International Journal for Scientific Research (IJSR)
المجلة الدولية للبحوث العلمية
IJSR
Vol. (5), No. (6) June 2026 الإصدار (5)، العدد (6)

التحليل المكاني للتغيرات البيئية باستخدام نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بُعد بمدينة الباحة (2020: 2025)

أحمد مبارك الزهراني
باحث ماجستير، قسم الجغرافيا، كلية اللغات والعلوم الإنسانية، جامعة القصيم، المملكة العربية السعودية
ahmmad.alzahrani1@gmail.com

محمد ابراهيم سليمان الدغيري
أستاذ الجغرافيا الاقتصادية، قسم الجغرافيا، كلية اللغات والعلوم الإنسانية، جامعة القصيم، المملكة العربية السعودية

المستخلص

تهدف هذه الدراسة إلى تحليل التغيرات المكانية في استخدامات الأراضي بمدينة الباحة خلال الفترة (2020–2025)، والتنبؤ بالأنماط المستقبلية لهذه الاستخدامات لعام 2030، وذلك بالاعتماد على تقنيات الاستشعار عن بُعد ونظم المعلومات الجغرافية. تم استخدام مرئيات الأقمار الصناعية (Landsat) وتطبيق أسلوب التصنيف الموجه لاستخراج فئات الغطاء الأرضي، والتي شملت الغطاء النباتي، والمناطق العمرانية، والمسطحات المائية، والأراضي الفضاء. كما تم تقييم دقة التصنيف باستخدام مصفوفة الالتباس ومؤشرات الدقة المختلفة لضمان موثوقية النتائج.

اعتمدت الدراسة على مصفوفة الانتقال لتحليل اتجاهات التغير بين الفئات المختلفة، حيث أظهرت النتائج وجود زيادة ملحوظة في المساحات العمرانية مقابل تراجع في الغطاء النباتي، مع تغيرات متفاوتة في المسطحات المائية والأراضي الفضاء. كما تم حساب معدلات التغير، والتي بينت أن المناطق العمرانية سجلت أعلى معدل نمو خلال فترة الدراسة، مما يعكس تسارع التوسع الحضري في المدينة.

ولأغراض التنبؤ، تم تطبيق نموذج ماركوف عبر منصة Google Earth Engine لتقدير التغيرات المستقبلية لعام 2030، حيث أظهرت النتائج استمرار الاتجاه نحو زيادة المساحة العمرانية لتصل إلى نحو 91 كم²، مقابل انخفاض في الغطاء النباتي إلى حوالي 72 كم²، وتراجع المسطحات المائية إلى نحو 17 كم²، مع استقرار نسبي للأراضي الفضاء.

تؤكد نتائج الدراسة أن مدينة الباحة تشهد نمطاً متزايداً من الزحف العمراني على حساب الموارد الطبيعية، مما يبرز أهمية تبني استراتيجيات تخطيط حضري مستدامة توازن بين التنمية العمرانية والحفاظ على البيئة. كما توضح الدراسة أهمية استخدام تقنيات التحليل المكاني ونماذج التنبؤ في دعم اتخاذ القرار وتحقيق التنمية المستدامة.

الكلمات المفتاحية: استخدامات الأراضي، التغير المكاني، نموذج ماركوف، Google Earth Engine، مدينة الباحة، الاستشعار عن بُعد، الزحف العمراني.

International Journal for Scientific Research (IJSR)

المجلة الدولية للبحوث العلمية

IJSR

Vol. (5), No. (6) June 2026 الإصدار (5)، العدد (6)

Spatial Analysis of Environmental Changes Using Geographic Information Systems (GIS) and Remote Sensing in Al Bahah (2020–2025)

Ahmad Mubarak Al-Zahrani
Master's Researcher, Department of Geography, College of Languages and Humanities, Qassim University, Kingdom of Saudi Arabia
ahmmad.alzahrani1@gmail.com

Mohammed Ibrahim Sulaiman Al-Dughairi
Professor of Economic Geography, Department of Geography, College of Languages and Humanities, Qassim University, Kingdom of Saudi Arabia

Abstract

This study aims to analyze the spatial changes in land use in Al Bahah during the period (2020–2025) and predict future land-use patterns for the year 2030 using remote sensing and Geographic Information Systems (GIS) techniques. Landsat satellite imagery was utilized, and a supervised classification approach was applied to extract land cover categories, including vegetation cover, urban areas, water bodies, and vacant lands. Classification accuracy was evaluated using a confusion matrix and various accuracy indicators to ensure the reliability of the results.

The study relied on a transition matrix to analyze change trends among the different categories. The results revealed a significant increase in urban areas accompanied by a decline in vegetation cover, along with varying changes in water bodies and vacant lands. Change rates were also calculated, indicating that urban areas recorded the highest growth rate during the study period, reflecting the accelerating urban expansion in the city.

For prediction purposes, the Markov model was implemented through the Google Earth Engine platform to estimate future changes for 2030. The results indicated the continuation of the urban expansion trend, with urban areas expected to reach approximately 91 km², while vegetation cover is projected to decline to about 72 km². Water bodies are also expected to decrease to nearly 17 km², whereas vacant lands are anticipated to remain relatively stable.

The findings confirm that Al Bahah is experiencing an increasing pattern of urban sprawl at the expense of natural resources, highlighting the importance of adopting sustainable urban planning strategies that balance urban development with environmental conservation. The study also demonstrates the significance of spatial analysis techniques and predictive models in supporting decision-making and achieving sustainable development.

Keywords: Land Use, Spatial Change, Markov Model, Google Earth Engine, Al Bahah, Remote Sensing, Urban Sprawl.

المقدمة

في ظل تزايد حدة التحديات البيئية العالمية وتفاقم آثارها، برزت الحاجة الملحة إلى دراسة البيئة وتحليل مكوناتها وتقييم نظمها المختلفة لفهم وظائفها وعلاقاتها المتبادلة. ويسهم هذا الفهم في الكشف عن القوانين التي تحكم عمل النظم البيئية، بما يساعد على التعامل معها بصورة علمية تحقق حمايتها وصيانتها وضمان استدامتها للأجيال القادمة. كما أن الضغوط المتزايدة على الموارد الطبيعية والنظم البيئية جعلت التخطيط لاستخدامات الأرض أداة أساسية لتنظيم استغلال الأراضي وتوجيهها بما يحقق التوازن بين التنمية الاقتصادية والحفاظ على البيئة. (Alajizah & Altuwaijri, 2024 ؛Albalawi, 2025)

ويُعد النمو السكاني المتسارع وارتفاع معدلات التحضر من أبرز العوامل التي تؤدي إلى زيادة الضغط على الموارد البيئية، حيث يؤدي التزايد السكاني إلى توسع المناطق العمرانية على حساب الأراضي الزراعية والموارد الطبيعية. كما أن عجز المدن عن توفير السكن الملائم نتيجة الزيادة السكانية يسهم في ظهور أنماط التوسع العمراني العشوائي، مما يؤدي إلى زيادة استهلاك الأراضي الزراعية وتحويلها إلى مناطق سكنية، وهو ما يمثل تهديداً مباشراً للأمن الغذائي والاستدامة البيئية. (Albalawi, 2025 ؛Alqurashi & Kumar , 2017)

وقد ترتب على هذا التوسع العمراني غير المنظم العديد من الآثار البيئية السلبية بعيدة المدى، من أهمها تغير ملامح المناظر الطبيعية (Landscape) وظهور اضطرابات في التوازن البيئي نتيجة استنزاف الموارد الأساسية، مثل التربة والمياه، وتدهور الغطاء النباتي. كما تؤدي التغيرات في استخدامات الأراضي إلى الإخلال بوظائف النظم البيئية الحيوية، وهو ما يتعارض مع الحاجة المتزايدة لتعزيز الإنتاج الزراعي لمواجهة الطلب المتزايد على الغذاء نتيجة الزيادة السكانية. (Seto et al., 2014؛ Rimal et al., 2018)

ومن هنا تبرز أهمية التخطيط المستدام للمستوطنات البشرية، سواء في المناطق الحضرية أو الريفية، إذ يعد التخطيط البيئي والعمراني أحد أهم الأدوات التي تساعد على تحقيق التوازن بين التنمية ومتطلبات الحفاظ على الموارد الطبيعية. كما أن استخدام التقنيات الجيومكانية الحديثة، مثل نظم المعلومات الجغرافية (GIS) والاستشعار عن بعد (Remote Sensing)، أصبح من الوسائل الفعالة في تحليل التغيرات المكانية ورصد أنماط استخدامات الأراضي، مما يسهم في دعم اتخاذ القرار والتخطيط المستقبلي. (Reilly et al., 2009 ؛Alqurashi & Kumar, 2017)

وتُعد مدينة الباحة من المناطق الجبلية الحساسة بيئياً في المملكة العربية السعودية، حيث تتداخل فيها النظم الطبيعية مع الأنشطة البشرية بشكل مباشر، مما يجعلها نموذجاً مناسباً لدراسة آثار التغيرات المكانية باستخدام التقنيات الجيومكانية الحديثة. وقد أظهرت الدراسات الحديثة أن المدينة شهدت توسعاً عمرانياً ملحوظاً خلال العقود الماضية، أدى إلى تغيرات واضحة في استخدامات الأراضي، خاصة تحول بعض الأراضي الزراعية إلى مناطق عمرانية، الأمر الذي يستدعي وضع استراتيجيات تخطيطية مستدامة للحفاظ على الموارد الطبيعية في المنطقة. (Al-Baha Urban Growth Study, 2024)

مشكلة الدراسة

شهدت مدينة الباحة تحولات مكانية وعمرانية متسارعة نتيجة عوامل جذب داخلية تمثلت في مركزيتها الإدارية والخدمية وتدفق السكان من القرى والمراكز المجاورة، مما أدى إلى تصاعد الضغوط على النطاق الحضري الرئيسي. وقد صاحب هذا التوسع ضعف في الالتزام بالمخططات الهيكلية وغياب تخطيط إقليمي متكامل يوازن بين التوسع العمراني والحفاظ على الموارد البيئية، الأمر الذي أسفر عن تمدد عمراني غير موجه وتجاوزات واضحة على الأراضي الزراعية والغابات والموائل البيئية الحساسة. كما انعكس ذلك في تدهور الغطاء النباتي، وزيادة الضغط على الموارد المائية، وتغير الخصائص المناخية المحلية، إلى جانب تشويه المظهر البيئي والجمالي للمنطقة. وتتمثل مشكلة الدراسة في قصور الفهم والتحليل المكاني المتكامل لهذه التحولات وآثارها البيئية، وغياب الحلول التخطيطية المستدامة القائمة على أسس علمية دقيقة.

تساؤلات الدراسة

1. ما طبيعة وحجم التغيرات المكانية التي شهدتها مدينة الباحة خلال الفترة (2020–2025)؟
2. ما أبرز الآثار البيئية المترتبة على هذه التغيرات المكانية في مدينة الباحة؟

3. ما الاتجاهات المستقبلية المتوقعة للتغيرات المكانية بمدينة الباحة حتى عام 2030؟

أهداف الدراسة

1. رصد وتحليل طبيعة وحجم التغيرات المكانية في استخدامات الأراضي بمدينة الباحة خلال الفترة (2020–2025).
2. تحليل الآثار البيئية الناتجة عن التغيرات المكانية والتوسع العمراني بمدينة الباحة باستخدام التقنيات الجيومكانية.
3. التنبؤ بالاتجاهات المستقبلية للتغيرات المكانية في مدينة الباحة حتى عام 2030، مع تقديم مقترحات تخطيطية للحد من التدهور البيئي.

أهمية الدراسة

تتمثل أهمية هذه الدراسة في كونها – في حدود علم الباحث – من الدراسات التي لم تتناول التحليل المكاني للتغيرات البيئية بمدينة الباحة خلال الفترة (2020–2025) باستخدام تقنيات نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بُعد بصورة مباشرة، مما يمنح الدراسة أهمية علمية تتمثل في إثراء الدراسات السابقة المتعلقة بالتغيرات البيئية والتحليل المكاني في المناطق الجبلية، وهي دراسة لم تدرس من قبل.

كما تستمد الدراسة أهميتها من توظيفها لتقنيات نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بُعد في رصد وتحليل التغيرات البيئية، لما توفره هذه التقنيات من دقة وكفاءة في معالجة البيانات المكانية وإنتاج الخرائط والتحليلات التي تسهم في تفسير الأنماط البيئية والتغيرات التي شهدتها مدينة الباحة خلال فترة الدراسة.

وتبرز أهمية الدراسة التطبيقية في إمكانية الاستفادة من نتائجها من قبل الجهات المختصة وصُنّاع القرار في دعم عمليات التخطيط البيئي والعمراني، ووضع الخطط والسياسات المناسبة للحد من الآثار البيئية السلبية وتحقيق التنمية المستدامة بما يتوافق مع مستهدفات رؤية المملكة 2030.

مدينة الدراسة

تقع مدينة الباحة في الجنوب الغربي من المملكة العربية السعودية، وهي المركز الحضري الرئيسي لمنطقة الباحة الإدارية، وتمثل بؤرة النمو العمراني والخدمي في المنطقة. وتتموضع المدينة ضمن سلسلة جبال السروات ذات التضاريس الجبلية الوعرة، مما أكسبها طابعاً عمرانياً متكيفاً مع البيئة الطبيعية. تمتد فلكياً بين دائرتي عرض تقارب 19°00′ و20°30′ شمالاً، وخطي طول 41°30′ و42°30′ شرقاً، وتتميز بنمط عمراني غير متصل بشكل كثيف، بل يتسم بالتشتت النسبي والتدرج الجبلي، حيث يتوسع الامتداد الحضري في نطاقات محدودة حول المركز الإداري للمدينة، بما يتناسب مع طبيعة الانحدارات الجبلية المعروفة محلياً باسم "الصدور" (الخالدي، 2015).

وتُعد مدينة الباحة من المدن متوسطة الحجم سكانياً ضمن تصنيف مدن المملكة، حيث تشير بيانات الهيئة العامة للإحصاء (تعداد السعودية 2022) إلى أن عدد سكان النطاق الحضري لمدينة الباحة يقدر بنحو (حوالي 100 ألف نسمة تقريباً ضمن النطاق البلدي الحضري)، مع تسجيل نمو سكاني مستمر يعكس تحسن الخدمات الحضرية واستقرار الهجرة الداخلية نحو المدينة مقارنة بالمراكز الريفية المحيطة. كما تشير المؤشرات السكانية إلى أن معدل النمو السكاني في المدينة يتسم بالاستقرار النسبي مقارنة بالمدن الكبرى، مع زيادة تدريجية مدفوعة بالتوسع في الخدمات الحكومية والتعليمية والصحية.

