مجلة كلية الآداب بالوادي الجديد- مجلة علمية محكمة- ديسمبر ٢٠٢٤م

نمذجة الملاءمة المكانية لتخطيط النمو الحضري في محافظة القاهرة باستخدام التقنيات الجيومكانية

محمد ربيع عبد الظاهر(*) & **الطاهر محمد محمود شمس**(**)

ملخص

سعت الدراسة إلى نمذجة الملاءمة المكانية للنمو الحضري في محافظة القاهرة، من خلال تطبيق التحليل متعدد المعايير(Multi- Criteria Decision Analysis (MCDA في بيئة نظم المعلومات الجغرافية بالتكامل مع منهجية التحليل الهرمي Analytic Hierarchy Process (AHP)، من خلال تحليل منهجي لعدد ١٩ معيارًا مكانيًا تشمل الأبعاد الجغرافية للتخطيط الحضري وهي الأبعاد الطبيعية، والبيئية، والاجتماعية، والعمرانية، والاقتصادية. وقد تم تحديد أوزان المعايير باستخدام مصفوفات المقارنة الزوجية، وتم بناء نموذج التراكب الموزون (Weighted Overlay) لتحديد درجات الملاءمة، حيث تم تصنيف المنطقة إلى خمس فئات تبدأ من منخفضة جدًا حتى مرتفعة جدًا ، وكشفت النتائج أن الفئة الأعلى ملاءمة بلغت مساحتها ٧٥٠,٧ كم٢ (٢٣,٤٪) وتتركز في العاصمة الإدارية وجنوب القاهرة الجديدة وشمال مدينة بدر ، بينما غطت الفئة المرتفعة مساحة ٥٥٤,٧ كم٢ (١٧,٣٪) حول تلك النطاقات، مع وجود خصائص داعمة مثل البنية التحتية، القرب من شبكات النقل ومحاور الطرق السريعة، وانعدام العوائق البيئية والأمنية. أما الفئات المتوسطة، المنخفضة، والمنخفضة جدًا فبلغت مساحاتها ٧٠٢,٥ كم٢ (٢١,٩٪)، و٤٥٩,٦ كم٢ (١٤,٣٪)، و١١٧,٧ كم٢ (٣,٧٪) على الترتيب، وتنتشر في الأطراف الأقل جاهزية للنمو الحضري المحتمل. تم تقييم دقة النموذج باستخدام منحنى ROC، حيث حقق AUC=0.912، ما يدل على كفاءة عالية في التنبؤ بمواقع التوسع المحتملة. وقد أظهرت مقارنة نتائج التحليل مع تقرير دعم تخطيط وإدارة التنمية بالقاهرة الكبرى (٢٠٢٣) توافقًا قويًا في التوجهات، خاصة نحو الشرق والجنوب الشرقي. كما خلصت الدراسة إلى سيناريوهات تخطيطية تقترح توجيه النمو إلى مناطق الملاءمة المرتفعة جدًا خلال الخطة الأولى (٢٠٢٥–٢٠٣٠)، وتوسيع الامتداد نحو المناطق المرتفعة والمتوسطة لاحقًا، مما يُعد إطارًا علميًا فعالًا لدعم اتخاذ القرار المكاني وفقا لرؤية مصر ٢٠٣٠.

الكلمات المفتاحية :التحليل الهرمي، المعايير الجغرافية للتخطيط، الملاءمة المكانية، النمو الحضري المحتمل، السيناريوهات التخطيطية.

(*) مدرس التخطيط ونظم المعلومات الجغرافية بقسم الجغرافيا، كلية الآداب، جامعة بني سويف.
(**) مدرس نظم المعلومات الجغرافية، قسم الموارد الطبيعية والطاقة، جامعة دمنهور.

Spatial suitability modeling for urban growth planning in Cairo Governorate using geospatial techniques

Abstract

This study aimed to evaluate the spatial suitability for urban growth in Cairo Governorate by applying Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA) within a Geographic Information Systems (GIS) environment, integrated with the Analytic Hierarchy Process (AHP). A systematic analysis was conducted based on 19 spatial criteria encompassing the geographic dimensions of urban planning: natural, environmental, social, urban, and economic. Criterion weights were determined using pairwise comparison matrices, and a Weighted Overlay model was constructed to assess suitability levels. The study area was classified into five categories ranging from Very Low to Very High suitability. The results revealed that areas of Very High suitability covered 750.7 km² (23.4%), primarily concentrated in the New Administrative Capital, southern New Cairo, and northern Badr, owing to the presence of robust infrastructure, proximity to major transport networks and highways, and the absence of environmental or security constraints. The High suitability category covered 554.7 km² (17.3%), forming a surrounding belt with comparable advantages. Meanwhile, the Moderate, Low, and Very Low categories accounted for 702.5 km² (21.9%), 459.6 km² (14.3%), and 117.7 km² (3.7%) respectively, mostly located in peripheral zones with lower development readiness. Model accuracy was evaluated using the (ROC) curve, achieving an AUC value of 0.912, indicating high predictive reliability. Comparison with the 2023 Greater Cairo Urban Development Support Report demonstrated strong alignment, particularly in the eastern and southeastern expansion corridors. The study proposed planning scenarios that prioritize urban growth within Very High suitability zones during the first planning phase (2025–2030), with subsequent expansion toward High and Moderate suitability areas, offering a scientifically grounded framework to support spatial decision-making aligned with Egypt's Vision 2030.

Keywords: Analytic Hierarchy Process, Geospatial Planning Criteria, spatial suitability, Potential Urban Growth, planning scenarios.

مقدمة:

شهد العالم خلال العقود الأخيرة تحولًا عمرانيًا متسارعًا يُعد من أبرز الظاهرات المكانية والاجتماعية التي أعادت تشكيل النسيج الحضري ومحيطه. ويعزى هذا التحول إلى تفاعل مجموعة من العوامل، في مقدمتها النمو السكاني، وتزايد معدلات الهجرة الداخلية والخارجية، إلى جانب تغيّر أنماط استخدام الأراضي. وقد أدّت هذه المتغيرات إلى تفاقم الضغوط على الموارد الطبيعية، والبنية التحتية، والخدمات الأساسية، مما نتج عنه اختلالات عمرانية وبيئية متراكمة. ويُعد النمو الحضري العشوائي وغير المخطط أحد أبرز التحديات المعاصرة، لما يُسببه من مشكلات تتجلى في تشويه المنظر الحضري، وتراجع الأراضي الزراعية، وارتفاع نسب الفقر الحضري، فضلًا عن تفاقم التدهور البيئي (Falah et al., 2020, p235).

وتشير التقديرات إلى أن المناطق الحضرية مقرر أن تستوعب نحو ٦٠٪ من سكان الريف عالميًا بحلول عام ٢٠٥٠، ما يفرض ضرورة بناء مدن آمنة ومرنة ومستدامة من أجل مجابهة ذلك، وتُعد النماذج الحضرية أداة كمية أساسية لدعم التخطيط الحضري، وإدارة الموارد، وتقييم ملاءمة الأراضي، رغم محدودية قدرتها في تحليل العلاقات المكانية. كما تسهم التقنيات الجغرافية المكانية، والاستشعار من البُعد، ونظم المعلومات الجغرافية في تحسين دقة نمذجة التوسع الحضري، من خلال رصد وتحليل التغيرات المورفولوجية بفعالية(Theres et al., 2023, p296).

وتمثل محافظة القاهرة نموذجًا حيًا لتحديات التحضر المتسارع في المدن الكبرى، حيث تشهد العاصمة المصرية توسعًا عمرانيًا مستمرًا يتسم بعدم الاتزان المكاني والوظيفي، وتزايد في العشوائيات، وتراجع في كفاءة توزيع الخدمات، فضلًا عن التعدي المتواصل على الأراضي الزراعية. ورغم الجهود التخطيطية المتعاقبة، فإن العديد من مظاهر الامتداد غير المنظم لا تزال قائمة، مما يستدعي إعادة النظر في أدوات دعم القرار الحضري من منظور مكاني منهجي.

وتكمن الحاجة هنا إلى تبنّي أدوات كمية متقدمة قادرة على تحليل وتقييم ملاءمة الأرض للتوسع الحضري، بناءً على عدد من المعايير المكانية والبيئية والاقتصادية والخدمية التي تؤثر في اتخاذ القرار التخطيطي، ويُعد التحليل متعدد المعايير (Multi-Criteria Decision Analysis – MCDA) من أكثر هذه الأدوات فاعلية، حيث يُمكن دمج معايير متعددة الأبعاد بطريقة منهجية تسهم في تحديد أولويات التوسع واختيار المواقع الأنسب لاحتواء النمو المستقبلي (Akbari et al., 2019, p. 591).

ويكتسب تحليلMCDA فاعليته القصوى عند تطبيقه داخل بيئة نظم المعلومات الجغرافية، والتي توفر بُعدًا مكانيًا دقيقًا للتحليل، من خلال تمثيل البيانات المكانية وتحليل العلاقات المكانية بينها،

مما يسهم في إنتاج خرائط لدعم القرار المكاني تساعد الجهات المختصة على التخطيط الأنسب لاستخدامات الأرض، وتوجيه التنمية العمرانية نحو المناطق القادرة على استيعاب النمو بأقل تكلفة مكانية وبيئية ممكنة (Ustaoğlu et al., 2020,p2).

موضوع الدراسة وأهميتها:

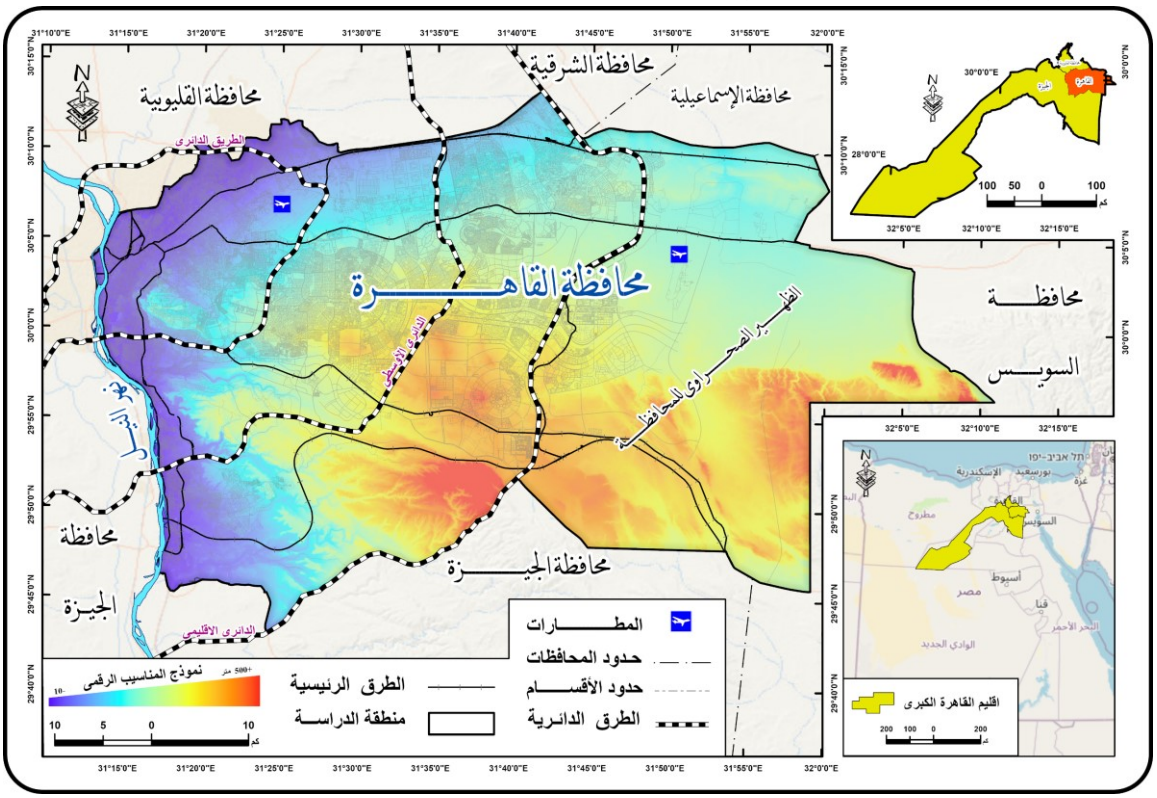
تركز هذه الدراسة على تقييم وتوجيه النمو الحضري في محافظة القاهرة، عبر استخدام أدوات التحليل المكاني الكمي، من خلال دمج التحليل متعدد المعايير (MCDA) مع نظم المعلومات الجغرافية لإنتاج نموذج مكاني قادر على المساهمة في دعم قرارات التخطيط الحضري، ويأتي هذا الاهتمام نتيجة التسارع غير المنضبط في التوسع الحضري داخل المحافظة، والضغط المتزايد على الموارد والخدمات، في ظل معدلات نمو سكاني مرتفعة وتوسع عمراني غير موجه.

ويمثل غياب التخطيط المكاني القائم على أسس كمية ومكانية دقيقة أحد العوامل الجوهرية في تفاقم المشكلات الحضرية بالقاهرة، مثل الزحف العشوائي على الأراضي الزراعية، وتدهور كفاءة البنية التحتية، واختلال توزيع الخدمات؛ لذا تُبرز هذه الدراسة أهمية استخدام أدوات تحليلية قادرة على دمج مجموعة من المعايير الجغرافية، البيئية، والاقتصادية في تقييم ملاءمة الأرض للتوسع الحضري، بما يدعم رسم سياسات أكثر استدامة وعدالة مكانية.

وتُعد منهجية التحليل متعدد المعايير داخل بيئة نظم المعلومات الجغرافية من الأدوات الفعالة في بناء خرائط دعم القرار، لما توفره من قدرة على التعامل مع البيانات المكانية المعقدة ودمج الأوزان النسبية للعوامل المؤثرة في التخطيط. ومن خلال هذا الدمج تسعى الدراسة إلى بناء نموذج مكاني تطبيقي يتيح تحديد المناطق الأنسب للتوسع الحضري، وتقديم بدائل تخطيطية قابلة للتنفيذ. وتكمن أهمية هذه الدراسة في أنها تقدم إطارًا عمليًا ممنهجاً يمكن توظيفه من قبل متخذي القرار والمخططين الحضريين لتوجيه النمو الحضري في القاهرة، استنادًا إلى تحليل مكاني متعدد الأبعاد. كما يمكن ان تُسهم في سد فجوة بحثية قائمة في الأدبيات المحلية، حيث تفتقر العديد من الدراسات السابقة إلى الدمج المتكامل بين أدوات MCDA وGIS في سياق التخطيط الحضري المصري، مما يُعزز من القيمة التطبيقية والمنهجية للدراسة، ويفتح المجال لتكرار النموذج في مدن أخرى تعاني من تحديات مشابهة.

منطقة الدراسة:

تحتل محافظة القاهرة موقعًا استراتيجيًا فريدًا في قلب جمهورية مصر العربية، حيث تقع بين دائرتي عرض ٢٩° ٤٨′ و٣٠° ١٨′ شمالًا وخطي طول ٣١° ١٠′ و٣١° ٣٦′ شرقًا، ما يمنحها مركزية جغرافية تجعلها حلقة وصل بين الدلتا والصعيد، وساحل البحر الأحمر وغرب الوادي– شكل (١). وتتوسط القاهرة إقليم القاهرة الكبرى الذي يضم أيضًا محافظتي الجيزة والقليوبية، ويُعد أكبر تكتل عمراني وسكاني في البلاد، وتمتد مساحة محافظة القاهرة إلى نحو ٣٢١٠.٢ كم٢، أي ما يمثل حوالي ٧.٦٪ من إجمالي مساحة إقليم القاهرة الكبرى البالغة نحو ٤٢٢٤٣.٥ كم٢ بواقع ٣٣٦٧٩.٣ كم٢ للجيزة و١٣٥٤ كم٢ للقليوبية.



المصدر: اعتمادا على الحدود المحدثة لمحافظات الجمهورية وفقًا للقرار الجمهوري رقم (٩٦) لعام ٢٠٢٣.

شكل (١) الموقع والعلاقات المكانية لمنطقة الدراسة عام ٢٠٢٣.

وتتكون محافظة القاهرة من ٤٧ قسمًا إداريًا، تضم ما يقرب من ٣٦٠ شياخة، مع تفاوت ملحوظ في عدد الشياخات من قسم لآخر. وجاء الظهير الصحراوي ليضم العدد الأكبر حوالى ٢٦ شياخة، بينما يأتي قسم التبين في المرتبة الثانية ٢٠ شياخة، في حين يُعد قسم شبرا الأقل بواقع أربع شياخات فقط. معظم الأقسام الأخرى يتراوح عدد الشياخات فيها بين ٥ و١١ شياخة، وهو ما يعكس التباين في الكثافة السكانية وطبيعة كل منطقة داخل القاهرة. والجدير بالذكر أن المساحة العمرانية الحالية

بمحافظة القاهرة بلغت ٦٢٥ كم٢ عام ٢٠٢٤، أي ما يعادل ١٩.٥٪ فقط من إجمالي مساحة محافظة القاهرة، وهو ما يعكس مدى تركّز الأنشطة الحضرية في نطاق محدود، مقابل مساحات واسعة ما زالت خارج إطار التنمية العمرانية.

وتتجلى أثر العلاقات المكانية للقاهرة من خلال ارتباطها المباشر بشبكة طرق قومية وإقليمية متطورة، مثل الطريق الدائري الإقليمي والدائري الأوسطي، وطريق القاهرة – العين السخنة، ومحور محمد بن زايد، الذي يربطها مباشرةً بمشروع العاصمة الإدارية الجديدة في شرق المدينة. هذا الربط عزز مكانة القاهرة كمركز إشعاع عمراني ووظيفي وطني، خاصة مع توجه الدولة نحو إعادة التوازن العمراني عبر دعم محاور التنمية المحيطة بها (دربالة، حلمي، ٢٠٢٢، ص. ٦).

ولا تقتصر البنية التحتية للقاهرة على الطرق فقط، بل تمتد لتشمل شبكة مترو الأنفاق بخطوطه الثلاثة، ومشروع المونوريل الجاري تنفيذه لربط شرق وغرب القاهرة بالعاصمة الإدارية ومدينة ٦ أكتوبر، إلى جانب السكك الحديدية التي تمر في المنطقة. هذا التكامل بين البنى التحتية التقليدية والحديثة يعزز من الوظيفة المركزية للقاهرة كعاصمة سياسية وإدارية واقتصادية، حيث تحتضن الوزارات السيادية، والمقار الرئاسية، والمؤسسات الدولية، فضلاً عن كونها مركزًا ثقافيًا وعلميًا وسياحيًا محليًا وإقليميًا.

وتأتي أهمية الموقع الجغرافي للقاهرة أيضًا من كونها قطب النمو الأساسي للعمران في مصر، إذ تمثل النواة المركزية للتوسع العمراني والتحديث المؤسسي والاقتصادي، وتُعد العاصمة الإدارية امتدادًا لهذا الدور، ومع تصاعد التحديات العمرانية مثل الضغط السكاني، والزحف غير المنظم، وتدهور الخدمات، وتبرز الحاجة الملحة لتدخلات تخطيطية حضرية منهجية تعيد توزيع الكثافات، وتُحسن كفاءة استخدام الأرض، وتدعم العدالة المكانية في الوصول إلى الموارد، وهو ما يُعزز أهمية تطبيق أدوات التخطيط المكاني والتحليل الكمي في إدارة النمو المستقبلي للقاهرة .

إشكالية الدراسة:

تتمثل المشكلة الرئيسية في التوسع الحضري السريع وغير المنظم الذي تشهده محافظة القاهرة، والذي أدى إلى ضغوط متزايدة على شبكات البنية التحتية، والبيئة الحضرية. هذا التوسع، والذي غالبًا ما يتم خارج الأطر التخطيطية الرسمية، يعكس فجوة واضحة بين الواقع الحضري المتغير والأدوات التحليلية المستخدمة في دعم القرار التخطيطي. ورغم ما يُمثله التخطيط الحضري من أهمية في توجيه هذا النمو، إلا أن الممارسات التخطيطية الحالية لا تستند إلى أدوات مكانية كمية كافية لتقييم ملاءمة التوسع الحضري على أسس علمية شاملة. كما يُلاحظ ضعف في توظيف تقنيات التحليل متعدد المعايير داخل بيئة نظم المعلومات الجغرافية، رغم قدرتها العالية على دمج عوامل بيئية، واجتماعية، واقتصادية ضمن نموذج مكاني واحد.

ويُواجه التخطيط الحضري تحديًا يتمثل في غياب خرائط محدثة للملاءمة المكانية قابلة للتطبيق العملي، مما يعزز استمرار الاعتماد على الأساليب التقليدية ويحدّ من كفاءة توجيه النمو العمراني، لاسيما في ظل التسارع المتزايد للتغيرات المكانية وتنامي الضغوط السكانية على الفضاءات الحضرية.

أهداف الدراسة:

تهدف الدراسة إلى تحقيق الأهداف العلمية التالية: –

١. تحليل واقع النمو الحضري في محافظة القاهرة، وتحديد أنماط التوسع المكاني وأهم التحديات المرتبطة به.

٢. تطبيق منهجية التحليل متعدد المعايير (MCDA) لتقييم ملاءمة الأراضي للتوسع الحضري، من خلال دمج مجموعة من العوامل الجغرافية، والبيئية، والاجتماعية، والاقتصادية.

٣. توظيف نظم المعلومات الجغرافية في إنتاج خريطة مكانية توضح أولويات التوسع الحضري المستقبلي، بما يدعم التخطيط الحضري المستدام ويحد من الزحف العشوائي.

٤. اقتراح إطار تخطيطي مكاني يمكن استخدامه من قبل الجهات المعنية لتوجيه التوسع الحضري وفقاً للسيناريوهات التخطيطية.

الدراسات السابقة:

تشير الدراسات إلى تنامي الاعتماد على نمذجة الملاءمة المكانية كأداة علمية داعمة لتخطيط التوسع الحضري، حيث تم توظيف التحليل المكاني ونماذج التنبؤ لاقتراح المواقع الأنسب للنمو الحضري، مع مراعاة الأبعاد البيئية والاجتماعية والاقتصادية.

وتُعد دراسة **الغامدي ولدرع (٢٠٠٦)** من أوائل المساهمات النظرية التي تناولت العلاقة المتبادلة بين النمذجة العمرانية ونظم المعلومات الجغرافية في هذه الدراسة، حيث ركز الباحثان على دور النمذجة في تحليل الظواهر العمرانية وتفسير ديناميكيات التحضر، مؤكدين أهمية دمج GIS في تطوير خطط النمو المستقبلي للمدن.

وفي السياق ذاته، هدفت دراسة **الكناني والجابري (٢٠١٢)** إلى تحديد المواقع الأنسب للنمو في مدينة الكوت للفترة (٢٠١٠–٢٠٤٠) باستخدام أداة التراكب الموزون (Weighted Overlay) ضمن بيئة نظم المعلومات الجغرافية، مع مراعاة الحفاظ على الموارد الطبيعية وتجنّب التوسع على الأراضي الزراعية والثروات المعدنية. وقد توصلت الدراسة إلى خريطة ملاءمة مكانية تدعم مبادئ التنمية الحضرية المستدامة.

وفي دراسة **Effat and El Shobaky (2015)**، تم توظيف صور الأقمار الاصطناعية متعددة التواريخ مع مؤشر شانون إنتروبيا لتحليل الزحف العمراني في مدينة القاهرة خلال الفترة من

١٩٨٤ إلى ٢٠١٣، حيث أظهرت النتائج تزايدًا مكانياً من ١.٤٦١٥ إلى ٢.١٠٢٣، مما يعكس اتساع النمو الحضري في مناطق الأطراف، ويبرز أهمية المؤشرات المكانية في توجيه السياسات العمرانية.

وفي مصر، اعتمدت دراسة **Abu El Ela, H. S. (2017)** على نموذج التفاعل التلقائي للخلايا SLEUTH لتحديد الاتجاهات المستقبلية للتوسع في مدينة دمنهور، من خلال تحليل خصائص الموقع وصور الأقمار الاصطناعية، مما مكن من تقديم سيناريوهات مكانية متعددة للنمو العمراني.

أما دراسة **عزاز (٢٠١٩)** فقد تناولت تطور النمو السكاني والعمراني في مدينة مسقط، مستعرضةً العوامل الجغرافية المؤثرة في التوسع الحضري، وتوجهاته المختلفة، من خلال تحليل المراحل التاريخية والبيانات السكانية المتوفرة، مما ساعد في فهم سياقات النمو الحضري بمنهج مكاني وتاريخي متكامل.

وفي تطبيق أكثر تقدمًا، قدم **Akbari et al. (2019)** نموذجًا يعتمد على التحليل متعدد المعايير والمنطق الضبابي لتحديد المناطق الأنسب للتوسع في شرق إيران، وركّز على العوامل البيئية مثل تعرية التربة والمخاطر المناخية، مما ساعد في توجيه التخطيط الحضري في البيئات القاحلة.

