

## محاكاة النمو العمراني لمدينة الرياض من خلال تطبيق نمذجة السلوك الذاتي الخليوي - ماركوف ونمذجة تغيير الأرض

ثائر مطلق محمد عياصرة

إدارة الإحصاء، مديرية التخطيط والميزانية، المؤسسة العامة للتدريب التقني والمهني  
الرياض، المملكة العربية السعودية

## الملخص

يعدّ تغيير استعمالات الأراضي والغطاء الأرضي إحدى القضايا المهمة التي تؤثر على تغيير المنظومة البيئية على الصعيد العالمي، وبهدف الحفاظ على التنوع البيولوجي وتحقيق الاستدامة البيئية يحتاج المخططون إلى مزيد من الأدوات والإحصاءات السليمة؛ من أجل دراسة التغيرات، وعمل التوقعات، لتحقيق رؤيتهم للمستقبل وتقييم الاستدامة البيئية. وعليه، فإن الهدف الرئيس من هذا البحث يتمثل في تحليل تغيير غطاء الأرض لمدينة الرياض الكبرى خلال الفترة (1990-2016) باستعمال مريثات فضائية، ومحاكاة النمو العمراني للمدينة حتى عام 2030، وذلك باستعمال الأدوات المتاحة في برنامج الإدريسي سيلفا (IDRISI Selva 17®)؛ حيث تمّ تطبيق نمذجة تغيير الأرض لتحديد مقدار التغيير الحاصل في غطائها، وتحديد اتجاه النمو العمراني، كما تمّت محاكاة النمو العمراني حتى عام 2030 عن طريق تطبيق نمذجة تغيير الأرض، ونمذجة السلوك الذاتي الخليوي - ماركوف.

وأظهرت نتائج تحليل تغيير الأرض أن هناك تغيرات كبيرة طرأت على الغطاء الأرضي؛ فقد زادت مساحة الأراضي المطوّرة عام 2016 بمساحة (431) كلم<sup>2</sup>، وأظهرت نتائج المحاكاة حتى عام 2030 تطوّر الكتلة العمرانية بمساحة (1204) كلم<sup>2</sup>. ومن جهة أخرى تبين أن هناك اختلافات بين النموذجين في التوزيع المكاني للنمو العمراني من موقع إلى آخر. بالإضافة إلى ذلك تمّ التحقق من دقة الخرائط المصنّفة باستخدام مؤشر كبا، ومؤشر الدقة الكلية، كما تمّ التحقق من صحة خرائط المحاكاة مقارنة بخريطة عام 2016 باستخدام مؤشرات كبا، وقد أظهرت جميعها دقة عالية.

وأخيراً، أوصى البحث بضرورة أن تراعي الهيئة العليا لتطوير الرياض في خططها المستقبلية التوسع العمراني للمدينة، وما يترتب عليه من تغيرات كبيرة تشكّل مزيداً من الضغط على الأراضي غير المطوّرة، كما أوصى البحث بضرورة المحافظة على منطقة وادي حنيفة من التطوير باعتبارها منطقة طبيعية تمثل متنفساً للمدينة.

الكلمات المفتاحية: الإدريسي سيلفا، تحليل سلسلة ماركوف، نظم المعلومات الجغرافية، النمو العمراني.

## المقدمة

الحضرية الحديثة إلى ظهور المزيد من المدن الكبرى وزيادة حجم المدن القائمة بصفة عامة (عياصرة، 2015).

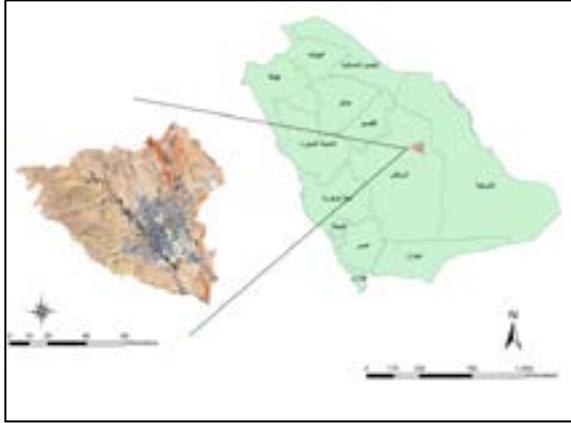
ومما لا شك فيه، أن التخطيط الحضري يؤدي دوراً رئيساً في معالجة أهم التحديات الحضرية التي نشأت في المراكز الحضرية ولا سيما عمليات التحضر المتسارعة التي من شأنها أن تعمل على توسعة نطاق القطاعات السكنية والإنشائية وقطاعات النقل، فهناك حاجة للمزيد من التركيز على كيفية تمكّن المدن من توقع نموها الحضري وتحديد الفرص الاقتصادية والاجتماعية والبيئية التي تمتلكها؛ حيث لا تعدّ الطريقة الحالية لنمو المدن نتيجة حتمية، وإنما يتجسّد ذلك من خلال خيارات السياسة العامة وخيارات التخطيط المتبعة؛ وذلك لتحقيق المنافع المتأينة على الأداء الأفضل لعمليات التحضر على صعيد التخفيف من حدة الفقر، وإيجاد المنافع المرتبطة بالصحة العامة والاستدامة البيئية والمستويات المعيشية الأفضل (عياصرة، 2015).

يستمرّ تغيير حجم المدن الكبرى في العالم نتيجة لاستمرار عملية التحضر بفعل التغيرات الاقتصادية والاجتماعية، والسياسية، والديمقراطية السريعة، فقد حدثت تغييرات كثيرة أدت إلى تطوير القرى إلى مدن صغيرة، والمدن الصغيرة إلى مدن كبيرة، والمدن الكبيرة إلى مدن مليونية، والمدن المليونية إلى مناطق حضرية كبرى أو حواضر (متروبوليتان) Metropolitan area، وتعدّ طوكيو ومكسيكو سيتي، ونيويورك، ومومباي، وبكين من أضخم مناطق المدن الكبرى (المتروبوليتان) في العالم، ويتراوح عدد سكان هذه المدن بين (10-40) مليون نسمة، فعدد سكان أية مدينة من تلك المدن يفوق أضعاف عدد سكان بعض الدول أو يفوق عدد سكان بعض الدول مجتمعة معاً، فمثلاً عدد سكان طوكيو الكبرى يبلغ خمسة أضعاف عدد سكان دولة الأردن، وسكان مدينة الرياض الكبرى يزيد عن مجموع سكان دول: الكويت، وقطر، والبحرين، مجتمعة معاً، وتشير الاتجاهات

الرياض الكبرى بين عامي 1990 و2016، وفي أي الاتجاهات تطوّر النمو العمراني لمدينة الرياض؟، وثانياً: ما مقدار النمو العمراني المتوقع حتى عام 2030؟.

#### منطقة الدراسة

تقع مدينة الرياض في الجزء الشرقي وسط المملكة العربية السعودية على خط عرض (38.24) درجة شمالاً، وخط طول (43.46) درجة شرقاً، وارتفاع نحو 600 متر فوق سطح البحر كما في الشكل (1)، وتتميز مدينة الرياض بمناخ قاري شديد الحرارة صيفاً، وشديد البرودة شتاءً، ويتميز بانخفاض الرطوبة طول العام. ويبلغ عدد سكان مدينة الرياض عام 2016 نحو (6.2) مليون نسمة بمعدل نمو سكاني خلال الفترة (2011-2016) يتجاوز (4 %)، ويبلغ متوسط عدد أفراد الأسرة (5.7) فرداً، الهيئة العليا لتطوير مدينة الرياض، (2016).



شكل (1): الموقع الجغرافي لمدينة الرياض الكبرى

#### الخلفية النظرية والدراسات السابقة

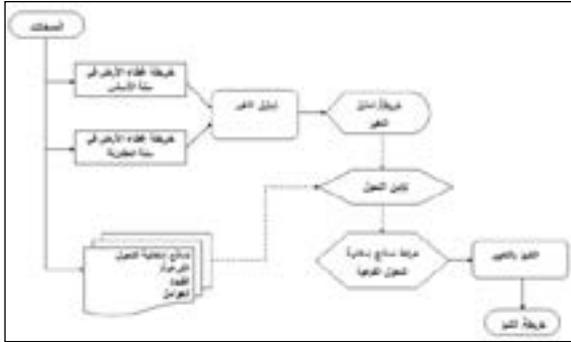
رغم تطوير عدد من نماذج استعمال الأراضي وتغيّر الغطاء الأرضي، ونماذج المحاكاة الحضرية التي تحاكي الأنماط الديناميكية للنمو العمراني، فإنه من الصعب مقارنة أيها يعطي تمثيلاً أكثر دقة (Wu and Webster, 1990). ومن بين تلك التقنيات والأدوات الأكثر شيوعاً، النماذج المستخدمة ضمن برنامج الإدريسي، وتشمل: نمذجة تغيّر الأرض (Land Change Modeler (LCM))، والسلوك الذاتي الخليوي (Cellular Automata (CA))، وسلسلة ماركوف (Markov Chain)، والسلوك الذاتي الخليوي - ماركوف (Eastman, 2006).

