



المحاكاة المكانية للتوسع المساحي في مدينة تلغفر باستخدام الذكاء الاصطناعي و نظم المعلومات الجغرافية

محمد عبود اضعيف¹، عمر عبدالله اسماعيل² 

^{1,2} قسم الجغرافيا، كلية التربية للعلوم الانسانية، جامعة الموصل، الموصل، العراق.

الملخص

تشهد المدن توسعاً حضرياً متزايداً على حساب الأراضي الزراعية في الغالب، ورغم صغر مساحة المناطق الحضرية، فقد أدى توسعها لتغييرات كبيرة وخسارة أراضي زراعية خصبة تُعد مورداً وطنياً مهماً. إن النمو السكاني المستمر للمدينة يدفع إلى توسع مساحي حضري، لاسيما في الدول النامية، إذ توقعت الأمم المتحدة تجاوز نسبة سكان المدن 60% بحلول 2030، مع 90% من النمو بالدول النامية. انطلقت مشكلة البحث من تساؤلين رئيسيين مفادهما: ماهي طبيعة التوسع المساحي لمدينة تلغفر ما بين عامي (1997-2023)، وما هي صورة التوسعات المستقبلية حتى عام 2037. يهدف البحث الحالي الى استخدام الذكاء الاصطناعي وفقاً لأنموذج الشبكات العصبية الاصطناعية ANN ضمن برمجية GeoSOS المدمجة مع نظم المعلومات الجغرافية في عملية المحاكاة المكانية المستقبلية لظاهرة التوسع المساحي في مدينة تلغفر من اجل الوقوف على السيناريوهات المستقبلية الممكنة للتوسع المنشود حتى عام 2037. وقد توصل البحث الى مجموعة من الاستنتاجات اهمها أن تصنيف الغطاء الأرضي مكن من التعرف على المساحة الحضرية ونمط توسع المدينة في السنوات السابقة وربط هذا مع السيناريوهات المكانية التي أنتجها أنموذج المحاكاة ANN-CA حول معدل الزيادة المساحية للأرض الحضرية التي قدرت بنحو (22) كم² حتى عام 2037 كما بينت هذه السيناريوهات أن التوسع المساحي للمدينة يتجه نحو أصناف الملاءمة المرتفعة جداً والمرتفعة بعيداً عن أصناف الملاءمة المنخفضة جداً والمنخفضة.

معلومات الارشفة

تاريخ الاستلام: 23- اكتوبر-2024

تاريخ المراجعة: 15- ديسمبر-2024

تاريخ القبول: 03- فبراير-2025

تاريخ النشر الالكتروني: 01- ابريل-2026

الكلمات المفتاحية:


التوسع المساحي،
المحاكاة المكانية،
الذكاء الاصطناعي،
نظم المعلومات الجغرافية،
(AHP) عمليات التحليل الهرمية،
مدينة تلغفر،

المراسلة:

الاسم: محمد عبود اضعيف

Email:
mohammad.22ehp144@student.uomosul.edu.iq

The Spatial Simulation of Urban Expansion in the Tal Afar City Using Artificial Intelligence and GIS

Mohammed Abood Adhaeif ^{1*}, Omar Abdullah Ismaeel ² 

^{1,2} Department of Geography, College of Education for Humanities, University of Mosul, Mosul, Iraq.

Article information

Received: 23- Oct -2024

Revised: 15- Dec -2024

Accepted: 03- Feb -2025

Available online: 01- Apr – 2026

Keywords:

Urban Expansion,
Spatial Simulation,
Artificial Intelligence,
GIS,
Analytic Hierarchy Process
(AHP),
Tal Afar,

Correspondence:

Name: Mohammed Abood
Adhaeif

Email:

mohammad.22ehp144@student.uomosul.edu.iq

ABSTRACT

Cities are rapidly expanding, often at the expense of agricultural land. Although urban areas occupy small spaces, their growth has led to significant changes and loss of a vital, fertile farmland national resource. This expansion is driven by a rising population, particularly in developing countries. The United Nations Organization predicts that by 2030, over 60% of the global population will live in cities, with 90% of this growth occurring in developing nations. This research addresses key questions: What are the future scenarios for urban expansion in Tal Afar, considering the land's capacity? Do these scenarios vary within the city's urban area?. The study utilizes Geographic GIS to simulate future urban expansion in Tal Afar and identify potential scenarios until 2037. This is achieved using artificial intelligence through the Artificial Neural Networks (ANN) model within the GeoSOS software in GIS. The findings indicate that land cover classification helped in identifying urban expansion patterns in previous years. The ANN-CA simulation model projected an estimated urban land increase of about 22 km² by 2037. The scenarios suggest that expansion will primarily occur in highly suitable and suitable areas, avoiding regions with low suitability.

DOI: [10.33899/injes.v26i2.60812](https://doi.org/10.33899/injes.v26i2.60812), ©Authors, 2026, College of Science, University of Mosul.
This is an open-access article under the CC BY 4.0 license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

المقدمة

تزداد ظاهرة التوسع المساحي الحضري للمدن على حساب الأراضي المجاورة يوماً بعد آخر، وعلى الرغم من أن المناطق الحضرية لا تمثل سوى جزء صغير من سطح الأرض، إلا أن توسعها السريع على حساب الأراضي المجاورة قد أدى إلى تغيير كبير في المعالم الطبيعية وخسارة الكثير من الأراضي الخصبة التي لا يمكن تعويضها إطلاقاً؛ وعلى الجانب الآخر، فإن الزيادة السكانية المستمرة شكلت قوة دافعة نحو توسع المدن على حساب الأراضي الزراعية كظاهرة مستمرة في معظم أنحاء 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 وفقاً لتوقعات الأمم المتحدة.

من هنا يأتي الدور الريادي للكفاء الاصطناعي المدمج بنظم المعلومات الجغرافية في التحري عن سياق التوسع المساحي الحضري بين الماضي والحاضر من جانب، والكشف عن قدرة الأرض الحالية على استيعاب وترشيد التوسع المساحي الحضري وفقاً للمعايير التخطيطية والوقوف عن ملامح مستقبل التوسع المساحي الحضري من جانب آخر، ومن ثم تقديم وثائق مكانية يمكن ان تدعم عمليات التخطيط والتنمية.

انطلقت مشكلة البحث من التساؤلات التالية: (1) ماهي طبيعة التوسع المساحي لمدينة تلغفر ما بين عامي (1997-2023) وما هي اسباب ذلك التوسع او مبرراته؟ (2) ما هو المشهد الحالي لملاءمة الارض في مدينة تلغفر

على استيعاب التوسع المساحي الحضري بدلالة حجم السكان وفقاً للمعايير التخطيطية ذات الطابع المكاني؟ (3) ماهي سيناريوهات التوسع المساحي المستقبلي لمدينة تلعفر إذا ما أخذ أو لم يؤخذ بالحسبان ملائمة الأرض على استيعاب التوسع المنشود؟.

وفي ضوء مشكلة البحث صيغة الفرضية الرئيسة على النحو الآتي: ان للمحاكاة المكانية دوراً مهماً في توجيه سيناريوهات التوسع المساحي لمدينة تلعفر حتى عام 2037، وبذلك تضمنت الفرضية الرئيسة مجموعة من الفرضيات الفرعية على النحو الآتي: - (1) هناك توسع مساحي بمستويات قافزة في مدينة تلعفر نتيجة للزيادة المطردة في عدد السكان ما بين الأعوام (1997-2009-2023)؛ (2) يأخذ المشهد الحالي لملاءمة الأرض على التوسع المساحي في مدينة تلعفر مستويات مختلفة متأثرة بمجموعة من المحددات المستتبطة من الخصوصية المكانية للمدينة؛ (3) تتباين سيناريوهات التوسع المساحي المستقبلي في حال الأخذ ام عدم الأخذ بملاءمة الأرض على استيعاب ذلك التوسع.

واستناداً الى مشكلة البحث والفرضية تمت صياغة اهداف البحث على النحو الآتي:

(1) التحري عن طبيعة التوسع المساحي لمدينة تلعفر بدلالة حجم السكان اعتماداً على المرئيات الفضائية التي يوفرها الاستشعار عن بعد والمؤشرات المكانية لاتجاهات التوسع باستخدام نظم المعلومات الجغرافية؛ (2) الكشف عن مشهد الملاءمة الحالية للأرض في مدينة تلعفر على استيعاب التوسع المساحي اعتماداً على تكامل نظم المعلومات الجغرافية ونظم دعم القرار المكاني؛ (3) الوقوف على السيناريوهات المستقبلية للتوسع المساحي في مدينة تلعفر اعتماداً على تكامل نظم المعلومات الجغرافية وتقنيات الذكاء الاصطناعي.

بني البحث على المنهج التجريبي الذي يبدأ بحدس مفاهيمي تصار ترجمته لاحقاً على نحو مؤشرات كمية مختلفة من اجل الاجابة عن التساؤل والبيت في الموضوع المراد دراسته.

منطقة الدراسة

تقع مدينة تلعفر في شمال غربي العراق، وهي تابعة لمحافظة نينوى. تُعد تلعفر واحدة من المدن الكبرى في المحافظة وتقع على بعد حوالي 60 كم غرب مدينة الموصل. تتميز المدينة بموقعها الجغرافي الاستراتيجي لقرتها من الحدود مع سوريا وتركيا، مما جعلها منطقة ذات أهمية تاريخية وجيوسياسية. تقع المدينة عند تقاطع خطي عرض (36° 18' - 36° 23' شمالاً) وخطي الطول (42° 22' - 42° 28' شرقاً).

انحصرت الحدود الزمانية للشروع في المحاكاة المستقبلية لمستقبل التوسع المساحي لمدينة تلعفر من عام 1997، مروراً بعام 2009، نحو عام 2023، فضلاً عن التنبؤ بمستقبل ذلك التوسع حتى عام 2037 (الشكل 1).

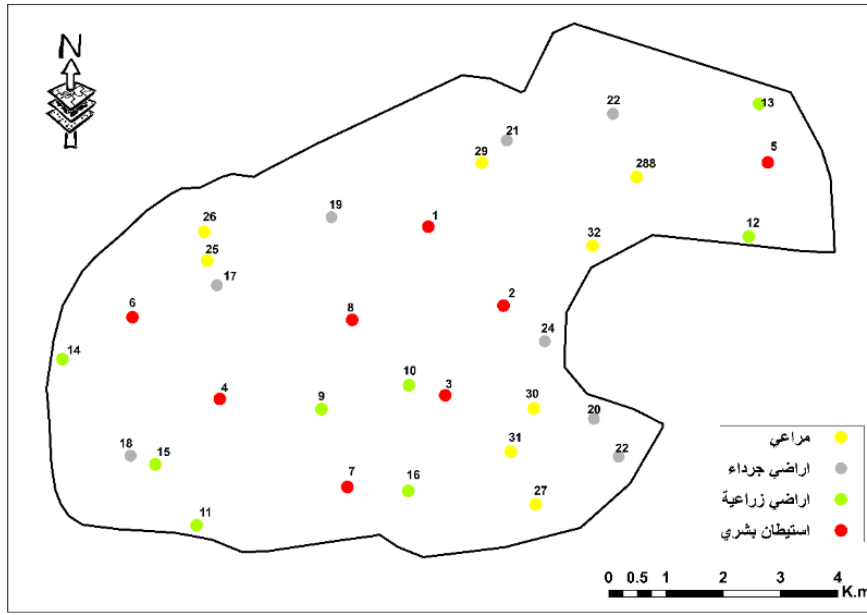
مصادر البيانات

تم استخدام مجموعة من البيانات المتنوعة المصادر، من اجل استنتاج 11 عاملاً مؤثراً على التوسع المساحي الحضري في مدينة تلعفر، الا وهي القرب من الجامعة، القرب من طرق النقل الرئيسة، البعد عن مواقع الطمر الصحي، البعد عن خطوط الطاقة ذات الضغط العالي، البعد عن المواقع العسكرية والمطارات، البعد عن الاراضي ذات الانحدار الشديد، البعد عن المجاري المائية، البعد عن الاراضي الزراعية ذات الجودة العالية، القرب من المنطقة الحضرية الحالية، البعد عن المقابر و البعد عن المواقع الصناعية، فضلاً عن استخدام بيانات السكان لثلاث مدد زمنية من اجل الوقوف على القوة الدافعة للتوسع المساحي في مدينة تلعفر (الجدول 1).

ETM+ و Landsat 8 OLI للأعوام 1997، 2009 و 2023، إذ تمثل جميع المرئيات فصل الربيع ليسهل تمييز المنطقة المبنية على المناطق المغطاة بالنبات من تمييز الغطاء الأرضي.

الزيارة الميدانية وعينات التدريب

تم الشروع بالزيارة الميدانية إلى منطقة الدراسة لتجميع المادة العلمية، وتنفق بعض مناطق تركيز الغطاءات الأرضية منها الأراضي الزراعية والمراعي والمستقرات البشرية والأراضي الجرداء، وقد تم الاعتماد على الزيارة الميدانية لمنطقة الدراسة في رصد مواقع عينات التدريب Training Sites، إذ تم أخذ ثماني عينات لكل صنف من أصناف الغطاء الأرضي للحصول على دقة عالية في التصنيف، مع مراعاة أخذ أكبر عدد من عينات التدريب لكل صنف من أصناف الغطاء الأرضي لضمان زيادة دقة التصنيف؛ هذا بالنسبة لمرئية 2023، أما مرئيات 1997 و 2009، فقد تم الاعتماد على التصنيف البصري وليس على عينات التدريب في تصنيف الغطاء الأرضي، وكانت الزيارة الميدانية بتاريخ 10/6/2024 التي تم فيها أخذ عينات التدريب (الخريطة 1 والشكل 2).



الشكل 2. مواقع عينات التدريب المأخوذة عن الزيارات الميدانية لسنة 2023 من مدينة تلعفر.

المنهجية

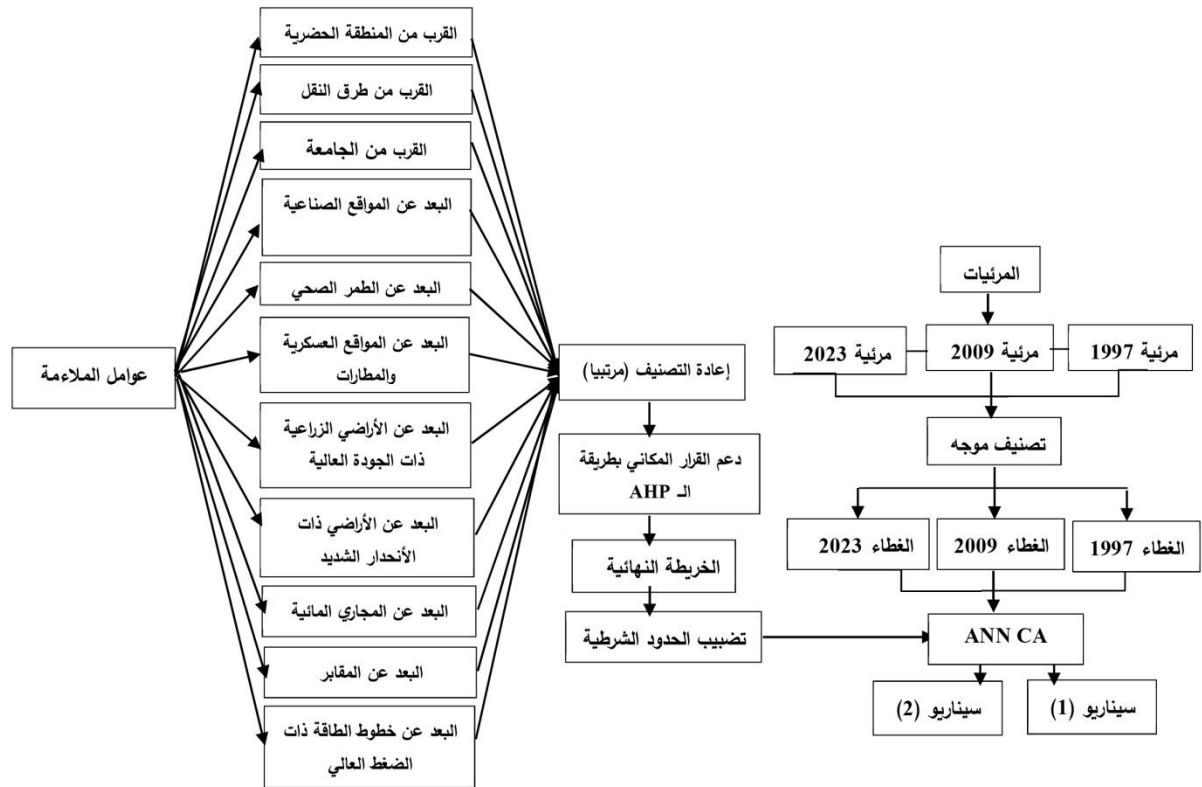
اعتمد هذا البحث سلسلة من الإجراءات المتتابعة التي جرى بناؤها بطريقة تسمح بفهم التوسع الحضري في مدينة تلعفر وتتبع مساره عبر الزمن ثم استشراف شكله المستقبلي. وقد بدأت خطوات العمل من أكثر مصادر البيانات موثوقة، وهي المرئيات الفضائية من القمر الاصطناعي Landsat، إذ اختيرت لسنوات تمثل نقاطاً فاصلة في تطور المدينة (1997، 2009، 2023). وبعد تحميل تلك المرئيات، أُخضعت لمجموعة من المعالجات الضرورية كالتصحيح الإشعاعي والجوي، وإصلاح الفجوات في مرئيات Landsat-7، ثم اقتطاع حدود منطقة الدراسة بما يضمن أن تتحصر جميع التحليلات اللاحقة داخل الإطار المكاني للمدينة. ثم جرى العمل على تصنيف الغطاء الأرضي باستخدام طريقة التصنيف الموجّه المعتمدة على الشبكات العصبية الاصطناعية في برمجية ENVI. وبعد الحصول على خرائط الغطاء الأرضي المتعددة، اختُبرت دقتها عبر مصفوفة الخطأ ومعامل كابا، لضمان أن التوسع الحضري المستخرج لاحقاً يمثل الواقع إلى حد يسمح بالاعتماد عليه.