بينما استخدم **سليمان (٢٠٢٠)** تقنيات التحليل الزمني للصور الفضائية لتقييم التوسع العمراني في مدينة الموصل خلال أربعة عقود، موضحًا تأثير النمو السكاني على أنماط استخدام الأرض، كما قدّم رؤية كمية للتغيرات المكانية في العلاقة بين الغطاء الأرضي والنشاط العمراني.

وفي الأردن، دمجت دراسة **Gharaibeh et al. (2020)** بين التحليل الهرمي التحليلي AHPونظم المعلومات الجغرافية لنمذجة الملاءمة العمرانية في بلدة النعيمة، حيث ساهمت مخرجات النمذجة في دعم اتخاذ القرار العمراني في ظل أزمة اللجوء السوري وضغط الموارد.

أما عن دراسة **Saxena et al. (2020)** فاعتمدوا نموذج SLEUTH مع AHP لتخطيط نمو مدينة أجمر الهندية حتى عام ٢٠٤٠، مستفيدين من القدرة التنبؤية العالية للنمو الحضري، وتوظيف القيود البيئية والمكانية ضمن النموذج لتحسين كفاءة التوسع.

وفي المملكة العربية السعودية، وظفت دراسة **الجابري (٢٠٢١)** التحليل المكاني مع تقنية AHPلتحديد مناطق التوسع الأنسب في مدينة مكة المكرمة، وركّزت على التوازن بين المعايير البيئية والاجتماعية والجغرافية لإعداد خريطة إرشادية للتخطيط العمراني.

حديثًا، طورت دراسة **العبيدي والشويش (٢٠٢٣)** نموذج ملاءمة مكانية لمدينة بدر باستخدام نظم المعلومات الجغرافية وتوزيع الأوزان النسبية لعوامل مثل الانحدار، التربة، والقرب من البنية التحتية، مما أسفر عن خريطة تفصيلية للمناطق الأنسب للتوسع المستقبلي.

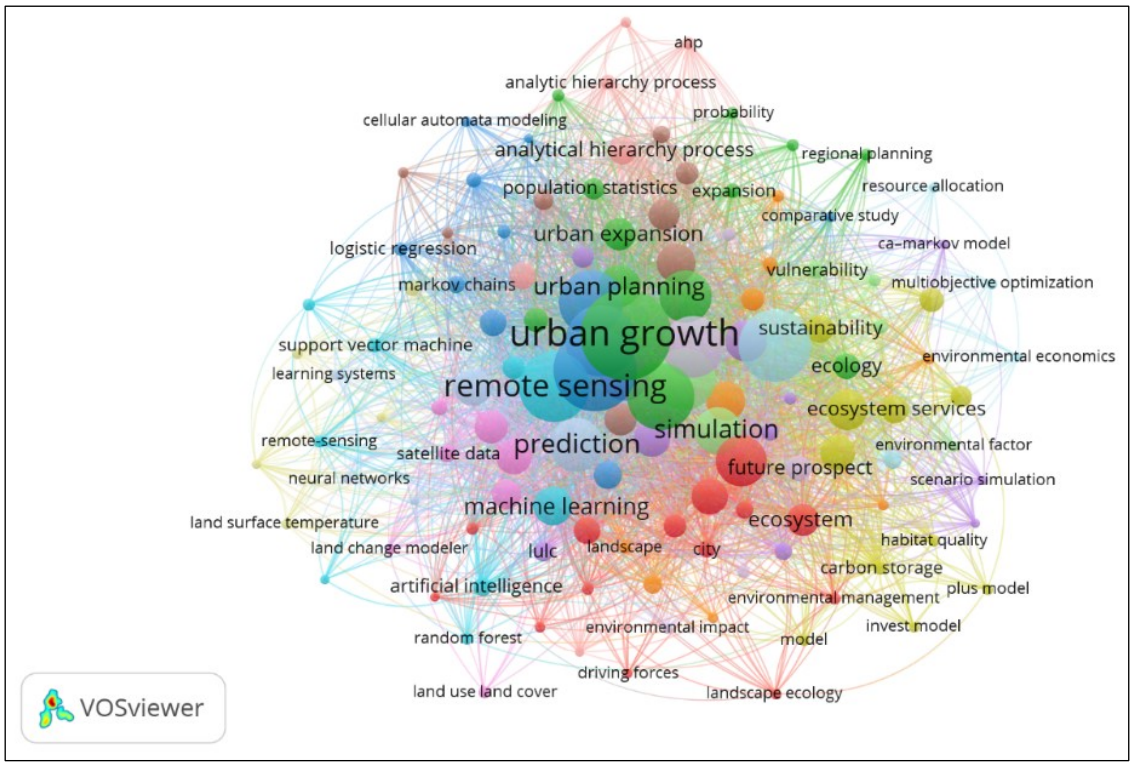
كما دمجت دراسة **عبد الظاهر (٢٠٢٣)** نموذج نسبة التكرار Frequency Ratio لتحليل النمو الحضري في مدينة السويس، مستندة إلى مؤشرات طبيعية واجتماعية واقتصادية، وأسهمت مخرجاتها في دعم اتخاذ القرار العمراني حتى عام ٢٠٣٧.

واستخدمت دراسة **أشرف عبده ونرمين شكري (٢٠٢٤)** الشبكات العصبية الاصطناعية بالتكامل مع نظم المعلومات الجغرافية لتحليل النمو العمراني في المدينة المنورة من العهد النبوي حتى ٢٠٢٢. وقدمت الدراسة نمذجة مكانية متطورة لتوقع اتجاهات التوسع، وربطها بالتحولات الديموغرافية والتاريخية والعوامل الجغرافية.

وفيما يخص **الفجوة البحثية**، على الرغم من تنوع الدراسات السابقة التي تناولت تخطيط النمو الحضري باستخدام التحليل متعدد المعايير، ونماذج التنبؤ الديناميكية، وتقنيات نظم المعلومات الجغرافية، إلا أن معظمها ركز على جانب واحد فقط من العملية التخطيطية إما تقييم الملاءمة المكانية بشكل منفصل، أو محاكاة التوسع الحضري دون دمج حقيقي للسياسات والمعايير البيئية والاجتماعية ضمن النمذجة. كما أن عددًا من هذه الدراسات، خصوصًا في السياق العربي، اكتفى بتطبيق نماذج معيارية على نطاقات محدودة، أو اعتمد على بيانات منخفضة الدقة، دون دمج منهجي بين أدوات التحليل المكاني والنماذج التنبؤية القادرة على توليد سيناريوهات مكانية واقعية قابلة للتخطيط. وتُظهر هذه الفجوة بوضوح الحاجة إلى دراسات تدمج بين نمذجة الملاءمة المكانية والتحليل متعدد المعايير داخل بيئةGIS، وتوظّف هذه المنهجية لدعم تخطيط توسع حضري مستقبلي فعلي، قائم على أسس كمية، ومرتبط بالسياق المحلي من حيث الخصائص الجغرافية، وضغوط النمو، وحدود البنية التحتية. وعليه، تسعى هذه الدراسة إلى سد هذه الفجوة من خلال تطوير نموذج مكاني متكامل لتحديد المناطق الأنسب للتوسع الحضري بمحافظة القاهرة، اعتمادًا على منهجية متعددة المعايير، مدعومة بنظم المعلومات الجغرافية، بما يعزز فعالية التخطيط المكاني في مواجهة التحديات الحضرية المتزايدة وفقا للسيناريوهات التخطيطية المقترحة.

التحليل الببليومتري لدراسات النمو الحضري:

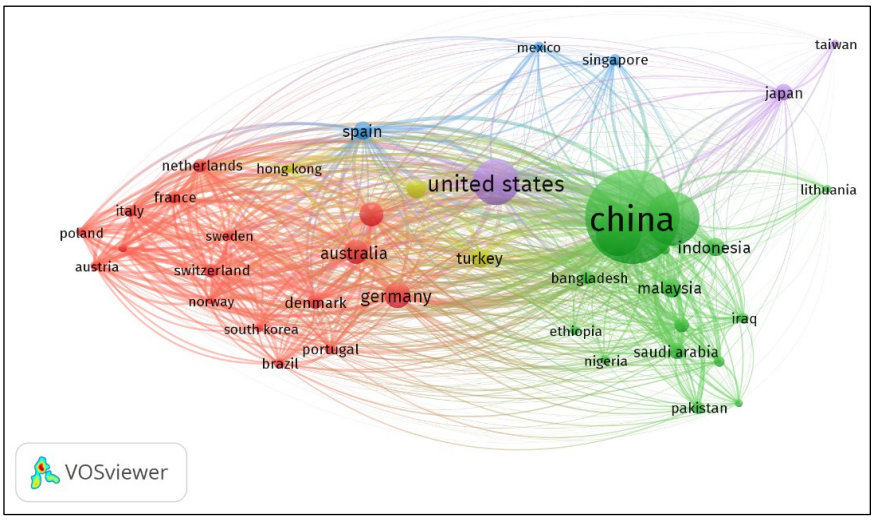
يُعد التحليل الببليومتري أداة فعّالة لفهم الاتجاهات البحثية في مجال النمو الحضري من خلال تتبع النشر العلمي وتوزيعه الزمني والجغرافي، وقد تم تنفيذ هذا التحليل اعتمادًا على بيانات مستخلصة من قاعدتي Scopusو Web of Science، مع التركيز على الدراسات المنشورة خلال السنوات العشر الأخيرة (٢٠١٤–٢٠٢٤) – شكل (٢)، ويهدف هذا التحليل إلى الكشف عن أبرز الموضوعات والكلمات المفتاحية، وأهم الدول والمؤسسات المساهمة في هذا مجال الدراسة.



المصدر: إعداد الباحثان اعتمادا على قواعد بياناتScopus وWeb of Science

شكل (٢) التكرارات المشتركة للكلمات المفتاحية المستخلصة.

تبين من الشكل (٢)، والذي يُظهر التحليل الببلومتري بنية معرفية مركزة تضم ٣٥٨ مصطلحًا رئيسيًا موزعة على ثلاث مجموعات موضوعية رئيسية ويتصدر النمو الحضري Urban Growth قائمة المفاهيم من حيث التكرار والارتباط، بما يعكس مكانته المركزية في الأبحاث المتعلقة بتحولات المدن واستخدامات الأرض. ويجدر بالذكر أن مفهوم التخطيط الحضريUrban Planning يرتبط بالنمو الحضري مباشرة باعتباره الأداة المفاهيمية والإجرائية لتوجيه النمو المكاني وتنظيم التوسع الحضري بما يحقق التوازن بين التنمية والحفاظ على الموارد، كما سجلت مفاهيم مثل الاستدامة، والتحليل المكانيSpatial Analysis ، وملاءمة الأرض Land Suitability حضورًا بارزًا في بنية المفاهيم، بما يدل على اهتمام بحثي متزايد بتقييم المواقع ودعم القرار المكاني في التخطيط الحضري. وتبرز أدوات مثل نظم المعلومات الجغرافية والتحليل متعدد المعايير MCDA كوسائل تحليلية محورية، لما توفره من قدرة على دمج مؤشرات مكانية وبيئية واجتماعية متعددة في تقييم ملاءمة التوسع. ويُشير هذا التوجه إلى تحوّل معرفي واضح نحو مقاربات كمية تطبيقية قائمة على البيانات المكانية الدقيقة، تسهم في تقديم حلول تخطيطية أكثر واقعية واستجابة للتحديات الحضرية.



المصدر: إعداد الباحثان اعتمادا على قواعد بيانات Scopus و Web of Science

شكل (٣) التعاون العلمي الدولي في مجال التخطيط والنمو الحضري

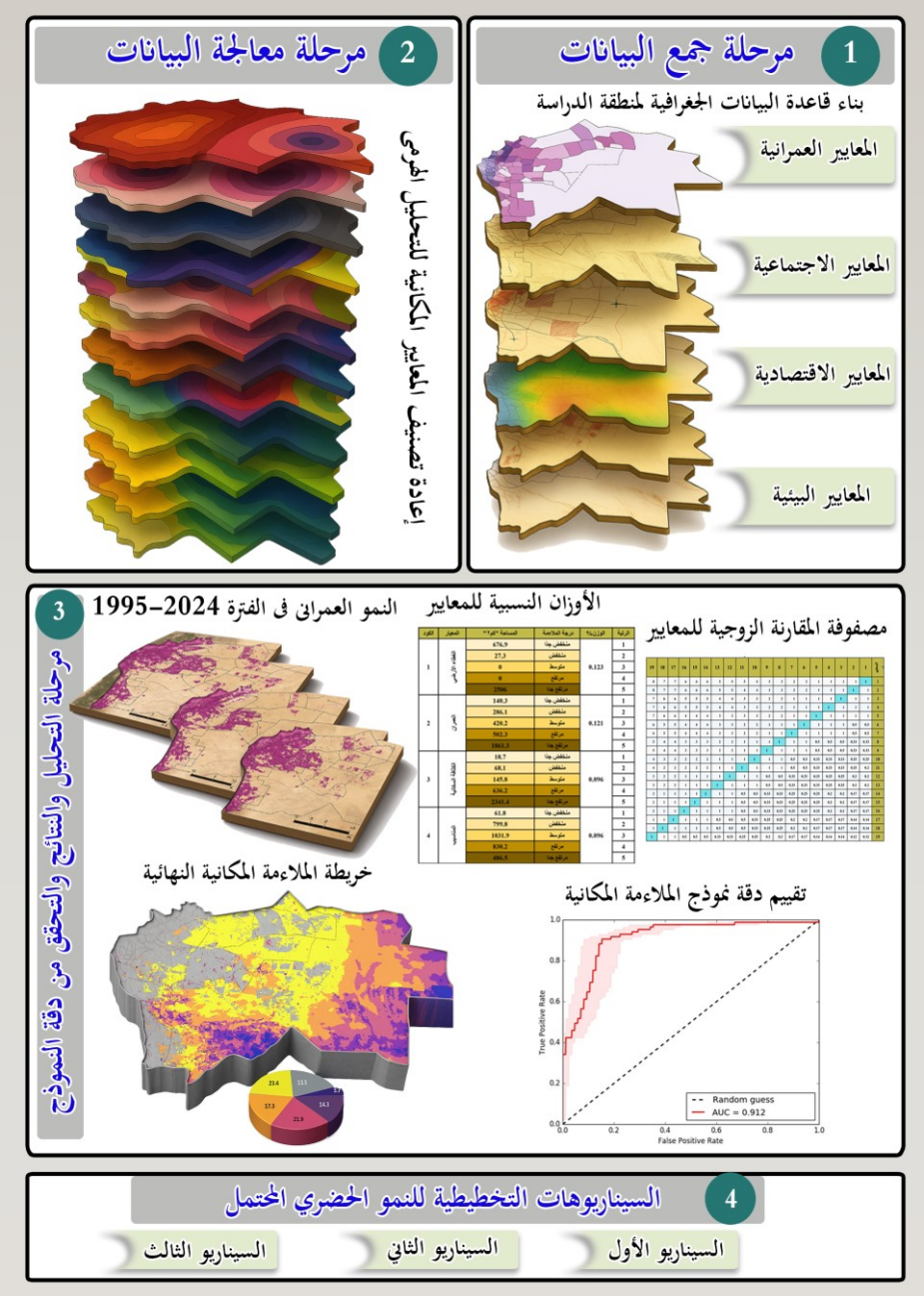
ويبين الشكل (٣) أن حجم الإنتاج البحثي ومستوى الشراكات العابرة للحدود في ازدياد مستمر. حيث تتصدر الصين والولايات المتحدة هذا المجال من حيث عدد الأوراق المنشورة وقوة الروابط العلمية، بما يعكس شبكات تعاون واسعة النطاق. ويُعزى التفوق الصيني إلى استراتيجية بحثية وطنية مدعومة، وبنية أكاديمية قوية، واستثمار منهجي في تقنيات التحليل المكاني ونظم المعلومات الجغرافية، إلى جانب انخراط فعال في شراكات مع دول آسيوية وأفريقية. بينما تتميز الولايات المتحدة بتنوع موضوعي وشراكات بحثية نوعية، خاصة في مجالات التخطيط الحضري والاستدامة، رغم إنتاجها الكمي الأقل نسبيًا. كما تُظهر دول مثل ألمانيا، المملكة المتحدة، إيران، وأستراليا مستويات متوسطة من النشاط البحثي، بفضل تعاون دولي منتظم واهتمام متزايد بتقييم الملاءمة المكانية وتطبيقات GIS و MCDA في إدارة النمو الحضري. أما الدول النامية، مثل نيجيريا وبنجلاديش، فتُسجل معدلات إنتاج وتعاون منخفضة، تُعزى إلى ضعف التمويل، وغياب سياسات بحثية فعالة، ونقص البنية التقنية.

منهجية الدراسة وأساليبها:

تتألف المدينة، من منظور الجغرافي، من ثلاثة متغيرات رئيسة: السكان، والأرض، والخدمات. وتتفاعل هذه المتغيرات فيما بينها بصورة معقدة، مما يُضفي على المدينة طابعًا من التشابك والتداخل في مكوناتها. وبناءً على ذلك، تنوعت طرق البحث وتعددت المناهج وأساليب التعامل مع معطيات المدينة بدرجة كبيرة (السهلاني، ٢٠٢٢، ص ١٧). وفي ضوء ذلك، اعتمدت هذه الدراسة على منهج تحليلي كمي، يوظف تقنيات نظم المعلومات الجغرافية (GIS) والنمذجة المكانية لرصد وتحليل التوسع الحضري. وقد مرت الدراسة بالمراحل التالية:

المرحلة الأولى: جمع البيانات واختيار المعايير المؤثرة في التوسع الحضري:

يمثّل اعتماد الأسلوب العلمي في اختيار مناطق التوسع والتنمية العمرانية، مع مراعاة الأبعاد الاجتماعية، واحتساب المساحات المطلوبة وفق معايير مدروسة الهدف الرئيس والمباشر للتوسع الحضري. ويُعد ذلك تحديًا جوهريًّا أمام مخططي المدن وصناع القرار، بهدف تلبية احتياجات السكان الإنسانية ضمن إطار شامل، يستند إلى منهجية علمية دقيقة تراعي العوامل البيئية، والاقتصادية، والاجتماعية (الكناني والجابري، ٢٠١٢، ص ٢٤٥).



المصدر: إعداد الباحثان.

شكل (٤) مخطط منهجية الدراسة

وفي هذا الإطار، اعتمدت الدراسة الحالية على اختيار تسعة عشر معيارًا رئيسيًا يُمثل كل منها عاملًا مؤثرًا في توجيه النمو الحضري المحتمل بمحافظة القاهرة- شكل (٤). جرى تحديد هذه المعايير بناءً على مراجعة الدراسات السابقة، وتحليل خصائص منطقة الدراسة، وآراء الخبراء المختصين في مجال الدراسة. وقد تم تصنيفها إلى أربع مجموعات رئيسية وهم المعايير الاقتصادية التي تضم مواقع المحاجر والمصانع؛ والمعايير الاجتماعية التي تمثل الكثافة السكانية ومراعاة توزيعهم وفقا للمساحة العمرانية أو المأهولة؛ والمعايير الطبيعية والبيئية المتعلقة بخصائص الأرض والبنية الجيومورفولوجية؛ بالإضافة إلى المعايير العمرانية والبنية التحتية التي ترتبط بإمكانية الوصول والربط المكاني.

وتم جمع البيانات الخاصة بهذه المعايير من مصادر موثوقة ومتنوعة، مثل صور الأقمار الاصطناعية، والخرائط الرقمية، والبيانات الإحصائية، وتمت معالجتها وتحليلها في بيئة نظم المعلومات الجغرافية لتكون أساسًا علميًّا متينًا في تقييم ملاءمة التوسع الحضري المستقبلي ودعم اتخاذ القرار التخطيطي.

١- المعايير العمرانية:

تُدرج المعايير العمرانية ضمن أبرز المحددات في تقييم التوسع الحضري، حيث تعكس درجة التداخل مع مكونات البنية التحتية والوظائف الحضرية القائمة. وتشمل هذه المعايير الطرق السريعة، خطوط المترو، المونوريل، السكك الحديدية، المطارات، والمناطق العسكرية، وتُستخرج البيانات من مصادر مفتوحة مثل OpenStreetMap وGoogle Earth Pro، ويتم تحويلها إلى طبقات Vector داخل بيئة نظم المعلومات الجغرافية وتُدمج مع باقي العوامل ضمن عمليات التحليل متعدد المعايير بهدف تحديد المناطق الحضرية التي يجب تجنبها أو تعزيز نموها.

٢- المعايير الاقتصادية:

تُوظف المعايير الاقتصادية لتقييم القدرة الاستيعابية للمناطق الحضرية من حيث النشاط الإنتاجي والوظائف الاقتصادية (Khelili et al., 2022, P16). وتتمثل في مواقع المصانع، والمحاجر. تم جمع هذه المعايير من خلال خرائطGoogle Earth Pro، وتأكيدها من الدراسة الميدانية والخرائط الطبوغرافية للمنطقة. تُستخدم هذه البيانات كعوامل جذب أو طرد محتملة للتوسع الحضري، ويُراعى تأثيرها ضمن نموذج الملاءمة المكانية للنمو الحضري.

جدول (١) المعايير ومصادر البيانات وأنواعها.

تصنيف المعايير	المعايير	البيانات	مصدر البيانات	نوع البيانات
المعايير العمرانية	المناطق الحضرية	Sentinel-2	https://earthexplorer.usgs.gov/	Raster
	الطرق السريعة	OSM data	https://www.openstreetmap.org/#map=14/30.73660/29.31580	Vector
	المترو	OSM data	https://www.openstreetmap.org/#map=14/30.73660/29.31581	Vector
	المونوريل	OSM data	https://www.openstreetmap.org/#map=14/30.73660/29.31582	Vector
	السكك الحديدية	OSM data	https://www.openstreetmap.org/#map=14/30.73660/29.31583	Vector
	المطارات	OSM data	https://www.openstreetmap.org/#map=14/30.73660/29.31584	Vector
	المناطق العسكرية	Google Earth Pro Data	Google Earth Pro	Vector
المعايير الاقتصادية	المحاجر	Google Earth Pro	Google Earth Pro	Vector
	المصانع	Google Earth Pro	Google Earth Pro	Vector
المعايير الاجتماعية	الكثافة السكانية	نتائج التعداد العام للسكان والمنشآت	الجهاز المركزي للتعبئة العامة والإحصاء٢٠١٧	Vector
المعايير الطبيعية والبيئية	الغطاء الأرضي	Sentinel-2	https://earthexplorer.usgs.gov/	Raster
	الجيولوجيا	خريطة مصر الجيولوجية ١: ٥٠٠ألف	الهيئة المصرية العامة للبترول مشروع كونوكو كورال ١٩٨٧	Vector
	المناسيب	SRTM DEM	https://earthexplorer.usgs.gov/	Raster
	درجة الانحدار	SRTM DEM	https://earthexplorer.usgs.gov/	Raster
	الأودية	SRTM DEM	https://earthexplorer.usgs.gov/	Vector
	تراكم الجريان المائي	SRTM DEM	https://earthexplorer.usgs.gov/	Raster
	معامل طول المنحدر	SRTM DEM	https://earthexplorer.usgs.gov/	Raster
	معامل TWI	SRTM DEM	https://earthexplorer.usgs.gov/	Raster
	الانكسارات	خريطة مصر الجيولوجية ١: ٥٠٠ألف	الهيئة المصرية العامة للبترول مشروع كونوكو كورال ١٩٨٧	Vector

المصدر: اعداد الباحثان اعتمادا على بيانات الدراسة.

٣- المعايير الاجتماعية:

تعكس المؤشرات الاجتماعية النمط الديموغرافي والتوزيع السكاني في منطقة الدراسة، ويُمثلها في هذه الدراسة الكثافة السكانية. حيث تم الحصول على هذه البيانات من الجهاز المركزي للتعبئة العامة والإحصاء وفقًا لتعداد عام ٢٠١٧، وتمت معالجتها وتحويلها إلى طبقة Vectorعلى حدود شياخات محافظة القاهرة وربط البيانات الإحصائية بالمكانية في بيئة نظم المعلومات الجغرافية وتُستخدم طبقة الكثافة السكانية كعامل رئيسي في تحديد قابلية النمو الحضري، حيث تُسهم في توجيه التنمية نحو مناطق ذات ضغط سكاني أعلى واحتياج متزايد للبنية التحتية والخدمات.

٤- المعايير الطبيعية والبيئية:

تُعد هذه المعايير مكونات أساسية في أي تقييم عمراني، لما لها من تأثير مباشر على صلاحية الأرض للتوسع العمراني. وتشمل درجة الانحدار، المناسيب، تراكم الجريان السطحي، الأودية، الانكسارات، الجيولوجيا، معاملLS، ومعاملTWI تم اشتقاق معظم هذه المعايير من نموذج الارتفاع الرقمي DEM بدقة ٣٠ متر باستخدام بياناتSRTM، وتُستخرج المعايير البيئية مثل الانحدار وتراكم الجريان باستخدام أدوات التحليل الطبوغرافي فيArcGIS Pro أما طبقات الجيولوجيا والانكسارات فقد تم الحصول عليها من خرائط الهيئة العامة للثروة المعدنية ومشروع كونكوكورال لعام ١٩٨٧، وتم رقمنتها وإسقاطها موحدًا ضمن بيئة التحليل. تُسهم هذه المعايير في ضبط النمو الحضري بما يتوافق مع الخصائص الطبيعية للبيئة المحلية لمحافظة القاهرة ويقلل من المخاطر الجيومورفولوجية المحتملة.

