

Spatial Modelling of Urban Expansion in Makkah: A Quantitative Analysis of the Impact of Hajj Pilgrims on Urban Structure

النمذجة المكانية للتوسع الحضري في مدينة مكة المكرمة: تحليل كمي لتأثير الحج على البنية العمرانية

Abdullah F. Alqurashi

عبدالله فيصل القرشي

Assistant Professor, Geography Department, Faculty of Social Sciences, Makkah, Saudi Arabia

قسم الجغرافيا، كلية العلوم الاجتماعية، جامعة أم القرى، مكة المكرمة، المملكة العربية السعودية

Received:13/11/2025 Revised:27/11/2025 Accepted: 03/12/2025

تاريخ التقديم: 2025/11/13 تاريخ ارسال التعديلات: 2025/11/27 تاريخ القبول: 2025/12/03

الملخص:

شهدت مدينة مكة المكرمة توسعاً حضرياً متسارعاً بفعل النمو السكاني والاقتصادي، بالإضافة إلى موقعها الفريد بوصفها وجهة دينية رئيسية لملايين الحجاج والمعتمرين سنوياً. تهدف هذه الدراسة إلى تحليل أنماط التوسع الحضري في مدينة مكة خلال الفترة 1985–2024، من خلال استخدام بيانات الأقمار الصناعية وتقنيات التحليل المكاني. تم تطبيق تحليل معتمد على تجزئة الصور (Object-Based Image Analysis – OBIA) لتصنيف الغطاء الأرضي، وحساب مؤشرات مكانية مثل مؤشر توسع المشهد الطبيعي (Landscape Expansion Index – LEI)، وعدد من مقاييس المشهد الطبيعي (Landscape Metrics) لتحديد أنواع النمو الحضري في مدينة مكة المكرمة: الملاء الداخلي (Infilling)، التوسع الحدي (Edge Expansion)، والنمو الخارجي (Outlying)، حيث أظهرت النتائج تحولاً تدريجياً من النمو المركز نحو التوسع الطرقي والمجزأ، خاصة في الفترات الأخيرة (2005–2024)، مما يعكس تأثير البنية التحتية المرتبطة بمواسم الحج. كما لوحظ انخفاض مستمر في نمو الملاء الداخلي، مما يشير إلى محدودية الكثافة في المناطق المركزية. تُبرز هذه الدراسة الحاجة إلى سياسات تخطيطية تأخذ في الاعتبار الديناميكيات الموسمية للسكان والتوسع العمراني، وتوازن بين الوظائف الدينية والاستدامة الحضرية.

الكلمات المفتاحية: التوسع الحضري، أنماط التوسع العمراني، مرثيات الاستشعار عن بعد، التحليل المكاني، مكة المكرمة

Abstract:

The city of Makkah has undergone rapid urban expansion driven by population growth, economic development, and its unique status as a global religious destination for millions of Hajj and Umrah pilgrims. This study aims to analyze urban expansion patterns in Makkah from 1985 to 2024 using satellite imagery and spatial analytical techniques. An object-based image analysis (OBIA) was applied for land cover classification, along with the Landscape Expansion Index (LEI) and various landscape metrics to identify growth types: infilling, edge-expansion, and outlying growth. Results indicate a gradual shift from centralized urban development to more dispersed and fragmented peripheral expansion, particularly in the 2005–2024 period, influenced by pilgrimage-related infrastructure. A persistent low level of infilling was also observed, highlighting limited densification in the urban core. The study emphasizes the need for planning policies that integrate seasonal population dynamics while balancing religious functions with urban sustainability.

Keywords: Urban expansion, Urban expansions patterns, Remote sensing, Spatial Analysis, Makkah

Doi: <https://doi.org/10.54940/ss71509260>

1658-8169 / © 2025 by the Authors.

Published by J. Umm Al-Qura Univ. Soc. Sci.

معلومات المراسل: عبدالله فيصل القرشي

البريد الإلكتروني الرسمي: afalqurashi@uqu.edu.sa

١. مقدمة

أن فهم النمط المكاني وشدة التغيرات في الأراضي الحضرية أمر بالغ الأهمية، لأنه يوفر رؤى حول ديناميكيات النمو الحضري (Tv et al. 2012) وتحولات استخدام الأراضي (Zhu et al. 2006, Puertas et al. 2014, Tuan 2025) وما يترتب عليها من آثار بيئية واجتماعية واقتصادية (Luck et al. 2009, Seto et al. 2010). تكشف الأنماط المكانية عن كيفية توسع المدن—سواءً من خلال الامتداد المتراكم والمكثف، أو الزحف العمراني على الأطراف، أو التنمية المتناثرة في المناطق النائية، وكل منها يحمل دلالات مختلفة عن تخطيط البنية التحتية، والاستدامة البيئية، وكفاءة استخدام الموارد (Irwin and Bockstael 2007, Poelmans and Van Rompaey 2009). أما قياس درجة التغير، فيساعد على تحديد معدل وحجم التحضر، مما يتيح التعرف على النقاط الساخنة للتحويلات السريعة والمناطق المعرضة للتدهور (Li et al. 2013)، وتُعد هذه المعرفة ضرورية لنمذجة مسارات المدن المستقبلية، وتقييم آثار التحضر على النظم البيئية والأراضي الزراعية، وتوجيه قرارات التخطيط والسياسات الحضرية المبنية على الأدلة، بهدف تحقيق التنمية المستدامة (Chen et al. 2025).

يرتبط التوسع الحضري ارتباطاً وثيقاً بالنمو السكاني (Huang and Liu 2021, Sharma and Ghuge 2025)، حيث يؤدي ازدياد عدد السكان إلى زيادة الطلب على المساكن والبنية التحتية والخدمات (Yang et al. 2019). ومع ذلك، فإن الديناميكيات السكانية وحدها لا يمكن أن تفسر بشكل كامل الامتداد المكاني وشدة النمو الحضري. فالتنمية الاقتصادية تُعد دافعاً حاسماً آخر، إذ إن ارتفاع الدخل، والأنشطة الصناعية، والاستثمار في البنية التحتية الحضرية، كلها عوامل تحفز التوسع الفيزيائي للمدن، لا سيما في السنوات الأخيرة (Mahtta et al. 2022). وبالمثل، فإن الهجرة من الريف إلى الحضر تُسرّع هذا المسار، حيث يتجه الناس إلى المراكز الحضرية بحثاً عن فرص عمل وتعليم ومعيشة أفضل (Ding et al. 2024). وهكذا، فإن التأثير المشترك للنمو السكاني، والتنمية الاقتصادية، والهجرة يُنتج أنماطاً معقدة من التوسع الحضري، حيث تتقاطع الضغوط الديموغرافية مع القوى الاجتماعية والاقتصادية لإعادة تشكيل المشهد الحضري في المدن.

شهدت مدن المملكة العربية السعودية توسعاً حضرياً سريعاً نتيجة للنمو السكاني والتطور الاقتصادي. فقد ارتفع عدد السكان من حوالي ٧ ملايين نسمة في عام ١٩٧٤ إلى نحو ١٧ مليوناً في عام ١٩٩٢، وتجاوز ٣٢ مليوناً بحلول عام ٢٠٢٢. وقد رافق هذا النمو الديموغرافي تقدم اقتصادي كبير. فمنذ سبعينيات القرن العشرين، شهد الاقتصاد السعودي تطوراً سريعاً، ويرجع ذلك بدرجة كبيرة إلى ارتفاع عائدات النفط. وقد مكّن هذا التحول الاقتصادي الحكومة من تنفيذ خطط شاملة لدعم التنمية الوطنية في مختلف أنحاء البلاد (Mubarak 2004, Alqurashi and Kumar).

(2014)، كما تم تعزيز كل من القطاعين العام والخاص من خلال توفير قروض بدون فوائد (Al-Hathloul and Mughal 2004)، وهي سياسة ساهمت في تغييرات ملحوظة في استخدامات الأراضي وتوسع عمراني واسع في المدن الكبرى.

تُعد مدينة مكة المكرمة إحدى المدن السعودية الكبرى التي شهدت توسعاً سريعاً خلال العقود الأربعة الماضية. ويعود الاستيطان البشري في المدينة إلى نحو عام ٢٩٠٠ قبل الميلاد، وذلك بعد اكتشاف بئر زمزم، بحسب التاريخ الإسلامي (العمرى، ٢٠٢٥) وعلى الرغم من هذا التاريخ العريق، ظل النطاق الحضري للمدينة محدوداً نسبياً حتى سبعينيات القرن العشرين، حين شرعت الحكومة في تنفيذ تغييرات واسعة النطاق في وسط المدينة لتلبية احتياجات الحجاج والزوار للأماكن المقدسة. وفي ذلك الوقت، شجّع السكان والقطاع الخاص على الانتقال من المنطقة المركزية، مع تعويضات مالية قُدّمت لأصحاب العقارات. وقد أدّت هذه السياسة إلى دفع النمو الحضري نحو أطراف المدينة، مما نتج عنه تشتت عمراني وامتداد جغرافي في النطاق المبنى للمدينة. وبالاقتران مع تزايد الفرص الاقتصادية والنمو السكاني، أسهمت هذه الديناميكيات في نشوء أنماط حضرية أكثر تعقيداً في مدينة مكة المكرمة.

كما أن تطور وسائل النقل خلال السنوات الماضية ساهم وبشكل مباشر في ارتفاع أعداد الحجاج والمعتمرين وزوار المسجد الحرام. حيث سهّل التطور في وسائل النقل وصول ملايين الحجاج والمعتمرين إلى مكة المكرمة. ففي الماضي كانت صعوبة التنقل والوصول إلى مكة المكرمة باستخدام وسائل النقل القديمة يسهم في خفض أعداد الحجاج والمعتمرين. بينما في الوقت الراهن فقد سهّل التنوع والتطور في وسائل النقل بشكل كبير من انتقال الحجاج وبشكل مريح إلى مدينة مكة المكرمة وبالتالي ساهم ذلك في ارتفاع أعداد زائري المسجد الحرام، والذي دعا إلى توسعة الحرم المكي بشكل متلاحق لاستقبال الوفود المتزايدة. كما أن التطور كذلك في البنية التحتية والذي يشمل الطرق والفنادق والخدمات الأخرى ساهم في ارتفاع أعداد الحجاج والمعتمرين في مدينة مكة المكرمة (عسكورة، ٢٠١٣). فقد كان لهذا الحراك أثر كبير في هجرة العديد من الأشخاص من داخل المملكة أو من خارجها لمدينة مكة المكرمة.

تُعدّ دراسة الأنماط والعمليات الحضرية خلال الفترات الزمنية أمراً أساسياً لتحقيق التنمية المستدامة. وتوفّر بيانات الأقمار الصناعية اليوم والأدوات التحليلية المتقدمة إطاراً منهجياً لفهم ديناميكيات المدن. وقد قيّمت دراسات سابقة الامتداد المكاني للتوسع الحضري في مكة المكرمة باستخدام صور الأقمار الصناعية، وأشارت إلى بروز شكل حضري معقد. فعلى سبيل المثال، أظهر كل من (Al Jabri and Alhazmi 2017) أن النطاق الحضري لمكة توسّع بين عامي ١٩٩٢ و ٢٠١٦ نحو المناطق المنخفضة الواقعة على أطراف المدينة. كما أكد Helal and Eldamaty

٤. تقييم العلاقة بين أنماط النمو، والسياسات الحضرية، والضغط السكانية، والاقتصادية.

٥. تقديم توصيات للتخطيط العمراني المستدام استناداً إلى نتائج التحليل المكاني.

٣. منطقة الدراسة

تقع مدينة مكة المكرمة في الجزء الأوسط من منطقة مكة المكرمة (شكل ١). وتبعد ٨٠ كيلومتراً عن ساحل البحر الأحمر، وتقع في وادٍ ضيقٍ على متوسط ارتفاع ٢٧٧ متراً فوق مستوى سطح البحر. كما بلغ عدد سكان مدينة مكة الحضرية في عام ٢٠٢٢ نحو ٢,٤ مليون نسمة، مما يجعلها ثالث أكبر مدينة من حيث عدد السكان في المملكة العربية السعودية بعد مدينتي الرياض وجدة. وتمتد مدينة مكة المكرمة بين خطي طول ٤٠° ١٨' ٥٤" و ٣٩° ٥٣' ٣٥" شرقاً، ودائري عرض ٢١° ٤١' ٥٤" و ٢١° ١٠' ٩" شمالاً.

خلال الأربع عقود الماضية، شهدت مدينة مكة المكرمة تحضراً سريعاً، حيث تتميز بتنوع واسع في استخدامات الأراضي وأنماط الغطاء الأرضي. وتُعد مدينة مكة، باعتبارها أقدس الأماكن لدى المسلمين حول العالم، مقصداً لأكثر من ٣ ملايين زائر سنوياً لأداء مناسك الحج (Dawod et al. 2014). وقد أدى النمو الطبيعي، إلى جانب الهجرة الداخلية والخارجية، إلى زيادة كبيرة في عدد سكان المدينة، حيث يختار العديد من الحجاج البقاء في مدينة مكة المكرمة بعد أداء المناسك (Wardak 2012). كما ساهمت هجرة السكان من المناطق الريفية نحو المدينة، سواءً لأسباب دينية أو اقتصادية أو تعليمية، في هذه الزيادة السكانية. ويتطلب هذا النمو الحضري وتبعاته البيئية تقييماً ومعالجة دقيقة، من أجل تجنب الآثار السلبية للتطورات المستقبلية.

٤. البيانات والمنهجية المستخدمة

٤.١ البيانات والمعالجة المسبقة (Data and Preprocessing)

تم اختيار مرئيات القمر الصناعي Landsat واستخدامها في هذا البحث لاستخراج المناطق الحضرية المبنية في مدينة مكة المكرمة. وقد تم جمع خمس مرئيات في المجلد من مستشعرات Thematic Mapper (TM) و Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) وكذلك القمر Operational Land Imager (OLI) والتي تم الحصول عليها من موقع Global Visualization التابع لهيئة المساحة الجيولوجية الأمريكية (USGS GloVis) (الجدول ١). وقد شملت البيانات المختارة أربع فترات زمنية: ١٩٨٥-١٩٩٥، ١٩٩٥-٢٠٠٥، ٢٠٠٥-٢٠١٥، و ٢٠١٥-٢٠٢٤. وتغطي حدود المدينة بالكامل ضمن المسار (Path): ١٦٩ والصف (Row): ٤٥.