فضلا عن ذلك، جرى بناء منظومة العوامل المؤثرة في التوسع المساحي، وهي مجموعة من المعايير المكانية التي ترتبط مباشرة بسلوك المدينة واتجاهات نموها. وقد شملت هذه العوامل ما يمكن عده عناصر جذب للتوسع، مثل القرب من الطرق الرئيسية أو من الكتلة الحضرية، فضلا عن عناصر طرد مثل مواقع الأنشطة الصناعية أو الأراضي شديدة الانحدار، ذلك بعد تجهيز كل عامل بصيغة Raster الذي أُعيد تقييسه بدرجات مرتبة تسمح بمقارنته بالعوامل الأخرى على أساس واحد.

ولأن وزن كل عامل لا يُفترض مسبقاً، جرى الرجوع إلى طريقة التحليل الهرمي (AHP) التي تتيح تقدير الأهمية النسبية لكل معيار بصورة منطقية تستند إلى المقارنات الزوجية، وقد أمكن من خلالها الوصول إلى أوزان متوازنة تعكس تأثير كل عامل في عملية اتخاذ القرار. ثم نُمجت العوامل داخل بيئة ArcGIS desktop 10.8 للحصول على خريطة شاملة تبين درجات ملائمة الأرض للتوسع الحضري في صورته الراهنة.

الخطوة التي تلت ذلك كانت ضرورية لربط نموذج الملاءمة بعمليات المحاكاة، وتمثلت في تحويل القيم العددية إلى قيم ضبابية عبر دالة Fuzzy Large، بحيث تصبح الطبقات جاهزة للاستخدام كقيود شرطية في نموذج المحاكاة. وبهذه الخطوة صار بالإمكان الانتقال إلى الجزء الأكثر حساسية في المنهجية الا وهو التنبؤ بالمستقبل.

وقد استُخدم لهذا الغرض نموذج ANN-CA المتوافر ضمن امتداد GeoSOS، وهو نموذج يجمع بين الشبكات العصبية والأتمتة الخلوية، ويُعد من أكثر الأدوات قدرة على النقاط أنماط واتجاهات التوسع الحضري وإعادة إنتاجها مستقبلاً. أُدخلت خرائط التوسع الماضية إلى النموذج، ودرُبت الشبكة على اكتشاف السلوك المكاني للمدينة، ثم شُغل النموذج طبقاً لسيناريوهين: أحدهما يعكس استمرار التوسع التقليدي كما ظهر تاريخياً، والآخر يأخذ بعين الاعتبار ملاءمة الأرض، وفي نهاية المطاف أُنتجت خرائط تنبؤية تمتد حتى عام 2037 التي يمكن الاعتماد عليها في تحليل اتجاهات النمو المحتملة وصياغة رؤى تخطيطية واقعية (الشكل 3).



الشكل 3. المنهجية

المعالجات الأولية

قبل الشروع في تصنيف المرئيات ذات التواريخ المذكورة اعلاه تم إجراء معالجات منهجية على تلك المرئيات ابتداء من ملء الفجوات، فقد أدى العطل في مصحح خط المسح الضوئي (SLC) Scan Line Corrector في المستشعر Landsat 7 (ETM+) في 31 مايو 2003 الى ظهور ثغرات دائمة في كل صور القمر الاصطناعي وفي كل مشهد من مشاهد Landsat 7، فكانت وظيفة SLC هي التعويض عن الحركة الأمامية للقمر الصناعي أثناء الحصول على البيانات وأدى هذا الى ظهور فجوات في المرئيات تتراوح من وحدة صورية Pixel قرب مركز المرئية إلى 14 وحدة صورية على طول الحواف الشرقية والغربية لكل مشهد تم الحصول عليه، بالتالي ظهور تشوهات تظهر على شكل خطوط تمتد من يسار الصورة إلى يمينها (Abtan, 2022). وفي هذه الدراسة تم الاعتماد من اجل تصحيح الخطأ وملء الفجوات في المرئيات التابعة لسنة 2009 على الامتداد Gap Fill Extension التابع لبرمجية ENVI 5.3 في عملية التصحيح، اذ تتم عملية التصحيح على اساس الحزمة الواحدة وتتكرر على جميع الحزم عن طريق استخراج قيمة الصف الممسوح الموازي للفجوة Gap من الجهة العليا مع قيمة الصف الممسوح الموازي للفجوة من الجهة السفلى، ثم يستخرج الوسط الحسابي للصفين إلى أن تمتلئ الفجوة (Al-Qassab, 2021). أما التصحيح الجوي الذي يتضمن إعادة ترتيب جميع الوحدات الرقمية في المرئية بحيث تصبح جميع العلاقات خطية فيما بينها وبين الإشعاعية والانعكاسية لجميع وحدات الصور الرقمية (Zhu and Xia., 2023). تأتي بعد ذلك مرحلة المعايرة الإشعاعية التي تهدف إلى تقويم المرئيات الفضائية وإعادة تصحيحها لتحسين الفروقات الانعكاسية في المعالم الأرضية، بالتالي امكانية تمييز أفضل للظواهر خصوصاً بعد تحويل القيم الرقمية DN للخلايا على اساس احتساب موقع الشمس في سمت السماء، فهذه المهمة ضرورية عند التعامل مع الصور المتعددة الأزمنة (Li and Feng, 2014).

ثم جاءت مرحلة التصحيح الفلاشي Flash Correction بعد عملية المعايرة الإشعاعية، ويتمثل التصحيح الفلاشي بإدخال حزم المرئية الفضائية بعد إعادة دمجها مرة أخرى، في هذه المرحلة تطلب الأمر إدخال معلومات اضافية فضلاً عن تاريخ التقاط المرئية الفضائية ونوع المستشعر، كوقت الالتقاط بالساعة والدقيقة والثانية، وإحداثيات مركز المشهد، وأعلى ارتفاع لسطح الأرض في المنطقة الذي تم الحصول عليه من الأنموذج الرقمي للارتفاعات DEM لمنطقة الدراسة بدقة مكانية 30 متراً، ليصار بعد ذلك إلى تصفية المرئيات الفضائية من تأثير الغلاف الجوي تماماً. وأخيراً تم اقتطاع حدود منطقة الدراسة Subset لحصر المعالجات اللاحقة وعملية التصنيف داخل الحدود الإدارية للمنطقة وصولاً إلى نماذج خرائطية متعددة الأزمنة للغطاء الأرضي (Al-Qassab, 2021).

أما دمج الحزم فالهدف من دمج الحزم بتقنية خلط الالوان RGB هو تحويل المرئية من اللون الرمادي إلى مرئية ملونة عن طريق اضافة اللون الأحمر والأخضر والأزرق لإنتاج مرئية ملونة بالألوان الكاذبة الغرض الرئيسي من نموذج ألوان RGB هو استشعار الصورة وعرضها على الأنظمة الإلكترونية يؤدي إلى زيادة وضوح المرئية للمساعدة في عمليات التفسير البصري (Jensen, 2016).

مرحلة التصنيف

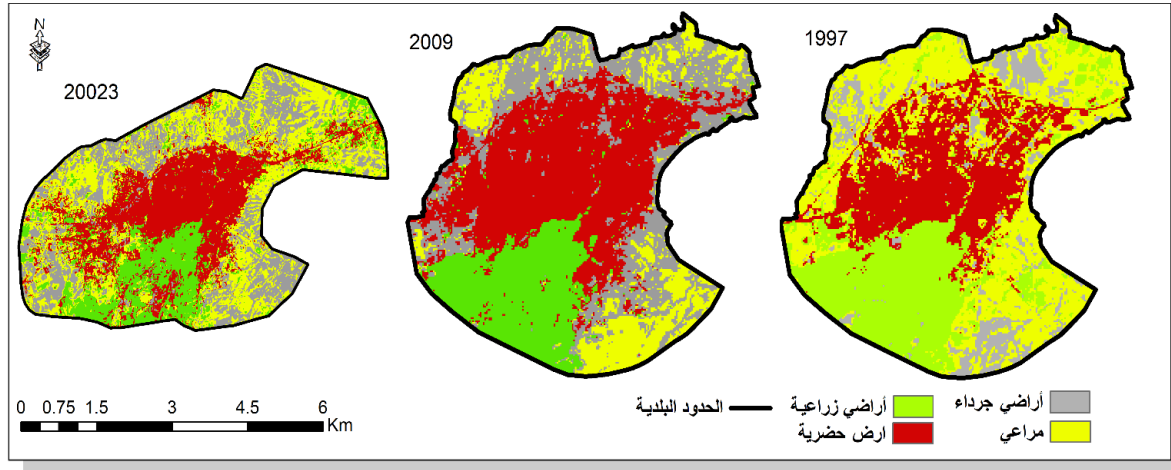
التصنيف الموجه Supervised Classification هو عملية تصنيف تبني على معلومات عن الخصائص الطيفية لغطاءات الأرض في المنطقة المصورة، إذ يبدأ المحلل بعرض المرئية ويحدد عليها مناطق مختارة لكل صنف من اصناف غطاء الأرض في المنطقة المعنية. والتصنيف الموجه يكون أكثر دقة في رسم الخرائط ومعرفة الغطاء الأرضي ويعتمد على مهارات وإدراك محلل الصور في تحديد عينات البحث ومواقع التدريب (Perumal and Bhaskaran, 2010)، وقد وقع الاختيار على طريقة التصنيف الموجه الخاصة بالشبكات العصبية الاصطناعية لكونها أحدث طرائق التصنيف وأكثرها جودة على الصعيد التقني (Qiang and Lam, 2015)، فالشبكات العصبية الاصطناعية Artificial

Neural Networks (ANN) هي أنظمة حسابية مستوحاة من الشبكات العصبية البيولوجية للإنسان إذ ترتبط مجموعة من معاملات الإدخال بمخرج تم تعيينه بواسطة تحويل مشفر في أوزان الشبكة. في هذا الصدد، يمكن استخدامها كدالة لاستقبال بيانات الإدخال من صور الأقمار الصناعية كمعاملات الإدخال الخاصة وتصنيف الغطاء الأرضي (Mokhtarzade and Zoej, 2007)، ويمكن التعبير عن الشبكات العصبية الاصطناعية رياضياً من خلال المعادلة الآتية (Shrestha and Mahmood, 2019):

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

إذ ان: (x_j) إشارات الادخال، و (w_j) تمثل أوزان المشابك العصبية، وتمثل (b) قيمة الانحياز، ويقصد ب (φ) وظيفة التنشيط، وتشير (y) الى إشارة الإخراج.

تم تصنيف الغطاء الأرضي لمدينة تلعفر في برمجية ENVI 5.3 باستخدام الشبكات العصبية الاصطناعية في تحديد أصناف الغطاء الأرضي في مدينة تلعفر بعد ما اخذت عينات التدريب من الزيارة الميدانية للمنطقة (الخريطة 2).



الشكل 4. اصناف الغطاء الارضي في مدينة تلعفر للأعوام 1997، 2009، 2023.

تقييم دقة التصنيف

تجرى عملية تقييم الدقة باستخدام مصفوفة الخطأ Error Matrix وهي مصفوفة مربعة مكونة من عدد متساوٍ من الأعمدة والصفوف التي تمثل عدد الأصناف أو الغطاءات الأرضية، إذ تمثل الأعمدة البيانات المرجعية (Data Reference) للعينات أو الأصناف، وتمثل الصفوف بيانات الخريطة (المرئية المصنفة المطلوب تقييمها) لهذه العينات أو الأصناف، وتعد مصفوفة الخطأ من الطرائق الإحصائية الأكثر شيوعاً (Al-Qassab, 2021)، إذ كانت نتائج التصنيف لخرائط الغطاء الأرضي التي تعود لعام 1997 ذات دقة عالية على الصعيد الكلي والجزئي، فقد شملت عينات التدريب 937 وحدة صورية، صنف منها 875 وحدة صورية تصنيف صحيحاً، وبذلك بلغت الدقة الكلية 93.38% فضلاً عن معامل كبا الذي سجل قيمة بلغت 0.90. أما على الصعيد الجزئي، فقد حصل صنف الأراضي الزراعية دقة كاملة 100%، يمكن عزو دقة تصنيف الأراضي الزراعية الكاملة إلى أن اختيار تاريخ النقاط المرئية جاء في مدة نضوج المحاصيل الزراعية، أما صنف الاستيطان البشري فقد حصل على دقة بلغت 98.20%، أما صنف الأراضي الجرداء فقد حصل على دقة منتج 78.48%، أما صنف المراعي فقد بلغت دقة التصنيف المنتج 96.76%، أما تقييم دقة التصنيف للغطاء الأرضي لعام 2009 فقد شملت عينات التدريب التابعة 1709 وحدة صورية لعام 2009 صنف منها 1676 تصنيفاً صحيحاً فكانت الدقة الكلية 98.06% ومعامل كبا 0.96، وقد تراوحت دقة المنتج ودقة المستخدم ما بين 100% التي سجلته صنف أراضي الاستيطان البشري، وبين 99.60% الذي سجلته الأراضي الزراعية، أما صنف الأراضي

الجرءاء فقد بلغت دقة المنتج لهذا الصنف 99.30%، وصنف المراعي وصلت دقة المنتج فيه الى 72.18 نتيجة الالتباس الذي حصل بين الوحدات الطيفية لهذا الصنف وصنف الأراضي الجرداء. بالنسبة لعام 2023، فقد سجل دقة تصنيف مقارنة للدقة التي سجلت في عام 2009، فقد احتوت عينات التدريب على 1048 وحدة صورية، صنف منها 1045 وحدة صورية تصنيفاً صحيحاً، فكانت الدقة الكلية للتصنيف 99.71% ومعامل كبا 0.99، وقد حصلت الأراضي الحضرية والأراضي الزراعية والمراعي على دقة مستخدم كاملة 100%، أما الأراضي الجرداء فقد حصلت على دقة مستخدم 97.20% نتيجة ذهاب وحدتين صورييتين إلى صنف المراعي بسبب الالتباس بين الوحدات الطيفية.