أما من الناحية الاقتصادية، فإن مدينة الباحة تعتمد بشكل رئيسي على القطاع الحكومي والخدمات العامة باعتبارها مركزاً إدارياً، إضافة إلى الأنشطة التجارية الصغيرة والمتوسطة، والسياحة الجبلية التي تشهد نمواً ملحوظاً خاصة في مواسم الصيف، فضلاً عن بعض الأنشطة الزراعية المحدودة في الأطراف الريفية للمدينة مثل زراعة الفواكه الموسمية في المدرجات الجبلية. كما تسهم مشروعات وزارة البلديات والإسكان في دعم التنمية العمرانية وتحسين البنية التحتية، بما يعزز من جاذبية المدينة للاستقرار السكاني والاستثمار الخدمي.

أولاً: الخصائص الطبيعية لمنطقة الدراسة:

تتميز منطقة الباحة بموقع جغرافي انتقالي؛ حيث يحدها من الغرب منطقة مكة المكرمة وسهل تهامة، ومن الشرق والشمال

منطقة عسير، كما تشترك في حدودها الشمالية والغربية مع منطقة مكة المكرمة. ويمنح هذا الموقع المنطقة تنوعاً تضاريسياً ومناخياً واضحاً، حيث تتنوع تضاريسها بين المرتفعات الجبلية الشاهقة التابعة لسلسلة جبال السروات، والهضاب الشرقية، إضافة إلى السهول الساحلية غرباً، الأمر الذي يسهم في تنوع البيئات الطبيعية داخل المنطقة (الخالدي، 2015).

وعلى الرغم من وقوع مدينة الباحة ضمن نطاق المناخات المدارية الجافة، إلا أن عامل الارتفاع الكبير عن سطح البحر يسهم في ظهور خصائص مناخية معتدلة مقارنة بالمناطق المجاورة؛ إذ يسودها مناخ بارد شبه جاف خلال فصل الشتاء، بينما يتميز فصل الصيف بالاعتدال النسبي. كما يظهر التباين المناخي بشكل واضح عند الانتقال من قمم الجبال نحو الأطراف الشرقية، حيث تنخفض معدلات الرطوبة وتزداد درجات الحرارة نتيجة وقوع تلك المناطق في ظل المطر وتأثرها بالكتل الهوائية الصحراوية، وهو ما يعد من الخصائص المناخية المرتبطة بالمناطق الجبلية ذات التباين التضاريسي. (سليمان، 2022)

وتضم المدينة غطاءً نباتياً متنوعاً نسبياً مقارنة بالعديد من مناطق المملكة الأخرى، حيث تنتشر الغابات الطبيعية مثل غابات العرعر، إضافة إلى الأودية الزراعية التي تعتمد على مياه الأمطار الموسمية، الأمر الذي أكسب المنطقة أهمية بيئية وسياحية واضحة، وأسهم في جعلها بيئة مناسبة لإجراء الدراسات الجغرافية والبيئية التطبيقية، خاصة تلك التي تهدف إلى فهم العلاقة بين الظواهر الطبيعية والأنشطة البشرية وتأثيرها على استخدامات الأرض. (سليمان، 2022؛ خضير، 2013)

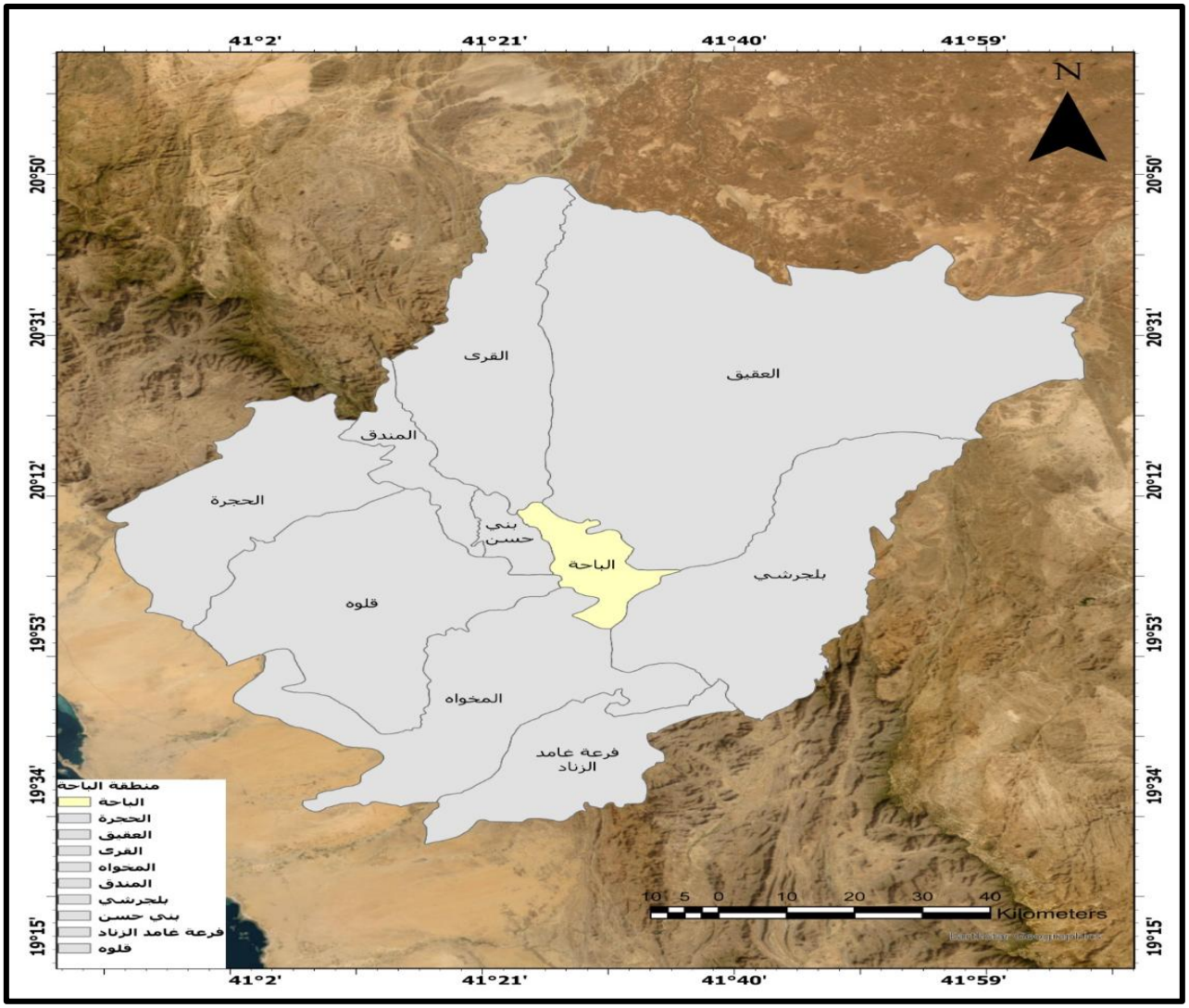
ثانياً: الخصائص البشرية لمنطقة الدراسة:

تتميز مدينة الباحة بوجود توزيع سكاني يرتبط ارتباطاً وثيقاً بطبيعة التضاريس، حيث تتركز التجمعات السكانية في المناطق الجبلية المعتدلة مناخياً، وفي بطون الأودية التي تتوافر فيها المياه والتربة الزراعية المناسبة. كما شهدت مدينة الباحة نمواً سكانياً وعمرانياً ملحوظاً خلال العقود الأخيرة نتيجة توفر الخدمات الأساسية والبنية التحتية، الأمر الذي أدى إلى توسع عمراني متزايد وتغيرات في استخدامات الأرض، وهو ما يُعد من أبرز سمات المدن التي تشهد نمواً حضرياً متسارعاً. الخجخاج، 2020؛ خضير، 2013

تساؤلات الدراسة

1. ما طبيعة التغيرات البيئية والمكانية التي شهدتها مدينة الباحة خلال الفترة (2020–2025)؟
2. ما حجم التغير في استخدامات الأراضي والغطاء الأرضي بمدينة الباحة خلال فترة الدراسة؟
3. كيف أسهم التوسع العمراني في التأثير على الغطاء النباتي والموارد الطبيعية بمدينة الباحة؟
4. ما مدى كفاءة تقنيات نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بُعد في رصد وتحليل التغيرات البيئية بمدينة الباحة؟
5. ما أبرز الآثار البيئية الناتجة عن التغيرات المكانية والتوسع الحضري في مدينة الباحة؟
6. ما الاتجاهات المستقبلية المتوقعة لاستخدامات الأراضي والتغيرات البيئية بمدينة الباحة حتى عام 2030؟
7. ما المقترحات التخطيطية المناسبة للحد من الآثار البيئية السلبية وتحقيق التنمية المستدامة بمدينة الباحة؟

International Journal for Scientific Research (IJSR)
المجلة الدولية للبحوث العلمية
IJSR
Vol. (5), No. (6) June 2026 الإصدار (5)، العدد (6)



شكل (1): موقع منطقة الدراسة (المصدر: من عمل الباحث اعتماداً على بيانات الحدود الإدارية(Governorates Shapefile) الصادرة عن منظمة FAO والمركز الوطني لتنمية الغطاء النباتي (NCVC)، 2025)

الدراسات السابقة

- **أولاً الدراسات الأجنبية:**

1. دراسة Tang, J. وآخرون (2007):

العنوان: تحليل التغير المكاني والزماني للمناظر الطبيعية الحضرية باستخدام نموذج ماركوف المعدل والخوارزمية الجينية

Title: Spatiotemporal Analysis of Urban Landscape Change Using Modified Markov Model and Genetic Algorithm

أجريت هذه الدراسة على مدينة داتشينغ في الصين خلال الفترة (1979–2000)، بهدف تحليل التغيرات المكانية

والزمانية في المناظر الطبيعية الحضرية باستخدام صور الأقمار الصناعية .(LANDSAT) أظهرت النتائج حدوث توسع حضري كبير خلال فترة الدراسة، مع إمكانية نمذجة التوزيع المستقبلي للمناظر الطبيعية حتى أعوام 2010 و2030 و2050 باستخدام نموذج ماركوف المكاني. (SMM) كما أكدت الدراسة فعالية دمج نموذج ماركوف مع الخوارزمية الجينية في تفسير اتجاهات التغير المكاني والزماني المرتبط بالتوسع العمراني.

2. دراسة Cheng Li (2014):

العنوان: مراقبة وتحليل عملية النمو الحضري باستخدام الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية ونموذج الخلايا الذاتية (Cellular Automata)

Title: Monitoring and Analysis of Urban Growth Using Remote Sensing, GIS, and Cellular Automata Model

تناولت هذه الدراسة مدينة شوزهو في الصين، حيث ركزت على تحليل النمو الحضري وتأثيره على البيئة والاقتصاد باستخدام تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية. أوضحت النتائج أن أنماط النمو الحضري ترتبط بعدة عوامل مكانية، أهمها القرب من مركز المدينة وشبكة الطرق والمراكز الإدارية والعوامل البيئية. كما استخدمت الدراسة نموذج الخلايا الذاتية (CA) للتنبؤ بالنمو المستقبلي، وأشارت النتائج إلى وجود ضغط متزايد على موارد الأراضي نتيجة التوسع الحضري السريع.

3. دراسة Motlagh, Z. وآخرون (2020):

العنوان: النمذجة المكانية لتغير استخدامات الأراضي في منطقة حضرية سريعة النمو في وسط إيران: دمج الاستشعار عن بعد ونموذج CA-Markov ومؤشرات المناظر الطبيعية

Title: Spatial Modeling of Land Use Change in a Rapidly Growing Urban Area in Central Iran: Integration of Remote Sensing, CA-Markov Model, and Landscape Metrics

ركزت هذه الدراسة على منطقة أصفهان الكبرى في إيران خلال الفترة (1996–2018)، مع التنبؤ بالتغيرات المستقبلية حتى عامي 2030 و2050 باستخدام نموذج CA-Markov الهجين وبيانات الاستشعار عن بعد. أظهرت النتائج زيادة في المناطق العمرانية مقابل انخفاض في الأراضي الزراعية المروية. كما تم التحقق من دقة النتائج باستخدام مصفوفة الالتباس ومعامل كابا، وأكدت الدراسة أهمية هذه النماذج في دعم التخطيط المكاني المستدام وإدارة استخدامات الأراضي.

- **ثانياً: الدراسات العربية:**

- دراسة خضير بعنوان "الآثار البيئية للتوسع العمراني على استعمالات الأرض الزراعية لمدينة بغداد" عام 2013: والتي تناولت دراسة استخدامات الأرض كأداة علمية لمعالجة المشاكل الاقتصادية والاجتماعية والعمرانية المرتبطة بها، مثل التدهور البيئي. وفي مدينة بغداد، أدى النمو السكاني والتحضر السريع إلى تفاقم أزمة السكن والتوسع العمراني على حساب الأراضي الزراعية، مما يهدد الأمن الغذائي في وقت الحاجة الماسة لزيادة الإنتاج الزراعي. ويهدف البحث إلى دراسة آثار هذا التوسع العمراني على الرقعة الزراعية والبيئة، ويقدم نتائج وتوصيات ذات صلة.

- دراسة حسين بعنوان "التنبؤ المستقبلي للغطاء الأرضي بمركز الرياض – محافظة كفر الشيخ باستخدام نموذج ماركوف في الفترة من 1988 – 2056 "، عام 2023، أوضحت برصد تطور الغطاء الأرضي بمركز الرياض محافظة كفر الشيخ اعتماداً علي المرئيات الفضائية للقمر الصناعي LANDSAT منذ عام 1988 وحتي عام 2022 واستخدام نموذج محاكاة ماركوف للتنبؤ المستقبلي حتي عام 2056 ورصدت الدراسة أن المناطق العمرانية قد ازدادت مساحتها علي حساب أجود الأراضي الزراعية وأظهر تطبيق نموذج ماركوف أنه إذا استمر معدل النمو العمراني بنسبة 3.3% بمعدل سنوي 56 فدان.

- دراسة عبيد وعبدالجليل بعنوان "التنبؤ بتغيرات الغطاء الأرضي لمدينة الكوت باستخدام الأوتوماتا الخلوية وتقنيات نمذجة ماركوف" عام 2024، أوضحت التحديات التي تواجهها مدينة الكوت بسبب التحضر السريع والمساحة المحدودة وقامت الدراسة بتحليل التغيرات في استعمالات الأراضي في مدينة الكوت من عام 2003 وحتي عام 2023 والتنبؤ باستخدام نموذج ماركوف حتي عام 2033 ونتج عن هذا التحليل النمو العمراني في الاتجاهين الشمالي والجنوبي الشرقي.