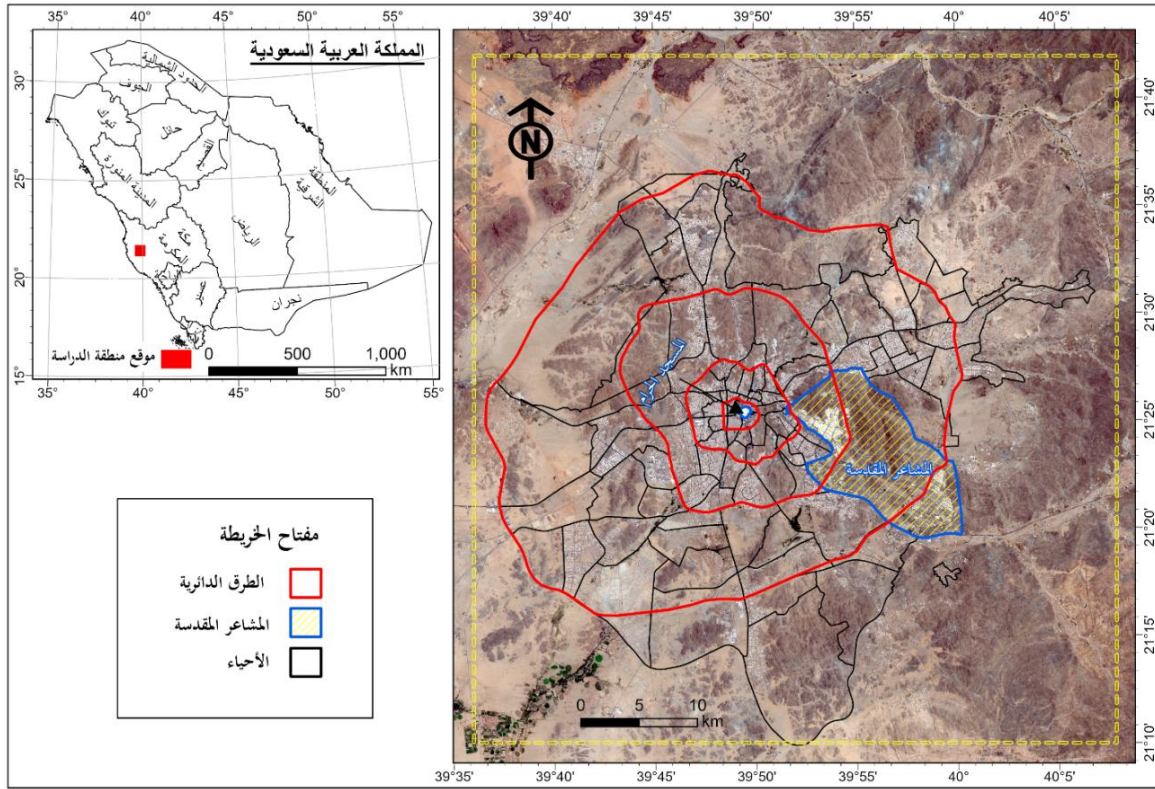
(2024) أن التوسع المكاني الحديث تركز بشكل رئيسي في المناطق الطرفية، مما أدى إلى تغيرات كبيرة في استخدامات الأراضي والغطاء الأرضي للمدينة. كما خلص Alqurashi (2021) إلى أن الشكل الحضري لمكة اتسم بالتجزؤ، لا سيما عند هوامش المدينة. ورغم أن هذه الدراسات تسلط الضوء على تعقيد التوسع الحضري في الأطراف، إلا أن هناك حاجة ملحة إلى تبني منهجية شاملة لتوصيف مراحل النمو الحضري وقياس الأنماط المكانية للنمو، وذلك في مدن تشهد تحضراً سريعاً مثل مدينة مكة المكرمة. كما يُعد تحليل مراحل النمو الحضري وأنواع التوسع العمراني مثل الملء الداخلي (Infilling) والتوسع الحدي (Edge Expansion) والنمو الخارجي المتناثر (Outlying Growth) أداة فعالة لفهم الديناميكيات المكانية لتوسع المدن. ويسهم هذا التحليل في تقديم رؤى كمية ونوعية حول كيفية تطور المدن عبر الزمن، ومدى كفاءة واستدامة هذا التطور، حيث يمكن أن يوفر هذا التحليل:

١. فهم مراحل النمو الحضري: يساعد على تمييز الفترات الزمنية التي شهدت نماذج مختلفة من التوسع الحضري، مثل التركز الداخلي مقابل التمدد الخارجي.
٢. تحديد نمط التوسع المهيمن: هل المدينة تنمو من الداخل (نمو مدمج)، أم من الأطراف (نمو زاحف)، أم في شكلٍ متشتت (نمو متناثر)؟
٣. تقييم كفاءة استخدام الأراضي: من خلال معرفة ما إذا كان التوسع يستغل المساحات المتاحة داخل النسيج الحضري أو يعتمد على التوسع الأفقي المستهلك للأراضي.
٤. كشف آثار التوسع على البيئة واستخدامات الأراضي: مثل التعدي على الأراضي الزراعية أو المناطق الحساسة بيئياً.
٥. إرشاد صانعي السياسات: لوضع استراتيجيات تخطيط عمراني مستندة إلى أدلة كمية تدعم التنمية المستدامة.

٢. أهداف الدراسة

يهدف هذا البحث إلى تحليل مراحل وأنماط النمو الحضري في مدينة مكة المكرمة من خلال تصنيف وتحليل أوضاع النمو الحضري (الملء الداخلي، التوسع الحدي، والنمو الخارجي)، وذلك باستخدام بيانات الاستشعار عن بعد وتقنيات نظم المعلومات الجغرافية، بغرض فهم التحولات المكانية والكمية في التوسع الحضري وتوجيه السياسات الحضرية نحو تنمية أكثر استدامة، وتتمحور الأهداف في التالي:

١. تحليل التغيرات في استخدامات الأراضي والامتداد الحضري في مكة المكرمة خلال فترات زمنية محددة.
٢. تصنيف أنماط النمو الحضري إلى ملء داخلي، توسع حدي، ونمو متناثر باستخدام أدوات مكانية كمية.
٣. تحديد الفترات الزمنية المميزة لكل نمط من أنماط النمو وتقييم شدة التوسع فيها.



شكل ١: الموقع الجغرافي لمدينة مكة المكرمة. المصدر من عمل الباحث اعتماداً على بيانات المرئيات الفضائية.

٢٠٢٤. وتشمل عملية OBIA مرحلتين رئيسيتين: تجزئة المرئية (Segmentation) والتصنيف (Classification). الخطوة الأولى في هذه المنهجية هي تجزئة المرئية، حيث يتم تقسيم بيانات الاستشعار عن بُعد إلى مناطق جغرافية مميزة ومنفصلة. وقد تم إنشاء هذه الأهداف أو المناطق استناداً إلى خصائص اللون، والملمس، والخصائص المكانية والطيفية (Benz, et al. 2004, Drăguț, et al., 2010).

تم تنفيذ تجزئة المرئيات باستخدام برنامج eCognition Developer 9.0.1، حيث يوفر البرنامج عدداً من الخوارزميات لإنشاء كائنات الصورة. وقد تم استخدام خوارزمية الدقة متعددة المستويات (Multi-resolution algorithm) لإنشاء الكائنات التي تمثل فئات الغطاء الأرضي.

وقد تم ضبط خصائص الخوارزمية على النحو التالي:

- معامل المقياس (Scale Parameter): ٥.

- الشكل (Shape): ٠,١.

- الاكتناز (Compactness): ٠,٨.

تساعد هذه الإعدادات في تحسين دقة ترسيم (Delineation) فئات الغطاء الأرضي وتحقيق نتائج تصنيف عالية الجودة.

تم تطبيق التصنيف أولاً على مرئية عام ١٩٨٥، حيث جرى تصنيف الكائنات الجزئية باستخدام قواعد محددة وقيم بداية (Threshold) مستندة إلى دراسات سابقة (Alqurashi et al. 2016, Alqurashi and Kumar 2017, Alqurashi 2021).

جدول ١: البيانات المستخدمة في البحث

| م | القمر الصناعي | المستشعر | التاريخ | السحب (%) |
|---|---------------|----------|-----------|-----------|
| ١ | Landsat 5 | TM | ١٩٨٥-٤-١٥ | ٠ |
| ٢ | Landsat 5 | TM | ١٩٩٥-١-٥ | ٠ |
| ٣ | Landsat 7 | ETM+ | ٢٠٠٥-٨-٤ | ٣,٠ |
| ٤ | Landsat 8 | OLI | ٢٠١٥-٣-١٧ | ٧,٠ |
| ٥ | Landsat 8 | OLI | ٢٠٢٤-٢-٢٢ | ٠,٠٤ |

تم الحصول على المرئيات الفضائية خلال فصل الشتاء (شهري يناير وفبراير) والربيع (شهري مارس وأبريل)، باستثناء مرئية عام ٢٠٠٥ التي تم التقاطها خلال فصل الصيف (أغسطس)، وكانت هذه المرئية هي الوحيدة المتوفرة بجودة محسنة لذلك العام. جميع المرئيات كانت مجهزة مسبقاً بإسناد جغرافي ومصححة هندسياً إلى النظام الجيوديسي WGS 1984، المنطقة الزمنية UTM Zone 37N، باعتبارها منتجاً من المستوى الأول (Level 1).

كانت نسبة حجب السحب ٠٪ في جميع المرئيات، باستثناء مرئيتي عامي ٢٠٠٥ و٢٠١٥، واللذين احتويتا على ٣٪ و٧٪ من الغيوم على التوالي. ومع ذلك، لم يؤثر حجب السحب على منطقة الدراسة. وقد تم تطبيق أداة الاقتصار (Subset) على جميع المرئيات لتشمل كامل حدود النطاق الحضري لمدينة مكة.

٢,٤ تصنيف المرئيات الفضائية (Image Classification)

تم استخدام منهجية تحليل المرئيات المعتمد على الكائنات (Object-Based Image Analysis - OBIA) لإنشاء تصنيفات للغطاء الأرضي خلال فترات الأعوام ١٩٨٥، ١٩٩٥، ٢٠٠٥، ٢٠١٥،

٣.٤ تقييم دقة التصنيف (Accuracy Assessment)

تم تقييم دقة التصنيف باستخدام التفسير البصري لنفس مرئيات الأقمار الصناعية من نوع Landsat، وتم اعتماد طريقة المعاينة العشوائية الطبقيّة (Stratified Random Sampling) لغرض التقييم.

تم إنشاء نقاط عينة لكل عام كما يلي:

- عام ١٩٨٥ : ٥٠٠ عينة.

- عام ١٩٩٥ : ٦٥٠ عينة.

- عام ٢٠٠٥ : ٧٥٠ عينة.

- عام ٢٠١٥ : ٩٠٠ عينة.

- عام ٢٠٢٤ : ١٠٠٠ عينة.

تم إعداد مصفوفة الالتباس (Confusion Matrix) من خلال المقارنة بين المرئية المصنفة والنقاط الأرضية (Ground Truth)، ومن خلال

هذه المصفوفة، تم حساب المؤشرات التالية لكل فترة زمنية:

- دقة المنتج (Producer's Accuracy).

- دقة المستخدم (User's Accuracy).

- الدقة العامة (Overall Accuracy).

- معامل كابتا (Kappa Coefficient).

وقد ركزت هذه المؤشرات تحديداً على فئة المناطق المبنية لتقييم مدى دقة استخراج هذه الفئة على مر السنوات.

٤ مؤشر التوسع في المشهد الطبيعي (Landscape Expansion Index – LEI)

تم استخدام مؤشر التوسع في المشهد الطبيعي (Landscape Expansion Index – LEI) والذي طُوّر من قبل Liu et al. (2010) لتحديد أنماط التوسع الحضري وتصنيفها إلى ثلاثة أوضاع رئيسية للنمو: الملء الداخلي (Infilling)، التوسع الحدي (Edge Expansion)، والنمو الخارجي (Outlying Growth) حيث يتميز هذا المؤشر بقدرته على وصف العمليات المكانية لتغير النمط الحضري عبر فترتين زمنيتين أو أكثر، من خلال تحديد ثلاثة أنواع مكانية للتوسع العمراني (Liu et al. 2010)، موضحة في شكل ٣، وهي كالتالي:

١. الملء الداخلي (Infilling): يشير إلى أن النمو الحضري الجديد الذي يملأ الفجوات الواقعة بين أو داخل المناطق الحضرية القائمة أو السابقة (Liu et al. 2010).

٢. التوسع الحدي (Edge Expansion): يحدث عندما يتطور النمو الحضري الجديد على حواف أو هوامش التوسع الحضري السابق (Liu et al. 2010).

٣. النمو الخارجي (Outlying): يحدث عندما تُبنى مناطق جديدة من العمران بعيداً عن الكتلة الحضرية الرئيسية للمدينة، دون أن تكون متصلة مباشرة بها (Liu et al. 2010).

وقد تم تقسيم الغطاء الأرضي إلى أربع فئات رئيسية ضمن الهيكل التصنيفي، وهي: التربة العارية، الغطاء النباتي، المناطق المبنية، والمسطحات المائية.

تم استخدام مجموعة من الخصائص (Feature Sets) خلال عملية التصنيف، وشملت:

- مؤشر خضرة النبات (Normalized Difference Vegetation Index - NDVI).

- مؤشر المحتوى المائي للنبات (Normalized Difference Water Index - NDWI).

- الفرق الطيفي لحزم القمر الصناعي Landsat TM من الحزمة ١ إلى ٥ والحزمة ٧.

- السطوع (Brightness): وهو متوسط قيم الحزم (Bands) للمستشعر TM.

وقد تم تحديد قيم البداية (Threshold) لهذه الخصائص بناءً على مراجع علمية سابقة (Zhou and Troy 2008, Zhou et al. 2008, Taubenböck et al. 2012, Yu et al. 2016).

بعد إتمام عملية التصنيف المرئية عام ١٩٨٥، تم تحويل خريطة التصنيف إلى طبقة خطية (Vector Layer) وأدرجت في برنامج Developer كطبقة موضوعية (Thematic Layer) مرجعية لتصنيف مرئية عام ١٩٩٥. تم تطبيق نمج التغيير وعدم التغيير (Change/No Change) بين عامي ١٩٨٥ و ١٩٩٥، بحيث تم تصنيف الأهداف التي لم تتغير بأحما "لم تتغير ثم اسم الفئة"، على سبيل المثال إذا كان الغطاء الأرضي مصنفًا كغطاء نباتي في عام ١٩٨٥ ولم يتغير في عام ١٩٩٥، يُصنّف في عام ١٩٩٥ "لم يتم التغيير للغطاء النباتي"، وهكذا.

أما الكائنات التي شهدت تغييراً، فتم تصنيفها وفقاً لحالتها الجديدة في عام ١٩٩٥، على سبيل المثال: إذا كانت تربة عارية في عام ١٩٨٥ وتحولت إلى منطقة مبنية في عام ١٩٩٥، تُصنّف "تربة عارية تغيرت إلى مباني" وهكذا. مع نهاية هذه العملية نشأ ١٣ فئة فرعية، كالتالي:

- ٤ فئات فرعية حُصّصت للمناطق المبنية.