ملاءمة الارض على التوسع المساحي الحضري في مدينة تلعفر

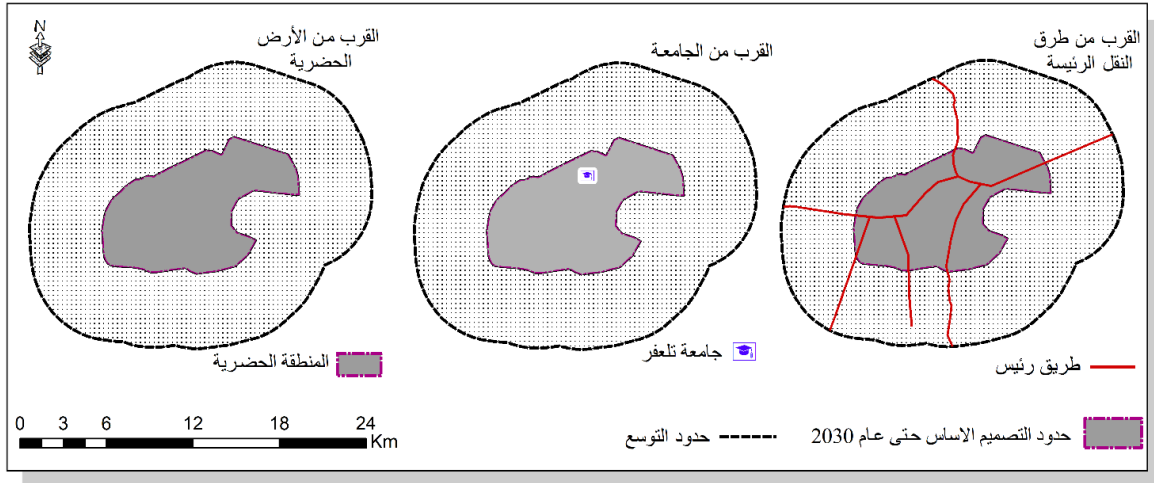
في الكثير من الحالات يتم اختيار مناطق توسع المدن دون إتباع منهج علمي تجريبي يأخذ بعين الاعتبار الملاءمة المكانية للتوسع الحضري وقد يؤخذ ذلك بالحسبان في مخططات التصميم الأساس للمدينة. الا ان المشكلة تكمن في التلکؤ في تنفيذ تلك التصاميم، الأمر الذي أوجد فجوة شاسعة بين النظرية والتطبيق، وهذا ما أدى إلى استنزاف مساحات كبيرة من الأراضي الزراعية نتيجة تجاوز الاستعمالات الحضرية عليها. تعمل النمذجة المكانية على زيادة إمكانية اختيار المواقع الأكثر ملاءمة للتوسع الحضري (النمذجة الارشادية) وذلك من خلال دراسة العوامل المؤثرة في التوسع الحضري (النمذجة الوصفية)، وهنا يأتي دور النمذجة المكانية في اختيار أفضل مناطق ملائمة للتوسع المساحي الحضري في المدة المستقبلية، وذلك عن طريق تحديد العوامل المؤثرة في التوسع الحضري وبيان تأثير هذه العوامل مكانياً من خلال نظم المعلومات الجغرافية المدمجة مع عمليات التحليل الهرمية (Analytic Hierarchy Process, AHP).

تهيئة عوامل الملاءمة المكانية للتوسع المساحي لمدينة تلعفر

تم الاعتماد على جملة من العوامل التي لها علاقة بخصوصية الحيز المكاني لمدينة تلعفر، إذ يمكن تقسيمها الى عوامل جذب وعوامل طرد، وتتمثل عوامل الجذب في (القرب من المنطقة الحضرية، والقرب من الطرق النقل الرئيسية، والقرب من الجامعة).

1- عوامل الجذب نحو التوسع المساحي الحضري

يعمل عامل القرب من المنطقة الحضرية على تحقيق الترابط والتجانس مع مناطق التوسع المستقبلي، إذ يعمل على تقليل التكلفة الاقتصادية في إنشاء خدمات البنى التحتية الأساسية من مد شبكات الطرق والمياه والكهرباء، كما يوفر سهولة الوصول (الوقت-المسافة) إلى أغلب الفعاليات الموجودة داخل مراكز المدن، وكذلك التجانس والترابط الحضري بين الكتلة العمرانية الحالية ومناطق التوسع المستقبلية. وقد تمت نمذجة العامل المعني بتحليل المسافة الاقليدية عن الكتلة العمرانية للمدينة (Steurer and Bayr, 2020)، اما عامل القرب من الطرق الرئيسية، فله دور إيجابي في سهولة الوصول ومن ثم جذب المستقرات البشرية، إذ لا يمكن للمدينة أن تتطور وتنمو وتتفاعل مع بعضها البعض من دون شبكة الشوارع ويصبح من الصعب بالنسبة لاستعمالات الأرض الأخرى أن تؤدي وظائفها داخل المدينة. إن العلاقة بين شبكات الطرق وبين التجمعات الحضرية علاقة تكاملية، إذ إن التلاحم بين السكان والطرق على أعلى درجاته داخل التجمع نفسه، وتسهم الطرق في النمو العمراني من خلال امتدادها في المناطق غير المأهولة، لذلك تمت نمذجة هذا العامل بتحليل المسافة الاقليدية عن الشوارع الرئيسية (Aburas et al., 2016). تعد الجامعة من مراكز الخدمات المهمة للمدينة وتأخذ مكانة حيوية مهمة لما لها من تأثير مباشر على توسع المدينة، إذ تعمل على جذب السكان نحوها سواء من العاملين فيها أو الطلاب، ولها أيضاً دور كبير في جذب الخدمات العامة، منها الخدمات التجارية وتحفيز النمو الاقتصادي في المناطق المحيطة بها وجذب الاستثمار حولها، لذا فإن عامل القرب من الجامعة يُعد جانباً نتيجة للرغبة الكبيرة عند السكان في التوسع الحضري نحو هذا الاتجاه وقد تمت نمذجة العامل المعني بتحليل المسافة الاقليدية عن الجامعة (Verburg et al., 2004)



الشكل 5. عوامل الجذب نحو التوسع المساحي الحضري في مدينة تلغفر.

2- عوامل الطرد نحو التوسع المساحي الحضري

أما عوامل الطرد فتتمثل بـ (البعد عن الصناعات الملوثة والمناطق الصناعية، والبعد عن الطمر الصحي والبعد عن المواقع العسكرية والمطارات والبعد عن خطوط الطاقة ذات الضغط العالي والبعد عن الأراضي ذات الانحدارات الشديدة والبعد عن الأراضي الزراعية والبعد عن المجاري المائية والبعد عن المقابر). تؤثر المنشآت الصناعية ضمن المدينة على جودة الحياة الحضرية وذلك من خلال ما تسببه من ملوثات وفي الوقت نفسه عدم رغبة السكان في مجاورتها لتأثيرها البيئي والنفسي والصحي، كذلك يتطلب أيضا ترك مساحات واسعة بينها وبين المناطق السكنية كمحرمات وبذلك تصبح من أكبر معوقات التوسع المساحي، لذلك تمت نمذجة هذا العامل بتحليل المسافة الاقليدية عن المواقع الصناعية (Ahmed and Mahdi, 2019) تعد مواقع الطمر الصحي مصدراً من مصادر التلوث البيئي، إذ تساهم بشكل كبير في تلوث عناصر البيئة من تربة وماء وهواء، كما تعمل على تشويه المنظر الجمالي للمحيط الذي يعيش فيه أفراد المجتمع وتأثيرها على الصحة والسلامة العامة عن طريق انتشار الأمراض والأوبئة. ويشترط المختصون بأن لا يقل موقع الطمر الصحي عن 1500م من حدود أقرب نقطة سكنية، فهي قد تسبب تلوثاً وأمراضاً بسبب النفايات السامة وتسربها إلى التربة والمياه الجوفية، لذلك يُفضل إبعادها عن المناطق السكنية لضمان بيئة آمنة، وقد تمت نمذجة العامل المعني بتحليل المسافة الاقليدية عن الطمر الصحي (Aziz, 2021). أما عامل البعد عن المواقع العسكرية والمطارات فإنه عادة ما يأخذ مخطوط الحضر بنظر الاعتبار المسافات المناسبة عند توجيه التوسع العمراني للمدن بعيداً عن المناطق المجاورة للمواقع العسكرية والمطارات لضمان سلامة وأمن قاطني المدينة وكذلك الضوضاء الناتجة عن حركة الطائرات في الإقلاع والهبوط، فضلاً عن القيود التنظيمية التي تفرض من قبل السلطات في المواقع المحيطة بالمعسكرات والمطارات، لذلك تمت نمذجة هذا العامل بتحليل المسافة الاقليدية عن المواقع العسكرية والمطارات (Malczewski, 2004). فيما يخص عامل البعد عن خطوط الطاقة ذات الضغط العالي فقد وجدت بعض الدراسات أن خطوط نقل الطاقة الكهربائية ذات الضغط العالي هي بالغة الخطورة من حيث ما تحمله من فولتيات عالية ومن ثم ما تصدره من موجات كهرومغناطيسية ومالها من تأثير على التركيبة البيولوجية للإنسان بسبب قربها من أماكن السكن ونتيجة التلوث الإشعاعي الصادر عن هذه الخطوط والتي تسبب الأمراض، أما حدود الأمان من تلك الخطوط فيبلغ 5500 متراً. وقد تمت نمذجة العامل المعني بتحليل المسافة الاقليدية عن خطوط الطاقة ذات الضغط العالي (Mathloom, 2016). يعبر الانحدار Slope عن الخطوط أو السمات الخطية التي تمثل مناطق الضعف أو الإزاحة الهيكلية في قشرة الأرض وبذلك تعد عاملاً حاسماً في استقرار المناطق المتوطنة فيها، كما يعد عامل الانحدار مهماً عند اختيار مناطق التوسع المساحي، فالمناطق ذات الانحدار الشديد لا يمكن التوسع نحوها إلا بإجراء عمليات التسوية عليها، والبعض الآخر تكون عملية البناء فيها مستحيلة (Ayalew and

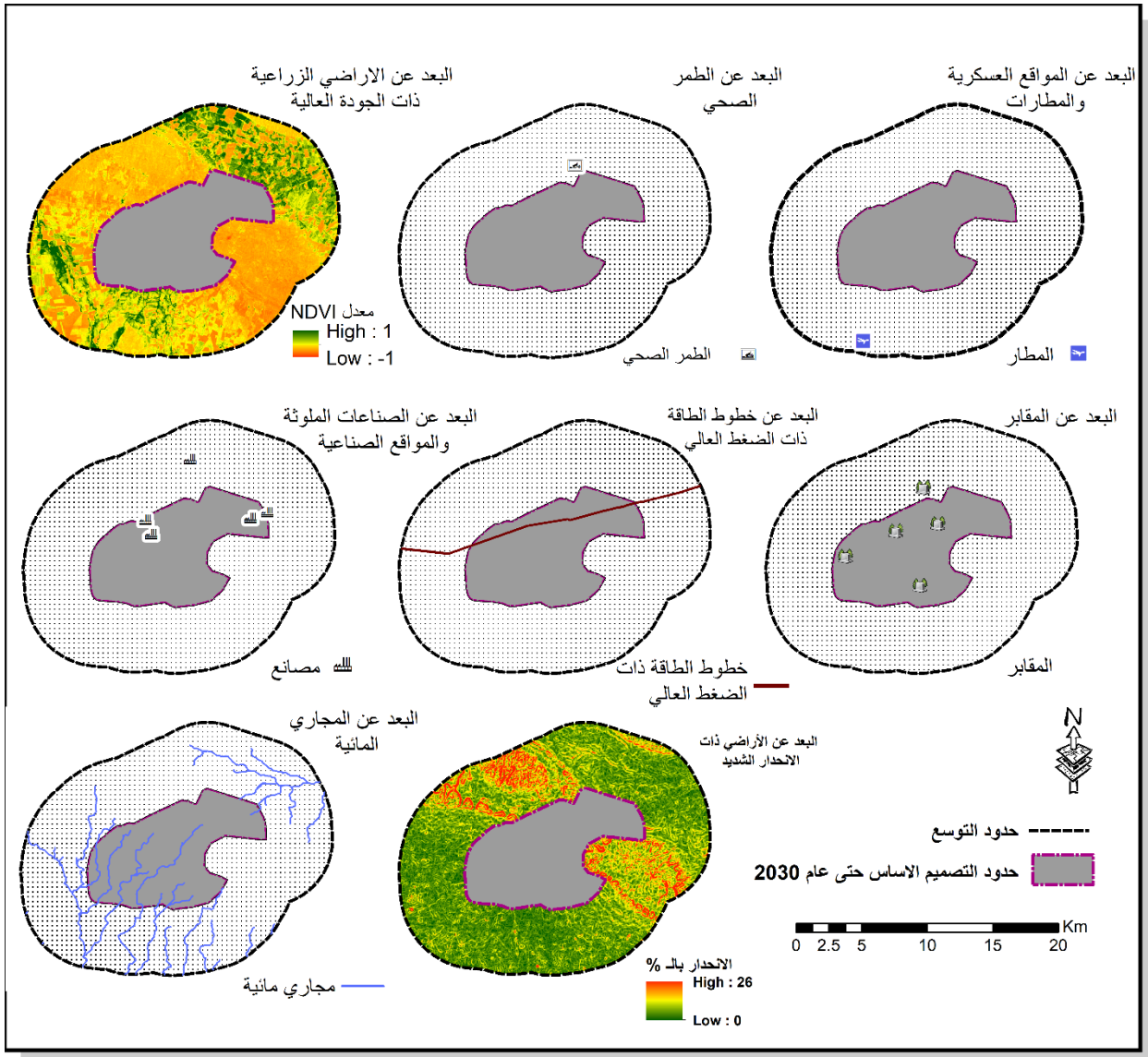
(Yamagishi, 2005)، إلا أن المناطق التي لا تزيد درجة انحدارها عن 15° هي المناطق الملائمة للاستعمال السكني والبناء فيها، فالمناطق ذات الانحدار القليل هي المناطق الملائمة للتوسع المساحي، لأنها تتخفف فيها التكلفة الاقتصادية للبناء ولا تحتاج الى عمليات تسوية للأرض. أما المناطق التي تعد غير صالحة للاستعمال العمراني فهي التي تزيد درجة انحدارها عن 22° وهي المناطق التي تقع على حوافي المناطق المرتفعة وقد تمت نمذجة عامل الانحدار باشتقاق المنحدرات الارضية من نموذج الارتفاعات الرقمية DEM بدقة مكانية 30 م (Youssef et al., 2011).

التحضر ظاهرة لا مفر منها، وان تحول الأراضي الزراعية -غالبا- إلى أراضٍ حضرية في نهاية المطاف قد يؤثر سلبًا على الإنتاج الزراعي. بشكل عام، يؤدي ارتفاع معدل التوسع الحضري إلى زيادة فقدان الأراضي الزراعية، لذلك لابد من اتخاذ تدابير للمحافظة على الأراضي الزراعية، وهي إدخال تحسينات على التخطيط الحضري الذي يمكن أن يوازن ما بين الطلب على الأراضي في المناطق الحضرية وتقلص الأراضي الزراعية. إن الحفاظ على الأراضي الزراعية يأخذ الأولوية في توجيه التوسع المساحي في مدينة تلغفر من أجل استدامة الموارد الطبيعية، لا سيما الأراضي الخصبة الواقعة في محيط المدينة والتي من الممكن أن تزودها بالمحاصيل الزراعية اعتمادا على المرثبات الفضائية للقمر الاصطناعي Landsat7 (+ETM) و Landsat8 (OLI)، إذ يتم احتساب الـ NDVI كما في المعادلة الآتية: (Al-Janqli and Ismaeel, 2025)

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

إذ أن: $NDVI$ = مؤشر الغطاء النباتي المطبق ؛ NIR = النطاق الطيفي للأشعة تحت الحمراء القريبة ؛ RED = النطاق الطيفي للأشعة الحمراء .