- دراسة بلال بعنوان "بعض الآثار البيئية للتوسع العمراني الأفقي في مدينة الرياض: اختفاء الطرز المعمارية الطينية وزيادة الاستهلاك الكهربائي السكني" عام 2003: والتي أوضحت أن مدينة الرياض تنمو نمواً عمرانياً سريعاً، إذ توسعت مساحتها العمرانية من كيلومتر مربع واحد لتصل إلى حوالي 7.5 كيلومتر مربع. وقد أدى هذا التوسع إلى زيادة كبيرة في استهلاك مواد البناء والطاقة، حيث مثّل القطاع السكني نسبة تتراوح بين 75% و76% من إجمالي الاستهلاك الكهربائي للمدينة خلال الفترة من 1414هـ إلى 1419هـ.

- دراسة القرني والزامل بعنوان "أثر الزحف العمراني على البيئة الطبيعية في منطقة الباحة في المملكة العربية السعودية" عام 2019: والتي ناقشت الدراسة تأثير التوسع العمراني على بيئة منطقة الباحة، وخلصت إلى أن الزحف العمراني العشوائي يهدد المناطق الطبيعية والزراعية. ولمواجهة هذه المشكلة، أوصت بضرورة وضع خطة إقليمية شاملة تراعي التوازن بين التنمية العمرانية والحفاظ على البيئة، وتطوير مراكز ريفية لتخفيف الضغط على الأراضي الزراعية، وتوجيه النمو العمراني نحو المناطق الأقل خصوبة في الشرق مع إنشاء مراكز حضرية جديدة ذات ضوابط صارمة لحماية المناطق الغربية الحساسة (منطقة الشفا)، بالإضافة إلى تحسين شبكة الطرق لربط أجزاء المنطقة.

المقارنة مع الدراسة الحالية:

- الزمن والموقع: جميع الدراسات السابقة أجريت في مناطق حضرية خارج المملكة (الصين وإيران)، بينما تركز الدراسة الحالية على مدينة الباحة بالمملكة العربية السعودية خلال الفترة 2020–2025 مع توقعات 2030 و2035.

- نماذج التنبؤ: استخدمت الدراسات السابقة نماذج CA، CA-Markov، ونموذج ماركوف المكاني، كما استخدمت الدراسة الحالية نموذج ماركوف، مع التركيز على التحليل المكاني التفصيلي للمدينة وربطه بالظروف البيئية المحلية (مثل الأمطار، شبكة الطرق، المناطق السياحية).

- التميّز: ما يميز الدراسة الحالية هو دمج التحليل المكاني للغطاء الأرضي مع العوامل البيئية المحلية، النشاط العمراني، السياحة، وشبكة الطرق، إضافة إلى تقديم توصيات مكانية دقيقة لإدارة التوسع العمراني، وهو ما لم يتم التركيز عليه بالتفصيل في الدراسات الأجنبية السابقة.

- وتتميز الدراسة الحالية عن الدراسات السابقة بعدد من الجوانب العلمية والمنهجية التي تسهم في تقديم إضافة نوعية في مجال دراسة التغيرات المكانية والآثار البيئية. حيث تركز هذه الدراسة على الدمج بين مجموعة من المؤشرات البيئية المتعددة، مثل التغير في استخدامات الأراضي، ومعدلات التوسع العمراني، والتغير في الغطاء النباتي، والآثار البيئية المرتبطة بها، وذلك من خلال استخدام أساليب التحليل المكاني المتقدم المعتمدة على تقنيات نظم المعلومات الجغرافية (GIS) والاستشعار عن بعد. (Remote Sensing) ويسهم هذا التكامل بين المؤشرات المختلفة في توفير رؤية شاملة ومتكاملة لطبيعة التغيرات المكانية، بدلاً من الاقتصار على مؤشر واحد كما هو الحال في كثير من الدراسات السابقة، الأمر الذي يعزز من دقة النتائج ويساعد في تفسير العلاقات المكانية بين الظواهر البيئية والعمرانية بصورة أكثر عمقاً.

- كما تتميز الدراسة الحالية بتركيزها على فترة زمنية حديثة (2020–2025)، وهي فترة تتسم بتسارع واضح في معدلات النمو العمراني والتنموي في المملكة العربية السعودية، مما يجعل نتائج الدراسة أكثر ارتباطاً بالواقع الحالي وأكثر قدرة على دعم متخذي القرار. وتكتسب هذه الفترة الزمنية أهمية خاصة لارتباطها بمراحل تنفيذ مستهدفات رؤية المملكة العربية السعودية 2030، التي تسعى إلى تحقيق تنمية عمرانية مستدامة وتعزيز كفاءة استخدام الموارد الطبيعية وتحسين جودة البيئة الحضرية. وبناءً على ذلك، فإن هذه الدراسة لا تقتصر على تحليل التغيرات السابقة فحسب، بل تمتد لتشمل التنبؤ بالاتجاهات المستقبلية للتغيرات المكانية حتى عام 2030، الأمر الذي يمنحها بعداً استشرافياً يسهم في دعم عمليات التخطيط المستقبلي ووضع السياسات البيئية والتنموية المستدامة.

- وإضافة إلى ما سبق، فإن اعتماد الدراسة على تقنيات التحليل الجيومكاني الحديثة يتيح إمكانية إنتاج خرائط رقمية دقيقة ونماذج مكانية توضح أنماط التغير في استخدامات الأراضي وتوزيعها الجغرافي، مما يساعد في تحديد المناطق الأكثر عرضة للتدهور البيئي أو التوسع العمراني غير المنظم. كما تسهم هذه المخرجات في تقديم مقترحات تخطيطية مبنية على أسس علمية تهدف إلى تحقيق التوازن بين متطلبات التنمية الحضرية والحفاظ على الموارد الطبيعية، وهو ما يعزز من القيمة التطبيقية للدراسة ويجعل نتائجها قابلة للاستخدام في مجالات التخطيط الحضري والإدارة البيئية على المستوى المحلي.

منهجية البحث

تعتمد الدراسة الحالية على مجموعة من الأساليب والأدوات التي تتناسب مع طبيعة الدراسة المكانية والبيئية، وذلك بهدف تحليل التغيرات في استخدامات الأراضي بمدينة الباحة خلال الفترة (2020–2025) والتنبؤ باتجاهاتها المستقبلية حتى عام 2030. وقد تم اختيار هذه المناهج بما يحقق التكامل بين البعد الزمني والمكاني، ويسهم في الوصول إلى نتائج دقيقة تدعم أهداف الدراسة.

أولاً: المنهج التاريخي:

يُعد المنهج التاريخي من المناهج الأساسية في الدراسات الجغرافية، حيث يعتمد على دراسة الظواهر في فترات زمنية متعاقبة وتحليل تطورها عبر الزمن من خلال مقارنة البيانات التاريخية المختلفة، بهدف تفسير التغيرات التي حدثت وفهم اتجاهاتها المستقبلية. (Eastman, 2012)

وقد تم استخدام المنهج التاريخي في هذه الدراسة لتحليل التغيرات التي طرأت على استخدامات الأراضي بمدينة الباحة خلال الفترة الزمنية (2020–2025)، وذلك من خلال مقارنة المرئيات الفضائية للأعوام المختلفة، وتحليل التحولات التي حدثت بين فئات الغطاء الأرضي، مما يساعد في تتبع ديناميكيات التغير المكاني وتفسير أنماطه الزمنية.

ثانياً: المنهج التحليل المكاني:

يُعرف المنهج التحليل المكاني بأنه المنهج الذي يركز على دراسة توزيع الظواهر الجغرافية وتحليل العلاقات المكانية بينها باستخدام الأساليب الإحصائية والنماذج الجيومكانية، بهدف تفسير الأنماط المكانية والتغيرات التي تطرأ على استخدامات الأراضي. (Pontius et al., 2008)

وقد تم الاعتماد على هذا المنهج في تحليل توزيع استخدامات الأراضي بمدينة الباحة، ودراسة أنماط التوسع العمراني والتغير في الغطاء النباتي والمسطحات المائية، وذلك باستخدام تقنيات التحليل المكاني داخل بيئة نظم المعلومات الجغرافية، بما يسهم في تحقيق أهداف الدراسة المتعلقة بتحليل الآثار البيئية الناتجة عن التغيرات المكانية.

ثالثاً: الأسلوب الكارتوجرافي (الخرائطي):

يُعد الأسلوب الكارتوجرافي من الأساليب الأساسية في الدراسات الجغرافية، حيث يُستخدم في تمثيل الظواهر الجغرافية على الخرائط بصورة مرئية تساعد على توضيح العلاقات المكانية بين الظواهر المختلفة، وتحليل التغيرات التي تطرأ على استخدامات الأراضي عبر الزمن. (Li et al., 2019)

وقد تم استخدام هذا الأسلوب في إعداد الخرائط الرقمية التي توضح توزيع فئات استخدامات الأراضي بمدينة الباحة، وإظهار التغيرات المكانية بين عامي 2020 و2025، بالإضافة إلى إنتاج خرائط التنبؤ المستقبلية لعام 2030، مما يسهم في عرض النتائج بصورة واضحة تدعم تفسير الظواهر المكانية.

رابعاً: منهج النظم:

تُعد تقنيات نظم المعلومات الجغرافية (GIS) والاستشعار عن بعد (Remote Sensing) من أهم الأدوات الحديثة في تحليل البيانات المكانية، حيث تتيح إمكانية جمع البيانات الجغرافية ومعالجتها وتحليلها واستخراج المعلومات من المرئيات الفضائية بدقة عالية، إضافة إلى متابعة التغيرات التي تطرأ على سطح الأرض عبر الزمن. (Motlagh et al., 2020)

وقد تم استخدام هذه التقنيات في هذه الدراسة لمعالجة وتحليل مرئيات الأقمار الصناعية من سلسلة Landsat للأعوام (2020 و2025)، وتطبيق أساليب التصنيف الموجه (Supervised Classification) باستخدام خوارزمية Support Vector Machine (SVM)، بهدف استخراج فئات الغطاء الأرضي المختلفة، مثل الغطاء النباتي والمناطق العمرانية والمسطحات المائية والأراضي الفضاء، إضافة إلى حساب مساحات هذه الفئات وتحليل التغيرات التي طرأت عليها.

خامساً: استخدام نموذج ماركوف (Markov Model) في التنبؤ المكاني:

يُعد نموذج ماركوف من النماذج الإحصائية المستخدمة في التنبؤ بالتغيرات المستقبلية في استخدامات الأراضي، حيث يعتمد على تحليل التحولات السابقة بين الفئات المختلفة لتقدير احتمالات التغير في المستقبل، وذلك بناءً على مفهوم السلاسل الزمنية الانتقالية. (Eastman, 2012)

وقد تم استخدام نموذج ماركوف في هذه الدراسة للتنبؤ بالتغيرات المستقبلية في استخدامات الأراضي بمدينة الباحة حتى عام 2030، من خلال حساب مصفوفة الانتقال بين الفئات المختلفة للفترتين (2020–2025)، ومن ثم توليد خريطة التنبؤ المستقبلية باستخدام منصة Google Earth Engine، مما يساعد في دعم عمليات التخطيط الحضري والبيئي المستقبلي.

وتتم معالجة وتحليل بيانات الدراسة كالتالي:

مراحل العمل:

وقد اعتمد أسلوب التحليل في هذا البحث على ثلاث مراحل كالتالي:

1. المرحلة الأولي: جمع البيانات: تجهيز وإعداد البيانات: حيث تم الحصول على المرئيات الفضائية من هيئة المساحة الجيولوجية الأمريكية (USGS) حيث تم اختيار المرئيات من القمر الصناعي Landsat 8-9 بدقة مكانية 30 م وعدد نطاقات طيفية 11 نطاق landsat7 بعدد نطاقات طيفية 8 وتم اختيار أقل كمية للسحب، بخصائص كما يوضحها الجدول التالي:

جدول (1): خصائص النطاقات الطيفية لصورة القمر الصناعي Landsat8-9 Source: https://www.usgs.gov/faqs/what-are-band-designations-landsat-satellites)

Landsat8-9		
Bands	**Wavelength (micrometers)**	**Resolution (meters)**
Band 1 - Coastal aerosol	0.43-0.45	30
Band 2 - Blue	0.45-0.51	30
Band 3 - Green	0.53-0.59	30
Band 4 - Red	0.64-0.67	30
Band 5 - Near Infrared (NIR)	0.85-0.88	30
Band 6 - Shortwave Infrared (SWIR) 1	1.57-1.65	30
Band 7 - Shortwave Infrared (SWIR) 2	2.11-2.29	30
Band 8 - Panchromatic	0.50-0.68	15
Band 9 - Cirrus	1.36-1.38	30
Band 10 - Thermal Infrared (TIRS) 1	10.6-11.19	100 (resampled to 30)
Band 11 - Thermal Infrared (TIRS) 2	11.50-12.51	100 (resampled to 30)

وقد تم تحميل عدد 2 مرئية فضائية لتغطي مدينة الباحة كما يوضحها الجدول التالي:

جدول (2): المرئيات الفضائية التي تغطي منطقة الدراسة (المصدر: موقع هيئة المساحة الجيولوجية الأمريكية USGS .2021)