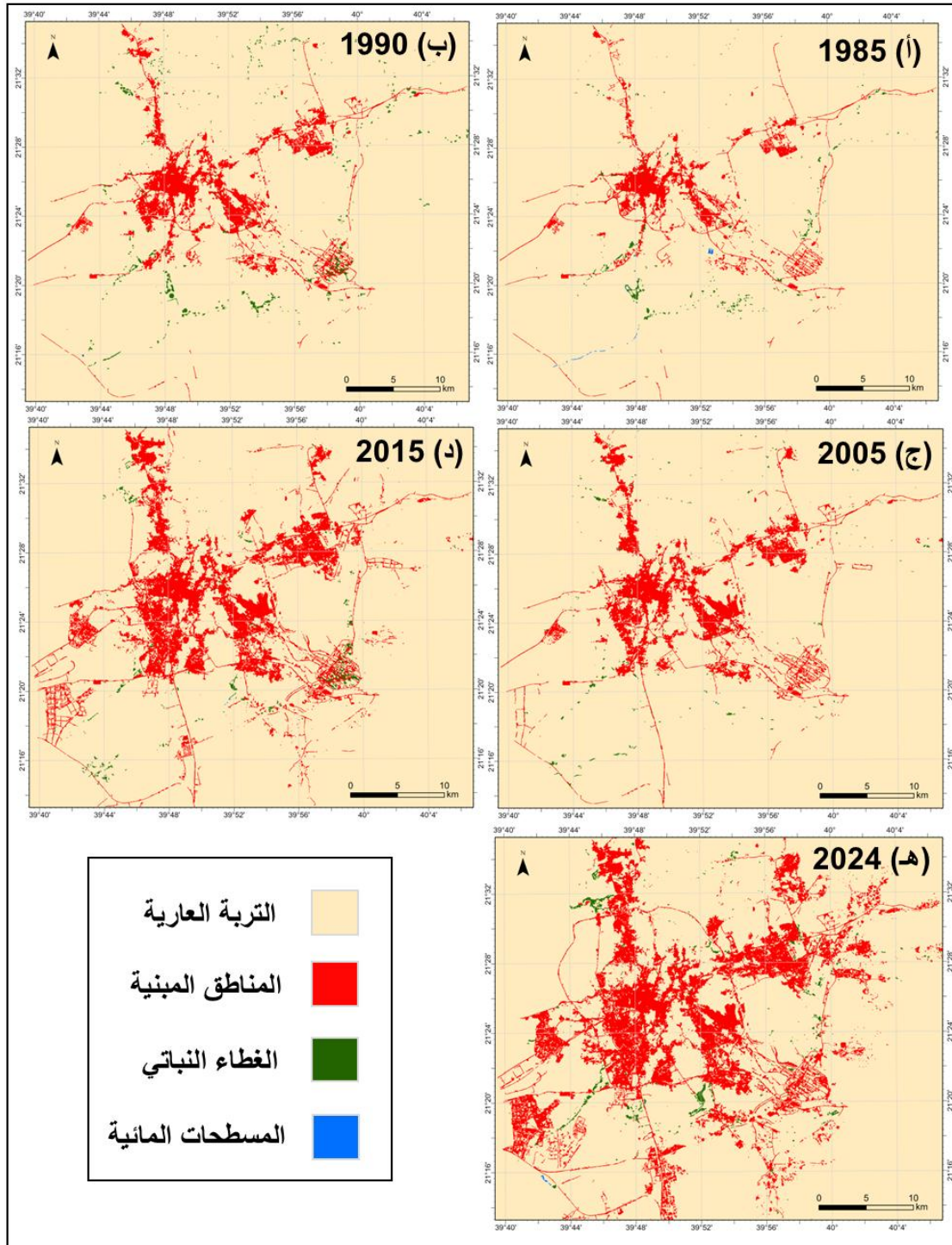
- ٣ فئات فرعية لكل من: التربة العارية، المسطحات المائية، والغطاء النباتي. بعد ذلك، تم دمج هذه الفئات الفرعية إلى أربع فئات رئيسية لتكوين خريطة نهائية لتصنيف الغطاء الأرضي المرئية عام ١٩٩٥.

وأُتبع العملية ذاتها لتصنيف مرئيات الأعوام اللاحقة ٢٠٠٥، ٢٠١٥، و ٢٠٢٤ (شكل ٢). وفي المرحلة الأخيرة، تم إعادة تصنيف جميع المرئيات (١٩٨٥، ١٩٩٥، ٢٠٠٥، ٢٠١٥، و ٢٠٢٤) إلى فئتين فقط:

- المناطق المبنية.

- المناطق غير المبنية.

حيث تم دمج فئات الغطاء الأرضي الأخرى (التربة العارية، النبات، والمسطحات المائية لتمثل المناطق غير المبنية.



شكل ٢. تصنيف الغطاء الأرضي خلال الأعوام. المصدر من عمل الباحث اعتماداً على بيانات المرئيات الفضائية.

وقد تم تحديد منطقة الحاجز (Buffer Zone) بعرض ٣٠ متراً، وهو ما يعادل الدقة المكانية للبيانات الأصلية لمرئيات القمر الصناعي Landsat. يسهم هذا التحديد الدقيق للحاجز في ضمان توافق التحليل مع خصائص البيانات المكانية ويعزز دقة تصنيف نوع النمو الحضري باستخدام مؤشر LEI.

تم تحديد قيم البداية (Threshold Values) لتمييز بين الأنواع الثلاثة للنمو الحضري وفقاً لما اقترحه (Liu et al. 2010)، كما يلي:
- إذا كانت قيمة LEI أكبر من أو يساوي ٥٠ فإن النمو الحضري يصنّف على أنه ملء داخلي (Infilling).

ويتم التعبير عن هذه الأنواع بواسطة قيمة LEI، التي تُحسب باستخدام المعادلة التالية:

$$LEI = \frac{A_0}{A_0 + A_v} (100)$$

حيث إن:

A_0 يمثل مساحة التقاطع بين الأرض المشغولة (المبنية سابقاً) ومنطقة الحاجز (Buffer Zone)، و A_v يمثل مساحة التقاطع بين الأرض غير المشغولة (غير المبنية) ومنطقة الحاجز، وذلك وفقاً لما أشار إليه (Liu et al. 2010).

المرجح (FRAC-AM)، كما تم تحليل ثلاثة أوضاع للتوسع الحضري (الماء الداخلي، التوسع الحدي، والنمو الخارجي) خلال الفترات الزمنية الأربع، بمدف فهم كيفية تغير هذه الأنواع عبر التدرج المكاني من مركز المدينة نحو الأطراف.

جدول ٢. معلومات مؤشرات المشهد الطبيعي، استناداً على (McGarigal et al. (2002)

| المؤشر (Metric) | الوصف (Description) | المعادلة (Equation) | النطاق (Range) |
|-----------------|---|--|--------------------------|
| PLAND | النسبة المئوية لمساحة فئة معينة من الغطاء الأرضي (مثل المناطق المبنية) من إجمالي مساحة المشهد | $PLAND = P_i = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{A} \times 100$ $P_i =$ proportion of the landscape occupied by urban i ; $a_{ij} =$ area (m^2) of patch ij ; $A =$ Area of the total landscape (m^2). | $0 < PLAND \leq 100$ |
| NP | عدد الرقع التي تمثل فئة غطاء أرضي معين | $NP = n_i$ | $NP \geq 1$ |
| PD | تقيس تجزؤ المشهد المبني من خلال عدد الرقع لكل ١٠٠ هكتار | $PD = \frac{N}{A} (10,000)(100)$ $N =$ Total number of patches. | $PD \geq 0$ |
| LPI | نسبة مساحة أكبر رقعة إلى إجمالي مساحة المشهد | $LPI = \frac{\max(a_{ij})}{A} (100)$ | $0 < LPI$ |
| LSI | يقيس نسبة المحيط إلى المساحة للمناطق المبنية | $LSI = \frac{E}{\min E}$ $E =$ Total edge length; $\min E =$ The minimum total edge length. | $LSI \geq 1$, no limit |
| FRAC-AM | يقيس تعقيد شكل الرقع بناءً على نسبة المحيط إلى المساحة مع أخذ الوزن المساحي بعين الاعتبار | $FRAC = \frac{2 \ln(0.25P_{ij})}{\ln a_{ij}}$ $P_{ij} =$ perimeter (m) of patch ij . | $1 \leq FRAC_AM \leq 2$ |

٥. النتائج

١,٥ نتائج تقييم تصنيف المرئيات

أظهرت نتائج التصنيف دقة إجمالية عالية، تراوحت بين ٩٥٪ و ٩٩٪، مع قيم كابتا تتراوح بين ٠,٨٧ و ٠,٩٦ (الجدول ٣).

وقد تفاوتت دقة المستخدم (User's Accuracy – UA) بين فئات الغطاء الأرضي المختلفة وعبر الفترات الزمنية، حيث بلغت دقة المستخدم للمناطق المبنية ١٠٠٪ في عام ٢٠٠٥، في حين كانت أدنى قيمة لها ٨٨٪ عام ١٩٨٥. أما دقة المستخدم للغطاء النباتي في عام ٢٠٠٥، فقد بلغت ٧٠٪، وهي الأدنى بين جميع فئات الغطاء الأرضي، بينما بلغت

جدول ٣. نتائج دقة تقييم تصنيف المرئيات الفضائية.

| ٢٠٢٤ | | ٢٠١٥ | | ٢٠٠٥ | | ١٩٩٥ | | ١٩٨٥ | | الغطاء الأرضي |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------------------|
| PA | UA | PA | UA | PA | UA | PA | UA | PA | UA | |
| ٩٦,٩ | ٩٦,٥ | ٩٩,٩ | ٩٩,١ | ٩٩,٩ | ٩٧,٦ | ٩٩,٧ | ٩٨,٥ | ٩٨,٩ | ٩٨,٥ | التربة العارية |
| ٩٥ | ٩٩ | ٨٣,٣ | ١٠٠ | ٨٧,٥ | ٧٠,٠ | ٩٣,٢ | ١٠٠ | ٩٠,٩ | ١٠٠ | الغطاء النباتي |
| ٨٢,٤ | ٩٠,٢ | ٩٤,٧ | ٩٨,٦ | ٨٧,٢ | ١٠٠ | ٩١,٨ | ٩٦,٨ | ٨٠,٦ | ٨٧,٨٠ | المناطق المبنية |
| ٨٢,٤ | ١٠٠ | ١٠٠ | ١٠٠ | ٩٠,٩ | ١٠٠ | ١٠٠ | ١٠٠ | ١٠٠ | ٨٠ | المسطحات المائية |
| ٩٥,١ | | ٩٩,١ | | ٩٧,٧ | | ٩٨,٤ | | ٩٧,٥ | | الدقة العامة |
| ٠,٩ | | ٠,٩٦ | | ٠,٩٢ | | ٠,٩٥ | | ٠,٨٧ | | معامل كابتا |

٢,٥ التوسع المكاني الحضري

محاور الطرق الرئيسية وتطور البنية التحتية الأولية. أما التوسع الأحدث، فكان أكثر تشتتاً وانتشاراً، مما يشير إلى استمرار الزحف العمراني مع امتداد التنمية بعيداً عن مركز المدينة. وقد حدث التوسع في جميع الاتجاهات تقريباً (شكل ٤). ففي الفترات الأولى (١٩٨٥-٢٠١٥)، كان معظم التوسع يحدث في الشمال، والشمال الشرقي، وكذلك الجزء الشرقي من المدينة. إلا

يُظهر التوزيع المكاني للمناطق الحضرية المبنية توسعاً ملحوظاً بين عامي ١٩٨٥ و ٢٠٢٤ (شكل ٤). ففي عام ١٩٨٥، كان الامتداد الحضري متركزاً بشكل أساسي في المنطقة المركزية للمدينة. ومن عام ١٩٨٥ إلى ١٩٩٥، بدأ التوسع الحضري ينتشر نحو الخارج انطلاقاً من النواة، متبعاً

٢,٤,٥ الأنماط الزمانية المكانية للنمو الحضري (Spatiotemporal Growth Patterns)

كان النمط المكاني للمشهد الحضري في مكة المكرمة متفاوتاً عبر الزمن (شكل ٧). من حيث نسبة المشهد الطبيعي، فإن النمو الحضري المبكر خلال الفترة ١٩٨٥ إلى ١٩٩٥ كان مُهيمناً عليه بنوعي الملاء الداخلي والتوسع الحدي من حيث نسبة المساحة (شكل ١٧)، وفي نطاق الطريق الدائري الثاني، كان الملاء الداخلي هو النوع السائد للنمو الحضري، ما يعكس نمطاً عمرانياً متراصاً وكثيفاً بالقرب من النواة الحضرية. وفي المقابل، كان نوع التوسع الحدي أكثر وضوحاً في النطاق العمراني للدائري الثالث والرابع والخامس، مما يشير إلى أن مدينة مكة المكرمة كانت تتوسع باتجاه الخارج.

أما نوع النمو الخارجي (Outlying Growth)، فقد تركز بشكل رئيسي في الأطراف، ما يدل على بدء ظهور توسع عمراني معزول في مناطق تقع خارج حدود المدينة. وخلال الفترة ١٩٩٥ إلى ٢٠٠٥، شهد نوع الملاء الداخلي تراجعاً ملحوظاً في نطاق الطريق الدائري الثاني، وتحوّل النمو تدريجياً إلى نموٍ خارجي (شكل ٧ب). وفي الوقت ذاته، سجّلت المناطق الطرفية زيادة ملحوظة في النمو الخارجي، مما يشير إلى أن التنمية بدأت تمتد بشكل أكبر إلى الأراضي غير المطورة خارج الحدود الحضرية. وقد ظل نوع الملاء الداخلي منخفضاً في جميع نطاقات الطرق الدائرية بين عامي ١٩٨٥ و ٢٠٢٤ (شكل ٧).

وخلال جميع الفترات الزمنية، ظلت قيم عدد الرقع (NP) في نطاق الطريق الدائري الثاني منخفضة جداً عبر جميع أنواع النمو الحضري (شكل ٨). ويُشير ذلك إلى وجود درجة منخفضة من التجزؤ بالقرب من مركز المدينة، ويُحتمل أن يكون ذلك ناتجاً عن قيود في توفر الأراضي وكذلك التحضر المبكر الذي حدث في تلك المناطق. وقد تكون معظم التنمية الحضرية في هذه المنطقة قد حدثت قبل عام ١٩٨٥، مما ترك مساحة محدودة لمزيد من التوسع. أما المناطق ضمن نطاق الطريق الدائري الثالث فقد أظهرت زيادة طفيفة في قيم NP بمرور الوقت، مما يشير إلى وجود بعض التوسع الحضري، ولكن بمعدل أقل مقارنة بالمناطق خارج نطاق الطرق الدائرية. وقد سجّلت أعلى قيم NP في نطاق الطريق الدائري الرابع والطريق الدائري الخامس، لا سيما ضمن نوعي الملاء الداخلي والنمو الخارجي، مما يشير إلى أن هذه المناطق شهدت أكبر درجات التجزؤ في النمو الحضري.

ويشير عدد رقع التمدد العمراني بشكل كبير إلى حجم المساحات العمرانية، حيث تزداد قيم (NP) عموماً مع التوسع الحضري، والذي يُظهر تفتتاً (عدد أكبر من الرقع) في المناطق المتناثرة (التمدد على الأطراف أو النائية)، وتجمّعاً (عدد أقل من الرقع الأكبر) في مراكز المدن الناضجة (الملاء الداخلي).