ومن هنا كانت الحاجة لتطوير النماذج التي لديها القدرة على محاكاة ونمذجة تلك التغيّرات. وفي هذا الصدد، ينطوي التخطيط الحضري على مجموعة منهجية واسعة من الفعاليات من أجل تحقيق الأهداف المنشودة، والتخطيط لمستقبل المدينة، ويمكن تطوير هذه النماذج لمساعدة المخططين وصناع القرار في المجتمع لتحقيق التنمية الحضرية المستدامة والاستخدام الرشيد للموارد الطبيعية، ومن أبرز هذه النماذج نمذجة السلوك الذاتي الخليوي، ونمذجة تغيّر غطاء/ استعمال الأراضي، وهذه النماذج عادة ما تتجلى على شكل برامج حاسوبية، تتيح الفرصة لاختبار النظريات المكانية، وتقدير الأنماط المكانية المستقبلية (Zarei and Alesheikh, 2013).

وضمن هذا السياق تعدّ مدينة الرياض الكبرى (متروبوليس) واحدة من أسرع مدن العالم نمواً؛ فقد تطوّرت منذ ثلاثينيات القرن العشرين من مستوطنة صغيرة تبلغ مساحتها كيلومتر مربع إلى مدينة كبرى (متروبوليس) تبلغ مساحتها المطوّرة/ المستغلة نحو (665) كلم<sup>2</sup> عام 2000 (الغرفة التجارية الصناعية بالرياض، 2014)، كما تطوّر عدد سكانها بمعدلات عالية، وقد قفز من (2.7) مليون نسمة عام 1992 إلى (4.087) مليون عام 2004، ووصل إلى نحو (5.2) مليون نسمة في عام 2010، وقد زاد هذا الحجم عن عدد السكان عام 1992 بمقدار (2.5) مليون نسمة؛ أي خلال 18 سنة. وبلغ معدل النمو السكاني (4.6 %)، الهيئة العامة للإحصاء، 2016)، وتشير التوقعات إلى أن عدد السكان يمكن أن يصل إلى ما يقارب (8.3) مليون نسمة بحلول عام 2030، وهذه الزيادة المطردة والمستمرة لمتروبوليس الرياض في حجم سكانها تشكّل طلباً متزايداً على الأراضي؛ بغية التوسع العمراني.

وعليه، فإن الهدف الرئيس من هذا البحث يتمثل في دراسة التغيّر العمراني لمدينة الرياض بين عامي 1990 و2016 ومحاكاة النمو المستقبلي للمدينة حتى عام 2030، وذلك باستعمال الأدوات المتاحة في برنامج الإدريسي® IDRISI Selva 17، وهي: نمذجة تغيّر الأراضي، ونمذجة السلوك الذاتي الخليوي - ماركوف، وبالنسبة للأسئلة المطروحة في البحث، فيمكن تلخيصها فيما يلي، أولاً: ما مقدار التغيّر العمراني الذي طرأ على مدينة

التالية تتمثل في نمذجة كامن التحول أو الانتقال Transition Potential Modeling، ويتم عن طريقها تحديد الأراضي الملائمة للتغيير، وفي هذه المرحلة يتم إنتاج خرائط كامن التحول استناداً إلى عدد من العوامل والقيود، وعلى ضوء مخرجات كامن التحول يتم في الخطوة التالية والنهائية التنبؤ بالتغيرات المستقبلية Change Prediction، حيث يمكن توقع السيناريو المستقبلي للنمو العمراني في تاريخ حدد مستقبلياً، وبشكل مبسط سيحدد النموذج مقدار التغيير الذي حصل خلال الفترتين الزميتين، وبعد ذلك تحسب الكمية النسبية للانتقال إلى التاريخ المستقبلي.



شكل (2): إجراءات التنبؤ باستعمال نمذجة تغيير الأرض

وقد طبقت العديد من الدراسات نمذجة تغيير الأرض لدراسة تغيير غطاء/ استعمال الأراضي خلال فترتين من الزمن، ومحاكاة النمو المستقبلي، مثل دراسات: (Shahidul and Requib, 2011); (Pérez-Vega et al., 2011); (Fuller et al., 2011); (Scholar, 2012); (Mishra et al., 2014); (2015); (Abuelaiash and Olmedo, 2016).

## 2. تحليل سلسلة ماركوف (Markov Chain Analysis (MCA

يقوم النموذج على تحليل زوج من خرائط غطاء الأرض من نوع خليوي Raster، وفي حال تم تقسيم المنطقة إلى عدد من الخلايا يمثل كل منها نوعاً من استعمالات الأراضي في وقت معين، فإنه يمكن بالاستناد إلى البيانات المشاهدة بين الفترات الزمنية احتساب احتمالية أن الخلية ستخضع للتغيير بالنسبة لطبقة واحدة من استعمالات الأراضي نحو طبقة أخرى خلال فترة معينة من الزمن، وتعرف احتمالية التغيير من طبقة نحو طبقة

فهني تتيح إطاراً للكشف عن مقدار التغيير في غطاء أو استعمالات الأراضي ضمن فترتين من الزمن وتحديد اتجاه وموقع التغيير، وكذلك عمل محاكاة للنمو المتوقع في المستقبل خلال فترة زمنية محددة، بالإضافة إلى ذلك فهناك العديد من البرامج التي جرى تطويرها لمحاكاة النمو الحضري وتغيير غطاء/ استعمالات الأراضي، والقائمة على نمذجة السلوك الذاتي- الخليوي، ومن أشهرها برنامج SLEUTH والمطور من قبل Keith C. Clarke من جامعة كاليفورنيا في سانتا باربرا، وبرنامج LanduseSim والمطور من قبل Nursakti Adhi من جامعة Pratomoatmojo Sepuluh Nopember في سورابايا، إندونيسيا، وبرنامج what-If? والمطور من قبل شبكة بحوث البنية التحتية الحضرية الأسترالية Australian Urban Research Infrastructure Network (AURIN)).

يتكامل هذا البحث مع برنامج الإدرسي وتقنية نظم المعلومات الجغرافية وطرق تحليل الجغرافيا المكانية على أساس تطبيق نمذجة تغيير الأرض، ونمذجة التغيير الذاتي الخليوي - سلسلة ماركوف، وذلك على النحو الآتي:

## 1. نمذجة تغيير الأرض من أجل الاستدامة البيئية Land Change Modeler (LCM) for Ecological Sustainability

يعد تطبيق نمذجة تغيير الأرض LCM ضمن برنامج الإدرسي أحد التطبيقات المهمة والموجهة لدراسة مشكلة تغيير الأراضي المتسارعة والملحة للحفاظ على التنوع البيولوجي، ويوفر هذا التطبيق مجموعة جيدة من الأدوات لتحليل التغيير، ووضع خطط وسيناريوهات قابلة للتطبيق في المستقبل (Eastman, 2012). ويلخص الشكل (2) إجراءات عملية نمذجة تغيير الأرض (Eastman et al., 2005).

يظهر من الشكل (2) أن التنبؤ في تغيير الأراضي ينطوي على عدد من الخطوات التدريجية، تبدأ بتحليل التغيير Change Analysis بين طبقتين من خرائط الغطاء الأرضي خلال فترتين من الزمن. وتعتبر التغييرات خلال الفترتين عن حجم الانتقال الحاصل، وعلى ضوء ذلك يمكن تحديد الاتجاه المكاني للتغيير Spatial Trend of Change، الخطوة

وأخيراً، فإن تحليل ماركوف لا يأخذ بالاعتبار أسباب تغيير استعمالات الأراضي، كما أن هناك مشكلة أخرى تتجسد في أنه غير حساس إلى الحيز المكاني: أي أنه لا يقدم مدلولاً جغرافياً، ومن هنا، ولإضافة العنصر المكاني لعملية النمذجة يستخدم السلوك الذاتي الخليوي Cellular Automata.

