

## رصد تغير النمو العمراني ومحاكاته في مدينة ينبع باستخدام نماذج ماركوف

### في بيئة نظم المعلومات الجغرافية

أ.د. مساعد عبدالرحمن الجعيد<sup>(٢)</sup>

أ. شهرة دليم علي الأسمر<sup>(١)</sup>

#### المُلخَص:

يساعد التنبؤ بالنمو الحضري المخططين وواضعي السياسات على فهم كيفية تفاعل أنماط النمو العمراني وتغيراته المكانية بين مدة وأخرى. وتهدف هذه الدراسة الى رصد ديناميكيات واتجاه النمو العمراني على حساب اغطية الأرض في مدينة ينبع بين عامي ٢٠٠٠ - ٢٠٢٠، ومحاكاة نمو العمران عام ٢٠٣٠ باستخدام الامتة الخلوية بنموذج (CA-MARKOV)، ونموذج سلسلة ماركوف (MARKOV-Chain) في بيئة نظم المعلومات الجغرافية. ولتحقيق هذا الهدف اتبعت الدراسة منهجية تدرجت من جمع مرئيات لاندسات للأعوام (٢٠٠٠، ٢٠١٠، ٢٠٢٠) لاشتقاق طبقات العمران وأغطية الارض في المدينة، وجمع بيانات متغيرات معايير الملاءمة المكانية للنمو العمراني التي تعتبر ضمن مدخلات محاكاة نمو العمران بنموذج سلسلة ماركوف، وبالتالي تمت معالجة البيانات، واشتقاق الطبقات المعلوماتية لمختلف متغيرات تطبيق نماذج محاكاة العمران في المدينة عام ٢٠٣٠.

وتوصلت نتائج الدراسة الى زيادة مساحة المنطقة المبنية في مدينة ينبع من ٤٩,٨٨ كم<sup>٢</sup> بنسبة ٥,٢١% عام ٢٠٠٠، إلى ٨٨,٩٣ كم<sup>٢</sup> بنسبة ٩,٣% عام ٢٠١٠، إلى ١٩٨,٤٨ كم<sup>٢</sup> بنسبة ٢٠,٥٧% عام ٢٠٢٠. وتؤكد نتائج محاكاة النمو العمراني بالنسبة لأغطية الارض في مدينة ينبع عام ٢٠٣٠ باستخدام نموذج (CA-MARKOV) استمرار توسع المباني لتبلغ مساحتها ٢٩٤,٣٧ كم<sup>٢</sup>، بنسبة ٣١,٥٢% من إجمالي مساحة المدينة عام ٢٠٣٠. وتتوقع نتائج المحاكاة بنموذج سلسلة ماركوف (Markov Chain) أن تبلغ مساحة الكتلة المبنية ٢٦٦,٠٨ كم<sup>٢</sup>، بنسبة ٢٧,٦٧% من إجمالي مساحة المدينة عام ٢٠٣٠. وتظهر نتائج المحاكاة تركيز الزيادة العمرانية عام ٢٠٣٠ بجوار المناطق المبنية اقل من ١ كم، القريبة من مركز المدينة اقل من ١٠ كم حيث تتركز المشاريع الانمائية والخدمية، وعلى جوانب الطرق الرئيسية والثانوية اقل من ١ كم، حيث تتجاوز كثافة السكان ٣٠٠ نسمة/كم<sup>٢</sup>، ويزيد معدل نمو السكان عن ٦% سنوياً، بالمناطق البعيدة نسبياً من مجاري الأودية الرئيسية ١٠٠-٥٠٠ م، حيث

(١) طالبة دكتوراة الفلسفة في الجغرافيا البشرية.

(٢) أستاذ الجغرافية الحضرية - كلية اللغة العربية والدراسات الاجتماعية - جامعة القصيم.

تنتشر الرواسب التي تتصف بكثافة ظاهرية معتدلة للتربة ١,٣-١,٤ غم/سم<sup>٣</sup>، بمناطق يقل ارتفاعها عن ٢٥ م، وتقل نسبة انحدارها عن ١٠٪، وتقل درجات حرارتها عن ٢٩,٥°، ورطوبتها عن ٩,٨ جرام/كج، وسرعة رياحها عن ٤,٥ م/ث، وأمطارها عن ٦٥ ملم/سنوياً، ونسبة تخزينها للمياه الجوفية عن ٣٥٠ ملم، ويقل الجريان السطحي عن ٦٠ كج/م<sup>٣</sup>/ث.

**كلمات مفتاحية:** النمو العمراني، المحاكاة، نموذج الامتة الخلوية ماركوف، نموذج سلسلة ماركوف، نظم المعلومات الجغرافية، مدينة ينبع.

### مقدمة:

التحضر ظاهرة نمو المناطق الحضرية (المباني) وكثافة السكان (Al Jarah, et al, 2019, p.3). وينتج عن نمو السكان وتحول المناطق الريفية إلى حضرية (Zhou & Chen, 2018, p. 1469). وشهدت المملكة في الأربعين سنة الماضية نمو عمراني بسبب التطور الاقتصادي السريع. وأدى اكتشاف النفط في الستينات إلى زيادة التنمية الحضرية وتسارع نمو المناطق الحضرية (Alahmadi & Atkinson, 2019, p.2). والمملكة من أكثر الدول تحضراً، حيث يعيش أكثر من ٨٠٪ من سكانها في الحضر (Al-Alola, et al, 2021, p.1). ويتركز ٨٠٪ في المراكز الحضرية الكبرى مثل الرياض وجدة ومكة والمدينة والنفوف والطائف والخبر وينبع والظهران والدمام (Abdul Salam, et al, 2014, p.2).

وتأثر التحضر في المدن السعودية كمدينة ينبع بعدة عوامل اجتماعية واقتصادية وسياسية. كالسكان والنواتج المحلي والنقل وسياسة استخدام الأرض والتخطيط الحضري (Arribas & Sanz, 2014, p. 981). وتلعب هذه العوامل دور مهم في تغيير نمو العمران، وساهمت سياسة التنمية في السعودية منذ السبعينيات بشكل كبير في نمو العمران، حيث نفذت الحكومة برنامج تنموي واسع النطاق في جميع أنحاء البلاد، تم تمويله من عائدات النفط (Alqurashi & Kumar, 2014, p. 106). ونتج عن هذه البرامج التنموية نمو العمران في مدينة ينبع رافقه تغيرات بيئية كالعوامل الهيدرولوجية والنظم المناخية والمناظر الطبيعية وتغير الغطاء الأرضي، ومع هذه التغيرات السريعة والديناميكية جاءت الحاجة لقياس ومحاكاة نمو العمران بالمدينة، وفهم أنماطه وعملياتها المكانية من بيانات الاستشعار عن بعد التي توفر معلومات جيدة عن تغير نمو العمران والغطاء الأرضي بين عامي ٢٠٠٠-٢٠٢٠، وقد شجع على ذلك توفر هذه البيانات ونماذج المحاكاة. وتواجه عدة مدن تحديات التنمية المستدامة في مواجهة تزايد السكان في

المناطق الحضرية، لذا أصبح رصد ومحاكاة نمو العمران وتغير الغطاء الأرضي أدوات أساسية لفهم وإدارة التحضر (Xu, et al, 2022, p.1).

وتعتبر نماذج محاكاة النمو العمراني أدوات كمية مهمة للتخطيط الحضري والبيئي، وإدارة القدرات، وملاءمة الأراضي للتنمية (Nouri, et al, 2014, p. 5556). وتستخدم نظم المعلومات الجغرافية بيانات الأقمار الصناعية لرصد ونمذجة تغير مورفولوجية المناطق الحضرية، فمنذ الستينيات ظهرت نماذج الامتدة الخلوية، والشبكة العصبية، وسلسلة ماركوف وغيرها، وسوف تستخدم الدراسة نموذجي الامتدة الخلوية (CA-MARKOV)، وسلسلة ماركوف (MARKOV-Chain).

وتعرف نماذج ماركوف بالعملية التي يمكن من خلالها صياغة المستقبل على أساس الحالة السابقة، وتصف تغير استخدام الأرض من فترة إلى أخرى، وتستخدم كأساس لتوقع التغيير مستقبلاً من خلال تطوير مصفوفة احتمالية انتقال أو تغير استخدام الأرض من المرة الأولى إلى الثانية، وتعتبر أساس التنبؤ، وتستخدم نماذج (Markov Cellular Automata) لنمذجة ومحاكاة وتخطيط تغير استخدام الأرض، وتحديد المجالات المناسبة للتنمية العمرانية، ويعد نموذج ماركوف أداة ملائمة لنمذجة تغير استخدام الأرض، وبذلك سيبدأ البحث باشتقاق طبقتي استعمالات الأرض في مدينة ينبع عامي (٢٠١٠-٢٠٢٠)، وتحديد دقة التصنيف تمهيدا لمحاكاة نمو العمران عام ٢٠٣٠. وسيعتمد البحث على طبقتي استخدام الأرض عامي ٢٠١٠، ٢٠٢٠ لمحاكاة نمو العمران عام ٢٠٣٠ باستخدام نموذج (MARKOV)، وعلى الرغم من ان نتائج احتمالية تحول فئات استخدام الارض ضمن هذا النموذج تكون دقيقة، لكن مشكلته تكمن في أنه لا يقدم أي معنى للجغرافيا، لأنه لا يحدد التوزيع المكاني ضمن فئات استخدام الأرض، أي أنه لا يوجد مكون مكاني في نتائج النمذجة. وللتغلب على هذه الاشكالية استخدم البحث نموذج (CA-MARKOV) لإضافة طابع مكاني لنتائج نموذج (MARKOV) لما لذلك من أهمية كبيرة لمتخذي القرار، ويعد هذا النموذج امتداد لنماذج تغير الغطاء الارضي (MCE) التي تجمع بين نموذج (MARKOV-Chain)، وإجراءات التنبؤ بالغطاء الأرضي بنموذجي (CA-MARKOV Markov)، وتحديدًا في طبقة منطقة التحولات، وسيطبق نموذج (CA-MARKOV) مرشح التجاور لتغير استخدام الأرض من عام (٢٠٢٠) حتى عام (٢٠٣٠)، وسيعمل على تطوير عامل ترجيح مكاني سيتم تطبيقه على الملاءمة، ويزن المناطق الأكثر ثقلاً القريبة من استخدام الأرض عام (٢٠٢٠)، مما يضمن محاكاة العمران عام (٢٠٣٠)، وسيقوم النموذج بتطبيق مرشح تواصل على فئة العمران يضرب في خريطة الملاءمة الأصلية عام ٢٠٢٠ لمحاكاة نمو العمران عام ٢٠٣٠.

من جانب آخر سيقوم البحث بمحاكاة نمو العمران بواسطة نموذج سلسلة ماركوف (MARKOV-Chain)، وسيتم تطوير سيناريو محاكاة العمران بالاعتماد على طبقتي استخدام الأرض عامي ٢٠١٠، ٢٠٢٠، وتطوير إحصائيات احتمالية اتجاه تغير استخدام الأرض عام (٢٠٣٠)، وحدد البحث مدى احتمالية تغير كل من الغطاء النباتي والتربة أو الرواسب والصخور والمياه الى عمران مستقبلا، اعقبه ادخال متغيرات معايير ملاءمة نمو العمران وتوجهاته المستقبلية التي صنفت فئاتها حسب اهميتها النسبية للنمو العمراني المستقبلي في مدينة ينبع عام ٢٠٣٠، وبعدها تم تشغيل نموذج التحول الارضي لنحصل على طبقة تبين امكانيات تحول الاغطية الارضية في مدينة ينبع الى عمران بالاعتماد على هذه المتغيرات المستقلة المؤثرة في تغير نمو عمران المدينة مستقبلا، وبالتالي تم الانتقال الى خوارزمية التنبؤ بتغير أغطية الارض (Change Prediction)، وتم استخدام نموذج سلسلة ماركوف (MARKOV-Chain) لمحاكاة نمو العمران في مدينة ينبع عام ٢٠٣٠.

#### دراسات سابقة:

- تتبأ (Yadav & Ghosh (2019) بالنمو الحضري في مدينة تشيناي في الهند باستخدام نموذج (CA-Markov)، وقيمت الدراسة تغيير اغطية الارض بين عامي ١٩٨١-٢٠١١ باستخدام مرئيات لاندسات، وتوصلت نتائج الدراسة الى زيادة المنطقة المبنية من ٤٠,٧٤ إلى ١٠٣,٥٢ كم٢ بين عامي ١٩٨١-٢٠١١، وتظهر نتائج التنبؤ امكانية زيادة المنطقة المبنية من ١٠٣,٥٢ كم٢ إلى ١٤٠,٧٩ كم٢ بين عامي ٢٠١١-٢٠٥١، وتؤكد نتائج النموذج امكانية تحول معظم النباتات والأراضي الجافة إلى مباني.
- طبق (Gidado, et al (2019) نموذج سلسلة ماركوف لتحليل النمو العمراني في حوض كينير في هولو تيرينجانو، واعتمدت الدراسة بيانات الاستشعار عن بعد والتصنيف الموجه لاشتقاق اغطية واستعمالات الارض، واعتمدت على نموذج سلسلة ماركوف للتنبؤ المستقبلي بالعمران عام ٢٠٣٠، وتوصلت نتائج النمذجة عن استمرارية نمو العمران في الحوض من ٥,٠٤ كم٢ عام ٢٠٠١، إلى ٧٩,٥١ كم٢ عام ٢٠٠٩، وإلى ١١٧,٠٣ كم٢ عام ٢٠١٦، وإلى ٢٢٠ كم٢ عام ٢٠٣٠.
- قامت دراسة (Alola, et al (2021) بالتنبؤ بديناميكيات تغير أغطية الأرض والآثار المرتبطة بها في مدينة القريات على طول مسار قطار الشمال في المملكة، واعتمدت على مرئيات لاندسات للأعوام ١٩٨٩، ٢٠٠٢، ٢٠١٣، ٢٠٢١، وتؤكد النتائج وجود ترابط قوي بين إنشاء مسار قطار الشمال وتطوير الأراضي والتوسع الحضري السريع في مدينة القريات، وتظهر النتائج أن المساحة المبنية

توسعت من ١,٩٦٪ عام ١٩٨٩ إلى ٧,٢٥٪ عام ٢٠٢١، ومن الممكن أن تبلغ النسبة حسب نموذج (CA-Markov) إلى أكثر من ٦٠٪ من إجمالي مساحة مدينة القريات ستتحوّل إلى مناطق حضرية عام ٢٠٣٠.

- نموذج (Baqa, et al (2021) أنماط واتجاهات النمو الحضري في مدينة كراتشي (باكستان) باستخدام نموذج (CA-Markov)، وصنفت الدراسة الغطاء الأرضي باستخدام مرئيات لاندسات ١٩٩٠، ٢٠٠٠، ٢٠١٠، ٢٠٢٠، واستخدام النموذج للتنبؤ عام ٢٠٣٠، وتوصلت نتائج الدراسة إلى أن المنطقة المبنية توسعت على حساب الأراضي الزراعية وأشجار المانغروف والأعشاب والشجيرات، وأكدت نتائج المحاكاة أن المساحة المبنية من الممكن أن تزيد من ٥٨٤,٧٨ كم<sup>٢</sup> عام ٢٠٢٠ إلى ٦٥٢,٥٩ كم<sup>٢</sup> عام ٢٠٣٠.

- استعمل (Adegbola, et al (2021) نموذج سلسلة ماركوف للتنبؤ باستخدام الأرض في حوض نهر الا، أكوري، نيجيريا، واعتمدت الدراسة على مرئيات لاندسات للأعوام ٢٠٠٠، ٢٠١٠، ٢٠١٩، واستخدمت الدراسة سلسلة ماركوف للتنبؤ بتغير الغطاء الأرضي عامي ٢٠٢٩، ٢٠٣٩، وتظهر نتائج تطبيق النموذج توسع المناطق الحضرية، وانخفاض كبير في مناطق التربة المفتوحة والأراضي العشبية والغابات والأراضي الرطبة والصخور، مما أدى إلى تقليل الأراضي المتاحة للزراعة في موسم الجفاف، وحدوث الفيضانات المستمرة.

- استخدم (Chisanga, et al (2022) منهجية ماركوف لنمذجة تغير أغطية الأرض في زامبيا، واعتمدت الدراسة على خرائط أغطية الأرض المصنفة من قبل وكالة الفضاء الأوروبية للأعوام ٢٠٠٠، ٢٠١٠، ٢٠٢٠، وعلى طبقتي أغطية الأرض لعامي ٢٠١٠ و ٢٠٢٠ كمدخلات للتنبؤ بأغطية الأرض ٢٠٣٠، وتوصلت نتائج التنبؤ إلى توقع زيادة مساحة العمران بنحو ٤٨١,٨٢ كم<sup>٢</sup>، وتراجع مساحة الأراضي الزراعية بنحو ٣٧٦ كم<sup>٢</sup>، ومساحة الغابات الكثيفة بنحو ٨,١٩ كم<sup>٢</sup>، ومساحة الأراضي العشبية ٧٠,٦٠ كم<sup>٢</sup>، والأراضي الرطبة ٢٦,٦٧ كم<sup>٢</sup>، والأراضي الجرداء ٠,٣٦ كم<sup>٢</sup> عام ٢٠٣٠.

- قام (Theres, et al (2023) بمحاكاة النمو الحضري في منطقة سالم، الهند باستخدام نموذج (Markov)، وقامت الدراسة بالتحقيق من تغير أغطية الأرض بين عامي (٢٠٠١ - ٢٠٢٠) ومحاكاة النمو العمراني عام ٢٠٣٠، وأظهرت النتائج تراجع الغطاء النباتي وزيادة الأراضي المبنية والجافة، مع انتقال سريع من الغطاء النباتي إلى الأرض الجرداء بين عامي (٢٠٠١ - ٢٠٢٠)،

فقد نما العمران بالمنطقة من ٥٩,٦ كم ٢ عام ٢٠٠١، إلى ٧٦ كم ٢ عام ٢٠١١، إلى ١٣٣,٣ كم ٢ عام ٢٠٢٠، ويتوقع تحول الأرض القاحلة إلى أرض مبنية في المستقبل القريب، حيث يقدر النموذج نمو العمران عام ٢٠٣٠ بنحو ١٧٩,٦ كم ٢.

- تطرق (٢٠٢٣) حسين للتنبؤ المستقبلي للغطاء الأرضي بمركز الرياض محافظة كفر الشيخ باستخدام نموذج ماركوف، واعتمدت الدراسة على التصنيف الموجبة لمريئات لاندسات للأعوام (١٩٨٨، ٢٠٠٠، ٢٠١١، ٢٠٢٢) لاستخلاص أغذية الأرض، وتوصلت نتائج المحاكاة (١٩٥٦) لإمكانية تراجع الأراضي الزراعية بنحو ٣,٣٪، ومزارع الاسماك بنحو ٢٥٪، وتراجع مساحة بحيرة البرنس بنحو ٧,٧٪، في المقابل يتوقع النموذج زيادة مساحة المباني عام ٢٠٥٦ بحوالي ١٥,٤ كم ٢ ما يقارب ١١٨,١٪.

وبالتالي تمتاز هذه الدراسة عن الدراسات السابقة باستخدامها لنموذجي ماركوف الأول يتنبأ بالعمران المستقبلي دون الأخذ في الإعتبار أي متغيرات مستقلة يمكن أن تؤثر في معدلات واتجاهات التغير في المستقبل، والثاني يُحاكي النمو العمراني المستقبلي في المدينة مع الأخذ بعين الإعتبار تأثير خمسة عشر متغير مستقل طبيعية وبشرية تحدد اتجاه وتغيرات العمران.

#### منطقة البحث:

مدينة ينبع إحدى مدن المملكة العربية السعودية تقع مكانياً شكل (١) غرب المملكة على ساحل البحر الأحمر الذي يبلغ طوله ١١١١ كم، وتعتبر مدينة ينبع مركز محافظة ينبع أحد محافظات منطقة المدينة المنورة، تقع المدينة فلكياً بين خطي طول (٢٤° ٣٨'، ٢٤° ٣٨') شرقاً، ودائرتي عرض (٥' ٠٥°، ٢٤° ٢٠') شمالاً، يحدها من الغرب البحر الأحمر، في حين يحدها من الشرق مجموعة من التلال الصغيرة تليها سلاسل غير متصلة من الجبال الموازية لسلسلة جبال الحجاز المرتفعة (السيد، ١٤٢٥، ص ١٤٥). وتبعد حوالي ١١٨ كم غرب المدينة المنورة و ١٨١ كم شمال غرب مدينة جدة.