المرحلة الثانية: معالجة البيانات المكانية:

تم معالجة البيانات المكانية في هذه المرحلة التي تم جمعها من مصادر متعددة باستخدام بيئة نظم المعلومات الجغرافية وأدوات الاستشعار من البُعد، بهدف إعدادها بشكل متكامل للتحليل المكاني على مستوى محافظة القاهرة، أُنشئت قاعدة بيانات جغرافية موحدة تضم جميع الطبقات والمعايير المستخدمة في الدراسة، وتم تحديد نظام إحداثيات موحد UTM WGS84 Zone 36N لضمان الاتساق المكاني الكامل بين مختلف أنواع البيانات. نُفذت المعالجة المسبقة لبيانات المتجهات والنقاط والخطوط باستخدام أدواتClip، Union، Dissolve، Merge، Join، وذلك بهدف تنظيف البيانات، وإزالة التكرارات، وتحسين التمثيل المكاني.

ويجدر بالذكر أن الدراسة اعتمدت على نموذج الارتفاع الرقمي SRTMلاشتقاق خرائط الارتفاع والانحدار وغيرها من الخرائط كما سابق الذكر، وهي تُعد من المدخلات الأساسية في تقييم المعايير الطبوغرافية. كما أجرينا تصنيفًا موجهًا لصور الأقمار الاصطناعية باستخدام لاندسات (٥) لسنوات ١٩٩٥-٢٠٠٥، لاندسات ٨ لعام ٢٠١٥، سينتنال ٢ لعام ٢٠٢٤، بعد تطبيق التصحيح الإشعاعي المناسب، من أجل إنتاج خرائط دقيقة للغطاء الأرضي واستخدامات الأراضي. صنّفتُ الغطاء الأرضي إلى أربع فئات رئيسية هي عمران، زراعة، أراضي جرداء، ومياه، ثم قاما الباحثان بحساب مؤشر كابا لتقييم دقة التصنيف والتحقق من جودة النتائج. ولأغراض التحليل المكاني النهائي، تم تحويل جميع بيانات المتجهات إلى طبقات نقطية باستخدام أدوات Euclidean Distance و Raster Conversion، ما أتاح دمج جميع المعايير داخل نموذج التحليل متعدد المعايير AHP تحديد ملاءمة النمو الحضري بدقة وموضوعية في نطاق الدراسة.

المرحلة الثالثة تحليل المعطيات المكانية وتقييم ومناقشة النتائج:

اعتمدت الدراسة على مناهج وأساليب متعددة، وجاء في مقدمتها المنهج الوصفي التحليلي في وصف المشكلة التي تعانى منها منطقة الدراسة في الازدحام السكاني والتوسعات الحضرية، والمنهج الاستقرائي التحليلي، ومن خلاله تم جمع ومعالجة البيانات المدخلة في الدراسة وذلك من خلال جمع البيانات والمعلومات عن هذه المشكلة من عدة مصادر وتحليلها، كما تم الاعتماد على الأسلوب الكارتوجرافى من خلال إعداد الخرائط في معالجة وتحليل البيانات ومن ثم رسم الخرائط وعرض النتائج، كما استخدمت الدراسة نموذج التحليل الهرمي (Analytic Hierarchy Process –AHP) في ترتيب البدائل وتحديد الأوزان النسبية للعوامل المؤثرة بناءً على المقارنات الزوجية لتقييم ملاءمة المواقع من خلال دمج العوامل المكانية والبيئية والاجتماعية والاقتصادية ضمن إطار موحّد، فمن خلاله تم تصنيف العوامل المختلفة وتحديد أهميتها النسبية في توجيه النمو العمراني، مثل البنية التحتية، الكثافة السكانية، القرب من مراكز النقل، المعايير الطبيعية كالانحدار والارتفاع، والمعايير البيئية كالحماية من التلوث والمخاطر، وتم دمج هذا النموذج في نظم المعلومات الجغرافية من خلال بناء مصفوفة المقارنة الزوجية، استخراج الأوزان النسبية، ثم تطبيقها في تحليل التراكب الموزون لإنتاج خرائط الملاءمة الحضرية، ما يدعم اتخاذ قرارات تخطيطية مبنية على أسس كمية وموضوعية.

محاور الدراسة:

جاءت الدراسة الحالية تبعًا للمحاور التالية: -

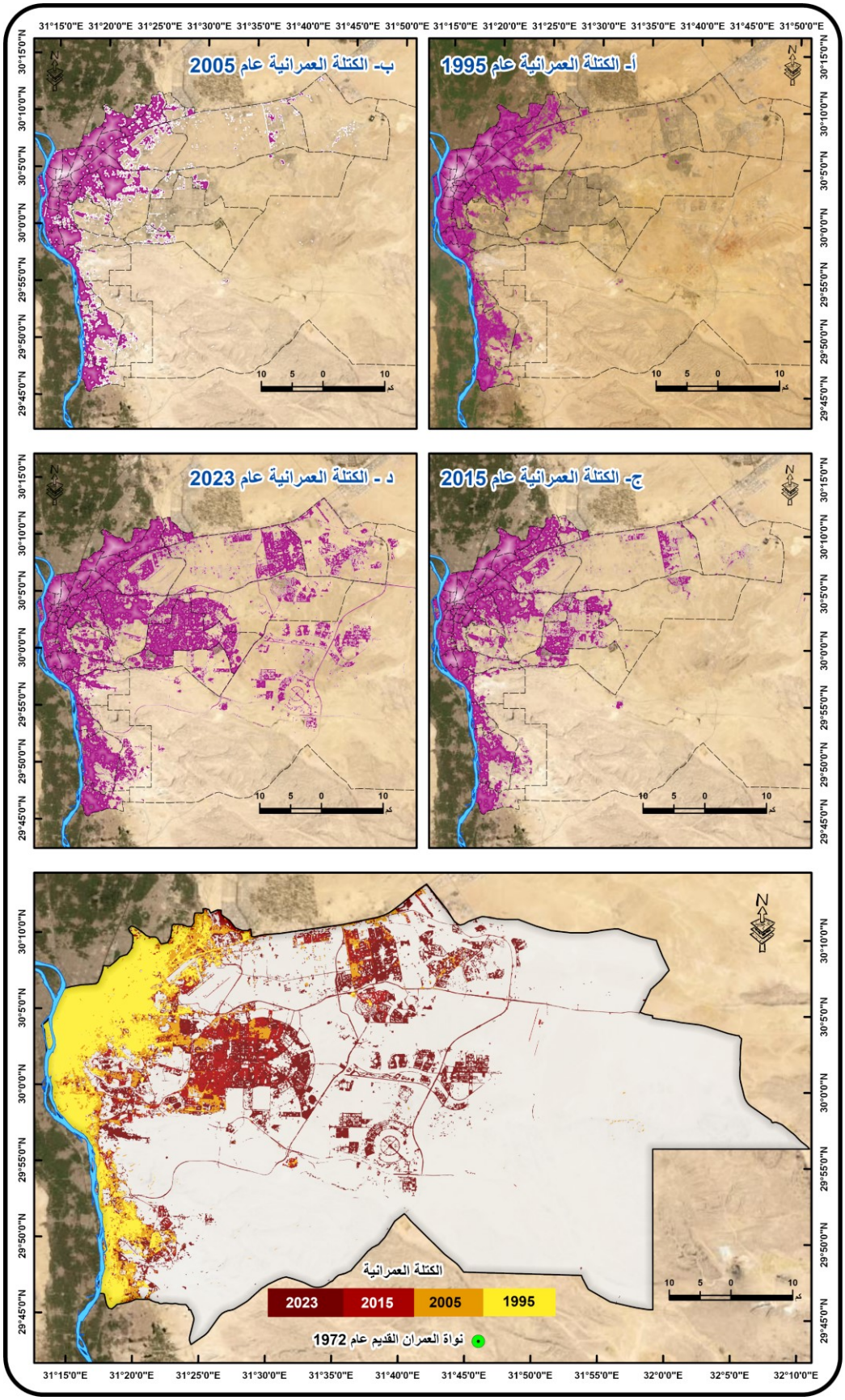
أولاً: النمو الحضري لمحافظة القاهرة واتجاهاته خلال الفترة ١٩٩٥ – ٢٠٢٤.

شهدت محافظة القاهرة توسعًا عمرانيًا كبيرًا خلال العقود الثلاثة الأخيرة، حيث ارتفعت المساحة العمرانية بها من ٢٢٧.٦ كم٢ في عام ١٩٩٥ إلى ٦٢٥ كم٢ عام ٢٠٢٤، ما يمثل زيادة قدرها ٣٩٧.٤ كم٢ ونموًا نسبيًا من ٧.٢٤٪ إلى ١٩.٤٧٪ من إجمالي مساحة منطقة الدراسة. ويوضح هذا التحول نمطًا ديناميكيًا للنمو الحضري، وهو ما يرتبط بمحددات متعددة من أهمها السياسات الحكومية، والبنية التحتية، والتضاريس، والخصائص الجيولوجية.

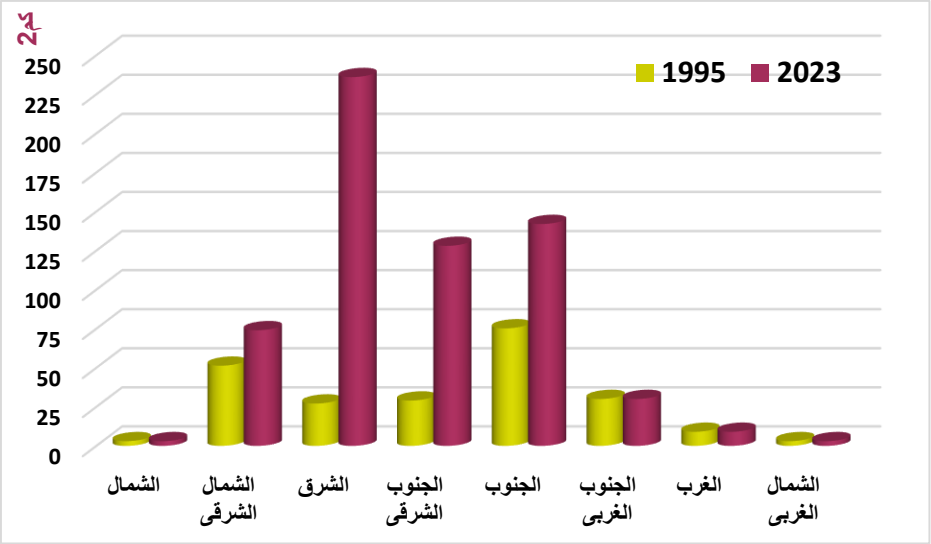
جدول (٢) التغيرات المكانية للنمو الحضري بمنطقة الدراسة

اتجاهات النمو الحضري	١٩٩٥		٢٠٢٤	
	المساحة كم٢	%	المساحة كم٢	%
الشمال	٣	١.٣	٣	٠.٤٨
الشمال الشرقي	٥١.٣	٢٢.٥	٧٤	١١.٨٤
الشرق	٢٧.١	١١.٢	٢٣٦	٣٧.٧٦
الجنوب الشرقي	٢٩	١٢.٧	١٢٨	٢٠.٤٨
الجنوب	٧٥.٢	٣٣	١٤٢	٢٢.٧٢
الجنوب الغربي	٣٠	١٣.٢	٣٠	٤.٨٠
الغرب	٩	٤	٩	١.٤٤
الشمال الغربي	٣	١.٣	٣	٠.٤٨
الإجمالي	٢٢٧.٦	١٠٠	٦٢٥	١٠٠

المصدر: اعداد الباحثان اعتمادا على الشكل (٥) وحُسبت المساحات باستخدام برنامج ArcgisPro



شكل (٥) التغيرات المكانية للنمو الحضري بمنطقة الدراسة



المصدر: إعداد الباحثان اعتمادا على الجدول (٢).

شكل (٦) القياس الكمي للتغيرات المكانية للنمو الحضري بمنطقة الدراسة فيما بين ١٩٩٥ – ٢٠٢٤

بلغت المساحة الحضرية حوالي ٢٢٧.٦ كم٢، أي ما يعادل ٧.٢٪ من إجمالي مساحة منطقة الدراسة عام ١٩٩٥–جدول (٢)، وهي نسبة تعكس مرحلة التمدد المحدود الذي كان يتركز أساسًا في الأحياء القديمة داخل نطاق القاهرة الكبرى، مع انتشار طفيف نحو الضواحي.

يتضح ومن خلال شكلي (٥، ٦) وجدول (٢) يتضح تباين مساحة الكتلة الحضرية عام ٢٠٠٥ حيث ارتفعت إلى ٣١٨.٤ كم٢، بنسبة ١٠.١٪ من المساحة الكلية، بزيادة قدرها ٩٠.٨ كم٢ مقارنة بعقد سابق. يشير ذلك إلى دخول القاهرة في طور التوسع الأفقي المدفوع بزيادة الكثافة السكانية، وإنشاء تجمعات جديدة مثل القاهرة الجديدة وبداية تنمية التجمعات الحضرية شرق المدينة وواصلت الكتلة الحضرية نموها لتصل إلى٣٩٧.١ كم٢، أي ما يمثل ١٢.٦٪ من المساحة الإجمالية عام ٢٠١٥، ما يعني زيادة قدرها ٧٨.٧ كم٢ خلال عشر سنوات. ويمكن ربط هذه المرحلة ببدء تفعيل خطط تطوير المدن القائمة وتوسيع شبكات المرافق العامة، خاصة في مدينتي بدر والشروق.

وقد بلغت الكتلة الحضرية ٦٢٥ كم٢، لتغطي ١٩.٥٪ من مساحة منطقة الدراسة عام ٢٠٢٤، وهو ما يعكس طفرة عمرانية كبيرة خلال أقل من عقد، بزيادة قدرها ٢٢٧.٩ كم٢ عن عام ٢٠١٥. ويُعزى هذا النمو الملحوظ إلى إنشاء العاصمة الإدارية الجديدة، وتوسع شبكات الطرق السريعة، وزيادة الاستثمار في مشروعات الإسكان القومي، فضلاً عن تحفيز القطاع الخاص للدخول بقوة في عمليات التطوير الحضري، يُظهر هذا التحول أن محافظة القاهرة دخلت مرحلة "النمو الحضري المركب" القائم على المشروعات القومية، وتكامل البنية التحتية، وتوزيع الكثافات السكانية على أطراف المدينة، بما يعكس نهجًا استراتيجيًا في معالجة المركزية، وتحقيق التنمية المكانية المستدامة.

وتُظهر بيانات شكلي (٥، ٧) أن النمو الحضري في محافظة القاهرة اتخذ خلال الفترة من ١٩٩٥ إلى ٢٠٢٤ اتجاهات واضحة نحو الجنوب الشرقي، الجنوب الغربي، والشرق، وهي مناطق استهدفتها الدولة بمشروعات تنموية كبرى مثل العاصمة الإدارية الجديدة، القاهرة الجديدة، وامتدادات مدينة بدر. فقد ارتفعت مساحة الكتلة العمرانية في الجنوب الشرقي من ٢٩ كم٢ إلى ١٢٨ كم٢، نتيجة انخفاض القيود الطبوغرافية وارتفاع ملاءمة التربة والانحدار، ما جعل المنطقة أكثر جاذبية للنمو. أما في الجنوب الغربي، فشهدت المنطقة قفزة من ٤ كم٢ إلى ١١٢ كم٢، مدفوعة بإنشاء محاور إقليمية مثل طريق السويس والدائري الإقليمي، ما يؤكد الدور المحوري للبنية التحتية في توجيه التوسع الحضري. في المقابل، سجلت المناطق الغربية والشمالية معدلات نمو محدودة للغاية، لم تتجاوز ٩ كم٢، نتيجة وجود حواجز طبيعية حاكمة، أبرزها نهر النيل. وعلى النقيض، سجّلت منطقة الشمال الشرقي توسعًا ملحوظًا من ٥١.٣ كم٢ إلى ١٤٣ كم٢، مدفوعة بمشروعات إعمار واسعة مثل الشروق ومدينتي، وهو ما يعكس تحولًا في بوصلة النمو نحو الشرق والشمال الشرقي المدعوم بالتخطيط والتنمية المستهدفة.

المصدر: إعداد الباحثان اعتمادا على نتائج الشكل (٥) الكتلة العمرانية عام ٢٠٢٤ وجمعت بعض الصور من الموقع الرسمي لرئاسة الجمهورية والدراسة الميدانية.

شكل (٧) اتجاهات النمو الحضري بمنطقة الدراسة

وتُعزز هذه النتائج الفرضيات النظرية المرتبطة بتفسير أنماط النمو الحضري، وعلى رأسها نظرية النويات المتعددةThe Numerous Kernels Theory ، التي تفترض أن المدن الكبرى لا تنمو حول مركز واحد فقط، بل حول عدة نوى مستقلة وظيفيًا وجغرافيًا، وهو ما يظهر بوضوح في حالة القاهرة من خلال التوسع في مناطق عمرانية جديدة ومنفصلة مثل العاصمة الإدارية والشروق ومدينتي. كما تنسجم هذه التحولات مع نظرية القلب والأطرافCore–Periphery Model ، التي تفسر تطور المدن عبر مركز حضري قوي (القلب) تحيط به أطراف تنموية تتكامل معه عبر مراحل متتالية، تبدأ بالتصنيع ثم التوسع الصناعي وتنتهي بالانتقال إلى مناطق الهامش ذات الإمكانيات المستقبلية. وتُظهر نتائج الدراسة مدى الترابط الوثيق بين البنية التحتية والقيود الطبيعية (كالانحدار والارتفاع والجيولوجية) في تشكيل اتجاهات العمران، ما يمنح صانعي القرار تصورًا أكثر وضوحًا ودقة لآليات التخطيط الحضري، ويُسهم في توجيه التنمية نحو مناطق تتسم بارتفاع الملاءمة والاستدامة البيئية (سلامة ورفعت، ٢٠٢٠، ص. ١٧٠).

ثانياً: التمثيل الخلوي للمعايير المكانية وإعادة التصنيف.

تعكس محافظة القاهرة نمطًا حضريًا معقدًا يتسم بكثافة عمرانية مرتفعة وتباين واضح في الخصائص الطبيعية والاجتماعية والاقتصادية، وبما يجعلها نموذجًا غنيًا لتحليل النمو الحضري وتوجيهه، وانطلاقًا من هذا التكوين المكاني المتداخل، وتعتمد الدراسة الحالية على رصد وتوثيق الوضع الراهن من خلال بناء قاعدة بيانات مكانية موحدة، تضم مجموعة من الطبقات التي تُمثل أهم العوامل المؤثرة في اتجاهات التوسع المحتمل. ومن ثم يُعاد تصنيف القيم الأصلية إلى خمس فئات تعكس مدى ملاءمتها للتوسع الحضري المحتمل، وتتراوح من (١) للملاءمة المنخفضة جدًا إلى (٥) للملاءمة المرتفعة جدًا، وذلك بهدف توحيد المقاييس وتحضيرها للدمج داخل نموذج التحليل المكاني المركب. تُعد هذه المرحلة خطوة أساسية لفهم الواقع المكاني القائم وتوجيه أدوات التحليل للخروج بنتائج تسهم في دعم القرار التخطيطي. بعد تحديد أوزان المعايير– جدول (٣)، واستنادًا إلى آراء الخبراء ومراجعة الدراسات السابقة ذات الصلة، قام الباحثان بإعادة تصنيف جميع الخرائط إلى خمس فئات باستخدام أداة Reclassify في بيئة نظم المعلومات الجغرافية، وتم تخصيص القيم من ١ إلى ٥ بحيث تمثل القيمة (١) ملاءمة منخفضة جدًا وتمثل القيمة (٥) ملاءمة مرتفعة جدًا، وذلك بهدف توحيد مخرجات المعايير المختلفة وإعطائها قيمة عددية قابلة للمقارنة قبل تطبيق الأوزان. وتتيح هذه الطريقة معالجة جميع المعايير بطريقة متكافئة، مما يُسهل دمجها ضمن التحليل المركب متعدد المعايير، وفيما يلي دراسة لهذه المعايير:

١-المعايير العمرانية:

أ. المناطق العمرانية

تُعد المناطق الحضرية الحالية من أهم المؤشرات المكانية في نمذجة الملاءمة الحضرية، نظرًا لدورها المباشر في تحديد اتجاهات التوسع الحضري المستقبلي ومناطق الامتداد الحضري (Megahed et al., 2015, p. 1758) وتم إعادة تصنيف طبقة العمران بما يتوافق مع خصائص منطقة الدراسة-شكل (٨)، حيث تم منح الفئات الأقرب إلى الكتل الحضرية الحالية أوزانًا مرتفعة باعتبارها الأكثر قابلية للتمدد، في حين أُعطيت الفئات الأبعد مكانيًا أوزانًا أقل، نظرًا لانخفاض احتمالية وصول النمو إليها في الأجل القريب.

ب. المسافة من الطرق السريعة

تُعد الطرق السريعة من العناصر الهيكلية الأساسية في توجيه التوسع الحضري، لما توفره من سهولة في الوصول والتنقل-شكل (٨)، مما يُضفي جاذبية عمرانية على الأراضي القريبة منها. وتُستخدم هذه الشبكات كأحد المعايير المكانية المؤثرة في نماذج الملاءمة، حيث تساهم في دعم إقامة المجتمعات السكنية والمناطق الصناعية والتجارية ذات الطابع الإقليمي (الزيني وآخرون، ٢٠٢٣، ص. ٣٥١). وهو ما دفع إلي دمج هذا العامل بشكل كمي في التحليل، وقد أُعيد تصنيف طبقة المسافة من الطرق السريعة إلى خمس فئات مكانية، تمثل مدى القرب أو البُعد عن هذه الشبكات-شكل (٩)، وأُعطي أعلى وزن للفئات الأقرب نظرًا لارتفاع قابليتها للتنمية الحضرية، بينما خُصص الوزن الأقل للمناطق الأبعد، وقد راعى هذا التصنيف تحقيق التوازن بين كفاءة الاستخدام المكاني وتقليل الآثار السلبية المحتملة كالتلوث والضوضاء، بما يعزز فرص التوسع المنظم ويقلل الضغط عن المراكز الحضرية القائمة.

ج- شبكة مترو الأنفاق

تُعد من أبرز عناصر البنية التحتية الحضرية التي تُسهم في تشكيل أنماط النمو الحضري الموجه نحو النقل، نظرًا لما توفره من إمكانية وصول عالية وسهولة للتردد وتقليل للاعتماد على المركبات الخاصة، بما يعزز من كفاءة استخدام الأرض في المناطق الحضرية. يُستخدم هذا المعيار في نماذج الملاءمة الحضرية ضمن إطار التنمية الموجهة نحو النقل، حيث تُفضل إقامة الاستخدامات المختلطة في محيط المحطات لخلق بيئات حضرية متكاملة ومستدامة(Ustaoğlu et al., 2020,p3-6) . وتغطي إجمالي طول الشبكة حوالي ١٥٤.١ كم موزعة على ثلاثة خطوط رئيسية داخل إقليم القاهرة الكبرى التخطيطي. وقد أُعيد تصنيف طبقة القرب من خطوط المترو إلى خمس فئات مكانية وفقًا

لدرجة ملاءمتها للتوسع الحضري–شكل (٩)، حيث تم تخصيص الأوزان الأعلى للمناطق الأقرب إلى محطات المترو باعتبارها الأكثر جذبًا للنمو، بينما مُنحت المناطق الأبعد أوزانًا أقل، انطلاقًا من انخفاض جدواها التنموية على المدى القصير. ويسهم هذا التصنيف في توجيه النمو المستقبلي نحو محاور النقل الجماعي، ما يدعم كفاءة الحركة ويقلل من التكدس في المراكز القائمة.

د- خطوط المونوريل.

يمثل مشروع المونوريل أحد أحدث أنظمة النقل الجماعي في مصر، ويُعد من العوامل البنيوية المهمة في دعم أنماط النمو الحضري الموجه نحو النقل، خاصة في المناطق ذات الكثافات المتوسطة والمرشحة للتوسع المستقبلي. يُسهم هذا النظام في تعزيز الوصول لمناطق الأطراف والجديدة، ورفع كفاءة الربط بين محاور التنمية الحضرية شرقًا وغربًا، لا سيما العاصمة الإدارية ومدينة ٦ أكتوبر. وقد تم اعتماد بيانات شبكة المونوريل، والتي يبلغ طولها الإجمالي نحو ١١٦ كم، كمصدر مكاني رئيسي في نمذجة ملاءمة التوسع الحضري، وتُمثل المناطق القريبة من محطات المونوريل فرصًا تنموية عالية، خاصة للمشروعات السكنية والتجارية المتكاملة. تم تصنيف طبقة القرب من المونوريل إلى خمس فئات مكانية بناءً على البُعد المكاني، حيث أُعطيت الأوزان الأعلى للمناطق الأقرب، وأدنى الأوزان للمناطق الأبعد–شكل (٩)، بما يعكس التفاوت في قابلية المناطق المحيطة للتمدد الحضري.