### 3. السلوك الذاتي الخليوي - ماركوف - Cellular Automaton - Markov

السلوك الذاتي الخليوي (Cellular Automaton) يمثل نظرية تتعلق بإعادة الإنتاج الذاتي الخليوي Theory of Self-Reproducing Automata، ويطلق عليها أيضاً الصيغة المتكررة Iterative Array وكذلك السلوك الذاتي المُرَّص بالمضلعات الرباعية Tessellations Automaton، وقد طوّرت في أواخر الأربعينيات من القرن العشرين من قبل جون فون نيومان John Von Neumann، حيث تقوم الفكرة على وجود شبكة لا نهائية أو رسم بياني من النقاط، لكل منها عدد محدود من الصلات مع بعض وحدات الجيرة Neighbors. وكل نقطة قادرة على عدد محدد من الكيانات States؛ حيث تحفز كيانات وحدات الجيرة في الزمن  $(t_n)$  بطريقة محددة الكيان للنقطة في الزمن  $(t_{n-1})$ . وهذه القاعدة للتحويل ثابتة بشكل حتمي، أو بصفة عامة يمكن أن تنطوي جزئياً على قرارات عشوائية. وبمعنى آخر، تدل على مصفوفة من الخلايا يمكن أن تأخذ عدداً متتهياً من الحالات؛ حيث إن كل حالة مستقبلية للخلية تتعلق بحالتها الحاضرة، وبحالة الخلايا المجاورة لها. إن التحوّل من حالة إلى أخرى يحكم بقواعد معرّفة مسبقاً (Itami, 1994). وأحد أشهر نماذج الخلايا ذاتية السلوك هي لعبة الحياة Game of Life التي تم اختراعها من قبل عالم الرياضيات البريطاني جون هورتون كونواي John Conway في عام 1970 (Martin, 1970).

إن استخدامات نمذجة السلوك الذاتي الخليوي في الجغرافيا والتخطيط لاستعمالات الأراضي تمّ صقلها من قبل هيلين كوكليليس Helen Couclelis في منتصف الثمانينيات (Couclelis, 1985)، وقد جرى خلال التسعينيات تطبيقها عملياً من قبل وايت وانجلن (White and

أخرى باحتمالية التحوّل أو الانتقال Transition Probability. وتتمثل مخرجات النموذج بمصفوفة احتمالية التحوّل Transition Probability Matrix، ومصفوفة مناطق التحوّل Areas Matrix، ومجموعة صور الاحتمال الشرطية (Takada et al., 2010).

يطوّر تحليل سلسلة ماركوف مصفوفة احتمالية التحوّل، وهي تمثل ملفاً نصياً يحتوي على احتمال أن كل طبقة من طبقات الغطاء الأرضي سوف تنتقل إلى كل طبقة أخرى، كما أن مصفوفة المناطق الانتقالية هي أيضاً ملف نصي يسجل عدد العُنصُورات (أصغر نقطة في الصورة Pixel) التي من المتوقع أن تنتقل لكل نوع من الغطاء الأرضي لبعضها البعض على عدد محدد من الوحدات الزمنية (سنوات أو عقود... إلخ)، وفي كلا الملفين، تمثل الصفوف طبقات الغطاء الأرضي القديمة وتمثل الأعمدة الطبقات الجديدة. ويمكن التعبير عن مصفوفة ماركوف للانتقال P على النحو التالي (Takada et al., 2010):

$$P = (p_{ij}) = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & \dots & p_{1n} \\ p_{21} & p_{22} & \dots & p_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ p_{n1} & p_{n2} & \dots & p_{nn} \end{bmatrix}, \quad \sum_{j=1}^n p_{ij} = 1$$

حيث إن:

P = مصفوفة ماركوف للانتقال.

P i . j = نوع الغطاء الأرضي للفترة الزمنية الأولى والفترة الزمنية الثانية.

Pij = الاحتمالية من نوع استخدام الأراضي i لاستخدام الأراضي من نوع j.

وتبين صور الاحتمال الشرطية احتمالية أن كل نوع من غطاء الأرض يمكن أن يوجد في كل عُنصُورة أو نقطة بعد عدد محدد من الوحدات الزمنية (سنوات أو عقود... إلخ). هذه الصور محسوبة كتوقعات من خريطين من غطاء الأرض من نوع خليوي، ويمكن أن تستعمل المخرجات كمدخل مباشر لمواصفات الاحتمالات السابقة في تصنيف احتمال الحد الأقصى للصور المستشعرة عن بعد (مثل وحدات MAXLIKE وBAYCLASS).

الدراسات الأداة What-If?، مثل: دراسة (Asgary *et al.*, (2007

#### منهجية البحث

تطلب القيام بإجراء تحليل تغيير الأراضي ومحاكاة النمو العمراني لمدينة الرياض الكبرى بين عامي 1990 و2016 مرئية فضائية (Landsat L4-5 TM) لعام 1990 ومرئية فضائية (Landsat L8 TM) لعام 2016 بنظام إحداثيات (WGS 84 / UTM zone 38N)، وقد جرى من خلال برنامج (Arc-Map) عمل تصنيف مراقب لها (Supervised Classification) ومن ثم جرى تنقيحها ومعالجتها (Raster Edit).

الخطوة التالية من عملية تصنيف الخرائط هي تقييم مدى الدقة. وقد اختبر البحث تقييم دقة خريطة تصنيف الغطاء الأرضي باستخدام برنامج Google Earth كما في دراسة (Tilahun and Teferie (2015) ودراسة (Jaafari and Nazarisamani (2013). فقد تم استنباط (120) نقطة عشوائية باستخدام برنامج ArcMap وتحويلها إلى ملف بصيغة KML، ومن ثم جرى التحقق من النقاط العشوائية ومدى مطابقتها على Google Earth لتقييم الدقة، وقد أظهرت النتائج الإحصائية أن الدقة الكلية (overall) بلغت (89%) في حين بلغت قيمة Kapaa (82%) وهي مقبولة من حيث درجة الدقة (Tilahun and Teferie, 2015). تتضمن خريطة الغطاء الأرضي لمدينة الرياض الكبرى الطبقات الآتية:

1. طبقة الحد الإداري للمدينة على شكل طبقة مساحية.
2. الكتلة العمرانية على شكل طبقة مساحية.
3. طبقة الطرق الرئيسية، على شكل طبقة خطية.
4. طبقة الموروث الطبيعي (وادي حنيفة)، على شكل طبقة مساحية.
5. طبقة الارتفاعات الرقمية.

ويظهر الشكل (3) مرئية فضائية للغطاء الأرضي في مدينة الرياض الكبرى.

(Engelen, 1993)، فهي تعدّ أحد أنواع النماذج الحاسوبية المخصصة التي يمكن أن تستخدم لدراسة التنظيم الذاتي الاجتماعي (Social Self-Organization) (Liu, 2009).

يستند التنبؤ بخريطة غطاء الأرض في المستقبل على نماذج السلوك الذاتي الخليوية وسلسلة ماركوف، ويتيح برنامج الإدريسي إمكانية تطبيق نموذج CA\_MARKOV الذي يجمع بين السلوك الذاتي الخليوي وتحليل سلسلة ماركوف، وتحليل تقييم متعدد المعايير (MCE)، وتخصيص الأرض متعدد الأغراض (MOLA)، وإجراءات تنبؤ الغطاء الأرضي التي تضيف عنصرًا من التواصل المكاني، بالإضافة إلى معرفة التوزيع المكاني المحتمل للتحويلات إلى تحليل سلسلة ماركوف. وتعمل الخوارزمية على النحو التالي: استخدام خريطة غطاء الأراضي لآخر فترة في عملية محاكاة التغيير، واستخدام ملف مناطق التحوّل الناتج من تحليل سلسلة ماركوف لخريظتي استعمالات الأراضي خلال فترتين من الزمن، حيث يتم تحديد مقدار التغيير المتوقع في غطاء الأراضي لكل طبقة موجودة باتجاه الطبقات الأخرى في الفترة القادمة، واستخدام ملف خرائط ملاءمة الأرض لتحديد مناطق التحوّل المحتملة لكل غطاء أرضي، وبالتالي إعطاء الأفضلية للمناطق الملائمة المتجاورة (Eastman, 2012).

طبّق تحليل نمذجة السلوك الذاتي الخليوي - ماركوف على نحو واسع في دراسات التوسع الحضري، ومراجعات سابقة شاملة لمثل هذه النمذجة يمكن أن توجد في دراسات: (Arsanjani *et al.*, 2013); (Singh *et al.*, 2015); (Yuan *et al.*, 2015); (Vaz and Arsanjani.); (Huang *et al.*, 2015); (Kumar); (Ebrahimipour *et al.*, 2016); (2015) *et al.*, 2016).

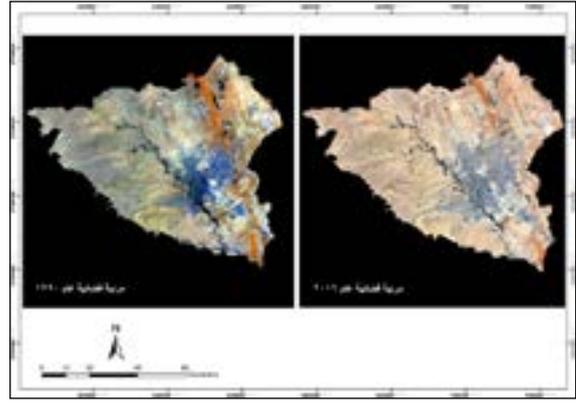
وباتباع نهج مماثل، قام عدد من الباحثين بتطبيق عدد من برامج محاكاة نمو البناء الحضري وتغيير استعمالات الأرض، ومن أشهرها برنامج SLEUTH، مثل: (Bihanta *et al.* (2015) و (Hua *et al.* (2014)، كما طبقت العديد من الدراسات برنامج LanduseSim، مثل: دراسة (Pratomoatmojo. (2014) وطبقت العديد من

استثناء الأراضي ذات الاستعمال الخاص والمحددة ضمن مطار الملك خالد الدولي.