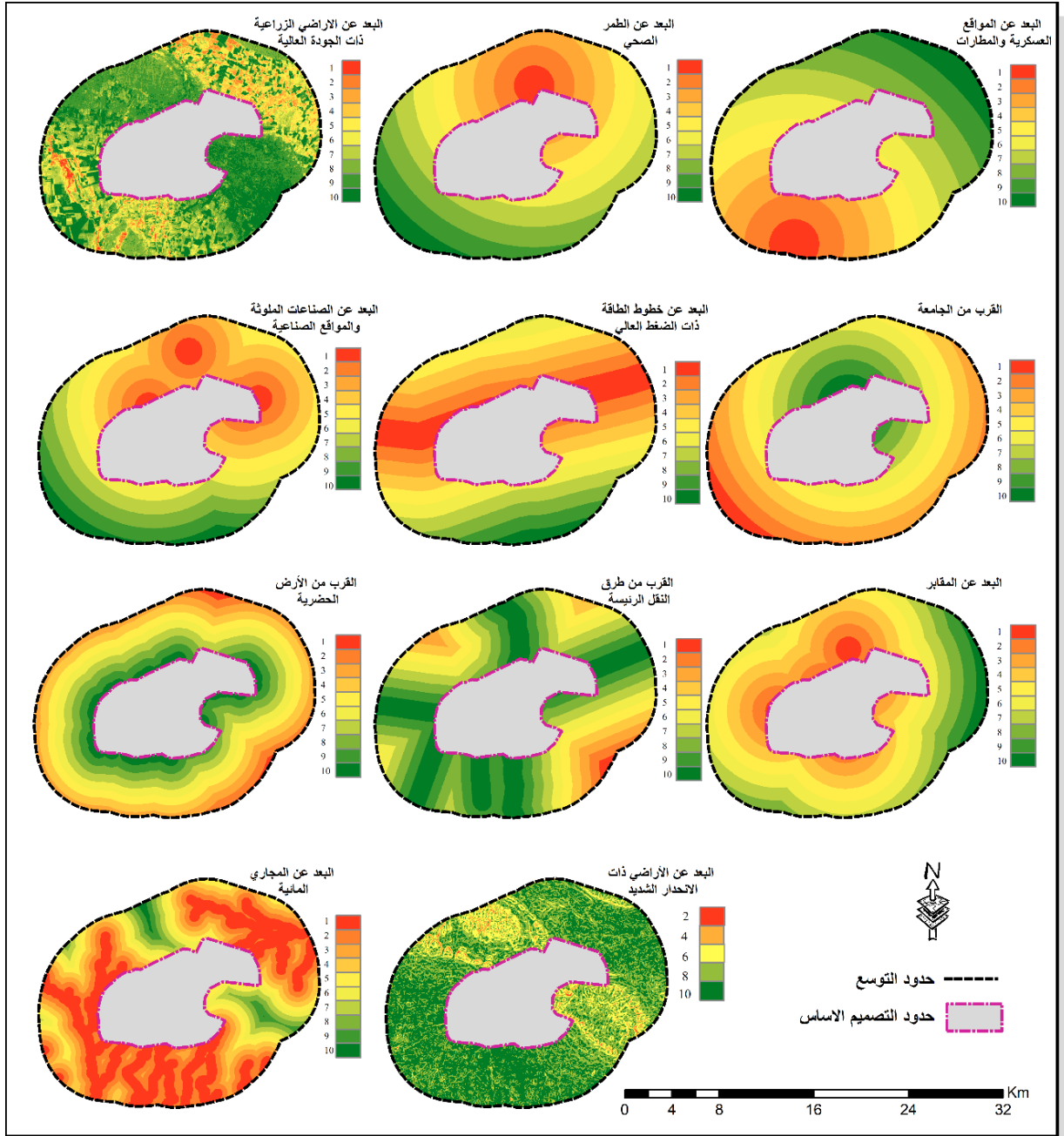
أما عامل البعد عن المجاري المائية فهو عامل مهم يجب أخذه بالحسبان عند وضع التصاميم الأساس للمدن، إذ إن المناطق القريبة من المجاري المائية معرضة لمخاطر قد تؤدي إلى خسائر كبيرة في الأرواح والممتلكات وغيرها من الآثار التي تنتج عنها في التوسع المساحي للمدن (Boutaghane, et al., 2022). تمت نمذجة العامل المعني بتحليل المسافة الاقليدية عن المجاري المائية. أما المقابر، فتعد عائقاً للنمو العمراني، لذلك عند التخطيط لتوسع المدن يُفضل الابتعاد عن المقابر بسبب تأثيراتها الصحية والنفسية، والمقابر لها أهمية خاصة في بعض المجتمعات إذ تعد أماكن مقدسة تُحترم، لذا يُفضل وضعها خارج التصميم الحضري الأساسي، مع الحفاظ على مسافات كافية لضمان راحة السكان وتقادي أي آثار سلبية، لذلك تمت نمذجة هذا العامل بتحليل المسافة الاقليدية عن المقابر (الشكل 6).



الشكل 6. عوامل الطرد للتوسع المساحي الحضري في مدينة تلغفر.

تقييس العوامل المؤثرة على التوسع المساحي الحضري

لغرض اظهار التباين المكاني لتأثير كل عامل من العوامل التي ذكرت سابقا، لابد من توحيد مقاييسها بما يتلاءم مع طبيعة كل عامل من جهة، والحصول على استنتاج معلوماتي اكثر تفصيلا من جهة اخرى. ولتحقيق ذلك، لابد من اجراء عملية اعادة تصنيف وفقا لمقياس مرتبي Ordinal Scale لكل عامل على حدى، ذلك من أجل الوقوف على أثر كل عامل من تلك العوامل على التوسع المساحي، وقد تم ذلك باستخدام امكانية اعادة التصنيف Reclassification ضمن ادوات المحلل المكاني Spatial Analyst في برمجية ArcGIS desktop 10.8، إذ تم تقييس العوامل بمقياس مرتبي من الرتبة (1) التي تعتبر اقل الرتب أهمية إلى الرتبة (10) التي تعتبر اعلى أهمية، وبناءً على ذلك سوف تأخذ المناطق الأقرب إلى عوامل الجذب أعلى تقييم وهو (10) أما المناطق الأبعد عن عوامل الجذب فأنها تأخذ اقل تقييم وهو (1)، وعلى العكس من ذلك في عوامل الطرد التي سوف تأخذ مناطق البعد عن هذه العوامل أعلى تقييم وهو (10) اما مناطق القرب منها سوف تأخذ ادنى تقييم وهو (1) (الشكل 7).



الشكل 7. تقييس العوامل المؤثرة على التوسع المساحي لمدينة تلعفر بالمقياس المرتبي.

التقييم المتعدد المعايير للعوامل المؤثرة على التوسع المساحي في مدينة تلعفر

قبل البدء في دمج العوامل للخروج بأنموذج ملائمة الأرض على التوسع المساحي الحضري في مدينة تلعفر، لابد من معرفة الأهمية النسبية (وزن) لكل عامل من العوامل، ومن أجل تجنب الحكم الشخصي في ذلك، تم الاعتماد على عملية التحليل الهرمي Analytic Hierarchy Process (AHP) التي تعد واحدة من أنجح الطرق التي يستخدمها صانعو القرار للتعامل مع القرارات الصعبة، تم اقتراحه من قبل Saaty في عام 1980، وساعدت طريقة الـ AHP في النقاط موضوعية القرار من خلال تقليل عدد القرارات المعقدة وتحويلها إلى سلسلة من المقارنات الزوجية وجمع النتائج، كما تعتبر تقنية مفيدة في التحقق من اتساق النتائج وتقليل التحيز في صنع القرار (Khazael, 2021). تعمل طريقة الـ AHP في نظم المعلومات الجغرافية على حساب قيمة الأهمية النسبية لكل عامل للشروع بإنتاج خريطة ذات فئات مرتبة على نحو متسلسل، مُعتمدة على قيمة الأهمية النسبية الذي تم تنسيبه إلى العوامل الداخلة في نموذجها.

وقد تم تطبيق عمليات التحليل الهرمية بتهيئة استبانة لمجموعة من المحكمين من تخصصات جغرافية وتخطيطية ثم تم التعامل مع الاستبانة إحصائياً بإجراء مصفوفة المقارنة الزوجية ثم الخروج بمستوى ثبات الاحكام و اوزان العوامل الداخلة في العملية، إذ تم الاعتماد على الموقع AHP Online على الشبكة العالمية وهو خاص بطريقة الـ AHP في عملية التقييم المتعدد المعايير (الجدول 2).

الجدول 2: الأوزان المطلقة والأهمية النسبية للعوامل الداخلة في ملاءمة الأرض على التوسع المساحي الحضري لمدينة تلغفر حتى عام 2037.

القيمة الوزنية $\sum w_i$		العوامل
الوزن المطلق score	الأهمية %	
0.148	14.8	البعد عن المواقع الصناعات والصناعات الملوثة
0.148	14.8	البعد عن الطمر الصحي
0.148	14.8	البعد عن المواقع العسكرية والمطارات
0.074	7.4	البعد عن الأراضي ذات الانحدار الشديد
0.074	7.4	البعد عن الأراضي الزراعية ذات الجودة العالية
0.074	7.4	البعد عن خطوط الطاقة ذات الضغط العالي
0.074	7.4	القرب من طرق النقل الرئيسية
0.074	7.4	القرب من الأراضي الحضرية
0.074	7.4	البعد عن المقابر
0.074	7.4	البعد عن المجاري المائية
0.037	3.7	القرب من الجامعة
1	100	المجموع

وبعد الخروج بأوزان للعوامل الداخلة في نموذج ملاءمة الأرض على التوسع المساحي الحضري في مدينة تلغفر تم دمج العوامل باستخدام جبر الخرائط في نظم المعلومات الجغرافية لإنتاج مشهد ملاءمة الأرض على التوسع المساحي لمدينة تلغفر بمحدد العوامل المؤثرة في التوسع المساحي.

المحاكاة المكانية لمستقبل التوسع المساحي في مدينة تلغفر حتى عام 2037

المحاكاة المكانية Spatial Simulation هي عملية تعتمد على استخدام النماذج الحاسوبية لتقليد أداء العمليات الزمنية في العالم الحقيقي بشكل تقريبي. ويعود هذا التبسيط إلى الطبيعة المعقدة للعمليات الفعلية، مما يستوجب اختزالها لفهم آليات عملها فيما يتعلق ببعض المتغيرات المستقلة الأساسية. تعتمد المحاكاة المكانية على تطوير نماذج وإنشاء بيانات مكثفة تُستخدم لتوفير معلومات دقيقة تُسهم في بناء نموذج مُفصل لحالة معينة، ويسعى إلى التنبؤ بالحالات المستقبلية على مدى محاكاة المكان والزمان بناءً على افتراضين (Gao, 2021):

1. يمكن قياس حالة كل نظام في كل لحظة وفي كل مكان.

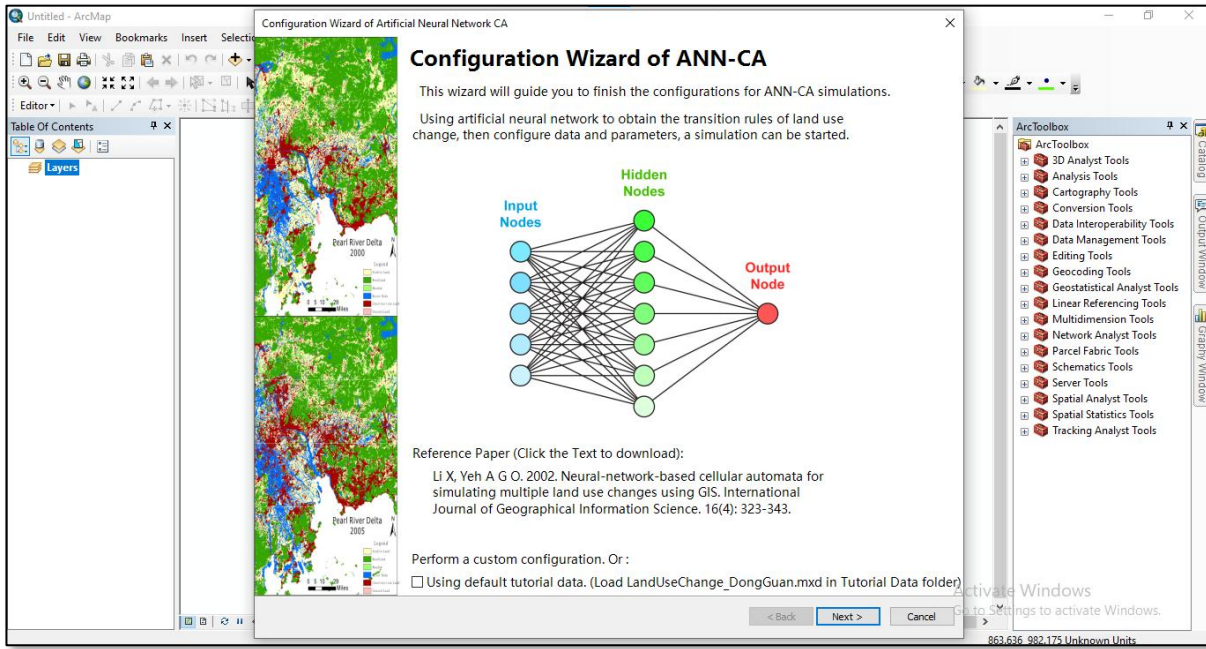
2. يمكن وصف التغييرات في النظام رياضياً أو منطقياً.

إذ يمكن تطبيق السيناريوهات التنبؤية لمحاكاة التوسع الحضري المستقبلي، فُتستخدم هذه السيناريوهات لاختبار البدائل المختلفة لسياسات وتوجهات النمو، وتساعد هذه المحاكاة صناع القرار على استكشاف النتائج المحتملة لخيارات مختلفة، مما يمكنهم من اختيار مسارات أكثر استدامة لتخطيط المدن. يتم تحليل تأثيرات التوسع الحضري على البيئة، البنية التحتية، وجودة الحياة، مما يعزز من إمكانية تحقيق التوازن بين النمو السكاني وحماية الموارد الطبيعية، وبهذا،

تستخدم السيناريوهات التنبؤية كأداة لتوجيه التوسع الحضري نحو حلول تدعم الاستدامة وتقلل من التأثيرات السلبية على البيئة (Hanoon et al, 2022).

أنموذج المحاكاة المستخدم للتنبؤ بمستقبل التوسع المساحي الحضري

اعتمد على أنموذج المحاكاة المركب من الأتمتة الخلوية والشبكات العصبية الاصطناعية Artificial Neural Network-Cellular Automata (ANN-CA) للتنبؤ بمستقبل التوسع المساحي الحضري في مدينة تلغفر حتى عام 2037، وهو متوفر ضمن الامتداد GeoSOS Extension لاختصارا لـ Geographic Simulation and Optimization Systems الذي طوره فريق عمل صيني وعملوا على إجراء تحديثات له، ليعمل مع بيئة نظم المعلومات الجغرافية ضمن برمجية ArcGIS Desktop مع الإصدار 10.2 وكذلك الإصدارات الأحدث (الشكل 5).



الشكل 8. أنموذج المحاكاة ANN-CA في الامتداد GeoSOS ضمن برمجية ArcGIS Desktop 10.8.

يستخدم هذا الأنموذج في محاكاة التوسع المساحي للمدن ويعد مثالياً لدراسة وتحليل توسع المدن، إذ عمل الدمج بين الـ ANN والـ CA على تعزيز دقة المحاكاة، كذلك مكن من التكيف مع صيغ البيانات من نوع Raster. يتيح الأنموذج من إمكانية التعامل مع هذه الأنظمة المعقدة عن طريق معالجة المتغيرات والعوامل التي تؤثر على التغيرات في استخدام الأراضي، يتم محاكاة التوسع المساحي للمدن عن طريق إدخال الخرائط المتعلقة بنمط توسع المدينة في سنوات سابقة بصيغة Raster ثم تدرب الشبكة العصبية لاكتشاف أنماط التوسع في المستقبل وتقوم بإنتاج نموذج خرائطي لنمط توسع المدينة في المستقبل (LI et al., 2009).