هـ - خطوط السكك الحديدية

تُعد السكك الحديدية عنصرًا مهماً في دعم البنية التحتية للنقل الجماعي وتعزيز التكامل بين المناطق الحضرية والريفية، ما يجعل وجودها مؤشرًا مهمًا على قابلية المواقع للتوسع الحضري. وتُسهم الشبكة الحالية، التي تمر من خلال محافظة القاهرة وتربطها بمختلف أقاليم الجمهورية شمالًا وجنوبًا وشرقًا، في تحسين الوصول الإقليمي ودعم التنمية الصناعية والتجارية المرتبطة بمحاور النقل، تُعتبر المناطق القريبة من محطات السكك الحديدية مواقع واعدة لإنشاء الاستخدامات المختلطة (الهيئة العامة للتخطيط العمراني، ٢٠١١، ص٨٧)، بما في ذلك الأنشطة السكنية والمراكز الحضرية الثانوية ذات الكثافة المتوسطة. يُوظف هذا المعيار في التحليل المكاني لدعم توجهات النمو المرتبطة بالنقل منخفض الانبعاثات، مع مراعاة الاعتبارات البيئية مثل مسافة الأمان لتقليل آثار الضوضاء والاهتزازات على المناطق السكنية المحيطة. وقد أُعيد تصنيف طبقة المسافة من السكك الحديدية إلى خمس فئات مكانية وفقًا لدرجة القرب من خطوط ومحطات الشبكة–شكل (٩)، وتم تخصيص

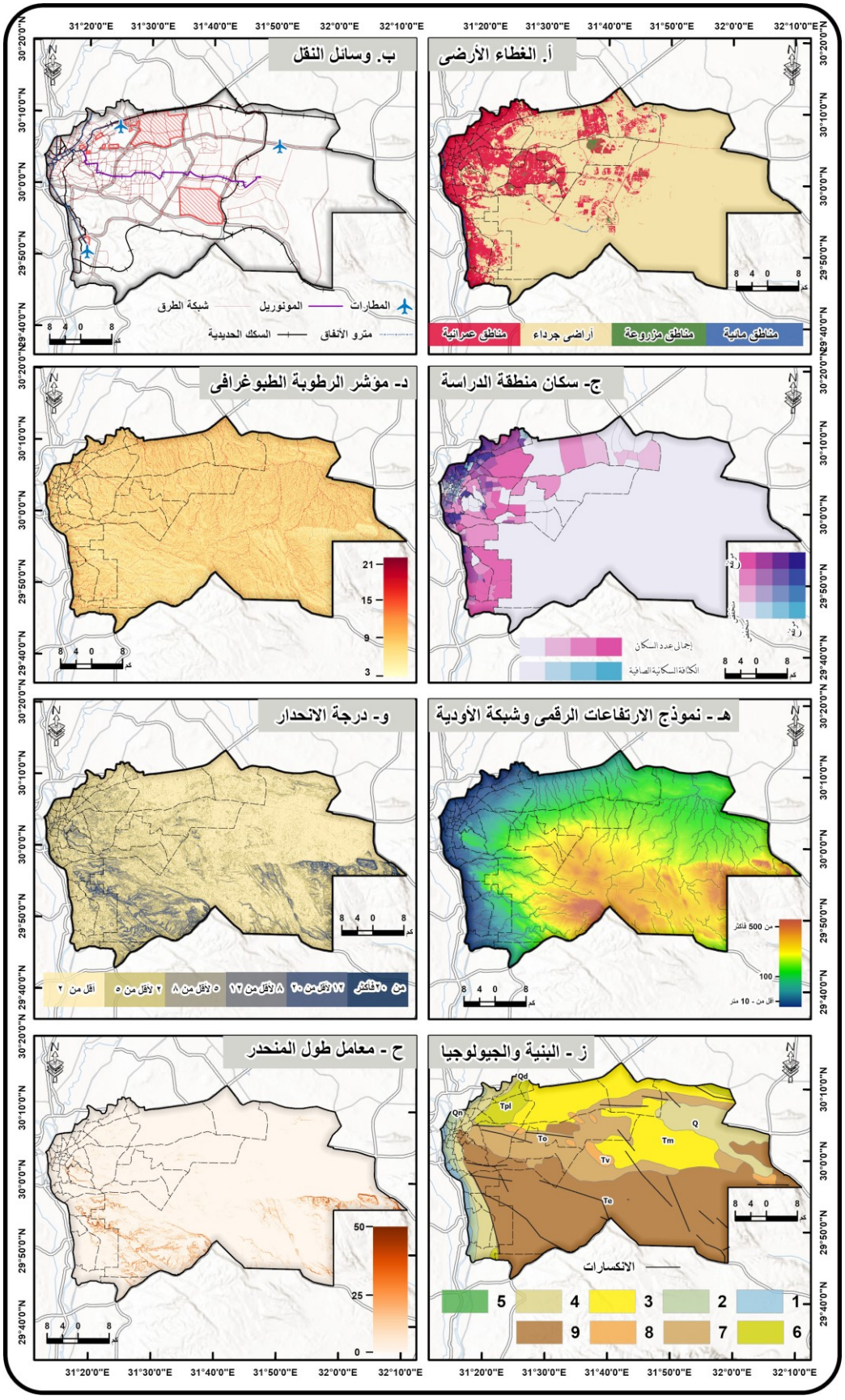
أوزان تصاعدية للمناطق الأكثر قربًا، انطلاقًا من ارتفاع قابليتها للتوسع الحضري، فيما مُنحت المناطق الأبعد أوزانًا منخفضة لتعكس ضعف جاذبيتها التنموية.

د- المسافة من المطارات

يمثل وجود المطارات عنصرًا مهمًا في دعم البنية التحتية الحضرية والربط الإقليمي والدولي، حيث تُعد المناطق المحيطة بها نقاطًا استراتيجية للتنمية ذات الطابع اللوجستي أو التجاري. وعلى الرغم من ذلك، فإن هذه المناطق تخضع لقيود تنظيمية صارمة تتعلق بالضوضاء، وارتفاعات المباني، وسلامة الطيران، مما يتطلب تقييمًا دقيقًا لمدى ملاءمتها للتوسع الحضري. وتعتمد الدراسة على وجود مطاريْن دوليين رئيسيين يخدمان محافظة القاهرة هما مطار القاهرة الدولي الواقع شمال شرق المدينة، والذي يُعد أحد أكبر المطارات في المنطقة، ومطار العاصمة الدولي الذي أُنشئ لتخفيف الضغط عن المطار الرئيسي ودعم الامتداد الحضري شرق القاهرة. تُستخدم طبقة القرب من المطارات كمؤشر مكاني في نموذج الملاءمة، حيث تم تصنيفها إلى خمس فئات تعكس درجة القرب من البنية التحتية الجوية، وتم تخصيص أوزان منخفضة للمناطق المجاورة مباشرة للمطارات–شكل (٩)، نظرًا لقيود الاستخدامات السكنية والخدمية، مقابل أوزان أعلى للمناطق التي تجمع بين الوصول الجيد والابتعاد الكافي عن نطاق التأثير السلبي للمطار. يُسهم هذا المعيار في توجيه التوسع الحضري نحو الاستخدامات المثلى للأراضي بما يتكامل مع منظومة النقل الإقليمي ويعزز الوظائف الإنتاجية المرتبطة باللوجستيات والتجارة الدولية.

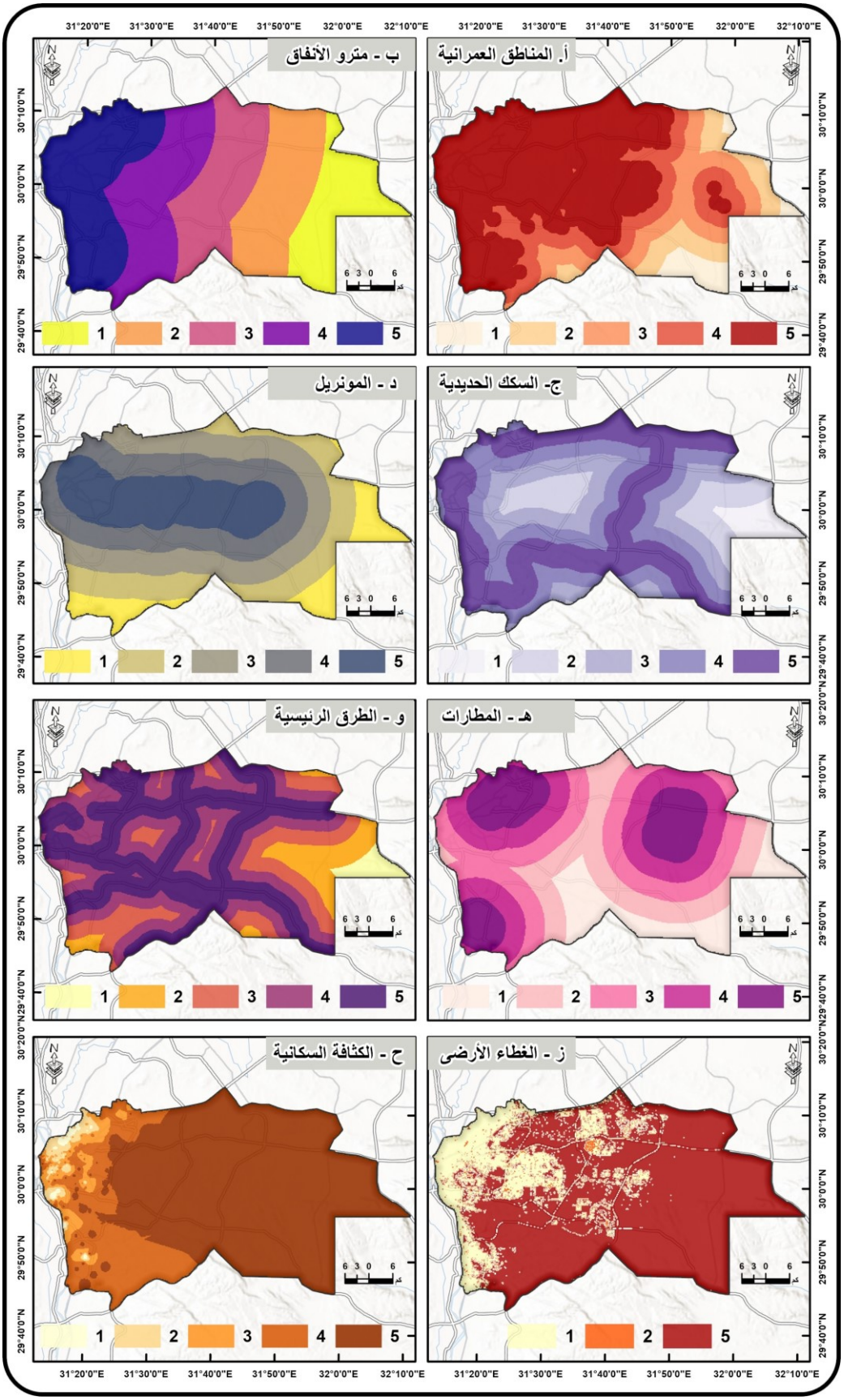
و- المسافة من المناطق العسكرية

تُشكل المناطق العسكرية أحد المحددات التنظيمية المحورية في تحليل الملاءمة المكانية، نظرًا لطبيعتها السيادية وقيودها الصارمة التي تمنع التوسع الحضري ضمنها أو في محيطها القريب، يُعد إدراج هذا العامل ضروريًا لضمان توافق التخطيط الحضري مع المعايير الأمنية والقانونية، وتوجيه التنمية نحو مناطق مدنية أكثر قابلية للاستيعاب. بالاعتماد على نتائج التحليل المكاني، وتُغطي المناطق العسكرية مساحة تُقدّر بنحو ١٩٥.٩ كم^{٢}، بما يُمثل حوالي ٦.١٪ من إجمالي مساحة منطقة الدراسة. وتُظهر هذه المناطق توزيعًا متنوعًا داخل النطاق الحضري، إذ تتركز بشكل أساسي في مواقع استراتيجية ذات تأثير تنظيمي مباشر على الأنشطة الحضرية المحيطة، مثل الكلية الحربية ومطار ألماظة في القاهرة الكبرى، مركز قيادة الدولة الاستراتيجي بالعاصمة الإدارية، مدينة الهايكستب العسكرية، والمنطقة المجاورة لجامعة حلوان من الجهة الجنوبية. وتمتد هذه النطاقات إلى مواقع أخرى تؤدي أدواراً سيادية أو تشغيلية، وتُحيط بها غالبًا مساحات فاصلة لأغراض أمنية، مما يقلص من فرص التنمية الحضرية المجاورة لها.

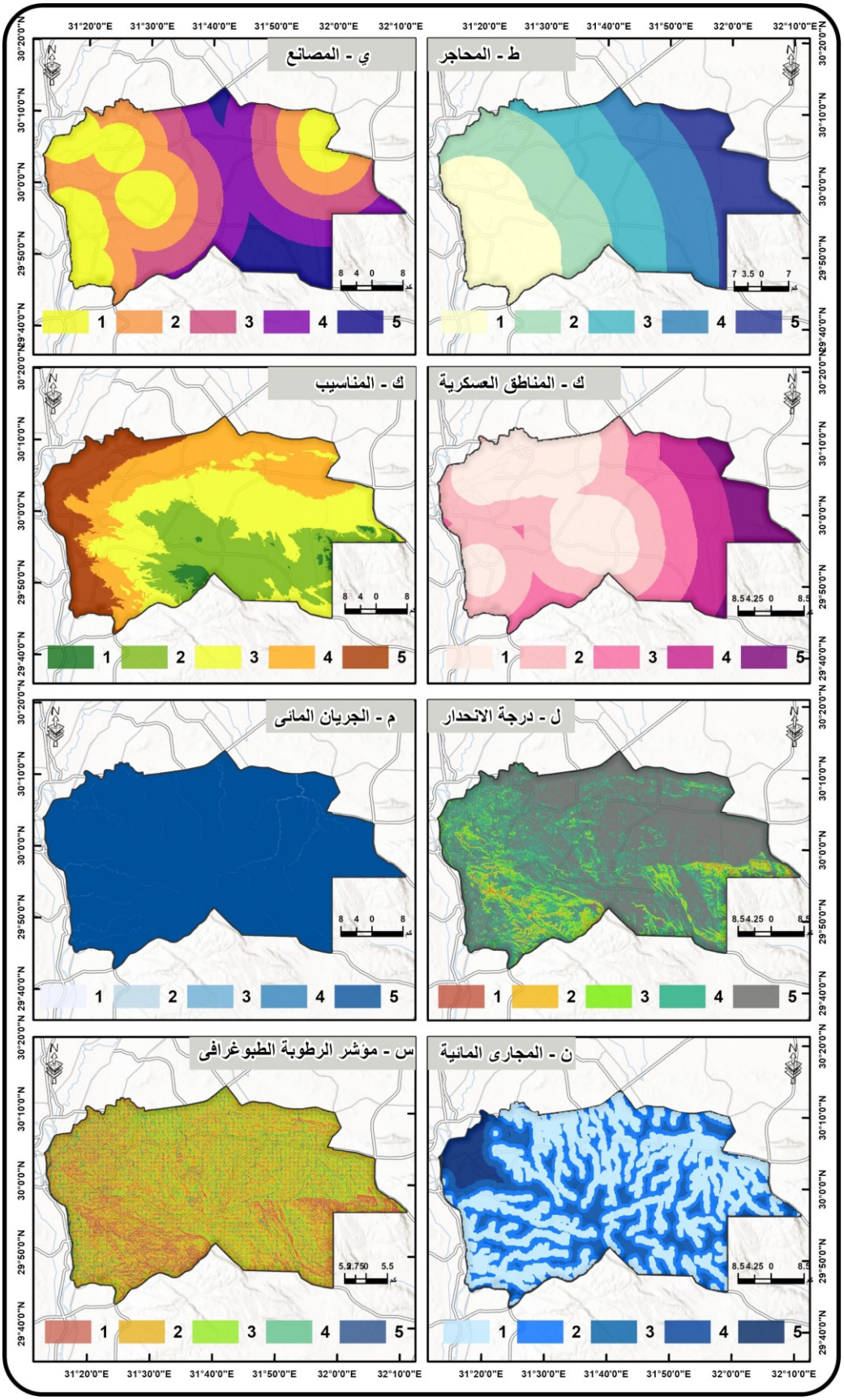


شكل (٨) المعايير المكانية المؤثرة في النمو الحضري بمنطقة الدراسة

مجلة كلية الآداب بالوادي الجديد- مجلة علمية محكمة- ديسمبر ٢٠٢٤م

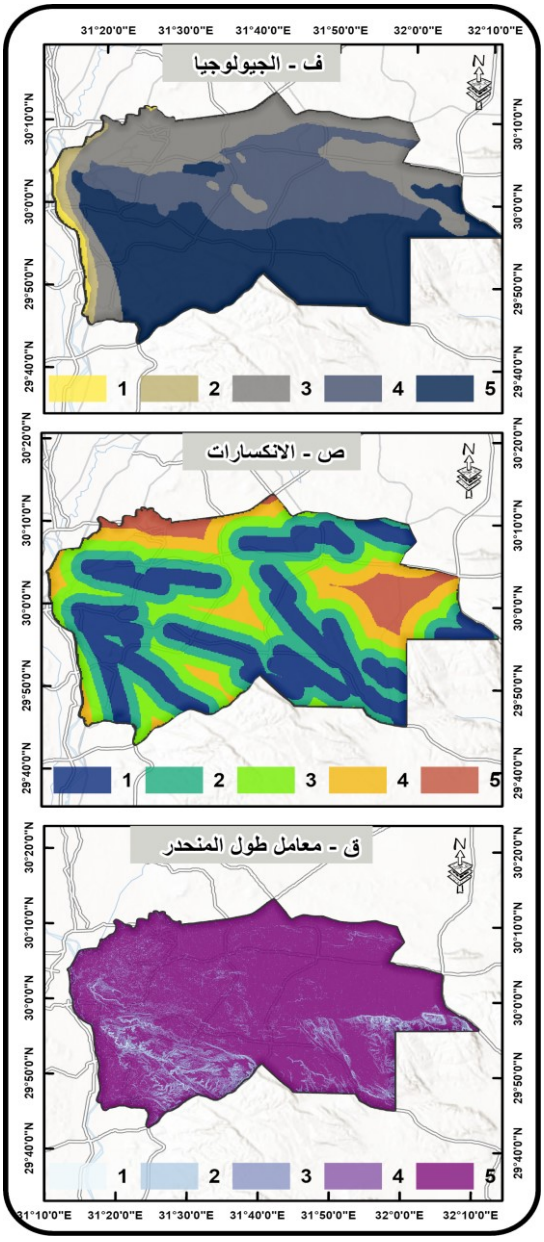


شكل(٩) إعادة التصنيف للمعايير المكانية المؤثرة في النمو الحضري بمنطقة الدراسة



شكل (١٠) إعادة التصنيف للمعايير المكانية المؤثرة في النمو الحضري بمنطقة الدراسة

مجلة كلية الآداب بالوادي الجديد- مجلة علمية محكمة- ديسمبر ٢٠٢٤م



شكل (١١) إعادة التصنيف للمعايير المكانية المؤثرة في النمو الحضري بمنطقة الدراسة

وتم تحديد مقياس من خمس فئات لتحديد درجة ملاءمة الأراضي للتوسع الحضري وفقاً لقربها وتأثرها بالمناطق العسكرية. تُشير الفئة (١) ملاءمة منخفضة جدًا إلى النطاقات ذات التعارض الكامل، حيث يُمنع أي نشاط عمراني، كما في محيط الكلية الحربية ومطار ألماظة. أما الفئة (٢) فتعكس ملاءمة منخفضة في مناطق تتأثر جزئيًا بقيود أمنية، بينما تُعبّر الفئة (٣) عن ملاءمة متوسطة ضمن مناطق متاخمة قد تُتيح بعض أشكال التوسع المشروط. وتُعد الفئة (٤) مناطق انتقالية ذات ملاءمة مرتفعة، يُمكن توظيفها للتوسع وفق اشتراطات تنظيمية محددة. وأخيرًا، تُعبر الفئة (٥) ملاءمة مرتفعة جدًا عن الأراضي الواقعة خارج نطاق التأثير العسكري، وتُعد الأنسب لتوجيه النمو الحضري المستقبلي–شكل (١٠). يُسهم هذا التصنيف في توجيه التنمية بعيدًا عن هذه

المناطق، ويُدرج كعنصر حاسم ضمن التحليل المكاني متعدد المعايير لتعزيز كفاءة التخطيط الحضري والاستفادة المُثلى من الموارد الحضرية المتاحة.

جدول (٣) إعادة تصنيف المعايير المكانية لتحليل الملاءمة المكانية للنمو الحضري المحتمل بمحافظة القاهرة.

الكود	المعيار	المساحة كم٢	درجة الملاءمة	الأهمية النسبية	الرتبة
1	الغطاء الأرضي	676.9	منخفض جدًا	0.123	1
		27.3	منخفض		2
		0	متوسط		3
		0	مرتفع		4
		2506	مرتفع جدا		5
2	العمران	140.3	منخفض جدًا	0.121	1
		286.1	منخفض		2
		420.2	متوسط		3
		502.3	مرتفع		4
		1861.3	مرتفع جدا		5
3	الكثافة السكانية	18.7	منخفض جدًا	0.096	1
		68.1	منخفض		2
		145.8	متوسط		3
		636.2	مرتفع		4
		2341.4	مرتفع جدا		5
4	المناسيب	61.8	منخفض جدًا	0.096	1
		799.8	منخفض		2
		1031.9	متوسط		3
		830.2	مرتفع		4
		486.5	مرتفع جدا		5
5	درجة الانحدار	30.4	منخفض جدًا	0.091	1
		108.5	منخفض		2
		273.6	متوسط		3
		890.8	مرتفع		4
		1906.9	مرتفع جدا		5
6	LS	6.7	منخفض جدًا	0.073	1
		49.2	منخفض		2
		148.5	متوسط		3
		494.8	مرتفع		4
		2511	مرتفع جدا		5
7	الجيولوجيا	29.3	منخفض جدًا	0.073	1
		71.2	منخفض		2
		840.1	متوسط		3
		817	مرتفع		4
		1452.6	مرتفع جدا		5
8	تراكم الجريان	0.21	منخفض جدًا	0.052	1
		0.5	منخفض		2
		3.89	متوسط		3
		15.9	مرتفع		4
		3189.7	مرتفع جدا		5

تابع جدول (٣)

الكود	المعيار	المساحة كم٢	درجة الملاءمة	الأهمية النسبية	الرتبة
9	المسافة من الاودية	1635.9	منخفض جدًا	0.052	1
		1014.5	منخفض		2
		411.7	متوسط		3
		90.8	مرتفع		4
		57.3	مرتفع جدا		5
10	المسافة من الطرق السريعة	637	منخفض جدًا	0.037	1
		229.3	منخفض		2
		459.6	متوسط		3
		875.4	مرتفع		4
		1008.9	مرتفع جدا		5
11	المسافة من المترو	488.4	منخفض جدًا	3.85567	1
		623.2	منخفض		2
		607.5	متوسط		3
		683.5	مرتفع		4
		807.6	مرتفع جدا		5
12	المسافة من المونوريل	310.2	منخفض جدًا	0.026	1
		595.5	منخفض		2
		774.6	متوسط		3
		796.7	مرتفع		4
		733.2	مرتفع جدا		5
13	المسافة من السكك الحديدية	124.3	منخفض جدًا	0.026	1
		377.9	منخفض		2
		598	متوسط		3
		905.7	مرتفع		4
		1204.3	مرتفع جدا		5
14	المسافة من الاكسدارات	1030.9	منخفض جدًا	0.019	1
		886.5	منخفض		2
		665.6	متوسط		3
		399.4	مرتفع		4
		227.8	مرتفع جدا		5
15	المسافة من مواقع المصانع	808.7	منخفض جدًا	0.019	1
		843	منخفض		2
		680.5	متوسط		3
		596.1	مرتفع		4
		281.9	مرتفع جدا		5
16	المسافة من المناطق العسكرية	1064	منخفض جدًا	0.019	1
		959.2	منخفض		2
		467.4	متوسط		3
		430.6	مرتفع		4
		289	مرتفع جدا		5

تابع جدول (٣)

الكود	المعيار	المساحة كم٢	درجة الملاءمة	الأهمية النسبية	الرتبة
17	المسافة من المحاجر	728	منخفض جدًا	0.015	1
		698.8	منخفض		2
		657	متوسط		3
		681.3	مرتفع		4
		445.1	مرتفع جدا		5
18	المسافة من المطارات	613.9	منخفض جدًا	0.015	1
		739.4	منخفض		2
		797.3	متوسط		3
		661.9	مرتفع		4
		397.7	مرتفع جدا		5
19	TWI	1181.2	منخفض جدًا	0.012	1
		1037.8	منخفض		2
		539.9	متوسط		3
		316.6	مرتفع		4
		134.7	مرتفع جدا		5

المصدر: اعداد الباحثان اعتماد على نتائج التحليل الهرمي للمعطيات المكانية.