وسُمّيت ينبع بهذا الاسم نسبةً إلى كثرة ينابيعها، إذ ذكر المؤرخون أنّها تضم ٣٧٠ عين ماءٍ جارٍ، ويُطلق عليها أيضاً العديد من الأسماء كلؤلؤة البحر الأحمر، وعاصمة الهدوء، وينبع المستقبل، ويقدر عدد سكانها بحوالي ٥٠٠ ألف نسمة، واكتسبت أهمية منذ القدم بسبب موقعها الجغرافي، حيث تعتبر مدينة ينبع إحدى المدن القديمة، فقد اشتهرت بموقعها على طريق قوافل قريش المتجهة الى الشام، وجعلها الأيوبيون الميناء الرئيسي للمنطقة، وأصبحت أيام المماليك محطة لزوار المدينة المنورة وسوقاً



العمران إلى جانب طبقتي العمران والغطاء الأرضي لفترتين سابقتين لعامي (٢٠١٠ - ٢٠٢٠) على معايير تحدد من المناطق الملائمة لنمو العمران عام ٢٠٣٠ كالمعيار البيئي الذي يتضمن عشرة متغيرات، ومعيار الديموغرافيا الذي يضم نمو وكثافة سكان المدينة، ومعيار الجوار الجغرافي، ومعيار إمكانية الوصول لمركز المدينة، ومعيار تنموي يتعلق بالبعد من الطرق. وتزداد أهمية البحث من أن قياس الأنماط المكانية لديناميكيات نمو العمران على حساب أغطية الأرض الأخرى توفر معلومات حيوية للمخططين ومديري الأراضي لضمان التنمية العمرانية المستدامة في المستقبل، وتفيد أصحاب المصالح المعنية بالتخطيط الحضري في تقليص الفجوة بين نمو العمران، ونمو السكان ومشاريع التنمية والموارد الطبيعية من جهة أخرى، بما يساهم في رفع كفاءة العمران في تغطية احتياجات السكان، ويضمن استدامة تنمية الموارد ومشاريع التنمية والخدمات الاجتماعية (سكنية وصحية وصناعية ونقلية وتجارية وترفيهية وتعليمية) في تغطية احتياجات نمو سكان المدينة حالياً ومستقبلاً.

#### مشكلة البحث:

يُعد التحضر أحد أكبر التحديات التي تواجه البلدان النامية، وتعتبر مدينة ينبع من أسرع مدن المملكة في نمو العمران، الأمر الذي أدى إلى ظهور بعض مشكلات بيئية وتنموية كتغير النظم البيئية الناتجة عن تحول أغطية الأرض الزراعية والنباتية وغيرها إلى مبان، مما ينعكس على استدامة تنمية مكونات النظام البيئي ومشاريع التنمية، بسبب الضغط على الموارد البيئية والبنى التحتية والخدمات، لذا فإن مراقبة تغيرات نمو العمران مكانياً عبر الفترة الماضية، والتنبؤ بتوجهاته المستقبلية سوف يساعد المخططين وواضعي السياسات على فهم كيفية تفاعل أنماط النمو المكاني.

#### تساؤلات الدراسة:

- ما هي اتجاهات النمو العمراني في مدينة ينبع بين عامي ٢٠٠٠-٢٠٢٠؟
- ما شكل اتجاه النمو العمراني وتأثيراته على نمط توزيع العمران بمدينة ينبع بين عامي ٢٠٠٠-٢٠٢٠؟
- ما مدى التطابق بين نتائج محاكاة النمو العمراني في مدينة ينبع عام ٢٠٣٠ باستخدام نموذج الأتمتة الخلوية (CA-Markov) ونموذج سلسلة ماركوف (Markov Chain)؟

#### أهداف البحث:

- رصد النمو العمراني في مدينة ينبع بين عامي ٢٠٠٠-٢٠٢٠.

- تتبع تغيرات النمو العمراني في مدينة ينبع بين عامي ٢٠٠٠ - ٢٠٢٠.
- محاكاة النمو العمراني في مدينة ينبع عام ٢٠٣٠ باستخدام نموذجي الاتمة الخلوية (CA-Markov) ونموذج سلسلة ماركوف (Markov Chain).

### منهجية البحث:

اعتمدت البحث على عدة مناهج لتحقيق أهدافه منها المنهج التاريخي الذي يستخدم في تتبع تغير النمو العمراني بين عامي ٢٠٠٠ - ٢٠٢٠. والمنهج الوصفي التحليلي والذي سيتم من خلاله وصف وتحليل توزيع مناطق نمو العمران وكشف تغيراته الزمكانية، وربطها بمختلف المعايير والمتغيرات المكانية الطبيعية والبشرية التي تحدد نمو العمران وتغيراته وتوجهاته المستقبلية، وبالتالي يبرز الجانب التحليلي بإتباع نظم المعلومات الجغرافية في نمذجة معايير الملاءمة المكانية لنمو العمران وتحديد اتجاهاته في مدينة ينبع حتى عام ٢٠٣٠. حيث يرتبط النمو العمراني وتغيراته زمانياً ومكانياً بثلاثة معايير بيئية واجتماعية واقتصادية (United Nations, 2019). وسوف يستخدم البحث في رصد وتحليل ومتابعة النمو العمراني الأسلوب الكمي التحليلي القائم على تقنيتي نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد، وذلك من خلال الإستعانة بعدد من الدوال في بيئة نظم المعلومات الجغرافية، وتمثيل نتائجها بالخرائط الموضوعية للنمو العمراني وتغيراته واتجاهاته. وبذلك فقد تدرجت منهجية الدراسة من خلال المرور بالخطوات الآتية:

### أولاً: مراجعة الأدبيات:

حيث تم مراجعة عدة دراسات سابقة للإطلاع على أهدافها ومنهجياتها وأساليب كل منها في تحقيق الأهداف، وتحديد معايير نمذجة النمو العمراني والتنبؤ بتوجهاته المستقبلية، لتحديد البيانات والبرامج المطلوبة لإشتقاق الطبقات من تلك البيانات بما يُحقق أهداف الدراسة.

### ثانياً: جمع بيانات البحث:

#### أ. بيانات معايير نمذجة نمو العمران:

١. بيانات معيار البيئة: ويتضمن متغيرات ارتفاع وانحدار التضاريس وشبكة مجاري الأودية، وتم اشتقاق طبقات هذه المتغيرات من نموذج ارتفاع رقمي (Digital Elevation Model) للقمر الصناعي (SRTM) بدقة مكانية ٣٠ تم الحصول عليه من موقع الماسح الجيولوجي الأمريكي بتاريخ (٢٢ / ٤ / ٢٠٢١). ومن

متغيرات المعيار البيئي كذلك عناصر المناخ (الحرارة، الأمطار، الرطوبة، سرعة الرياح)، وتم الحصول عليها على شكل طبقات (Raster) للأقمار الصناعية المبينة في جدول (١) من موقع وكالة ناسا.

جدول رقم (١) بيانات عناصر المناخ والموارد المائية المستخدمة في نمذجة نمو العمران في المدينة

القمر الصناعي	العنصر	الدقة المكانية	وحدة القياس	الوحدة الزمنية	بداية المدة	نهاية المدة
FLADS	Air Temperature	°٠,٠١	(K)	شهرية	١٩٩٠/١/١	٢٠٢٠/١٢/٣٠
GPM	perception	°٠,١	MM	شهرية	١٩٩٠/١/١	٢٠٢٠/١٢/٣٠
FLDAS	Specific moisture	°٠,١	Kg/kg l	شهرية	١٩٩٠/١/١	٢٠٢٠/١٢/٣٠
FLDAS	Wind Speed	°٠,١	M/S	شهرية	١٩٩٠/١/١	٢٠٢٠/١٢/٣٠
FLDAS	Surface Runoff	°٠,١	K/M2/S	شهرية	١٩٩٠/١/١	٢٠٢٠/١٢/٣٠
GLDAS	Ground Water Storage	°٠,٢٥	MM	يومية	١٩٩٠/١/١	٢٠٢٠/١٢/٣٠

المصدر: وكالة ناسا (<https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovnni/?fbclid>).

ويتضمن المعيار البيئي كذلك متغيرات تخزين المياه الجوفية، وحجم الجريان السطحي، وتم الحصول عليها للأقمار الصناعية المبينة في جدول (١) على شكل طبقات (Raster) من موقع وكالة ناسا، ويضم المعيار البيئي كذلك متغير الكثافة الظاهرية للتربة على شكل طبقة (Raster) من موقع المركز الدولي لمعلومات التربة، وينتج المركز (Soil Grids) خرائط خصائص التربة بدقة مكانية (٢٥٠ م).

٢. بيانات معيار السكان: وتتضمن بيانات متغير نمو السكان وتم اشتقاق طبقة هذا المتغير باستخدام المعادلة الآسية في الحاسبة الخلوية (Raster Calculator) لبرنامج (Arc GIS 10.5) بالإعتماد على طبقتي عدد السكان مدينة ينبع لعامي ٢٠١٦ و ٢٠٢٠ اللتان تم الحصول عليهما على شكل طبقات (Raster) بدقة مكانية (٩٤٢,٤ م) من موقع الأمم المتحدة، وتحسب المعادلة الآسية بالصيغة الرياضية:

$$R = \frac{\text{Log} \left( \frac{P_n}{P_0} \right)}{n} * 100. (238, 1987 \text{ عيانة})$$

حيث Log = لوغرم العدد،  $P^n$  = طبقة عدد السكان عام ٢٠٢٠،  $P^0$  = طبقة عدد السكان عام ٢٠١٦،  $n$  = عدد السنوات الفاصلة بين المديتين.

وطبقة معيار كثافة السكان تم الحصول عليها على شكل طبقة (Raster) عام ٢٠٢٠ بدقة مكانية (٨٥٠ م) من موقع الأمم المتحدة لتنسيق الشؤون الإنسانية.

٣. بيانات معيار الجوار الجغرافي: وتتمثل طبقة الجوار الجغرافي بالبعد من العمران المستخلص من مرئية لاندسات (٢٠٢٠).

٤. بيانات معيار امكانية الوصول: وتتمثل طبقة هذا المعيار بالبعد من مركز المدينة واشتقت من مركزي مدينة ينبع البحر والصناعية باستخدام المسافة الإقليدية في بيئة نظم المعلومات الجغرافية.

٥. بيانات معيار التنمية: وتتمثل بطبقة البعد من الطرق، وقد تم الحصول على طبقتي (Shapefile line) للطرق في مدينة ينبع تم الحصول عليها من موقع بيانات خرائط الطرق المفتوحة (Open Street Map) ومرئية لاندسات ٢٠٢٠.

#### ب. بيانات العمران والغطاء الأرضي:

تم اشتقاق طبقات العمران وأغطية الارض في مدينة ينبع للأعوام (١٩٩٠، ٢٠٠٠، ٢٠١٠)، من مرئيات فضائية للقمر الصناعي الامريكي لاندسات (٥) للمستشعر (TM)، ومرئية للقمر الصناعي لاندسات (٨) للمستشعر (OLI) عام ٢٠٢٠، وتم الحصول على هذه المرئيات من موقع هيئة المساحة الجيولوجية الأمريكية (USGS). ويظهر جدول (٢) بعض المعلومات عن المرئيات الفضائية التي تم من خلالها الحصول على بيانات اغطية واستعمالات الارض عامة والعمران بصفة خاصة، وتتبع التغيرات المكانية للعمران في مدينة ينبع بين مدة وأخرى، ولكي تكون مقارنة تغيرات العمران بين مدة وأخرى دقيقة قسمت الباحثان المدة إلى مراحل بفاصل زمني متساوي مقداره (١٠) سنوات.

جدول رقم (٢) مرئيات لاندسات المستخدمة في الدراسة

بيانات المرئيات الفضائية								
UTM Zone	Product	Cell Size	Sensor	Satellite	Cloud Cover	Sun Elevation	Sun Azimuth	Image date
37	UTM	30 M	TM	LANDSAT_5	0.00	44.49	145.89	2000/10/31
37	UTM	15 M	TM	LANDSAT_5	0.00	39.13	152.43	2010/11/28
37	UTM	15 M	OLI_TIRS	LANDSAT_8	0.00	41.09	155.26	2020/11/23

المصدر: (<https://earthexplorer.usgs.gov>).

واستخدمت القمر الصناعي لاندسات لأنها متوفرة لمدة طويلة، فضلاً عن كونها متعددة الطيف، ومتاحة مجاناً، وحرص الباحثان على ألا تزيد المدة الزمنية بين النقاط المرئيات عن شهر، فقد التقطت جميع المرئيات في شهر نوفمبر عدا مرئية عام ٢٠٠٠ في أكتوبر، ولكن المدة التي تفصلها عن تاريخ التقاط بقية المرئيات لا تتجاوز شهر.

## ثالثاً: معالجة بيانات البحث:

## أ. معالجة طبقات معايير النموذج:

قبل البدء باشتقاق طبقات متغيرات الارتفاع والانحدار وشبكة مجاري الأودية من نموذج الارتفاع الرقمي (DEM) تم معالجة النموذج بواسطة الأدوات المناسبة في برنامج (ARC GIS 10.4)، وتدرجت معالجة نموذج التضاريس بداية بإعادة إرجاع الطبقات من النظام الإحداثي الجغرافي إلى النظام المترى، واستخدام أداة (FILL) لتعبئة القيم الصفرية لبعض الخلايا التي لا توجد فيها قيم ارتفاع بالإعتماد على قيم الخلايا المحيطة بها، واستخدمت أداة (Mosaic to New) لعمل موزاييك للطبقتين، وأداة (Clip) للإقتطاع على حدود مدينة ينبع. وانتقلت الدراسة لمعالجة مرئيات معايير المناخ والمياه والتربة والسكان التي تم الحصول عليها في خطوى سابقة، وذلك من خلال تغيير نظام إرجاع الطبقات من النظام الجغرافي (GCS\_WGS\_1984) إلى النظام المترى (UTM\_ZONL\_37N) من أجل تغيير دقة الخلايا في الطبقات من الدرجات إلى الأمتار، وتحويل بعض وحدات قياس بعض العناصر المناخية والمائية كما في طبقة درجات الحرارة المرجعة من الكلفانية إلى المئوية باستخدام الصيغة الرياضية داخل الحاسبة الخلوية (Raster Calculator) لبرنامج (Arc GIS 10.5).

$$TC = RT - 273.15$$

حيث TC درجات الحرارة مئوية، RT طبقة (Raster) لدرجات حرارة الهواء بالكلفانية. وتضمنت خطوات معالجة هذه المرئيات كذلك تحويل الوحدات الزمنية اليومية لبيانات بعض العناصر إلى سنوية من خلال ضرب الطبقات في (٣٦٥,٢٥)، وغيرت الوحدات الشهرية الى سنوية من خلال ضرب الطبقات في (١٢)، وتمثلت آخر خطوات معالجة طبقات عناصر المناخ والمياه والتربة والمياه والسكان بتحويل كل طبقة باستخدام أداة (Raster to point) في البرنامج السابق لتحويل الطبقات من (Raster) إلى (Point)، وبالتالي تم القيام بعمل استيفاء مكاني بهدف تحسين الدقة المكانية وتوحيدها لجميع الطبقات المدخلة في النمذجة في خطوة لاحقة، وهذا شرط من شروط تطبيق نماذج المحاكاة في بيئة نظم المعلومات الجغرافية.

## ب. معالجة مرئيات لاندسات:

ومرت مراحل معالجة مرئيات لاندسات المستخدمة في اشتقاق طبقات العمران والغطاء الأرضي بمدينة ينبع بعد فك الضغط على ملفات كل منها بدمج نطاقات كل مرئية على حده باستخدام أداة (layer

(Stack) في برنامج (Erdas Imagine 2014) لنحصل على سبع نطاقات من مرئية لاندسات ٥، وإحدى عشرة نطاقاً من مرئية لاندسات ٨. وبعد دمج المرئيات تم البدء بالتصحيح الهندسي (Geometric Correction) أي إعطاء المرئيات الإحداثيات الحقيقية للأرض، حيث ينجم تشوه المرئيات بسبب اختلاف شكل الأرض عن شكل المرئيات التي سجلتها مستشعرات لاندسات، بالإعتماد على ٢٠ نقطة إرجاع من خريطة أساس طبوغرافية مقياس (١:٥٠٠٠٠)، واستخدم الباحثان أداة (Georeferencing) ضمن أدوات برنامج (Arc Map 10.5) في التصحيح الهندسي للمرئيات. وأعقبه التصحيح الراديومتري (Radiometric) للمرئيات، وتم تصحيح المرئيات المدمجة بأداة (Autonomous Atmospheric Correction)، واستخدمت أداة (Noise Reduction) في تصحيح النطاقات المفردة ببرنامج (Erdas Imagine 2014). ومن ثم تحسين الدقة المكانية لمرئية لاندسات ٨ من خلال دمج نطاقات المرئية مع النطاق البنكروماتي باستخدام أداة (Resolution Merge). وبعدها تم استخدام أداة (Create subset image) في نفس البرنامج للاقتطاع على حدود منطقة الدراسة.

#### رابعاً: اشتقاق طبقات نماذج المحاكاة وتقييم دقتها:

##### أ. اشتقاق طبقات المعايير:

اعتمدت الدراسة في نمذجة ومحاكاة نمو العمران بهذا النموذج الى جانب طبقتي أعطية واستعمالات الارض لعامي (٢٠١٠-٢٠٢٠) على طبقات عدد من المعايير المكانية التي تتحكم في النمو العمراني وتمدده واتجاهاته، وقد اطلعت الدراسة على عدد من الدراسات السابقة التي تطرقت للقوى المحركة للنمو العمراني وتوجهاته المستقبلية، وصنفت غالبية هذه الدراسات عوامل ملاءمة الارض للنمو العمراني ودينامياته في علم اتخاذ القرار المكاني الى عدة معايير. منها المعيار البيئي الذي يتضمن عدة متغيرات، وخصائص الجوار الجغرافي، والخصائص المكانية للمدن (إمكانية الوصول)، وسياسات التخطيط الحضري والإقليمي، ومستوى التنمية الاقتصادية والنظم الاجتماعية والاقتصادية والسياسية (Jitendrudu, 2008, p.37).

واعتمدت الدراسة على خمسة عشرة متغير مكاني مستقل تنطوي ضمن خمسة معايير في تحديد اتجاه النمو العمراني وتغيراته، ويضمن المعيار الاول البيئي متغيرات ارتفاع وانحدار التضاريس والحرارة والأمطار والرطوبة والرياح وتخزين المياه الجوفية والجريان السطحي والبعد من مجاري الأودية والتربة، والثاني معيار ديموغرافي يتضمن متغيري (نمو وكثافة السكان)، والثالث معيار الجوار الجغرافي (البعد

من المباني الحالية)، والرابع معيار امكانية الوصول لمراكز المدينة، والخامس معيار تنموي يتعلق بالبعد من الطرق شكل رقم (٢).