تعمل الشبكات العصبية على استقبال حدود شرطية للتحكم في سيناريوهات التوسع الحضري، إذ يتم تمثيل المساحة الحضرية كمتغير تابع في الأنموذج الخرائطي، بينما يُستخدم متغير مستقل لقياس ملاءمة الأرض للتوسع. يُستخدم المنطق المضبب Fuzzy Logic لتحديد مدى ملاءمة الأرض للتوسع بقيم تتراوح بين الـ 0 و 1، بحيث يشير الرقم (1) إلى أعلى ملاءمة لتحويل الأرض إلى حضرية، والـ (0) إلى أقل ملاءمة. هذه العملية تتماشى مع نظام الأتمتة الخلوية وتُوجه باستخدام الذكاء الاصطناعي للتحكم في قوانين الانتقال خلال المحاكاة وفقاً للمعادلات الآتية (Lai et al., 2024):

$$X = [x_1, x_2, \dots, x_n]^T$$

إذ إن:

(χ_i) هي العصبون Neuron (i) في طبقة الإدخال.

أما في الطبقة المخفية فتقدر الإشارة المستلمة من العصبون (j) من عصبونات الإدخال على خلية الشبكة p عند الزمن t كما في المعادلة الآتية:

$$net_j(p,t) = \sum_i w_{ij} \times \chi_i(p,t)$$

إذ إن:

$net_j(p,t)$ هي الإشارة المستلمة من لدن العصبون (j) في الطبقة المخفية، $\chi_i(p,t)$ هو المتغير (i th) المرتبط بعصبون الإدخال (i) على خلية الشبكة (p) عند زمن التدريب (t)، أما (w_{ij}) فهي الوزن التكيفي ما بين طبقة الإدخال والطبقة المخفية التي يتم معايرتها في أثناء التدريب.

يتم التوصيل بين الطبقة المخفية وطبقة الإخراج بواسطة دالة التنشيط، كما في المعادلة الآتية:

$$p(p,k,t) = \sum_j w_{jk} \times \frac{1}{1 + e^{-net_j(p,t)}}$$

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).

يمكن التعبير عن احتمالية حدوث نوع استخدام الأرض في وحدة الشبكة على النحو التالي (Wang et al., 2022):

$$P(p,k,t) = \sum_j w_{jk} \times \text{sigmoid}(net(p,t)) = \sum_j w_{jk} \times \frac{1}{1 + e^{-net(p,t)}}$$

إذ إن:

$P(p,k,t)$ يمثل احتمال ملائمة النوع (k-th) من الأرض في الوقت (t) في الشبكة (p)، (p,t) هي الإشارة التي يتلقاها العصبون في الطبقة المخفية، (w_{jk}) هو الوزن التكيفي بين الطبقات المخفية وطبقات الإخراج وتتم معايرته أثناء عملية التدريب، يتم تحديد الاتصال بين الطبقة المخفية وطبقة الإخراج بواسطة دالة التنشيط، وبعد بناء نموذج الشبكة العصبية الاصطناعية يمكن استخدامها لتقدير احتمالية حدوث صنف الاستعمال الحضري من بقية استعمالات الأرض الأخرى في وحدة صورية معينة.

تحديد سيناريوهات التوسع المساحي الحضري حتى عام 2037

السيناريو هو وصف افتراضي لأحداث مستقبلية يهدف إلى تسليط الضوء على العوامل التي تؤثر في تلك الأحداث، وهو ليس توقعًا دقيقًا للمستقبل، بل هو وسيلة لفهم الحاضر واستشراف المسارات المحتملة. السيناريوهات تساعد على فهم الخيارات والتحديات الحالية والمستقبلية، وتحديد القرارات والسياسات التي يمكن أن تؤثر في تلك المسارات (Rotmans et al., 2000).

والسيناريوهات على نوعين، إما أن تكون تنبؤية Predictive Scenarios تعمل على محاولة التنبؤ بما سيحدث في المستقبل بناءً على الاتجاهات الحالية، وتعتمد على التحليل الاحتمالي للبيانات التاريخية وتوقع المستقبل بناءً على سيناريو مرجح قد تستخدم بيانات إحصائية أو اقتصادية لتقدير النتائج المتوقعة. يتم تحديد السيناريو المرجح بناءً على تطور الاتجاهات المحتملة، وإما أن تكون معيارية Standard Scenarios وهي نوع من السيناريوهات تستخدم لاستكشاف كيفية الوصول إلى هدف محدد في المستقبل، ويركز هذا النوع من السيناريوهات على تحقيق حالة مرغوبة أو هدف معين، ويعتمد على تحليل الاستراتيجيات والإجراءات التي يجب اتخاذها لتحقيق هذا الهدف. يتميز السيناريو المعياري عن غيره بأنه لا يهدف فقط إلى توقع المستقبل، بل إلى تحديد المسار الأنسب للوصول إلى نتيجة مستقبلية مرغوبة (Börjeson et al., 2006).

في ضوء ما ذكر، تم تحديد سيناريوهات التوسع المساحي الحضري المحتمل في مدينة تلغفر حتى عام 2037 بمنظور استدامة الأرض في المدينة عند استخدام أنموذج المحاكاة ANN-CA على النحو الآتي:

1. السيناريو (1): هو سيناريو تنبؤي يقتضي وجوب التوسع المساحي الحضري لمدينة تلغفر كنتيجة حتمية للتحضر الناتج عن زيادة عدد سكان الحضر سواءً كان ذلك بالزيادة الطبيعية لسكان المدينة أم بعامل الهجرة الوافدة نحو المدينة بوصفها مستقطبة للسكان، ولم يأخذ هذا السيناريو بنظر الاعتبار استدامة الأرض، إنما يكتفي بسيارات التوسع المساحي الحضري التي حدثت بين الماضي والحاضر ثم يعمل على أسقاطها في المستقبل المحدد، لذلك سوف يتطلب أنموذجاً مكانياً ذا سطح خلوي تكون قيمة الوحدة الصورية فيه تساوي 1 بالمنطق المضرب كمحدد شرطي عند عملية المحاكاة.

2. السيناريو (2): وهو سيناريو معياري يقتضي وجوب التوسع المساحي الحضري لمدينة تلغفر كنتيجة حتمية للتحضر الناتج عن زيادة عدد سكان الحضر سواءً كان ذلك بالزيادة الطبيعية لسكان المدينة أم بعامل الهجرة نحو المدينة بوصفها مستقطبة للسكان، إلا أن هذا التوسع سوف يأخذ بنظر الاعتبار استدامة الأرض، والأخذ بنظر الاعتبار بباقي العوامل المؤثرة في التوسع المساحي الحضري، لذلك يجب إدخال الأنموذج المكاني المعني بملاءمة الأرض على التوسع المساحي الحضري بالمعايير التخطيطية كحد شرطي عند عملية المحاكاة.

تضبيب الحدود الشرطية

يشير مفهوم تضبيب الحدود الشرطية في سياق نظرية المجموعات الضبابية إلى الغموض أو عدم الوضوح في تحديد الحدود التي يمكن عندها أن يكون عنصراً ما عضواً في مجموعة معينة. في المجموعات الكلاسيكية، إما أن يكون العنصر جزءاً من المجموعة أو لا يكون، أما في المجموعات الضبابية، فإن هذه الحدود تصبح غير حادة أو غير واضحة، مما يسمح بوجود درجات من العضوية بدلاً من العضوية المطلقة (Zimmermann, 2011).

يعمل تضبيب الحدود الشرطية إلى عملية تحويل البيانات المدخلة الصريحة أو القيم العددية إلى قيم ضبابية، هذه العملية تتم باستخدام دوال العضوية Membership Functions التي تقوم بتحديد مدى انتماء كل قيمة عددية إلى مجموعة معينة في المنطق الضبابي، يتم ذلك بربط كل قيمة مدخلة بدرجة انتماء تتراوح ما بين 0 و 1، إذ تمثل القيمة (0) عدم الانتماء التام، بينما تشير القيمة (1) إلى الانتماء الكامل، تتمثل أهمية هذه المرحلة في السماح للنظام بالتعامل مع البيانات غير المؤكدة أو المتغيرة بشكل أكثر مرونة؛ ومن ثم تعد مرحلة التضبيب خطوة أساسية لأنها تساعد في تهيئة البيانات المدخلة لاستخدامها في اتخاذ القرارات أو في المراحل التالية مثل الاستدلال الضبابي Fuzzy Inference والتوضيح Defuzzification (Ali et al., 2015).

تشير الدالة Fuzzy Large إلى دالة انتماء مضببة تُستخدم لتصنيف قيم معينة بأنها كبيرة بناءً على مدى انتمائها إلى فئة (الكبير) وفق المنطق المضبب، وقيم واطئة تتحول إلى قيم مضببة واطئة، فتعمل هذه الدالة على تقييم أي مدى يمكن اعتبار أية قيمة معينة انها كبيرة large باستخدام مقياس مضبب، إذ تتراوح درجات العضوية ما بين 0 و 1 كما في المعادلة التالية (ESRI, 2018):

$$\mu(x) = \frac{1}{1 + \left(\frac{x}{f_2}\right)^{f_1}}$$

إذ أن:

(x) = الفئة أو الصنف، $\mu(x)$ = قيمة العضوية في الفئة (x) ، (f_2) = نقطة انتقال، (f_1) = انتشار الدالة.

وبناء على ذلك تم استخدام الدالة Fuzzy Large في تضبيب أنموذج ملائمة الأرض للتوسع الحضري وذلك وفقاً للعوامل المؤثرة في هذا التوسع، وفي حال الرغبة في الحصول على سطح خلوي مضبب بقيمة (1) فقط، يمكن ضرب أي سطح خلوي Raster في القيمة (0) ثم جمعه بالقيمة (1) للحصول على أنموذج يعتمد على المنطق المضبب بسطح خلوي ذي قيمة تساوي (1) وذلك وفقاً للمعادلة الاتية:

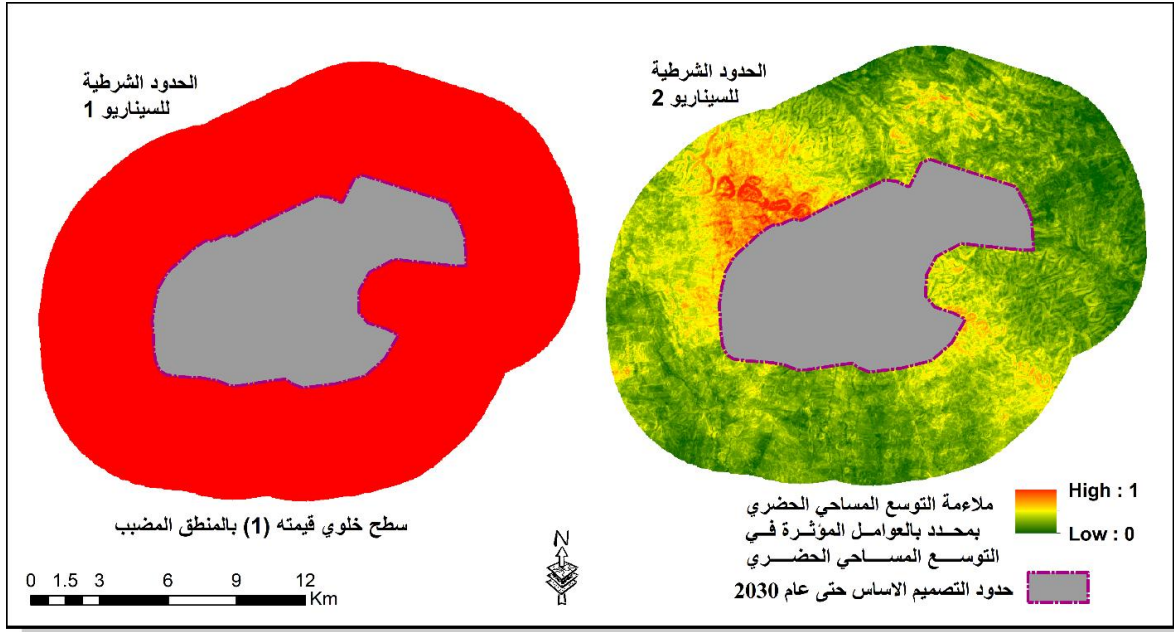
$$\text{Fuzzy value (1)} = (\text{Any Raster Model} * 0) + 1$$

إذ أن:

Fuzzy value (1) = السطح الخلوي المضبب بقيمة (1)، Any Raster Model = أي أنموذج ذو سطح

خلوي مستمر.

وبذلك تم إنتاج نماذج الملاءمة المقاسة بالمنطق المضبب لتكون جاهزة للاستخدام كحدود شرطية في أنموذج المحاكاة ANN-CA (الشكل 9).



الشكل 9. نماذج الحدود الشرطية المقاسة بالمنطق المضبب والداخلية في أنموذج المحاكاة ANN-CA.

النتائج والمناقشة

التوسع المساحي للمدينة من عام 1997 حتى عام 2009

شهدت هذه المدة نمواً سكانياً بطيئاً، فقد بلغ معدل النمو السكاني فيها 0.33، أما نمط التوسع المساحي لمدينة تلعفر فيها فهو نمط النمو المتراكم، ويتميز هذا النمط بملء الفراغات والمساحات والأراضي الموجودة داخل المدينة والأحياء السكنية، أو البناء عند مشارف المدينة داخل حدود التصميم الأساس، إذ أن هناك مساحات واسعة موجودة داخل المدينة غير مبنية، ومن ثم عمل سكان المدينة على بناء هذه الأراضي بعد أن ظهرت الحاجة إليها، وبهذا تكون المدينة قد تراكم فيها البناء، والسبب في ظهور هذا النمط من أنماط التوسع في مدينة تلعفر هو توفر الظروف الملائمة للسكان مثل القرب من محل العمل والقرب من مراكز الخدمات والقرب من الأسواق وتوفر أراضي بأسعار مناسبة، كما أن الأحياء السكنية للمدينة لا تزال لديها القدرة على استيعاب السكان إذ لم تستنفذ أراضيها بعد. لقد كان التوسع ضمن مخطط التصميم الأساس الأول للمدينة الذي تم وضعه في عام 1975 عندما اكتسبت تلعفر صفتها الإدارية، بلغ حجم حدود التصميم الأساس للمدينة في هذه المرحلة 30.10 كم²، بينما بلغ حجم العمران المشيد 7.5762 كم²، إذ زادت المساحة العمرانية للمدينة من 7.5411 كم² عام 1997 إلى 10.9773 كم² في عام 2009، ومن ثم بلغ معدل التوسع المساحي السنوي 3.34%، وفي هذه المرحلة أيضاً كانت مدينة تلعفر تتكون من 22 حياً سكنياً، ولم تشهد المدينة ظهور أحياء سكنية جديدة سوى حي المنتظر الذي تم استحداثه داخل حدود التصميم الأساس والذي يقع باتجاه الجنوب الشرقي من المدينة، كذلك شهدت المدينة توسع عدد محدود من الدور خارج المدينة يقطنها السكان الذي يعملون في الزراعة وتربية المواشي. يتضح من خلال ما ذكر أعلاه أن مدينة تلعفر لم تشهد توسعاً مساحياً كبيراً خلال الفترة 1997-2009، ويعزى ذلك إلى أن المدينة لم تشهد خلالها نمواً سكانياً كبيراً مما انعكس على توسع المدينة المساحي. لعبت الأوضاع التي مرت بها تلعفر خلال هذه الفترة أيضاً دوراً في إعاقة التوسع المساحي للمدينة (الشكل 10 والجدول 3).

الجدول 3: مجموع السكان والمساحة الحضرية ونصيب الفرد خلال مراحل الدراسة 1997-2023.