٢- المعايير الاقتصادية

أ. مواقع المحاجر

تُعد مناطق المحاجر من الأنشطة الصناعية الثقيلة التي تترك آثارًا بيئية وسطحية سلبية، تشمل الضوضاء، التلوث الهوائي والبصري، تشويه المنظر الطبيعي، وزيادة احتمالية الانزلاقات الأرضية. ويُلاحظ أن القطاع الحضري بمحافظة القاهرة يضم حوالي ١٦ محجرًا لإنتاج الحجر الجيري والجبس والرمال والطفلة، حيث يملك القطاع العام ١٢ محجرًا، بينما يدير القطاع الخاص أربعة محاجر، وتقع جميعها شرق حلوان. وتُستخدم في هذه المحاجر كميات كبيرة من المتفجرات تتراوح بين ٢٥ إلى ٥٠ طن لإنتاج ما يقرب من ١٠٠ألف طن من الحجر الجيري (الهيئة العامة للتخطيط العمراني، ٢٠١١، ص٨٨)، ما يؤدي بدوره إلى خسائر كبيرة في التربة، واهتزازات قد تؤثر على استقرار أساسات بعض المنشآت والمباني المجاورة. وبالنظر إلى المساحة الإجمالية لهذه المحاجر التي تتجاوز ٢٥ كم٢، تُصنف المناطق المحيطة بها بأنها منخفضة الملاءمة الحضرية-شكل (١٠)، خاصة للمشروعات السكنية أو المرافق العامة، نظرًا للمخاطر الصحية والبيئية التي تمثلها. بناءً على ذلك، يُعتمد معيار المحاجر في نماذج الملاءمة الحضرية لتحديد نطاقات الحماية العازلة، وتخصيص أوزان منخفضة في التحليل المكاني، بما يضمن توجيه الاستخدامات المقترحة نحو أنشطة صناعية أو خدمية تتوافق مع طبيعة المنطقة. ويُسهم دمج هذا المعيار في تعزيز تكامل التخطيط المكاني مع متطلبات الصحة العامة والاعتبارات البيئية، والحد من التوسع العشوائي المستقبلي.

ب. مواقع المصانع:

تُعد مواقع المصانع من العوامل ذات الحساسية البيئية العالية عند تحليل ملاءمة النمو الحضري، نظرًا لما تُسببه من انبعاثات ملوثة، وضوضاء، ومخاطر محتملة على الصحة العامة. تُقيد هذه المواقع فرص التوسع في الاستخدامات السكنية أو المؤسسية في نطاقها المباشر، وتُعتبر غير مناسبة لأنشطة حساسة مثل المجتمعات السكنية. وتُظهر الدراسة تركز عدد من المنشآت الصناعية الكبرى في محافظة القاهرة، لا سيما حلوان التي تعد مركزًا صناعيًّا محوريًّا في مصر، إذ تضم مناطق صناعية متنوعة وتتركز بها صناعات الحديد والصلب، والكيماويات، والهندسية، والغزل والنسيج، وصناعة الرخام والجرانيت، ما يعكس دورها كقاعدة إنتاجية رئيسية تدعم الاقتصاد وتخدم الأقاليم المجاورة. (الهيئة العامة للتخطيط العمراني، ٢٠١١، ص٨٩)، ومن المناطق المهمة أيضا جنوب وغرب مدينة ١٥ مايو، وشرق وادي حوف، ومنطقة طرة الأسمنت، بالإضافة إلى مصانع الهيئة العربية للتصنيع جنوب مطار القاهرة، والمنطقة الصناعية شرق القاهرة الجديدة قرب محمية الغابة المتحجرة، بإجمالي مساحة تتجاوز ١٥ كم٢. يُستخدم هذا المعيار لتحديد نطاقات الحماية العازلة حول المصانع ضمن بيئة نظم المعلومات الجغرافية، مع تخصيص أوزان منخفضة للمناطق القريبة نظرًا لانخفاض جدواها التنموية السكنية، مقابل أوزان أعلى للمناطق التي تبتعد عن التأثيرات الصناعية–شكل (١٠). كما يمكن توجيه بعض التوسعات في نطاق هذه المناطق نحو أنشطة صناعية أو لوجستية متوافقة، بما يحقق الاستخدام الأمثل للأرض ضمن رؤية تخطيطية متكاملة تراعي الجوانب البيئية والصحية.

٣- المعايير الاجتماعية:

أ. الكثافة السكانية:

تُعد الكثافة السكانية وإجمالي عدد السكان من المؤشرات المحورية في فهم ديناميكيات النمو الحضري، حيث يُعبر التوزيع المكاني للسكان عن أنماط الاستهلاك الحضري، والضغط على البنية التحتية، والطلب على الأراضي. تُظهر نتائج الشكل (٨) لمحافظة القاهرة تباينًا ملحوظًا في الكثافة الصافية، إذ يتجاوز المتوسط العام ٤٢ ألف نسمة/كم٢، مع وجود مناطق تتخطى ٣٨٠ألف نسمة/كم٢ مثل مساكن الأميرية الشمالية، و٢٠٤ ألف نسمة/كم٢ في عزبة نافع بقسم دار السلام، ما يعكس مناطق ذات اكتظاظ حضري مرتفع للغاية تتسم بالاستخدام المكثف للأرض، وتفتقر في الغالب إلى مساحات قابلة للتوسع الأفقي.

يرتبط هذا التركز السكاني المكثف غالبًا بالمناطق الحضرية بالدائرة الوسطى وعلى الأطراف والمكدسة بالسكان، مثل أحياء وسط المدينة، والمناطق العشوائية في الجنوب الشرقي، حيث تُسجل بعض الشياخات كثافة تتجاوز بكثير قدرة الحيز الحضري على الاستيعاب، ما يُبرز الحاجة إلى نماذج تطوير تعتمد على إعادة توزيع الكثافة أو التوسع الرأسي، فضلًا عن تعزيز البنية التحتية لتقليل مظاهر العجز المكاني والخدمي. ويوضح الشكل (٩) وجود نطاقات واسعة في أطراف المحافظة، لا سيما في شرق القاهرة الجديدة، والمناطق الجنوبية، والظهير الصحراوي، تتميز بانخفاض الكثافة السكانية إلى مستويات تقترب من الصفر، رغم كون بعضها مصنفًا كمناطق عمران جديد، وهذه الفجوة بين التوسع الحضري القائم ومحدودية الكثافة تعكس إما عدم جاهزية البنية الأساسية أو ضعف الجذب السكاني لهذه المناطق، مما يستدعي إعادة تقييم سياسات التحفيز الحضري وإعادة توجيه الاستثمار الحضري نحو مناطق النمو المخطط.

وينعكس التوزيع غير المتوازن للكثافة السكانية في محافظة القاهرة على نمط النمو الحضري القائم، إذ تشير المقارنة بين عدد السكان الفعلي ومستويات الكثافة إلى غياب واضح للتوازن المكاني؛ فبينما تعاني بعض المناطق المكتظة من تشبع عمراني يحد من إمكانيات التوسع الأفقي، تُسجل مناطق أخرى منخفضة الكثافة ضعفًا في مقومات الجذب الحضري. ومن هذا المنطلق، يُسهم إدراج الكثافة السكانية الصافية ضمن نموذج التحليل متعدد المعايير في تحديد أولويات التوسع استنادًا إلى احتياجات واقعية، بما يضمن عدالة التوزيع وكفاءة استغلال الأراضي. ولتعزيز دقة التوجيه المكاني، تم اعتماد معيار "المسافة من المناطق السكانية المكتظة" كمؤشر مكمل يعكس درجة الملاءمة للامتداد الحضري، حيث أُعيد تصنيفه إلى خمس فئات تتدرج من ١ ملاءمة منخفضة جدًا في قلب التجمعات المشبعة، إلى ٥ ملاءمة مرتفعة جدًا في المواقع التي تُحقق توازنًا بين القرب من الخدمات والابتعاد عن مناطق الضغط. وبدمج هذا المؤشر مع الكثافة، يُمكن توجيه التنمية نحو مواقع واعدة تحقق تكاملًا وظيفيًا بين التوسع والإشباع، ما يدعم نمطًا حضريًا مستدامًا وأكثر مرونة في استيعاب النمو السكاني المستقبلي.

٤- المعايير الطبيعية والبيئية

أ. الغطاء الأرضي LULC:

يمثّل الغطاء الأرضي عنصرًا محوريًا في فهم ديناميكيات النمو الحضري وتحديد المساحات المؤهلة للتوسع الحضري المستقبلي، خاصة عند دمجه ضمن نماذج التحليل المكاني متعدد المعايير (Theres et al., 2023,PP300,301)، وقد تم تصنيف الغطاء الأرضي لمنطقة الدراسة باستخدام بيانات القمر الصناعي Sentinel-2 لعام ٢٠٢٤، إلى أربعة أنماط رئيسية هي المناطق

الحضرية، الأراضي الجرداء أو الصحراوية، المناطق المائية، والمناطق المنزرعة، وقد أظهرت النتائج أن الأراضي الجرداء تستحوذ على النسبة الأكبر من المساحة بنحو ٧٨٪ (٢٥٠٦ كم٢)، تليها المناطق الحضرية بنسبة ١٩٪ (٦٢٥ كم٢)، ثم المناطق المنزرعة بنسبة ٢٪ (٥٠.١ كم٢)، وأخيرًا المناطق المائية بنسبة ١٪ (٢٩.١ كم٢).

ويساعد هذا التصنيف في تقييم مدى توفر الموارد الأرضية القابلة للتنمية، حيث تمثل الأراضي الجرداء رصيدًا استراتيجيًا للنمو المستقبلي، بشرط توافقها مع باقي المعايير (مثل البنية التحتية، التلوث، القيود البيئية)؛ بينما تُظهر المناطق الحضرية تركزًا واضحًا في غرب وشمال غرب نطاق الدراسة، خصوصًا في أحياء المعادي والبساتين ومدينة نصر، ما يعكس تشبع هذه المناطق نسبيًا بالبناء والتكثيف الحضري.

وفي إطار التحليل متعدد المعايير، أُعيد تصنيف الغطاء الأرضي وفقًا لمدى ملاءمته للتوسع، باستخدام مقياس من خمس درجات حصلت المناطق الحضرية القائمة على تصنيف منخفض جدًا (١) نظرًا لقلة فرص التوسع الأفقي داخلها، في حين اعتُبرت الأراضي الجرداء في أعلى درجات الملاءمة مرتفع جدًا (٥) لكونها تمثل الإمكانات غير المستغلة–شكل (٩). بينما مُنحت الأراضي الزراعية والمائية تصنيفات منخفضة (٢ أو أقل) لحساسيتها البيئية أو القيود التشريعية المفروضة عليها. يُعد هذا المؤشر أساسًا لتوجيه التوسع نحو الأراضي غير المطورة منخفضة الحساسية، مع حماية الموارد البيئية والاقتصادية. ومن خلال دمجه مع الكثافة السكانية والبنية التحتية والملكية والقيود البيئية، تُرسم صورة متكاملة لأولويات النمو الحضري، بما يوازن بين الاستيعاب السكاني واستدامة استخدام الأرض، ويُعزز من كفاءة توزيع المشروعات الحضرية والخدمات الحضرية في المستقبل.

ب. تراكم الجريان السيلي:

يُعد تراكم الجريان السطحي مؤشرًا هيدرولوجيًا محوريًا يُستخدم في تحليل الملاءمة المكانية للتوسع الحضري، إذ يحدد المواقع التي تتجمع فيها مياه الأمطار وتشكل مسارات تصريف طبيعية. يعكس هذا المؤشر عدد الخلايا التي تُصَرَّف إلى نقطة معينة ضمن شبكة التصريف، ما يتيح تصورًا دقيقًا لتدفق المياه عبر التضاريس، تشير القيم المرتفعة لتراكم الجريان إلى احتمالات عالية للتشبع المائي أو الفيضانات، خاصة في غياب بنية تحتية للصرف، مما يجعل تلك المواقع أقل ملاءمة للنمو الحضري. كما أن ارتفاع تراكم الجريان يؤثر على خصائص التربة واستقرار الأساسات، ويُعد من العوامل التي قد تُهدد سلامة المنشآت المستقبلية.

وتجدر الإشارة بأن هذا المؤشر، عند إدراجه ضمن التحليل المكاني متعدد المعايير، يُسهم في توجيه التوسع نحو مناطق أكثر استقرارًا من الناحية الطبيعية، وتقليل المخاطر البيئية المصاحبة، حيث تعكس طبقة تراكم الجريان العلاقة المباشرة بين نمط التصريف المائي والطبوغرافيا، حيث تُحسب من خلال نموذج الارتفاع الرقمي باستخدام أدوات التحليل الهيدرولوجي ضمن بيئة نظم المعلومات الجغرافية. تعتمد طريقة الحساب على تجميع عدد الخلايا التي تتدفق إلى كل نقطة، لتحديد اتجاهات التصريف الطبيعي عبر المنحدرات. تُظهر نتائج التحليل أن المناطق الواقعة في النطاق الغربي والشمالي الغربي من القاهرة، كحلوان وشمال دار السلام وجنوب المعادي، تُسجل أعلى تراكم للجريان، نتيجة لانخفاضها الطبوغرافي، ما يجعلها عرضة لتجمع المياه ويقلل من جدواها للتوسع دون معالجات هندسية. بينما تُعد المناطق المرتفعة نسبيًا في الشرق والجنوب الشرقي أكثر أمانًا من الناحية الهيدرولوجية–شكل (١٠). وقد أُعيد تصنيف الطبقة إلى خمس فئات وفقًا لمستوى الخطر، تبدأ من الفئة (١) كملاءمة منخفضة جدًا في مناطق التراكم العالي، وتنتهي بالفئة (٥) كملاءمة مرتفعة جدًا في المناطق ذات التصريف المنخفض، وهو ما يُستخدم لدعم اتخاذ القرار التخطيطي وتحقيق استدامة عمرانية فعّالة.

ج. درجة الانحدار:

يعتمد تحليل ملاءمة الأراضي للتوسع الحضري على درجة الانحدار كعنصر طبوغرافي محوري، ويُستخرج هذا المؤشر من نموذج الارتفاع الرقمي. تُظهر النتائج أن المناطق التي تقل فيها درجة الانحدار عن ٥ درجات – وتشكل نحو ٨٣.٥٪ من المساحة الكلية – تُوفر بيئة مناسبة للبناء، وتُقلل من تكاليف التشييد، وتُجنب مخاطر الانزلاقات الأرضية. وتُشير البيانات إلى أن الأراضي المنبسطة جدًا، والتي يقل انحدارها عن درجتين، تُغطي أكثر من نصف المنطقة الدراسة ٥١.٦٪، ما يُعزز من فرص النمو الحضري الآمن والمُنظم دون تحديات تضاريسية كبيرة.

وتُسجّل ملاءمة الأراضي انخفاضًا تدريجيًا مع تزايد الانحدار، إذ تُصبح المناطق ذات الانحدارات المتوسطة أو العالية (٨–٢٠ درجة) أقل جدوى للتوسع الحضري، وتشكل مجتمعة أقل من ٦٪ من المساحة الكلية. وتُصنّف المناطق التي يزيد انحدارها عن ٢٠ درجة ضمن الفئة الأدنى في الملاءمة، نتيجة صعوبات التنفيذ وارتفاع كلفة المعالجة الهندسية. بناءً على ذلك، يُعاد تصنيف الانحدار إلى خمس فئات تبدأ من (١) للانحدارات الحادة حتى (٥) للمناطق المستوية، ويُدمج هذا المؤشر في التحليل المكاني متعدد المعايير، لتوجيه التنمية نحو الأراضي الأكثر استقرارًا–شكل (١٠)، وتجنب المعوقات الطبوغرافية التي قد تُهدد سلامة المشروعات المستقبلية.

د. المناسيب:

تعتمد دراسة المناسيب على تحليل الارتفاعات الرقمية بهدف تقييم مدى ملاءمة الأراضي للتوسع الحضري. تُظهر النتائج أن الفئات المتوسطة (٣) تستحوذ على المساحة الأكبر بواقع ١٠٣١.٩ كم٢، ما يشير إلى وجود رصيد طبوغرافي مناسب للتوسع–شكل (١٠). تليها الفئة المرتفعة (٨٣٠.٢ كم٢) والفئة المرتفعة جدًا (٤٨٦.٥ كم٢)، والتي رغم ارتفاعها النسبي، تظل ضمن النطاق المقبول للامتداد الحضري إذا توفرت ظروف داعمة كالبنية التحتية وشبكات الوصول.

وتُظهر الفئات المنخفضة (١ و٢) مساحات أقل ملاءمة نسبيًا، حيث لا تتجاوز الفئة المنخفضة جدًا سوى ٦١.٨ كم٢، وهي مناطق قد تتأثر بالفيضانات أو ارتفاع منسوب المياه الجوفية. بناءً عليه، يُعاد تصنيف المناسيب إلى خمس درجات تبدأ من الفئة (١) للمناطق المنخفضة جدًا (أقل ملاءمة)، وتنتهي بالفئة (٥) للمناطق المرتفعة جدًا (أعلى ملاءمة)، مع تخصيص أوزان متدرجة تعكس مدى الجاذبية الطبوغرافية. يُوظف هذا التصنيف ضمن التحليل المكاني متعدد المعايير لتوجيه النمو الحضري نحو المناطق ذات الاستقرار الطبيعي، وتفادي المناطق ذات المخاطر الطبوغرافية المحتملة.

هـ. التكوينات الجيولوجية:

تُؤثر الخصائص الجيولوجية تأثيرًا مباشرًا في تحديد ملاءمة الأراضي للتوسع الحضري، نظرًا لما تمثله من عامل حاسم في استقرار التربة وقدرتها على تحمّل الأحمال الإنشائية (Falah et al., 2020, p. 236). تُعد التكوينات الرسوبية المتماسكة، مثل تلك التابعة لعصر الإيوسين (Eocene)، والتي تُغطي نحو ١٤٤٥ كم٢، من أكثر التكوينات ملاءمةً للنمو الحضري، لما توفره من ثبات واستقرار طبيعي. بينما تُظهر تكوينات الميوسين (Miocene) والأوليجوسين (Oligocene)ملاءمة متوسطة إلى مرتفعة، حيث تمتد على مساحة تزيد عن ١١٠٠ كم٢، وتُعتبر مقبولة من حيث الخصائص الجيوتقنية، لكن مع الحاجة إلى فحوصات ميدانية إضافية. أما التكوينات غير المتماسكة، كترسيبات نهر النيل (Nile deposits) والكثبان الرملية(Sand dunes) ، فتُسجل أقل الدرجات في المقياس المعتمد نظرًا لطبيعتها الهشة وسرعة تغيرها، مما يحدّ من صلاحيتها للتنمية دون معالجة هندسية معقدة.

وبناءً على تحليل التوزيع الجيولوجي، تم تصنيف المنطقة إلى خمس فئات للملاءمة–شكل (١١) تبدأ من الفئة (١) منخفض جدًا وتشمل التكوينات الهشة والمتحركة، وتصل إلى الفئة (٥) مرتفع جدًا وتشمل الصخور الرسوبية الصلبة والممتدة، يحتل هذا العامل وزنًا مهمًا داخل نموذج التحليل المكاني

متعدد المعايير، نظرًا لما يُمثله من مؤشر استراتيجي للاستقرار الحضري، وتقدير تكاليف التنمية المستقبلية، وضمان استدامة المشروعات الحضرية الكبرى.

و. المسافة من شبكات الأودية:

تُعد الأودية عناصر طبوغرافية ذات تأثير مباشر في قرارات التوسع الحضري، نظرًا لطبيعتها الديناميكية كمجاري مائية مؤقتة تُفعّل أثناء السيول والعواصف. تُظهر البيانات أن إجمالي أطوال شبكة الأودية في المنطقة يبلغ نحو ١٣٠٥.٣ كم، وتُصنف المناطق المحاذية لها ضمن الفئة (١) منخفض جدًا من حيث الملاءمة، حيث تُغطّي هذه الفئة مساحة تُقدّر بنحو ١٦٣٥.٩ كم٢. تشمل هذه الفئة مواقع مثل أطراف وادي دجلة، ووادي أبو رجوان، وشمال محمية الغابة المتحجرة، وهي مناطق شديدة الحساسية للفيضانات يُستبعد فيها البناء حفاظًا على الأرواح والمنشآت، وتُخصص عادةً لاستخدامات بيئية كالمتنزهات أو الممرات الخضراء.

وتتدرج الملاءمة في التحسن مع تزايد المسافة من الأودية–شكل (١٠)، حيث تُصنّف فئة المسافة المتوسطة (٤١١.٧ كم٢) ضمن المستوى الثالث متوسط الملاءمة، وتشمل مناطق مثل الهضبة الوسطى والتوسعات الشرقية للمعادي. أما الفئة الخامسة مرتفعة جدًا – التي تبلغ مساحتها ٥٧.٣ كم٢ – فتشمل مناطق مثل غرب الطريق الدائري الأوسطي، أو جنوب محور محمد بن زايد، وهي الأكثر أمانًا وملاءمة من الناحية التخطيطية. يُستخدم هذا التصنيف ضمن نماذج التحليل المكاني متعدد المعايير لتحديد نطاقات الحماية، وضمان التوسّع في المناطق البعيدة عن ممرات السيول، مما يُسهم في تعزيز الاستقرار الحضري، وتقليل المخاطر الجيومورفولوجية، وتحقيق التوازن بين التمدد الحضري والحفاظ على النظام البيئي الطبيعي.

ز. معامل رطوبة الطبوغرافية Topographic Wetness Index :

يعكس مؤشر الرطوبة الطوبوغرافية **TWI** العلاقة التبادلية بين تراكم الجريان السطحي والانحدار، ويُستخدم كمؤشر مكاني لتحديد مدى قابلية التربة لتخزين المياه. يُظهر هذا المؤشر دور الجاذبية في توجيه حركة المياه على المنحدرات، حيث تُسجل القيم الأعلى في المناطق المستوية أو المنحدرات المعتدلة، مما يدل على ارتفاع احتمالية تراكم المياه وتشبع التربة، في حين تنخفض القيم في المناطق ذات الانحدار الحاد نتيجة لتسارع تدفق المياه وانخفاض قدرة الأرض على الاحتفاظ بها. وبناءً على معادلة TWI وتطبيقها باستخدام برنامجSAGA GIS ، ويتبين من الشكل (١٠) أن القيم تتدرج من أقل من ٣ إلى ما يزيد عن ٢١، ما يعكس اختلافًا واضحًا في ظروف الرطوبة. ومن ثم أُعيد تصنيف هذه القيم إلى خمس فئات تتراوح بين منخفض جدًا (١) ومرتفع جدًا (٥)، وُمنحت الأوزان الأعلى للمناطق ذات TWI المرتفع باعتبارها الأكثر عرضة للتشبع. وتشير نتائج التصنيف إلى أن نحو

٤٩.٣٪ من المساحة تقع ضمن الفئتين (١ و٢) منخفضي الملاءمة، بينما تحتل الفئة (٥) أقل نسبة (٥.٦٪)، ما يدل على محدودية الأراضي ذات الرطوبة المرتفعة. وتؤثر هذه البيانات مباشرة على قرارات التوسع الحضري، حيث تُستبعد المناطق ذات مؤشر TWI المرتفع من البناء السكني أو الصناعي بسبب ارتفاع مخاطر الانزلاقات أو الهبوط الأرضي، وتُوجه بدلًا من ذلك لاستخدامات زراعية أو مساحات خضراء، في حين تُعد المناطق الجافة نسبيًا الأكثر ملاءمة من الناحية الإنشائية والاستدامة الحضرية.

ح. معامل طول المنحدر LS Factor

يُعد مؤشر LS (الطول والانحدار) من أهم المعايير الطبوغرافية المستخدمة لتقييم مخاطر التعرية المائية، لما له من تأثير مباشر على استقرار التربة وإمكانية التوسع الحضري. ويُستخرج هذا المؤشر من نموذج الارتفاع الرقمي (DEM) ويُدمج فيه كل من طول المنحدر وزاوية الميل باستخدام أدوات تحليلية متقدمة مثل SAGA ويُظهر الشكل (٨) أن المناطق الواقعة جنوب شرق الدراسة – مثل أطراف القاهرة الجديدة وشرق وادي دجلة – تسجل أعلى قيمLS ، مما يشير إلى مخاطر مرتفعة للتعرية وضعف ملاءمتها الإنشائية دون معالجات هندسية. بينما تُسجّل المناطق المستوية نسبيًا مثل شمال مدينة السلام وشمال مدينة نصر أقل القيم، مما يجعلها أولى بالتوسع من منظور الاستقرار الطبوغرافي والاقتصادي. تُصنف القيم إلى خمس فئات –شكل (١١) تبدأ من (١) كملاءمة مرتفعة جدًا إلى (٥) كملاءمة منخفضة جدًا، حيث تُستخدم هذه الفئات في استبعاد أو تقييد التنمية في المناطق الحرجة.