Row	Path	تاريخ الالتقاط	المرئية
46	168	14 - 08 -2020	1
46	168	08 - 11 -2025	2

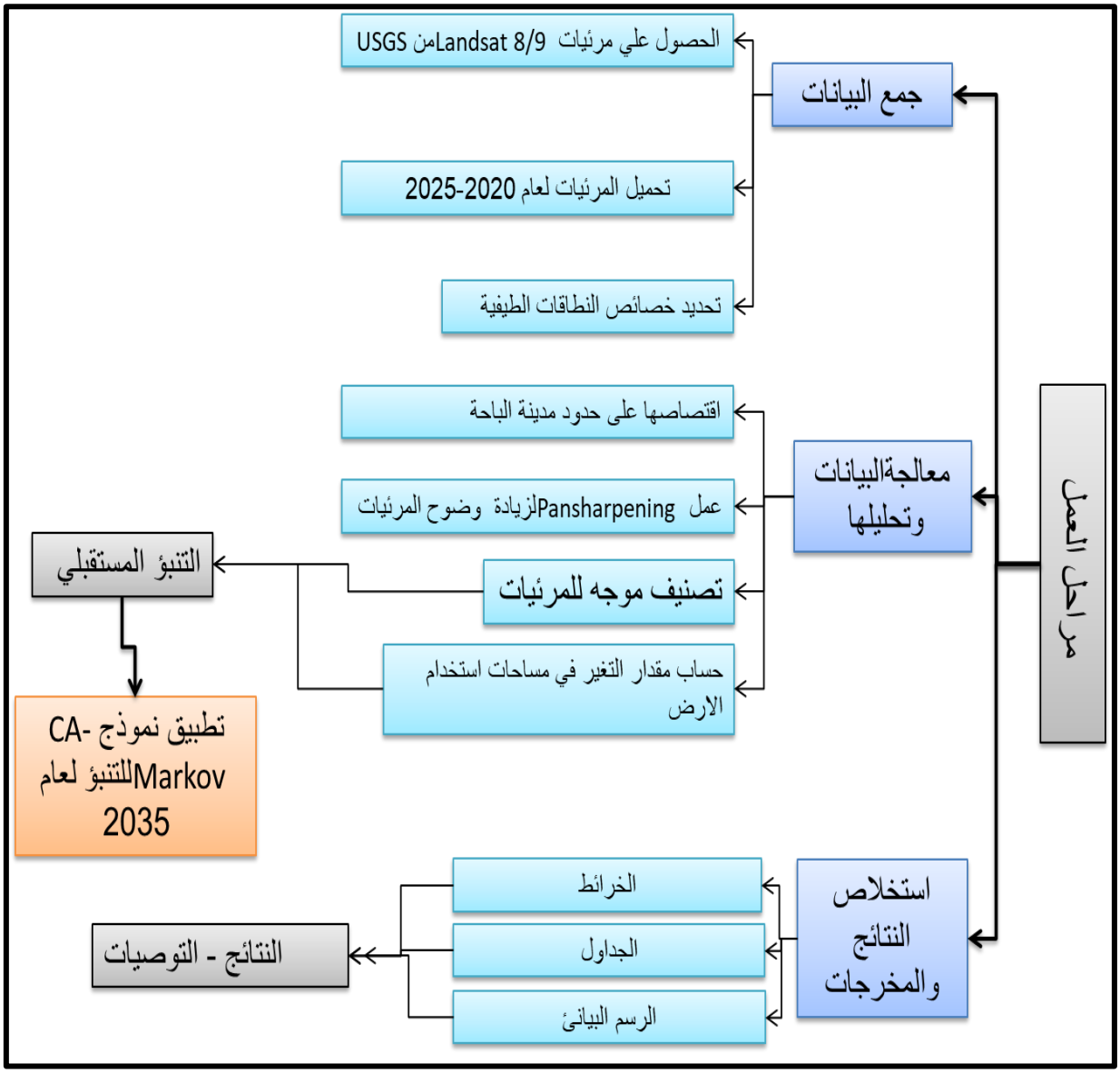
2. المرحلة الثانية معالجة البيانات وتحليلها: حيث تضمنت تلك المرحلة الخطوات التالية:

من خلال تصحيح الصور الفضائية هندسيًا وجغرافيًا لضمان دقة تحليل التغيرات الزمنية، وتطبيق عمليات التصنيف الطيفي لاستخراج استخدامات الأراضي والغطاء الأرضي، وتوحيد الإسقاطات الجغرافية لضمان توافق البيانات المختلفة من خلال الخطوات التالية:

- تجميع النطاقات: تم عمل تجميع للنطاقات ذات الدقة المكانية الواحدة وهي النطاقات (1-2-3-4-5-6-7) من خلال عملية composite bands داخل برنامج ARC GIS PRO وذلك لكل مرئية فضائية على حدة.
- اقتصاص المرئيات: حيث أنه تم قصها على حدود مدينة الباحة.
- عمل pansharpening: لزيادة وضوح المرئيات حيث يتم أخذ التفاصيل الدقيقة من النطاق البانكروماتي لتعزيز دقة الصورة متعددة الأطياف.
- ومن ثم تم اختيار النطاقات التي تظهر الألوان الطبيعية للمرئيات يتم عرض النطاقات (4-3-2) بالترتيب كما هو موضح.
- عمل تصنيف موجه للمرئيات (supervised classification): حيث تم تحديد فئات التصنيف الرئيسية لأخذ العينات وعددها أربعة (النباتات – العمران – أراضي الفضاء – المياه)، وعمل ملف للعينات المأخوذة لكل فئة حيث تم أخذ عدد كبير لتمثيل كل فئة بكافة مراحلها أو أشكالها المختلفة.
- تحويل الصور المصنفة من raster إلى vector: وذلك لحصر المساحات الخاصة بالتمدد العمراني واتجاهاته.

3. المرحلة الثالثة: استخلاص النتائج والمخرجات:

وذلك من خلال عمليات المعالجة والتحليل، وتتضمن المخرجات الخرائط والجداول التي يتم تحليلها وتفسيرها للوصول إلى نتائج تقدم بدورها عدد من التوصيات الفعالة.



شكل (1): مراحل العمل لدراسة التغير البيئي لمدينة الباحة (المصدر: من عمل الطالب بناءً على منهجية العمل)

مخرجات التحليل:

شهدت مدينة الباحة خلال العقود الأخيرة نمواً عمرانياً ملحوظاً، انعكس في توسع النطاق الحضري وتغير أنماط استخدامات الأراضي. ولتحليل هذا النمو، تم تقسيم الدراسة إلى مرحلتين زمنيتين هما (2020، 2025)، بما يتيح تتبع التحولات المكانية وتقييم ديناميكيات التوسع العمراني عبر الزمن.

اعتمدت الدراسة على تقنية التصنيف الموجه (Supervised Classification) بهدف تحليل وتحديد أنماط استخدامات الأراضي/الغطاء الأرضي (LU/LC) في المدينة خلال فترات الدراسة، حيث تُعد هذه التقنية من أهم أساليب تحليل المرئيات الفضائية، إذ تعتمد على اختيار عينات تدريبية تمثل الفئات المختلفة ومن ثم تعميم خصائصها على بقية الصورة لتحديد فئات الغطاء الأرضي بدقة. (Richards, 2013)

وقد تم تطبيق خوارزمية Support Vector Machine (SVM)، والتي تُعد من أكثر أساليب التصنيف كفاءة في التعامل مع البيانات متعددة الأبعاد، حيث تقوم على إنشاء مستوى فاصل (Hyperplane) يحقق أفضل تمييز ممكن بين الفئات المختلفة، مما يسهم في رفع دقة التصنيف، كما تمتاز هذه الطريقة بقدرتها على تحقيق نتائج دقيقة حتى في ظل توفر عدد محدود من عينات التدريب، وهو ما يجعلها مناسبة لتحليل بيانات الاستشعار عن بعد (Huang et al., 2002؛ Mountrakis et al., 2011).

واستندت الدراسة إلى مرئيات الأقمار الصناعية من سلسلة Landsat للأعوام المستهدفة، والتي تُعد من أكثر مصادر البيانات الفضائية استخداماً في دراسة التغيرات في استخدامات الأراضي، لما توفره من بيانات متعددة الأطياف وذات تغطية زمنية طويلة، مما يساعد في تحليل التغيرات المكانية عبر الزمن بدقة مناسبة للدراسات البيئية والعمرانية (USGS, 2020؛ Jensen, 2016).

وقد تم اختيار عينات تدريبية تمثل الفئات الرئيسة لاستخدامات الأراضي في مدينة الباحة، والتي شملت:

- المناطق الحضرية.
- الأراضي الزراعية.
- الأراضي الجرداء (الصحراوية).
- المسطحات المائية.

وتم تقييم دقة نتائج التصنيف من خلال إعداد مصفوفة الالتباس (Confusion Matrix) واستخراج مؤشرات الدقة، مثل الدقة الكلية (Overall Accuracy) ومعامل كابا (Kappa Coefficient)، حيث تُعد هذه المؤشرات من أهم الأساليب الإحصائية المستخدمة في تقييم جودة نتائج التصنيف وقياس مدى توافقها مع البيانات المرجعية، الأمر الذي ساهم في ضمان موثوقية النتائج وتحليل التغيرات المكانية في استخدامات الأراضي عبر فترات الدراسة. (Congalton & Green, 2019)

وقد تم اعتماد الفئات الرئيسية لاستخدامات الأراضي كما هو موضح في الجدول التالي (3):

جدول (3): تصنيف الفئات

رقم	اسم الفئة / الوصف
1	(النباتات): تشمل المزارع والمتنزهات.
2	(المباني): وتشمل جميع أشكال العمران والطرق
3	(المياه): تشمل جميع أنواع المسطحات المائية
4	(الأراضي الفضاء): تشمل جمع الأراضي الفضاء والأراضي الصحراوية

تم تطبيق تقنية التصنيف الموجه (Supervised Classification) على صور الأقمار الصناعية لمدينة مدينة الباحة للأعوام المستهدفة لدراسة استخدامات الأراضي وتحليل التحولات المكانية. ولضمان موثوقية النتائج، تم تقييم دقة التصنيف باستخدام مصفوفة الالتباس (Confusion Matrix)، والتي تُعد أداة إحصائية فعالة لمقارنة القيم المصنفة مع القيم المرجعية على أرض الواقع، حيث تتيح قياس مدى توافق نتائج التصنيف مع البيانات الحقيقية، وتحديد الأخطاء الناتجة عن عملية التصنيف. (Congalton & Green, 2019)

وقد تم حساب الدقة الكلية (Overall Accuracy) كنسبة عدد العينات المصنفة بشكل صحيح إلى مجموع جميع العينات، وهي تُعد من أهم المؤشرات المستخدمة في قياس جودة التصنيف وتقييم كفاءته في تمثيل فئات الغطاء الأرضي المختلفة. (Jensen, 2016)

وأظهرت نتائج التقييم تحقيق مستوى عالٍ من الدقة، حيث بلغت الدقة الكلية للصور المصنفة لعام 2020 حوالي 92%، ولعام 2025 حوالي 94%، أما التنبؤ باستخدام نموذج ماركوف (Markov Model) لعام 2030 فقد أظهر دقة كلية تقدر بحوالي 91%، مما يشير إلى كفاءة النموذج المستخدم في التنبؤ بالتغيرات المستقبلية في استخدامات الأراضي (Eastman, 2012؛ Pontius et al., 2008).

وتشير هذه القيم المرتفعة إلى مستوى عالٍ من موثوقية نتائج التصنيف، مما يعزز قدرة الدراسة على تحليل التحولات في

استخدامات الأراضي بمدينة الباحة بدقة، ويدعم استخدام النتائج في عمليات التخطيط العمراني المستقبلي واتخاذ القرارات البيئية المناسبة.

مرحلة عام 2020:

وعند تصنيف المرئية الفضائية لمدينة الباحة لعام 2020، حيث بلغت المساحة الإجمالية المصنفة نحو 249.4 كم². ويظهر التوزيع المكاني للفئات المختلفة أن الغطاء النباتي هو الفئة الأكثر انتشاراً بمساحة 81 كم²، أي ما يعادل 32.5% من إجمالي المنطقة. تليه الأراضي الفضاء بمساحة 77.3 كم² (31%)، ثم المسطحات المائية بمساحة 45.6 كم² (18.3%)، وأخيراً المناطق العمرانية بمساحة 45.5 كم² (18.2%). يعكس هذا التوزيع الطبيعة المتنوعة للمنطقة ويدل على سيطرة نسبية للغطاء النباتي والأراضي الفضاء، مع ثبات نسبي للمسطحات المائية والمناطق العمرانية.

يعكس التوزيع المكاني للغطاء الأرضي التأثير المباشر للظروف الجوية خلال عام 2020، ولا سيما الأمطار التي هطلت خلال فصل الربيع، وبالأخص في شهر أبريل، حيث تراوحت شدتها بين المتوسطة والغزيرة وقد تجلى تأثير هذه الأمطار في الخريطة من خلال جانبين رئيسيين:

1. الغطاء النباتي الموسمي: تظهر المساحات الشاسعة من الغطاء النباتي والحشائش المبعثرة في بطون الأودية وعلى طول المجاري المائية كنتيجة مباشرة لارتفاع رطوبة التربة الناتجة عن جريان السيول وتغلغل المياه في باطن الأرض. وتشير هذه الظاهرة إلى نمو النباتات الموسمية المؤقتة وليس الغابات الدائمة، مما يعكس استجابة النظام البيئي للظروف المناخية الموسمية. (Zhang et al., 2018)
2. الشبكة المائية وتجمع المياه: يعكس اللون الأزرق المنتشر في الخريطة الشبكة المائية للأودية وتجمع المياه خلف السدود بعد هطول الأمطار، ويشير ذلك إلى تشبع التربة بالمياه في هذه الفترة، وهو ما يساهم في تدعيم الغطاء النباتي المؤقت وتسهيل جريان الفائض السطحي، مما يعكس العلاقة المباشرة بين الهطولات المطرية والنشاط البيئي (Chen et al., 2020).

من خلال هذا التحليل، يتضح أن الحالة البيئية والنشاط العمراني في منطقة الباحة لعام 2020 تأثراً بوفرة الأمطار، حيث أدت إلى توسع الغطاء النباتي في المناطق الرطبة، بينما ظلت الأراضي العمرانية والمسطحات المائية مستقرة نسبياً ضمن توزيعها المكاني، مما يعكس توازناً بين العوامل الطبيعية والنشاط البشري في المدينة

درجة حرارة سطح الأرض لمدينة الباحة:

تعتبر درجة حرارة سطح الأرض من العناصر الأساسية والبالغة الأهمية في إدامة الحياة فوق سطح الأرض، حيث أنها أحد العوامل الأساسية في حدوث تغيرات مختلفة في الظواهر الجوية، ونتيجة لزيادتها أو نقصها فإنها تساهم في ارتفاع أو انخفاض الضغط الجوي، كما أنها تكون وراء تكون المرتفعات والمنخفضات الجوية وهبوب الرياح وشدتها، وتساهم في تكون الغيوم وسقوط الأمطار بعد حصول تيارات الحمل الناتجة من تسخين سطح الأرض وغيرها من الظواهر الجوية الأخرى. إن لارتفاع درجة حرارة سطح الأرض له تأثير كبير على الزراعة بكل أشكالها، فإنها تؤثر في طبيعة المناخ وبالتالي على اختيار نوعية النباتات المزروعة من حيث ملائمتها وتحملها لدرجة الحرارة، كما أنها تساهم بشكل فعال في تشكيل نوعية وطبيعة التربة عبر الزمن، إضافة إلى أنها تسبب في موت الكثير من المحاصيل الزراعية، وتكون السبب المباشر في عملية الجفاف نتيجة التبخر المستمر للمياه من التربة، مما يؤدي إلى فقد للمحتوى المائي والمخزون المائي وحدوث حالات من التصحر والتشققات الأرضية وموت الحيوانات والنباتات والإنسان أحياناً. إضافة لما ذكر، فإن لسطح الأرض دوراً كبيراً في عملية الامتصاص والانعكاس للإشعاع القادم من الشمس والغلاف الجوي وانبعاث الإشعاع الطويل الموجة، ومن ذلك تبرز الحاجة لدراسة وتحليل درجة حرارة سطح الأرض. ودرجة حرارة سطح الأرض هي درجة حرارة السطح الفاصل بين الهواء والأرض (المحي، 2007).