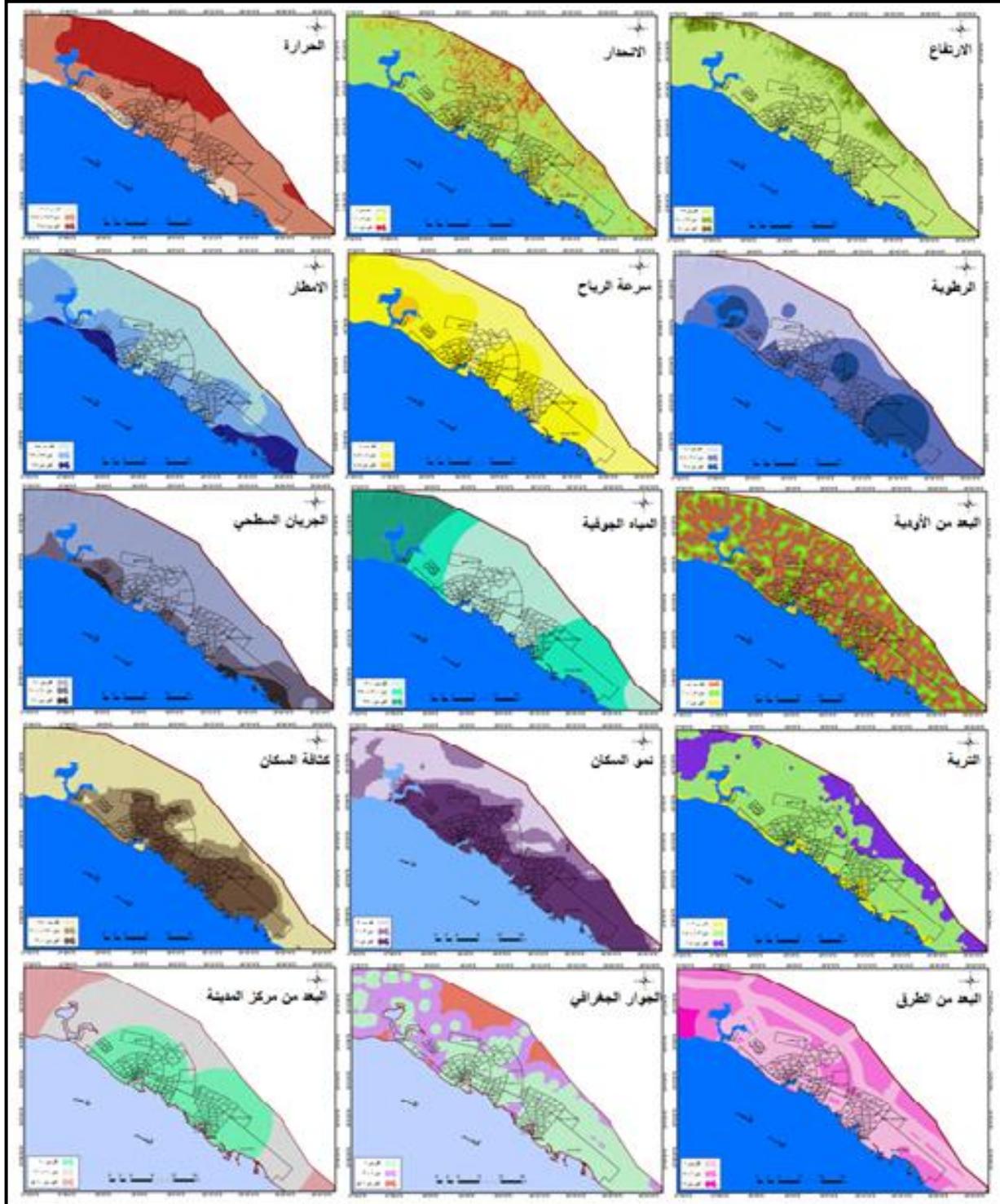
وعليه فقد اشتقت الدراسة طبقات معايير الارتفاع من (DEM)، ومن نموذج الارتفاع الرقمي اشتقت طبقة انحدار التضاريس باستخدام خوارزمية (Slope)، ومن النموذج نفسه اشتقت طبقة مجاري الاودية باستخدام خوارزمية (Hydrology)، وبالاعتماد عليها اشتقت طبقة البعد من الاودية بخوارزمية المسافة الاقليدية (Euclidian Distance)، وبنفس هذه الخوارزمية اشتقت طبقات البعد من الطرق والبعد من مركزي مدينتي ينبع البحر وينبع الصناعية والبعد من مناطق العمران المنتشرة عام ٢٠٢٠، وتم اشتقاق جميع طبقات هذه المتغيرات وإنتاج الخرائط الموضوعية لكل منها باستخدام برنامج ArcGIS10.5.

وقامت الدراسة باستخدام خوارزمية وزن المسافة المعكوسة (IDW) في البرنامج السابق وطبقات (Shapefile Point) التي جهزت في مرحلة معالجة البيانات وذلك لعمل استيفاء مكاني (Interpolation) لاشتقاق طبقات عناصر المناخ والموارد المائية وكثافة بمدينة ينبع وإنتاج الخرائط الموضوعية الخاصة بكل متغير، وبالتالي تم تجهيز جميع طبقات هذه المتغيرات الخاصة بهذه المعايير من حيث الدقة (Pixel Cell) والامتداد (Extraction) وتحويل كل منها من (Raster to ASCII) تمهيدا لاستيرادها ببرنامج (Edrisi Selva) واستخدامها مع طبقتي أغطية واستعمالات الارض لعامي (٢٠١٠ - ٢٠٢٠) للقيام بعمل نماذج محاكاة النمو العمراني وتوجهاته عام ٢٠٣٠.

وبعد تجهيز طبقات معايير النموذج استخدم التصنيف غير الموجه (Unsupervised Classification) ضمن برنامج (Erdas Imagine 2014) لتصنيف مرئيات لاندسات المدمجة المعالجة للأعوام (٢٠٠٠، ٢٠١٠، ٢٠٢٠) الى عمران وغطاء نباتي وطرق ورواسب وصخور ومياه، وتتضمن طبقة العمران المباني أيًا كانت سكنية وتجارية وصناعية، وتضم طبقة الغطاء النباتي جميع أنواع النباتات كالحدائق والحشائش والأراضي الزراعية، ويقع ضمن طبقة الطرق الجسور وشبكات النقل المختلفة، اما الاراضي العارية فتتضمن الرواسب والترب الجرداء التي لا توجد فيها زراعة او مبانٍ، ويقع ضمن فئة الصخور الاراضي الجبلية ذات التركيب الصخري. ويعد الانتهاء من استكمال تصنيف كل مرئية، قامت الدراسة بتجهيز جميع طبقات استعمالات الارض من حيث دقتها المكانية والامتداد وتحويل هذه الطبقات باستخدام أداة (Raster to ASCII) في برنامج (Arc GIS)، وبالتالي تم استيراد وتجهيز هذه الطبقات ببرنامج (IDRISI)، واستخدام خوارزمية تقييم الدقة (VALIDATE) لتقييم دقة تصنيف الطبقات

أغذية واستعمالات الارض باستخدام معامل كابا، وذلك تمهيدا لاعتماد كل طبقة في تطبيق نماذج تغير ومحاكاة النمو العمراني في خطوات قادمة. ويتم تنفيذ تقييم الدقة لتقييم موثوقية المرئيات المصنفة

.(Rwanga & Ndambuki, 2017, p. 611)



شكل رقم (٢) متغيرات معايير الملاءمة المكانية لنمو العمران في مدينة ينبع

**خامساً: ديناميات النمو العمراني بين عامي ٢٠٠٠-٢٠٢٠:**

اعتمدت الدراسة في اكتشاف تغير العمران واستخدام الارض بين مدة وأخرى في مدينة ينبع على نماذج وحدة التغير الارضي (LCM) ببرنامج (IDRISI). وتم تطوير هذا النموذج من قبل (Teresa et al. 2018, Anand et al. 2015). وبالتالي فقد اعتمدت الدراسة على نموذج (Change Analysis) في تحديد الربح والخسارة لكل استخدام بين مدة وأخرى، ونموذج (Change Map) لإنتاج خرائط موضوعية لتغير اغطية الارض الى عمران او مباني بين كل مدة وأخرى، وتم استخدام نموذج (Spatial Trend of Change) لتحديد اتجاه تغير النمو العمراني بين كل مدتين.

**سادساً: نمذجة النمو العمراني:**

تم نمذجة النمو العمراني في مدينة ينبع باستخدام نماذج وحدة (LCM) ببرنامج (IDRISI)، وبالتالي فقد تم في البداية نمذجة المناطق المحتمل تحولها الى مباني باستخدام نموذج (Transition Sub Model)، وأعقبها نمذجة المناطق المحتمل تحولها الى عمران مستقبلاً بالاعتماد على المتغيرات الخمسة عشرة المحدد للنمو العمراني وتوجهاته المستقبلية باستخدام نموذج (Transition Sub Model Structure)، وبالتالي تم اشتقاق طبقات معلوماتية لتحول اغطية الارض الى عمران على مستوى الخلايا باستخدام نموذج (Run Transition Sub Model)، وتعد هذه الخطوة اساسية لتنفيذ الخطوة القادمة الخاصة بمحاكاة النمو العمراني عام ٢٠٣٠ باستخدام نماذج (MARKOV Chain) حيث يتوقع توجه النمو العمراني في المستقبل بالاعتماد على نموذج امكانية التحول (Transition Potential Modeling).

**سابعاً: محاكاة النمو العمراني والتحقق من النماذج:**

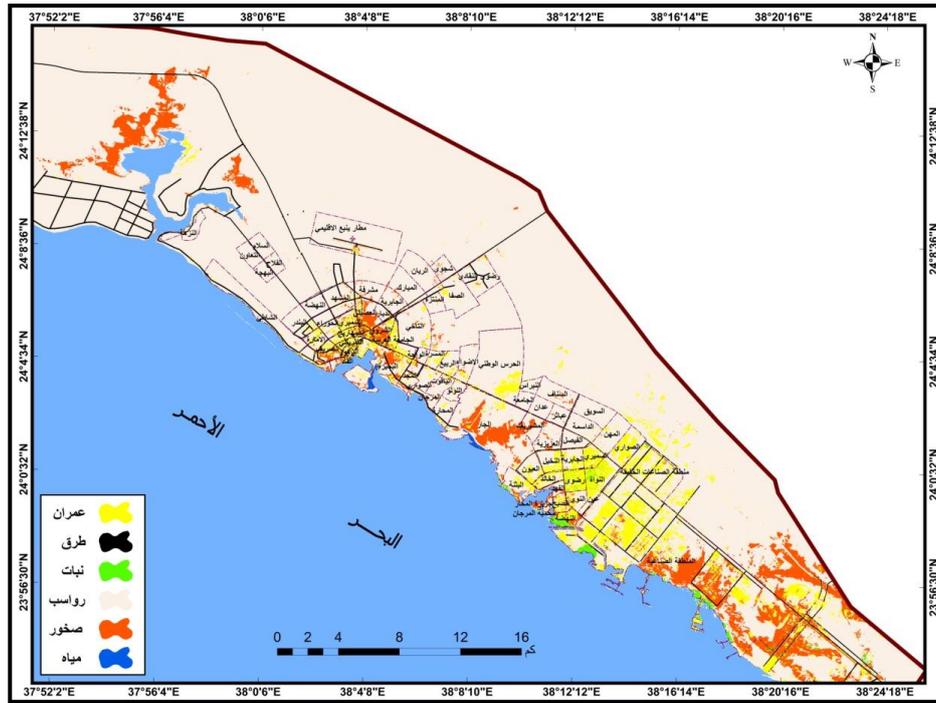
اعتمدت الدراسة على نموذجين لمحاكاة النمو العمراني في مدينة ينبع عام ٢٠٣٠، حيث اعتمدت في البداية على طبقات نموذج إمكانية التحول (TPM) لتنفيذ محاكاة نمو العمران بين عامي ٢٠٢٠ - ٢٠٣٠ بنموذج سلسلة ماركوف (MARKOV Chain) ضمن وحدة التغير الارضي ببرنامج (IDRISI)، ويعتمد كل من النموذجين في التنبؤ بالنمو العمراني المستقبلي الى جانب طبقتي اغطية واستعمالات الارض لعامي (٢٠١٠-٢٠٢٠) على طبقات متغيرات المعايير المؤثرة في تغيرات النمو العمراني بين مدة وأخرى سواء كانت هذه المتغيرات ضمن معيار البيئة أو معيار البعد الجغرافي او امكانية الوصول او معيار الديموغرافيا والتنمية الاقتصادية والتي تم تنفيذها في خطوة سابقة باستخدام نموذج (Transition Sub Model Structure). واستخدمت هذه النماذج بعدة دراسات سابقة منها دراستي (Falahatkar et al. 2018, Anand et al. 2015).

(Mishra et al. 2014, 2011). الى جانب ذلك اعتمدت الدراسة في محاكاة النمو العمراني عام ٢٠٣٠ باستخدام نموذج الأتوميتا الخلوية لماركوف (CA\_MARKOV)، ويقوم هذا النمو بالتنبؤ بالنمو العمراني بالاعتماد على آخر طبقتي لأغطية واستعمالات الارض عامي (٢٠١٠-٢٠٢٠)، دون الاخذ في الاعتبار أي متغيرات مكانية مؤثرة في تغير النمو العمراني. وبعد الانتهاء من محاكاة نمو العمران عام ٢٠٣٠ بواسطة النموذجين تم التحقق من صلاحية نماذج محاكاة النمو العمراني ( MARKOV Chain & CA\_MARKOV) من خلال القيام بإجراء اختبار معامل (Kappa) بواسطة اداة التحقق (VALIDATE) ضمن برنامج (IDRISI)، وذلك من خلال مقارنة خرائط التنبؤ لعام (٢٠٣٠) مع الخريطة الموضوعية الفعلية المشتقة من مرئيتي القمر الصناعي لاندسات عامي (٢٠١٠-٢٠٢٠).

#### سابعاً: مناقشة نتائج البحث:

#### أ. تحليل تغير الغطاء الأرضي في مدينة ينبع بين عامي (٢٠٠٠-٢٠٢٠):

يوضح شكل رقم (٣) تباين توزيع أغطية واستعمالات الأرض في مدينة ينبع عام ٢٠٠٠ حيث تركز الغطاء الرسوبي شرق وشمال شرق وشمال منطقة الدراسة، فضلاً عن أنه جاء في المرتبة الاولى في المساحة، اذ بلغت مساحة الرواسب ٨٢٦.٢٦ كم<sup>٢</sup>، بنسبة ٨٥.٦٨٪ من إجمالي مساحة مدينة ينبع، ويبرز الغطاء الصخري شمال غرب وجنوب غرب منطقة الدراسة بمساحة بلغت ٦٠ كم<sup>٢</sup>، بنسبة ٦.٢٢٪ من إجمالي مساحة المدينة، وجاء الغطاء الصخري في المرتبة الثانية من حيث مساحة اغطية الارض في المدينة عام ٢٠٠٠. وجاءت المناطق المبنية في المرتبة الثالثة من حيث المساحة عام ٢٠٠٠ بمساحة بلغت ٤٩.٨٨ كم<sup>٢</sup>، بنسبة ٥.٢٢٪ من إجمالي مساحة منطقة الدراسة.



المصدر: الباحثان بالاعتماد على مرئية لاندسات (٥) للمستشعر (TM) بتاريخ ٣١-١٠-٢٠٠٠.

شكل رقم (٣) أغطية واستعمالات الارض في مدينة ينبع عام ٢٠٠٠

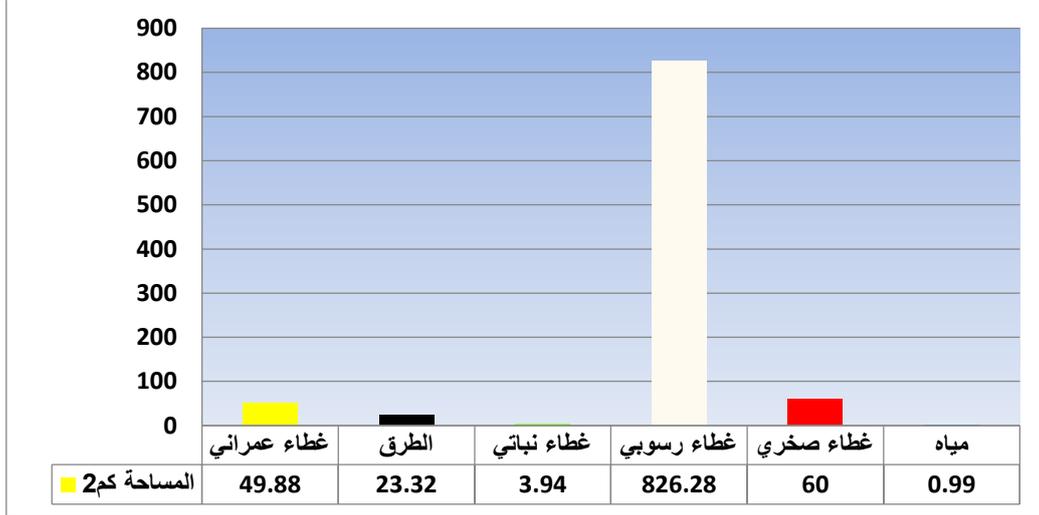
وجاءت الطرق في المرتبة الرابعة مساحة التغطية لتبلغ مساحتها عام ٢٠٠٠ كما يبين جدول رقم (٣) نحو ٢٣.٣٢ كم<sup>٢</sup>، بنسبة ٢.٤١٪ من إجمالي مساحة منطقة الدراسة. ومن ثم جاءت المناطق المغمورة بالمياه التي تتغير مساحتها بسبب عمليات الردم في المناطق المحاذية لخط الساحل في المرتبة الخامسة بمساحة بلغت ٠.٩٩ كم<sup>٢</sup>، بنسبة ٠.١٪ من إجمالي مساحة المنطقة.

جدول رقم (٣) مساحة أغطية واستعمالات الارض في مدينة ينبع عام ٢٠٠٠

النسبة %	المساحة كم <sup>٢</sup>	الغطاء الارضي
٥,٢١	٤٩,٨٨	غطاء عمراني
٢,٤١	٢٣,٣٢	الطرق
٠,٤	٣,٩٤	غطاء نباتي
٨٥,٦٧	٨٢٦,٢٨	غطاء رسوبي
٦,٢٣	٦٠	غطاء صخري
٠,١	٠,٩٩	مياه
٪١٠٠	٩٦٤,٤١	الاجمالي

المصدر: الباحثان بالاعتماد على الشكل رقم (٣).

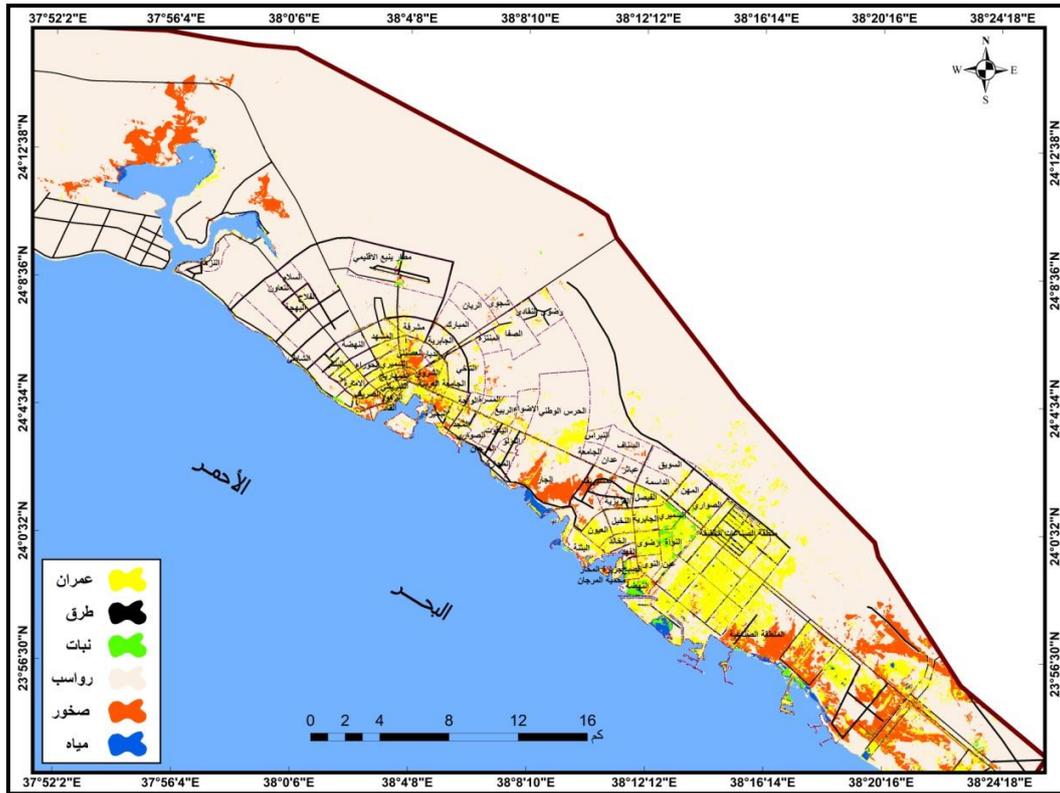
وأخيراً جاءت المساحات الخضراء حيث ينتشر الغطاء النباتي لتبلغ مساحتها عام ٢٠٠٠ نحو ٣.٩٤ كم<sup>٢</sup>، بنسبة ٠.٤٪ من إجمالي مساحة منطقة الدراسة، ويتوافق انتشار الغطاء النباتي مع مناطق انتشار العمراني في مدينة ينبع، وينتشر في الحدائق والمنتزهات الساحلية جنوب غرب المنطقة الصناعية.