ذ. المسافة من خطوط الانكسارات:

تشير الانكسارات الجيولوجية إلى مناطق الضعف البنيوي في القشرة الأرضية، وهي من العوامل الخطرة التي تُقيد النمو الحضري بشكل مباشر. تُعد المناطق القريبة من الانكسارات عرضة للنشاط الزلزالي أو الحركات الأرضية، ما يهدد السلامة الهيكلية للمباني والبنية التحتية. لذلك، يتم استبعاد هذه المناطق أو خفض أوزانها بشكل كبير في خرائط الملاءمة، ويُستخدم هذا المعيار في النمذجة المكانية كعنصر وقائي لتوجيه التنمية بعيدًا عن المخاطر الطبيعية، وتحديد المناطق الأكثر أمانًا من الناحية الجيولوجية. يُعد إدماج الانكسارات في تحليل الملاءمة من متطلبات التخطيط الحضري الآمن والمرن، ويسهم في حماية الاستثمارات من التهديدات الأرضية المفاجئة. وينتشر تأثير الصدوع بوضوح في جنوب مدينة حلوان، ومحيط وادي دجلة، وغرب القاهرة الجديدة، وجنوب غرب العاصمة

الإدارية–شكل (٨)، ما يؤكد ضرورة دمج هذا العامل ضمن نماذج التوسع الحضري المستدام لضمان استبعاد النطاقات عالية الخطورة وتوجيه التنمية إلى مناطق أكثر استقرارًا وأمانًا.

ويُظهر الشكل (١١) توزيع الانكسارات عبر خمس فئات مكانية وفقًا لقربها وكثافتها. الفئة ٥ (مرتفع جدًا في التأثر) تضم ٢٢٧.٨ كم٢، وتُصنّف على أنها غير ملائمة إطلاقًا لأي توسع عمراني، نظرًا لقربها الشديد من خطوط الصدع. تليها الفئات ٤ و٣ بمساحات تبلغ ٣٩٩.٤ و٦٦٥.٦ كم٢ على التوالي، وتُعد مناطق ذات ملاءمة منخفضة إلى متوسطة تستلزم تقييمًا جيولوجيًا دقيقًا قبل أي نشاط إنشائي. بينما تُشكل الفئتان ٢ و١ (منخفض ومنخفض جدًا) المساحة الأكبر بإجمالي ١٩١٧.٤ كم٢، وتُصنّف كالأكثر ملاءمة للتنمية من حيث الأمان البنيوي.

ثالثاً: التحليل ومناقشة النتائج:

يعكس الجدول (٣) تحليلًا تفصيليًا لتقييم ملاءمة التوسع الحضري بناءً على ١٩ معيارًا متنوعًا تشمل أبعاداً طبيعية، عمرانية، اقتصادية، وبيئية. أُعطي كل معيار وزناً نسبيًا يعبر عن مدى تأثيره في القرار التخطيطي، وتوزعت درجات الملاءمة إلى خمس فئات تبدأ بفئة منخفض جداً وتنتهي بفئة مرتفع جداً. وقد أظهرت النتائج أن معايير مثل الغطاء الأرضي، والعمران، والكثافة السكانية، والمناسيب، والانحدار، جاءت في مقدمة العوامل الأكثر تأثيرًا، مما يؤكد دورها المحوري في توجيه التنمية. بينما تراجعت أهمية بعض المعايير مثل المسافة من المحاجر والمطارات ومؤشر TWI، مما يشير إلى تأثيرها المحدود نسبياً في تحديد مناطق التوسع. كما أبرز التوزيع المساحي لفئات الملاءمة تبايناً مكانيًا واضحًا، حيث تركزت مساحات شاسعة ضمن فئة "مرتفع جداً " في بعض المعايير، مما يدل على توفر فرص واعدة للتنمية في هذه المناطق. يعكس هذا الجدول أهمية النهج التكاملي في تقييم الملاءمة المكانية، ويوفر أداة مساعدة لصنّاع القرار في توجيه النمو الحضري بطريقة مستدامة ومدروسة. ولتحقيق أهداف الدراسة تم تطبيق طريقة التحليل الهرمي AHP على المعايير التي تم تحديدها وتصنيفها مسبقًا والنمذجة في بيئة نظم المعلومات الجغرافية، كما يلي:

١- عملية التحليل الهرمي لتحديد الأوزان (AHP)

تُعد عملية التحليل الهرمي من أبرز المنهجيات متعددة المعايير التي وضعها الساعاتي (Saaty, 1990)لدعم اتخاذ القرار، من خلال هيكلة المشكلة على شكل مستويات هرمية وتحديد الأوزان النسبية للعوامل المؤثرة بناءً على مقارنات زوجية دقيقة. وقد أثبت هذا النموذج فاعليته في المجالات المكانية، خصوصًا في تحليل الظواهر المعقدة التي تتطلب دمج معايير كمية ونوعية ضمن إطار موحد. وقد تم توظيف منهجية AHP في السنوات الأخيرة على نطاق واسع في تحليل التوسع الحضري، حيث تُستخدم لتحديد مدى تأثير العوامل المختلفة في توجيه النمو الحضري

(Khelili et al., 2022, P21) وفي هذه الدراسة، ووفقًا لطبيعة محافظة القاهرة، تم اعتماد (19) معيارًا تعكس الخصائص الطبيعية والبيئية والاجتماعية والعمرانية والاقتصادية لمنطقة الدراسة. وقد جرى ترجيح هذه المعايير بناءً على رأي الخبراء والدراسات السابقة، وتبعًا لسياق المنطقة، باستخدام مقياس الأهمية النسبية الذي وضعهSaaty ، والذي يُحدد الأوزان بدرجات تتراوح بين (١) للدلالة على الأهمية الضعيفة و(٩) للأهمية القصوى- جدول (٤).

وتُشير نتائج التحليل إلى أن المتغيرات ذات الأوزان المرتفعة تمثل العوامل الأكثر تأثيرًا في تحديد اتجاهات النمو الحضري، بينما تُعد المتغيرات ذات الأوزان المنخفضة أقل أهمية في التأثير المكاني، وبذلك، يُوفر نموذج AHP إطارًا منهجيًا يمكن من خلاله دمج العوامل المختلفة وتقييم مدى ملاءمة الأراضي للتوسع الحضري، بشكل موضوعي ومرتبط بالسياق المحلي لمحافظة القاهرة.

جدول (٤) المقياس الأساسي للمقارنات الزوجية

الوزن بالقياس الرقمي	المدلول
1	تساوى الأهمية
3	أحد المعارين أهم بدرجة متوسطة من الاخر
5	أحد المعيارين أهم بدرجة قوية من الاخر
7	أحد المعيارين أهم بدرجة عالية جدا من المعيار الاخر
9	أحد المعيارين أهم بدرجة قصوى
2,4,6,8	قيم وسطية تستخدم بين الأوزان السابقة عند المقارنة الرقمية

المصدر: Saaty **(2008)**

تم إدخال جميع المعطيات المكانية في نموذج التحليل متعدد المعايير AHP عبر منصة AHP Online System، بعد ترتيبها بشكل منهجي في ورقة Excel منفردة، بحيث يُعكس هذا الترتيب درجة الملاءمة وأهمية كل متغير مكاني في تحديد إمكانات التوسع الحضري. وقد استند هذا الترتيب إلى مراجعة الأدبيات العلمية السابقة، والملاحظات الميدانية، وخبرة الخبراء المحليين في طبيعة المنطقة المدروسة. وفي الخطوة التالية، تم بناء مصفوفة المقارنة الزوجية بين جميع طبقات البيانات المكانية وفقًا لمقياس (9–1) Saaty، لتحديد التأثير النسبي لكل معيار في سياق توجيه النمو الحضري. ويُوضح الجدول (٥) نتائج هذه المقارنات التي تعكس تباين الأهمية النسبية بين العوامل المدروسة، والتي تشكل أساس حساب الأوزان النهائية في النموذج المكاني.

جدول (٥) مصفوفة المقارنة الزوجية للمعايير المدخلة ونسبة الاتساق consistency ratio بالتحليل الهرمي.

المعايير	الغطاء الأرضي	الكتلة العمرانية	الكثافة السكانية	المناسيب	درجة الانحدار	معامل طول المنحدر	التكوينات الجيولوجية	تراكم الجريان المائي	الأودية	الطرق السريعة	خطوط المترو	المونريل	السكك الحديدية	الانكسارات	مواقع المصانع	المناطق العسكرية	المحاجر	المطارات	TWI
الغطاء الأرضي	1	1	1	1	1	2	2	3	3	4	5	5	5	6	6	6	7	7	8
الكتلة العمرانية	1	1	1	1	1	2	2	3	3	4	4	5	5	6	6	6	7	7	8
الكثافة السكانية	1	1	1	1	1	1	1	2	2	3	3	4	4	5	5	5	6	6	7
المناسيب	1	1	1	1	1	1	1	2	2	3	3	4	4	5	5	5	6	6	7
درجة الانحدار	1	1	1	1	1	1	1	2	2	3	3	3	3	4	4	4	6	6	7
معامل طول المنحدر	0.5	0.5	1	1	1	1	1	1	1	2	2	3	3	4	4	4	6	5	6
التكوينات الجيولوجية	0.5	0.5	1	1	1	1	1	1	1	2	2	3	3	4	4	4	5	5	6
تراكم الجريان المائي	0.33	0.33	0.5	0.5	0.5	1	1	1	1	1	1	2	2	3	3	3	4	4	5
الأودية	0.33	0.33	0.5	0.5	0.5	1	1	1	1	1	1	2	2	3	3	3	4	4	5
الطرق السريعة	0.25	0.25	0.33	0.33	0.33	0.5	0.5	1	1	1	1	1	1	2	2	2	3	3	4
خطوط المترو	0.2	0.25	0.33	0.33	0.33	0.5	0.5	1	1	1	1	1	1	2	2	2	3	2	4
المونريل	0.2	0.2	0.25	0.25	0.33	0.33	0.33	0.5	0.5	1	1	1	1	1	1	1	2	2	3
السكك الحديدية	0.2	0.2	0.25	0.25	0.33	0.33	0.33	0.5	0.5	1	1	1	1	1	1	1	2	2	3
الانكسارات	0.17	0.17	0.2	0.2	0.25	0.25	0.25	0.33	0.33	0.5	0.5	1	1	1	1	1	2	1	2
مواقع المصانع	0.17	0.17	0.2	0.2	0.25	0.25	0.25	0.33	0.33	0.5	0.5	1	1	1	1	1	2	1	2
المناطق العسكرية	0.17	0.17	0.2	0.2	0.25	0.25	0.25	0.33	0.33	0.5	0.5	1	1	1	1	1	2	1	2
المحاجر	0.14	0.14	0.17	0.17	0.17	0.2	0.2	0.25	0.25	0.33	0.5	0.5	0.5	1	1	1	1	1	1
المطارات	0.14	0.14	0.17	0.17	0.17	0.2	0.2	0.25	0.25	0.33	0.5	0.5	0.5	1	1	1	1	1	1
TWI	0.12	0.12	0.14	0.14	0.14	0.17	0.17	0.2	0.2	0.25	0.25	0.33	0.33	0.5	0.5	0.5	1	1	1

وبالاعتماد على جدول (٤) تم احتساب القيمة الذاتية العظمى maximum :(λ_{max}) eigenvalue وهي تمثل أكبر جذر خاص (Eigenvalue)للمصفوفة المربعة التي تمثل المقارنة بين المعايير، عند وجود اتساق تام في الأحكام (أي أن كل الأحكام منطقية تمامًا)، فإن λ_{max} = n=، حيث nهو عدد المعايير، ويتم حسابها من المعادلة التالية: -

$$max\,\lambda = \left(\frac{i(A \cdot w)}{iw}\right) \cdot \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{n}$$

حيث: A =مصفوفة المقارنة الزوجية، w = متجه الأوزان، n =عدد المعايير، وفي الدراسة الحالية λ_{max}=19.276 بينما n=19 هذا يدل على وجود درجة طفيفة من عدم الاتساق، وهو أمر طبيعي ومقبول. وتم احتساب مؤشر الاتساق(Consistency Index – CI) ، وهو يُستخدم لقياس مدى تباين أو انحراف الأحكام عن الاتساق التام، وكلما اقترب CIمن الصفر، كلما كانت المصفوفة أكثر اتساقًا. وتم حساب هذا المؤشر باستخدام المعادلة التالية:

$CI=\lambda_{max} - n \setminus n-1$

$CI=19.276-19 \setminus 18 \approx 0.0153.$ (Saaty, T. L. 1980)

وتم احتساب معامل الاتساق العشوائي(Random Index) ، وهو رقم قياسي تم تحديده إحصائيًا وهو يمثل متوسط مؤشر الاتساق لمصفوفات عشوائية من نفس الحجم تعتمد على nعدد المعايير، فعندما n=19 تكون: RI=1.63، وبناء على دراسة (Saaty, 1980) تم اعداد جدول(٥) الذي يوضح قيم مؤشر الاتساق العشوائي (Random Index) ويُستخدم ضمن منهجية التحليل الهرمي (AHP) لتقييم مدى اتساق الأحكام في مصفوفة المقارنة الزوجية.

جدول (٦) معامل الاتساق العشوائي (Random Index):

عدد المعايير (N)	1	5	10	15	19
معامل الاتساق العشوائي (RI)	0	1.12	1.49	1.59	1.63

المصدر: Saaty, T. L. (1980)

تلي ذلك احتساب نسبة الاتساق (Consistency Ratio –CR) الخاصة بالتحليل الهرمي لمصفوفة المقارنة الزوجية بين المعايير المكانية، بهدف تقييم مدى التماسك المنطقي في الترجيحات المستخدمة نسبة الاتساق(Consistency Ratio – CR) ، وتعتبر المعيار النهائي للحكم على مدى منطقية المصفوفة وإذا كانت CR < 0.10 أقل من ١٠% فالمصفوفة متسقة ومقبولة، إذا كانت CR ≥ 0.10 تحتاج المصفوفة إلى مراجعة. تُحسب باستخدام المعادلة التالية:

$$CR= CI/ RI =0.0153/1.63 \approx 0.0094$$

وقد بلغت قيمة CR في هذه الدراسة ٠.٠٠٩٤ وهواتساق ممتاز، فهي أقل بكثير من الحد المقبول البالغ 0.10، مما يدل على وجود مستوى عالٍ من الاتساق في الأحكام المعطاة أثناء المقارنة. ويُعد هذا المؤشر معيارًا أساسًا في تقييم جودة النموذج، إذ تشير القيم التي تقل عن 0.10 إلى أن المصفوفة مقبولة ويمكن الاستمرار في التحليل، بينما القيم التي تتجاوز هذا الحد تستدعي مراجعة المقارنات لإعادة ضبط الاتساق. ومن الناحية النظرية، تعكس القيمة الصفرية الكاملة حالة اتساق مثالية، لكن في التطبيق العملي يُعد الوصول إلى قيمة دون 0.10 مؤشرًا على معقولية القرارات واتساق المنهج التحليلي المستخدم في تقدير أوزان المعايير (Khelili et al., 2022, P21).

٢- التراكب الموزون لخرائط المعايير المكانية:

يستُخدم تحليل التراكب الموزون ضمن بيئة نظم المعلومات الجغرافية لإنتاج خريطة إمكانات النمو الحضري، استنادًا إلى نتائج التحليل الهرمي متعدد المعايير (AHP) تم في البداية إعادة تصنيف الطبقات المكانية باستخدام أداة التصنيف(Reclassification Tool) ، حيث أُعطيت رتب (Ranks)لكل فئة تصنيفية ضمن كل معيار مكاني، وفقًا لتأثيرها النسبي في التوسع الحضري المحتمل.

وقد جرى توزيع الأوزان التصنيفية على مقياس موحد من ١ إلى ٥، بحيث يشير الرقم (١) إلى تأثير منخفض جدًا، و(٢) إلى منخفض، و(٣) متوسط، و(٤) مرتفع، و(٥) مرتفع جدًا، وفقًا لإمكانية مساهمة كل فئة في دعم التمدد الحضري. كما تم إسناد أوزان نسبية لكل طبقة مكانية بناءً على نتائج مصفوفة المقارنة الزوجية AHP، وبما يتناسب مع درجة الأهمية النسبية لكل متغير فرعي. باستخدام أداة Weighted Overlay، تم دمج جميع الطبقات المُعاد تصنيفها وفق هذا النظام الموحد، ما أتاح توليد خريطة مركبة توضح إمكانات النمو الحضري المكاني في منطقة الدراسة. وشملت العملية ترجيحًا وإعادة تصنيف لعدد (١٩) معيارًا مؤثرًا، مع دمج هذه الأوزان عبر معادلة مركبة ضمن بيئةArcGIS ، بدعم من أدوات التحليل المكاني متعددة المعايير(MCDM) ، كما هو موضح في الجدول (4). وتجدر الإشارة أنه تم استخدام معادلة تعمل على دمج الأوزان النسبية المستخرجة من AHP مع الرتب التصنيفية للفئات المكانية ضمن كل معيار، بحيث يتم ضرب كل رتبة في وزنها المكافئ، ثم جمع النتائج عبر جميع المعايير ويُعبر الناتج النهائي عن القيمة التراكمية للملاءمة المكانية، والتي يتم تحويلها لاحقًا إلى خريطة متدرجة توضّح أفضل وأقل المواقع قابلية للتوسع الحضري.

٣- الملاءمة المكانية للنمو الحضري المحتمل بمنطقة الدراسة.

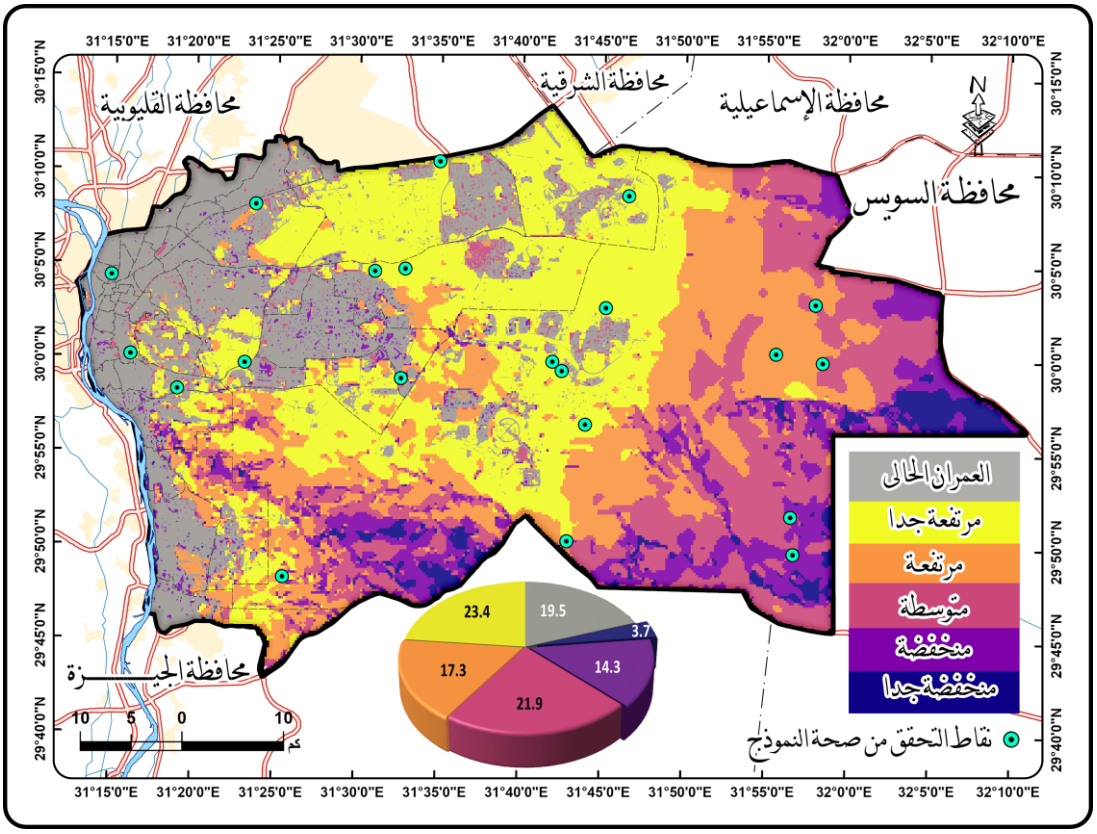
تم تطبيق طريقة التحليل الهرمي على المعايير التي جرى تحديدها وتصنيفها مسبقًا، مع نمذجتها في بيئة نظم المعلومات الجغرافية. وتُعدّ نمذجة التنبؤ المكاني من الأدوات الحيوية في تحليل النمو الحضري، إذ تتيح إمكانية تحديد المواقع الأكثر احتمالًا للتوسع المستقبلي استنادًا إلى معطيات مكانية دقيقة ونماذج تحليلية متقدمة. ويُقاس النمو الحضري من خلال دراسة ديناميكياته وتحليل أنماط التوسع في المدن والمناطق الحضرية، والتي تنشأ بفعل تفاعل العوامل الداخلية والخارجية المؤثرة في البيئة الحضرية. ويتم ذلك عبر توظيف نماذج كمية متقدمة لقياس النمو، بهدف فهم خصائص المدينة، واستكشاف اتجاهات التوسع العمراني، بما يُسهم في إعداد تصورات دقيقة للتخطيط العمراني المستقبلي (سلامة ورفعت، ٢٠٢٠، ص. ١٧٤). وتُوفر هذه الآلية أُسسًا علمية لتوجيه قرارات الاستثمار الحضري وتخطيط البنية التحتية، بما يتواءم مع التحولات في استخدامات الأرض وديناميات التوسع.

كما تسهم في تحسين فاعلية التخطيط طويل المدى، من خلال تقليص العشوائية، وتعزيز الاعتماد على بيانات وتوقعات كمية، الأمر الذي يجعلها أداة محورية في دعم مسارات النمو الحضري المستدام. (Khelili et al., 2022, PP23,24)

وتُبرز نتائج التحليل المكاني للمؤشرات الجيومكانية أن التوسع الحضري في منطقة الدراسة يتجه أساسًا نحو الوسط، والجنوب الغربي، والشرق– شكل (١٢). وقد تم اعتماد تقنية التراكب الموزون (Weighted Overlay)لإنتاج الخريطة النهائية التي صنّفت المنطقة إلى خمس فئات حسب احتمالية النمو الحضري، مرتفعة جدًا، مرتفعة، متوسطة، منخفضة، ومنخفضة جدًا، مما يتيح تصورًا دقيقًا للأولويات التخطيطية على مستوى المنطقة.

جدول (٧) الفئات المساحية لمناطق التوسع الحضري المحتمل بمنطقة الدراسة

درجة الأهمية	المساحة الحضرية المحتملة	
	كم٢	%
مناطق العمران الحالى	625	19.5
منخفضة جدا	117.7	3.7
منخفضة	459.6	14.3
متوسطة	702.5	21.9
مرتفعة	554.7	17.3
مرتفعة جدا	750.7	23.4
الإجمالي	٣٢١٠,٢	100



شكل (١٢) درجات الملاءمة المحتملة للنمو الحضري بمحافظة القاهرة.

وتشير نتائج الجدول (٧) والشكل (١٢) إلى وجود تباين مكاني واضح في التوزيع الجغرافي للفئات الحضرية، حيث يتجه النمو الحضري بشكل رئيس نحو الوسط، والجنوب الغربي، والشرق. ويُعزى هذا الاتجاه إلى تراكب تأثير أوزان العوامل الطبيعية والبيئية والاجتماعية مع المحددات الاقتصادية والحضرية. وقد أظهر الشكل (١٢) أن نتائج النمذجة المكانية جاءت متسقة مع الخصائص الواقعية للمنطقة، لا سيما في علاقتها بالبنية التحتية وشبكات النقل الحديثة. وتم تصنيف الناتج النهائي إلى خمس فئات للملاءمة، تتراوح بين منخفضة جدًا إلى مرتفعة جدًا، بما يعكس قابلية التوسع الحضري وفق معايير متعددة الأبعاد.

وتبين أن المناطق ذات الملاءمة المرتفعة جدًا بلغت نسبتها ٢٣.٤٪ بمساحة ٧٥٠.٧ كم٢ وتتمركز بوضوح في الحي الحكومي والحي الدبلوماسي بالعاصمة الإدارية، وكذلك جنوب القاهرة الجديدة وشمال بدر، نتيجة توافق هذه المناطق مع معايير عالية في سهولة الوصول عبر الطرق السريعة (السويس، الدائري الإقليمي)، إضافة إلى قربها من محطات المونوريل والمترو الجاري إنشاؤها .كما تتميز بانخفاض التداخل مع المحاجر أو الأنشطة الصناعية الملوثة، وانعدام وجود

مناطق عسكرية أو قيود أمنية، ما يجعلها مواقع مثالية للتوسع الآمن والمتكامل. الغطاء الأرضي بها يتصف بفراغات عمرانية صالحة للبناء، وتربة مستقرة، ما يقلل من تكلفة التهيئة.