ويمكن القول بأن نتائج مؤشر عدد الرقع (NP) تظهر بأن المناطق العمرانية في مدينة مكة المكرمة تشهد تجمّعاً ملحوظاً في المناطق الداخلية، بينما تظهر عدد الرقع العمرانية تناثراً كبيراً في المناطق الهامشية والطرفية للمدينة. وقد ينجم عن هذه الحالة تعقيداً أكبر في التخطيط الحضري بسبب التوسع السريع عبر نمط النمو الخارجي الجزأ.

أن الفترة الممتدة ما بين ٢٠١٥ و ٢٠٢٤ شهدت كذلك زيادة سريعة في المناطق الحضرية في الجنوب والجنوب الشرقي من المدينة، مما يشير إلى تغير واضح في اتجاهات النمو المكاني لمدينة مكة المكرمة.

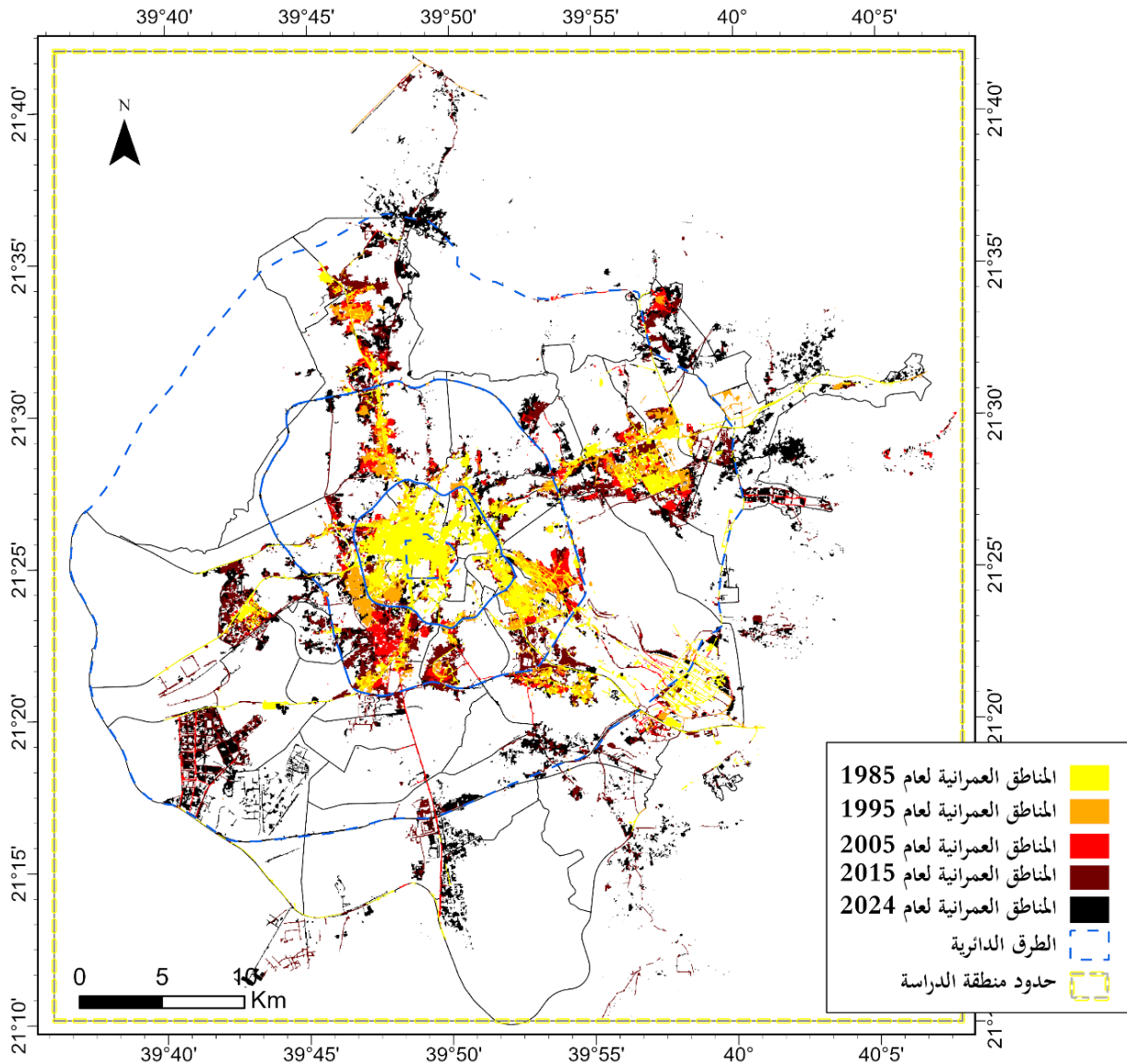
٣,٥ معدل النمو السنوي (Annual Growth Rate)

يُظهر تحليل معدلات النمو السنوية للأراضي الحضرية في مكة المكرمة عبر الطرق الدائرية المختلفة خلال الفترات الزمنية ١٩٨٥-١٩٩٥، ١٩٩٥-٢٠٠٥، ٢٠٠٥-٢٠١٥، و ٢٠١٥-٢٠٢٤، اتجاهات مكانية وزمنية مميزة في التوسع العمراني (شكل ٥). فقد أظهرت المناطق الحضرية في الطريق الدائري الثاني والثالث معدلات نمو منخفضة جداً طوال فترة الدراسة، مما يشير إلى تشبع مبكر ومحدودية التنمية الجديدة في المناطق المركزية. وفي المقابل، شهد نطاق الطريق الدائري الرابع توسعاً حضرياً سريعاً بين عامي ١٩٨٥ و ١٩٩٥، ثم تباطأ تدريجياً في الفترات اللاحقة. أما المناطق الواقعة ضمن الطريق الدائري الخامس، فقد أظهرت تسارعاً ملحوظاً في النمو الحضري منذ عام ٢٠٠٥، مما يعكس تحول التنمية نحو الأطراف. ومن اللافت أن المناطق الواقعة خارج الطرق الدائرية المحددة سجّلت أعلى معدلات نمو، لا سيما خلال الفترة ٢٠١٥-٢٠٢٤، مما يشير إلى اتجاه واضح نحو الزحف العمراني إلى المناطق الطرفية. وتُبرز هذه الأنماط الامتداد المتدرج والمستمر للتحضر نحو المناطق الخارجية في مدينة مكة المكرمة، مما يسّط الضوء على الحاجة الملحة إلى تخطيط عمراني استراتيجي لإدارة النمو بشكل مستدام، والتقليل من التحديات البيئية والبنوية المحتملة المرتبطة بالتوسع في المناطق شبه الحضرية والضواحي البعيدة. حيث سيساهم هذا الإجراء في الحد من ضغط النمو العمراني السنوي على الغطاء الأرضي في مكة المكرمة، ويسهم في وضع سياسات متوازنة تراعي بشكل أساسي الآثار السلبية للنمو العمراني المتزايد على البيئة والموارد الطبيعية، وتوفر كذلك إدارة مستدامة للوضع الراهن.

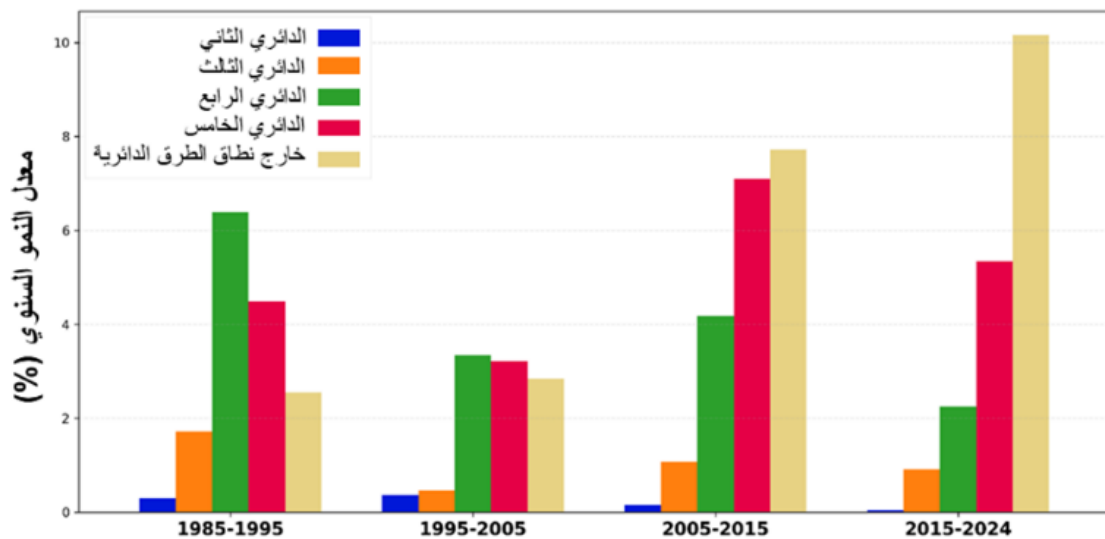
٥. القياس الكمي للتوسع الحضري (Urban Quantification)

١,٤,٥ الأنماط الزمانية للنمو الحضري (Temporal Growth Patterns)

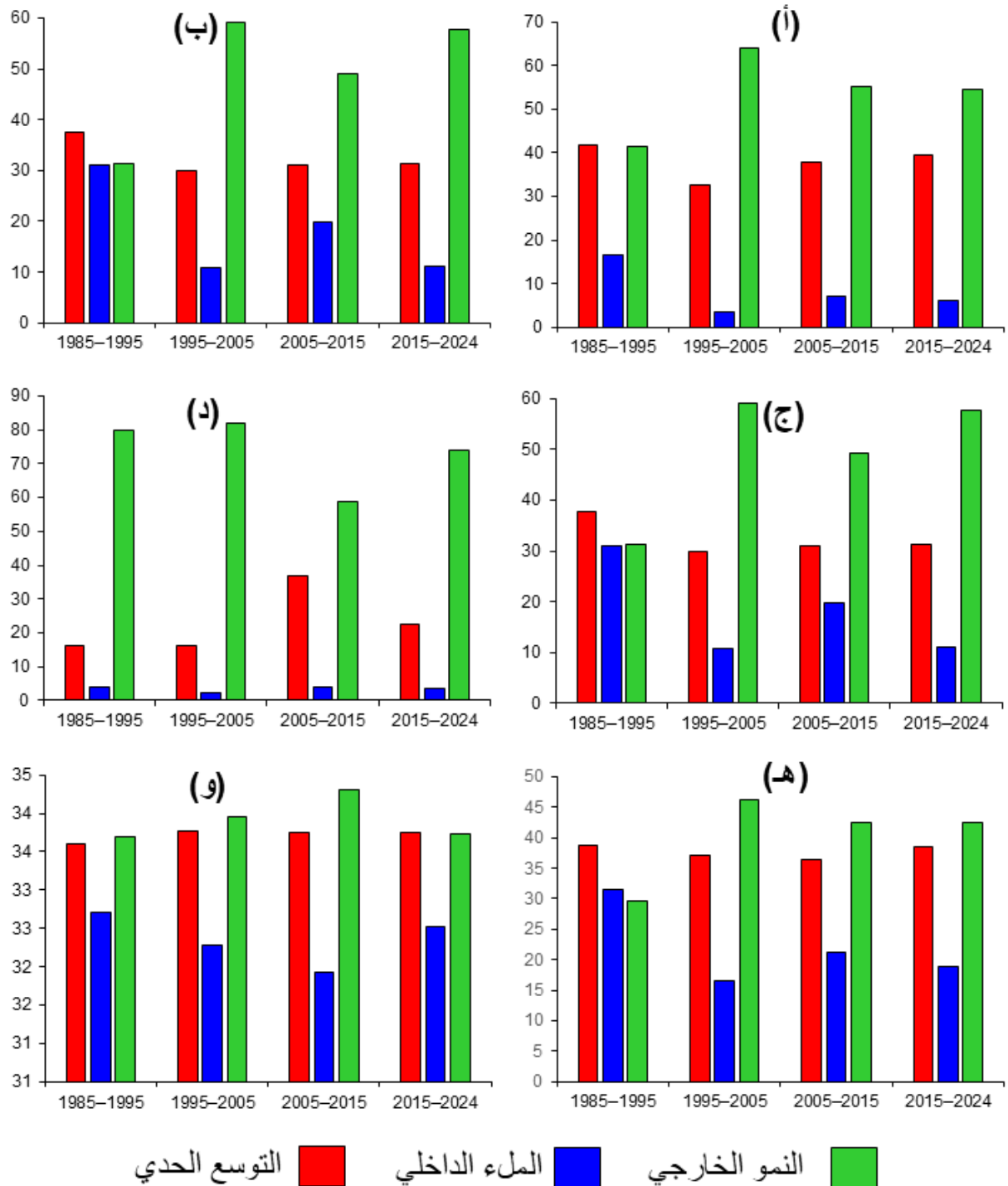
أظهرت التغيرات الزمنية للنمو الحضري في مكة المكرمة أنماطاً مختلفة بين عامي ١٩٨٥ و ٢٠٢٤ (شكل ٦). فقد أظهر النمو الخارجي (Outlying) اتجاهات متضادة بمرور الوقت، في حين ظلّ التوسع الحدي (Edge Expansion) والملاء الداخلي (Infilling) مستقرين نسبياً (شكل ٦). لقد كان النمو الخارجي هو النمط الحضري الأكثر سيطرة عبر معظم المؤشرات (PLAND, NP, PD)، ويشير ذلك إلى أن التحضر في مدينة مكة اتّسم بظهور رقع عمرانية جديدة ومعزولة بدلاً من النمو المتصل أو المدمج. أما التوسع الحدي فقد بقي ثابتاً مع مرور الوقت، مما يعني أن النمو الحضري يحدث غالباً عبر تمديد حدود المناطق الحضرية القائمة بدلاً من تكوين مناطق جديدة بالكامل. وأخيراً، بقي نوع الملاء الداخلي الأقل أهمية بين جميع أنواع النمو الحضري في مختلف المؤشرات، مما يدل على محدودية التكثيف العمراني داخل المناطق المطوّرة مسبقاً.



شكل ٤. التوسع الحضري المكاني في مكة المكرمة (١٩٨٥ - ٢٠٢٤). المصدر من عمل الباحث اعتماداً على بيانات المرئيات الفضائية.



شكل ٥. معدل النمو السنوي للمناطق الحضرية داخل نطاق الطرق الدائرية خلال خمس فترات زمنية. المصدر من عمل الباحث اعتماداً على بيانات الدراسة.



النمو الخارجي ■ الملء الداخلي ■ التوسع الحدي

شكل ٦. النسبة المئوية لأنواع النمو الحضري: (أ) نسبة المشهد الطبيعي (PLAND)، (ب) عدد الرقع (NP)، (ج) كثافة الرقع (PD)، (د) مؤشر الرقعة الأكبر (LPI)، (هـ) مؤشر شكل الأرض (LSI)، (و) متوسط بعد الكسر المرجح بالمساحة (FRAC_AM) خلال الفترات ١٩٩٥-٢٠٠٥، ٢٠٠٥-٢٠١٥، ٢٠١٥-٢٠٢٤. المصدر من عمل الباحث اعتماداً على بيانات الدراسة.