### ثانياً: العوامل Factors:

حيثُ يسمح بالإعمار في هذه المناطق بدون أية عوائق، وتشمل: القرب من الكتلة العمرانية، والأراضي المنبسطة ذات الميل المنخفض، والقرب من الطرق (السريعة والرئيسة). وقد تم استنباط خريطة المسافة عن الكتلة العمرانية وخريطة المسافة عن الطرق - شكل (4) - وإعادة تصنيفها على مقياس معياري يتراوح بين (0-255) باستخدام نموذج هدي Fuzzy بحيث تأخذ المناطق البعيدة درجة ملاءمة منخفضة للتطوير الحضري، وبالعكس تتدرج القيم صعوداً كلما اقتربنا من الكتلة العمرانية، وكذلك من الطرق لتمثل مناطق ذات درجة ملاءمة عالية للتطوير الحضري.

كما تم استنباط خريطة الميول - شكل (4) - بحيث تمثل المناطق ذات الميل المرتفع درجة ملاءمة منخفضة للتطوير الحضري، وتتدرج القيم صعوداً كلما انخفضت درجة الميل؛ لتمثل مناطق ذات درجة ملاءمة عالية للتطوير الحضري، ومما تجدر الإشارة إليه أن المعايير بالنسبة للمنحدرات تختلف من دولة لأخرى، وبصفة عامة تعدّ درجة الميل الأقل من 10% ملائمة بدرجة جيدة، وتعدّ درجة الميل التي تتراوح بين 10-20% ملائمة بدرجة مقبولة، والتي تزيد عن 20% تعدّ غير ملائمة (Ritung et al., 2007). ويبين الشكل (4) العوامل قيد الدراسة بعد أن جرى تنميطها Standardized Factors.

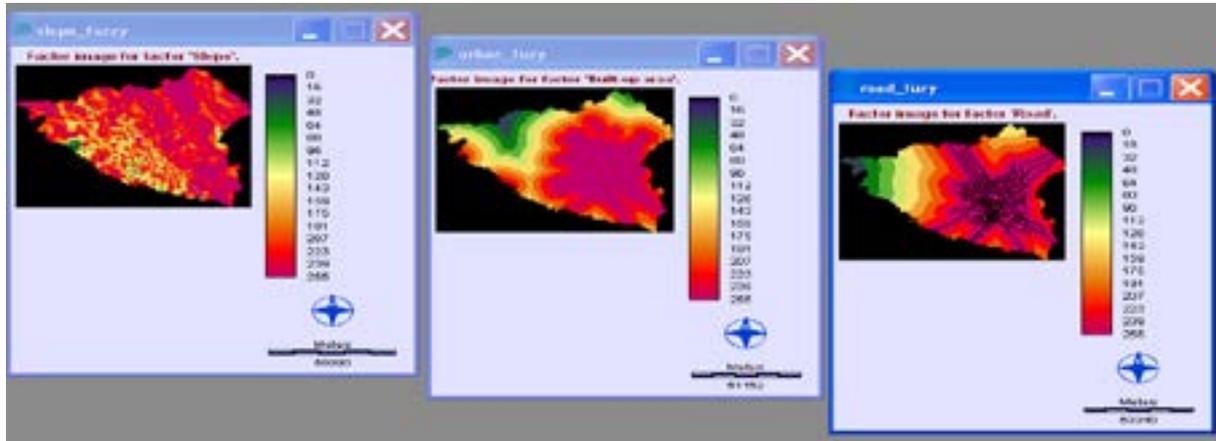


شكل (3): مرئية فضائية لمدينة الرياض الكبرى بين عامي 1990 و2016

وبغرض تحديد معايير ملاءمة الأرض للتطوير العمراني تمّ الرجوع إلى عدد من الدراسات السابقة لتحديد أهم المعايير، ومنها: Alexander et al. (2012); Kumar and Biswas (2013); Kumar and Kumar (2014) وقد جرى في هذا البحث التمييز بين نوعين من المعايير؛ لتحليل التقييم متعدد المعايير:

### أولاً: القيود Constraints:

وهي المعايير التي تستثني المناطق من التحليل، وقد حدّد البحث على مستوى المدينة المتروبوليس مناطق نمو غير مشمولة أو مقيّدة وهي الأراضي المحددة ضمن نظام الموروث الطبيعي (منطقة وادي حنيفة)، حيث يهدف نظام الموروث الطبيعي إلى حماية المناطق الطبيعية من التطوير عن طريق منع الإعمار حول منطقة وادي حنيفة باعتبارها منطقة بيئية ذات طبيعة خاصة، وتشمل: الأودية الرئيسة، ومجاري المياه، والأراضي الزراعية، كما تمّ



شكل (4): تنميط العوامل باستخدام المنطق الهدي على مقياس يتراوح بين (0-255)

جرى تطبيقها عن طريق إحدى المواقع الإلكترونية التي تتيح احتسابها إلكترونياً (Klaus. 2016)، وقد أظهرت مخرجات عملية التحليل الهرمي كما هو مبين في الشكل (5) مصفوفة القرار (إلى اليمين) والأوزان النسبية لكل معيار مرتبة تنازلياً (إلى اليسار)، وقد وصلت نسبة ثبات المصفوفة (1.9%) مما يعني أن أحكامها تتصف بالثبات.

ويهدف استنباط خريطة الملاءمة المستعملة في نمذجة السلوك الذاتي الخليوي - ماركوف طبقاً للبحث أداة تحليل تقييم متعدد المعايير (MCE) Multi-Criteria Evolution في برنامج الإديسي، وذلك بعد أن تمت المفاضلة بين العوامل قيد البحث وإعطاء إحداهما وزناً أكبر من العوامل الأخرى وفقاً لمدى ملاءمتها للنمو العمراني، وذلك باستخدام عملية التحليل الهرمي التي

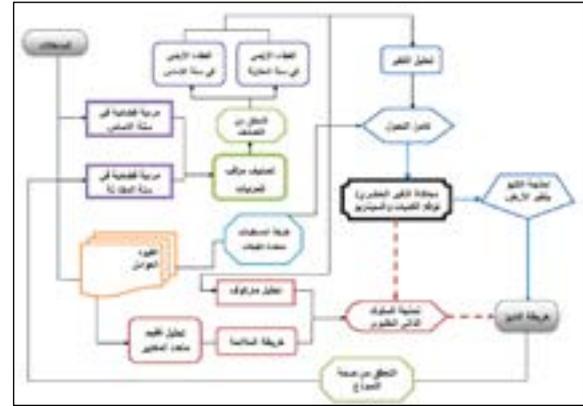


شكل (5): نتائج الأوزان بالاستناد إلى مصفوفة القرار وأولوية الترتيب للعوامل قيد الدراسة

### النتائج والمناقشة أولاً: تحليل تغيير الأرض

تم استخدام نمذجة تغيير الأرض لدراسة التغييرات الحاصلة في عدد من طبقات الغطاء الأرضي لمدينة الرياض الكبرى خلال الفترة بين عام 1990 وعام 2016. والمبدأ الأساسي خلف هذا النموذج يكمن في تقييم اتجاه التغيير الحاصل من طبقة غطاء أرضي إلى طبقة أخرى، وأخيراً توقع نمط استعمال الأرض استناداً إلى اتجاه التغيير السابق. وبالاستناد إلى تصنيف المراثيات الفضائية لعام 1990 ولعام 2016 تم احتساب مساحة كل طبقات الغطاء الأرضي، كما هو مبين في الجدول (1) والشكل (7) وإجراء مقارنة إحصائية لإظهار الاختلافات فيما بين المراثيتين.

ويخلص الشكل (6) المنهجية العامة المعتمدة في هذا البحث.