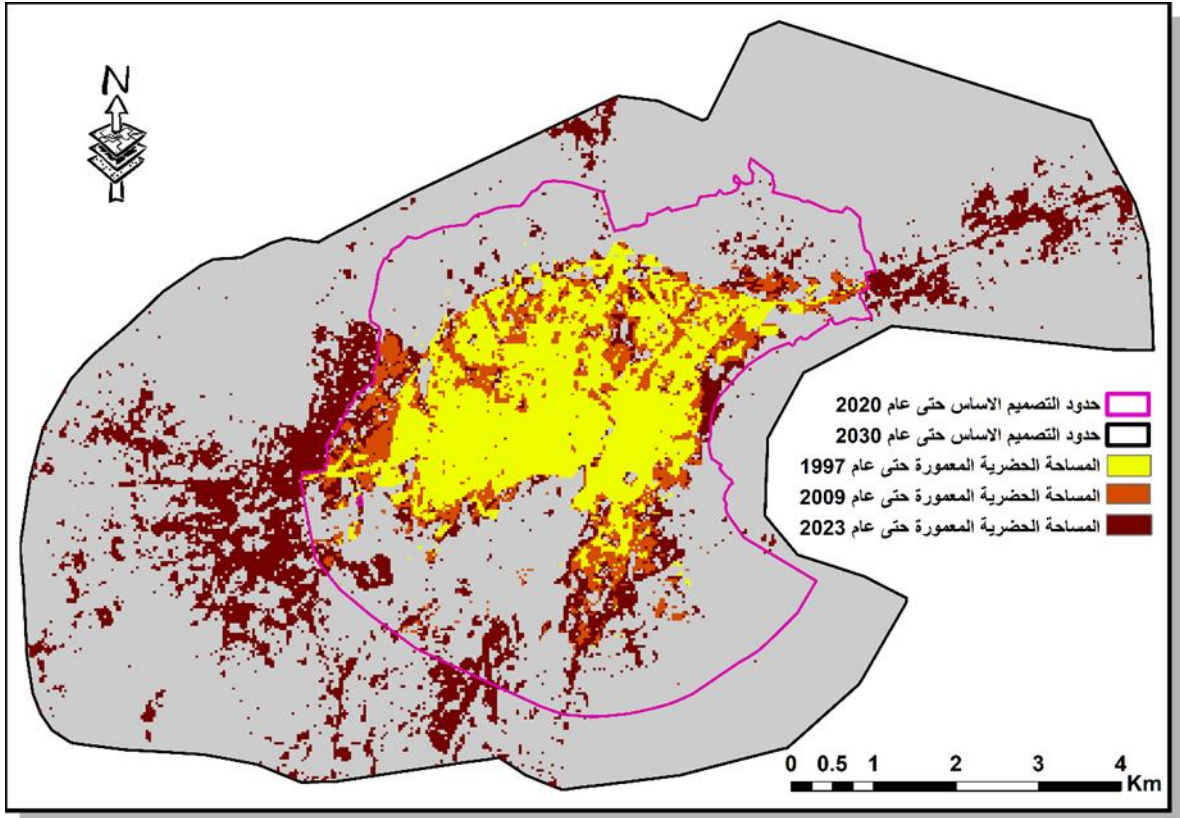
العام	السكان	المساحة الحضرية/م ²	نصيب الفرد من الأرض الحضرية/م ²
1997	138476	7576200	54.7
2009	144153	10977300	76.1
2023	195974	20986200	107.1

المصدر: اعتماداً على (1) جمهورية العراق، وزارة التخطيط، الجهاز المركزي للإحصاء، مديرية إحصاء نينوى، شعبة تكنولوجيا المعلومات، بيانات رقمية غير منشورة. (2) تم احتساب المساحة الحضرية لكل سنة عن طريق المعادلة الآتية: المساحة الحضرية = عدد الوحدات الصورية x دقة التمييز x دقة التمييز. (3) نصيب الفرد من الأرض الحضرية = المساحة الحضرية/م² عدد السكان.

التوسع المساحي للمدينة من عام 2009 حتى عام 2023

خلال هذه المرحلة شهدت المدينة نمواً سكانياً كبيراً بخلاف المرحلة السابقة التي كان فيها معدل النمو السكاني منخفضاً، حيث وصل معدل النمو السكاني إلى 2.9%. شهدت هذه المدة توسعاً مساحياً كبيراً للمدينة على حساب الأراضي الزراعية بسبب استقرار الأوضاع الأمنية وعودة العوائل إلى مساكنهم والنمو السكاني العالي في هذه المدة الذي أدى إلى توسع ملحوظ في المدينة خاصة خارج حدود التصميم الأساس. وفي عام 2010 أقدمت الجهات التخطيطية على أعداد مخطط تصميم أساس لتوسعة حدود المدينة، إذ تم أعداد التصميم عام 2010 وتمت المصادقة عليه من قبل وزارة الأعمار والأسكان في عام 2020، وبموجبه تم استحداث مناطق جديدة حتى بلغ حجم توسعة التصميم الأساس للمدينة (5 كم²)، لكن الحجم الفعلي الذي تم تطبيقه بلغ 3 كم²، وفي هذه المرحلة كانت بداية ظهور البناء العشوائي والتجاوزات في المدينة. بلغ حجم حدود التصميم الأساس للمدينة بعد التوسع 78.36 كم²، أما حجم المساحة المعمورة فقد بلغ 20.9862 كم²، إذ توسعت المساحة الحضرية المعمورة من 10.9773 كم² في عام 2009 لتصل مساحتها المعمورة في عام 2023 إلى 20.9862 كم²، في حين بلغ معدل التوسع المساحي السنوي 4.56%. كما شهدت هذه المرحلة ضم العديد من القرى

القريبة من المدينة واصبحت ضمن حدود التصميم الأساس لها منها قرى الرحمة والبشار والعلولية وبكي قوط التي تقع باتجاه شرق المدينة على الطريق الرابط بين تلغفر والموصل، أما نمط التوسع المساحي للمدينة في هذه المدة فهو نمط التوسع الخطي والعشوائي، أذ أن المدينة توسعت بشكل خطي على طول الطريق الرئيسي (موصل-تلغفر) باتجاه الشمال الشرقي، وكذلك على طول الطريق الرئيسي (تلغفر - سنجار) باتجاه الغرب، وكان التوسع بشكل عشوائي على شكل امتداد للهيكال العمراني بدون خطة مسبقة وهو زحف حضري غير مخطط على الأراضي الزراعية، لكن بعد توسعة المدينة عملت الدوائر المسؤولة عن ذلك على تنظيم هذه المناطق كونها أصبحت جزءاً من المدينة. تميزت هذه المرحلة أيضاً بزيادة عدد أحياء المدينة ليصل مجموعها إلى 34 حياً سكنياً اي بفارق 12 حياً عما كان قبل التوسعة (الشكل 10 والجدول 3).



الشكل 10. مراحل التوسع المساحي لمدينة تلغفر خلال الاعوام (1997-2009-2023).

تحديد المناطق الملائمة للتوسع المساحي الحضري

أفصحت النمذجة عن اختلاف في أنماط توزيع مستويات ملائمة الأرض على التوسع المساحي الحضري مع تباين واضح في مساحة كل صنف من اصناف الملاءمة؛ وفي ضوء ما تقدم، يمكن مناقشة اصناف ملائمة الأرض على التوسع المساحي الحضري في مدينة تلغفر حتى عام 2037 على النحو الآتي:

1- مناطق الملاءمة المرتفعة والمرتفعة جدا

شكل صنف مناطق الملاءمة المرتفعة مساحة قدرها 102.855 كم² بنسبة 29.53% من مجموع المساحة الملائمة للتوسع، في حين شكل صنف مناطق الملاءمة المرتفعة جدا مساحة بلغت 58.0779 كم² وبنسبة 16.67% من مجموعة المساحة الملائمة للتوسع. إن صنف أراضي الملاءمة المرتفعة يكفي السكان إلى عدد يصل إلى 1028550 نسمة إذ تم التنبؤ بالقدرة الاستيعابية لكل صنف لعدد معين من السكان من خلال المعادلة الآتية:

$$\text{عدد السكان الكافي لصنف معين} = \text{مساحة الصنف م}^2 / 100 \text{ م}^2 (\text{نصيب الفرد من الأرض الحضريّة})$$

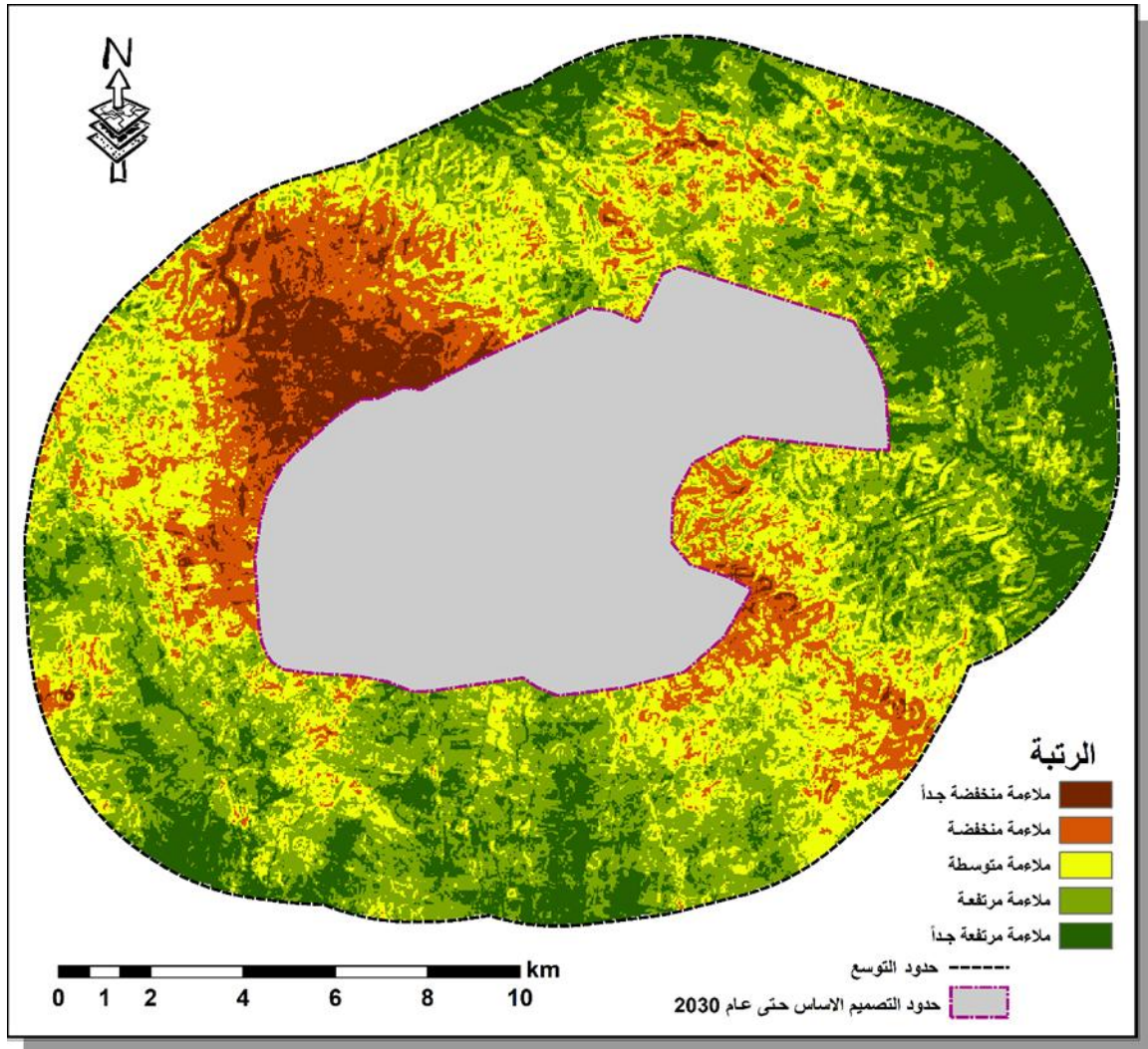
بينما صنف الملاءمة المرتفعة جدا يكفي لزيادة سكانية تصل إلى 580779 نسمة، وقد ظهرت هذه الأصناف في الاتجاه الشرقي والاتجاه الشمالي الشرقي من منطقة الدراسة ويعود ذلك لقربها من الطريق الرئيس لاسيما طريق (موصل-تلغفر)، والمناطق الواقعة في الاتجاه الجنوبي والجنوب الغربي على طول طريق (تلغفر-سنجار)، وقد ظهرت هذه المناطق في الجزء الغربي من المدينة. ويعزى ظهور ملاءمة التوسع في هذه المناطق الى أن عوامل الجذب للتوسع المساحي للسكان هي أكبر من عوامل الطرد، وتشمل أيضاً المناطق القريبة من طرق النقل الرئيسية والقرب من المناطق الحضرية، فضلاً عن كونها أراضي مستوية كما أنها تقع ضمن الأراضي الزراعية غير المزروعة والمراعي والأراضي الجرداء والفضاء، وهذا ما يعزز من دورها في المحافظة على الأراضي الزراعية العالية الكثافة من التوسعات العمرانية العشوائية، إن التوسع في الاتجاه الشرقي والشمال الشرقي مستقبلاً سيضم قرية أبو ماري، سيما أن المدينة عندما توسعت عام 2020 ووضع التصميم الأساسي الذي قد ضم في ذات الاتجاه قرى الرحمة والبشار والعلولية وأصبحت جزءاً من المطقة الحضرية (الخريطة 6).

2- مناطق الملاءمة المتوسطة

يعد هذا الصنف أقل ملاءمة على التوسع المساحي الحضري من الصنف السابق لتوطنه على القسم الأكبر من أراضي زراعية ذات قابلية إنتاجية متوسطة وعالية، وقد شكل هذا الصنف مساحة بلغت نحو 99.7911 كم² ونسبة 28.655% من مجموع المساحة الملائمة للتوسع، ويمكن لهذا الصنف أن يستوعب عدد سكان يصل إلى 997911 نسمة؛ ويلاحظ تلازم مناطق هذا الصنف لمناطق الملاءمة المنخفضة، ويمكن استثمار أجزاء من هذه المناطق في البناء والأعمار تخترق بعض أجزائها شبكة جيدة من طرق النقل الرئيسية، ووجود بعض القرى على شكل نويات صغيرة للسكان التي تعد من الآثار التي عملت على عدم تحقيق المستوى المطلوب من الملاءمة المكانية لتوجيه التوسع المستقبلي نحوه، وأن بعض أجزاء هذا الصنف هي خليط متجانس من الأراضي الزراعية العالية الكثافة والمتوسطة، لذا يحتم عليها صعوبة تنفيذ المخططات التوسع فيها، كما ان بعد المسافة لأجزاء من هذه عن مركز المدينة يترتب عليه عدم رغبة السكان بالتوجه نحوها، كذلك وجود بعض المحددات ضمن النطاق التي تشغلها ولمساحات واسعة، منها مطار تلغفر وموقع الطمر الصحي وبعض الصناعات والمقابر والمنحدرات والمجاري المائية وغيرها من المحددات، ويمكن اعتبار صنف الملاءمة المتوسطة مخزوناً أرضياً يمكن الاستفادة منه عند التوسع المساحي الحضري في المستقبل القريب (الخريطة 6).

3- مناطق الملاءمة المنخفضة والمنخفضة جدا

يمثل هذا الصنف المناطق غير الملائمة للتوسع المساحي الحضري لمدينة تلغفر لأسباب مختلفة منها ما يتعلق ببعد المناطق المتوتنة في هذا الصنف عن الأراضي الحضرية، وكذلك بعدها عن طرق النقل الرئيسية، ووقوع أجزاء كبيرة منها ضمن شروط المعايير (المحرمات). وظهرت هذه المناطق في الاتجاه الشمال الغربي، ويعزى ذلك لوجود عدة محددات، منها وجود معمل غاز تلغفر الحكومي، ومقبرة حي الوحدة ومعامل لإنتاج البلوك ومقالع للأحجار الكبيرة، إضافة إلى مرور خطوط الطاقة ذات الضغط العالي، وكذلك بعد هذه المناطق عن المنطقة الحضرية، ولا تحتوي على طرق نقل رئيسية، ووجود مجاري مائية، وقربها من منطقة الطمر الصحي، ومنطقة الصناعات الملوثة، بالتالي أدى إلى أن تكون أراضي هذا الاتجاه غير ملائمة للتوسع الحضري لمدينة تلغفر، وكذلك ظهر هذا الصنف في الاتجاه الجنوب الغربي، بسبب وجود مناطق ذات انحدار شديد، فضلاً عن بعدها عن المنطقة الحضرية، وبعدها طرق النقل الرئيسية، وما يترتب على ذلك من عدم رغبة السكان بالتوجه نحوها. شكّل صنف الملاءمة المنخفضة مساحة قدرها 61.6914 كم² ونسبة قدرها 17.71% من مجموع المساحة الملائمة للتوسع، بينما صنف الملاءمة المنخفضة جداً بلغت مساحته 25.8291 كم² ونسبة وصلت إلى 7.41%، وهي أقل مساحة بين الأصناف الأخرى (الشكل 11).