وتُعد منصة Google Earth Engine (GEE) من أبرز التطورات التقنية الحديثة في مجال تحليل بيانات الاستشعار عن بُعد واستنباط درجة حرارة سطح الأرض (Land Surface Temperature -LST)، إذ وفّرت بيئة حوسبة سحابية متكاملة تتيح الوصول المباشر إلى كميات ضخمة من البيانات الفضائية متعددة المصادر، مع إمكانيات معالجة وتحليل مكانية وزمنية عالية الكفاءة دون الحاجة إلى تنزيل البيانات أو إجراء المعالجة محلياً. وقد أسهمت هذه المنصة في تسهيل تنفيذ الدراسات الحرارية

واسعة النطاق على المستويات المحلية والإقليمية والعالمية، من خلال توفير بنية تحتية قادرة على معالجة البيانات الجغرافية الضخمة بسرعة ودقة مرتفعة. عبد الحليم علي. (2007).

اعتمدت هذه الدراسة على بيانات Landsat Collection 2 بوصفها أحد أهم مصادر البيانات الحرارية المستخدمة في استنباط درجة حرارة سطح الأرض (LST)، وذلك لما تتميز به من دقة مكانية مرتفعة وجودة إشعاعية محسنة مقارنة بالإصدارات السابقة. وتوفر هذه المجموعة بيانات مصححة إشعاعياً وهندسياً، إضافة إلى تطبيق إجراءات متقدمة للتصحيح الجوي، مما يسهم في تحسين موثوقية النتائج المستخرجة ودقتها في الدراسات البيئية والحضرية. عبد الحليم علي. (2007).

كما تمتاز بيانات Landsat Collection 2 بإتاحتها نطاقات الأشعة تحت الحمراء الحرارية (Thermal Infrared Bands) اللازمة لاستخراج درجة حرارة سطح الأرض، مع دقة مكانية تصل إلى 100 متر يتم إعادة أخذ عيناتها إلى 30 متراً، الأمر الذي يجعلها ملائمة لتحليل التباينات الحرارية المكانية على المستوى المحلي، خاصة في الدراسات المتعلقة بالجزر الحرارية الحضرية واستخدامات الأراضي والغطاء الأرضي. إضافةً إلى ذلك، توفر السلسلة الزمنية الطويلة لأقمار Landsat إمكانية تتبع التغيرات الحرارية عبر فترات زمنية ممتدة، مما يعزز من كفاءة التحليل الزماني والمكاني للظواهر البيئية المختلفة. عبد الحليم علي. (2007).

وقد جرى تنفيذ عمليات معالجة البيانات واستخراج درجة حرارة سطح الأرض داخل بيئة Google Earth Engine (GEE)، التي أتاحت الوصول المباشر إلى أرشيف بيانات Landsat Collection 2 وتطبيق الخوارزميات الحرارية المختلفة بكفاءة عالية، دون الحاجة إلى تنزيل البيانات أو إجراء المعالجة محلياً، وهو ما أسهم في تسريع خطوات التحليل وتحسين كفاءة معالجة البيانات المكانية واسعة النطاق. عبد الحليم علي. (2007).

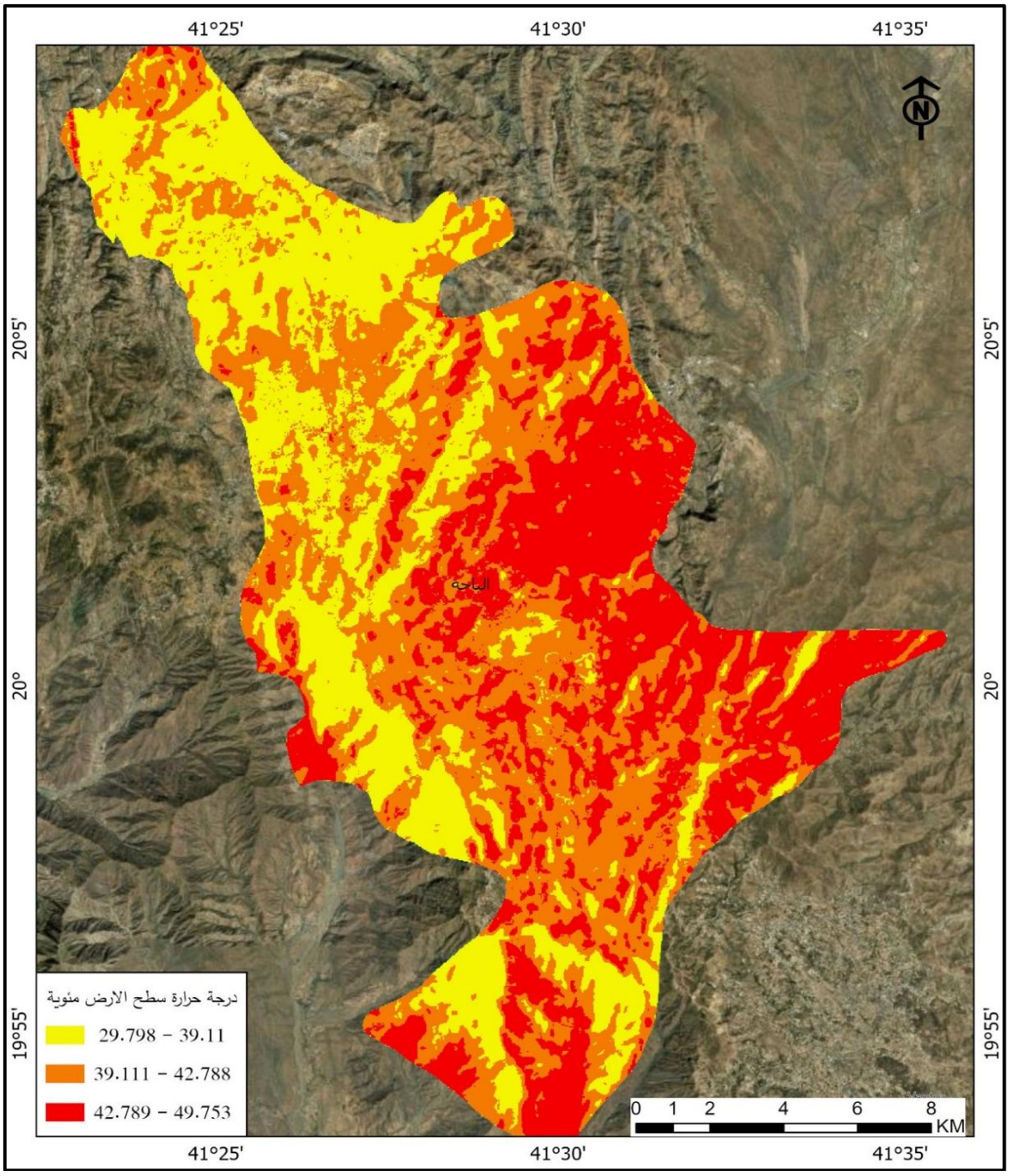
أولاً: درجة حرارة سطح الأرض لمدينة الباحة عام 2020:

أظهرت خريطة درجة حرارة سطح الأرض لعام 2020 تباين مكاني لدرجات الحرارة السطحية داخل منطقة الدراسة. وقد ساهم هذا التصنيف في إبراز الاختلافات البيئية والطبوغرافية والعمرانية المؤثرة في توزيع الحرارة السطحية، حيث يمثل النطاق الحراري المنخفض، درجات حرارة تتراوح بين 29.798°م و39.11°م، ويعبر عن المناطق الأقل حرارة نسبياً داخل منطقة الدراسة. وتتركز هذه المناطق بصورة واضحة في الأجزاء الشمالية والشمالية الغربية، إضافة إلى بعض الامتدادات الطولية المتعرجة المنتشرة في وسط وجنوب المنطقة. ويرتبط هذا الانخفاض الحراري غالباً بوجود الغطاء النباتي، إلى جانب تأثير المرتفعات الجبلية والأودية التي تسهم في تقليل درجات الحرارة نتيجة زيادة الرطوبة والتظليل الطبوغرافي وعمليات النتح والتبخر. عبد الحليم علي. (2007)

أما النطاق الحراري المتوسط، فتتراوح درجات حرارته بين 39.111°م و42.788°م، ويعد نطاقاً انتقالياً بين المناطق المعتدلة نسبياً والمناطق ذات الحرارة المرتفعة. وينتشر هذا النطاق في صورة غطاء مكاني يحيط بالمناطق الأعلى حرارة، ويظهر غالباً في الأراضي شبه الجافة أو المناطق ذات الغطاء النباتي المحدود، إضافة إلى التكوينات الصخرية التي تتأثر جزئياً بعوامل التبريد الناتجة عن التضاريس والارتفاعات المتوسط، في حين يمثل النطاق الحراري المرتفع درجات حرارة تتراوح بين 42.789°م و49.753°م، ويعكس وجود بؤر حرارية مرتفعة (Thermal Hotspots) داخل منطقة الدراسة. وقد تركزت هذه القيم بصورة واضحة في الأجزاء الشرقية والجنوبية الشرقية، بالإضافة إلى المنطقة المركزية المحيطة بمدينة الباحة. ويرتبط ارتفاع درجات الحرارة في هذه المناطق بزيادة الكثافة العمرانية ووجود الأسطح الخرسانية والإسفلتية التي تمتاز بقدرتها العالية على امتصاص الإشعاع الشمسي وإعادة إطلاقه، فضلاً عن انتشار الأراضي الجافة المكشوفة والمنحدرات الصخرية المعرضة بصورة مباشرة للإشعاع الشمسي. عبد الحليم علي. (2007)

أظهرت نتائج التحليل المكاني لدرجة حرارة سطح الأرض وجود تباين حراري واضح داخل منطقة الدراسة، ارتبط بصورة مباشرة بالعوامل الطبيعية والبشرية. فقد سجلت المناطق الجبلية والمرتفعات ذات الغطاء النباتي الكثيف درجات حرارة منخفضة نسبياً نتيجة تأثير الارتفاع والتظليل وزيادة معدلات التبخر والنتح، في حين تركزت القيم الحرارية المرتفعة في المناطق العمرانية والأراضي الجافة المكشوفة، خاصة في الأجزاء الشرقية والجنوبية الشرقية. كما كشفت النتائج عن بروز ظاهرة الجزيرة الحرارية الحضرية داخل مدينة الباحة نتيجة التوسع العمراني وزيادة الأسطح الإسفلتية والخرسانية التي تسهم في امتصاص الحرارة وإعادة إشعاعها. وتبرز أهمية هذه النتائج في دعم التخطيط الحضري المستدام وتوجيه سياسات التوسع

العمراني، إضافة إلى تعزيز دور المساحات الخضراء في الحد من التأثيرات الحرارية وتحسين جودة البيئة الحضرية. عبد الحليم علي. (2007)



شكل (3): درجة حرارة سطح الأرض لمدينة الباحة عام 2020 (المصدر: من عمل الطالب اعتماداً على منصة google earth engine GEE وبرنامج ARC GIS PRO عام 2020)

ثانياً: درجة حرارة سطح الأرض لمدينة الباحة عام 2025:

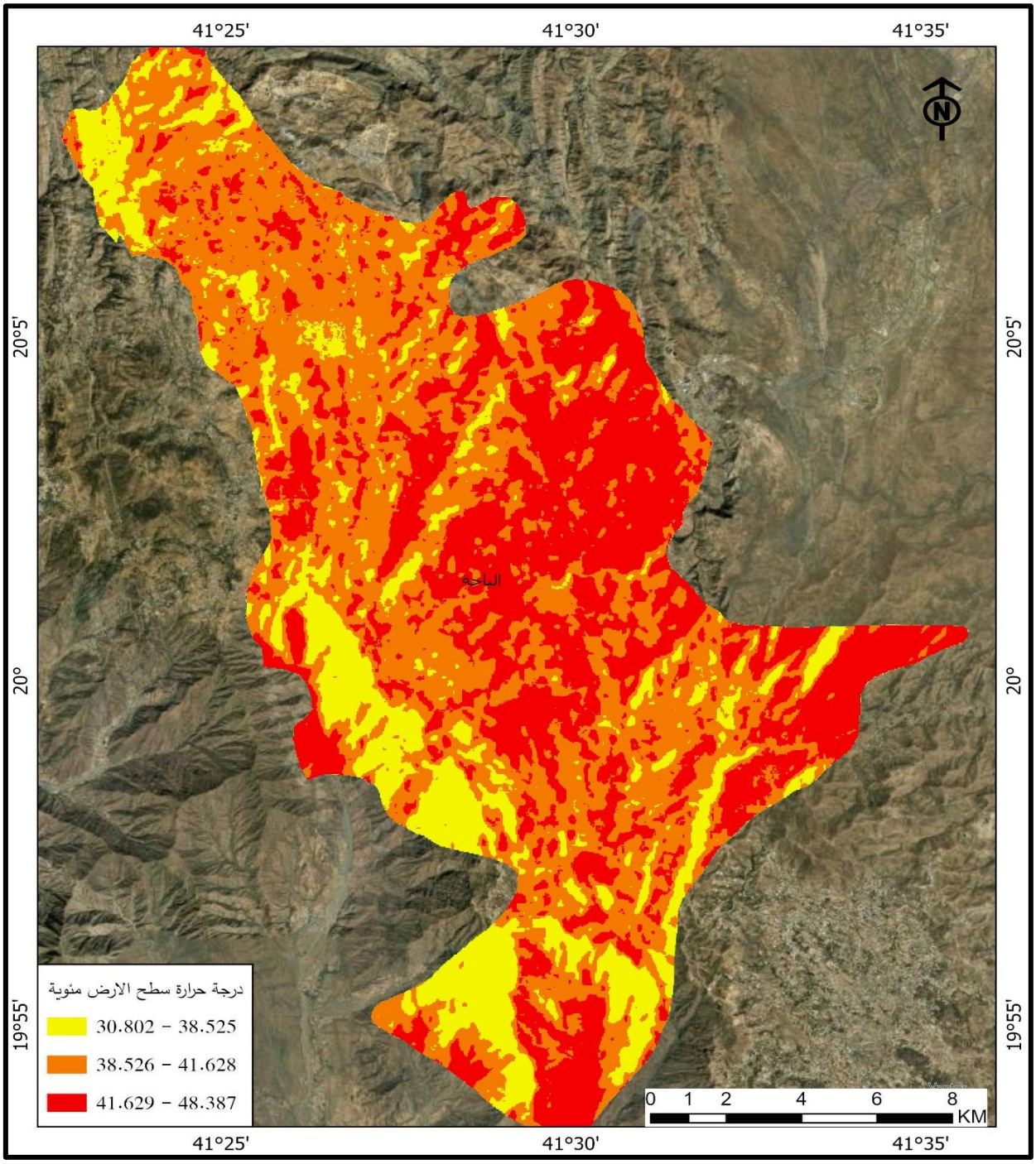
أوضحت خريطة درجة حرارة سطح الأرض (LST) تبايناً مكانياً واضحاً في القيم الحرارية، حيث يمثل النطاق الحراري المنخفض درجات حرارة تراوحت بين 30.802°م و38.525°م، وقد تركز هذا النطاق بصورة رئيسية في الأجزاء الشمالية الغربية وبعض الامتدادات الطولية في القطاعين الأوسط والجنوبي الغربي. وتشير هذه القيم إلى المناطق الأقل تأثراً بالإجهاد الحراري، والتي ترتبط غالباً بالمرتفعات الجبلية والأودية ذات الغطاء النباتي الكثيف، حيث تسهم عوامل الارتفاع والتظليل وزيادة معدلات التبخر والنتح في خفض حرارة السطح. كما يلاحظ تراجع المساحة المكانية لهذا النطاق مقارنة بالفترات السابقة، الأمر الذي قد يعكس تزايد التأثيرات الحرارية المرتبطة بالتغيرات البيئية والتوسع العمراني. عبد الحليم علي. (2007).