شكل رقم (٤) مساحة أغطية واستعمالات الارض في مدينة ينبع عام ٢٠٠٠

وتظهر نتائج تقييم دقة تصنيف اغطية واستعمالات الارض في المنطقة عام ٢٠٠٠ باستخدام اداة التقييم (VALIDATE) لتحديد معامل (Kappa) أن قيمة معامل (Kstandard) بلغت ٠.٩٧، مما يشير الى وجود دقة عالية جداً في نتائج تصنيف خريطتي تصنيف اغطية واستعمالات الارض.

في المقابل تظهر نتائج استخلاص أغطية واستعمالات الارض عام ٢٠١٠ كما يوضح شكل رقم (٥) تباين توزيعها حيث تغطي الرواسب غالبية مساحة المنطقة الواقعة شرق وشمال شرق مدينة ينبع البعيدة من مناطق تركيز الخدمات والبنى التحتية ومشاريع التنمية العمرانية، وما يزال الغطاء الرسوبي مستحوذ على المرتبة الاولى من مساحة المنطقة رغم تراجع مساحته بين مدة وأخرى لصالح العمران والطرق بمساحة بلغت ٧٦٩.٨٨ كم<sup>٢</sup>، بنسبة ٨٠.٥٧٪ من إجمالي مساحة المنطقة. ويغطي العمراني اجزاء واسعة وسط وغرب منطقة الدراسة ويأتي في المرتبة الثانية من حيث المساحة عام ٢٠١٠ في ٨٨.٩٣ كم<sup>٢</sup>، بنسبة ٩.٣٪ من إجمالي مساحة المنطقة ليتقدم على غطاء الصخور الذي تراجع الى المرتبة الثالثة بعد ان كانت الصخور في المرتبة الثاني من حيث مساحة التغطية عام ٢٠٠٠، وتراجعت مساحته بشكل واضح جنوب ووسط غرب منطقة الدراسة لتبلغ عام ٢٠١٠ نحو ٥١.٨٩ كم<sup>٢</sup>، بنسبة ٥.٤٣٪ من إجمالي مساحة المنطقة.



المصدر: الباحثان بالاعتماد على مرئية لاندسات (٥) للمستشعر (TM) بتاريخ ٢٨-١١-٢٠١٠.

شكل رقم (٥) أغطية واستعمالات الارض في مدينة ينبع عام ٢٠١٠

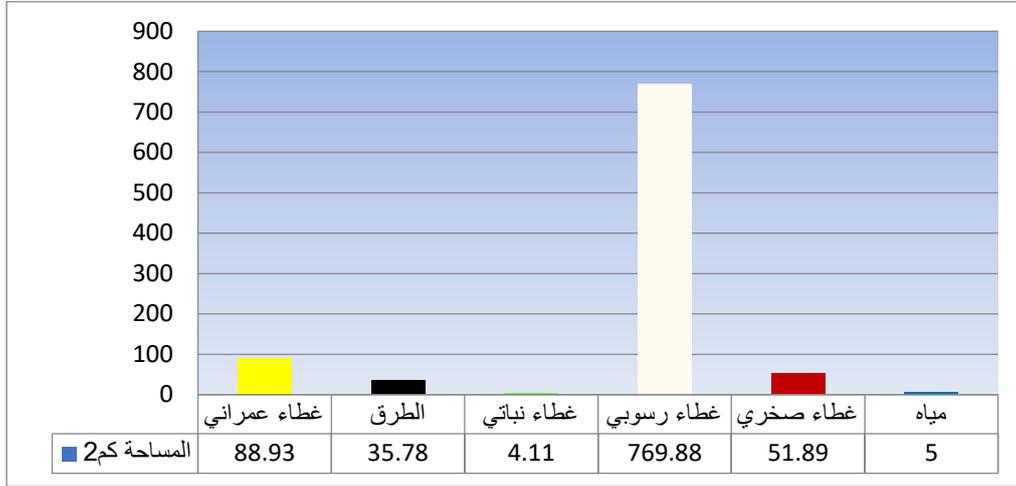
وتزداد مساحة الطرق بين مدة وأخرى مع ذلك ظلت في المرتبة الرابعة من حيث المساحة حيث ارتفعت مساحتها عام ٢٠١٠ جدول رقم (٤) نحو ٣٥.٧٨ كم<sup>٢</sup>، بنسبة ٣.٧٤% من إجمالي مساحة منطقة الدراسة، وجاءت مناطق الغمر المائي في المرتبة الخامسة بمساحة بلغت ٥ كم<sup>٢</sup>، بنسبة ٠.٥٢% من إجمالي مساحة المنطقة.

جدول رقم (٤) مساحة أغطية واستعمالات الارض في مدينة ينبع عام ٢٠١٠

النسبة %	المساحة كم <sup>٢</sup>	الغطاء الارضي
٩,٣	٨٨,٩٣	غطاء عمراني
٣,٧٤	٣٥,٧٨	الطرق
٠,٤٣	٤,١١	غطاء نباتي
٨٠,٥٧	٧٦٩,٨٨	غطاء رسوبي
٥,٤٣	٥١,٨٩	غطاء صخري
٠,٥٢	٥	مياه
%١٠٠	٩٥٥,٥٩	الاجمالي

المصدر: الباحثان بالاعتماد على الشكل رقم (٥).

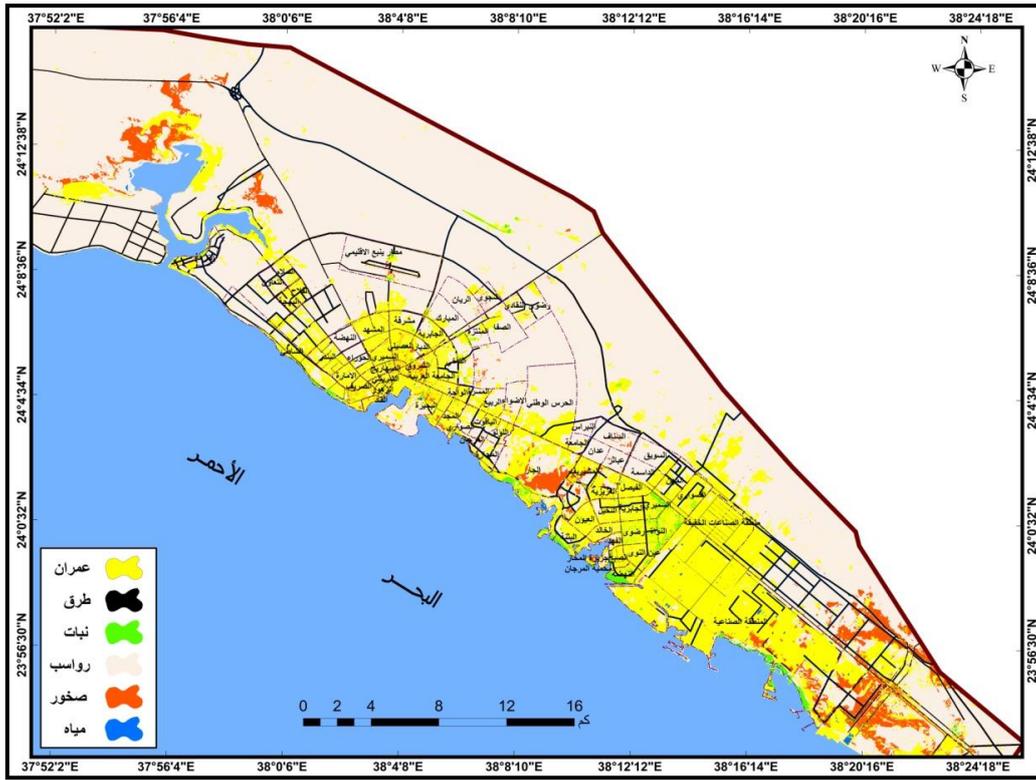
وظلت التغطية النباتية في مدينة ينبع عام ٢٠٠٠ بنفس مناطق انتشارها عام ٢٠٠٠ مع زيادة في مساحتها التي بلغت عام ٢٠١٠ نحو ٤.١١ كم<sup>٢</sup>، بنسبة ٠.٤٣٪ من إجمالي مساحة المنطقة، ويبرز بصورة واضحة في منطقة ينبع الصناعية ومنطقة الواجهة البحرية على الساحل.



شكل رقم (٦) مساحة أغطية واستعمالات الارض في مدينة ينبع عام ٢٠١٠

وبذلك تبين نتائج تقييم دقة تصنيف اغطية واستعمالات الارض منطقة الدراسة بمطابقة طبقتي عامي ٢٠٠٠ - ٢٠١٠ بلوغ قيمة معامل (Kstandard) بلغت ٠.٩٦ مما يعني وجود درجة عالية جدا من الدقة في تصنيف أغطية واستعمالات الارض من مرئيتي عامي ٢٠٠٠ - ٢٠١٠، ويؤكد ذلك تطابق اغطية واستعمالات الارض للمدتين بنسبة ٩٦٪.

من جانب آخر يظهر شكل رقم (٧) تراجع مساحة اغطية الارض الطبيعية خاصة الرواسب والصخور واتساع مساحة الاستعمالات البشرية (عمران وطرق) فضلا عن تباين توزيع أغطية واستعمالات الارض في مدينة ينبع المشتقة من مرئية لاندسات عام ٢٠٢٠، حيث لا تزال الإرسابات تغطي مساحة واسعة شرق وشمال وغرب منطقة الدراسة، وما يزال غطاء الرواسب في المرتبة الاولى من حيث التغطية المكانية رغم تراجع مساحته لصالح استعمالات الارض البشرية كالعمران والطرق، لتبلغ مساحة الرواسب عام ٢٠٢٠ نحو ٦٧٥.٦٨ كم<sup>٢</sup>، بنسبة ٧٠.٠٤٪ من إجمالي مساحة المنطقة. ويلاحظ عام ٢٠٢٠ حدوث قفزات للغطاء العمراني تجاوزت في بعض المناطق خاصة شرق وشمال غرب منطقة الدراسة مناطق انتشار الرواسب المحاذية للعمران عام ٢٠١٠، مما يدل على توطين الخدمات والمشاريع التنموية والبنى التحتية بهذه المناطق، فضلا عن ارتفاع اسعار الاراضي بالقرب من مركزي ينبع البحر وينبع الصناعية، وبالتالي فقد ارتفعت مساحة المناطق المغطاة بالعمران عام ٢٠٢٠ الى ١٩٨.٤٨ كم<sup>٢</sup>، بنسبة ٢٠.٧٣٪ من إجمالي مساحة المنطقة. وتراجعت مساحة الغطاء الصخري الذي يتركز جنوب غرب وشمال غرب منطقة الدراسة لتصل عام ٢٠٢٠ الى ٣٤.٤١ كم<sup>٢</sup>، بنسبة ٣.٥٧٪ من إجمالي مساحة المنطقة.



المصدر: الباحثان بالاعتماد على مرئية لاندسات (٥) للمستشعر (OLI) بتاريخ ٢٣-١١-٢٠٢٠.

شكل رقم (٧) أغطية واستعمالات الارض في مدينة ينبع عام ٢٠٢٠

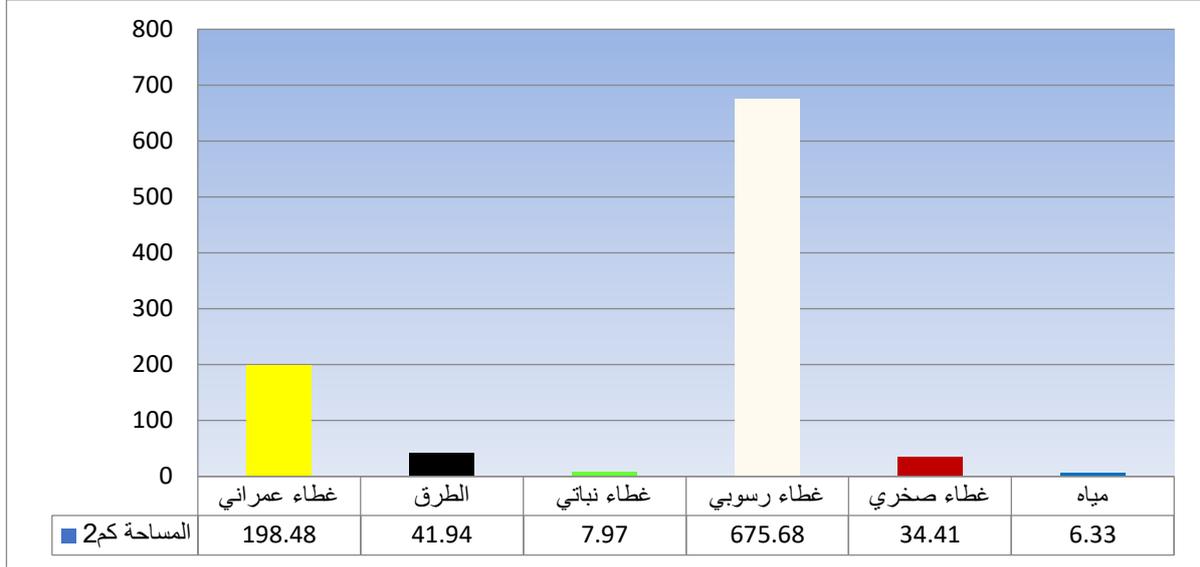
وزادت مساحة الطرق التي تعد من اهم البنى التحتية للتنمية العمرانية على حساب غطائي الرواسب والصخور لترتفع مساحتها عام ٢٠٢٠ كما يبين جدول رقم (٥) الى ٤١.٩٤ كم<sup>٢</sup>، بنسبة ٤.٣٤٪ من إجمالي مساحة منطقة الدراسة، وتقدم الغطاء النباتي الى المرتبة الخامسة بعد ان ظل في المرتبة الاخيرة طوال الفترات السابقة وبلغت مساحة عام ٢٠٢٠ نحو ٧.٩٧ كم<sup>٢</sup>، بنسبة ٠.٨٢٪ من إجمالي مساحة المنطقة.

جدول رقم (٥) مساحة أغطية واستعمالات الارض في مدينة ينبع عام ٢٠٢٠

النسبة %	المساحة كم <sup>٢</sup>	الغطاء الارضي
٢٠,٥٧	١٩٨,٤٨	غطاء عمراني
٤,٣٤	٤١,٩٤	الطرق
٠,٨٢	٧,٩٧	غطاء نباتي
٧٠,٠٤	٦٧٥,٦٨	غطاء رسوبي
٣,٥٧	٣٤,٤١	غطاء صخري
٠,٦٥	٦,٣٣	مياه
٪١٠٠	٩٦٤,٨	الاجمالي

المصدر: الباحثان بالاعتماد على الشكل رقم (٧).

وأخيراً جاء الغطاء المائي الذي شهد تغيرات واضحة بالذات في المنطقة المحاذية لخط الساحل شمال غرب مدينة ينبع حيث تبرز عمليات حفر لليايس وتحول هذه المناطق الى اجسام مائية، وبالتالي فقد بلغت مساحة المناطق المغطاة بالمياه نحو ٦.٣٣ كم<sup>٢</sup>، بنسبة ٠.٦٥٪ من إجمالي مساحة المنطقة.



شكل رقم (٨) مساحة أغطية واستعمالات الارض في مدينة ينبع عام ٢٠٢٠

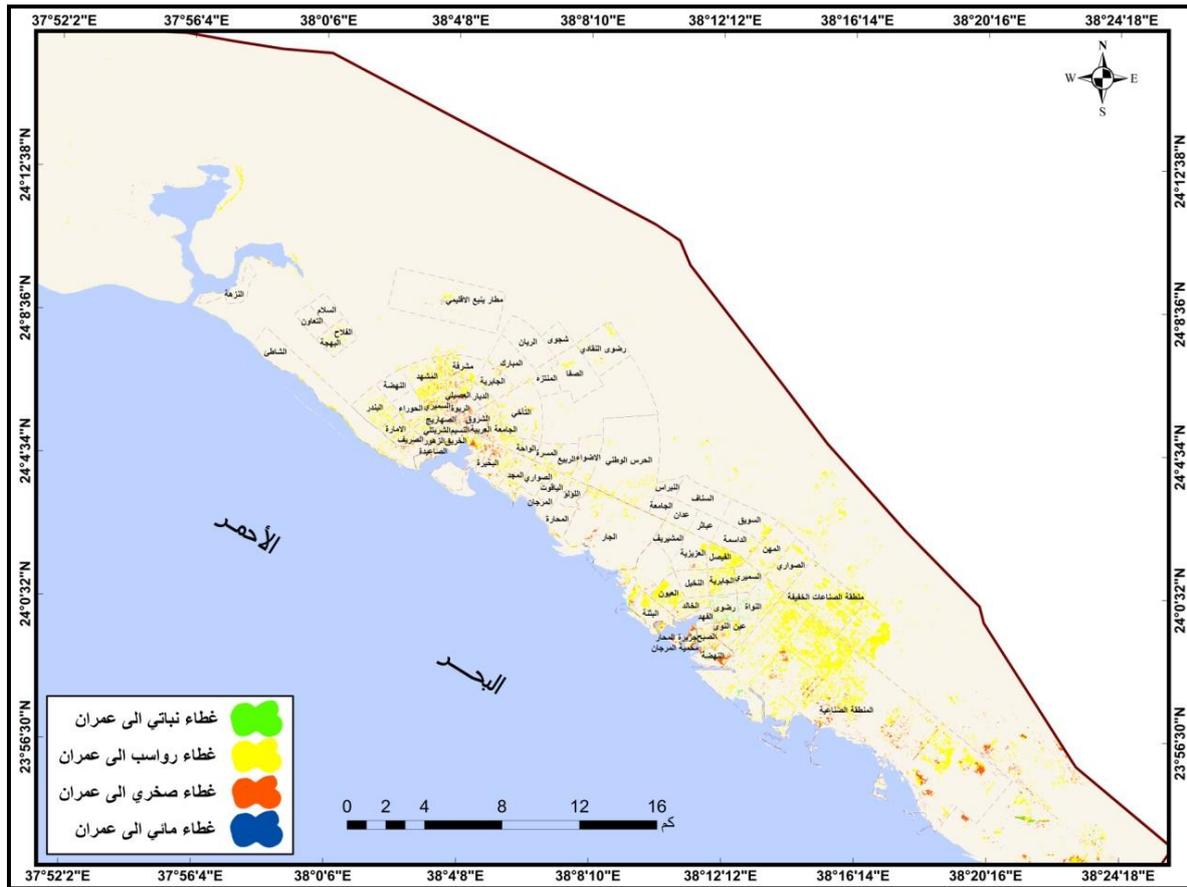
بناء على ذلك توصلت نتائج تقييم دقة تصنيف اغطية واستعمالات الارض في مدينة ينبع من خلال من خلال التحقق من مدى تطابق نتائج طبقتي عامي ٢٠١٠ - ٢٠٢٠ ان قيمة معامل كبا (Kstandard) بلغت ٠.٩١، وتعكس هذه القيمة درجة عالية جداً من التطابق بين اغطية واستعمالات الارض للعامين، مما يعني إمكانية الاعتماد عليهما في محاكاة النمو العمراني عام ٢٠٣٠.

#### ب. ديناميات العمران والغطاء الأرضي:

##### ١. التغير بين عامي ٢٠٠٠-٢٠١٠:

بلغت نسبة تغير غطاء العمران في مدينة ينبع بين عامي ٢٠٠٠-٢٠١٠ حوالي ٧٨.٢٩٪، وبذلك توصلت نتائج تحليل التغير المكاني للنمو العمراني بمدينة ينبع على حساب اغطية واستعمالات الارض الأخرى بالاعتماد على نموذج (Change Analysis) شكل رقم (٩) ان أبرز مناطق النمو العمراني في المدينة بين عامي ٢٠٠٠-٢٠١٠ جاءت على حساب الرواسب شمال مدينتي ينبع البحر وينبع الصناعية، وبالتالي بلغت مساحة توسع البناء بمناطق انتشار الرواسب بنحو ٣٤.٣١ كم<sup>٢</sup>، بنسبة ٨٧.٨٦٪ من إجمالي مساحة العمراني في المدينة خلال هذه المدة. ويقع النوع الثاني من توسعات العمراني في مدينة ينبع بمناطق الصخور، ليأتي نمو العمراني على حساب الغطاء الصخري حيث بلغت

مساحة المباني بمناطق انتشار الصخور بين عامي ٢٠٠٠-٢٠١٠ حوالي ٤.١٢ كم<sup>٢</sup> بنسبة ١٠.٥٦٪ من إجمالي مساحة المنطقة المبنية بالعمران خلال هذه المدة. وبلغت مساحة نمو العمران بمناطق انتشار الغطاء النباتي بين عامي ٢٠٠٠-٢٠١٠ التي تظهر شمال غرب المنطقة الصناعية وشمال ينبع البحر نحو ٠.٥٨ كم<sup>٢</sup> بنسبة ١.٥٪ من إجمالي مساحة زيادة عمران المدينة بهذه المدة. وجاء توسع العمران على حساب ردم مياه البحر في المرتبة الاخيرة بمساحة بلغت ٠.٠٣ كم<sup>٢</sup> بنسبة ٠.٠٩٪ من إجمالي مساحة الزيادة العمرانية خلال هذه المدة.