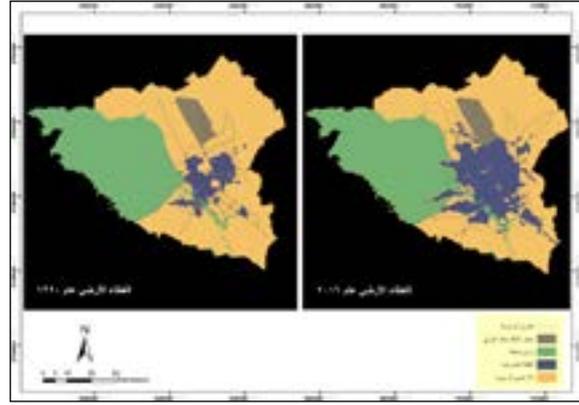
شكل (6): منهجية البحث

جدول (1): التغيير في الغطاء الأرضي بمدينة الرياض خلال الفترة (1990-2016)

معدل التغيير	الزيادة والنقصان (كلم <sup>2</sup> )	% من (عام 2016)	عام 2016 (كلم <sup>2</sup> )	عام 1990 (كلم <sup>2</sup> )	الغطاء الأرضي
76.7%	431	18.5%	993*	562	الكتلة العمرانية
13.2%	364-	44.6%	2397	2761	الأراضي غير المطورة
3.6%	67-	32.9%	1770	1837	وادي حنيفة
-	-	4.1%	220	220	مطار الملك خالد الدولي
-	-	100.0%	5380	5380	المجموع

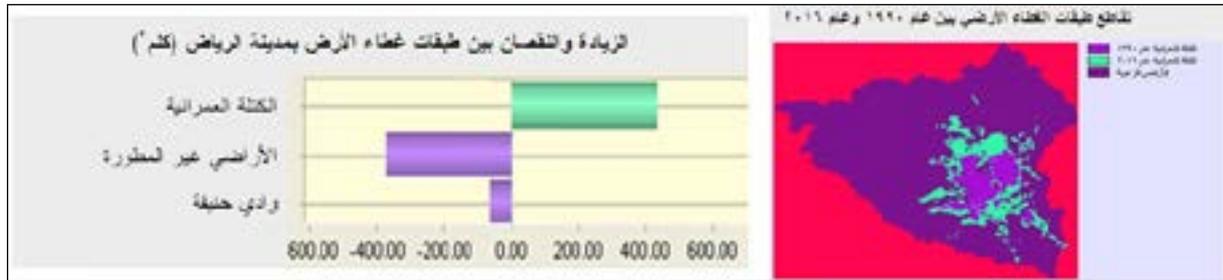
المصدر: الباحث بالاعتماد على تصنيف المراثيات الفضائية لعام 1990 وعام 2016  
\* الكتلة العمرانية مع مساحة الطرق.

بلغت مساحة الأراضي غير المطورة داخل حدود التنمية (2397) كلم<sup>2</sup> بنسبة (44.6%)، وتمثل هذه الأراضي المخزون الإستراتيجي العمراني للمدينة، في حين شكّلت المنطقة المحمية بوادي حنيفة نحو (1770) كلم<sup>2</sup> بنسبة (32.9%). يلاحظ أيضًا من الجدول (1) والشكل (8) الزيادة والنقصان من مساحة الأراضي نتيجة استمرار النمو السريع للمنطقة العمرانية والذي شهدته مدينة الرياض الكبرى، فقد بلغت الزيادة في النمو العمراني خلال (26) عامًا وهي الفترة الممتدة بين عامي 1990 و 2016 نحو (431) كلم<sup>2</sup> أي بمعدل زيادة بلغ (76.7%)، وذلك على حساب مساحة الأراضي غير المطورة التي انخفضت بمساحة (364) كلم<sup>2</sup> بمعدل (-13.2%)، كما انخفضت منطقة وادي حنيفة بمساحة (67) كلم<sup>2</sup> بمعدل (-3.6%)، ويدل هذا على أن الأراضي قد تم تحويلها للاستعمالات العمرانية، وهي ظاهرة عامة في المدن سريعة النمو، والشكل (8) يوضح الزيادة والنقصان من مساحة الأراضي.



شكل (7): الغطاء الأرضي لمدينة الرياض بين عامي 1990 و 2016

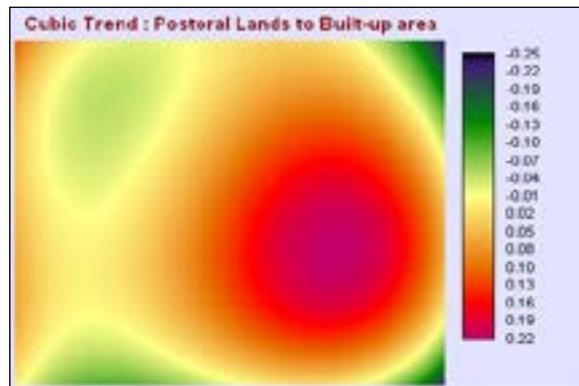
يظهر من الجدول (1) أن مساحة إجمالي حدود التنمية لمدينة الرياض (5380) كلم<sup>2</sup>، ونجد على مستوى المدينة أن إجمالي مساحة الكتلة العمرانية حتى عام 2016 بلغت نحو (993) كلم<sup>2</sup> بنسبة (18.5%) من إجمالي مساحة حدود التنمية، بينما



شكل (8): الزيادة والنقصان في طبقات الغطاء الأرضي بين عامي 1990 و 2016 (الشكل إلى اليسار) وتقاطع طبقات الأرض مع بعضها البعض (الشكل إلى اليمين)

يلاحظ من الشكل (9) أن اتجاهات الامتداد العمراني لمدينة الرياض الكبرى قد تركزت في أطراف المدينة؛ لا سيما في الجهة الشمالية والشمالية الشرقية والجهة الجنوبية من المدينة. ويعزى ذلك إلى وجود الأراضي ذات الميل المنخفض وشبكة الطرق المربوطة بشبكة المياه والكهرباء الواقعة في تلك الجهات. وبالمقابل فإن امتداد وادي حنيفة في الجهة الغربية مع وجود بعض الميول الحادة فيها، بالإضافة إلى الميول الحادة الموجودة على أطراف الكتلة العمرانية في الجهة الشرقية، قد دفع بالتوسع العمراني نحو الأراضي غير المطورة خارج الكتلة العمرانية في الجهات الشمالية والجنوبية من المدينة.

ومن خلال تحليل الاتجاه المكاني الشكل (9) تمّ تحديد اتجاهات الخريطة مع أفضل الاتجاهات السطحية متعددة الحدود الملائمة إلى نمط التغيير.



شكل (9): اتجاه تكعيبي لامتداد الكتلة العمرانية لمدينة الرياض نحو الأراضي غير المطورة

والعكس صحيح. ويلاحظ أن معظم الأراضي الملائمة تتركز في الجهة الشمالية، والشمالية الشرقية والجهة الجنوبية، ومن جهة أخرى تمّ تحديد منطقة وادي حنيفة كأراضٍ مقيّدة للتوسع العمراني باعتبارها منطقة مفتوحة تشكّل أهم عنصر بيئي في مدينة الرياض، وكذلك منطقة مطار الملك خالد الدولي ذات الاستعمال الخاص.

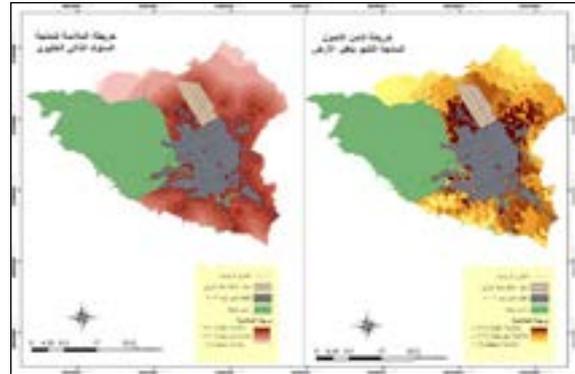
### ثالثاً: محاكاة النمو الحضري حتى عام 2030

سوف تؤدي الزيادة السكانية وتشكيل الأسر الجديدة إلى دفع عملية تطوير مدينة الرياض بمعدل سريع، فقد شهدت المدينة نمواً سكانياً كبيراً بمعدلات سنوية عالية منذ عام 1980 تصل إلى (10 %) في المتوسط، وقد قفز عدد السكان من (2.1) مليون نسمة عام 1990 إلى (6.2) مليون نسمة عام 2016، ولا يزال النمو السكاني مستمراً نتيجة استمرار ارتفاع النمو الاقتصادي والعمراني للمدينة، وتشير التوقعات السكانية إلى أن عدد سكان مدينة الرياض من المتوقع أن يصل في عام 2030 إلى ما يناهز (8.3) مليون نسمة. كما هو مبين في الجدول (2) والشكل (11). وقد بلغ عدد الوحدات السكنية عام 2016 نحو (1.21) مليون وحدة سكنية بزيادة قدرها (514) ألف وحدة سكنية عن عام 2005؛ حيث شهدت هذه الفترة إنتاجاً وفيراً من الوحدات السكنية، قابله زيادة في أعداد الأسر التي بلغ إجمالي عددها في مدينة الرياض لعام 2016 نحو (1.12) مليون أسرة (الهيئة العليا لتطوير مدينة الرياض، 2016).