أما النطاق الحراري المتوسط، فقد سجل درجات حرارة تراوحت بين 38.526°م و41.628°م، ويُعد نطاقاً انتقالياً بين المناطق المعتدلة نسبياً والمناطق مرتفعة الحرارة. وقد انتشر هذا النطاق في أجزاء واسعة من القطاعين الشمالي والأوسط، خاصة في المناطق المحيطة بالتجمعات العمرانية والمناطق ذات الغطاء النباتي المحدود أو المفتوح، مما يشير إلى تأثر هذه البيئات بعوامل حرارية متوسطة ناتجة عن التداخل بين العناصر الطبيعية والبشرية. عبد الحليم علي. (2007)

وفي المقابل، يمثل النطاق الحراري المرتفع، درجات حرارة تراوحت بين 41.629°م و48.387°م، ويعكس وجود بؤر حرارية مرتفعة (Thermal Hotspots) داخل منطقة الدراسة. وقد تركز هذا النطاق بشكل واسع في الأجزاء الشرقية والجنوبية الشرقية، مع امتداده نحو المنطقة المركزية لمدينة الباحة، وهو ما يدل على تصاعد التأثيرات الحرارية الناتجة عن التوسع العمراني وزيادة الأسطح غير المنفذة مثل الخرسانة والإسفلت، إضافة إلى انتشار الأراضي الجافة المكشوفة التي تمتاز بقدرتها العالية على امتصاص الإشعاع الشمسي وإعادة إشعاعه. عبد الحليم علي. (2007)

تشير نتائج التحليل المكاني إلى تصاعد واضح في شدة ظاهرة الجزيرة الحرارية الحضرية داخل منطقة الدراسة، حيث اتسعت النطاقات الحرارية المرتفعة وازدادت ترابطاً، خاصة في مركز مدينة الباحة والأجزاء الشرقية منها، وهو ما يعكس التأثير المباشر للتوسع العمراني وتزايد الأسطح المبنية على حساب الغطاء الطبيعي. كما أظهرت النتائج استمرار التباين الحراري المرتبط بالعوامل الطبوغرافية، إذ سجلت المرتفعات الغربية والشمالية الغربية درجات حرارة أقل نسبياً نتيجة تأثير الارتفاع وكثافة الغطاء النباتي، في حين ارتفعت درجات الحرارة في المناطق الشرقية المنخفضة والمكشوفة بسبب ضعف الغطاء النباتي وسيادة الأراضي الجافة والأسطح الصخرية. كذلك لوحظ تراجع مساحة النطاقات الحرارية المنخفضة وتحول أجزاء منها إلى نطاقات أكثر حرارة، مما يشير إلى اتجاه متزايد نحو ارتفاع حرارة السطح وتنامي التأثيرات البيئية والمناخية المحلية. وتبرز أهمية هذه النتائج في دعم التخطيط الحضري المستدام ووضع استراتيجيات فعالة للتخفيف من الجزر الحرارية، من خلال تعزيز المساحات الخضراء وتحسين إدارة استخدامات الأراضي. عبد الحليم علي. (2007)

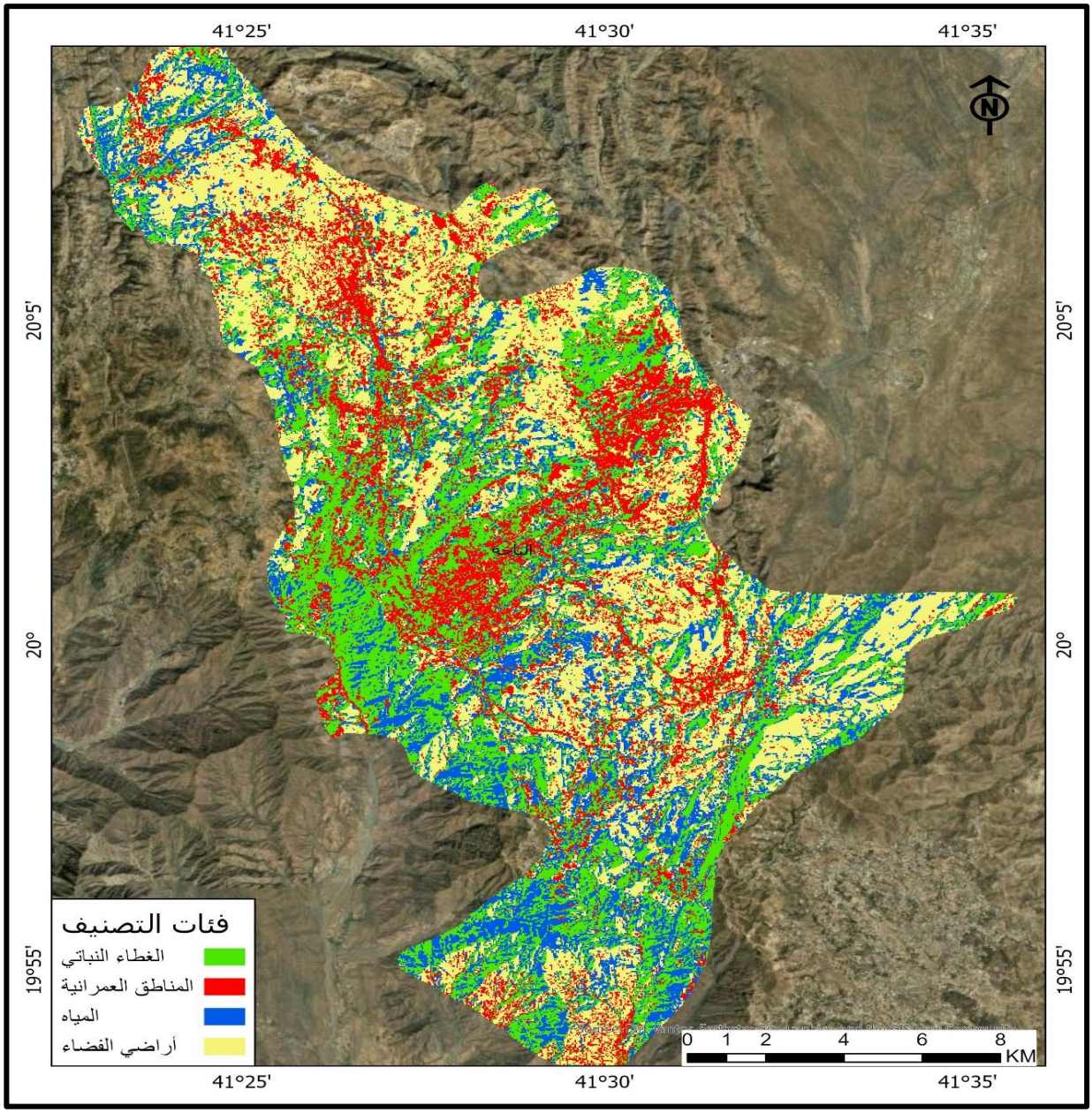
International Journal for Scientific Research (IJSR)
المجلة الدولية للبحوث العلمية
IJSR
Vol. (5), No. (6) June 2026 الإصدار (5)، العدد (6)



شكل (4): درجة حرارة سطح الأرض لمدينة الباحة عام 2025 (المصدر: من عمل الطالب اعتماداً على منصة google earth engine GEE وبرنامج ARC GIS PRO عام 2025)

ويشير التغير في رجة حرارة سطح الأرض في مدينة الباحة بين عامي 2020 و2025 إلى تزايد التأثيرات الحرارية وتوسع ظاهرة الجزيرة الحرارية الحضرية، حيث تراجعت مساحة النطاقات الحرارية المنخفضة وانكمشت المناطق الباردة المرتبطة

بالمرتفعات والأودية النباتية، مقابل اتساع النطاقات الحرارية المتوسطة والمرتفعة، خاصة في الأجزاء الشرقية والمركز الحضري للمدينة. كما أظهر التحليل استمرار التباين الحراري بين المرتفعات الغربية الأكثر اعتدالاً والمناطق الشرقية المنخفضة الأكثر حرارة، نتيجة اختلاف الخصائص الطبوغرافية والغطاء الأرضي. ويعكس هذا التحول التأثير المباشر للتوسع العمراني وزيادة الأسطح غير المنفذة على حساب الغطاء الطبيعي، مما يؤكد أهمية تبني استراتيجيات تخطيط حضري مستدامة تعتمد على تعزيز المساحات الخضراء والحد من التمدد العمراني غير المنظم للتخفيف من حدة الإجهاد الحراري. عبد الحليم علي. (2007)



شكل (5): التصنيف المراقب لمدينة الباحة عام 2020 (المصدر: من عمل الطالب اعتماداً على المرئية الفضائية LANDSAT8 باستخدام برنامج (2020.ARC GIS PRO

مرحلة عام 2025:

يمثل تصنيف عام 2025 مؤشراً دقيقاً على التحولات في استخدامات الأراضي بمدينة الباحة، حيث تعكس التفاعل بين التوسع الحضري والتغيرات البيئية والطبيعية. ويشير التحليل المكاني للبيانات إلى أن إجمالي المساحة المصنفة يبلغ نحو 249.4 كم²، مع التوزيع النسبي للفئات الرئيسة على النحو التالي:

تشكل الأراضي الفضاء المساحة الأكبر بمقدار 74 كم² (29.6%)، إلا أنها تعرضت لانخفاض نسبي لصالح التوسع العمراني، حيث تمثل هذه الفئة المناطق الجبلية والمنحدرات غير المستغلة، والتي تشكل فرصاً مستقبلية للتنمية الحضرية، كما يغطي الغطاء النباتي نحو 68 كم² (27.2%)، مسجلاً انخفاضاً مقارنة بعام 2020. يعكس هذا التراجع أثر التوسع العمراني على الأراضي الخضراء، إضافة إلى التأثر بالأنماط المطرية الموسمية، التي تؤثر بشكل مباشر على نمو النباتات المؤقتة والموسمية في بطون الأودية والمناطق الرطبة

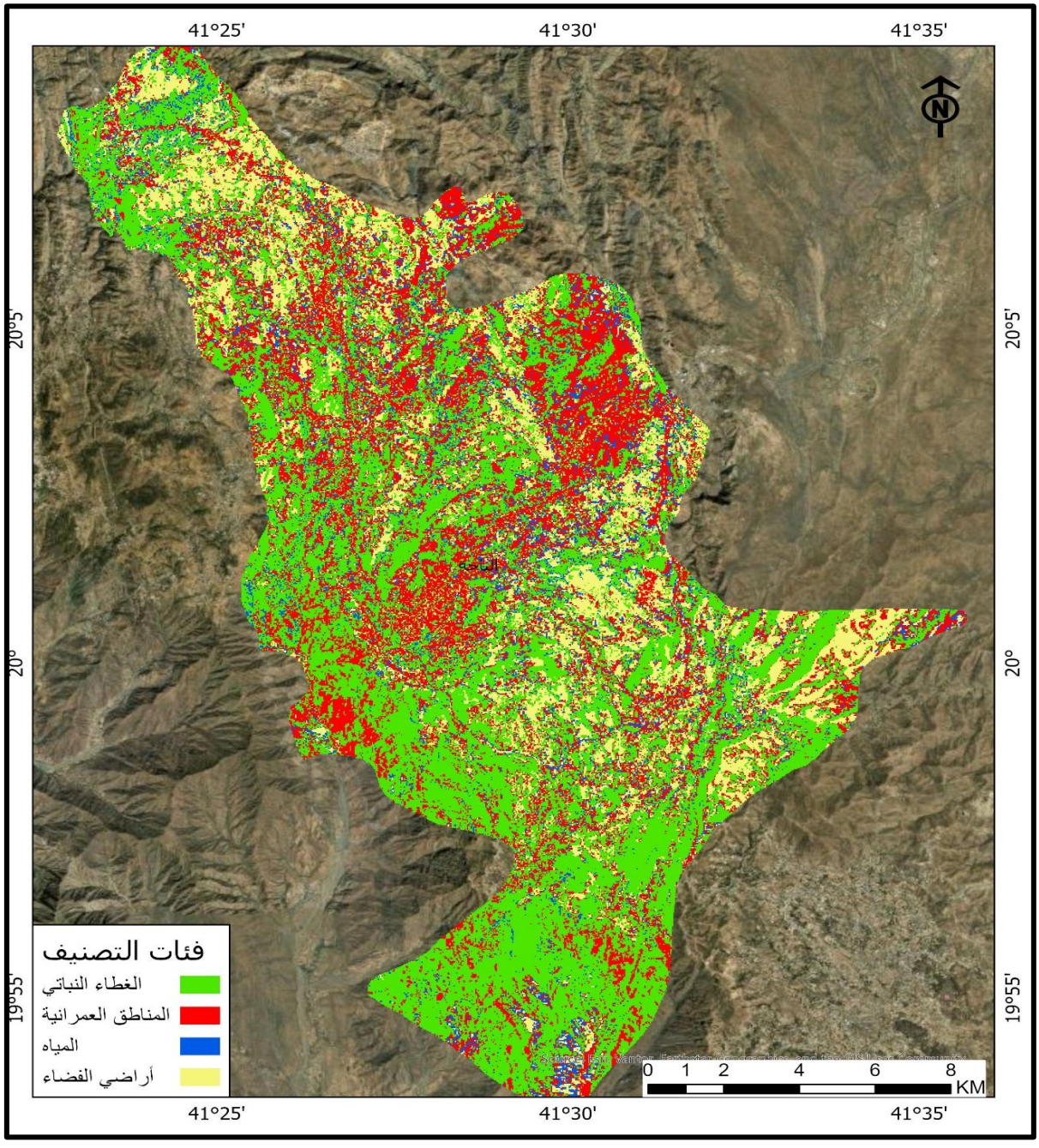
وبالتالي تعرضت المناطق العمرانية لزيادة ملحوظة لتصل إلى 56.7 كم² (22.8%)، وهو ما يعكس النشاط التنموي المكثف في المدينة، بما في ذلك إنشاء وحدات سكنية جديدة وتوسيع شبكات البنية التحتية والخدمات العامة، بما يتوافق مع الزيادة في الكثافة السكانية خلال هذه الفترة.