على أن الرقع الحضرية الجديدة كانت تتشكل بعيداً عن النواة الحضرية القائمة، مما ساهم في الزحف العمراني. كما أن ارتفاع قيم NP لنوع النمو الخارجي يُشير إلى أن هذه التطورات الجديدة كانت شديدة التشتت، الأمر الذي قد يؤدي إلى استخدام غير فعال للأراضي وخلق تحديات في البنية التحتية لمدينة مكة المكرمة.

يُظهر التوسع العمراني داخل نطاق الطريق الدائري الثاني أعلى قيم كثافة للرقع العمرانية (PD) باستمرار، ويرجع ذلك بشكل رئيسي إلى نمو نوع

خلال الفترتين ١٩٩٥-٢٠٠٥ و ٢٠٠٥-٢٠١٥، زاد الملء الداخلي في نطاق الطريق الدائري الرابع والخامس، مما يدل على تحول في النمو الحضري نحو نمط أكثر كثافةً. أما التوسع الحدي، فقد كان مرتفعاً باستمرار في هاذين النطاقين، مما يُظهر بأن الزحف العمراني يحدث على أطراف التنمية الحضرية القائمة.

هذا وقد شهد النمو الخارجي في المناطق الطرفية زيادة مستمرة بمرور الوقت، خاصة في الفترات الأخيرة (٢٠٠٥-٢٠١٥ و ٢٠١٥-٢٠٢٤)، مما يدل

FRAC-AM. ويُشير هذا إلى وجود تحول من نمو حضري متناثر إلى توسع أكثر استمرارية واتساعاً في الرقع الحضريّة.

٦. المناقشة والتوصيات

١,٦ ديناميكيات النمو الحضري والتوسع المكاني (Urban Growth Dynamics and Spatial Expansion)

يُظهر التحليل المكاني والزمني للتوسع الحضري في مدينة مكة المكرمة خلال الفترة من ١٩٨٥ إلى ٢٠٢٤ تحولاً ديناميكياً في بنية المشهد الحضري للمدينة. فقد كشفت مسارات النمو الحضري على مدى العقود الأربعة عن تحول من نمط عمراني مركز ومدمج إلى نمط أكثر تشتتاً وتجزؤاً وتوسعاً نحو الأطراف. ففي عام ١٩٨٥، كان النمو الحضري يتميز بطابع مضغوط ومتمركز حول النواة التاريخية والدينية للمدينة، مما يعكس نموذج نمو شعاعي تقليدي ينطلق من المركز (عسكورة، ٢٠١٣). إلا أن النمط المكاني للتوسع بدأ يتطور تدريجياً في العقود اللاحقة، ليأخذ شكلاً أكثر تشتتاً وتباعداً. ويُعد هذا التحول أكثر وضوحاً بعد عام ١٩٩٥، حيث بدأ نمط التنمية بالابتعاد عن النواة المركزية، متجهاً نحو التوسع في المناطق الطرفية، مما غير من شكل المدينة وأعاد تشكيل امتدادها الحضري بشكل لافت.

في الفترة ما بين عامي ١٩٨٥ و١٩٩٥، اتسم النمو الحضري في مكة المكرمة بمزيج متوازن نسبياً بين نوعي الملاء الداخلي والتوسع الحدي، مما يشير إلى أن جهود التنمية في تلك المرحلة ركزت على استغلال الأراضي المتاحة داخل النسيج العمراني القائم أو المجاور له مباشرة. وقد جاء التوسع المعتدل خلال هذه الفترة متوافقاً مع شبكات النقل القائمة، وموالياً لخطط تحسين البنية التحتية المعتمدة آنذاك. إلا أن نوع الملاء الداخلي بدأ بالتراجع بعد عام ١٩٩٥، حيث تسارع التوسع الحضري باتجاه المناطق الطرفية. ويُعزى هذا التراجع في الملاء الداخلي، رغم توفر أراضٍ داخل المركز الحضري، إلى عدة عوامل محتملة، من أبرزها:

- قيود استخدام الأراضي (Alqurashi and Alharbi 2025).
- ارتفاع أسعار الأراضي في قلب المدينة (Yaagoubi et al 2021).
- الأنظمة التخطيطية التي حدّت من التوسع الرأسي والتكثيف العمراني (Albarqawi 2022).

كل ذلك أسهم في تحفيز التوسع الأفقي خارج النطاق العمراني المركزي، بدلاً من تعزيز الاستخدام الكفء للأراضي داخل المدينة.

منذ عام ٢٠٠٥، أصبح نمط التوسع الحضري في مكة مهيماً بشكل متزايد من خلال نمطي التوسع الحدي والنمو الخارجي. ويتزامن هذا التحول نحو التوسع الخارجي مع تحولات اجتماعية واقتصادية واسعة النطاق في المدينة، والتي تشمل: النمو السكاني، والطلب المتزايد على السكن، وكذلك الاستثمارات الكبرى في البنية التحتية المرتبطة بالسياحة الدينية. وقد أسهمت مشاريع الطرق الدائرية المتعاقبة التي تحيط بالمدينة في تسهيل الوصول إلى المناطق الطرفية، مما ساعد على نشوء أقطاب "التوسع المتجاوز" أو "القفز العمراني" إلى ما بعد الحدود العمرانية القائمة (Glockmann et al. 2022). وتُعزى نتائج تحليل معدلات النمو السنوية هذا النمط، إذ تشير

الملاء الداخلي. ويشير هذا إلى أن النواة الحضريّة تشهد تكثيفاً عمرانياً ملحوظاً واستغلالاً للفراغات داخل النسيج العمراني. أما المناطق الطرفية فقد أظهرت زيادة واضحة في PD خلال الفترات الأخيرة، خاصة بين ٢٠٠٥-٢٠١٥ و ٢٠١٥-٢٠٢٤، نتيجة زيادة التنمية على هوامش المدينة، مما يدل على توسع سريع وتجزؤ في الأطراف الحضريّة.

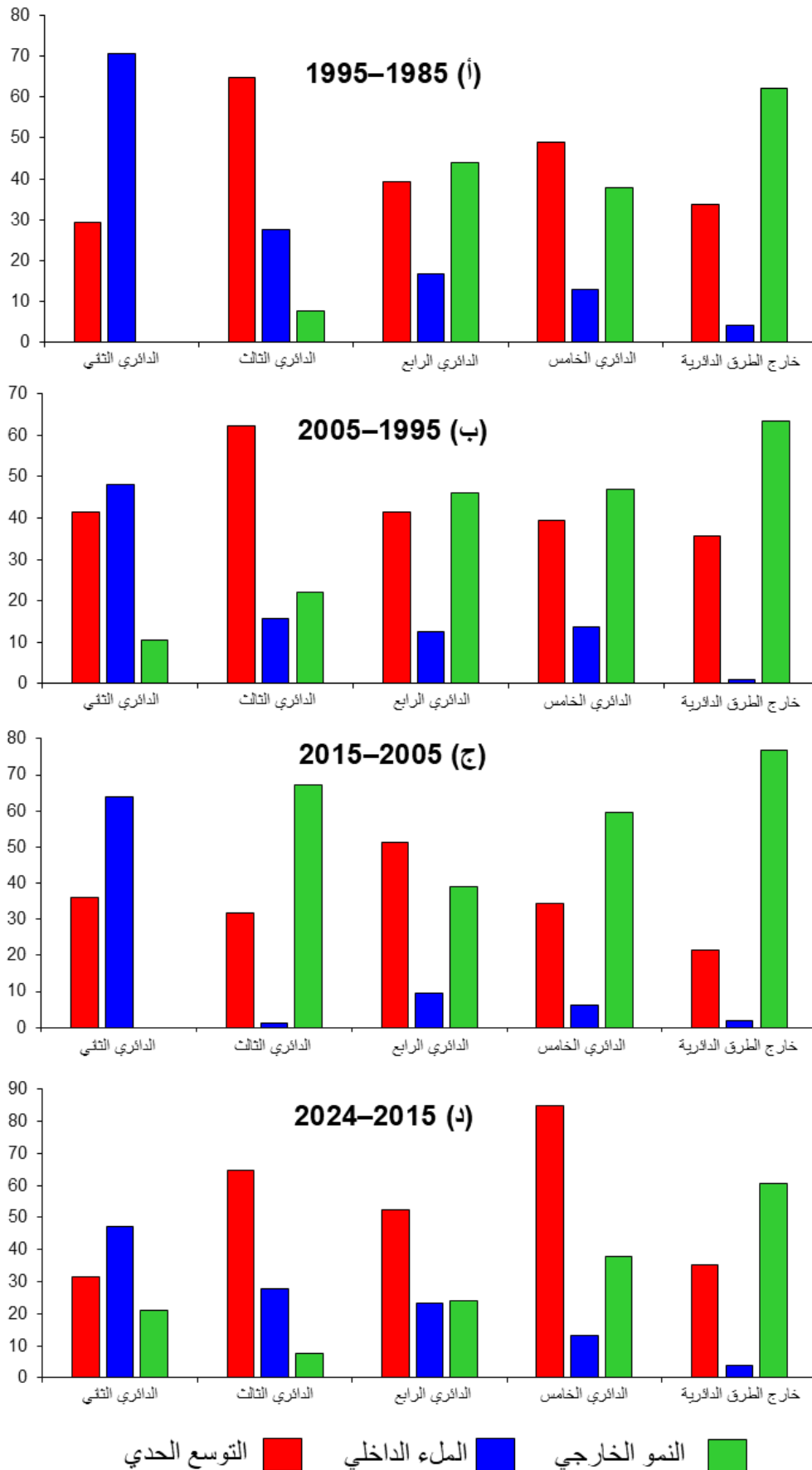
أما المناطق الواقعة ضمن نطاق الطريق الدائري الثالث والرابع والخامس، فقد أظهرت تذبذباً في قيم PD عبر الفترات الزمنية، مع اختلاف في هيمنة أنواع النمو المختلفة، ما يشير إلى أن هذه المناطق كانت تشهد أنماط نمو عمراني أكثر ديناميكياً وتنوعاً. وبشكل عام يمكن القول بأن النواة الحضريّة كانت تشهد توسعاً أكثر كثافة عبر نوع الملاء الداخلي، بينما كانت أطراف المدينة تشهد توسعاً سريعاً عبر نمط النمو الخارجي الجزأ. أما المناطق الواقعة ضمن نطاقات الطرق الدائرية الثالث والرابع والخامس، فقد شهدت أنماط نمو متغيرة ومتعددة (شكل ٩). بين عامي ١٩٨٥ و١٩٩٥، سجّلت المناطق الواقعة ضمن نطاق الدائري الثاني أعلى قيمة لمؤشر أكبر رقعة (LPI) لنوع الملاء الداخلي، ما يشير إلى نمو حضري ملحوظ من خلال تطوير مناطق كانت غير مطورة سابقاً (شكل ١٠ أ). وكذلك خلال الفترة من ١٩٩٥ إلى ٢٠٢٤، استمر هذا النوع في تسجيل قيم مرتفعة لقيم LPI، مع زيادة في نمو التوسع الحدي. في المقابل، أظهرت المناطق الواقعة ضمن نطاق الطريق الدائري الثالث والرابع نمواً بارزاً في النمو الخارجي، ما يدل على أن التوسع الحضري كان يحدث على أطراف المدينة خلال الفترة ١٩٨٥-١٩٩٥. واستمر هذا النوع من التوسع لاحقاً في نطاق هذين الطريقتين، مما يعكس توسعاً إضافياً على أطراف المدينة. وفي الفترات الأخيرة، سجّل التوسع العمراني من خلال نوع النمو الخارجي في نطاق الطريق الدائري الخامس وكذلك في المناطق التي تقع خارج نطاق الدائري الخامس، مما يدل على أن الزحف العمراني قد وصل إلى الهوامش الخارجية للمدينة في الفترة من ٢٠٠٥ إلى ٢٠٢٤ (شكل ١٠ ب).

٣,٤,٥ التغيرات في المشهد الحضري عبر الزمن (Changes of Urban Landscape Over time)

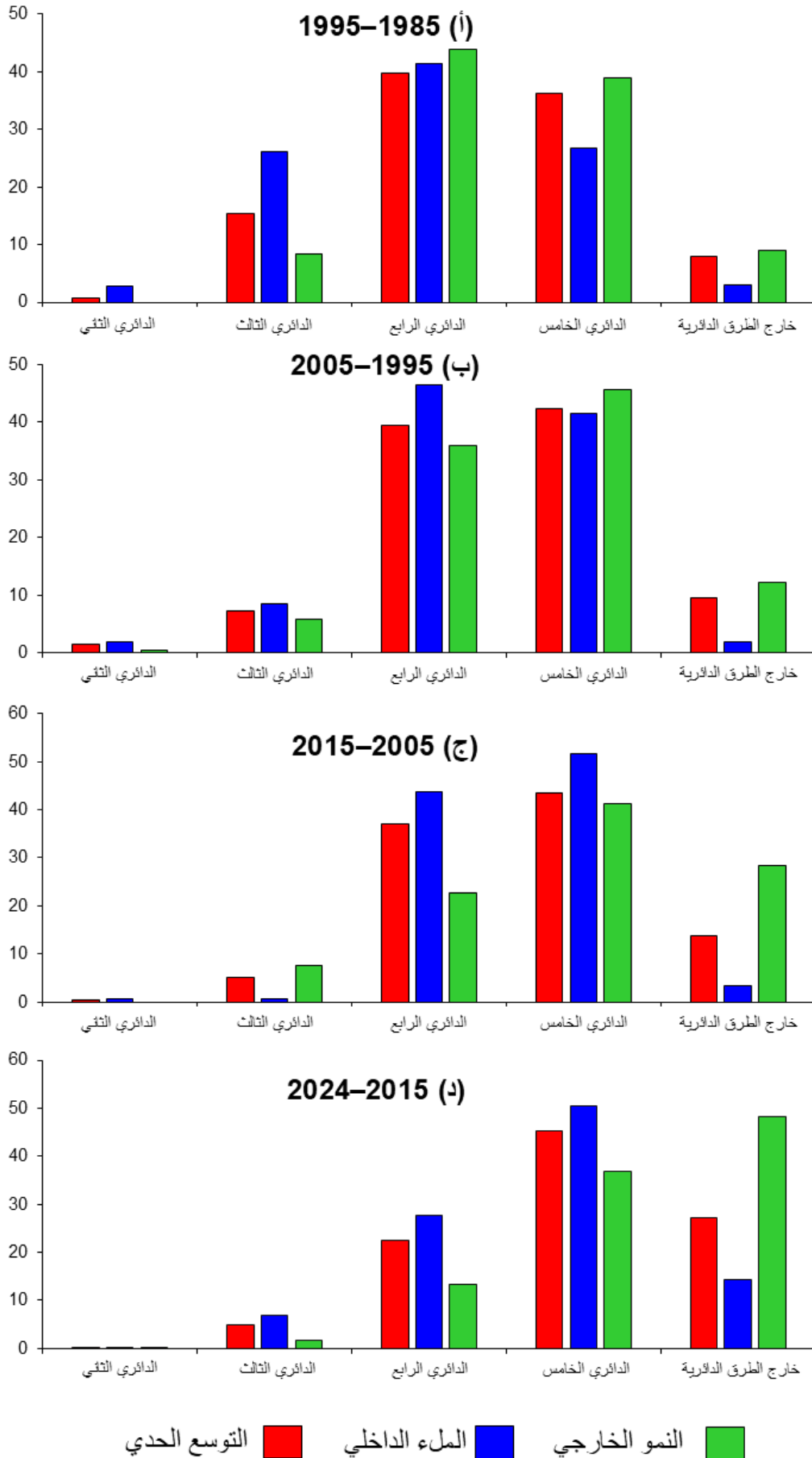
تشير قيمة PLAND إلى زيادة مستمرة في الامتداد الحضري، مع تسجيل أعلى نسبة نمو خلال الفترة ٢٠١٥-٢٠٢٤ (شكل ١١). ويدل ذلك على أن المناطق الحضريّة كانت تتوسع بشكل كبير، مستحوذةً على جزء أكبر من المشهد الطبيعي مع مرور الوقت. أما NP وFRAC-AM فقد شهدا زيادة في بداية النمو العمراني، ثم انخفاضاً بعد الفترة ١٩٩٥-٢٠٠٥ (شكل ١١ أ وشكل ١١ ب). ويُعزى هذا التغيير إلى تحولات في البنية العمرانية لمدينة مكة المكرمة عبر الزمن، حيث أدّى التوسع الحضري في مرحلته الأولى إلى ظهور رقعة مبعثرة ومجزأة، ثم تطورت هذه الرقع لاحقاً لتصبح أكثر اندماجاً وترابطاً. كما تشير النتائج إلى أن التوسع الحضري في مدينة مكة المكرمة أدّى إلى زيادة في المساحة الحضريّة (PLAND)، مترافقاً مع تحول من مشهد حضري مجزأ إلى شكل حضري أكثر ترابطاً واتصالاً وهذا ما يفسره الارتفاع في قيم NP وقيم PD وانخفاض في قيم