الشكل 12. ملاءمة الارض على التوسع المساحي لمدينة تلغفر حتى عام 2037.

توقعات التوسع المساحي الحضري حسب السيناريوهات المعتمدة حتى عام 2037

اظهرت المحاكاة المكانية باستخدام الأنموذج ANN-CA نمطين من أنماط التوسعات المساحية الحضرية لمدينة تلغفر استناداً إلى السيناريوهات المحددة، وكما هو متوقع سوف يستمر التوسع المساحي الحضري من عام 2023 إلى 2037 في جميع السيناريوهات بسبب زيادة الطلب على الأرض الحضرية المدفوع بزيادة السكان، وهذه السيناريوهات هي:

السيناريو (1):

في هذا السيناريو التنبؤي سوف تصل المساحة الحضرية المبنية الى نحو 41.80 كم² عام 2037 بزيادة مقدارها 20.937 كم² عن عام 2023، أي ما يعادل 2093 هكتاراً، أيضاً في هذا السيناريو سوف يكون حجم التوسع داخل حدود التصميم الاساسي نحو 12.54 كم²، بينما بلغ حجم التوسع خارج حدود التصميم الأساسي 8.39 كم² داخل حدود الـ 5 كم²، كما ان في هذا السيناريو سوف يبلغ حجم إشغال صنف أراضي الملاءمة المنخفضة جداً والمنخفضة نحو 1.08 و3.54 كم² على التوالي، وهي نسبة مرتفعة مقارنة مع السيناريو (2)، ويعزى ذلك الى أن هذا السيناريو هو تنبؤي لم يأخذ بالحسبان العوامل المؤثرة في التوسع المساحي الحضري للمدينة، إنما تم التنبؤ به على أساس سياق توسع المدينة في السنوات السابقة بشكل عشوائي، أما صنف الملاءمة المعتدلة فقد بلغ حجم الإشغال نحو 4.64 كم²، وهو حجم متساوي تقريبا مع السيناريو (2)، بينما بلغ حجم الإشغال في صنف الملاءمة المرتفعة جداً والمرتفعة نحو 2.88 و4.81 كم² على التوالي، وهي نسبة منخفضة مقارنة مع السيناريو (2)، لذلك كان حجم التوسع على صنف الملاءمة المنخفضة والمنخفضة جداً أكبر من حجم التوسع على أصناف الملاءمة العالية جداً والعالية، كما أن في هذا السيناريو شهد توسعاً على الأراضي

الزراعية المحيطة بالمدينة وبالتالي عمل على فقدان مساحات من الأراضي الزراعية ذات الأصناف العليا والدنيا، أما نمط التوسع المساحي الحضري في هذا السيناريو فهو نمط التوسع الخطي، إذ شهدت المدينة توسعاً على طول الطريق الرئيس (موصل-تلغفر) باتجاه الشرق والشمال الشرقي، كما شهدت توسعاً على طول الطريق الرئيس (تلغفر-سنجار) باتجاه الغرب. إن توسع المدينة على طول الطرق الرئيسية يعزى إلى سهولة الوصول والقرب من المراكز الخدمية، إذ تعد طرق النقل المحركات الأساسية للتوسع الحضري لكونها من أكثر العوامل الجاذبة للسكان، ونمط التوسع الحضري المملوء الذي يحدث داخل المنطقة العمرانية القائمة وتوسع المناطق العمرانية القائمة، أما نمط التوسع المبعثر فإن المحاكاة أظهرت ظهور مستوطنات بشرية بشكل مبعثر خارج حدود التصميم الأساسي أو في داخل حدود التصميم الأساسي بعيدة عن المدينة بشكل عشوائي غير مخطط لها (الشكل 5).

أما حجم التوسع على الاتجاهات الجغرافية فقد تبين أن أكثر الاتجاهات توسعاً هو الاتجاه الجنوب الغربي إذ بلغ حجم التوسع الحضري فيه نحو 6.7 كم²، ويعزى ذلك إلى أن مناطق الجذب في هذه المناطق أكبر من مناطق الطرد، إذ تبعد بمسافة كافية عن المنطقة الحضرية كذلك تتخللها شبكة طرق رئيسية إضافة إلى أن أراضيها مستوية قليلة الانحدار وتعد أراضي مستوية بعيدة عن المنحدرات والطرر الصحي والمناطق الصناعية والمقابر، فضلاً عن أنها بعيدة عن المعسكرات والمطار وعن الأراضي الزراعية. أما أقل الاتجاهات توسعاً فهو الاتجاه الشمال الغربي، إذ بلغ حجم التوسع فيه نحو 0.42 كم²، وذلك لأن أراضي هذا الاتجاه هي أقل الأراضي ملائمة للتوسع المساحي، إذ تقع ضمن هذا الاتجاه اصناف الملاءمة المنخفضة جداً والمنخفضة، والتي تحتوي على مصانع ملوثة ومقبرة حي الوحدة وكذلك خطوط الضغط العالي، فضلاً عن قربها من منطقة الطمر الصحي وقلة احتوائها على شبكة طرق النقل؛ ومن ثم عملت كل هذه العوامل على أعاقه التوسع في هذه الاتجاه. أما الاتجاه الغربي فجاء في المرتبة الثانية من ناحية أكثر الاتجاهات توسعاً مساحياً إذ بلغ حجم التوسع فيه نحو 5.28 كم². من أهم العوامل التي تجذب السكان للتوسع في هذا الاتجاه هو وجود الطريق الرئيس (موصل-سنجار) الذي يقطع هذا الاتجاه مما عمل على جذب السكان للتوسع وممارسة الأنشطة الاقتصادية والتجارة على طول هذا الطريق، في حين بلغ حجم التوسع للاتجاه الشمالي نحو 0.57 كم² وذلك لوجود موقع للطمر الصحي الذي يقع ضمن هذا الاتجاه وبعض المواقع الصناعية، منها منطقة الصناعات الملوثة مما عملت هذه العوامل على إعاقة التوسع المساحي بهذا الاتجاه، بينما بلغ حجم التوسع المساحي للاتجاهين الشرقي والشمال الشرقي نحو 3.12 و 2.27 كم² على التوالي، إذ يعد وجود الطريق الرئيس (موصل-تلغفر) ضمن هذين الاتجاهين من أهم عوامل جذب التوسع المساحي الحضري لأن هذا الطريق يقع في الحد الفاصل بين الاتجاهين مما عمل على جذب السكان والتوسع على جانبيه. إن تلك الأسباب قد أسهمت في زيادة حجم التوسع في هذا الاتجاه، أما الاتجاه الجنوبي الشرقي فقد بلغ حجم التوسع فيه نحو 0.50 كم²، ويعزى وجود أراضي ذات انحدار شديد وجرداء وكذلك وجود معامل (الكوار) لإنتاج الجص الذي يستخدم في البناء وتعد من الصناعات الملوثة، ومن ثم عملت جميع هذه العوامل على إعاقة التوسع في هذا الاتجاه. وأخيراً بلغ حجم التوسع نحو الاتجاه الجنوبي 2.11 كم²، إذ كان من أهم معوقات التوسع في هذا الاتجاه هو وجود مطار تلغفر الذي قد يعمل على إعاقة التوسع إذ ما اخذ بالاعتبارات التخطيطية (الشكال 13،14،15).

السيناريو (2):

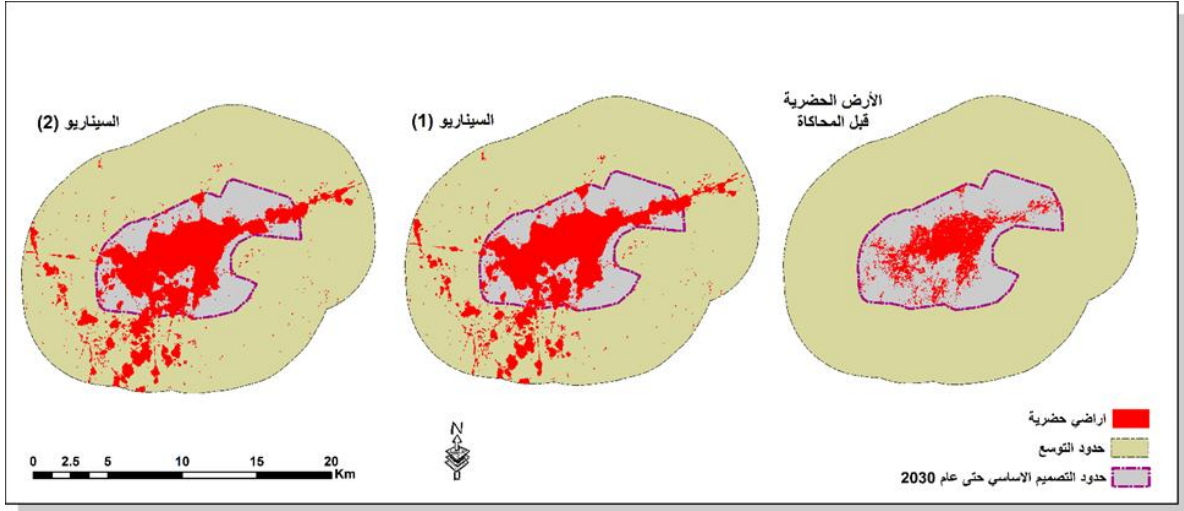
سوف تصل المساحة الحضرية في هذا السيناريو إلى نحو 43.22 كم² عام 2037، وبزيادة مقدارها 22.35 كم² عن عام 2023، أي ما تعادل 2235 هكتاراً، أما حجم التوسع داخل حدود التصميم الأساس فقد بلغ نحو 12.7 كم²، في حين بلغ حجم التوسع خارج حدود التصميم الأساسي نحو 9.65 كم². تزيد الأرض الحضرية في السيناريو (2) عن السيناريو (1) بمساحة تقدر بنحو 1.41 كم² أي ما تعادل 141 هكتاراً بسبب اهتمام السيناريو (2) باستخدام الأرض بمنظور ملاءمتها على التوسع المساحي الحضري، أن هذا السيناريو هو سيناريو معياري يأخذ في الحسبان العوامل المؤثرة

في التوسع المساحي لمدينة تلعفر عند التنبؤ به. تميز هذا السيناريو بتفاوت مساحة الأراضي المفقودة من كل صنف من أصناف الملاءمة الأرضية للتوسع المساحي للمدينة، ففي صنفى الملاءمة المنخفضة جداً والمنخفضة بلغ حجم إشغال الأراضي فيهما 1.01 و 3.31 كم² على التوالي، وهي مساحة قليلة مقارنة مع السيناريو (1)، ويعزى ذلك الى أن التوسع المساحي الحضري سوف يتجنب التجاوز على محرمات المصانع وموقع الطمر الصحي والمطار وغيرها من العوامل المؤثرة في التوسع المساحي للمدينة لأن هذا السيناريو هو سيناريو معياري يأخذ بالحسبان جميع العوامل المؤثرة في توسع المدينة، أما صنف الملاءمة المعتدلة فقد بلغ حجم إشغال الأراضي فيه نحو 5.73 كم²، وهي مساحة مقاربة مقارنة مع السيناريو (1)، في حين كان حجم إشغال الأرض في أصناف الملاءمة المرتفعة جداً والمرتفعة نحو 3.78 و 5.73 كم² على التوالي وهي مساحة مرتفعة مقارنة مع السيناريو (1). أما انماط التوسع المساحي حسب هذا السيناريو فهي لا تختلف عن انماط التوسع في السيناريو (1) ذات نمط التوسع الخطي ونمط التوسع المبعثر، إذ تنبأ هذا السيناريو بأن المدينة سوف تتوسع على طول الطريق الرئيس (موصل-تلعفر) باتجاه الشرق والشمال الشرقي، والطريق الرئيس (تلعفر-سنجار) باتجاه الغرب، ويعزى ذلك أن هذا السيناريو معياري أخذ بعين الاعتبار عامل القرب من طرق النقل الرئيسية إذ تعد جاذبة للسكان، كما أن هذه الطرق قريبة من المنطقة الحضرية وبالتالي عملت أيضاً على جذب السكان والتوسع. تعد هذه الأراضي قليلة الانحدار وبعيدة عن عوامل الطرد السكاني مما عملت كلها على جذب التوسع وساهمت بظهور هذا النمط. أما النمط الثاني فهو نمط الإملاء الحضري المعبر عن عملية تنمية أو تطوير الأراضي الفارغة أو غير المستغلة داخل المناطق العمرانية القائمة، ويركز هذا النوع من التوسع على استخدام الأراضي المتوفرة داخل المدينة بدلاً من التوسع نحو الأطراف. أما نمط النمو المبعثر الذي هو عبارة عن ظاهرة تنتشر فيها المناطق الحضرية بشكل غير منتظم وغير منظم حول مركز المدينة مما يؤدي إلى توسع حضري غير مترابط، ويعني ظهور وحدات سكنية عند هامش المدينة بشكل عشوائي (الشكل 6).

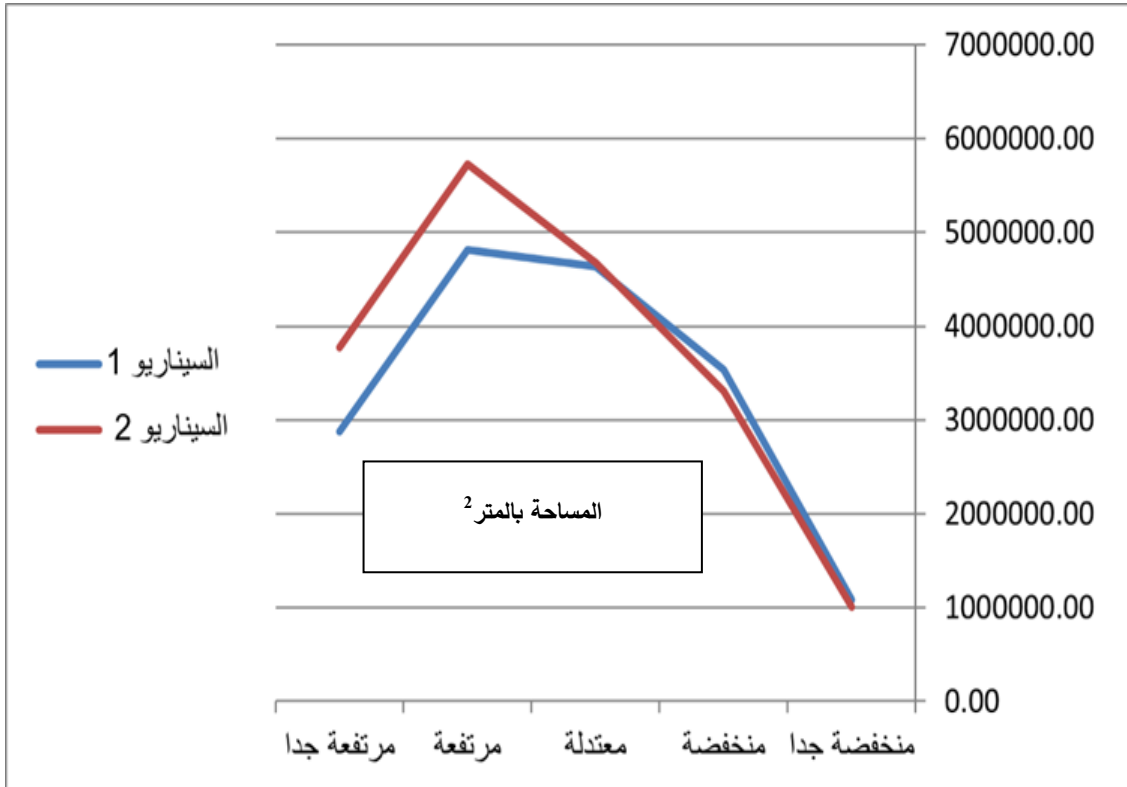
حصل التوسع المساحي في كل اتجاه من الاتجاهات الجغرافية للمدينة، فباتجاه الجنوب الغربي كان على أعلى مستوياته بين باقي الاتجاهات إذ بلغ نحو 7.6 كم² من حجم التوسع المساحي للمدينة وهي مساحة أعلى من حجم التوسع في السيناريو (1) في هذا الاتجاه؛ بينما حصل اتجاه الشمال الغربي على أقل مساحة توسع بين باقي الاتجاهات بلغت 0.20 كم² من مجموع مساحة التوسع المساحي الحضري وهي مساحة أقل من حجم التوسع في السيناريو (1)؛ وبلغ حجم التوسع في الاتجاه الشمالي تقريباً 0.31 كم² من حجم التوسع وهو أيضاً أقل من حجم التوسع مقارنة مع السيناريو (1)؛ في حين بلغ حجم التوسع المساحي بالاتجاه الشرقي والاتجاه الشمال الشرقي 3.53 و 2.57 كم² على التوالي وهي مساحات تقريباً مقاربة للسيناريو (1)؛ أما الاتجاه الغربي فقد بلغ حجم التوسع فيه نحو 6.52 كم² من حجم التوسع وهي مساحة تزيد على حجم التوسع في السيناريو (1)؛ أما الاتجاه الجنوب الشرقي فقد تم التنبؤ بحجم التوسع المساحي فيه بنحو 0.32 كم² وهي مساحة أقل من حجم التوسع في السيناريو (1)؛ بينما بلغ حجم التوسع المساحي للاتجاه الجنوبي 1.49 كم² من حجم التوسع وهي مساحة مقاربة لحجم التوسع في السيناريو (1) (الشكل 7).