المصدر: الباحثان بالاعتماد على الطبقات المعلوماتية للغطاء الارضي بعامي ٢٠٠٠ - ٢٠١٠.

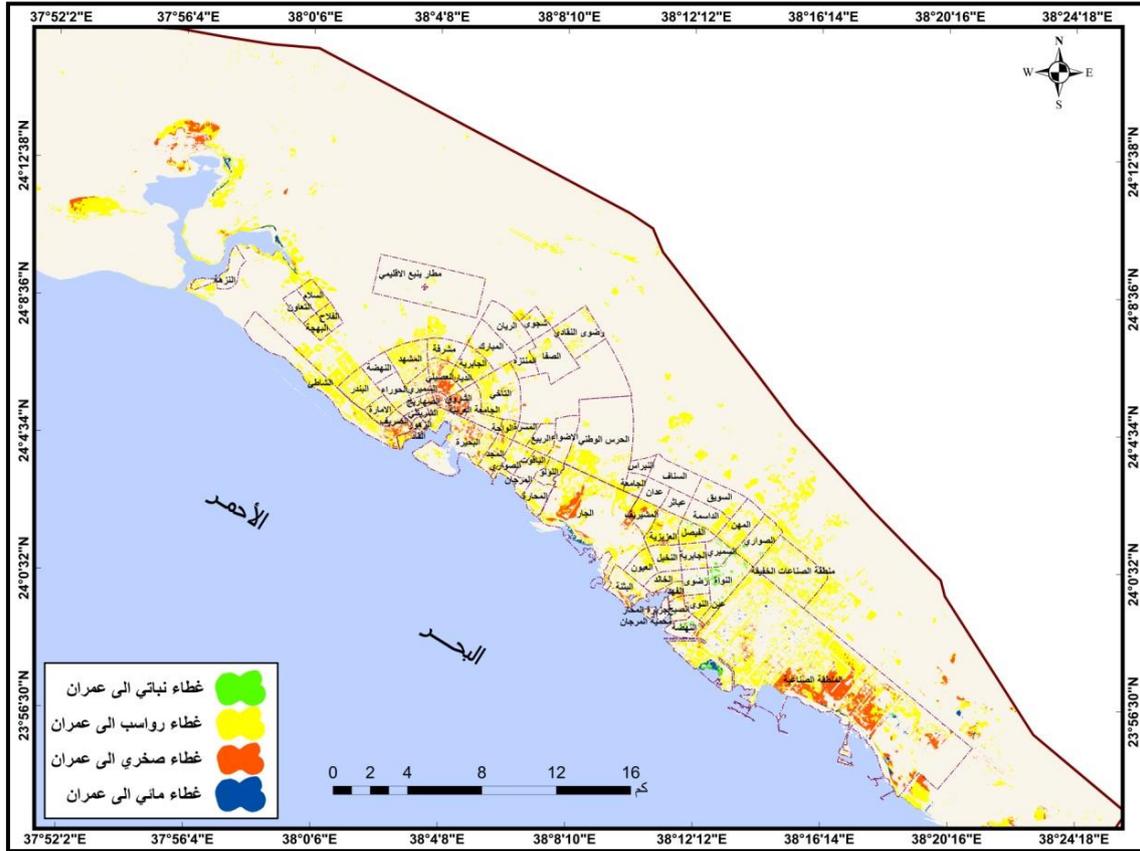
شكل رقم (٩) النمو العمراني على حساب الاغطية الارضية في مدينة ينبع بين عامي ٢٠٠٠ - ٢٠١٠

٢. التغير بين عامي ٢٠١٠-٢٠٢٠:

بلغت نسبة تغير غطاء العمران في مدينة ينبع بين عامي ٢٠١٠-٢٠٢٠ نحو ١٢٣.٢٪، وعليه فقد توصلت نتائج تحليل التغير المكاني للنمو العمراني على حساب اغطية واستعمالات الارض في المدينة شكل رقم (١٠) تفضيل التوسعات العمرانية التمدد على حساب الارسابات شمال وشرق ينبع البحر وينبع الصناعية، وبلغت مساحة توسع البناء بمناطق انتشار الرواسب نحو ٨٤.٢٥ كم<sup>٢</sup>، بنسبة

رصد تغير النمو العمراني ومحطاته في مدينة ينبع باستخدام نماذج ماركوف..... أ. شهرة دليم علي الأسمرى، أ.د. مساعد عبدالرحمن الجخيدب

٧٦.٩٪ من إجمالي مساحة النمو العمراني في المنطقة بين عامي ٢٠١٠-٢٠٢٠. وتعد التكوينات الصخرية ثاني أهم الاغطية الارضية لتوسعات النمو العمراني في مدينة ينبع، حيث بلغت مساحة المناطق المبنية بمناطق انتشار الصخور بين عامي ٢٠٠٠-٢٠١٠ نحو ١٥.٤ كم<sup>٢</sup> بنسبة ١٤.٠٥٪ من إجمالي مساحة المنطقة المبنية بال عمران خلال هذه المدة. وتقدم التوسع العمراني على حساب مياه البحر التي تعرضت للردم الى المرتبة الثالثة بعد ان كانت بالمرتبة الرابعة في المرحلة السابقة بمساحة بلغت ٨.٦٢ كم<sup>٢</sup> بنسبة ٧.٧٨٪ من إجمالي مساحة الزيادة العمرانية خلال هذه المدة. وجاء نمو العمران بمناطق انتشار الغطاء النباتي بين عامي ٢٠٠٠-٢٠١٠ في المرتبة الأخيرة بمساحة بلغت نحو ١.٢٩ كم<sup>٢</sup> بنسبة ١.١٧٪ من إجمالي مساحة الزيادة العمرانية في المنطقة خلال هذه المدة، وترجع اسباب الزيادة العمرانية على حساب الاغطية الارضية الاخرى بتركز مشاريع البنية التحتية والخدمات في مدينة ينبع التي تعتبر مركز المحافظة، الامر الذي تسبب في حركة الهجرة الداخلية من المناطق الريفية لمحافظة ينبع بل ومن منطقة المدينة المنورة وبقية المناطق نحو مدينة ينبع، ورافق ذلك الحاجة لمزيد من التوسعات العمرانية لتغطية احتياجات السكان.



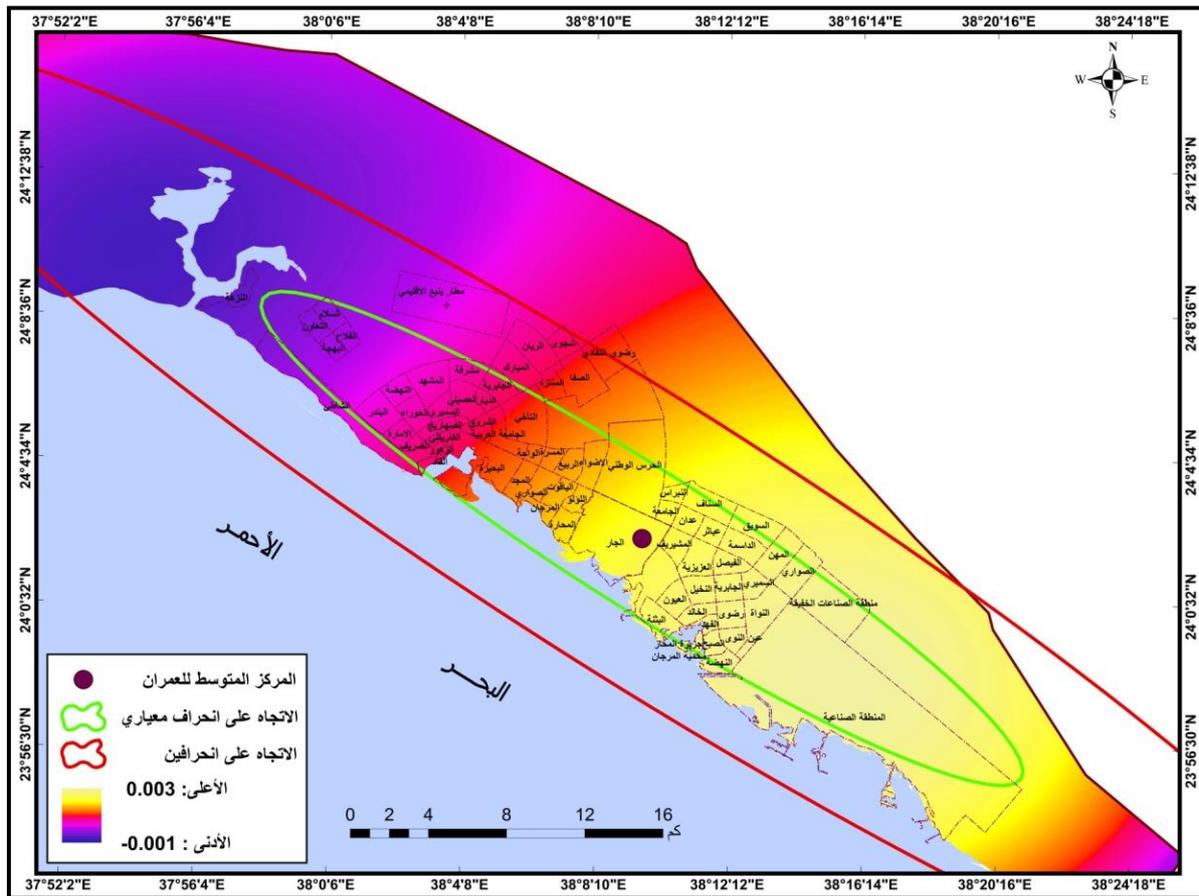
المصدر: الباحثان بالاعتماد على الطبقات المعلوماتية للغطاء الارضي عامي ٢٠١٠ - ٢٠٢٠

شكل رقم (١٠) النمو العمراني على حساب الاغطية الارضية في مدينة ينبع بين عامي ٢٠١٠ - ٢٠٢٠

ج. اتجاه تغير النمو العمراني:

١. الاتجاه بين عامي ٢٠٠٠-٢٠١٠:

توصلت نتائج تحليل اتجاه تغير نمو العمران في مدينة ينبع بين عامي ٢٠٠٠-٢٠١٠ بالاعتماد على نموذج اتجاه توزيع العمران شكل رقم (١١) أن اتجاه النمو العمراني يأخذ اتجاه جنوبي شرقي شمالي غربي، وبلغ انحراف زاوية توزيع العمران عن اتجاه الشمال  $122.56^\circ$  درجة، وتركزت نحو  $67.1$  كم<sup>٢</sup> من منطقة العمران بنسبة  $75.45\%$  من إجمالي مساحة العمران عام ٢٠١٠ على انحراف معياري واحد من المتوسط المكاني لتوزيع العمران. وتؤكد نتائج تحليل التوزيع بالاعتماد على نموذج اتجاه التغير المكاني (Spatial Trend of Change) تراوح اتجاه تغير العمران في مدينة ينبع بالنسبة لأغطية الأرض الأخرى ما بين  $0.001^-$  إلى  $0.003^+$ ، بمتوسط مكاني على مستوى المنطقة بلغ  $0.0009$ ، وتتركز أعلى معدلات اتجاه التغير المكاني للنمو العمراني في المنطقة الجنوبية الوسطى لمدينة ينبع وتقل مع الاتجاه جنوب وشمال المنطقة.



المصدر: الباحثان بالاعتماد على الطبقات الخلوية لأغطية واستعمالات الأرض عامي ٢٠٠٠ - ٢٠١٠

شكل رقم (١١) اتجاه النمو العمراني في مدينة ينبع بين عامي ٢٠٠٠ - ٢٠١٠

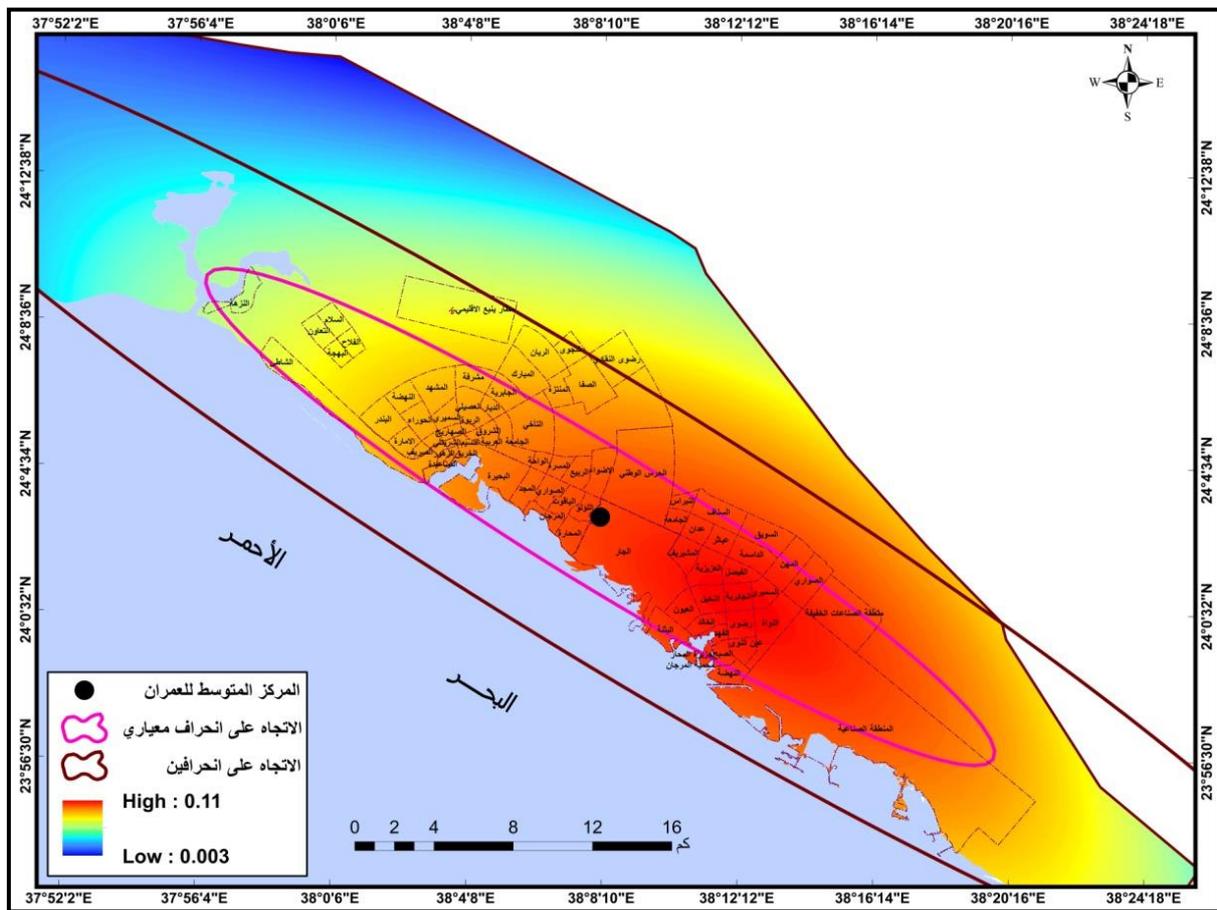
وبذلك يقل اتجاه التغير المكاني لنمو العمران في مدينة ينبع عن ٠.٠٠٠٠١ في المنطقة الشمالية الوسطى لمنطقة الدراسة بمساحة بلغت ٣٦٠.٨٧ كم<sup>٢</sup>، بنسبة ٣٧.٤٦٪ من إجمالي مساحة المنطقة. وتقع المنطقة التي يتراوح فيها اتجاه التغير المكاني للعمران بين ٠.٠٠٠٠١ - ٠.٠٠٠٠٥ بمحاذاة المنطقة السابقة وجنوب مدينة ينبع بمساحة ٩٤.٩ كم<sup>٢</sup>، بنسبة ٩.٨٥٪ من إجمالي مساحة المنطقة. وتبرز المنطقة التي تراوح فيها اتجاه تغير العمران بين ٠.٠٠٠٠٥ - ٠.٠٠٠٠١ شمال ووسط وجنوب منطقة الدراسة بمساحة ٩٦.٥٤ كم<sup>٢</sup>، بنسبة ١٠.٠١٪ من إجمالي مساحة منطقة الدراسة. وتظهر المنطقة التي شهدت تغير لاتجاه العمران مكانياً بين ٠.٠٠٠٠١ - ٠.٠٠٠٠٢ وسط وأقصى شمال ووسط جنوب مدينة ينبع بمساحة ١٤٨.١١ كم<sup>٢</sup>، بنسبة ١٥.٣٧٪ من إجمالي مساحة منطقة الدراسة. وتقع المنطقة التي شهدت أسرع تغير في اتجاه نمو عمران المدينة بحيث يتجاوز ٠.٠٠٠٠٢ في مدينة ينبع الصناعية، بمساحة ٢٦٣.٠٦ كم<sup>٢</sup>، بنسبة ٢٧.٣٪ من إجمالي مساحة المنطقة.

## ٢. الاتجاه بين عامي ٢٠١٠-٢٠٢٠:

في المقابل أكدت نتائج القيام بتحليل اتجاه توزيع نمو العمران بالنسبة لأغطية واستعمالات الارض الأخرى في مدينة ينبع بين عامي ٢٠١٠-٢٠٢٠ شكل رقم (١٢) بالاعتماد على نموذج اتجاه توزيع العمران أن اتجاه النمو العمراني أخذ نفس اتجاه المرحلة السابقة جنوبي شرقي شمالي غربي، بانحراف لزاوية توزيع العمران عن اتجاه الشمال بلغ  $121.85^\circ$  درجة، ويرجع انخفاض زاوية اتجاه التوزيع عن الفترة السابقة إلى انتشار العمران بشكل أوسع نحو الشرق، وعليه فقد تركز نحو  $120.32^\circ$  كم<sup>٢</sup> من مساحة العمران بنسبة ٦٠.٦٢٪ من إجمالي مساحة العمران عام ٢٠٢٠ على انحراف معياري واحد من المتوسط المكاني، وتعكس النسبة المنخفضة مقارنة بالمرحلة السابقة انتشار العمران بشكل أوسع عام ٢٠٢٠ مقارنة بالأعوام السابقة. وتوضح نتائج تحليل اتجاه تغير النمو العمراني تراوح اتجاه تغير نمو العمران في مدينة ينبع بالنسبة لبقية أغطية الارض ما بين ٠.٠٠٠٠٣ الى ٠.٠٠٠١١، بمتوسط مكاني على مستوى المنطقة بلغ ٠.٠٠٠٠٦، ويقع مركز اتجاه التغير المكاني للنمو العمراني بمنطقة ينبع الصناعية ويقبل مع الاتجاه جنوب وشمال منطقة الدراسة.