إلى أن أعلى معدلات التوسع الحضري سُجّلت خارج الطرق الدائرية خلال الفترة 2015-2024. وقد يؤدي هذا التوسع المتجاوز للنواة الحضرية إلى

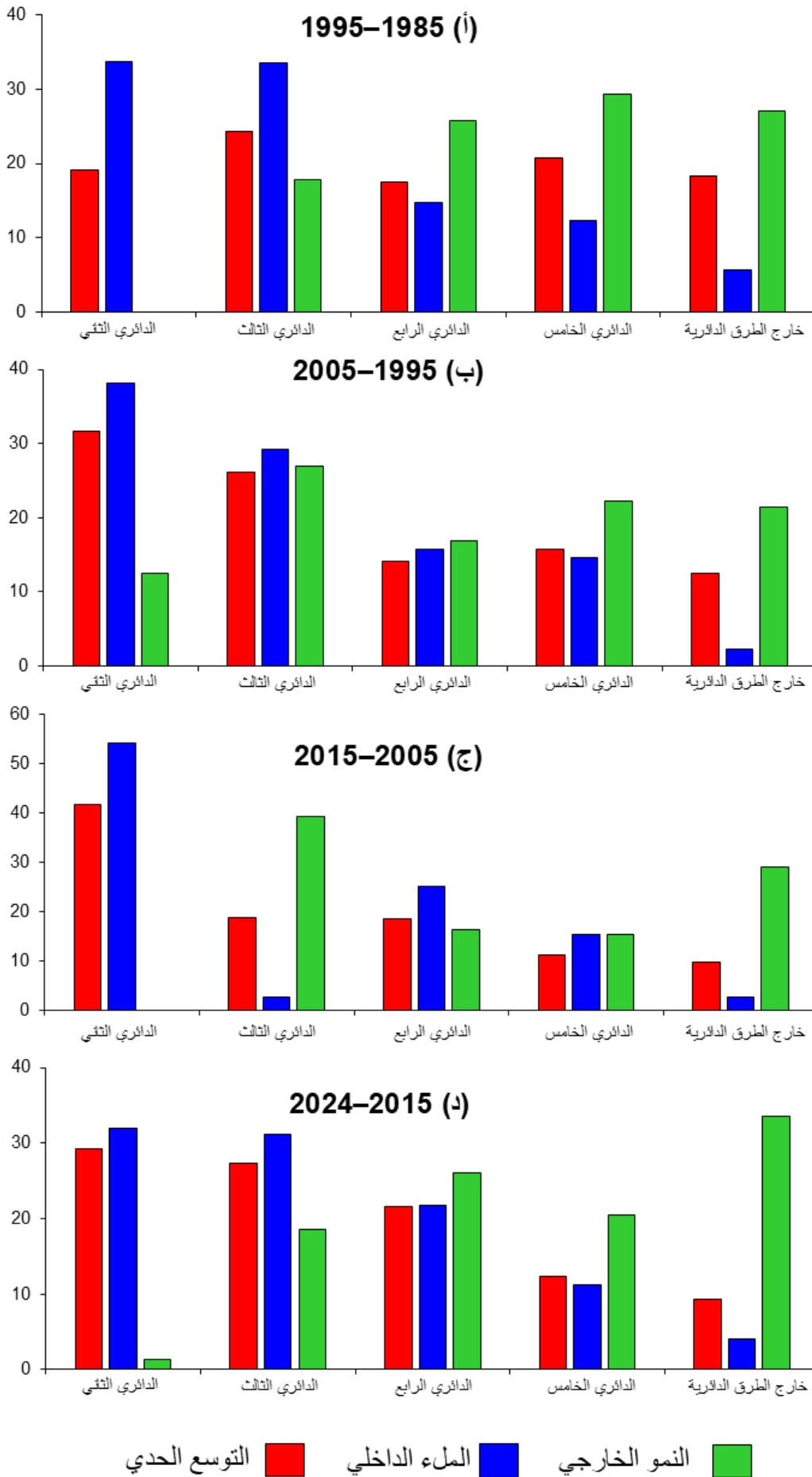
عدم كفاءة في استخدام الأراضي وصعوبات في توفير البنية التحتية والخدمات الأساسية، كما أشار (Glockmann et al. (2022).



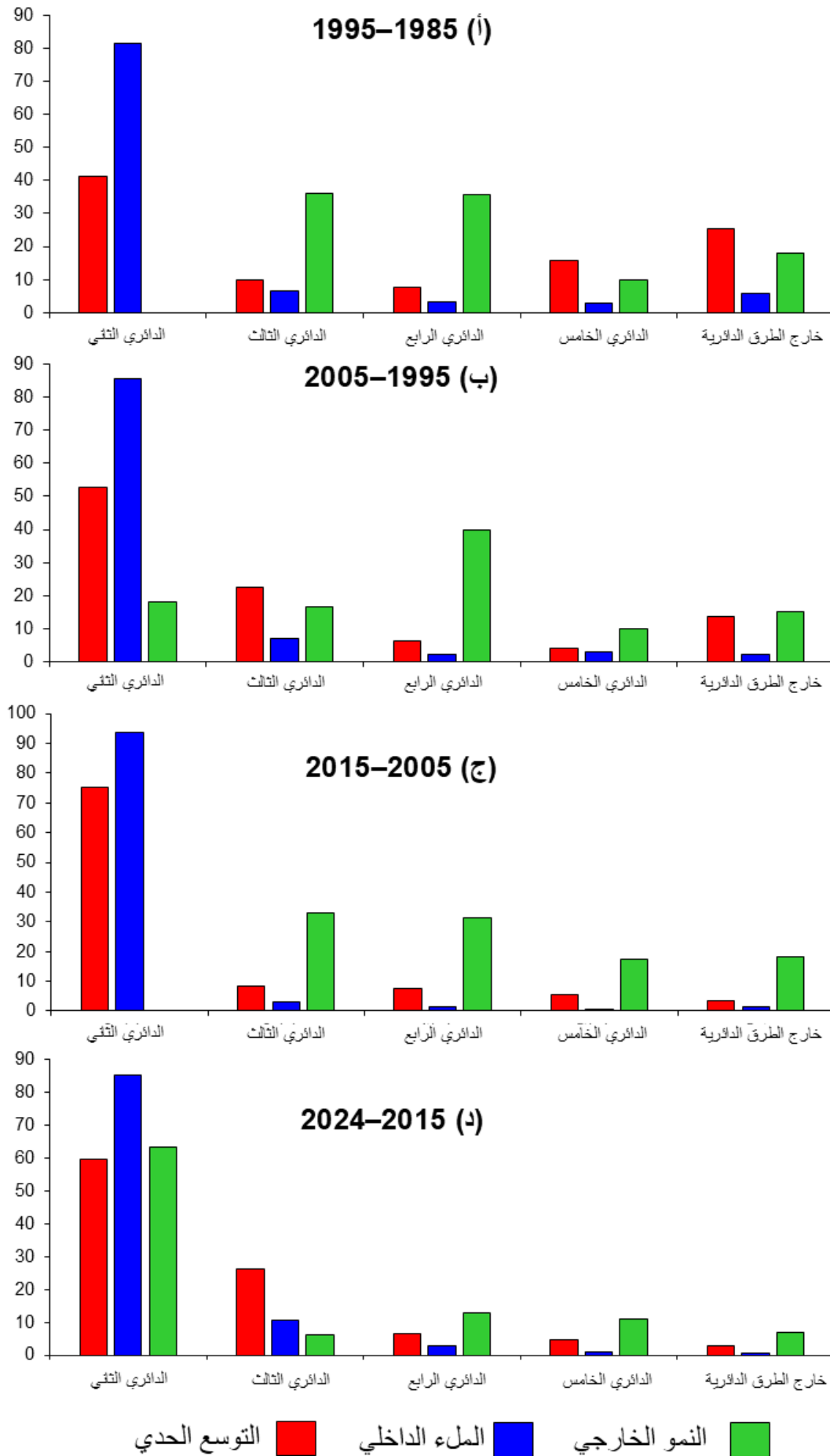
شكل ٧. نسبة المشهد الطبيعي (PLAND) خلال الفترات: (أ) 1985-1995، (ب) 1995-2005، (ج) 2005-2015، (د) 2015-2024، لنطاقات الطرق الدائرية حول المدينة. المصدر من عمل الباحث اعتماداً على بيانات الدراسة.



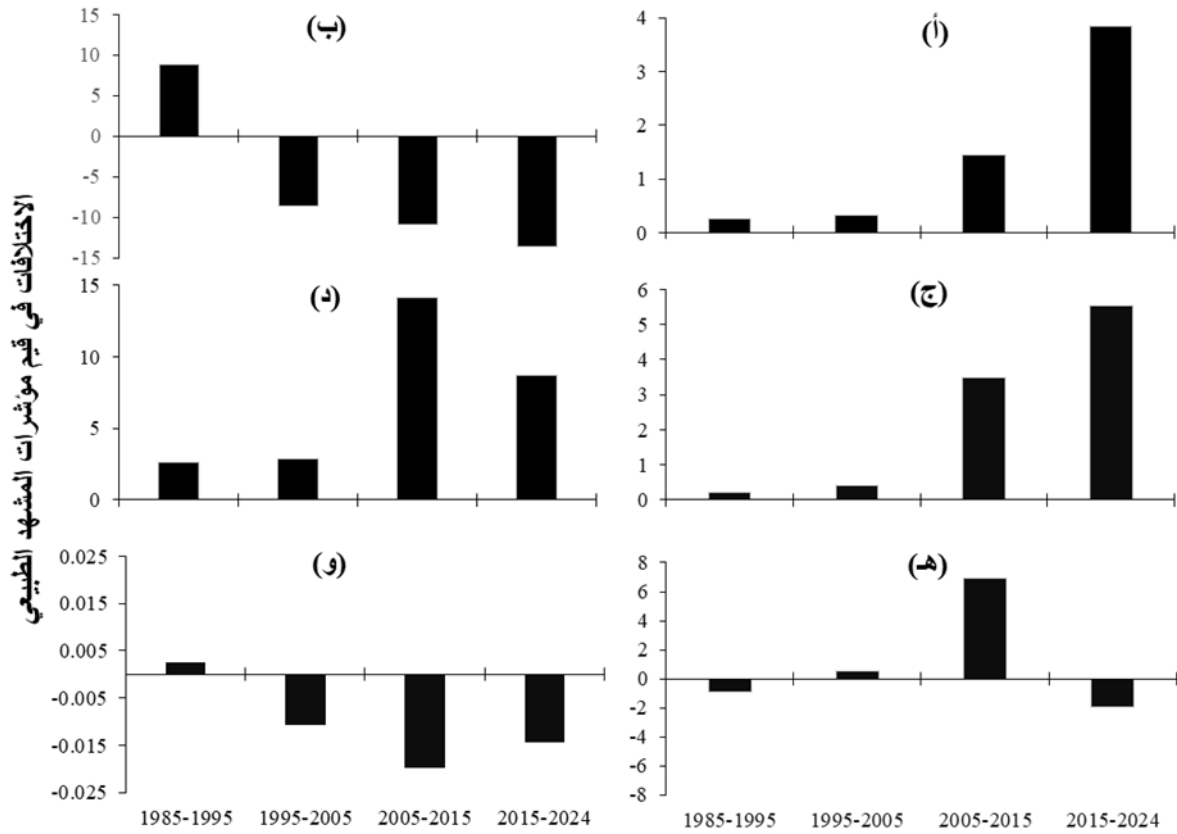
شكل ٨. نسبة عدد الرقع (NP) خلال الفترات: (أ) ١٩٨٥-١٩٩٥، (ب) ١٩٩٥-٢٠٠٥، (ج) ٢٠٠٥-٢٠١٥، (د) ٢٠١٥-٢٠٢٤، لنطاقات الطرق الدائرية حول المدينة. المصدر من عمل الباحث اعتماداً على بيانات الدراسة.



شكل ٩. نسبة كثافة الرقع (PD) خلال الفترات: (أ) ١٩٨٥-١٩٩٥، (ب) ١٩٩٥-٢٠٠٥، (ج) ٢٠٠٥-٢٠١٥، (د) ٢٠١٥-٢٠٢٤، لنطاقات الطرق الدائرية حول المدينة. المصدر من عمل الباحث اعتماداً على بيانات الدراسة.



شكل ١٠. نسبة مؤشر أكبر رقعة (LPI) خلال الفترات: (أ) ١٩٨٥-١٩٩٥، (ب) ١٩٩٥-٢٠٠٥، (ج) ٢٠٠٥-٢٠١٥، (د) ٢٠١٥-٢٠٢٤، لنطاقات الطرق الدائرية حول المدينة. المصدر من عمل الباحث اعتماداً على بيانات الدراسة.



شكل ١١. الاختلافات في قيم مؤشرات المشهد الطبيعي: (أ) نسبة المشهد الطبيعي (PLAND)، (ب) عدد الرقع (NP)، (ج) كثافة الرقع (PD)، (د) مؤشر الرقعة الأكبر (LPI)، (هـ) مؤشر شكل الأرض (LSI)، (و) متوسط بعد الكسر المرشح بالمساحة (FRAC_AM) لكل فترة زمنية من فترات الدراسة. المصدر من عمل الباحث اعتماداً على بيانات الدراسة.