كما شهدت مدينة الرياض تطوراً ملحوظاً في مساحات الأراضي المطوّرة؛ حيث ارتفعت من (562) كلم<sup>2</sup> في عام 1990 إلى نحو (665) كلم<sup>2</sup> عام 2000، ثم بدأت المساحة العمرانية تتزايد بدرجة أكبر حتى وصلت إلى (993) كلم<sup>2</sup> عام 2016 محققة زيادة بمعدل (76.7%)، ويتوقع أن ترتفع هذه المساحة ارتفاعاً أكثر أهمية حتى عام 2030 لاستيعاب السكان والأسر الإضافية، بما يشير إلى أن مدينة الرياض من المتوقع أن تتطور لتبلغ ضعف ما كانت عليه في عام 1990 خلال فترة في حدود (13) عاماً فقط، وكذلك من المتوقع ارتفاع الكثافة السكانية الإجمالية إلى الضعف.

### ثانياً: خريطة كامن التحوّل وخريطة الملاءمة لمدينة الرياض

تستخدم خرائط كامن التحوّل في نمذجة التنبؤ بتغيّر الأرض، وبالاعتماد على المعايير التي جرى تحديدها للملاءمة مسبقاً، وهي: (القرب من الطرق، والقرب من الكتلة العمرانية، والميول)، تمّ استنباط خريطة كامن التحوّل لمدينة الرياض كما في الشكل (10) إلى اليمين باستعمال خوارزمية شبكة المستقبلات متعددة الطبقات (MLP) Multi-Layer Perceptron، وبشكل عام تكمن مهمة هذا النموذج في التصنيف Classification، وتستخدم (MLP) على نطاق واسع مقارنة بطريقة الانحدار اللوجستي فهي أكثر سهولة ولا تتطلب أي تدخل من قبل المستخدم. وبالمقابل تمّ استنباط خريطة الملاءمة - بعد إعطاء الأوزان للمعايير التي جرى تحديدها - بتطبيق أسلوب تقييم متعدد المعايير (Multi-Criteria Evolution (MCE)، وقد استخدمت في نمذجة السلوك الذاتي الخليوي - ماركوف، كما في الشكل (10) إلى اليسار.



شكل (10): كامن التحوّل وخريطة الملاءمة لمدينة الرياض

يظهر من الشكل (10) إلى اليمين خريطة كامن التحوّل المطبقة في نمذجة التنبؤ بتغيّر الأرض، حيث تتراوح قيم الملاءمة بين (0) و (1) بحيث تزداد ملاءمة الأرض كلما اقتربت القيم من (1.0)، والعكس صحيح. ومن جهة أخرى يظهر من الشكل (10) إلى اليسار خريطة الملاءمة المطبقة في نمذجة السلوك الذاتي الخليوي - ماركوف، حيث تتراوح قيم الملاءمة بين (0) و (255) بحيث تزداد ملاءمة الأرض كلما اقتربت القيم من (255)،

جدول (2): تطوّر عدد السكان والمساحة العمرانية والكثافة السكانية الإجمالية بمدينة الرياض

السنة	عدد السكان (مليون نسمة)	مساحة الكتلة العمرانية (كلم <sup>2</sup> )	الكثافة السكانية الإجمالية* (نسمة/كلم <sup>2</sup> )
1990	2.1	562	3736
2000	3.7	665	5564
2016	6.2	993	6244
2030	8.3	1204	6894

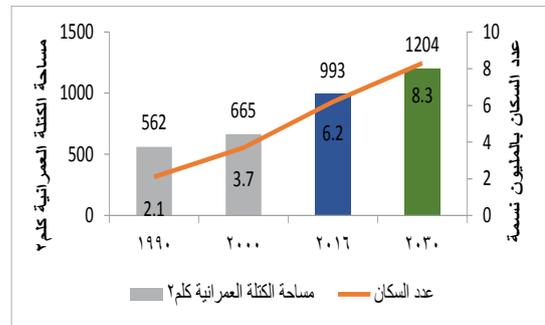
المصدر: (الغرفة التجارية الصناعية بالرياض، 2014، الهيئة العليا لتطوير الرياض، 2016).

★ الكثافة السكانية الإجمالية: عدد السكان إلى الكتلة العمرانية المشيدة.

أظهرت نتائج توقع السيناريو المستقبلي للتغيير حتى عام 2030 باستعمال نمذجة LCM كما في الشكل (12) مقدار واتجاه الامتداد العمراني المتوقع لمدينة الرياض الكبرى على ضوء التغيير بين عام 1990 و2016، وعلى ضوء تحليل كامن التحول (الانتقال)؛ حيث أظهرت النتائج أن مقدار الزيادة في النمو العمراني حتى عام 2030 يقدر بنحو (211) كلم<sup>2</sup>، وعليه فإن المساحة الإجمالية للكتلة العمرانية سوف تبلغ (1204) كلم<sup>2</sup>، وأن معظم الامتداد العمراني يتركز في النواحي الشمالية من المدينة.

وقد أسهم وجود الأراضي المنبسطة ذات الميل المنخفض في تلك الجهة والقرب من الطرق الرئيسية والطرق السريعة في تحديد الهيكل العمراني في المدينة، كما أثرت الطرق السريعة على سلوكيات التنقل من مكان إلى آخر؛ فهي تعدّ مكوناً أساسياً وشرياناً حيويًا للمدينة، وناظمًا مهمًا، وبوصلة للحركة السكانية في المدينة وما حولها، إضافة إلى امتداد شبكة الطرق المربوطة بشبكة المياه والكهرباء، إضافة إلى القرب من خدمات البنية الفوقية والتحتية المتاحة في الجهة الشمالية من المدينة؛ مما يسهل الوصول إلى الخدمات والربط مع شبكات الصرف الصحي وشبكات المياه والكهرباء والاتصالات. كما يلاحظ من الشكل (12) أن الرقعة العمرانية لمدينة الرياض سوف تأخذ شكل مروحة.

يظهر من الجدول (2) أن مدينة الرياض الكبرى قد شهدت عملية تحويلية كبيرة اتصفت بمظهرين أساسيين، أولهما ديموغرافي، ويتمثل في تزايد عدد السكان بشكل كبير وسريع جدًا، وهناك أسباب لذلك، منها ما هو داخلي كتزايد نسبة النمو الطبيعي بين السكان أو الهجرة الداخلية، وهذه تمثل العامل الأكبر في هذه الزيادات؛ فعلى سبيل المثال يمثل النازحون من الريف إلى مدينة الرياض ثلثي حجم النمو لسكانها خلال خمس سنوات فقط (1991-1996م)، ومنها ما هو خارجي مثل تزايد القادمين إليها من الخارج للعمل، ويعود ذلك إلى العوامل الاقتصادية والتحسّن في المستوى المعيشي للسكان. والمظهر الثاني من مظاهر التحول الكبرى، هو التوسع في بنية المدينة ذاتها وتمدها رأسياً وأفقيًا. كما يلاحظ من الجدول (2) ارتفاع الكثافة السكانية الإجمالية بشكل ملحوظ خلال الفترة بين عام 1990 وعام 2016، نتيجة زيادة عدد السكان بشكل أكبر مقارنة بزيادة مساحة الكتلة العمرانية (السدحان، 2011). والشكل (11) يوضح تطوّر عدد السكان والمساحة العمرانية في مدينة الرياض خلال الفترة (1990-2030).



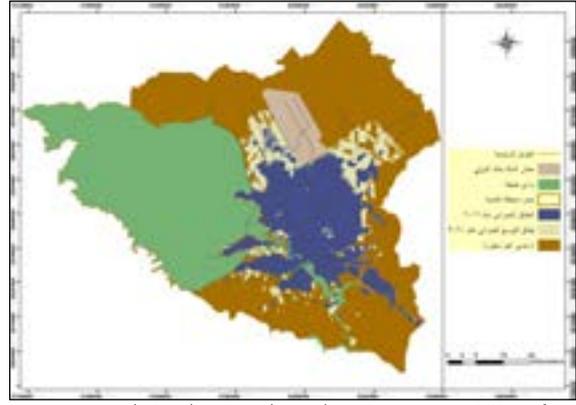
شكل (11): تطوّر عدد السكان والمساحة العمرانية في مدينة الرياض خلال الفترة (1990-2030)

تحليل نظم المعلومات الجغرافية الإحصائية في برنامج الإدرسي؛ حيث تمت المقارنة بين خرائط المحاكاة (CA\_Markov و LCM) مع خريطة الأساس/ المرجعية لعام 2016. ويتم التحقق من صحة النموذج باحتساب مؤشر كوهين كبا Cohen's Kappa للتوافق. فإذا كان التصنيف مثالي فإن قيمة  $Kappa = 1$ ، أما إذا كانت نسبة التصحيح المشاهدة أكبر من نسبة التصحيح المتوقعة فإن قيمة  $Kappa > 0$ ، وفي حال كانت نسبة التصحيح المشاهدة مساوية لنسبة التصحيح المتوقعة نتيجة المصادفة تكون قيمة  $Kappa < 0$ ، ويبين الجدول (3) نتائج التحقق من صحة النموذج باحتساب مؤشر كوهين كبا للتوافق.