وتبين نتائج تصنيف طبقة اتجاه تغير نمو العمران في مدينة ينبع وقوع المنطقة التي يقل فيها اتجاه التغير عن ٠.٠٠٢ شمال وشمال غرب منطقة الدراسة بمساحة بلغت ١٢٥.١٢ كم<sup>٢</sup>، بنسبة ١٢.٩٨٪ من إجمالي مساحة المنطقة. وظهر المنطقة التي يتراوح فيها اتجاه التغير المكاني للعمران بين

٠.٠٤-٠.٠٢ بمحاذاة المنطقة السابقة من الجنوب بمساحة ١٧٠.٦٦ كم<sup>٢</sup>، بنسبة ١٧.٧٢٪ من إجمالي مساحة المنطقة. وتبرز المنطقة التي تراوح فيها اتجاه تغير العمران بين ٠.٠٦-٠.٠٤ جنوب النطاق السابق وجنوب منطقة الدراسة بمساحة ١٤٠.٧٥ كم<sup>٢</sup>، بنسبة ١٤.٦٪ من إجمالي مساحة منطقة الدراسة. وتقع المنطقة التي شهدت تغير لاتجاه نمو العمران بين ٠.٠٨-٠.٠٦ وسط شمال ووسط جنوب مدينة ينبع بمساحة ١٩٩.٤٦ كم<sup>٢</sup>، بنسبة ٢٠.٧٪ من إجمالي مساحة منطقة الدراسة. وتمتد المنطقة التي شهدت أسرع تغير في اتجاه نمو عمران المدينة تجاوز ٠.٠٨ في المنطقة الممتدة من شمال ينبع البحر الى جنوب ينبع الصناعية، بمساحة ٣٢٧.٥٢ كم<sup>٢</sup>، بنسبة ٣٤٪ من إجمالي مساحة المنطقة.



المصدر: الباحثان بالاعتماد على الطبقات الخولية لأغطية واستعمالات الارض عامي ٢٠١٠ - ٢٠٢٠

شكل رقم (١٢) اتجاه النمو العمراني في مدينة ينبع بين عامي ٢٠١٠ - ٢٠٢٠

د. محاكاة النمو العمراني عام ٢٠٣٠:

يعتبر إنشاء نماذج محاكاة لرصد وتعديل تغير أغطية واستخدام الأراضي بما فيها تغير النمو العمراني قضية محلية وعالمية تثير قلق. وتشمل طرق المحاكاة على جانبين: الأول عدد التنبؤات،

والآخر محاكاة الأنماط المكانية للمستقبل (Sang, et al, 2011, p.938). وتعد الأنماط المكانية لتغير استخدامات الأرض في المحاكاة الديناميكية والتحليل المتعلق بتأثير تغيرات استخدام الأراضي في العديد من الدوافع عملية معقدة للغاية (Hou, et al, 2004, p. 287). وتستخدم نماذج محاكاة النمط المكاني عمليات تغيير استخدام الأرض لفهم وشرح عملية تغير واتجاهات استخدام الأراضي الإقليمية بطرق فعالة.

## ١. المحاكاة بنموذج الاتمة الخلوية (CA-MARKOV):

إن كان نموذج ماركوف (Markov) قادر على التنبؤ بالتغير الكمي وليس المكاني لاستخدام الأرض، فإن نموذج (CA-Markov) لديه مفهوم المعلومات المكانية والقدرة على محاكاة التطور الديناميكي (Zhang, 2021, p.2). وبذلك يتمتع نموذج ماركوف (CA-Markov) بمزايا كبيرة في دراسة تغيير استخدام الأرض، وكشف تغير النمو العمراني على نطاق واسع من خلال الحوسبة لمحاكاة التغير المكاني. ويعد نموذج (CA-Markov) منهج قوي في النمذجة الديناميكية المكانية والزمانية لتغير استخدام الأراضي لأنه يدمج بكفاءة أنظمة المعلومات الجغرافية مع بيانات الاستشعار عن بعد (Kamusoko, et al, 2009, p.436). ويتميز هذا النموذج بقدرة ودقة عالية على التنبؤات طويلة المدى، ويمكنه محاكاة النمط المكاني لتغيير استخدام الأرض بشكل فعال (Sang, et al, 2011, p.938). ويتأثر سلوك نموذج (CA) بالشكوك الناشئة عن التفاعل بين عناصر النموذج والهياكل ونوعية مصادر البيانات المستخدمة كمدخلات للنموذج (Peterson, et al, 2009, p.913). ويركز هذا النموذج على التفاعلات المحلية للخلايا ذات ميزات الاقتران الزمانية والمكانية المميزة والقدرة القوية للحوسبة، والتي تعد مناسبة بشكل خاص للمحاكاة الديناميكية والعرض باستخدام ميزات التنظيم الذاتي (Sang, et al, 2011, p.939).

وبذلك استخدمت الدراسة نموذج ماركوف (CA-MARKOV) ضمن برنامج (IDRISI 17) للتنبؤ بنمو العمران وتغير الغطاء الأرضي في مدينة ينبع عام ٢٠٣٠، ويختلف هذا النموذج عن نموذج سلسلة ماركوف كونه يتنبأ بالنمو العمراني المستقبلي وتغير اغطية الأرض بالاعتماد على متغيرات الغطاء الأرضي فقط متمثلة بطبقتي اغطية واستعمالات الأرض لعامي ٢٠١٠-٢٠٢٠، وطبقتي الاراضي المحتملة تغيرها، وطبقة المناطق الملائمة للتحويل، وكلاهما ناتجتان عن استعمال طبقتي اغطية واستعمالات الأرض لعامي ٢٠١٠-٢٠٢٠ بواسطة تطبيق نموذج (MARKOV) كخطوة اولى لتطبيق نموذج (CA-MARKOV).

وبذلك تظهر نتائج هذا النموذج جدول رقم (٦) احتمالية تغير النمو العمراني والأغطية الأرضية في منطقة الدراسة عام ٢٠٣٠. حيث تمثل الصفوف استخدامات وأغطية الأرض السابقة، وتمثل الأعمدة استخدامات وأغطية الأرض الجديدة، وتشير القيمة ٠ إلى أدنى احتمال للتغير، وتزداد احتمالية التغير عند الاقتراب من القيمة الواحد الصحيح (Ali et al, 2020, p.7).

وتبين نتائج النموذج المبينة في جدول (٦) أن هناك احتمال في توسعات الفئة الأولى التي تمثل الاستخدام السكني على حساب اغطية واستعمالات الأرض الأخرى فهناك احتمال تغيير الفئة الأولى وهي المباني لنفس الاستخدام هو ٠.٨٠١٥، وتغير استعمال الطرق إلى عمران ٠.٣٦٤٥، وتغير الغطاء النباتي الى مباني ٠.٤٠٣٣، وتغير غطاء الرواسب إلى مساكن ٠.٢١١٨، وتغير غطاء الصخور الى عمران ٠.٣٩٢١، وتغير الغطاء المائي الى عمران ٠.٣٣٧٢ ... إلخ.

جدول (٦) احتمالية تحول الغطاء الأرضي حسب نتائج نموذج (MARKOV) عام ٢٠٣٠

الفئة	عمران	طرق	نبات	تربة (رواسب)	صخور	مياه
عمران	٠,٨٠١٥	٠,٠٩٤٠	٠,٠٧٣٩	٠,٠٠١٥	٠,٠٠٠٠	٠,٠٢٩١
طرق	٠,٣٦٤٥	٠,٦٢٠٧	٠,٠٠٧٣	٠,٠٠٠٠	٠,٠٠٠٠	٠,٠٠٧٥
نبات	٠,٤٠٣٣	٠,٠٤٧٩	٠,٥٤٣٢	٠,٠٠١٦	٠,٠٠٠٠	٠,٠٠٤٠
تربة (رواسب)	٠,٢١١٨	٠,٠٣٥١	٠,٠٠٤٤	٠,٧٣٦٠	٠,٠٠٠٠	٠,٠١٢٧
صخور	٠,٣٩٢١	٠,٠٣٣١	٠,٠٠٤١	٠,٠٠٢٣	٠,٥٥٤١	٠,٠١٢٣
مياه	٠,٣٣٧٢	٠,٠٠٨١	٠,٠٩٩١	٠,٣٧٤٢	٠,٠٠٨٧	٠,٠٧٣٨

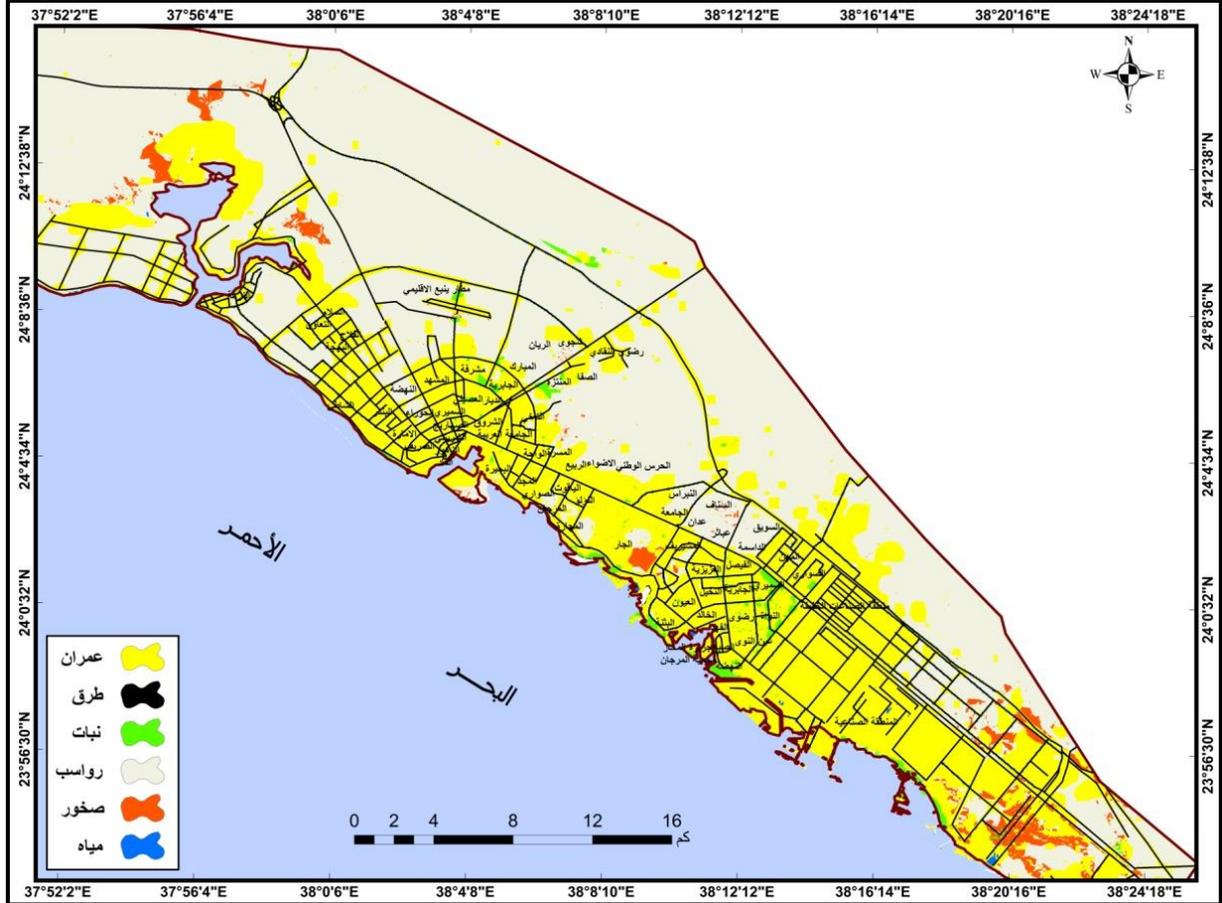
المصدر: الباحثان بالاعتماد على نموذج (MARKOV)

بناء على ذلك تتوقع نتائج تطبيق نموذج (CA-MARKOV) استمرارية بقاء الغطاء الرسوبي في المرتبة الأولى من حيث المساحة الكلية، ومن المتوقع ان تتراجع مساحة الرواسب بين عامي ٢٠٢٠ - ٢٠٣٠ امام توسع الزحف العمراني إلى ٥٧٦.١١ كم<sup>٢</sup>، بنسبة ٥٩.٧٢٪ من إجمالي مساحة المنطقة، وبالتالي يتوقع النموذج تراجع مساحة غطاء الرواسب في مدينة ينبع عن عام ٢٠٢٠ بنحو ٩٩.٥٧ كم<sup>٢</sup>.

من جانب آخر تظهر نتائج هذه النموذج استمرار التوسع العمراني ليأتي في المرتبة الثانية بمساحة يتوقع زيادتها الى ٢٩٤.٣٧ كم<sup>٢</sup>، بنسبة ٣٠.٥٢٪ من إجمالي مساحة مدينة ينبع، وبذلك فمن المتوقع زيادة مساحة المباني خلال السنوات العشرة القادمة بين عامي ٢٠٢٠-٢٠٣٠ حسب نموذج (CA-MARKOV) بنحو ٩٥.٨٩ كم<sup>٢</sup>، وسوف تتركز الزيادة العمرانية خلال هذه المدة شكل (١٣) على

رصد تغير النمو العمراني ومحطاته في مدينة ينبع باستخدام نماذج ماركوف..... أ. شهرة دليم علي الأسمرى، أ.د. مساعد عبدالرحمن الجعيد

جوانب الطرق المنتشرة بمنطقة الدراسة، وبالقرب من مناطق انتشار المباني السكنية عام ٢٠٢٠، وعلى مقربة من مركزي مدينتي ينبع البحر ونبع الصناعية حيث المشاريع الإنمائية والخدمية والاستثمارية والكثافة السكانية المرتفعة، وفي المناطق التي يقل ارتفاع تضاريسها عن ٢٥ م، ويقل انحدارها عن ١٠٪، حيث تنتشر التكوينات الرسوبية والتراب التي تتسم بكثافة معتدلة للتربة.



المصدر: الباحثان بالاعتماد على نموذج (CA-MARKOV).

### شكل رقم (١٣) محاكاة النمو العمراني وتغير اغطية الارض عام ٢٠٣٠

ويبين جدول رقم (٧) توقع زيادة مساحة الطرق واستمرارية سيطرتها على المرتبة الثالثة بمساحة ٦١.١٧ كم<sup>٢</sup>، بنسبة ٦.٣٣٪ من إجمالي مساحة المنطقة، وعليه يتوقع هذا النموذج زيادة في مساحة الطرق بين عامي ٢٠٢٠ - ٢٠٣٠ بنحو ١٩.٢٣ كم<sup>٢</sup>. كما تتوقع نتائج نموذج (CA-MARKOV) تراجع مساحة الغطاء الصخري لتصل عام ٢٠٣٠ الى ١٩.٣٩ كم<sup>٢</sup>، بنسبة ٢٪ من إجمالي مساحة المدينة، وبالتالي يتوقع النموذج تراجع مساحة التكوينات الصخرية بنحو ١٥.٠٣ كم<sup>٢</sup> عما كانت عليه عام ٢٠٢٠. ويتوقع هذه النموذج زيادة بسيطة في مساحة الغطاء النباتي وبقاءه في المرتبة الخامسة بمساحة ٨.٩٣ كم<sup>٢</sup>، بنسبة ٠.٩٢٪ من إجمالي مساحة المنطقة، وبالتالي قد تزداد مساحة الغطاء النباتي

بين عامي ٢٠٢٠ - ٢٠٣٠ بنحو ٠.٩٦ كم<sup>٢</sup>. وتظهر نتائج المحاكاة بهذا النموذج استمرارية الغطاء المائي في المرتبة الأخيرة مع امكانية تراجع مساحته عن عام ٢٠٢٠ بفعل عمليات الردم لتصل مساحته الى ٤.٨٢ كم<sup>٢</sup>، بنسبة ٠.٥٪ من إجمالي مساحة المنطقة، بتراجع بنحو ١.٥ كم<sup>٢</sup> بين المدتين.

جدول رقم (٧) مساحة أغطية واستعمالات الارض حسب نموذج (CA-MARKOV) عام ٢٠٣٠

النسبة %	المساحة كم <sup>٢</sup>	الغطاء الارضي
٣١,٥٢	٢٩٤,٣٧	غطاء عمراني
٦,٣٣	٦١,١٧	الطرق
٠,٩٢	٨,٩٣	غطاء نباتي
٥٩,٧٢	٥٧٦,١١	غطاء رسوبي
٢	١٩,٣٨	غطاء صخري
٠,٥	٤,٨٢	مياه
٪١٠٠	٩٦٤,٨	الاجمالي

المصدر: الباحثان بالاعتماد على الشكل رقم (١٣).

وتظهر نتائج تقييم الدقة المكانية للتنبؤ بنمو العمران بنموذج (CA-MARKOV) عام ٢٠٣٠ بناء على الغطاء الارضي السائدة في مدينة ينبع عام ٢٠١٠ أن قيمة معامل كابتا (٠.٨٢)، وبالاعتماد على اغطية واستعمالات الارض التي كانت سائدة عام ٢٠٢٠ فان قيمة معامل كابتا ترتفع الى (٠.٩٢)، وبالتالي تؤكد هذه النتائج صحة نتائج محاكاة العمران عام ٢٠٣٠، ومما يدعم ذلك وجود درجة عالية جدا من دقة المحاكاة بين الخرائط الفعلية وخريطة محاكاة النمو العمراني باستخدام نموذج (CA-MARKOV) عام ٢٠٣٠.

## ٢. المحاكاة بنموذج (MARKOV-Chain):

يجمع نموذج سلسلة ماركوف (MARKOV-Chain) بين مزايا تنبؤات (CA-Markov, Markov) الزمانية والمكانية لتغير الأراضي. ويصف احتمالية تغيير حالة إلى أخرى بناء على مصفوفة احتمالية الانتقال (Maithani, 2010, p.605). وتساعد سلسلة ماركوف في التنبؤ المستقبلي استناداً إلى بيانات سلسلتين زمنيتين، ويشرح احتمال الانتقال بناءً على خطوتين زمنيتين (Siddiqui, et al, 2018, p.230). ويأخذ في الاعتبار مدى ملاءمة تغيير استخدام الأرض، وتأثير العوامل الطبيعية والمجتمعية والاقتصادية حولها، وبالتالي لا يأخذ هذا النموذج عند الاتمة الخلوية الجغرافية لمحاكاة تغير استخدام الأرض في الاعتبار ظروف التربة والمناخ والتضاريس والعوامل الطبيعية الأخرى فقط، بل يأخذ جميع

العوامل البشرية مع الاتجاهات التاريخية لاستخدام الأرض. وتطبيق نموذج سلسلة ماركوف سيتم نمذجة التغييرات المستقبلية لاستخدام الأرض في مدينة ينبع على أساس الحالة السابقة؛ أي تم استخدام مصفوفة احتمالات الانتقال الملحوظة بين خرائط استعمالات الأرض لعامي ٢٠١٠ و ٢٠٢٠ لإسقاط التغييرات المستقبلية عام ٢٠٣٠ من الأنماط الحالية من خلال تحليل التراكم المكاني، وتم تحديد مصفوفة احتمالية الانتقال، ومنطقة النقل للمصفوفة من بينها، وتعكس مصفوفة احتمالية الانتقال تحول الأنواع المختلفة لاستخدام الأراضي إلى أنواع أخرى من الاحتمالات؛ تعكس منطقة النقل في المصفوفة تحول استخدام الأرض إلى أنواع أخرى في المناطق المتوقعة عام ٢٠٣٠، وكان خط الأساس طبقة استخدام الأرض عام ٢٠٢٠، والتي يفرضها النموذج على طبقة ٢٠١٠.

وبذلك حاكت الدراسة نمو العمران وتغير أغطية الأرض في مدينة ينبع عام ٢٠٣٠ بتطبيق نموذج سلسلة ماركوف (MARCOV Chain) ضمن بيئة نظم المعلومات الجغرافية ببرنامج (IDRISI 17)، واعتمدت الدراسة في ذلك على مجموعة من المتغيرات المستقلة المؤثرة في النمو العمراني (كارتماع وانحدار التضاريس والبعد من مجاري الاودية والمياه الجوفية والجريان السطحي والحرارة والأمطار والرطوبة وسرعة الرياح والكثافة الظاهرية للتربة ونمو وكثافة السكان والبعد من الطرق والبعد من مركز المدينة والبعد من الكتلة المبنية)، ومتغيرين تابعين هما طبقتي أغطية واستعمالات الأرض بعامي ٢٠١٠-٢٠٢٠.

وتظهر نتائج جدول رقم (٨) نسبة تحول اغطية الارض الى مباني حيث تراوحت امكانية تحول المياه الى مباني بين ٠ - ٩٠.٠٧% بمتوسط مكاني للغطاء المائي في المنطقة بلغت ٠.٠٤%، فيما تراوحت امكانية تحول الغطاء النباتي الى مباني بين ٠ - ٦٢.٠٤% بمتوسط مكاني للغطاء النباتي في المدينة بلغت ٠.٣٨%، كما تراوحت امكانية تحول الغطاء الرسوبي الى مباني بين ٠ - ٣٠.١٢% بمتوسط مكاني للرواسب التي من المتوقع تحولها الى مباني بلغت ٢.٢%، وتراوحت امكانية تحول الصخور الى مباني بين ٠ - ٢٤.٧٧% بمتوسط مكاني للصخور في المنطقة بلغت ٠.١٥%.