تغطي الفئة مرتفعة الملاءمة المكانية لإمكانات التوسع العادل مساحة قدرها ٥٥٤.٧ كم٢ بنسبة بلغت١٧.٣٪، وتتركز بشكل رئيسي حول الفئة الأولى، كحلقة توسع محتملة مستقبليًا. تشمل أجزاء من مدينة المستقبل، محيط الروبيكي، المناطق الواقعة شرق مدينتي، وتمتاز بوجود بنية تحتية جيدة نسبيًا، وشبكة طرق فرعية مرتبطة بالمحاور الرئيسة، مثل محور محمد بن زايد الجنوبي. كما تشهد هذه المناطق تحسنًا في كفاءة النقل العام نظرًا لمرور خطوط المونوريل بالقرب منها. وتتميز بغطاء أرضي ذي كثافة نباتية منخفضة وتربة شبه رملية، مما يسهل أعمال الحفر والتهيئة. مع ذلك، فإن قرب بعضها من مناطق صناعية متوسطة النشاط يتطلب التخطيط لفصل استعمالات الأرض لضمان التوافق الحضري.

أما الفئة متوسطة الملاءمة فبلغت نسبتها ٢١.٩٪ بمساحة بلغت ٧٠٢.٥ كم٢ فتقع في مناطق محيطية تمثل نطاقًا انتقاليًا بين المناطق المناسبة وغير المناسبة، وتنتشر في أطراف العاصمة الإدارية، وأجزاء من شرق الشروق، وجنوب مدينة بدر. وتُظهر هذه المناطق خصائص طبوغرافية أكثر تعقيدًا، مع وجود بعض الانحدارات وتقاطعات جيولوجية، إلى جانب الاقتراب النسبي من مواقع محاجر قديمة أو أنشطة تصنيع خفيف .كما أن البُعد عن المحاور الرئيسة للطرق يؤثر سلبًا على جدوى التنمية، لذا فإن تطويرها يتطلب استثمارًا في البنية التحتية، وتهيئة نقل داخلي فعال يربطها بشبكات النقل السريع.

وجاءت الفئة الرابعة ذات الملاءمة المنخفضة بمساحة بلغت ٤٥٩.٦ كم٢، ١٤.٣٪ تمثل مساحات مترامية في الحواف الجنوبية الشرقية والغربية، وتشمل مناطق مثل أجزاء من الظهير الصحراوي لمدينة بدر، وبعض مناطق المحيط الجنوبي للقاهرة الجديدة. تتسم هذه المواقع ببعدها عن مراكز النمو، وانخفاض كثافة الطرق، مع تواجد نشاط صناعي أو محاجر نشطة مجاورة، فضلاً عن ارتفاع محتمل في مؤشر التعرية. ويُظهر الغطاء الأرضي كثافة صخرية أو رملية عالية، مما يتطلب تدخلات فنية باهظة لتحسين الملاءمة، وقد تُخصص بعض هذه المناطق للأنشطة اللوجستية أو المخازن بدلاً من السكن.

أما الفئة الأخيرة والمنخفضة جدا فبلغت مساحتها ١١٧.٧ كم٢، ٣.٧٪ فتقع في المناطق الجنوبية والجنوبية الشرقية، وتمثل أدنى درجات الملاءمة بسبب اجتماع عدد من القيود الحادة كشدة

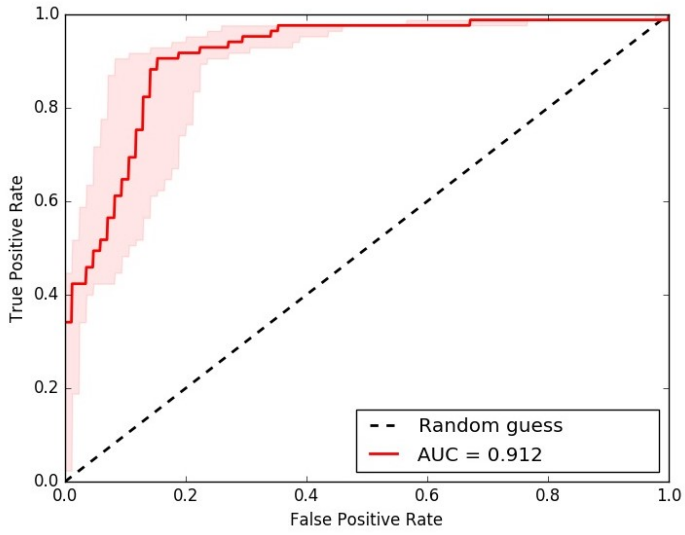
الانحدار، تقاطع مع الصدوع، وجود وحدات عسكرية أو أمنية مغلقة، وقرب من مناطق محاجر نشطة أو أراضٍ صخرية شديدة الصلابة .كما أن ضعف البنية التحتية، وغياب الغطاء النباتي أو التربة القابلة للزراعة، يجعل استخدامها محدودًا للغاية. وتُوصى هذه المناطق بالبقاء كاحتياطي غير عمراني، أو استخدامها لأغراض الحماية البيئية أو كمناطق مفتوحة غير مبنية.

٤- تقييم دقة نموذج الملاءمة المكانية للنمو الحضري المحتمل

يُعد تقييم دقة النموذج المكاني خطوة محورية في التحقق من موثوقية نتائج التحليل ومدى قدرتها على دعم اتخاذ القرار التخطيطي. وقد اعتمدت الدراسة على منهج التقييم الجيواحصائي باستخدام منحنى ROC ونقاط تحقق ميدانية، بهدف قياس كفاءة نموذج الملاءمة المكانية في التنبؤ باتجاهات التوسع الحضري بمحافظة القاهرة.

أ. التقييم الجيواحصائى للنموذج.

يُعد تقييم النموذج التحليلي من خلال أدوات التحقق الإحصائية والميدانية أحد أبرز الركائز العلمية لضمان دقة خرائط التوسع الحضري وتوظيفها في اتخاذ قرارات تخطيطية سليمة. واعتمدت الدراسة على نموذج التحليل الهرمي الذي دمج بين مؤشرات طبيعية واجتماعية واقتصادية وعمرانية متعددة ضمن بيئة نظم المعلومات الجغرافية، وتم التحقق من ناتجه من خلال تحليل منحنى ROC وتوزيع نقاط تحقق ميدانية (Saxena et,al, 2020, p. 8 ،Osman et,al, 2018, p. 8478)



المصدر: إعداد الباحثان اعتمادا على نقاط التحقق المختارة بشكل (١٢).

شكل (١٣) تقييم درجة الدقة لخريطة النمو الحضري المحتمل باستخدام منحنى ROC-CURVE

يُظهر منحنى ROC دقة تصنيف عالية للنموذج، حيث بلغت قيمة حوالي ٠.٩١٢ –شكلي (١٣،١٢)، وهي نسبة تدل على موثوقية عالية في تمييز النموذج بين المناطق ذات الملاءمة المرتفعة والمنخفضة للتوسع الحضري. وتأتي هذه النتيجة اعتمادًا على ٢١ نقطة تحقق تمثل مواقع شهدت نموًا فعليًا أو أُدرجت ضمن مخططات تنموية مستقبلية، مثل مناطق شمال مدينتي وبدر، وامتدادات العاصمة الإدارية شرقًا، مما يوضح التوافق الوثيق بين التحليل المكاني وواقع التنمية على الأرض.

يعتمد تفسير دقة النموذج ليشمل طبيعة التفاعل بين الأوزان النسبية للعوامل المدخلة ومواقع نقاط التحقق. فعلى سبيل المثال، تتركز غالبية النقاط ضمن فئة الملاءمة المرتفعة جدًا، في مناطق تتميز بتكامل إيجابي بين عدة معايير، مثل سهولة الوصول عبر شبكات الطرق (كطريق السويس والدائري الإقليمي)، والقرب من خطوط المونوريل بالعاصمة الإدارية، وانعدام التضاريس الحادة أو الصدوع النشطة. كما تتجنب هذه المواقع الوجود قرب المحاجر أو المناطق العسكرية، مما يعزز من استقرارها للاستخدامات الحضرية.

وتُظهر بعض نقاط التحقق في مناطق ذات ملاءمة مرتفعة إمكانات عمرانية واعدة، لكنها تتأثر جزئيًا بعوامل مقيّدة، مثل وجود منشآت صناعية متوسطة النشاط في محيط منطقة الروبيكي أو شرق مدينة بدر. ويعكس هذا قدرة النموذج على التقاط الطبيعة الانتقالية لبعض المواقع، التي يمكن تحويلها إلى فرص نمو حقيقية من خلال تدخلات تخطيطية مناسبة كتعديل استعمالات الأراضي أو تعزيز البنية التحتية.

من ناحية أخرى، لا يُصنف أي من نقاط التحقق ضمن فئات الملاءمة المنخفضة أو المنخفضة جدًا، وهو ما يعكس دقة النموذج في استبعاد المناطق ذات المخاطر البيئية والجيولوجية الواضحة، مثل المناطق جنوب شرق القاهرة الجديدة أو المناطق ذات الصخور شديدة الصلابة والانحدارات المرتفعة. كما يقل ارتباط هذه المناطق بالخدمات ومراكز النمو، ما يُبرر إدراجها ضمن الفئات غير الملائمة.

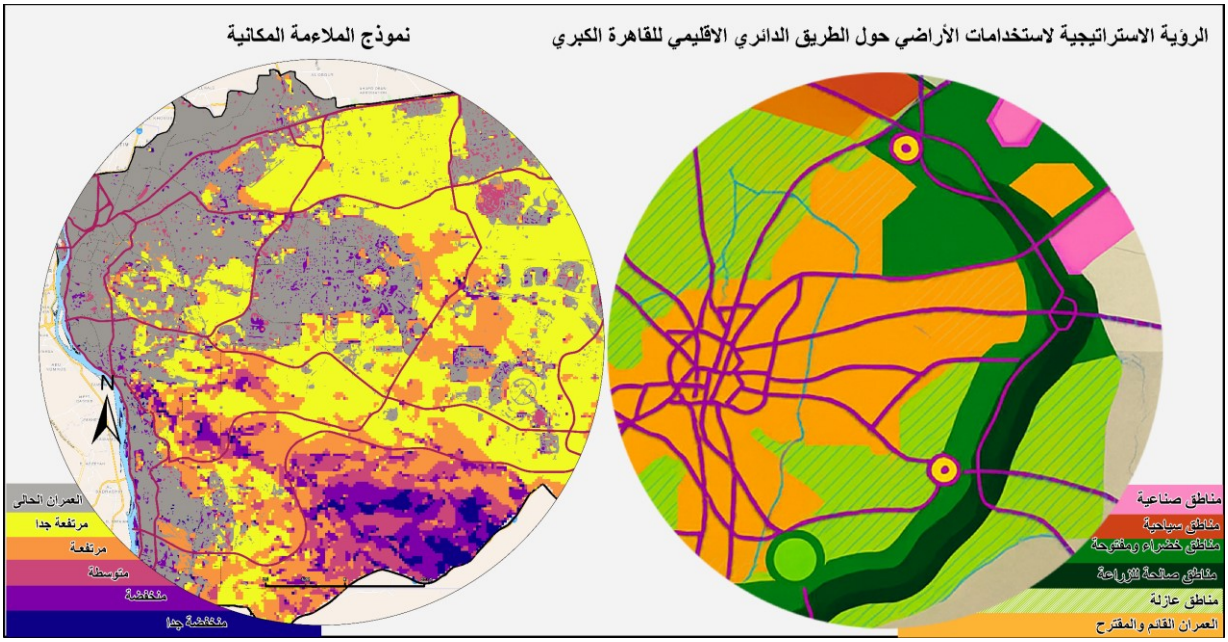
وتقع نسبة محدودة من النقاط ضمن فئة الملاءمة المتوسطة، وغالبًا ما تنتمي إلى مناطق حضرية طرفية تحتاج إلى مزيد من الاستثمارات في النقل والخدمات لرفع جاهزيتها، مثل شرق الشروق وامتدادات مدينة نصر الجنوبية، التي تفتقر حاليًا إلى ربط فعّال بالمحاور الهيكلية.

بناءً على ما سبق، يُثبت النموذج كفاءته العالية في التنبؤ الواقعي بمواقع التوسع الحضري، ويُظهر قدرة مرنة على تمييز التفاوتات الدقيقة في الملاءمة المكانية. وهو ما يُعزّز من جدواه كأداة فعالة لدعم القرار في توجيه التنمية نحو المناطق ذات الأولوية، مثل العاصمة الإدارية، شمال بدر، وشرق القاهرة الجديدة.

أ. تقييم النموذج وفقا لتوجهات التنمية العمرانية للدولة.

تُظهر نتائج نمذجة الملاءمة المكانية أبعادًا متعددة في تحديد مسارات التوسع الحضري، ما يفتح المجال لمقارنتها مع التوجهات المعلنة في تقرير دعم تخطيط وإدارة التنمية في القاهرة الكبرى ٢٠٢٣ (الهيئة العامة للتخطيط العمراني، ٢٠٢٣)، وقد تعكس هذه النتائج في بعض جوانبها دعمًا وتطابقًا مع أولويات الدولة، خصوصًا فيما يتعلق بتعزيز التنمية في مناطق مختارة وتوجيه الاستثمارات العمرانية نحو مناطق ذات جاهزية عالية. بينما تكشف عن فجوات أو اختلافات في بعض المواقع التي تتطلب مراجعة تخطيطية دقيقة، لضمان التوازن بين الرؤية الرسمية وإمكانات الأرض الحقيقية. يعزز هذا التقييم دور النماذج العلمية في تأكيد أو إعادة توجيه المسارات العمرانية لتحقيق تنمية حضرية أكثر مرونة وفعالية.

تبين من خلال الشكل (١٤) أن تحليل نتائج نموذج الملاءمة المكانية توافقًا ملحوظًا مع الرؤية الاستراتيجية لاستخدامات الأراضي حول الطريق الدائري الإقليمي للقاهرة الكبرى، من حيث توجيه التوسع الحضري المحتمل إلى مناطق محددة تتصف بخصائص مكانية مميزة. فقد أكد النموذج الملاءمة العالية في مناطق العاصمة الإدارية الجديدة، بما في ذلك الحي الحكومي والدبلوماسي، وجنوب القاهرة الجديدة، وشمال مدينة بدر. وتتسق هذه النتائج مع توجهات الدولة الرسمية في دعم إنشاء مجتمعات عمرانية جديدة متكاملة، مستفيدة من بنية تحتية متقدمة وشبكات نقل استراتيجية مثل طريق السويس، الدائري الإقليمي، ومحاور الربط الرئيسة.



شكل (١٤) مقارنة نموذج الملاءمة المكانية بالرؤية الاستراتيجية لاستخدامات الأراضي حول الطريق الدائري الإقليمي للقاهرة الكبرى

ويُظهر النموذج تباينًا في بعض مناطق الأطراف التي اقترحتها الرؤية الاستراتيجية كامتدادات مستقبلية، إذ قُيِّمت هذه المناطق بأنها ذات ملاءمة منخفضة أو منخفضة جدًا وفقًا لمعايير النموذج. وتشمل هذه المناطق أجزاء من جنوب شرق مدينة بدر، وأجزاء من جنوب شرق العاصمة الإدارية، بالإضافة إلى مناطق الظهير الصحراوي المحيط بالقاهرة الجديدة. ويعكس هذا التباين مدى دقة النموذج في مراعاة الجوانب البيئية والجيومورفولوجية الدقيقة، التي قد لا تُؤخذ أحيانًا بنفس العمق في المخططات الرسمية.

ويمكن تفسير هذه الاختلافات بناءً على أسباب ثلاثة رئيسة كمايلى:

- **أولوية العوامل البيئية والطبوغرافية** :أعطى النموذج أوزانًا مرتفعة للمعايير البيئية مثل الخصائص الجيولوجية، الانحدار، والتداخل مع الصدوع، مما أدى إلى استبعاد مناطق قد تبدو جذابة استثماريًا لكنها تتطلب تكاليف عالية للتهيئة وتُعاني من هشاشة بيئية.
- **محدودية البنية التحتية الحالية** :أظهر التحليل أن بعض المناطق المقترحة في الرؤية الاستراتيجية تفتقر إلى شبكات الطرق الداخلية وخدمات البنية التحتية الأساسية، ما يقلل من جاهزيتها للتوسع الفوري ويجعل تطويرها مرهونًا باستثمارات ضخمة لاحقة.
- **التوجه المستقبلي للمخططات الرسمية** :تستهدف الرؤية الاستراتيجية تأمين احتياطيات عمرانية طويلة الأجل، وهو ما يفسر إدراج مناطق ذات ملاءمة حالية منخفضة ضمن مخططاتها، بغرض استيعاب الطلب السكاني المستقبلي وضمان استدامة التوسع في الأمد البعيد.

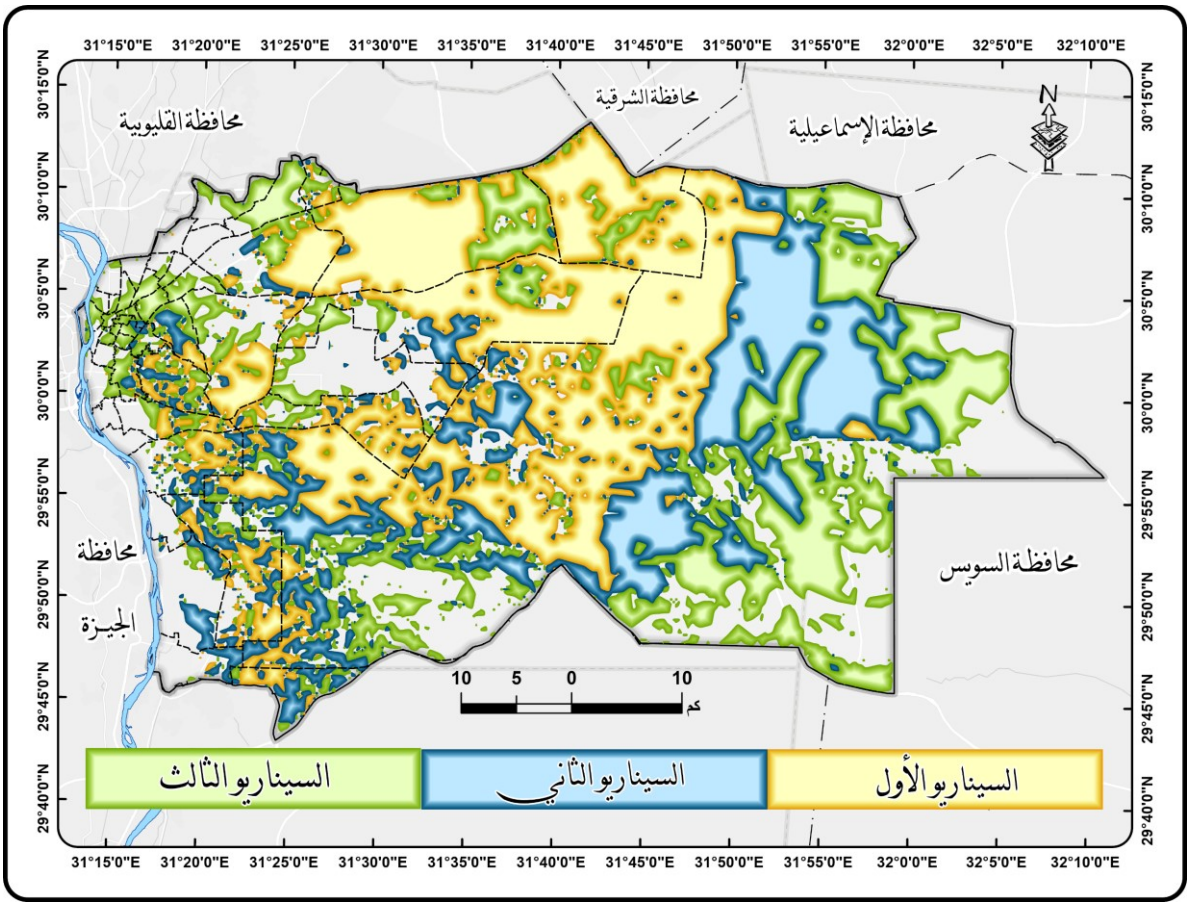
ويُبرز هذا التحليل أن نموذج الملاءمة المكانية لا يعارض بالضرورة الرؤية الرسمية، بل يكملها من خلال تقديم منظور كمي علمي دقيق، يعزز من موثوقية اتخاذ القرارات التخطيطية، ويوجه الاستثمارات نحو مواقع ذات جاهزية أعلى واستدامة بيئية واجتماعية أكبر. كما يساهم في الكشف عن القيود المحتملة في بعض المناطق، مما يتيح إعادة تقييمها وتخصيصها لأغراض بديلة مثل الأنشطة اللوجستية أو مناطق الحماية البيئية.

وبناءً على ما تقدم يتضح أن المقارنة المتعمقة بين النموذج والرؤية الاستراتيجية تكشف عن إمكانيات كبيرة للتكامل بين المنهج الكمي التحليلي وخطط الدولة، بما يحقق تنمية حضرية أكثر مرونة وفعالية، ويعزز قدرة القاهرة على استيعاب الامتداد العمراني المستقبلي بطريقة متوازنة وشاملة.

رابعا: تحليل وتقييم السيناريوهات التخطيطية للنمو الحضري المحتمل حتى عام ٢٠٣٥

تُبرز نتائج التحليل المكاني لمنطقة القاهرة نمطاً متبايناً لفرص التوسع الحضري، تم تصنيفه في ثلاث سيناريوهات عملية مبنية على درجة الملاءمة المكانية – شكل (١٥). ويُعَد هذا التوجه أداة

استراتيجية لدعم صُنّاع القرار في توجيه التنمية الحضرية وفقًا لأولويات واقعية ومؤشرات مكانية دقيقة، بما يعزز من استدامة النمو في أفق رؤية مصر ٢٠٣٠.

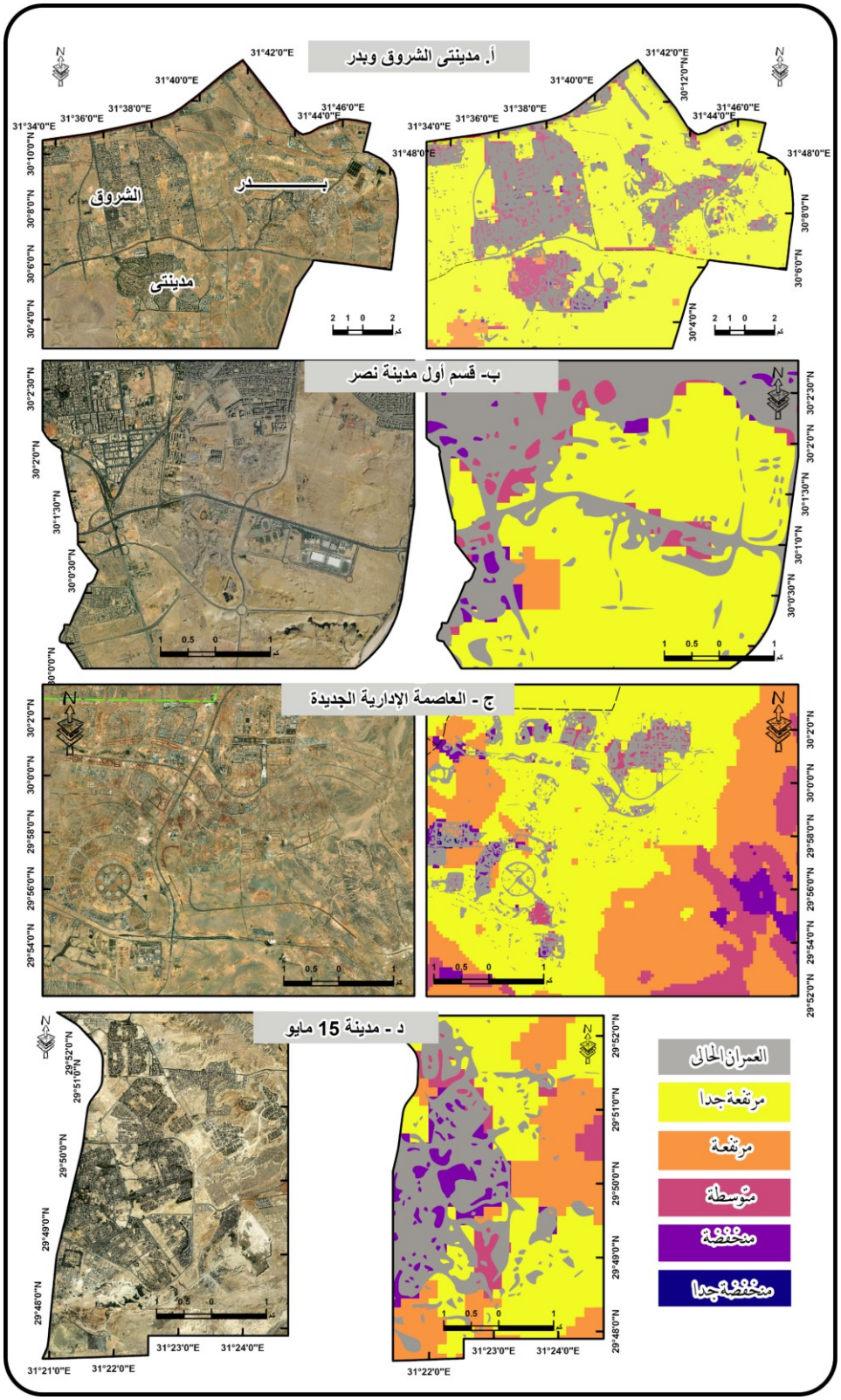


المصدر: إعداد الباحثان اعتمادا على نتائج نموذج الملاءمة المكانية.

