
لاستعمالات الأرض / قضاء سهل اربيل انموذجا
أطروحة تقدم بها
عمر عبد الله اسماعيل القصاب
جامعة الموصل
كلية التربية للعلوم
الانسانية
الملحق (16)
ملفات فديوية لآلية عمل الأدوات
المطورة في الدراسة

Abstract

Geographical information systems and remote sensing are the two principal elements of geographic technology, which in turn represent the infrastructure of modern geography. In this context, Cartographic modeling is also an advanced field in geographical research, which includes the applications of mathematical analysis and structure on the map, and then the production of spatial documents that are reliable in understanding the phenomenon studied at the geographical and planning levels .

The problem of the study is determined by the scarcity of maps that can be used in the fields of planning and geographical studies. This includes the agricultural reality and urban spatial expansion, as well as the ambiguity of the technique that must be followed by geographers who seek to provide this type of map. Therefore, the objective of this study is to develop a technique that includes the production of different maps related to landuse. These maps will represent spatial documents that can support planning processes. As well as providing geographers with a technical vision that contributes to developing the capabilities of geographical research that deals with the topic of landuse, under the concept of integration between GIS and remote sensing depending on the cartographic modeling perspective. To achieve that, a set of data related to land uses in the Erbil plain district (as a model) have been used.

The main hypothesis of the study includes the possibility of producing different maps of land uses in the Erbil plain district, based on its past, present, and future nature. And also from the ability of the area under study to accommodate different uses, and this will be done using cartographic modeling with the concept of integration between GIS and remote sensing.

To verify the hypothesis, it relied on remote sensing techniques to classify the satellite visuals taken from the Landsat platform from the ETM+ and OLI sensors, after processing them in the ENVI 5.3 Software and interpreting the classes. While it relied on geographic information systems in modeling maps of changing uses with multiple perspectives, with the development of two tools in ArcGIS Desktop 10.6.1, one of them under the name MBU to model the presence of buildings and arid lands. To verify the hypothesis remotely sensed data were used to classify the satellite imagery taken from the ETM+ and OLI Landsat platform sensors, after processing in the ENVI 5.3 Software and also interpreting the output classes .

While it relied on geographic information systems in the modeling of landuse maps with multiple perspectives. To achieve that, two tools in

ArcGIS Desktop 10.6.1, have been developed. The first is called MBU was used to determine the presence of buildings and arid lands. The second is called Change Detection for Spectral Indices was used to determine the change detection model in spectral indices. Several maps were also modeled in IDRISI Selva 17.0 Software to detect landuse changes with multiple perspectives to obtain more detailed geographic features.

The study relied on cartographic modeling to evaluate the land according to its ability to produce, using the classification of the US Department of Agriculture (USDA). This was done by relying on data from various sources, as well as formulating a set of global mathematical equations in ArcGIS Desktop 10.6.1, which led to the production of a map of the productive ability of the land in the Erbil plain district.

After that, the present study used cartographic modeling to evaluate the suitability of the land for the cultivation of strategic crops (wheat, barley, and maize) that are included in the national food security. This was achieved by relying on the FAO classification in assigning appropriate items, according to implicit integrations between geographic information systems, statistics, and spatial decision support systems. Tow tools for evaluating the suitability of the land for the cultivation of wheat, barley, and maize crops have been developed in ArcGIS Desktop 10.6.1. The first tool was called Wheat and Barley Crops Suitability, while the second was called Maize Crop Suitability.

The work continued in the study towards cartographic modeling of the suitability of the land to the urban areal expansion under the agricultural lands sustainability perspective. This is done by selecting a set of variables affecting the expansion according to the spatial specificity that characterizes the Erbil plain district. As well as relying on the productive capacity of the land and its suitability for the cultivation of strategic crops as determinants of expansion. It was based on spatial decision support in setting appropriate weights for variables and determinants. In this context, the study developed a special tool for modeling the suitability of urban space expansion called Urban Spatial Expansion Suitability, which can be used with any spatial space similar to the spatial privacy of the Erbil plain. The study also included the application of cartographic simulation of the future of land uses until 2029, using artificial intelligence according to the mathematical model ANN-CA. The study also included the application of cartographic simulation of the future of land uses until 2029, using artificial intelligence according to the mathematical model ANN-CA. It is the main element in achieving effective integration between geographic information systems and remote sensing in the modeling of a set of maps

that revealed the potential uses of the land in the Erbil plain district, and then prove the hypothesis developed.

The maps modeled with the technique developed by the study revealed several facts that the agricultural land uses in the Erbil plain district ranged between expansion and contraction, affected by the economic and political conditions of the country. In addition, there is a chronic urban expansion that occurred between the studied periods and at high spatial levels. The district is characterized by fertile land with good and medium varieties of land suitability for agricultural production, and an area estimated at more than 50% of the total area of the district. It is also characterized by lands that have great suitability for the cultivation of wheat, barley, and yellow corn. On the other hand, the land of the district is characterized by the settlement of high and moderate varieties in terms of their suitability for urban area expansion, especially when taking into account not to exceed the permissible limit on agricultural lands of good varieties according to the land ability perspective to agricultural production and its suitability for the cultivation of strategic crops.

Meanwhile, it was found that there will be a change in the uses of agricultural land until 2029 in the winter agricultural season. This change will be towards increasing the area of land planted with cereals, with a decrease in the cultivation of land with vegetable crops.

As well as a decrease in the areas planted with cereals and vegetables together in the summer agricultural season. Related to urban areal expansion, there is a spatial increase of urban land in the region estimated at 27 km2 until 2029.

The study presented a set of proposals, the most important of which is the necessity of carrying out irrigation projects and avoiding dependence on sustainable agriculture only, to improve agriculture to the level of large and organized production on the one hand, and the sustainability of agricultural land on the other. As well as directing the urban spatial expansion in the district of the Erbil plain towards its eastern side, despite the cost of expansion from the economic aspects, as the relative height of the ground slopes. As well as, the settlement of lower varieties of the ability of the land to produce and its suitability for the cultivation of strategic crops to prevent the loss of good agricultural land as an irreplaceable national wealth.

Integration of Geographic Information Systems and Remote Sensing in Cartographic Modeling of land Uses, District of the Erbil Plain as a Model

To

The Council of the College of Education for Humanities at the University of Mosul

In Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Doctor of Philosophy in Human Geography and GIS

A Thesis Submitted

By

Omar Abdullah Ismaeel Al-Qassab

Supervised by

Assistant Professor **Assistant Professor**

Dr. Layth Hassan Omar **Dr. Rayan Ghazi Thannoun**

2021 A.D **1442 A.H**

The Republic of Iraq

Ministry of Higher Education and Scientific Research

University of Mosul

College of Education for Humanities

Geography Department

Integration of Geographic Information Systems and Remote Sensing in Cartographic Modeling of land Uses, District of the Erbil Plain as a Model

Omar Abdullah Ismaeel Al-Qassab

Email: omar.a.ismaeel@uomosul.edu.iq

Ph.D. Thesis

Human Geography / GIS

Supervised by

Assistant Professor

Dr. Layth Hassan Omar

Assistant Professor

Dr. Rayan Ghazi Thannoun

2021 A.D **1442 A.H**