جدول (٨) نموذج احتمالية تحول الغطاء الارضي الى مباني عام ٢٠٣٠

الفتة	الحددين الأعلى والأدنى لنسبة احتمالية التحول الى مباني	متوسط نسبة امكانية التحول
التحول من غطاء نباتي الى بناء	٦٢,٠٤ - ٠	٠,٣٨
التحول من رواسب الى بناء	٣٠,١٢ - ٠	٢,٢
التحول من صخور الى بناء	٢٤,٧٧ - ٠	٠,١٥
التحول من مياه الى بناء	٩٠,٠٧ - ٠	٠,٠٤

المصدر: الباحثان بالاعتماد على نموذج (MLP)

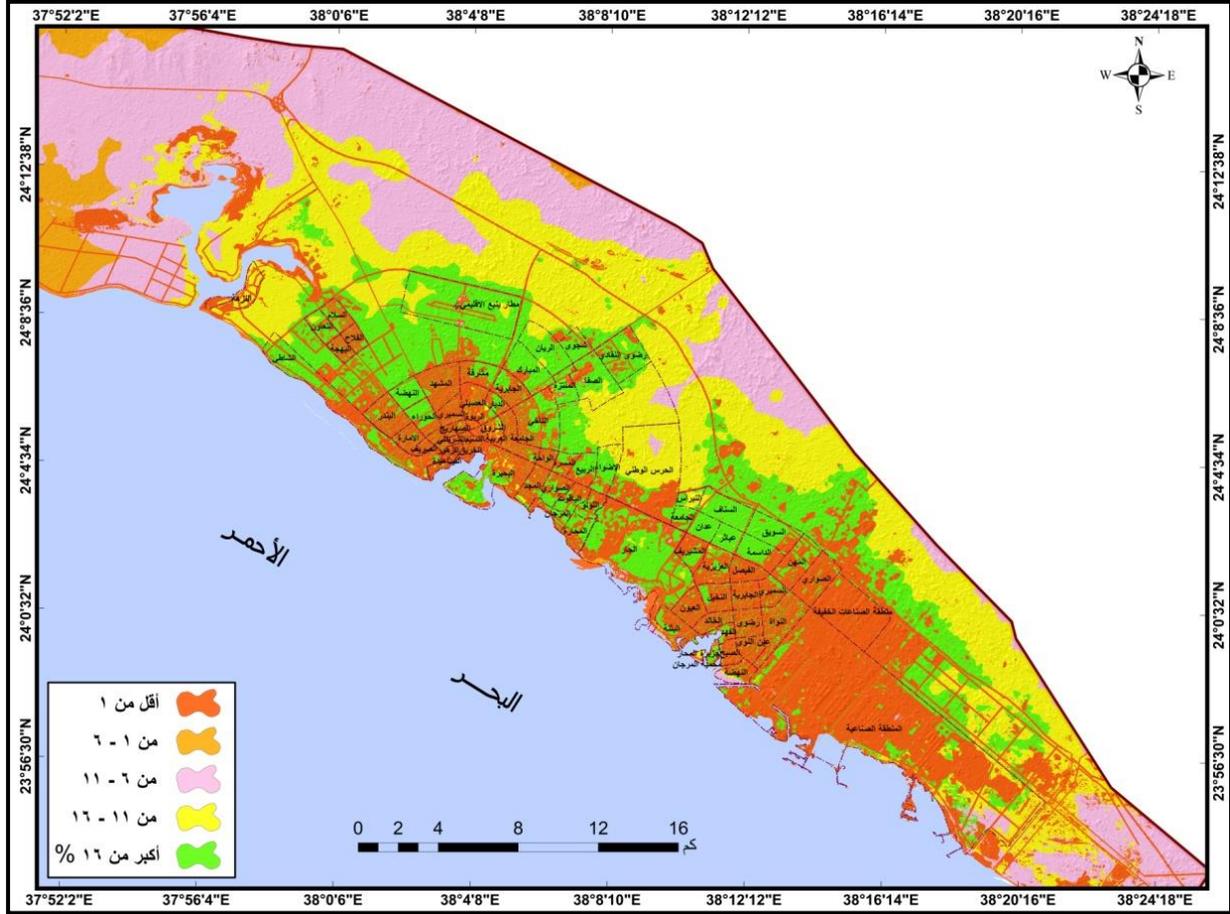
وبذلك تظهر نتائج تغير الأغطية الأرضية عام ٢٠٣٠ تراوح امكانية تحولها الى مناطق بناء حسب نموذج سلسلة ماركوف بين ٠-٩٠.٠٧٪ بمتوسط على المستوى المكاني لإمكانية تحول جميع الاغطية الارضية الى مبان بلغت ٨.٣٣٪، ويظهر شكل رقم (١٤) وقوع المنطقة التي تقل امكانية تحولها الى مباني عن ١٪ عام ٢٠٣٠ بمناطق انتشار المباني والطرق عام ٢٠٢٠ بمساحة بلغت ٢٤٠.٤٢ كم<sup>٢</sup> بنسبة ٢٤.٩٥٪ من اجمالي مساحة منطقة الدراسة. وتظهر المنطقة التي تتراوح امكانية تحولها الى مباني بين ١-٦٪ عام ٢٠٣٠ شمال غرب منطقة الدراسة بمساحة بلغت ١٠٢.٨٥ كم<sup>٢</sup> بنسبة ١٠.٦٧٪ من اجمالي مساحة المدينة، ويرجع تدني امكانية التحول في هذه المناطق بسبب ملاءمتها الضعيفة لنمو العمران بالذات بعد هذه المنطقة عن مركز المدينة وعن الكتلة العمرانية المنتشرة حاليا فضلا عن كونها بعيدة من طرق النقل والخدمات والبنى التحتية وقلت نمو سكانها وكثافتهم فضلا عن ارتفاع حرارتها الكثافة الظاهرية لتربيتها.

وتبرز المنطقة التي تتراوح امكانية تحولها الى مباني بين ٦-١١٪ عام ٢٠٣٠ شمال وشمال شرق وشرق وجنوب شرق المدينة بمساحة بلغت ٢٤٣.٧ كم<sup>٢</sup> بنسبة ٢٥.٣٪ من اجمالي مساحة المنطقة، ويرجع انخفاض امكانية تحول هذه المناطق الى مباني بسبب ضعف ملاءمتها من المتغيرات المكانية لنمو العمران بالذات بعد هذه المنطقة عن مركز المدينة ومناطق انتشار العمران والطرق والخدمات والبنى التحتية وانخفاض نمو السكان وكثافتهم، فضلا عن وقوعها بمناطق مرتفعة ومنحدرة وشدة حرارة هذه المناطق وانخفاض الجريان ونسبة تخزين المياه الجوفية وارتفاع الكثافة الظاهرية للتربة في بعض مناطقها.

وترتفع نسبة احتمالية تحول الغطاء الارضي الى مبان لتتراوح عام ٢٠٣٠ بين ١١-١٦٪ في المناطق الوسطى والشرقية من منطقة الدراسة بمساحة بلغت ٢٢٠.٨ كم<sup>٢</sup> بنسبة ٢٢.٩١٪ من اجمالي مساحة المنطقة، ويرجع الارتفاع النسبي لإمكانية التحول بهذه المناطق الى ملاءمتها المعتدلة لنمو العمران حيث تتسم هذه المناطق بقربها النسبي من مراكز المدينة ومناطق انتشار العمران والطرق والخدمات والبنى التحتية وارتفاع كثافة السكان فضلا عن وقوعها بمناطق شبة مستوية واعتدال رطوبة وحرارة غالبيتها وانخفاض سرعة الرياح وانخفاض الجريان واعتدال الكثافة الظاهرية للتربة. وتتجاوز نسبة احتمالية تحول أغطية الأرض الى مبان ١٦٪ في المناطق الوسطى من المنطقة بمساحة بلغت ١٥٥.٧٢ كم<sup>٢</sup> بنسبة ١٦.١٦٪ من اجمالي مساحة المنطقة، ويرجع ارتفاع نسبة إمكانية تحول هذه المناطق الى مبان بسبب الملاءمة العالية لكثير من متغيراتها المكانية، لاسيما قرب هذه المناطق من

رصد تغير النمو العمراني ومحركاته في مدينة ينبع باستخدام نماذج ماركوف..... أ. شهرة دليم علي الأسمري، أ.د. مساعد عبدالرحمن الجعيد

مراكز المدينة ومحاذاتها لمناطق انتشار العمران والطرق والخدمات والبنى التحتية ومجاري الأودية وارتفاع كثافة ونمو السكان وانخفاض ارتفاع واستواء سطح غالبية تضاريسها وانخفاض حرارة وسرعة الرياح وانخفاض الجريان واعتدال الكثافة الظاهرية للتربة.



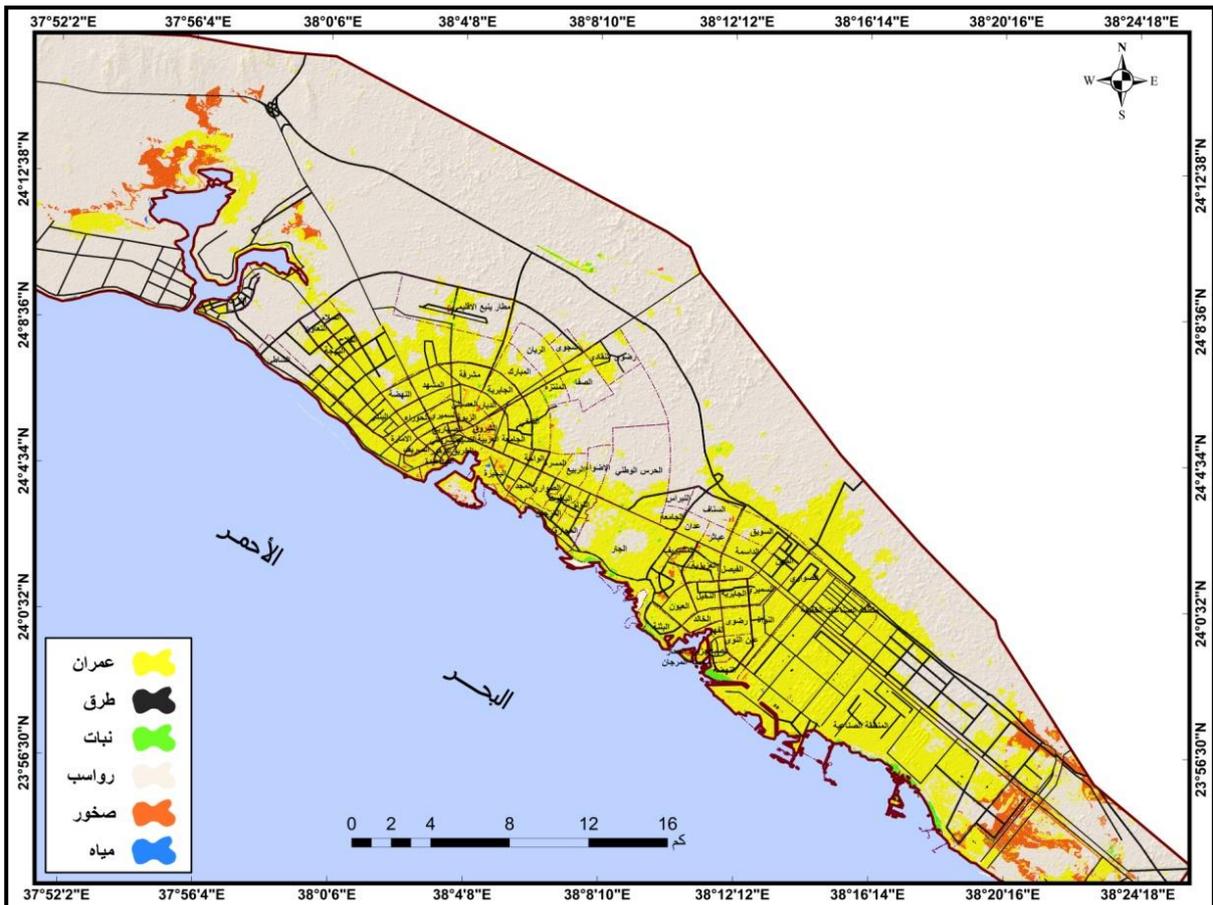
المصدر: الباحثان بالاعتماد على نموذج (Transition Potential Modeling).

شكل رقم (١٤) فئات نسب احتمالية تحول اغطية الارض الى مبان بين عامي ٢٠٢٠-٢٠٣٠

وتظهر نتائج هذا النموذج مجي متغير البعد من مركز المدينة في المرتبة الأولى من حيث التأثير على تغير نمو العمراني واتجاهاته بين مدة وأخرى، يليه متغير البعد من المباني، ومن ثم البعد من مشاريع التنمية لاسيما البعد من الطرق، بعدها جاء تأثير كثافة ونمو السكان، وأخيه تأثير متغيري الارتفاع والانحدار، ومن ثم تأثير درجات الحرارة والمياه الجوفية والكثافة الظاهرية للتربة وسرعة الرياح والجريان السطحي والبعد من مجاري الأودية والرطوبة وجاءت الأمطار في المرتبة الأخيرة من حيث تأثيراتها في النمو العمراني واتجاهاته بمدينة ينبع.

وتتوقع نتائج نموذج سلسلة ماركوف بقاء الرواسب بالمرتبة الأولى بمساحة يتوقع ان تتراجع الى ٦٠٧.٤٨ كم<sup>٢</sup>، بنسبة ٦٣.٠٥٪ من إجمالي مساحة المنطقة، وعليه سوف تتراجع مساحة الرواسب عن

عام ٢٠٢٠ بنحو ٦٨.٢ كم<sup>٢</sup>. ومن المتوقع زيادة مساحة المباني لتأتي في المرتبة الثانية بمساحة ٢٦٦.٠٨ كم<sup>٢</sup>، بنسبة ٢٧.٦٧٪ من إجمالي مساحة المنطقة، وبالتالي سوف تزداد مساحة المباني خلال العشرة سنوات القادمة بين عامي ٢٠٢٠-٢٠٣٠ حسب نموذج سلسلة ماركوف بنحو ٦٧.٦ كم<sup>٢</sup>، وتظهر الزيادة العمرانية شكل (١٥) في المناطق القريبة من مركز مدينتي ينبع البحر وينبع الصناعية حيث تتركز المشاريع الانمائية والخدمية، وتشتد كثافة السكان ويرتفع معدل نموهم، وبمحاذاة المناطق المبنية المنتشرة عام ٢٠٢٠، وعلى جوانب الطرق الخارجة من المدينة، والبعيدة نسبياً من مجاري الاودية الرئيسية التي تأتي من خارج حدود منطقة الدراسة، حيث تنتشر الرواسب والتراب التي تتصف بكثافة ظاهرية معتدلة للتربة ١.٣-١.٤ غم/سم<sup>٢</sup>، بمناطق يقل ارتفاع غالبيتها عن ٢٥ م، ويقل الانحدار عن ١٠٪، وتقل درجات الحرارة عن ٢٩.٥°، وتقل رطوبتها عن ٩.٨ جرام/كج، وتقل سرعة رياحها عن ٤.٥ م/ث، وتقل امطارها عن ٦٥ ملم/سنوياً، وتقل نسبة تخزينها للمياه الجوفية عن ٣٥٠ ملم، ويقل فيها الجريان السطحي عن ٦٠ كج/م<sup>٣</sup>/ث.



المصدر: الباحثان بالاعتماد على نموذج (Markov Chain).

شكل رقم (١٥) محاكاة النمو العمراني وتغير اغطية الأرض عام ٢٠٣٠

ومن المتوقع جدول رقم (٩) زيادة مساحة الطرق وبقاء سيطرتها على المرتبة الثالثة لتبلغ مساحتها ٥٩.٨٣ كم<sup>٢</sup>، بنسبة ٦.٢١٪ من إجمالي مساحة المنطقة، وبالتالي يتوقع نموذج سلسلة ماركوف زيادة مساحة الطرق بنحو ١٧.٨٩ كم<sup>٢</sup> عن عام ٢٠٢٠. وتؤكد نتائج النموذج نفسه تراجع مساحة الغطاء الصخري التي من المتوقع تراجعها إلى ٢٤.٤ كم<sup>٢</sup>، بنسبة ٢.٥٣٪ من إجمالي مساحة منطقة الدراسة عام ٢٠٣٠، وبالتالي قد تتراجع مساحة الصخور بنحو ١٠.٠١ كم<sup>٢</sup> عما كانت عليه عام ٢٠٢٠. وبالتالي من المتوقع أن تتراجع مساحة الغطاء النباتي مع استمرار بقاءه في المرتبة الخامسة بمساحة ٤.٤٢ كم<sup>٢</sup>، بنسبة ٠.٤٩٪ من إجمالي مساحة المنطقة، وبالتالي قد يتراجع الغطاء النباتي بين عامي ٢٠٢٠ - ٢٠٣٠ بنحو ٣.١٥ كم<sup>٢</sup>. كما يتوقع هذا النموذج بقاء الغطاء المائي في المرتبة الأخيرة مع إمكانية تراجع مساحته عام ٢٠٣٠ بفعل عمليات الردم لتصل مساحته إلى ٠.٨٨ كم<sup>٢</sup>، بنسبة ٠.٠٩٪ من إجمالي مساحة المنطقة.

جدول رقم (٩) مساحة أغطية واستعمالات الأرض في مدينة ينبع حسب نموذج (Markov Chain) عام ٢٠٣٠

النسبة %	المساحة كم <sup>٢</sup>	الغطاء الأرضي
٢٧,٦٧	٢٦٦,٠٨	غطاء عمراني
٦,٢١	٥٩,٨٣	الطرق
٠,٤٩	٤,٨٢	غطاء نباتي
٦٣,٠٥	٦٠٧,٤٨	غطاء رسوبي
٢,٥٣	٢٤,٤	غطاء صخري
٠,٠٩	٠,٨٨	مياه
٪١٠٠	٩٦٤,٨	الإجمالي

المصدر: الباحثان بالاعتماد على الشكل رقم (١٥).

وأخيراً تظهر نتائج تقييم الدقة المكانية للتنبؤ بالنمو العمراني وتغير اغطية الأرض عام ٢٠٣٠ حسب نتائج نموذج سلسلة ماركوف (Markov Chain) بالاعتماد على طبقة اغطية واستعمالات الأرض المشتقة من مرئية عام ٢٠١٠ أن قيمة معامل كايا (٠.٨٧)، بلغت قيمة معامل كايا بالاعتماد على طبقة اغطية واستعمالات الأرض المشتقة من مرئية عام ٢٠٢٠ نحو (٠.٨٩)، وبالتالي تعكس هذه النتائج وجود دقة عالية جدا في نتائج محاكاة النمو العمراني في مدينة ينبع عام ٢٠٣٠ باستخدام نموذج سلسلة ماركوف.

## الخاتمة:

تقدمت مساحة المنطقة المبنية من المرتبة الثالثة بمساحة ٤٩.٨٨ كم<sup>٢</sup>، بنسبة ٥.٢١٪ من إجمالي مساحة المدينة عام ٢٠٠٠ الى المرتبة الثانية بمساحة ٨٨.٩٣ كم<sup>٢</sup>، بنسبة ٩.٣٪ من إجمالي مساحة المدينة عام ٢٠١٠، وظلت مساحة المباني في المرتبة الثانية بمساحة ١٩٨.٤٨ كم<sup>٢</sup>، بنسبة ٢٠.٥٧٪ من إجمالي مساحة المدينة عام ٢٠٢٠، ومن المتوقع ان تبقى المباني في المرتبة الثانية عام ٢٠٣٠، وتوصلت نتائج تحليل توزيع العمران في مدينة ينبع بين عامي (٢٠٠٠-٢٠٢٠) الى انتشار اوسع في نمط توزيع المباني مما يعكس تبعثر اكبر في توزيع الخدمات والمشاريع التنموية والبنى التحتية.