جدول (3): إحصائية كوهين كبا للتحقق من صحة بيانات النماذج

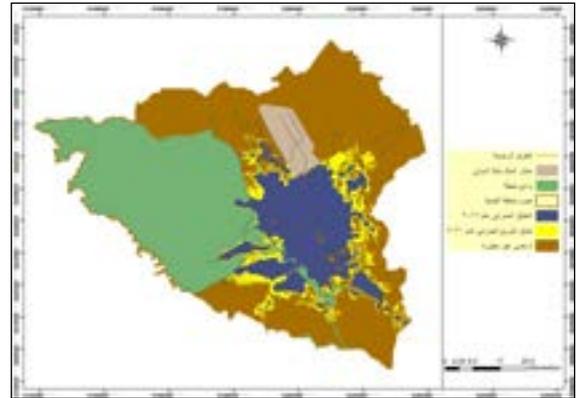
نمذجة السلوك الذاتي الخليوي - ماركوف	نمذجة تغير الأرض	مؤشر كبا
0.91	0.92	$K_{standard}$
0.92	0.93	$K_{no}$
0.97	0.97	$K_{location}$
0.97	0.98	$K_{quantity}$

تشير إحصائية المؤشر كما في الجدول (3) إلى مدى توافق خريطة المقارنة (خريطة المحاكاة لعام 2030 في هذه الحالة) مع الخريطة المرجعية (خريطة عام 2016) ويظهر من الجدول (3) أن إحصائية كبا العامة لمحاكاة نمذجة تغير الأرض قد بلغت (0.92) في حين بلغت بالنسبة لنمذجة السلوك الذاتي الخليوي - ماركوف (0.91) وهي تعبر عن توافق عال. وبالمثل أظهرت إحصائية كبا المعروفة باسم (kappa for no ability) وهي تحسب على الإحصائية العامة، أظهرت توافقاً عالياً لكل من نموذجي المحاكاة (0.92 و 0.93) على التوالي. كما يظهر من الجدول (3) مؤشرات لإحصائية كبا أكثر تفصيلاً لتمييز الدقة الكمية والدقة المكانية، وتدل قيمة إحصائية كبا الكمية والمكانية على توافق عال بالنسبة لكلا النموذجين. فقد بلغت القيمة الإحصائية لكلا النموذجين أكثر من



شكل (12): نتائج محاكاة النمو العمراني لمدينة الرياض حتى عام 2030 باستعمال نمذجة (LCM)

كما أظهرت نتائج توقع السيناريو المستقبلي حتى عام 2030 باستعمال نمذجة CA-Markov مقدار واتجاه الامتداد العمراني المتوقع لمدينة الرياض على ضوء احتمالية الانتقال، وعلى ضوء الملاءمة المكانية للانتقال؛ حيث أظهرت النتائج تطور الكتلة العمرانية بمساحة إجمالية (1204) كلم<sup>2</sup>، وهي تقع بالقرب من الكتلة العمرانية لاسيما في الجهة الشمالية الشرقية والجهة الجنوبية من المدينة كما في الشكل (13)، مما يجعلنا ندرك بوضوح أن المساكن يتم بناؤها عادة بالقرب من الكتلة العمرانية حول الطرق.



شكل (13): نتائج محاكاة النمو العمراني لمدينة الرياض حتى عام 2030 باستعمال نمذجة (CA -Markov)

رابعاً: التحقق من صحة النماذج المطبقة في المحاكاة يتمثل الهدف الرئيس للتحقق من صحة النموذج Validate في معرفة ما إذا كانت المحاكاة تعطي نتيجة غير متوقعة أو لا، ويشير التحقق عادة إلى مقارنة خرائط المحاكاة بالخرائط المرجعية. وقد طبق البحث أداة Validate المتاحة ضمن أدوات

مناطق التوسع منسجمة مع التنظيمات والضوابط العمرانية التي يتضمنها المخطط الهيكلي العام للمدينة (المخطط الإستراتيجي الشامل لمدينة الرياض). كما يوصي البحث بضرورة المحافظة على منطقة وادي حنيفة من التطوير باعتبارها منطقة طبيعية تكون بمثابة متنفس للمدينة.

### المراجع

عياصرة، ثائر مطلق محمد. 2015. مدخل إلى التخطيط الحضري المفاهيم والنظرية والتطبيق. دار الحامد للنشر والتوزيع، عمان، الأردن.

السدحان، عبد الله. 2011. نظرة للتغيرات الاجتماعية في المدينة السعودية بعد التوسع العمراني. تاريخ الاسترجاع 18 ديسمبر 2016، على الرابط الإلكتروني: <<http://bit.ly/2mEVS9u>>

الغرفة التجارية الصناعية بالرياض. 2014. اقتصاد الرياض. مركز البحوث والدراسات، الإصدار (22).

الهيئة العامة للإحصاء. 2016. تعداد السكان والمساكن لعامي 2004 و2010. تاريخ الاسترجاع 26 نوفمبر 2016، على الرابط الإلكتروني: <<https://www.stats.gov.sa/ar/13>>

الهيئة العليا لتطوير مدينة الرياض. 2016. الدراسة السكانية لمدينة الرياض 1437هـ. تاريخ الاسترجاع 4 ديسمبر 2016، على الرابط الإلكتروني: <<http://bit.ly/2mmYJTO>>

Abuelaish, B., and Olmedo, M.T. 2016. Scenario of land use and land cover change in the Gaza Strip using remote sensing and GIS models. Arab J Geosci 9(1) : 274.

Alexander, K.W., Benjamin, M., and Grephas, O. P. 2012. Urban land use suitability assessment using Geoinformation techniques for Kisumu municipality in Kenya. IJRRAS. 13(2): 522-530.

Arsanjani, J. J., Helbich, M., Kainz, W., and Bolorani, D. A. 2013. Integration of logistic regression, Markov chain and cellular automata models to simulate urban expansion. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. 21(1): 265-275.

(0.97)، وهي تدلّ أيضًا على توافق عال. يستخلص من نتائج هذا البحث التخطيط العمراني لمدينة الرياض الكبرى؛ حيث يُعنى هذا البحث بدراسة النمو العمراني لمدينة الرياض خلال الفترة بين عامي 1990 و2016 من خلال دراسة التغيّر في الغطاء الأرضي، وتوقع النمو العمراني حتى عام 2030 عن طريق تطبيق نمذجة LCM ونمذجة CA-Markov باستعمال برنامج الإدريسي® IDRISI Selva 17. وقد أظهرت نتائج تحليل التغيّر زيادة مساحة الكتلة العمرانية بمقدار (431) كلم<sup>2</sup> بين عام 1990 وعام 2016، وذلك على حساب الأراضي غير المطوّرة، والأراضي الواقعة في وادي حنيفة، وأظهر التحليل أن اتجاه الامتداد العمراني لمدينة الرياض الكبرى خلال تلك الفترة تركز في النواحي الشمالية والشمالية الشرقية والجنوبية من المدينة.

ومن خلال تطبيق نماذج المحاكاة باستخدام نمذجة LCM ونمذجة CA-Markov أمكن التنبؤ بالتطور العمراني لمدينة الرياض حتى عام 2030 من حيث كمية واتجاه المساحة المطوّرة، ومن خلال المقارنة بين النموذجين، تبين ثبات كمية النمو العمراني؛ حيث أظهرت نتائج نمذجة LCM ونمذجة CA-Markov تطوّر الكتلة العمرانية بمساحة إجمالية تصل إلى (1204) كلم<sup>2</sup>، وهي تغطي (22.4%) من مساحة حدود التنمية، ومن جهة أخرى تبين أن هناك اختلافات بين النموذجين في التوزيع المكاني للنمو العمراني من موقع إلى آخر؛ فقد أظهرت نتائج نمذجة CA-Markov امتداد النمو العمراني بالقرب من الكتلة العمرانية في الجهة الشمالية الشرقية والجنوبية من المدينة، في حين أظهر تطبيق نمذجة (LCM) أن النمو العمراني يمتد في الاتجاه الشمالي والشمالي الشرقي من المدينة بصورة أكثر على الأراضي القريبة من الطرق وذات الميل المنخفض في تلك النواحي.