أما المسطحات المائية، فتغطي حوالي 50.7 كم² (20.3%)، وهو مؤشر على أهمية السدود والمجاري المائية في دعم الموارد المائية بالمنطقة. ويعود هذا الاستقرار أو الارتفاع الجزئي في المسطحات المائية إلى تحسين أنظمة جمع مياه الأمطار وإنشاء خزانات جديدة، بما يسهم في الحفاظ على الغطاء النباتي واستدامة النظام البيئي المحلي. (Alsharif et al., 2021)

ومن الناحية المكانية، يمكن تمييز عدة ظواهر رئيسية من خلال التحليل:

- يشير إلى التوسع الأفقي للمدينة في الأراضي المتاحة، وقد بلغ إجمالي مساحة العمران نحو 57 كم² للزحف.
- تركيز الغطاء النباتي في الأطراف الجنوبية والغربية للمدينة، وهو يمثل الغطاء الشجري الدائم، مثل غابات رغدان ومديد، بينما تراجعت المساحات المغطاة بالحشائش الموسمية التي كانت تنتشر في بطون الأودية خلال سنوات الأمطار الغزيرة.
- يشير بقاء المسطحات المائية عند مستوى أعلى من 50 كم² إلى استدامة الموارد المائية، وهو عامل أساسي للحفاظ على الغطاء النباتي الطبيعي ودعم التوازن البيئي المحلي.
- بشكل عام تبرز التوازنات بين التوسع العمراني، والحفاظ على الغطاء النباتي، واستدامة الموارد المائية، مما يعزز فهم التحولات المكانية والبيئية بمدينة الباحة.

International Journal for Scientific Research (IJSR)
المجلة الدولية للبحوث العلمية
IJSR
Vol. (5), No. (6) June 2026 الإصدار (5)، العدد (6)



شكل (6): التصنيف المراقب لمدينة الباحة عام 2025 (المصدر: من عمل الطالب اعتماداً على المرئية الفضائية LANDSAT8 باستخدام برنامج (2025.ARC GIS PRO

معدلات التغيرات المكانية:

تستخدم مجموعة من المؤشرات الكمية لاشتقاق معدلات التغير في استخدامات الأراضي نحو الشمال اعتماداً على نتائج مصفوفة الانتقال، ومن أهمها معدل التغير السنوي وصافي التغير، حيث يمكن التعبير عنها رياضياً كما يلي (Pugh & Murphy, 2010):

- **أولاً: معدل التغير (Change Rate):**

$$CR = \frac{A_2 - A_1}{A_1} \times 100$$

حيث:
- A_1: مساحة الفئة في السنة الأولى (2020)
- A_2: مساحة الفئة في السنة الثانية (2025)
- CR: معدل التغير (%)

ويعبر هذا المؤشر عن نسبة الزيادة أو النقصان في مساحة فئة معينة خلال فترة زمنية محددة.

- **ثانياً: معدل التغير السنوي (Annual Change Rate):**

$$ACR = \frac{A_2 - A_1}{t}$$

حيث:
- t: عدد السنوات بين الفترتين الزمنيتين
- ACR: معدل التغير السنوي (كم²/سنة)

ويستخدم هذا المؤشر لتحديد سرعة التغير، سواء كان توسعاً عمرانياً أو تراجعاً في الغطاء النباتي.

- **ثالثاً: صافي التغير (Net Change):**

$$NC = G - L$$

حيث:
- G : المساحة المكتسبة (Gains) من الفئات الأخرى
- L : المساحة المفقودة (Losses) إلى فئات أخرى
- NC : صافي التغير

ويُعد هذا المؤشر مهماً في تحديد ما إذا كانت الفئة في حالة نمو أو تراجع فعلي.

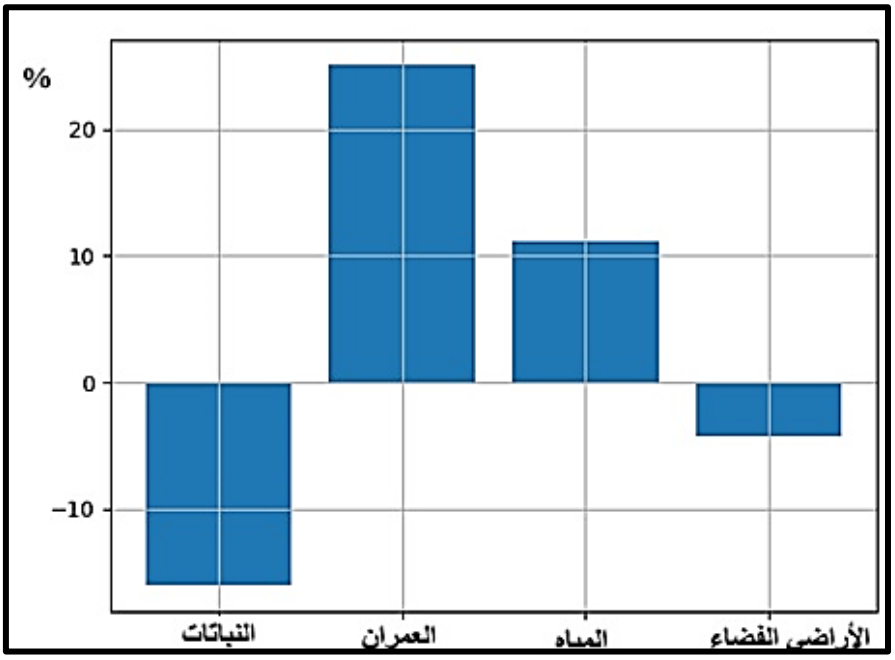
جدول (4): مساحات فئات التصنيف لعامي 2020 و2025 (المصدر: من عمل الطالب نتيجة التصنيف الموجه)

الفئة	المساحة 2020 كم²	المساحة 2025كم²
الغطاء النباتي	81	68
العمران	45.5	56.9
المياه	45.6	50.7
الأراضي الفضاء	77.3	74

وتم تطبيق على 5 سنوات وذلك لمعرفة مقدار التغير في السنة الواحدة سواء بمساحات مضافة أو مساحات مقتطعة.

جدول (5): مساحات فئات التصنيف لعامي 2020 و2025 (المصدر: من عمل الطالب، اعتماداً على تطبيق المعادلات على مساحات فئات التصنيف (2023

الفئة	معدل التغير(%)	معدل التغير السنوي
الغطاء النباتي	-16.05%	-2.6كم²/سنة
العمران	+25.05%	+2.28كم²/سنة
المياه	+11.18%	+1.02كم²/سنة
الأراضي الفضاء	-4.27%	-0.66كم²/سنة



شكل (7): النسب المئوية لمعدلات التغير السنوي من 2020 وحتى 2025

تشير نتائج تحليل معدلات التغير في استخدامات الأراضي بمدينة الباحة خلال الفترة (2020–2025) إلى حدوث تحولات مكانية واضحة بين الفئات المختلفة. فقد سجلت المناطق العمرانية أعلى معدل تغير موجب بلغ نحو 25.05%، وبمعدل نمو سنوي يقدر بحوالي 2.28 كم²/سنة، مما يعكس تسارعاً ملحوظاً في وتيرة التوسع الحضري داخل المدينة.

وفي المقابل، أظهر الغطاء النباتي تراجعاً ملحوظاً، حيث بلغ معدل التغير -16.05%، بمعدل سنوي يقارب -2.6 كم²/سنة، وهو ما يشير إلى انخفاض المساحات الخضراء نتيجة الضغوط الناتجة عن التوسع العمراني، إضافة إلى التأثيرات المحتملة للتغيرات البيئية والمناخية.

وبالنسبة للمسطحات المائية، فقد سجلت زيادة نسبية بلغت 11.18%، بمعدل نمو سنوي يقدر بنحو 1.02 كم²/سنة، وهو ما قد يعكس تحسناً في إدارة الموارد المائية أو زيادة كفاءة حصاد مياه الأمطار. في حين أظهرت الأراضي الفضاء انخفاضاً طفيفاً بمعدل -4.27%، مما يدل على تحول جزء منها إلى استخدامات عمرانية خلال فترة الدراسة.

وعند ربط هذه النتائج بمصفوفة الانتقال، يتضح أن اتجاهات التغير تسير بشكل رئيسي نحو التوسع العمراني على حساب كلٍ من الغطاء النباتي والأراضي الفضاء، وهو ما يعكس نمطاً واضحاً من الزحف العمراني. (Urban Sprawl)

تحليل اتجاه النمو المكاني:

لفهم كيفية توسع المدينة بشكل أفضل، تم تحليل اتجاهات النمو العمراني باستخدام الخرائط المصنفة:

1. نمط محوري: لوحظ توسع عمراني على طول المحاور الرئيسية للشوارع والشوارع الثانوية، مما يشير إلى تأثير شبكة الطرق على توجيه النمو.
2. نمط شعاعي: يظهر توسع متجه من مركز المدينة نحو الأطراف، خاصة في المناطق ذات الكثافة السكانية العالية.
3. نمط شريطي: تتركز بعض التوسعات على طول الأودية ووديان الريف، غالباً نتيجة سهولة البناء بالقرب من مصادر المياه المؤقتة.
4. نمط عنقودي: لوحظ ظهور تجمعات عمرانية صغيرة في الأطراف، خاصة بالقرب من المناطق السياحية والطرق الفرعية، ما يعكس تأثير النشاط السياحي في توجيه النمو العمراني.

ويبرز هذا التحليل أن النمو العمراني في مدينة الباحة ليس عشوائياً، بل يتأثر بالعوامل المكانية مثل شبكة الطرق، الأنشطة السياحية، والمراكز الحضرية القائمة، وهو ما يعزز أهمية تبني استراتيجيات تخطيط حضري مستدامة تهدف إلى تحقيق التوازن بين متطلبات التنمية العمرانية والحفاظ على الموارد البيئية في المدينة.

التنبؤ بالتغيرات المكانية المحتملة لمدينة الباحة لعام 2030 باستخدام نموذج CA-Markov:

يمثل هذا الجزء إضافة علمية مهمة للدراسة، حيث يتيح التنبؤ بالتوسع الحضري والتحولات المستقبلية في استخدامات الأراضي/الغطاء الأرضي. أشارت نتائج نموذج CA-Markov إلى أن المساحات العمرانية ستستمر في النمو لتصل إلى نحو 91 كم² بحلول عام 2030، بينما يُتوقع انخفاض الغطاء النباتي إلى حوالي 72 كم²، واستقرار الأراضي الفضاء عند نحو 69 كم².

أما الانخفاض الكبير المتوقع في المسطحات المائية، والذي يظهر من 50.7 كم² في عام 2025 إلى نحو 17 كم² في التنبؤ لعام 2030، فيتطلب تفسيراً علمياً دقيقاً. ويمكن تفسير هذا الانخفاض بعدة عوامل محتملة:

1. تغيرات مناخية محتملة: انخفاض معدلات الهطول المطري في بعض السنوات المستقبلية، مما يقلل من تجمع المياه في الأودية والسدود .
2. اختلاف مواسم ووقت التقاط الصور الفضائية: صور الأقمار الصناعية المستخدمة للنمذجة قد تم التقاطها في فترات مختلفة من السنة، حيث يمكن أن تكون بعض الصور في مواسم جفاف نسبي، مما يقلل من المسطحات المائية الظاهرة.
3. تغير حجم السدود والتخزين المائي: اختلاف مستويات امتلاء السدود والخزانات نتيجة تقلبات الموارد المائية المحلية أو التدخل البشري قد يؤثر على المسطحات المائية الظاهرة.
4. تأثير التوسع العمراني على الموارد المائية: تحويل الأراضي إلى استخدامات عمرانية يزيد من الطلب على المياه ويقلل من المسطحات المائية الطبيعية أو المؤقتة.

هذا التفسير يوضح أن الانخفاض الكبير في المسطحات المائية لا يُعتبر خللاً علمياً، بل يعكس تفاعلاً معقداً بين العوامل المناخية، الزمنية، والإدارية، والنشاط العمراني. ويتيح هذا التفسير ربط نتائج التنبؤ بالواقع البيئي والتخطيط العمراني المستقبلي.

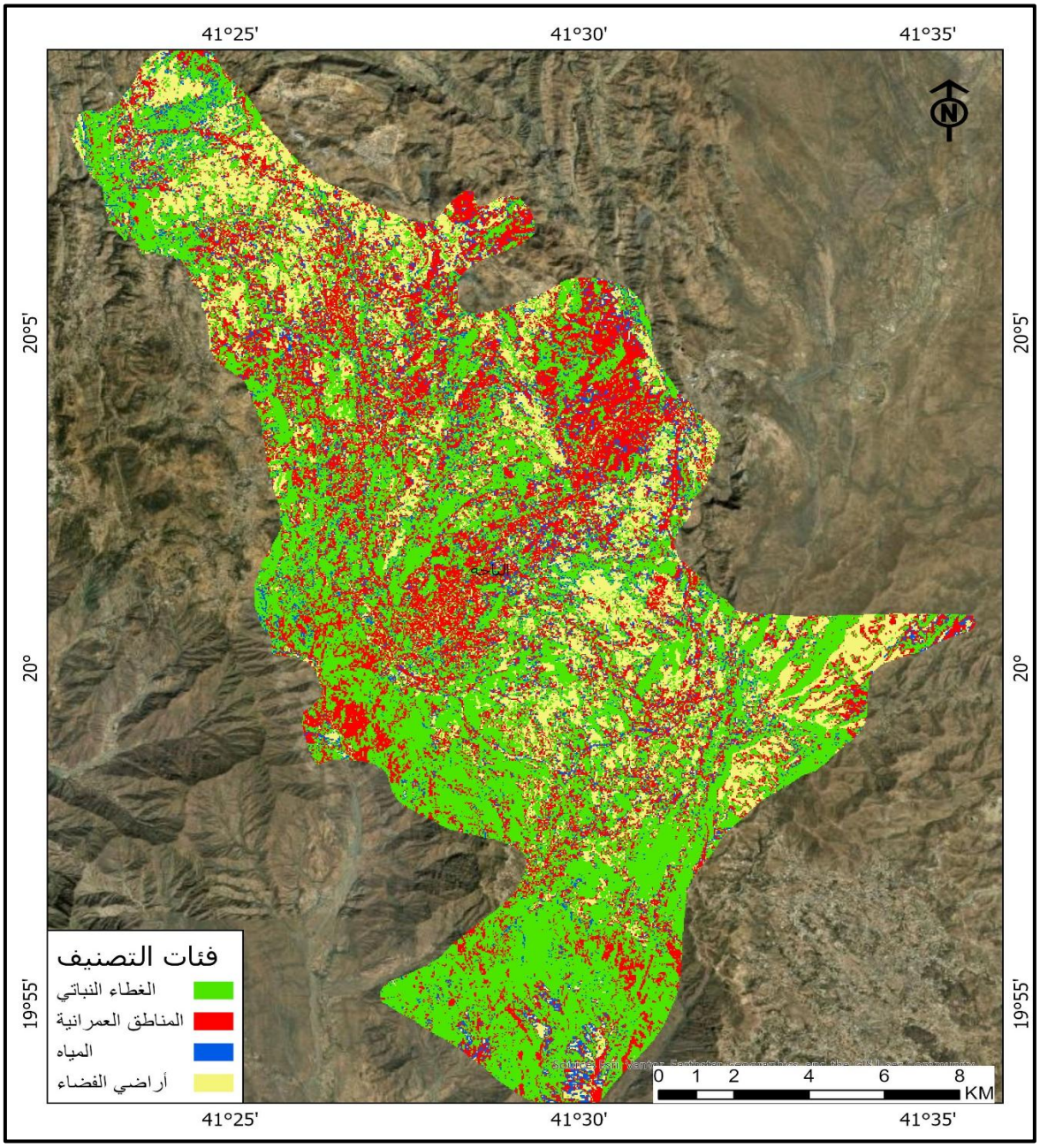
يعتمد التنبؤ باستخدام سلسلة ماركوف (Markov Chain) على تحليل التحولات السابقة بين فئات الغطاء الأرضي لتقدير الاحتمالات المستقبلية للتغير المكاني والزمني. تفترض هذه الطريقة أن الحالة المستقبلية للأرض تعتمد بشكل رئيسي على الحالة الحالية، دون الحاجة إلى الرجوع لجميع التغيرات السابقة، وهو ما يُعرف بخاصية "الذاكرة القصيرة" (Eastman, 2012).