وبذلك شهدت مساحة العمران في مدينة ينبع تغيرات ايجابية حيث بلغت نسبة تغيرها بين عامي ٢٠٠٠-٢٠١٠ حوالي ٧٨.٢٩٪، وجاءت اهم مناطق النمو العمراني على حساب الرواسب حيث بلغت مساحة توسع البناء بمناطق انتشارها ٣٤.٣١ كم<sup>٢</sup>، بنسبة ٨٧.٨٦٪ من إجمالي مساحة زيادة العمران، وبرزت ثاني اهم توسعات العمران على حساب مناطق الصخور، حيث بلغت مساحة توسعها بمناطق انتشار الصخور ٤.١٢ كم<sup>٢</sup> بنسبة ١٠.٥٦٪ من إجمالي مساحة زيادة العمران خلال هذه المدة. وارتفعت نسبة تغير العمران بين عامي ٢٠١٠-٢٠٢٠ الى ١٢٣.٢٪، وتوصلت نتائج تحليل نمو العمران على حساب اغطية الارض تفضيل توسع العمران بمناطق الرواسب، حيث بلغت مساحة توسع المباني ٨٤.٢٥ كم<sup>٢</sup>، بنسبة ٧٦.٩٪ من إجمالي توسع العمران، وتعد تكوينات الصخور ثاني أهم مناطق تمدد المباني في مدينة ينبع، حيث بلغت ١٥.٤ كم<sup>٢</sup> بنسبة ١٤.٠٥٪ من إجمالي مساحة التوسع العمراني خلال هذه المدة.

وأكدت نتائج تحليل اتجاه نمو عمران مدينة ينبع بين (٢٠٠٠-٢٠١٠) و(٢٠١٠-٢٠٢٠) أن اتجاه النمو العمراني أخذ اتجاه جنوبي شرقي شمالي غربي، وتركز نحو ٦٧.١ كم<sup>٢</sup> بنسبة ٧٥.٤٥٪ من مساحة العمران عام ٢٠١٠ على انحراف معياري واحد من المتوسط المكاني، وبلغت مساحة المباني على انحراف معياري واحد من المتوسط المكاني عام ٢٠٢٠ نحو ١٢٠.٣٢ كم<sup>٢</sup> بنسبة ٦٠.٦٢٪ من إجمالي مساحة العمران عام ٢٠٢٠، ويشير تراجع النسبة بين المدتين الى تبعثر توزيعها بشكل اوسع حول المتوسط.

وتظهر نتائج محاكاة النمو العمراني بالنسبة لأغطية الارض في مدينة ينبع عام ٢٠٣٠ باستخدام نموذج (CA-MARKOV) استمرار توسع المباني لتبلغ مساحتها ٢٩٤.٣٧ كم<sup>٢</sup>، بنسبة ٣٠.٥٢٪ من مساحة مدينة ينبع، ويتوقع هذا النموذج زيادة مساحة المباني بنحو ٩٥.٨٩ كم<sup>٢</sup> عن عام ٢٠٢٠. في المقابل توقع نموذج (Markov Chain) زيادة مساحة المباني لتصل عام ٢٠٣٠ الى ٢٦٦.٠٨ كم<sup>٢</sup>، بنسبة ٢٧.٦٧٪ من إجمالي مساحة المدينة، وبالتالي يتوقع هذه النموذج زيادة مساحة المباني بين عامي ٢٠٢٠-٢٠٣٠ بنحو ٦٧.٦ كم<sup>٢</sup>، ويرجع الاختلاف الزيادة بين نموذجي المحاكاة الى ان الأول حاكي نمو العمران بالاعتماد على اغطية الارض لعامي (٢٠١٠-٢٠٢٠)، ودون ان يأخذ في الاعتبار أي متغيرات مستقلة تؤثر في النمو، بينما الثاني حاكي نمو العمران بناء على متغيرين تابعين هما اغطية الارض بنفس العامين، ونحو خمسة عشر متغير مستقل تتحكم في نمو العمران وتوجهاته المستقبلية. وتظهر نتائج محاكاة نمو العمران تركيز الزيادة بمحاذاة مباني عام ٢٠٢٠، بمناطق قريبة لمركز مدينتي ينبع البحر وينبع الصناعية حيث تتركز مشاريع التنمية والخدمات، بمناطق كثافة عالية للسكان ونموهم، وعلى مسافة تقل عن ١ كم من الطرق، وبعيدة نسبيا من مجاري الاودية الرئيسية، حيث تنتشر الترب التي تتصف بكثافة ظاهرية معتدلة للتربة ١.٣-١.٤ غم/سم<sup>٣</sup>، بمناطق يقل ارتفاع تضاريسها عن ٢٥ م، ويقل انحدارها عن ١٠٪، ودرجات الحرارة عن ٢٩.٥°، ورطوبتها عن ٩.٨ جرام/كج، وسرعة رياحها عن ٤.٥ م/ث، وأمطارها عن ٦٥ ملم/سنوياً، ونسبة تخزينها للمياه الجوفية عن ٣٥٠ ملم، والجريان السطحي عن ٦٠ كج/م<sup>٣</sup>/ث.

### توصيات البحث:

بالاعتماد على ما توصل إليه البحث من نتائج سيتم بناء التوصيات على النحو الآتي:

- تنمية المناطق التي تتصف بانخفاض ارتفاع وقلة انحدار التضاريس حيث يزيد البعد من الأودية عن ٥٠ م، وتقل الحرارة والرطوبة وتزداد الراحة الفسيولوجية، وحيث تنخفض سرعة الرياح والأمطار والجريان، وتقل مخاطر البيئة، بمناطق بعيدة نسبيا من مناطق تخزين المياه الجوفية لاستدامة تغذيتها.
- توجيه النمو العمراني المستقبلي بعيدا عن الأراضي الزراعية والصالحة للزراعة حيث الترب الطينية الغرينية الرملية أو الغرينية الطينية الرملية ذات النسيج المعتدل الملائم لنمو جذور النبات وبنائية التربة، لتهوية التربة والمحاصيل الزراعية بالذات الخضروات والفواكة لمواجهة أي احتياجات مستقبلية للسكان.

- ينبغي ان يتم توزيع المشاريع الانمائية والخدمات الاجتماعية والبنية التحتية بما يتلاءم مع النمو العمراني والسكاني في مدينة ينبع للمحافظة على كفاءة وكفاية هذه المشاريع وتلك الخدمات واستمرار استدامة تنميتها في تغطية احتياجات السكان والعمرانية الحالية والمستقبلية.
- ينبغي أن يتم مواكبه غالبية النمو العمراني حيث تتجاوز كثافة السكان ١٥٠ نسمة/كم<sup>٢</sup> بمشاريع البنية التحتية الاقتصادية والاجتماعية لتغطية احتياجات سكان العمران المتوقع نموه بين عامي ٢٠٢٠-٢٠٣٠.
- ينبغي ان تترافق أي شبكات جديد للطرق في مدينة ينبع بمشاريع أخرى خدمية وغيرها لمواجهة الاحتياجات العمرانية والسكانية في هذه المناطق.
- توصي الدراسة بأخذ تغير النمو العمراني المتوقع عام ٢٠٣٠ وعلاقته بالبعد من مركزي المدينة في الاعتبار عند تنفيذ أي خطط مستقبلية للتنمية الاقتصادية والاجتماعية، بما يضمن استدامة تنمية هذه المشاريع وتلك الخدمات في مواجهه نمو السكان وتوسع العمران بالذات حيث يقل البعد عن مركزي المدينة عن ١٠ كم.
- ينبغي ألا تخلو خطط التنمية العمرانية المستقبلية لمدينة ينبع من الأخذ بعين الاعتبار معيار الجوار الجغرافي الذي برزت أهميته وفاعليته في محاكاة النمو العمراني المستقبلي في المدينة عام ٢٠٣٠، وعلى اساس محاكاة النمو وتوجهاته تبنى خطط تنموية ناجحة.
- ينبغي أن تأخذ خطط التنمية العمرانية في مدينة ينبع مستقبلا في الاعتبار خلل نمط توزيع الكتلة المبنية، وتباين معدل تغير نمو العمران، فهناك مناطق تتصف بتبعثر المباني، وانخفاض معدل تغير النمو، وهناك مناطق تتصف بتكتل عمراني منخفض إلى عالي، يرافقه تغير منخفض إلى معتدل لنمو العمران، وبموجب هذه المعطيات تبنى خطط توزيع مشاريع التنمية، بحيث تعطى مناطق تعثر العمران أهمية عند توطين مشاريع التنمية والبنى التحتية والخدمات، لرفع نسب تغير نمو العمران بهذه المناطق، وخفضها بمناطق التكتل العالي للمباني، وبما يحقق أفضل توازن مكاني في النمو العمراني بين مختلف مناطق المدينة، ويحافظ على استدامة تنمية الموارد الطبيعية والبنى التحتية والخدمية في المدينة، ويقلص الفجوة بين التوسع العمران ومشاريع البنية التحتية والخدمات لاسيما شبكة الطرق والمساحات الخضراء وغيرها.
- ينبغي أن تأخذ خطط التنمية الحضرية المستقبلية بمدينة ينبع عند توزيع مشاريع التنمية على الأقل حتى عام ٢٠٣٠ نتائج توقعات النمو العمراني المستقبلي التي حددت بنموذج (Markov Chain) الذي بنى توقعاته للنمو العمراني على متغيرات تعد من أهم محددات النمو العمراني وتواجهاته بين مدة واخرى.

### مصادر عربية:

- أبو عيانة، فتحي محمد (١٩٨٧): التحليل الاحصائي في الجغرافيا البشرية، (ط.١)، دار المعرفة الجامعية، الإسكندرية.
- السيد، صالح عبد اللطيف (١٤٢٥هـ): "ملاح من تاريخ ينبع"، مطبعة الهيئة الملكية بينبع الصناعية، ينبع، ط٥، م١.
- حسين، وائل مصطفى (٢٠٢٣): التنبؤ المستقبلي للغطاء الأرضي بمركز الرياض - محافظة كفر الشيخ باستخدام نموذج ماركوف في الفترة بين ١٩٨٨-٢٠٥٦، المجلة الجغرافية العربية، ٥٤، (٨١)، ٣٩-١.

### مصادر أجنبية:

- Abdul Salam, A., Elsegaey, I., Khraif, R., Al-Mutairi, A. (2014). *Population distribution and household conditions in Saudi Arabia: Reflections from the 2010 Census. SpringerPlu, 3, pp. 1- 13.*
- Adegbola, P. A., Adewumi, J. R., Okeke, O. A. O. (2021). *Application of Markov Chain Model and Arc GIS in Land Use Projection of Ala River Catchment, Akure, Nigeria. Nigerian Journal of Technological Development, 18, (1), pp. 30-38.*
- Alahmadi, M., Atkinson, P.M. (2019). *Three-Fold Urban Expansion in Saudi Arabia from 1992 to 2013 Observed Using Calibrated DMSP-OLS Night-Time Lights Imagery. Remote Sens, 11, pp.1- 19.*
- Al-Alola, S.S., Alogayell, H. M., Alkadi, I. I., Mohamed, S. A., Ismail, I. Y. (2021). *Recognition and Prediction of Land Dynamics and Its Associated Impacts in Al-Qurayyat City and along Al-Shamal Train Pathway in Saudi Arabia. Sustainability, 13, pp.1-25.*
- Ali, A. H. S., Kh, A. A., jalil, M. A (2020). *Predicting the future growth depending on GIS and IDRISI program, city of Najaf-Iraq, International Conference on Sustainable Engineering Techniques IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 881, doi:10.1088/1757-899X/881/1/012031.*
- Al Jarah, S.H., Zhou, B., Abdullah, R.J., Lu, Y., Yu, W. (2019). *Urbanization and Urban Sprawl Issues in City Structure: A Case of the Sulaymaniah Iraqi Kurdistan Region. Sustainability, 11, pp.1- 21.*

- Alqurashi, A.F., Kumar, L. (2014). *Land use and land cover change detection in the Saudi Arabian desert cities of Makkah and Al-Taif using satellite data. Adv. Remote Sens, 3, pp. 106–119.*
- Anand, J., Gosain, A.K., Khosa, R. (2018). *Prediction of land use changes based on Land Change Modeler and attribution of changes in the water balance of Ganga basin to land use change using the SWAT model. Sci Total Environ, 644, pp.503–519.*
- Arribas, B. D., Sanz, G, F. (2014). *The validity of the monocentric city model in a polycentric age: US metropolitan areas in 1990, 2000 and 2010. Urban Geogr, 35, pp. 980–997.*
- Baqa. M. F, Chen. F, Lu. L, Qureshi. S, Tariq. A, Wang. S, Jing. L, Hamza. S, Li, Q: (2021), *Monitoring and Modeling the Patterns and Trends of Urban Growth Using Urban Sprawl Matrix and CA-Markov Model: A Case Study of Karachi, Pakistan, Land, 10, pp. 1-17.*
- Chisanga, C. B., Shepande, C. C., Nkonde, E. (2022). *CA-Markov Approach in Dynamic Modelling of LULCC Using ESA CCI Products Over Zambia. Journal of Geoscience and Environment Protection, 9, pp,1-17.*
- Falahatkar, S., Soffianian, A. R., Khajeddin, S.J, Ziaee, R. H, Nadoushan, M. A. (2011). *Integration of remote sensing data and GIS for prediction of land cover map. Int J Geomat Geosci, 1(4), pp. 847–864.*
- Gidado, K. A., Kamarudin, M. K. A., Abu Ghurah, M. S. H. (2019). *Application of Ca-Markov Model for the Analysis of Urban Growth in Kenyir Basin. International Journal of Academic Research in Business and Social Sciences, 9 (2), pp. 450-458.*
- Hou, X.Y., Chang, B., Yu. X.F. (2004). *Land use change in Hexi corridor based on CA–Markov methods. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 20 (5), pp. 286-291.*
- *International Soil Information Center Website, Visit Date, 25/6/2021, Soil Bulkdensity Layer, Spatial Resolution, 241 m, Website Link (<https://soilgrids.org>).*
- Jitendrudu, L. R. B. (2008). *Modelling Dynamics of Urban Spatial Growth using Remote Sensing and Geographical Information System, [Unpublisher Master's dissertation]. Andhra University.*
- Kamusoko, C., Aniya, M., Adi, B. (2009). *Rural sustainability under threat in Zimbabwe-simulation of future land use/cover changes in the Bindura district based on the Markov-cellular automata model. Applied Geography, 29, pp. 435-447.*

- Maithani, S. (2010). *Cellular automata-based model of urban spatial growth*, *J. Indian Soc. Remote Sens*, 38 (4), pp. 604-610.
- Mishra, V., Rai, P., Mohan, K. (2014). *Prediction of land use changes based on land change modeler (LCM) using remote sensing: A case study of Muzaffarpur (Bihar), India*. *J Geograph Inst JC*, 64 (1), pp. 111–127.
- Nouri, J., Gharagozlou, A., Arjmandi, A., Faryadi, S., Adl, M. (2014). *Predicting urban land use changes using a CA-Markov model*. *Arab. J. Sci. Eng*, 39, pp, 5565–5573.
- *Open Street Maps Data, Date of Visit, (3/8/2021), Shapefile Digital Layer for Roads. Link, (<https://www.openstreetmap.org/export#map>)*.
- Peterson, L.K., Bergen, K.M., Brown, D.G. (2009). *Forested land-cover patterns and trends over changing forest management eras in the Siberian Baikal region*. *Forest. Ecology and Management*, 257, pp. 911-922.
- Poggio, L., Sousa, L.M, Batjes, H, et al. (2021). *Soil Grids 2.0: producing soil information for the globe with quantified spatial uncertainty*, *Soil*, 7 (1), pp,1217–240.
- Rwanga, S.S., Ndambuki, J.M. (2017) *Accuracy Assessment of Land Use/Land Cover Classification Using Remote Sensing and GIS*. *International Journal of Geosciences*, 8, pp. 611-622.
- Sang, L., Zhang, S., Yang, J., Zhu, D., Yun, W. (2011). *Simulation of land use spatial pattern of towns and villages based on CA–Markov model*. *Mathematical and Computer Modelling*, 54 (3–4), pp.938-943.
- Siddiqui, A., Maithani, S., Jh, A.K., Kumar, P., Srivastav, S.K. (2018). *Urban growth dynamics of an Indian metropolitan using CA Markov and Logistic Regression*. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 21 (3), pp. 229-236.
- Teresa, M., Olmedo, C., Gilmore, R., J., Paegelow, M. (2015). *Environmental modeling & software comparison of simulation models in terms of quantity and allocation of land change*. *Environ Model Software*, pp. 214–221.
- Theres, L., Radhakrishnan, S., Rahman, A. (2023). *Simulating Urban Growth Using the Cellular Automata Markov Chain Model in the Context of Spatiotemporal Influences for Salem and Its Peripherals, India*. *Earth*, 4, pp. 296–314.
- *United Nations Office for the Coordination of Humanitarian Affairs, date of visit. (22/7/2021), digital layers of population number and density. Website Link, (<https://data.humdata.org/group>)*.

- United Nations, D.O.E.A.S.A., Population Division. (2019). *World urbanization prospects: the 2018 revision*.
- USGS Explorer, Date of Visit (22/4/2021), Digital Elevation Model of the (SRTM) Image, Spatial Resolution 30 m. Website Link, (<https://earthexplorer.usgs.gov/>).
- USGS Explorer, Date of Visit (3/5/2021), Landsat Images, Spatial Resolution 15 m. Website Link, (<https://earthexplorer.usgs.gov/>).
- Xu, L., Liu, X., Tong, D., Liu, Z., Yin, L., Zheng, W. (2022). *Forecasting Urban Land Use Change Based on Cellular Automata and the PLUS Model*. *Land*, 11, pp. 1-16.
- Yadav, V., Ghosh, S. K. (2019). *Assessment and prediction of urban growth for a mega-city using CA-Markov model*, *Geocarto International*, 36 (10), pp. 1-33.
- Zhang, Z. E., Hu, B., Jiang, W., Qiu, H. (2021). *Identification and scenario prediction of degree of wetland damage in Guangxi based on the CA-Markov model*. *Ecological Indicators*, 127, pp. 1-13.
- Zhou, X., Chen, H. (2018). *Impact of urbanization-related land use land cover changes and urban morphology changes on the urban heat island phenomenon*. *Sci. Total Environ*, 635, pp. 1467–1476.

**Abstract:**

*Prediction urban growth can help planners and policymakers understand how urban growth patterns and their spatial changes interact from one period to another. This study aims to observe the dynamics and trend of urban growth at land covers in city of Yanbu from 2001 to 2020, and simulate urban growth in 2030 using cellular automata model (CA-MARKOV) and Markov chain model (MARKOV-Chain) in GIS. To achieve these aims, the study followed a methodology included obtain Landsat image for years (2000, 2010, 2020) to derive urban layers & land covers in city, and Collect data variables of spatial suitability criteria for urban growth. which are considered among inputs for simulating urban growth with Markov chain model. and thus, data was processed, deriving information layers for all variables for applying urban simulation models in 2030.*

*The results of study showed an increase in area of built-up in Yanbu city from 49.88 km<sup>2</sup> (5.21%) in 2000, to 88.93 km<sup>2</sup> (9.3%) in 2010, to 198.48 km<sup>2</sup> (20.57%) in 2020. The results of simulating urban growth in relation to land covers in Yanbu city in 2030 using the (CA-MARKOV) model confirm continued expansion of built-up area to reach 294.37 km<sup>2</sup> (31.52%) of the total area of city in 2030. the simulation results using Markov Chain model predict that the built-up area will reach 266.08 km<sup>2</sup> (27.67%) of total city area in 2030. the simulation results show that urban increase in 2030 will concentrated where distance from built-up is less 1 km, near of city center where development and service projects are concentrated by distance less 10 km, next to of primary and secondary roads by distance less than 1 km. where density of population exceeds 300 people/km<sup>2</sup>. increases population growth rate is for 6% annually. in areas relatively far of wades streams by distance between 100-500 m. where sediments characterized by Soil Bulk density from 1.3-1.4 g/cm<sup>3</sup>. in regions which elevation less for 25 m, terrain slope less than 10%, its temperatures are less 29.5°, humidity is less 9.8 g/kg, wind speed is less 4.5 m/s, precipitation is less 65 mm/year, groundwater storage is less 350 mm, and surface runoff is less than 60 kg/m<sup>3</sup>/s.*

**Keywords:** Urban Growth, Simulation, Ca- Markov Cellular Automata, Markov chain model, Geographic Information Systems, Yanbu City.