### التوصيات

يوصي البحث بناءً على تحليل ومناقشة النتائج بأن تراعي الهيئة العليا لتطوير مدينة الرياض عند رسم الخطط المستقبلية للمدينة مسألة النمو العمراني؛ بحيث تكون استعمالات الأراضي في

- Jaafari, S., and Nazarisamani, A. 2013. Comparison between land use/land cover mapping through Landsat and Google Earth Imagery. *American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci.* 13(6): 763-768.
- Klaus, D.G. 2016. BPSMSG AHP Online System: AHP priorculatority cal. Retrieved (2-May-2016) from: <[http://bpmmsg.com/academic/ahp\\_calc.php](http://bpmmsg.com/academic/ahp_calc.php)>.
- Kumar, M., and Biswas, V. 2013. Identification of potential sites for urban development using GIS based multi criteria evaluation technique. A case study of Shimla municipal area, Shimla district, Himachal Pradesh, India. *Journal of Settlements and Spatial Planning.* 4(1): 45-51.
- Kumar, S., and Kumar, R. 2014. Site suitability analysis for urban development of a hill town using GIS based multicriteria evaluation technique: A case study of Nahan town, Himachal Pradesh, India. *International Journal of Advanced Remote Sensing and GIS.* 3(1): 516-524.
- Kumar, S. K., Kumari, P., Bhaskar, K., and Udaya, P. 2016. Application of Markov Chain & cellular automata based model for prediction of urban transitions. *International Conference on Electrical, Electronics, and Optimization Techniques (ICEEOT)* 3-5 March 2016, Chennai. Doi [10.1109/ICEEOT.2016.7755466](https://doi.org/10.1109/ICEEOT.2016.7755466) accessed 2-May-2016.
- Liu, Y. 2009. *Modelling Urban Development with Geographical Information Systems and Cellular Automata.* 1st Edition. CRC Press, Boca Rotan, FL. 111-126.
- Martin, G. 1970. Mathematical games – The fantastic combinations of John Conway’s new solitaire game life. *Scientific American.* 223: 120–123.
- Mishra, V. N., Rai, P. K., and 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. Geogr. Inst. Cvijic.* 64(1): 111-127.
- Pérez-Vega, A., François, M. J., and Arika, Z. L. 2012. Comparing two approaches to land use/cover change modeling and their implications for the assessment of biodiversity loss in a deciduous tropical forest. *Environmental Modelling & Software.* 29: 11-23.
- Asgary, A., Klosterman, R., and Razani, A. 2007. Sustainable urban growth management using what-If? *Int. J. Environ. Res.* 1(3): 218-230.
- Bihamta, N., Soffianian, A., Fakheran, S., and Gholamalifard, M. 2015. Using the SLEUTH urban growth model to simulate future urban expansion of the Isfahan metropolitan area, Iran. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing.* 43(2): 407–414.
- Couclelis, H. 1985. Cellular worlds: a framework for modeling micro-macro dynamics. *Environ and Planning A.* 17: 585-596.
- Eastman, R. J. 2006. *IDRISI Andes, Guide to GIS and Image Processing.* Clark University, Worcester, 87-131.
- Eastman, R. J. 2012. *IDRISI Selva Tutorial, Clark University, Worcester. Manual Version 17:182-185, 265.*
- Eastman, J. R., Luis, S., and Megan, V. 2005. Transition potential modeling for land-cover change. *In: Maguire, J., batty, M., and Goodchild, M. (Eds.) GIS, Spatial Analysis and Modeling.* 357-385. ESRI Press. Redlands, CA.
- Ebrahimipour, A., Saadat, M., and Farshchin, A. 2016. Prediction of urban growth through cellular automata-Markov chain. *Bulletin de la Société Royale des Sciences de Liège.* 85(1): 824-839.
- Fuller, D. O., Hardiono, M., and Meijaard, E. 2011. Deforestation projections for carbon-rich peat swamp forests of central Kalimantan, Indonesia. *Environmental Management.* 48(3):436-47. Retrieved on 15-2-2016 from <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21359865>>.
- Hua, L., Tang, L., Cui, S. and Kai, Y. 2014. Simulating urban growth using the SLEUTH model in a coastal Peri urban district in China. *Sustainability.* 6(1): 3899-3914.
- Huang, J., Wu, Y., Gao, T., Zhan, Y., and Cui, W. 2015. An integrated approach based on Markov Chain and Cellular Automata to simulation of urban land use changes. *Appl. Math. Inf. Sci.* 9(2): 769-775.
- Itami, R. M. 1994. Simulating spatial dynamics: Cellular automata theory. *Landscape and Urban Planning.* 30: 27-47.

- Tilahun, A., and Teferie, B. 2015. Accuracy assessment of land use land cover classification using Google Earth. *American Journal of Environmental Protection*. 4(4): 193-198.
- Vaz, E., and Arsanjani, J. 2015. Predicting urban growth of the greater Toronto area - Coupling a Markov Cellular Automata with document Meta-Analysis. *Journal of Environmental Informatics (JEI)*. 25(2): 71-80.
- White, R., and Engelen, G. 1993. Cellular automata and fractal urban form: a cellular modeling approach to the evolution of urban land-use patterns. *Environment and Planning A*. 25(8): 1175-1199.
- Wu, F., and Webster, C. J. 1990. Simulating artificial cities in a GIS environment: Urban growth under alternative regulation regimes. *International Journal of Geographical Information Science*. 14(7): 625-48.
- Yuan, T., Yiping, X., Lei, Z., and Danqing, L. 2015. Land use and cover change simulation and prediction in Hangzhou city based on CA-Markov Model. *International Proceedings of Chemical, Biological, and Environmental Engineering*. 90(17): 108-113.
- Zarei, R., and Alesheikh, A. A. 2013. Urban growth modeling with cellular automata and genetic algorithm. *Research and Urban Planning*. 1(11): 2-3.
- Pratomoatmojo, A. N. 2014. Applying LanduseSim modeling and simulation of spatial land use changes based on geographic information systems in the context of urban and regional planning. *Proceeding of National Seminar CITIES 2014*, VI(69-79), ISBN 978-602-71612-0-7. (In Indonesian).
- Ritung, S. W., Agus, F., and Hidayat, H. 2007. Land Suitability Evaluation with a case map of Aceh Barat District. *Indonesian Soil Research Institute and World Agroforestry Centre, Bogor, Indonesia*: 10.
- Scholar, R. 2015. Application of land change modeler for prediction of future land use land cover- A case study of Vijayawada city. *International Journal of Science, Environment, and Technology*. 3(1): 773-783.
- Singh, S. K., Mustak, S. k., Srivastava, P. K., Szabó, S., and Islam, T. 2015. Predicting spatial and decadal LULC changes through cellular automata Markov Chain models. *Earth Observation Datasets and Geo-information, Environmental Processes*. 2(1): 61-78.
- Shahidul, I., and Raquib, A. 2011. Land use change prediction in Dhaka city using GIS aided Markov chain modeling. *J. Life Earth Sci*. 6: 81-89.
- Takada, T., Miyamoto, A., and Hasegawa, S.F. 2010. Derivation of a yearly transition probability matrix for land-use dynamics and its applications, *Landscape Ecology*, 25, 561-572.

## Simulation of Urban Growth for Riyadh Metropolitan by Applying Modeling of CA-Markov and Land Change Modeler

Tha'r Mutlaq Mohammed Ayasrah

Statistical Division- Planning and Financial Management.

Technical and Vocational Training Corporation / Riyadh. Kingdom of Saudi Arabia

### ABSTRACT

The change of land uses / land cover is an important issue that effect global ecological system change. In order to maintain biodiversity and environmental sustainability. planners need more tools and correct statistics to study the changes and set expectations to achieve future vision and assess environmental sustainability. This article aims to analyze changes in land cover for the Metropolis Riyadh between (1990-2016) using satellite images and simulate urban growth until 2030 using Idrisi Silva program<sup>1</sup> tools. This was applied land change modeler to determine the changes in land cover and the trend of urban growth. In addition. the growth of built-up area in Metropolis Riyadh until 2030 was simulated using (LCM) and (CA-Markov) modeling.

The results of change analysis by (LCM) showed increased of the built-up area between 1990 and 2016 of about (431) km<sup>2</sup>. The results of simulation until 2030 showed an increase of built-up area to (1204) km<sup>2</sup>. On the other hand. it indicated differences between the two models in spatial distribution of urban growth from one location to another. The accuracy of the classification maps was validated using kappa and overall accuracy indices. which showed high accuracy in classification. as well as validating of simulation maps when compared with reference map in 2016 using the kappa indicators. all of which have showed high accuracy. Finally. the work recommends the High Commission for the Development of Riyadh to take urban expansion of the Metropolis into account. in addition to its consequences that poses more pressure on undeveloped land. Furthermore. the work recommends preserving Wadi Hanifa area from expansion to serve as a natural area outlet for the Metropolis.

**Key Words:** GIS. IDRISI Selva17. Markov Analysis. Urban Growth.