شكل (١٥) السيناريوهات التخطيطية للنمو الحضري المحتمل بمحافظة القاهرة حتى عام ٢٠٣٥

١- السيناريو الأول: توجيه التوسع الحضري إلى مناطق الملاءمة المرتفعة جدًا

في ضوء نتائج خريطة الملاءمة المكانية المستخلصة عبر نموذجAHP ، تتصدر مناطق مثل الحي الحكومي والحي الدبلوماسي بالعاصمة الإدارية، جنوب القاهرة الجديدة، شمال مدينة بدر، وشرق مدينة نصر قائمة المناطق ذات الأولوية القصوى للتوسع الحضري-**شكل (١٦)**. تتمتع هذه المواقع بجاهزية عالية من حيث البنية التحتية، إذ تقع على تقاطعات حيوية لمحاور النقل الإقليمي مثل محور محمد بن زايد وطريق السويس، كما تمر بها خطوط مترو ومونوريل في مراحلها النهائية، مما يمنحها مزايا تنافسية في الاتصال الحضري.



المصدر: إعداد الباحثان اعتمادا على نتائج النموذج وصور عالية الدقة المكانية SAS Plante

شكل (١٦) نماذج مختارة من منطقة الدراسة في ضوء السيناريوهات التخطيطية المكانية للنمو الحضري المحتمل حتى عام ٢٠٣٥

وتوضح قيمة AUC المرتفعة (٠.٩١٢) في تقييم النموذج مدى دقة التنبؤ بأفضلية هذه المناطق، والتي تخلو إلى حد كبير من الموانع الجيولوجية أو البيئية. ويُتوقع خلال الخطة الخمسية الأولى (٢٠٢٥–٢٠٣٠) أن تساهم هذه المناطق في استيعاب الزيادة السكانية المستهدفة على مستوى القاهرة الكبرى، من خلال رفع الطاقة الاستيعابية لمشروعات الإسكان المتكامل. وفي الخطة اللاحقة (٢٠٣٠–٢٠٣٥)، من المنتظر أن تتحول هذه المناطق إلى مراكز إدارية واقتصادية بديلة للنواة المركزية للعاصمة، مدعومة بالبنية المؤسسية والخدمية المتقدمة التي ستُقام بها، كما يتضح من شكلي (١٥، ١٦) المناطق التي تتناسب مع السيناريو هي:

(١-أ) العاصمة الإدارية الجديدة:

تُظهر النتائج أن الحي الحكومي والحي الدبلوماسي داخل العاصمة الإدارية تمثلان بيئة مثالية للتوسع الحضري، بفضل الجاهزية العالية للبنية التحتية، وارتباطها بمحاور نقل كبرى (مونوريل، قطار كهربائي، الطرق الإقليمية). كما أن المنطقة خالية من المعوقات الجيولوجية، وتُصنّف ضمن فئة الملاءمة الحضرية المرتفعة جدًا، مما يجعلها مرشحة بقوة لقيادة التوسع المنظم وفق هذا السيناريو.

(١-ب) مدينتي الشروق وبدر:

تُعد هذه المنطقة مثالًا آخر واضحًا على جاهزية التوسع الحضري المرتفع جدًا، نتيجة موقعها على طريق السويس، وانخفاض الكثافة البنائية، واستواء السطح الطبوغرافي. تدعم هذه الخصائص تنفيذ مشروعات إسكان وتجارة وخدمات على نطاق واسع خلال الخطة الأولى (٢٠٢٥–٢٠٣٠)، وتؤهلها لتكون امتدادًا حضريًا متكاملًا للعاصمة الإدارية.

٢- السيناريو الثاني: إنشاء نطاق نمو حلقي حول المناطق المركزية حديثة النمو الحضري.

تمثل مناطق مدينة المستقبل، شرق مدينتي، محيط الروبيكي، وشمال بدر، حلقة توسعية طبيعية حول النواة التنموية الجديدة التي تقودها العاصمة الإدارية والقاهرة الجديدة –الشكل (١٦)، تمتاز هذه المناطق بوجود بنية تحتية في مراحل التطوير الجزئي، وتربطها محاور عرضية نشطة مثل طريق الروبيكي، مما يجعلها مرشحة لتكون مراكز دعم حضري ذات طابع سكني وخدمي.

ويستهدف هذا السيناريو تعزيز الامتدادات الحضرية الذكية وتوفير إسكان متوسط الكثافة، بما يسهم في التوازن المكاني بين الطلب الإسكاني في القاهرة التقليدية وتخطيط المدن الجديدة. يتوقع خلال الخطة الأولى (٢٠٢٥–٢٠٣٠) إقامة عدة تجمعات عمرانية متكاملة، وفي الخطة الثانية (٢٠٣٠–٢٠٣٥)، سيتم تعزيز دور هذه المناطق كمراكز خدمية إقليمية تربط المناطق الشرقية بالمركز الإداري للعاصمة، كما يلي: –

(٢-أ) شرق مدينة نصر:

تُظهر هذه المنطقة قابلية جيدة للتوسع العمراني، حيث تقع ضمن نطاق الملاءمة المتوسطة إلى المرتفعة. ترتبط بطريق العين السخنة الإقليمي، مما يجعلها موقعًا مناسبًا لإنشاء مناطق عمرانية جديدة داعمة للنواة المركزية الحديثة (القاهرة الجديدة – العاصمة الإدارية) -شكل (١٦). كما أن إمكانية الربط المستقبلية بشبكات النقل الجماعي مثل المترو والمونوريل تعزز من قيمتها كمحور تنموي للامتدادات السكنية والخدمية ذات الكثافة المتوسطة.

(٢-ب) محيط مدينة بدر وشمال مدينتي:

تُعد هذه المنطقة من مجالات النمو العمراني المحتملة نظرًا لقربها الجغرافي من العاصمة الإدارية الجديدة كما يتضح من شكلي (١٥، ١٦)، وتوافر البنية التحتية قيد التنفيذ مثل الطرق والمرافق العامة. هذا يعزز من قابليتها لاستيعاب مراكز خدمية وسكنية جديدة، ويجعلها جزءًا مهمًا من الحلقة العمرانية الحديثة التي تدعم التوسع المتوازن للمدن الكبرى.

٣- السيناريو الثالث: إعادة تأهيل المناطق متوسطة الملاءمة للنمو الحضري المحتمل.

تمتد المناطق متوسطة الملاءمة في جنوب شرق بدر، شرق الشروق، أطراف العاصمة الإدارية، وطريق القطامية–العين السخنة-شكل (٩)، وتمثل مجالًا جغرافيًا انتقاليًا بين مناطق النمو العالي والمناطق ذات العوائق، تعاني هذه المناطق من بعض التحديات مثل التداخل مع أنشطة محاجر قديمة، أو وجود خصائص طبوغرافية غير منتظمة، إلا أنها تمتلك فرصًا واعدة لإعادة الهيكلة.

يُقترح في هذا السيناريو اعتماد تدخلات تأهيل عمراني تُركز على تحسين الربط بالشبكات الحضرية وتهيئة التربة. وتشير التقديرات إلى إمكانية تأهيل نحو ٢٠٠ كم٢ خلال الخطة الأولى، مع إنشاء عدة مراكز خدمية وحرفية تُعزز من مرونة الوظائف الحضرية–شكل (١٦). بينما تستهدف الخطة الثانية دمج هذه المناطق في النسيج الحضري الأوسع، بما يتيح استخدامها للأغراض السكنية المختلطة أو المجتمعات الإنتاجية المستدامة.

(٣-أ) أطراف العاصمة الإدارية (الجنوبية والشرقية):

رغم تصنيف العاصمة كمنطقة ملائمة، إلا أن بعض الحواف تظهر انحدارات طفيفة ومشكلات مائية محلية، مما يجعلها مرشحة لتدخلات إعادة التأهيل البنيوي وربطها ببنية المدينة الأساسية ضمن خطة تنمية توسعية تدريجية.

(٣-ب) المنطقة بين مدينتي بدر والشروق:

تمثل هذه المساحة نقطة انتقال بين مناطق عالية ومتوسطة الملاءمة، وتشكل فرصة مثالية لتجربة تدخلات إعادة التهيئة (مثل شبكات صرف، تحسين الطرق)، لإعدادها كمجتمعات عمرانية إنتاجية ذات كثافة متوسطة.

(٣-ج) مدينة ١٥ مايو – الأجزاء الشمالية الشرقية:

تُظهر هذه المنطقة إمكانات إعادة استخدام قائمة على توسع خفيف منخفض الكثافة، يستهدف تجديد البنية القديمة وربطها بشبكات جديدة، بما يُعيد دمج المدينة في الحزام العمراني الأوسع.

تشير المقارنة بين السيناريوهات الثلاثة للتوسع الحضري إلى تباين واضح في درجات الملاءمة وامكانية التوسع العمراني؛ حيث يُعد السيناريو الأول الأنسب للتنفيذ الفوري بفضل جاهزيته العالية وبنيته التحتية المتكاملة، مستهدفًا وظائف إدارية واقتصادية. أما السيناريو الثاني فيمثل توسعًا داعمًا حول النواة الحديثة، مع إمكانيات متوسطة للبنية التحتية ووظائف سكنية وخدمية. بينما يركز السيناريو الثالث على إعادة تأهيل المناطق متوسطة الملاءمة، ما يعزز من مرونة التوسع واستدامته على المدى البعيد؛ لذا يتم التوسع باعتماد نهج تكاملي يجمع بين السيناريوهات الثلاثة وفقًا لأولويات التنفيذ والجدوى المكانية.

الخاتمة

تمثل هذه الدراسة إطارًا تحليليًا متقدمًا لدعم التخطيط الحضري المستدام في محافظة القاهرة، من خلال دمج التحليل متعدد المعايير (MCDA) مع نموذج التحليل الهرمي داخل بيئة نظم المعلومات الجغرافية، لإنتاج نموذج ملاءمة مكانية عالي الدقة يحدد أفضل المواقع للتوسع المستقبلي. وقد عالجت الدراسة الإشكالية الجوهرية المتمثلة في التوسع الحضري السريع وغير المنظم، وما يترتب عليه من ضغط متزايد على الموارد والبنية التحتية، في ظل غياب أدوات كمية ومكانية دقيقة توجه التنمية وفق معايير علمية. وفي ضوء ما سبق من تحليلات ومعالجة مكانية ممنهجة، تأتي هذه الخاتمة لتستعرض أبرز ما توصلت إليه الدراسة من نتائج علمية، وتبرز كفاءة النموذج المستخدم في التنبؤ باتجاهات التوسع، إلى جانب تقديم توصيات تطبيقية تدعم اتخاذ القرار التخطيطي.

أ. النتائج

- أثبتت الدراسة كفاءة المنهجية المدمجة بين التحليل الهرمي (AHP) والتحليل متعدد المعايير (MCDA) في بيئة نظم المعلومات الجغرافية، في إنتاج نموذج مكاني عالي الدقة لتقييم ملاءمة التوسع الحضري. وقد أتاحت هذه المنهجية تحليلًا منهجيًا ومتوازنًا لمجموعة من المؤشرات الجغرافية ذات الأبعاد البيئية والعمرانية والاجتماعية والاقتصادية، ما ساعد على بناء خريطة مكانية متكاملة تُعزز من قدرة متخذي القرار على التوجيه الأمثل للتنمية العمرانية.
- بينت نتائج النمذجة أن المناطق ذات الملاءمة المرتفعة جدًا للتوسع العمراني تغطي ما يقرب من ٧٥٠.٧ كم٢ (٢٣.٤٪ من مساحة منطقة الدراسة)، وتتركز في مناطق مثل العاصمة الإدارية الجديدة، جنوب القاهرة الجديدة، وشمال مدينة بدر. ويُعزى ذلك إلى توافر مقومات التخطيط الحضري الرشيد، كالبنية التحتية المتكاملة، والقرب من شبكات النقل السريع، وغياب العوائق الطبوغرافية والبيئية.
- أظهرت الدراسة تفاوتًا ملحوظًا في توزيع درجات الملاءمة المكانية لمحافظة القاهرة، حيث جاءت الفئات المتوسطة والمنخفضة والمنخفضة جدًا لتغطي ٧٠٢.٥ كم٢ (٢١.٩٪)، و٤٥٩.٦ كم٢ (١٤.٣٪)، و١١٧.٧ كم٢ (٣.٧٪) على الترتيب. ويُعزى هذا التفاوت إلى اختلاف طبيعة الخصائص الجيومورفولوجية، ودرجات الانحدار، وتوزيع شبكات الطرق والبنية التحتية، مما يؤكد الحاجة لتبني استراتيجيات مرنة تُراعي هذا التنوع المكاني في التخطيط المستقبلي.

- أظهرت الدراسة كفاءة النموذج في التعرف بدقة على المناطق ذات الملاءمة المنخفضة أو غير المناسبة للتوسع، وذلك عبر استبعاد المناطق التي تعاني من قيود طبوغرافية حادة، كالتضاريس الوعرة، أو المشكلات البيئية، كالقرب من المحاجر أو وجود نشاط صناعي ملوث، أو القيود الأمنية كالمناطق العسكرية رغم أنها تقتنص مواقع مميزة وصالحة للنمو الحضري المحتمل. ويُعزز هذا الأداء دقة استخدام النموذج كأداة لتجنب القرارات التخطيطية ذات المخاطر المرتفعة.
- كشف التقييم الإحصائي للنموذج عن مستوى عالٍ من الدقة، حيث بلغ معامل المساحة تحت المنحنى (AUC) في تحليل ROC نحو ٠.٩١٢. وتُعد هذه القيمة مؤشرًا قويًا على كفاءة النموذج في التمييز بين المناطق ذات الأولوية العالية والأخرى منخفضة الجاهزية للتوسع الحضري، مما يعكس قوة المنهج الكمي المعتمد في معالجة التباين الجغرافي المعقد وتقديم خريطة موثوقة.
- قدّمت الدراسة ثلاثة سيناريوهات مكانية للتوسع الحضري حتى عام ٢٠٣٥، بناءً على تحليل درجات الملاءمة المكانية، ما يُعد إضافة نوعية للسياسات التخطيطية. وقد تمثلت أبرز توصيات هذه السيناريوهات في توجيه النمو خلال الخطة الخمسية الأولى (٢٠٢٥–٢٠٣٠) نحو مناطق الجاهزية القصوى، مع التوسع لاحقًا نحو الفئات المرتفعة والمتوسطة الملاءمة.

ب. التوصيات

- ضرورة دمج خرائط الملاءمة المكانية، المُستخلصة من النمذجة، في إعداد المخططات الإقليمية والمحلية، لتكون مرجعًا أساسيًّا في إعداد المخططات الهيكلية والتفصيلية، وبما يواكب التغيرات المتسارعة في أنماط الاستخدام العمراني والنمو السكاني.
- إعطاء أولوية استثمارية عاجلة للمناطق المصنفة ضمن فئة الملاءمة المرتفعة جدًا، مثل العاصمة الإدارية الجديدة، شمال بدر ، وشرق القاهرة الجديدة، نظرًا لدورها في دعم اللامركزية العمرانية، وتخفيف الضغط عن مركز القاهرة القديم، وتوفير بيئات عمرانية متكاملة.
- تشجع الدراسة على إطلاق برامج تأهيل عمراني شامل للمناطق متوسطة الملاءمة، مثل شرق مدينة الشروق وأطراف العاصمة الإدارية، وذلك من خلال تحسين شبكات النقل، وتقوية البنية التحتية، وتطوير الخدمات الحضرية، بما يرفع من جاهزيتها ويعزز مرونتها في استيعاب النمو المستقبلي.

- توصي الدراسة بإعادة توجيه المناطق ذات الملاءمة المنخفضة أو المنخفضة جدًا نحو استخدامات بديلة، كالمناطق اللوجستية والصناعات الخفيفة أو مناطق الحماية البيئية، مع فرض اشتراطات بيئية صارمة لتقليل المخاطر وتعزيز استدامة الاستخدام.
- تشدد الدراسة على أهمية حماية المناطق المصنفة ضمن فئة منخفضة جدًا من أي توسعات عمرانية عشوائية، وضرورة تحويل أجزاء منها إلى مساحات خضراء أو مناطق مفتوحة، لدعم التوازن البيئي وضمان استدامة النظم الطبيعية.
- ضرورة تفعيل التعاون والتنسيق بين الجهات المسؤولة عن التخطيط العمراني، وهيئات البنية التحتية، والمراكز البحثية المتخصصة في نظم المعلومات الجغرافية، لضمان تحويل مخرجات النمذجة إلى قرارات تنفيذية فعالة.
- تشجع الدراسة على تطوير المزيد من البحوث التطبيقية في مجال نمذجة السيناريوهات الحضرية وتحليل النمو المكاني، لتطوير أدوات تنبؤية قادرة على مواكبة التغيرات السريعة، ودعم صناعة القرار المكاني.

المراجع والمصادر

أولا المراجع العربية

الجابري، نزهة بنت يقظان .(٢٠٢١) .استخدام منهجية التحليل المكاني في تقييم الملاءمة المكانية للتوسع الحضري لمدينة مكة المكرمة .المجلة العربية لنظم المعلومات الجغرافية، مجلد ١٤، عدد ٣، ص. ١-٢٩.

الخرافي، عبد الله بن عبد المحسن حمد. (٢٠٢١). النمو العمراني في مدينة عنيزة (٢٠٠٢-٢٠١٨): دراسة تطبيقية باستخدام تقنية الاستشعار عن بعد .مجلة العلوم الطبيعية والحياتية والتطبيقية، ٥(1)، ٩٨-١٢٠.

دربالة، شيماء محمد حمدي، حلمي، أسامة. (٢٠٢٢). تأثير الطرق الدائرية حول القاهرة الكبرى على دعم التنمية والحد من الهجرة العشوائية بين الأقاليم .مجلة بحوث العمران، جامعة القاهرة، المجلد ٤٣، العدد ١، ص. ١-٢٢.

الزيني، ليلى وحيد الدين أحمد، ويوسف، فاطمة إبراهيم علي. (٢٠٢٣). ملاءمة الأراضي للنمو الحضري المستقبلي في مدينة كرداسة حتى عام ٢٠٣٢ باستخدام نظم المعلومات الجغرافية .مجلة البحث العلمي في الآداب (العلوم الاجتماعية والإنسانية)، ٢٤(٤)، ٢١٨-٢٣٨.

سلامة، محمد عادل، ورفعت، إيمان محمد. (٢٠٢٠). ديناميكية النمو الحضري بالمدن: دور قياس ديناميكية النمو الحضري في التخطيط الحضري. مجلة بحوث الهندسة(ERJ) ، جامعة بنها. ١(٤٦)، ١٦٨-١٧٧.

سليمان، على نوح (٢٠٢٠) . الملاءمة بين نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد لدراسة التوسع المكاني لمدينة الموصل .رسالة ماجستير، جامعة الموصل، كلية التربية للعلوم الإنسانية- العراق.

السهلاني، سميح جلاب منسي (٢٠٢٢) دراسات في جغرافية الحضر، دار الصادق الثقافية، الطبعة الأولي، بغداد، العراق

عبد الظاهر، محمد ربيع (٢٠٢٣). دور التقنيات الجيومعلوماتية في التنبؤ بالنمو الحضري لمدينة السويس، مصر، باستخدام نموذج .Frequency Ratio المجلة الدولية للمعلوماتية والإعلام وتكنولوجيا الاتصال، مجلد ٥، عدد ١، ص ص ٣٩- ٧٧ .

عبده، أشرف على. وشكري، نرمين أحمد (٢٠٢٤) تطور النمو العمراني في المدينة المنورة منذ العهد النبوي حتى عام ٢٠٢٢م من خلال دمج الشبكات العصبية الاصطناعية مع نظم المعلومات الجغرافية .المجلة الجغرافية العربية، عدد (١٩١) إصدار خاص (فبراير ٢٠٢٤). الجمعية الجغرافية المصرية.

العبيدي، حنان حسن، والشويش، إبراهيم بن عبيد. (٢٠٢٣). التحليل المكاني لمشكلات النمو العمراني في مدينة بدر – منطقة المدينة المنورة، المملكة العربية السعودية .المجلة العربية للدراسات الجغرافية، المؤسسة العربية للتربية والعلوم والآداب، مصر، ٦(١٨)، ١–٤٤.

عزاز، لطفي كمال (٢٠١٩) .مسقط دراسة جغرافية في العمران الحضري .مجلة العلوم العربية والإنسانية، ١٢(٤)، ص ص ٢٤٥١–٢٤٨٢. جامعة القصيم.

الغامدي، على بن معاضة ولدرع، طاهر بن عبد الحميد .(٢٠٠٦) تطور النمذجة العمرانية وعلاقتها بنظم المعلومات الجغرافية ع (٣١٣) .رسائل جغرافية، قسم الجغرافيا – كلية العلوم الاجتماعية – جامعة الكويت.

الكناني، كامل كاظم بشر، الجابري، أحمد عبد السلام. (٢٠١٢). استخدام منهجية التحليل المكاني في تقييم الملاءمة المكانية للتوسع الحضري لمدينة الكوت.ع ١٢ .مجلة كلية التربية، واسط. العراق.

الهيئة العامة للتخطيط العمراني .(2011) .المنظور البيئي لاستراتيجية التنمية العمرانية على مستوى الجمهورية: إقليم القاهرة الكبرى (الظهير الصحراوي) .وزارة الإسكان والمرافق والتنمية العمرانية، مصر.

الهيئة العامة للتخطيط العمراني .(2023) .تدعيم تخطيط وإدارة التنمية في القاهرة الكبرى: تطوير مستمر لعمران يتجدد .وزارة الإسكان والمرافق والمجتمعات العمرانية، برنامج الأمم المتحدة الإنمائي، برنامج الأمم المتحدة للمستوطنات البشرية.

ثانيا: المراجع الأجنبية

Abu El Ela, H. S. (2017). Urban growth of Damanhur City: A study using Cellular Automata (SLEUTH) model. *The Egyptian Journal of Environmental Change, 9*(2).

Akbari, M., Neamatollahi, E., Neamatollahi, P. (2019). Evaluating land suitability for spatial planning in arid regions of eastern Iran using fuzzy logic and multi-criteria analysis. *Ecological Indicators, 98*, 587–598.

Chen, M., Zhang, H., Liu, W., Zhang, W. (2023). Simulation of urban growth scenarios using integration of multi-criteria evaluation and spatial regression: A case study of China's urban agglomeration. *Sustainable Cities and Society, 88*, 104312.

Effat, H. A., El Shobaky, M. A. (2015). Modeling and mapping of urban sprawl pattern in Cairo using multi-temporal Landsat images and Shannon's entropy. *Advances in Remote Sensing, 4*(4), 303–318.

Falah, N., Karimi, A., Tavakoli Harandi, A. (2020). Urban growth modeling using cellular automata model and AHP (case study: Qazvin city). *Modeling Earth Systems and Environment, 6*, 235–248.

Gharaibeh, A. A., Alzoubi, M., Kjakai, S. A. (2020). Multi-criteria evaluation for sustainable urban growth in arid regions. *Procedia Manufacturing, 44*, 156–163.

Megahed, Y., Cabral, P., Silva, J., Caetano, M. (2015). Land cover mapping analysis and urban growth modelling using remote sensing techniques in Greater Cairo Region—Egypt. *ISPRS International Journal of Geo-Information, 4*(4), 1750–1769. https://doi.org/10.3390/ijgi4041750

Osman, T., Monir, M. (2018). Modelling urban expansion in the Greater Cairo Metropolitan Region. *International Journal of Applied Engineering Research, 13*(10), 8467–8481.

Saaty, T. L. (1980). The analytic hierarchy process: Planning, priority setting, resource allocation. McGraw-Hill.

Saaty, T. L. (1990). An exposition of the AHP in reply to the paper remarks on the analytic hierarchy process. Management science, 36(3), 259-268.

Saxena, A., & Jat, M. K. (2020). Land suitability and urban growth modeling: Development of SLEUTH-Suitability. *Computers, Environment and Urban Systems, 81*, 101475.

Theres, L., Radhakrishnan, S., Rahman, A. (2023). Simulating urban growth using the cellular automata Markov chain model in the context of spatiotemporal influences for Salem and its peripherals, India. *Earth, 2*(4), 296–314.

Ustaoğlu, E., Aydınolu, A. C. (2020). Suitability evaluation of urban construction land in Pendik district of Istanbul, Turkey. *Land Use Policy,* 99, 104783.