وتم تطبيق نموذج ماركوف عبر منصة Google Earth Engine (GEE) لدراسة التغيرات المستقبلية في استخدامات الأراضي بمدينة الباحة.

استُخدمت بيانات التصنيف للفترتين 2020 و2025 لحساب مصفوفة الانتقال (Transition Matrix)، التي تمثل نسب التحول بين فئات الغطاء الأرضي المختلفة، مثل التحول من الغطاء النباتي إلى المناطق العمرانية أو من الأراضي الفضاء إلى المسطحات المائية. وبناءً على هذه الاحتمالات، تم توليد خريطة التنبؤ لعام 2030، حيث تشير النتائج إلى أن المساحات المستقبلية لكل فئة ستكون تقريبًا: الغطاء النباتي 72 كم²، المناطق العمرانية 91 كم²، المسطحات المائية 17 كم²، والأراضي الفضاء 69 كم².

تشير هذه التوقعات إلى استمرار الزحف العمراني (Urban Sprawl)، مع زيادة ملموسة في مساحة المناطق العمرانية، في حين يشهد الغطاء النباتي انخفاضًا طفيفًا مقارنة بالفترات السابقة. كما توضح النتائج أن الأراضي الفضاء ستظل فئة مهمة، لكنها معرضة للتحول نحو الاستخدام العمراني في حال استمرار النمو السكاني والتوسع الحضري. من الناحية البيئية، يعكس انخفاض المسطحات المائية أهمية تحسين إدارة الموارد المائية لضمان استدامة الغطاء النباتي الطبيعي ودعم النظام البيئي المحلي.

ويظهر تطبيق نموذج ماركوف عبر منصة Google Earth Engine مزايا كبيرة، إذ يمكن من إجراء التحليل المكاني والزمني بشكل فعال على بيانات الأقمار الصناعية، كما يساهم في دعم التخطيط الحضري والبيئي من خلال تقديم توقعات كمية لمساحات الفئات المستقبلية، وتمكين تصور سيناريوهات مختلفة للتنمية المستدامة في مدينة الباحة (Eastman, 2012; Pontius et al., 2008; Li et al., 2019).



شكل (8): التنبؤ المستقبلي للغير المكاني لمدينة الباحة عام 2030 (المصدر: من عمل الطالب اعتماداً على المرئية الفضائية LANDSAT8 باستخدام برنامج ARC GIS PRO)

النتائج

نتائج تحليل التغير المكاني لاستخدامات الأراضي بمدينة الباحة (2020–2025) والتنبؤ لعام 2030:

أظهرت نتائج تحليل التغير المكاني لاستخدامات الأراضي بمدينة الباحة خلال الفترة (2020–2025)، إلى جانب نتائج التنبؤ باستخدام نموذج ماركوف حتى عام 2030، وجود تحولات مكانية واضحة تعكس اتجاهاً تدريجياً نحو التوسع العمراني على حساب بعض الأنماط الأرضية الأخرى.

حيث بينت النتائج أن الاستخدامات العمرانية شهدت نمواً ملحوظاً خلال فترة الدراسة، إذ ارتفعت مساحتها من مستوياتها في عام 2020 لتصل إلى ما يقارب (50.7 كم²) في عام 2025، مع توقع استمرار هذا النمو ليبلغ نحو (91 كم²) بحلول عام 2030. ويلاحظ أن هذا التوسع يتمركز بشكل رئيسي بمحاذاة شبكة الطرق الرئيسية وفي نطاقات قريبة من المراكز الجاذبة للنشاط السياحي والخدمي، بما يعكس ارتباط التوسع العمراني بالبنية التحتية والعوامل الاقتصادية المحلية.

وفي المقابل، أظهرت النتائج تراجعاً تدريجياً في الغطاء النباتي، مع توقع انخفاض مساحته إلى نحو (72 كم²) بحلول عام 2030، حيث يتركز هذا التراجع في بعض الأودية والمناطق المتاخمة للتوسع العمراني، وهو ما يشير إلى تأثر هذه الفئة بالضغوط الناتجة عن التحول العمراني والأنشطة البشرية المتزايدة.

كما أوضحت النتائج وجود انخفاض ملحوظ في المسطحات المائية بين عامي 2025 و2030، وهو ما قد يرتبط بعوامل متعددة من بينها اختلاف توقيتات التصوير الفضائي والتغيرات الموسمية في كميات المياه، إضافة إلى احتمالات التأثر بالتغيرات المناخية المحلية وانخفاض تدفق الأودية في بعض الفترات.

وفيما يتعلق بالأراضي الفضاء، فقد أظهرت النتائج استقراراً نسبياً في مساحتها الإجمالية، إلا أنها تمثل مخزوناً مكانياً مستمراً للتحول إلى استخدامات عمرانية، وهو ما يعكس نمط الزحف العمراني التدريجي داخل المدينة.

كما تشير النتائج إلى أن هذا التحول المكاني يتزامن مع زيادة سكانية ملحوظة في مدينة الباحة خلال العقد الأخير، الأمر الذي أسهم في زيادة الطلب على الأراضي العمرانية وتوجيه جزء من الأراضي الفضاء نحو الاستخدام السكني والخدمي، بما يعزز من العلاقة بين النمو السكاني والتوسع الحضري.

وبشكل عام، تعكس النتائج وجود ضغط بيئي ومكاني متزايد في المناطق القريبة من محاور الطرق الرئيسية والمناطق السياحية، وهي المناطق ذاتها التي شهدت أعلى معدلات التغير في استخدامات الأراضي خلال فترة الدراسة.

التوصيات

في ضوء نتائج الدراسة المتعلقة بالتغير المكاني لاستخدامات الأراضي بمدينة الباحة، يمكن تقديم مجموعة من التوصيات التخطيطية التي تهدف إلى تحقيق التوازن بين النمو العمراني والحفاظ على الموارد الطبيعية.

توصي الدراسة بضرورة الحفاظ على الغطاء النباتي والمناطق الخضراء من خلال حماية الغابات الطبيعية في الأطراف الجنوبية والغربية للمدينة من التعديات العمرانية، مع تعزيز برامج التشجير في المناطق الرطبة ومجاري الأودية، إلى جانب العمل على إعادة تأهيل الأراضي المتدهورة بما يسهم في دعم الاستدامة البيئية وتقليل الضغط على الغطاء النباتي القائم.

كما توصي بضرورة ضبط التوسع العمراني من خلال وضع اشتراطات تنظيمية تمنع التمدد في بطون الأودية والمناطق البيئية الحساسة، وتشجيع التوسع الرأسي داخل النطاق العمراني القائم بدلاً من التوسع الأفقي الذي يؤدي إلى استهلاك الأراضي الفضاء. كما ينبغي توجيه النمو العمراني نحو المناطق الأقل حساسية بيئياً والأكثر جاهزية من حيث البنية التحتية، بما يضمن كفاءة استخدام الأراضي واستدامة الموارد.

وفي جانب التقنيات الحديثة، تؤكد الدراسة على أهمية توظيف نظم الاستشعار عن بعد ومنصات التحليل الجغرافي مثل Google Earth Engine في المتابعة الدورية للتغيرات المكانية، بما يتيح رصد ديناميكيات النمو العمراني والغطاء النباتي بشكل مستمر. كما يُوصى بالاعتماد على نماذج التنبؤ المكاني مثل نموذج ماركوف في إعداد سيناريوهات مستقبلية تدعم صناع القرار في وضع خطط تنموية قائمة على أسس علمية.

أما على مستوى التخطيط الاستراتيجي، فتدعو الدراسة إلى تبني سياسات عمرانية متكاملة تحد من التوسع العشوائي، من خلال تحديد مناطق نمو مستقبلية تعتمد على تحليل الخصائص البيئية وشبكة الطرق والمناطق السياحية. كما يُوصى بتعزيز التكامل بين التخطيط العمراني والتنمية السياحية بما يحقق الاستفادة الاقتصادية من المقومات الطبيعية دون الإضرار بها.

المراجع

1. الاسمري، شهرة دليم علي والجحيدب، مساعد عبدالرحمن (2024)، رصد تغير النمو العمراني ومحاكاته في مدينة ينبع باستخدام نماذج ماركوف في بيئة نظم المعلومات الجغرافية، المجلة الجغرافية العربية المجلد 55، العدد 83.
2. الجنابي، فؤاد جياد مطر 2024، التحليل الجغرافي للتوسع الحضري في مدينة الحلة باستخدام التقنيات الحديثة. مجلة الدراسات المستدامة، مج، 6ع،2.
3. حسين، وائل مصطفى محمود، 2023، التنبؤ المستقبلي للغطاء الأرضي بمركز الرياض – محافظة كفر الشيخ باستخدام نموذج ماركوف في الفترة من 1988 – 2056، (المجلة الجغرافية العربية، المجلد، 54العدد 81، يونيو، ص ص 39-1.
4. الأسمري، شهرة دليم علي والجحيدب، مساعد عبدالرحمن (2024)، رصد تغير النمو العمراني ومحاكاته في مدينة ينبع باستخدام نماذج ماركوف في بيئة نظم المعلومات الجغرافية، المجلة الجغرافية العربية المجلد 55، العدد 83.
5. عبيد، حامد ذياب وعبد الجليل، مصطفى (2024)، التنبؤ بتغيرات الغطاء الأرضي لمدينة الكوت باستخدام الأوتوماتا الخلوية وتقنيات نمذجة ماركوف، مجلة المخطط والتنمية، مجلة المخطط والتنمية، مجلد 29، العدد 2.
6. ابن بلال، عنبره بنت خميس، 2003 بعض الآثار البيئية للتوسع العمراني الأفقي في مدينة الرياض: اختفاء الطرز المعمارية الطينية وزيادة الاستهلاك الكهربائي السكني ونتائجه. أبحاث الملتقى الثالث للجغرافيين العرب: المدن الكبرى في الوطن العربي، الرياض: الجمعية الجغرافية السعودية وجامعة الملك سعود 180-157.
7. حسين، وائل مصطفى محمود، 2023، التنبؤ المستقبلي للغطاء الأرضي بمركز الرياض – محافظة كفر الشيخ باستخدام نموذج ماركوف في الفترة من 1988 – 2056، (المجلة الجغرافية العربية، المجلد، 54العدد 81، يونيو، ص ص 39-1.
8. خضير، عباس عبدالحسين. (2013). الأثار البيئية للتوسع العمراني على استعمالات الأرض الزراعية لمدينة بغداد. مجلة الآداب، ع،106 437 -460.
9. سليمان، دولت محمد أحمد، 2022 المظاهر الجيومورفولوجية وأثرها على السياحة: منطقة الباحة جنوب المملكة العربية السعودية – أنموذجا. مجلة القلزم للدراسات الجغرافية والبيئية، ع 39- 68. ،7.
10. الخجخاج، أمراجع محمد، 2020 تقييم التوسع الحضري واستخدامات الأرض في مدينة البردي للفترة 2009-1966م: دراسة في التخطيط الحضري.مجلة جامعة بنغازي الحديثة للعلوم والدراسات الإنسانية، ع11.
11. القرني، عبدالله بن علي، والزامل، وليد بن سعد، 2019، أثر الزحف العمراني على البيئة الطبيعية في منطقة الباحة في المملكة العربية السعودية، ملتقى البيئة الجغرافي برؤية 2030، الرياض /المملكة العربية السعودية: جامعة الأميرة نورة.
12. الخالدي، عبدالله بن سعد بن محمد بن سعال. (2015). تطبيق المعايير الجغرافية في تخطيط المدينة الصحراوية: مدينة الباحة نموذجا. مجلة جامعة طيبة للآداب والعلوم الإنسانية، مج,4 ع،6.

1. Cheng, Li, (2014). Monitoring and analysis of urban growth process using Remote Sensing, GIS and Cellular Automata modeling: A case study of Xuzhou city, China.
2. Eastman, J. R., (2012). IDRISI Selva Tutorial: Markov Chain Analysis for Land Cover Change. Clark University.

3. Li, X., Yeh, A. G., & Zhang, Y., (2019). Modeling urban growth using Markov chain and cellular automata: a case study of Shenzhen, China. Computers, Environment and Urban Systems, 75, 71–83.
4. Motlagh, Z. et al., (2020). Spatial modeling of land-use change in a rapidly urbanizing landscape in central Iran: integration of remote sensing, CA-Markov, and landscape metrics. Environmental Monitoring and Assessment, 192:695.
5. Pontius, R. G., Shusas, E., & McEachern, M., (2008). Detecting important categorical land changes while accounting for persistence. Agriculture, Ecosystems & Environment, 127(1–2), 225–232.
6. Pugh, S. A., & Murphy, S. L., (2010). Methods for Computing Rates of Land Cover Change.
7. Tang, J., Wang, L., & Yao, Z., (2007). Spatio-temporal urban landscape change analysis using the Markov chain model and a modified genetic algorithm. International Journal of Remote Sensing, 28(15).
8. TANG, J. et al., (2007). Spatio-temporal urban landscape change analysis using the Markov chain model and a modified genetic algorithm. International Journal of Remote Sensing, 28(15), 1235-1258. (تم استخدام في التحليل في الدراسة الحالية)