المطورة سابقاً إلى نسيج عمراي. ويتماشى هذا التوسع في الامتداد الحضري مع الارتفاع الملحوظ في معدلات النمو السنوية في أطراف المدينة، مما يدل على تسارع وتيرة التحضر في الهوامش الحضرية، وهو ما يُحتمل أن يكون نتيجة تحولات في البنية الاجتماعية والاقتصادية للمدينة. ففي الماضي، كانت الأحياء السكنية الراقية تتركز بشكل رئيسي في وسط المدينة، في حين كانت الأحياء الأقل دخلاً تقع في الأطراف (Malik 1973). أما مؤخراً، فقد حدث تحوّل نحو نموذج حضري يشبه النموذج الغربي، حيث أصبحت المشاريع السكنية الراقية تتوسع في الضواحي، بينما تتركز المساكن ذات الدخل المنخفض داخل مركز المدينة. وكذلك من العوامل الأخرى المساهمة في هذا التغير، الاستراتيجيات العامة لإخلاء المناطق المركزية بهدف استيعاب الحجاج والزوار للأماكن المقدسة (Alqurashi 2021). وفي إطار هذا التوجه، تم تشجيع السكان والقطاع الخاص على الانتقال خارج النواة الحضرية (بعيداً عن المنطقة المركزية للمدينة)، ما أدى إلى تسارع التوسع العمراني نحو الأطراف.

توضّح كذلك النتائج في هذا البحث أن أنماط التجزؤ الحضري في مدينة مكة المكرمة شهدت أيضاً تطوراً كبيراً خلال فترة الدراسة. ففي السنوات الأولى، اتسم النمو بظهور عدد كبير من الرقع العمرانية الصغيرة والمتناثرة، خاصة في أطراف المدينة، وهو نمط يُعبّر عن مرحلة توسع غير منسّقة (Shrestha et al. 2012)، ويُعد سمة شائعة في مراحل الزحف

علاوة على ذلك، تعكس الديناميكيات الحضرية المرصودة نموذجاً واضحاً للتنمية اللامركزية منخفضة الكثافة. ويُبرز انتشار النمط المكاني لنوع النمو الخارجي الذي يتمثل في ظهور رقع عمرانية جديدة ومعزولة عن النسيج الحضري القائم—التحديات المرتبطة بالزحف العمراني. وغالباً ما يؤدي هذا النوع من النمو إلى استخدام غير فعال للأراضي، وارتفاع تكاليف إنشاء وصيانة البنية التحتية، وكذلك تدهوراً بيئياً متزايداً، خصوصاً في بيئات تتسم بالجفاف مثل مدينة مكة المكرمة، حيث الموارد الطبيعية محدودة وتُعد حساسة لأي ضغط عمراي مفرط.

٢,٦ الشكل الحضري واتجاهات التطور المكاني (Urban Morphology and Spatial Development Trends)

يُظهر التوسع المكاني للمناطق المبنية في مكة المكرمة خلال الفترة من ١٩٨٥ إلى ٢٠٢٤ نمطاً واضحاً من النمو الخارجي والتكثيف الحضري، فقد ازدادت الأراضي الحضرية بشكل مستمر بمرور الوقت، مما يعكس ضغوطاً تنموية متواصلة ناجمة عن النمو السكاني، والاستثمار في البنية التحتية، والأهمية الدينية والاقتصادية للمدينة. ففي المراحل الأولى، كان التوسع متركزاً حول النواة الحضرية، لكن خلال الفترات اللاحقة شهدت المدينة نمواً كبيراً في المناطق الطرفية، خصوصاً خارج نطاق الطريق الدائري الرابع والطريق الدائري الخامس. ويُشير هذا التحول إلى انتقال من نمط عمراي مدمج ومركّز إلى أنماط أكثر تشتتاً وانتشاراً، حيث تحوّلت مساحات شاسعة من الأراضي غير

الازدحام في المنطقة المركزية المحيطة بالمسجد الحرام. ويعكس التحول في نمط النمو الحضري السائد من الملاء الداخلي في الفترة ١٩٨٥-١٩٩٥ إلى التوسع الحدي والنمو الخارجي بعد عام ١٩٩٥، هذا التوجه القائم على استيعاب الحشود وتسهيل إدارتها، من خلال توسيع الحيز الحضري نحو الأطراف بطريقة تدعم الأهداف التنظيمية والخدمية المرتبطة بالحج والعمرة. إن الزحف العمراني المتزايد الذي تم رصده خارج نطاق الطريق الدائري الخامس، وخاصة خلال الفترة ما بين ٢٠١٥ و ٢٠٢٤، قد يكون مرتبطاً أيضاً بنمو التجمعات السكنية الثانوية والمرافق اللوجستية المرتبطة بالحج، مثل: معسكرات الأمن، والمخازن، وكذلك محاور النقل والمواقف الكبرى. وغالباً ما تُنشأ هذه المرافق في المناطق الطرفية لتجنب الضغط على مركز المدينة، مما يُسهم في ظهور أنماط توسع "قافزة أو متجاوزة" (Leapfrogging Expansion) تختلف بشكل واضح عن أنماط النمو الحضري التقليدية المدفوعة بالعرض والطلب في العقار (Chen et al. 2008). علاوة على ذلك، فإن المبادرات الحكومية المستمرة—مثل رؤية السعودية ٢٠٣٠ ومشروع توسعة المسجد الحرام—تعمل على الأجرح دوراً كبيراً في تسريع التنمية الحضرية على طول المحاور الشعاعية الرئيسية، بهدف ضمان سهولة وصول ملايين الحجاج والزوار، وبالتالي إعادة تشكيل النسيج الحضري للمدينة بما يتناسب مع متطلبات الحج الحديثة.

على الرغم من هذه التطورات، تُظهر النتائج أن مستوى نمو الملاء الداخلي ظل منخفضاً باستمرار عبر جميع الفترات الزمنية. ويُشير هذا الاتجاه إلى أن فرص التكتيف العمراني داخل النسيج الحضري الداخلي لم تُستغل بشكل كافٍ، ويُتمثل أن يكون ذلك بسبب: القيود المفروضة على استخدام الأراضي قرب المناطق المقدسة، أو الحاجة إلى إبقاء مساحات مفتوحة خلال مواسم الحج لاستيعاب الحشود، أو الرغبة في الحفاظ على المناطق التراثية والدينية المحيطة بالحرم، وكذلك طبيعة المدينة التضاريسية. ونتيجة لذلك، أصبح التوسع الأفقي هو الاستجابة الحضرية المهيمنة لتلبية الطلب المتزايد على الإسكان والخدمات، في ظل محدودية إمكانات النمو الرأسي أو الداخلي داخل مركز المدينة.

في الجمل، يُعد الحج قوة اجتماعية وثقافية واقتصادية فريدة تُشكل ملامح الشكل الحضري لمدينة مكة المكرمة. فهو لا يؤثر فقط على حجم التوسع العمراني، بل يمتد تأثيره أيضاً إلى توزيع الشكل الحضري المكاني ونمطه. ونظراً للطبيعة الدورية والواسعة النطاق لتقلبات السكان الناتجة عن مواسم الحج، فإن الأمر يتطلب نمواً تخطيطياً حضرياً مرناً وموسعاً، يوازن بين الضرورات اللوجستية لاستضافة ملايين الزوار، ومتطلبات الاستدامة طويلة المدى للبيئة الحضرية. ومن ثم، ينبغي أن تعمل الاستراتيجيات التخطيطية المستقبلية على دمج احتياجات الحج ضمن السياسات العمرانية الشاملة، لضمان أن يظل نمو مدينة مكة المكرمة فعالاً من الناحية التشغيلية، وقادراً على الصمود في وجه التحديات المستقبلية، وكذلك مراعاة خصوصيتها الدينية والثقافية.

ومع ذلك، ففي الفترة ما بعد عام ٢٠٠٥، بدأ نمط النمو يُظهر مؤشرات على الاندماج والتماثل؛ إذ بدأت الرقع العمرانية المعزولة سابقاً بالاندماج لتشكّل مناطق حضرية أكبر وأكثر اتصالاً، مما أدى إلى تقليل درجة التجزؤ ودلّ على زيادة التكامل بين المناطق المطوّرة حديثاً والنسيج الحضري القائم. ويعكس هذا الاتجاه مرحلة نضوج في التنمية الحضرية، حيث تبدأ شبكات البنية التحتية وعمليات التكتيف العمراني في إعادة تشكيل المدينة نحو بنية عمرانية أكثر تماسكاً وتنظيماً. وبالتوازي مع هذه الديناميكيات المكانية، طرأت تغييرات واضحة على التعقيد الهندسي لرقع المناطق الحضرية. ففي المراحل الأولى من التطوير، اتسمت الرقع الحضرية بأشكال غير منتظمة ومعقدة، غالباً نتيجة التوسع غير المخطط، أو القيود الطبوغرافية، أو تجزئة ملكية الأراضي. وقد كانت هذه الأشكال المعقدة أكثر وضوحاً في المناطق الطرفية المطوّرة حديثاً. أما في الفترات اللاحقة، فقد أصبح النسيج الحضري أكثر تنظيماً وانتظاماً في شكله، مما يشير إلى تأثير ممارسات تخطيط وتطوير عمري أكثر رسمية وأكثر تنظيماً. ويُشير هذا الانخفاض في تعقيد الأشكال إلى تحول من نمو عشوائي تدريجي إلى توسع حضري مدروس ومنظم، وهو ما يعكس تطور المدينة نحو شكل حضري أكثر كفاءة وتنظيماً من الناحية المكانية.

٣,٦ تأثير الحج على التوسع الحضري (Influence of Pilgrimage on Urban Expansion)

يُعد الطابع الديني الفريد لمدينة مكة المكرمة بحكم وفود أعداد كبيرة من المسلمين حول العالم للمدينة لإداء فريضة الحج، والذي يعد من أبرز العوامل وأكثرها تأثيراً في دفع التوسع العمراني للمدينة (Anisurrahman and Alshuwaikhat 2019). فمواسم الحج السنوية، إلى جانب التدفق المستمر لزائري المسجد الحرام على مدار العام، تفرض متطلبات استثنائية على البنية التحتية للمدينة، والخدمات، ومرافق الإقامة. وتُعد هذه الضغوط الديموغرافية غير ثابتة، بل دورية وموسمية، مما يخلق حاجة ملحة لأشكال عمرانية مرنة وقابلة للتكيف، بحيث تستوعب الزيادات المؤقتة والكبيرة في عدد السكان خلال مواسم الحج والعمرة، وفي الوقت نفسه، تضمن استمرارية الأداء الوظيفي للمدينة على المدى الطويل. هذا التحدي الفريد في مدينة مكة يستدعي نموذجاً حضرياً مزدوج الوظيفة بحيث يُلبّي متطلبات الزائرين الموسمية، ويحافظ على جودة الحياة والخدمات للسكان المقيمين طوال العام.

تُظهر الأنماط المكانية التي كشفت عنها هذه الدراسة وخاصة النمو الخارجي البارز خلال الفترة ٢٠٠٥-٢٠٢٤ توافقاً واضحاً مع مشاريع البنية التحتية والعقارات واسعة النطاق التي أُطلقت لتلبية احتياجات الحجاج (Ascoura 2013). وتشير مشاريع مثل: تمديد شبكات الطرق، وإنشاء مجمعات سكنية، وكذلك إنشاء مناطق خدمات في المناطق الطرفية، إلى وجود استراتيجية مدروسة لإعادة توزيع الكثافة العمرانية، والحد من

تُبرز نتائج هذه الدراسة اعتبارات تخطيطية ملحة لتوجيه النمو الحضري المستدام في مدينة مكة المكرمة، خصوصاً في ظل وظائفها الاجتماعية والثقافية المعقدة بوصفها المدينة المقدسة في الإسلام. إن هيمنة نوعي النمو الخارجي والتوسع الحدي، إلى جانب الاستمرار في انخفاض نشاط الملء الداخلي، يسلط الضوء على تحديات إدارة التوسع الحضري السريع في الأطراف. ففي غياب تدخلات استراتيجية، قد تؤدي هذه الاتجاهات إلى استخدام غير فعال للأراضي، وهيكل حضري مجزأ وغير مترابط، وكذلك ارتفاع متزايد في تكاليف البنية التحتية والخدمات. ويستدعي ذلك من صناع القرار والمخططين تطوير أطر تخطيط حضري شاملة ومرنة، قادرة على تحقيق التوازن بين الوظائف الدينية والسكنية والاقتصادية للمدينة، مع الحفاظ على استدامة الموارد الطبيعية وفعالية النمو المكاني.

كما يُعد الدور الديني الفريد لمدينة مكة المكرمة، باعتبارها وجهة ملايين الحجاج والمعتمرين سنوياً، أحد العوامل المركزية المحركة لأنماط النمو الحضري الحالية. إذ تؤدي الزيادة الموسمية الهائلة في عدد السكان خلال فترات الحج والعمرة إلى مطالب استثنائية على مستوى البنية التحتية، والنقل، والإسكان. وهذا الواقع يفرض استراتيجيات تخطيط مكاني تُعطي الأولوية للصلابة والقدرة الاستيعابية والاستجابة السريعة، على حساب مبادئ النمو المدمج والمكثف (التقليدي). ونتيجة لذلك، غالباً ما يمتد التطوير الحضري إلى المناطق الطرفية، حيث يمكن إنشاء مرافق مؤقتة أو متخصصة، مثل سكن الحجاج، ومحطات النقل، وكذلك مناطق الخدمات المساندة دون التأثير على وظائف المدينة الأساسية في مركزها الحضري، مما يسمح بإدارة مرنة للضغوط الموسمية مع الحفاظ على استقرار الأداء الحضري العام. هذه الممارسات قد تقلل من سبلات التوسع العمراني الممتد على مساحات واسعة في المستقبل وتحافظ على إدارة مرنة لما هو قائم اليوم.

إن الزيادة الملحوظة في الرقع الحضرية الخارجية، خاصة خلال الفترة ما بين ٢٠٠٥ و ٢٠٢٤، تتوافق مع توسعات كبرى في البنية التحتية تهدف إلى تيسير الخدمات اللوجستية المرتبطة بالحج. وتشمل هذه التوسعات: إنشاء الطرق الدائرية، وأنظمة المترو والنقل العام، وكذلك مشروعات الإسكان والضيافة واسعة النطاق التي تقع على أطراف المدينة. ورغم أن هذه المشاريع تُعد أساسية في إدارة تدفقات الحجاج، إلا أنها تسهم أيضاً في ظهور نمط "القفز العمراني" (Leapfrogging Expansion)، حيث تنمو مناطق عمرانية منفصلة عن النسيج الحضري القائم. هذا النمط يثير عدداً من المخاوف التخطيطية طويلة المدى، من أبرزها: كفاءة استخدام الأراضي، وصعوبة إيصال الخدمات بشكل متكامل، وكذلك تأثيرات بيئية محتملة على الأنظمة البيئية الهشة في محيط المدينة. كما أن تسريع اتجاه النمو العمراني نحو تلك المواقع الطرفية بشكل غير متوقع يمثل عبء على البنى التحتية الخدمية.

لذا، فإن التوسع في هذه المناطق يتطلب تخطيطاً متكاملأ يأخذ في الحسبان الربط المكاني، والاستدامة البيئية، والعدالة في توزيع الخدمات لضمان فاعلية التنمية الحضرية على المدى الطويل.