يتضح من خلال استعراض السيناريو (2) أن الاتجاهات التي حصلت على أعلى مساحة توسع مقارنة مع السيناريو (1)، هي المناطق ذات الملاءمة العالية جداً والعالية التي تعد مناطق جذب للسكان وبعدها عن محددات التوسع وهي المناطق القريبة من المنطقة الحضرية والطرق الرئيسية وبعيدة عن المصانع والمناطق الملوثة والمطار وباقي المحددات، بينما الاتجاهات التي حصلت أقل مساحة توسع مقارنة مع السيناريو (1) هي المناطق ذات الملاءمة المنخفضة جداً والمنخفضة وهي المناطق القريبة من الطمر الصحي والصناعات الملوثة والمعسكرات والمطار و الأراضي الزراعية ذات الجودة العالية وخطوط الطاقة والمقابر، وهي مناطق طرد سكاني لا تشجع على جذب التوسع المساحي الحضري نحوها، لأن هذا السيناريو (2) سيناريو معياري أخذ بنظر الاعتبار العوامل المؤثرة في التوسع المساحي للمدينة لذلك عمل على

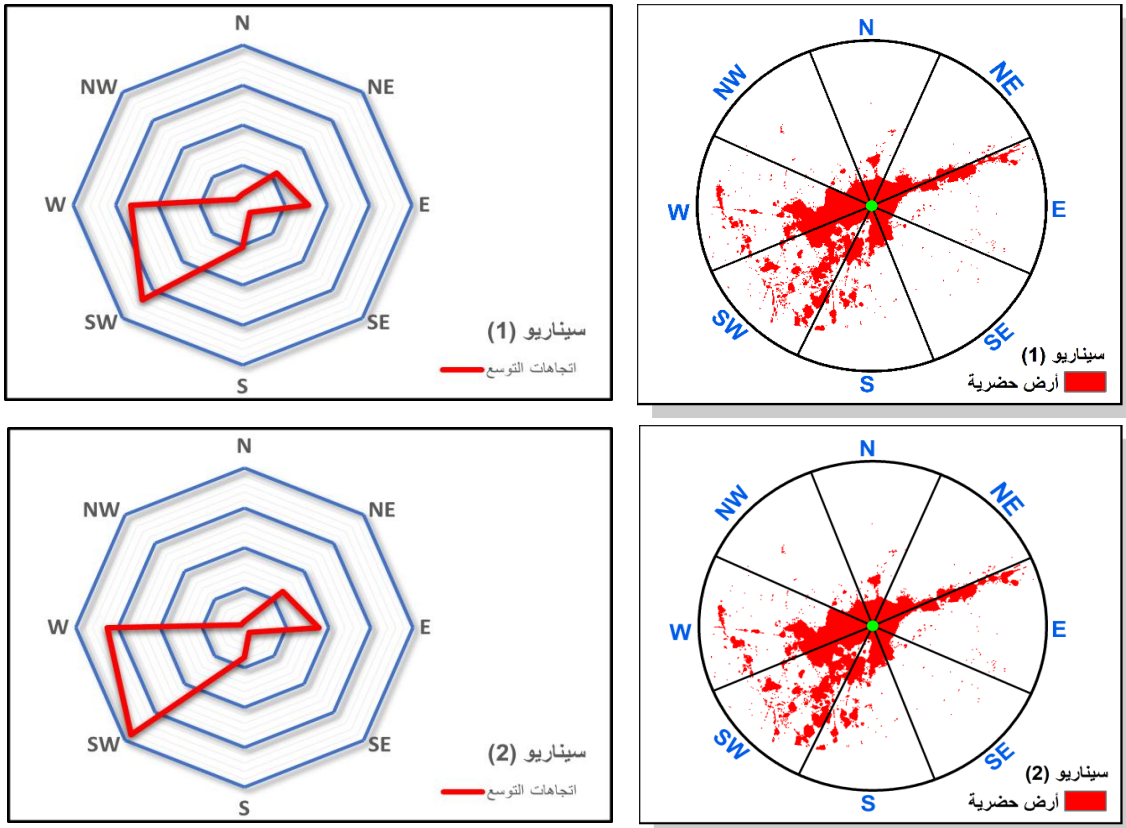
توجيه التوسع نحو المناطق الملائمة للتوسع بينما قام بتجنب التوسع نحو المناطق غير الملائمة للتوسع. (الاشكال 13،14،15).



الشكل 13. توقعات التوسع المساحي في مدينة تلعفر وفقا للسيناريوهات المعتمدة حتى عام 2037.



الشكل 14. فقدان الاراضي بالتوسع المساحي لمدينة تلعفر طبقا لمستويات الملاءمة في السيناريوهات المتوقعة حتى عام 2037



الشكل 15. اتجاهات التوسع المساحي في مدينة تلعفر طبقا للسيناريوهات المتوقعة حتى عام 2037.

الاستنتاجات

1. مكن التكامل بين الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية الباحث من تصنيف الغطاء الأرضي بدقة عالية ومراقبة تطورها خلال سنوات الدراسة 1997-2023، إذ تم تصنيف الغطاء الأرضي إلى صنف الأراضي الزراعية وصنف المراعي وصنف الأراضي الجرداء وصنف الاستيطان الحضري، بالتالي مكن هذا التصنيف من مراقبة توسع المدينة، إذ زادت المساحة الحضرية من 7.54 كم² عام 1997، بينما بلغت المساحي الحضرية لمدينة تلعفر عام 2009 نحو 11.18 كم²، لتصل مساحتها في عام 2023 نحو 20.87 كم².
2. أظهرت نتائج دعم القرار المكاني خمس نطاقات من المناطق الملاءمة للتوسع المساحي الحضري لمدينة تلعفر، تشكل المناطق الملاءمة المنخفضة جداً نسبة 7.14% من مجموع المساحة الملاءمة للتوسع المساحي، أما المناطق ذات الملاءمة المنخفضة، والمتوسطة، والمرتفعة، والمرتفعة جداً، شكلت 17.71%، 28.65%، 29.53%، 16.67% على التوالي.
3. كشفت النمذجة المكانية للتوسع المساحي في مدينة تلعفر بطريقة الـ AHP أن المناطق الملاءمة للتوسع المساحي الحضري لمدينة تلعفر تتخفف في اتجاه الشمالي والشمالي الغربي والاتجاه الجنوب الشرقي وترتفع تدريجياً بالاتجاه الشرقي والشمالي الشرقي والاتجاه الجنوب الغربي، إذ يعزى ذلك إلى قرب هذه المناطق من الطرق الرئيسية وقربها من المنطقة الحضرية، فضلاً عن أنها بعيدة عن المنحدرات والمناطق غير الملاءمة للتوسع.
4. إن استعمال المحاكاة المكانية ANN-CA للكشف عن احتمالية التوسع المساحي لمدينة تلعفر حتى عام 2037، لها دور كبير ومساهم في التنبؤات المستقبلية، لما سوف تكون عليه مدينة تلعفر في المستقبل، ومن ثم يمكن لصناع القرار توجيه الخطط المستقبلية بما يتلاءم مع المناطق الملاءمة للتوسع الحضري.

المصادر

- Abtan, R.A., Kadhim, A.M. and Al-Saleh, A.H., 2022. Gap lines reduction for enhanced temporal Landsat ETM+ imagery using morphological operations. *Journal of the College of Basic Education*, 28(117), pp. 13-27. <https://doi.org/10.35950/cbej.v28i117.9067>
- Ahmed, R.A. and Mahdi, A.S. 2019. Evaluation of the Appropriate spatial expansion of the city of Tuzkhurmatu using GIS software. *Journal of Tikrit University for Humanities*, 26(4), pp. 232-203. <http://dx.doi.org/10.25130/jtuh.26.4.11>
- Ali, A.M., Ali, Y.A. and Sumait, B.S., 2015. Comparison between the effects of different types of membership functions on fuzzy logic controller performance. *International Journal of Emerging Engineering Research and Technology*, 3, pp. 76-83. <https://doi:10.5593/SGEM2016/B41/S17.028>
- Al-Janqli, S. M. E., & Ismaeel, O. A., 2025. Spatial modeling of groundwater potential existence using GIS: Nineveh governorate as a model. *Iraqi National Journal of Earth Science*, 25(2), 38–56. <https://doi.org/10.33899/earth.2024.146050.1217>
- Al-Qassab, O.A.I., 2021. Integration of Geographic Information Systems and Remote Sensing in Cartographic Modeling of Land Use: Erbil Plain District as a Model. PhD Thesis, University of Mosul, College of Education for Humanities, Iraq. (In-Arabic) DOI: [10.13140/RG.2.2.30640.07682](https://doi.org/10.13140/RG.2.2.30640.07682)
- Ayalew, L. and Yamagishi, H., 2005. The application of GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping in the Kakuda-Yahiko Mountains, Central Japan. *Geomorphology*, 65(1-2), pp. 15-31. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2004.06.010>
- Börjeson, L., Höjer, M., Dreborg, K.H., Ekvall, T. and Finnveden, G., 2006. Scenario types and techniques: Towards a user's guide. *Futures*, 38(7), pp. 723-739. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2005.12.002>
- Boutaghane, H., Boudjemaa, K. and Dehimi, S., 2022. Geospatial modelling of the future urban expansion map using AHP and GIS in Bordj Bou Arreridj, Algeria. *Journal of Degraded and Mining Lands Management*, 9(4). <https://doi.org/10.15243/jdmlm.2022.094.3733>
- Environmental Systems Research Institute (ESRI), ArcGIS Desktop 10.8 Software help.
- Gao, J., 2021. Fundamentals of spatial analysis and modeling. CRC Press, 257 P.
- Hanoon, S.K., Abdullah, A.F., Shafri, H.Z. and Wayayok, A., 2022. Using scenario modelling for adapting to urbanization and water scarcity: Towards a sustainable city in semi-arid areas. *Periodicals of Engineering and Natural Sciences (PEN)*, 10(1), pp. 518-532. <https://doi.org/10.21533/pen.v10.i1.556>
- Jensen, J.R., 2016. Introductory digital image processing: A remote sensing perspective. *Remote Sensing*, 8(6), 494. <https://doi.org/10.3390/rs8060494>
- Khazael, S.M. and Al-Bakri, M., 2021. The optimum site selection for solar energy farms using AHP in GIS environment, a case study of Iraq. *Iraqi J Sci* 4571–4587. [https://doi: 10.24996/ij.s.2021.62.11\(SI\).36](https://doi: 10.24996/ij.s.2021.62.11(SI).36)
- Lai, J., Li, J. and Liu, L., 2024. Predicting Soil Erosion Using RUSLE and GeoSOS-FLUS Models: A Case Study in Kunming, China. *Forests*, 15(6), 1039. <https://doi.org/10.3390/f15061039>

- LI, J., Li, D., LIU, X.B. and HE, J.J., 2009. Geographical Simulation and Optimization System (GeoSOS) and Its Cutting-edge Researches. *Advances in Earth Science*, 24(8), 899-907. <https://doi: 10.11867/j.issn.1001-8166.2009.08.0899>
- Li, P., Jiang, L. and Feng, Z., 2014. Cross-comparison of vegetation indices derived from Landsat-7 ETM+ and Landsat-8 OLI sensors. *Remote Sensing*, 6(1), pp. 310–329. <https://doi.org/10.3390/rs6010310>
- Malczewski, J., 2004. GIS-based land-use suitability analysis: a critical overview. *Progress in planning*, 62(1), pp. 3-65. <https://doi.org/10.1016/j.progress.2003.09.002>
- Mathloom, A.R., 2016. Effect of Electromagnetic Fields from High–Pressure Lines and Electrical Transformers on Some Blood Parameters and Components Biochemistry for Human Blood. *University of Thi-Qar Journal*, 11(1), pp. 1-13. (in Arabic)
- Mohammady, S. and Delavar, M.R., 2016. Urban sprawl assessment and modeling using landsat images and GIS. *Modeling Earth Systems and Environment*, 2(3), 155. <https://doi.org/10.1007/s40808-016-0209-4>
- Mokhtarzade, M. and Zoj, M.V., 2007. Road detection from high-resolution satellite images using artificial neural networks. *International journal of applied earth observation and geoinformation*, 9(1), pp. 32-40. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2006.05.001>
- Perumal, K. and Bhaskaran, R. (2010). Supervised classification performance of multispectral images. arXiv preprint arXiv: 1002.4046. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1002.4046>
- Qiang, Y. and Lam, N.S., 2015. Modeling land use and land cover changes in a vulnerable coastal region using artificial neural networks and cellular automata. *Environmental monitoring and assessment*, 187(3), 57. <https://doi.org/10.1007/s10661-015-4298-8>
- Rotmans, J., van Asselt, M., Anastasi, C., Greeuw, S., Mellors, J., Peters, S. and Rijkens, N., 2000. Visions for a sustainable Europe. *Futures*, 32(9-10), pp. 809-831. [https://doi.org/10.1016/S0016-3287\(00\)00033-1](https://doi.org/10.1016/S0016-3287(00)00033-1)
- Shrestha, A. and Mahmood, A., 2019. Review of deep learning algorithms and architectures. *IEEE Access*, 7, pp. 53040–53065. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2912200>
- Steurer, M. and Bayr, C., 2020. Measuring urban sprawl using land use data. *Land Use Policy*, 97, 104799. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104799>
- Verburg, P.H., Schot, P.P., Dijst, M.J. and Veldkamp, A., 2004. Land use change modelling: current practice and research priorities. *GeoJournal*, 61(4), pp. 309-324.
- Wang, J., Lv, J., Zhang, W., Chen, T., Yang, Y. and Wu, J., 2022. Land-use pattern evaluation using GeoSOS-FLUS in National territory Spatial planning: a case study of Changzhi City, Shanxi Province. *Sustainability*, 14(21), 13752. <https://doi.org/10.3390/su142113752>
- Youssef, A.M., Pradhan, B. and Hassan, A.M., 2011. Flash flood risk estimation along the St. Katherine Road, southern Sinai, Egypt using GIS based morphometry and satellite imagery. *Environmental Earth Sciences*, 62(3), pp. 611-623. <https://doi.org/10.1007/s12665-010-0551-1>
- Zhu, W. and Xia, W., 2023. Effects of atmospheric correction on remote sensing statistical inference in an aquatic environment. *Remote Sensing*, 15(7), 1907. <https://doi.org/10.3390/rs15071907>
- Zimmermann, H.J., 2011. Fuzzy set theory and its applications. Springer Science and Business Media, p.1.