في المقابل، فإن الاستغلال المحدود والمتواصل لفرص الملء الداخلي داخل النطاقات العمرانية الداخلية يكشف عن فجوة واضحة في تبني نمط النمو الحضري المدمج. ورغم أن هذا القصور قد يعود جزئياً إلى: قيود استخدام الأراضي بالقرب من المسجد الحرام، وكذلك ضرورة الحفاظ على المناطق التراثية والدينية، إلا أنه يُبرز أيضاً الحاجة إلى مراجعة السياسات التخطيطية لتشجيع التكثيف العمراني داخل النطاق الحضري القائم. وتتضمن بعض الآليات الممكنة لتحقيق ذلك تطبيق أنظمة الاستخدام المختلط للأراضي (Zoning Mixed-Use)، وكذلك إعادة تطوير الأراضي غير المستغلة أو ضعيفة الاستخدام.

فمن شأن هذه السياسات أن تعزز كفاءة الأداء الحضري، وتقلل من الاعتماد على التوسع الطرقي، مما يساهم في ضبط الزحف العمراني وتحقيق توازن أفضل في توزيع النمو.

وفي نهاية المطاف، فإن السياق التخطيطي لمدينة مكة المكرمة فريد من نوعه، ولا يُشبه أي مدينة أخرى. فالتعاضد بين محركات النمو الحضري الدائمة والزيادات الديموغرافية الموسمية الناتجة عن الشعائر الدينية يتطلب نهجاً دقيقاً يجمع بين البعد المكاني الاستراتيجي والحساسية الثقافية والدينية. وتُعد التقييمات المستندة إلى تقنيات الاستشعار عن بُعد، كما تم تقديمه في هذه الدراسة، أدوات قيمة تمكن صانعي القرار من رصد ومتابعة أنماط التوسع العمراني، وكذلك دعم اتخاذ قرارات تخطيطية مبنية على الأدلة والبيانات. ومن الضروري أن يُراعى التوسع المستقبلي في مدينة مكة المكرمة تحقيق توازن بين الوظيفية لتلبية احتياجات السكان والزوار، والاستدامة البيئية والمكانية، وكذلك الالتزامات الدينية بوصفها مدينة مقدسة ذات رسالة عالمية. فهذا التوازن هو المفتاح لضمان مرونة المدينة العمرانية واستمرار دورها الروحي والإنساني على المدى الطويل.

الدعم المالي: لا يوجد دعم مالي.

الإفصاح والتصريحات:

تضارب المصالح: ليس لدى المؤلف أي مصالح مالية أو غير مالية ذات صلة للكشف عنها. المؤلفون يعلنون عن عدم وجود أي تضارب في المصالح.

الوصول المفتوح: هذه المقالة مرخصة بموجب ترخيص إسهام الإبداع التشاركي غير تجاري 4.0 الدولي (CC BY- NC 4.0)، الذي يسمح بالاستخدام والمشاركة والتعديل والتوزيع وإعادة الإنتاج بأي وسيلة أو تنسيق، طالما أنك تمنح الاعتماد المناسب للمؤلف (المؤلفين) الأصليين. والمصدر، قم بتوفير رابط لترخيص المشاع الإبداعي، ووضح ما إذا تم إجراء تغييرات. يتم تضمين الصور أو المواد الأخرى التابعة لجهات خارجية في هذه المقالة في ترخيص المشاع الإبداعي الخاص بالمقالة، إلا إذا تمت الإشارة إلى خلاف

- Chen, D., Yang, X., Li, X., Fu, H. and Duan, Y., 2025. Quantifying urban land expansion using remote sensing data and multi-evaluation indices in the Lower Yellow River, China. *Environmental and Sustainability Indicators*, 26, 100643, [CrossRef].
- Chen, H., Jia, B. and Lau, S.S.Y., 2008. Sustainable urban form for Chinese compact cities: Challenges of a rapid urbanized economy. *Habitat International*, 32 (1), 28-40, [CrossRef].
- Dawod, G.M., Mirza, M.N., Al-Ghamdi, K.A. and Elzahrany, R.A., 2014. Projected impacts of land use and road network changes on increasing flood hazards using a 4d GIS: A case study in Makkah metropolitan area, Saudi Arabia. *Arabian Journal of Geosciences*, 7 (3), 1139-1156, [CrossRef].
- Ding, C., Wang, M., Guo, Z. and Chen, N., 2024. City size, administrative rank, and rural-urban migration in China. *Journal of Urban Management*, 13 (1), 3-15, [CrossRef].
- Drăguț, L., Tiede, D. and Levick, S.R., 2010. ESP: A tool to estimate scale parameter for multiresolution image segmentation of remotely sensed data. *International Journal of Geographical Information Science*, 24 (6), 859-871, [CrossRef].
- Glockmann, M., Li, Y., Lakes, T., Kropp, J.P. and Rybski, D., 2022. Quantitative evidence for leapfrogging in urban growth. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 49 (1), 352-367, [CrossRef].
- Helal, M.M. and Eldamaty, T.A., 2024. Urban development analysis using GIS and remote sensing. The case study of Makkah city. *Engineering, Technology and Applied Science Research*, 14 (3), 13864-13869, [CrossRef].
- Hesselbarth, M.H.K., Sciaini, M., With, K.A., Wiegand, K. and Nowosad, J., 2019. Landscapemetrics: An open-source R tool to calculate landscape metrics. *Ecography*, 42 (10), 1648-1657, [CrossRef].
- Huang, Q. and Liu, Y., 2021. The coupling between urban expansion and population growth: An analysis of urban agglomerations in china (2005-2020). *Sustainability*, 13 (13), 7250, [CrossRef].
- Irwin, E.G. and Bockstael, N.E., 2007. The evolution of urban sprawl: Evidence of spatial heterogeneity and increasing land fragmentation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104 (52), 20672-20677, [CrossRef].
- Li, C., Li, J. and Wu, J., 2013. Quantifying the speed, growth modes, and landscape pattern changes of urbanization: A hierarchical patch dynamics approach. *Landscape Ecology*, 28 (10), 1875-1888, [CrossRef].
- Liu, X., Li, X., Chen, Y., Tan, Z., Li, S. and Ai, B., 2010. A new landscape index for quantifying urban expansion using multi-temporal remotely sensed data. *Landscape Ecology*, 25 (5), 671-682, [CrossRef].
- Luck, G.W., Smallbone, L.T. and O'Brien, R., 2009. Socio-economics and vegetation change in urban ecosystems: Patterns in space and time. *Ecosystems*, 12 (4), 604-620, [CrossRef].
- Mahtta, R., Fragkias, M., Güneralp, B., Mahendra, A., Reba, M., Wentz, E.A. and Seto, K.C., 2022. Urban land expansion: The role of population and economic growth for 300+ cities. *Npj Urban Sustainability*, 2 (1), 5, [CrossRef].
- Malik, S.A., 1973. *Rural migration and urban growth in Riyadh, Saudi Arabia*: University of Michigan.
- Mcgarigal, K., Cushman, S.A., Neel, M.C. and Ene, E., 2002. Fragstats: Spatial pattern analysis program for categorical maps. *Computer software program produced by the authors at the University of Massachusetts, Amherst*, 6.
- Mubarak, F.A., 2004. Urban growth boundary policy and residential suburbanization: Riyadh, Saudi Arabia. *Habitat International*, 28 (4), 567-591, [CrossRef].
- Nong, D.H., Lepczyk, C.A., Miura, T. and Fox, J.M., 2018. Quantifying urban growth patterns in Hanoi using landscape expansion modes and time series spatial metrics. *PLOS ONE*, 13 (5), e0196940, [CrossRef].

ذلك في جزء المواد. إذا لم يتم تضمين المادة في ترخيص المشاع الإبداعي الخاص بالمقال وكان الاستخدام المقصود غير مسموح به بموجب اللوائح القانونية أو يتجاوز الاستخدام المسموح به، فسوف تحتاج إلى الحصول على إذن مباشر من صاحب حقوق الطبع والنشر. لعرض نسخة من هذا الترخيص، قم بزيارة:

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>

المراجع

- عسكورة، إبراهيم السيد إبراهيم (٢٠١٣) بعض ديناميكيات النمو العمراني لمدينة مكة المكرمة، مجلة جامعة أم القرى للعلوم الاجتماعية، المجلد الخامس، العدد الثاني.
- العمرى، عبدالله بن محمد (٢٠٢٥)، أثر زرمز البُعد التاريخي والعلمي، موسوعة العمرى في علوم الأرض ٣٣، الطبعة الأولى، العبيكان للنشر والتوزيع. الرياض، المملكة العربية السعودية.

References

- Al-Hathloul, S. and Mughal, M.A., 2004. Urban growth management-the Saudi experience. *Habitat International*, 28 (4), 609-623, [CrossRef].
- Al Jabri, N. and Alhazmi, R., 2017. Observing and monitoring the urban expansion of Makkah Al-Mukarramah using the remote sensing and GIS. *Journal of engineering sciences and information technology*, 1 (2), 125 – 103, [CrossRef].
- Albarqawi, W., 2022. Makkah's urban modernization and the impact of urban regulations. *Journal of City and Development*, 4 (1), 11-22, [CrossRef].
- Al-'Umarī, Allāh ibn Muḥammad (2025), Bi'r Zamzam albu'd al-tārikhī wa-al-'ilmī, Mawsū'at al-'Umarī fī 'ulūm al-arḍ 33, al-Ṭab'ah al-ūlā, al-'Ubaykān lil-Nashr wa-al-Tawzī'. al-Riyāḍ, al-Mamlakah al-'Arabīyah al-Sa'ūdiyyah.
- Alqurashi, A. F., 2021. Quantification of urban patterns and processes through space and time using remote sensing data: A comparative study between three Saudi Arabian cities. *Sustainability*, 13 (22), 12615, [CrossRef].
- Alqurashi, A. F. and Alharbi, O. A., 2025. Changes in land use and land cover patterns in two desert basins using remote sensing data. *Geosciences*, 15 (5), 178, [CrossRef].
- Alqurashi, A. F. and Kumar, L., 2014. Land use and land cover change detection in the Saudi Arabian desert cities of Makkah and Al-Taif using satellite data. *Advances in Remote Sensing*, 3 (3), 106-119, [CrossRef].
- Alqurashi, A. F. and Kumar, L., 2017. An assessment of the impact of urbanization and land use changes in the fast-growing cities of Saudi Arabia. *Geocarto International*, 34 (1), 78-97, [CrossRef].
- Alqurashi, A. F., Kumar, L. and Sinha, P., 2016. Urban land cover change modelling using time-series satellite images: A case study of urban growth in five cities of Saudi Arabia. *Remote Sensing*, 8 (10), 838, [CrossRef].
- Anisurrahman, M. and Alshuwaikhat, H. M., 2019. Determining sustainability assessment indicators for the Holy City of Makkah, Saudi Arabia. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 44 (5), 5165-5178, [CrossRef].
- Ascoura, I.E., 2013. Impact of pilgrimage (hajj) on the urban growth of the Mecca. *Journal of Educational and Social Research*, 3 (2), 255-263, [CrossRef].
- Benz, U.C., Hofmann, P., Willhauck, G., Lingenfelder, I. and Heynen, M., 2004. Multi-resolution, object-oriented fuzzy analysis of remote sensing data for GIS-ready information. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 58 (3), 239-258, [CrossRef].

- Tv, R., Aithal, B.H. and Sanna, D.D., 2012. Insights to urban dynamics through landscape spatial pattern analysis. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 18, 329-343, [CrossRef].
- Wardak, A., 2012. Crime and social control in Saudi Arabia. *Transnational and comparative criminology*. Routledge-Cavendish, 91-116.
- Yaagoubi, R., Faisal, K. and Miky, Y., 2021. Land value assessment based on an integrated Voronoi-Geographically Weighted Regression approach in Makkah, Saudi Arabia. *Journal of King Saud University - Science*, 33 (7), 101557, [CrossRef].
- Yang, Z., Chen, Y., Wu, Z., Qian, Q., Zheng, Z. and Huang, Q., 2019. Spatial heterogeneity of the thermal environment based on the urban expansion of natural cities using open data in Guangzhou, China. *Ecological Indicators*, 104, 524-534, [CrossRef].
- Yu, W., Zhou, W., Qian, Y. and Yan, J., 2016. A new approach for land cover classification and change analysis: Integrating backdating and an object-based method. *Remote Sensing of Environment*, 177, 37-47, [CrossRef].
- Zhou, W. and Troy, A., 2008. An object-oriented approach for analysing and characterizing urban landscape at the parcel level. *International Journal of Remote Sensing*, 29 (11), 3119-3135, [CrossRef].
- Zhou, W., Troy, A. and Grove, M., 2008. Object-based land cover classification and change analysis in the baltimore metropolitan area using multitemporal high resolution remote sensing data. *Sensors*, 8 (3), 1613-1636, [CrossRef].
- Zhu, M., Xu, J., Jiang, N., Li, J. and Fan, Y., 2006. Impacts of road corridors on urban landscape pattern: A gradient analysis with changing grain size in Shanghai, China. *Landscape Ecology*, 21 (5), 723-734, [CrossRef].
- Poelmans, L. and Van Rompaey, A., 2009. Detecting and modelling spatial patterns of urban sprawl in highly fragmented areas: A case study in the Flanders-Brussels region. *Landscape and Urban Planning*, 93 (1), 10-19, [CrossRef].
- Puertas, O.L., Henríquez, C. and Meza, F.J., 2014. Assessing spatial dynamics of urban growth using an integrated land use model. Application in Santiago metropolitan area, 2010–2045. *Land Use Policy*, 38, 415-425, [CrossRef].
- Seto, K.C., Sánchez-Rodríguez, R. and Fragkias, M., 2010. The new geography of contemporary urbanization and the environment. *Annual Review of Environment and Resources*, 35 (Volume 35, 2010), 167-194, [CrossRef].
- Sharma, G.K. and Ghuge, V.V., 2025. Spatio-temporal analysis of urban growth in the Mumbai metropolitan area using Landsat imagery. *Discover Cities*, 2 (1), 100, [CrossRef].
- Shrestha, M.K., York, A.M., Boone, C.G. and Zhang, S., 2012. Land fragmentation due to rapid urbanization in the Phoenix metropolitan area: Analyzing the spatiotemporal patterns and drivers. *Applied Geography*, 32 (2), 522-531, [CrossRef].
- ‘Skwrh, Ibrāhīm al-Sayyid Ibrāhīm (2013) ba‘ḍ dynāmykāt al-numūw al-‘Umrānī li-madīnat Makkah al-Mukarramah, Majallat Jāmi‘at Umm al-Qurā lil-‘Ulūm al-ijtimā‘iyah, al-mujallad al-khāmis, al-‘adad al-Thānī.
- Taubenböck, H., Esch, T., Felber, A., Wiesner, M., Roth, A. and Dech, S., 2012. Monitoring urbanization in mega cities from space. *Remote Sensing of Environment*, 117, 162-176, [CrossRef].
- Tuan, N.T., 2025. Longitudinal assessment of land use change impacts on carbon services in the Southeast region, Vietnam. *Geographies*, 5 (4), 62, [CrossRef].