

دور تقنية الاستشعار عن بُعد في محاكاة التطور العمراني المُستقبلي للمدينة المنورة خلال

الفترة (2007–2027) باستخدام خوارزمية ماركوف (CA- Markov)

د. ناصر بن سعيد آل زينه

أستاذ نظم المعلومات الجغرافية المشارك – جامعة الملك خالد

naalzabnh@kku.edu.sa

**The role of remote sensing technique in Future
urban development simulation in Madinah during the period (2007-
2027) using Markov Algorithm (CA-Markov)**

Dr. Nasser Saeed Alzbnah

associate professor of GIS - King khalid University

naalzabnh@kku.edu.sa

ملخص البحث

يهدف هذا البحث إلى دراسة دور تقنية الاستشعار عن بُعد في محاكاة التطور العمراني المستقبلي للمدينة المنورة خلال الفترة (2007-2027) باستخدام خوارزمية ماركوف (CA- Markov). هذه الدراسة تقدم محاكاة مكانية للتطور العمراني بالمدينة المنورة، تجمع بين العلوم الحاسوبية والرياضيات والإحصاء وعلم نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بُعد من خلال الاعتماد على خوارزمية ماركوف (CA- Markov) لعمل مصفوفة استعمالات الأرض العمرانية الحالية والمستقبلية للمدينة المنورة خلال الفترة من عام (2007-2027م) اعتماداً على برنامج IDRISI 17.0. ركزت الدراسة على الفترة الزمنية الممتدة من عام 2007-2027م، بتسلسل زمني مقداره 10 سنوات من العام الأول، على النحو التالي (2007-2017م) وذلك لتحديد محاور التطور العمراني لتلك السنوات، وتقييم دقة المحاكاة لعام 2027 من خلال عامي 2007، 2017، وفق العوامل الطبيعية والبشرية. اعتمدت الدراسة على المنهج المسحي التتبعي عبر فترات زمنية عديدة، على أن يكون البحث ميدانياً field-setting أو معملياً laboratory أو محاكاة simulation، وأيضاً المنهج التطبيقي التقني من خلال بناء قاعدة بيانات جغرافية لكافة معايير ومحددات التطورات العمرانية؛ لاستخدامها في بناء نموذج ماركوف بالمدينة المنورة. توصلت الدراسة إلى بناء نموذج يعتمد على التكامل التقني بين بيانات الاستشعار عن بُعد ونظم المعلومات الجغرافية للتغلب على الإشكالات التي تسببها الطرق التقليدية في عملية الرصد من خلال قياس دقة طرق الرصد وتقييم مدى صدق نموذج ماركوف في التعبير عن التنبؤات المكانية- الزمانية للعمران بالمدينة المنورة. وتبين أن معدل متوسط النمو العمراني السنوي ما بين عامي 2007 - 2017 بلغ 5.69% وبلغ 7.32% بين عامي 2017-2027م وهذا يؤثر بشكل سلبي على دقة المحاكاة. واتضح أن التوزيع العمراني المستقبلي للمدينة المنورة لعام 2027م اتخذ محور: شمال شرقي جنوب غربي، حيث يؤثر اتجاه الجنوب الغربي على الاتجاه التوزيعي لتطور العمراني المستقبلي بنسبة 70.1% بينما اتجاه الشمال الشرقي بنسبة 29.9%، كما تبين أن 19 حياً ستشهد كثافة عمرانية مرتفعة بحلول عام 2027م بمعدل (2439-2744) مبنى/كم².

الكلمات المفتاحية: ماركوف، الاستشعار عن بُعد، محاكاة، خوارزم، نموذج الأتومات الخلوي.

Summary

This research aims to study the role of remote sensing technology in simulating the future urban development of Medina during the period (2007-2027) using the Markov algorithm (CA- Markov). This study presents a spatial simulation of the urban development of Medina, combining computer science, mathematics, statistics, and systems science. Geographic information and remote sensing by relying on the Markov algorithm (CA- Markov) to create a matrix of the current and future urban land uses of Medina during the period from (2007-2027 AD) based on the IDRISI 17.0 program. The study focused on the time period extending from the year 2007-2027 AD, in a time sequence of 10 years from the current year, as follows (2007-2017-2027 AD) in order to determine the axes of urban development for those years, and evaluates the accuracy of the simulation for the year 2027 through the years 2007 and 2017. according to natural and human factors. The study relied on the traceable survey approach over several time periods, with the research being field-setting, laboratory, or simulation, as well as the applied technical approach by building a geographical database of all criteria and determinants of urban developments for use in building a Markov model in Medina. The study concluded with building a model based on technical integration between remote sensing data and geographic information systems to overcome the problems caused by traditional methods in the monitoring process by measuring the accuracy of monitoring methods and evaluating the veracity of the Markov model in expressing spatio-temporal predictions of urbanization in Medina. It was found that the average annual urban growth rate between the years 2007-2017 was 5.69% and reached 7.32% between the years 2017-2027 AD, and this negatively affects the accuracy of the simulation. It became clear that the future urban distribution of Medina for the year 2027 AD took a northeast-southwest axis, with the southwest direction affecting the distributional direction of future urban development by 70.1%, while the northeast direction by 29.9%. It was also shown that 19 neighborhoods will witness a high urban density by 2027 AD at a rate (2439-2744) building/km².

المقدمة:

شهدت المدن السعودية توسعاً عمرانياً ملحوظاً في السنوات الأخيرة، أثار هذا التوسع الحضري اهتمام المختصين والباحثين والدارسين؛ لما له من تأثيرات إيجابية، وإحداث ثورة في الأنشطة العمرانية، وتحولات وتغيرات في أنماط استخدامات الأراضي، حيث زادت الكتلة العمرانية في معظم مدن المملكة العربية السعودية، على حساب مساحات الأراضي الزراعية.

وتُعد تقنيات الاستشعار عن بُعد ونظم المعلومات الجغرافية من التقنيات الهامة التي تُستخدم في كشف ومحاكاة التغيرات العمرانية الحالية والمستقبلية. وقد تزايد في السنوات الأخيرة الاعتماد على هذه البيانات وهو ما قدم نوافذ جديدة للاطلاع على إمكانات واسعة في تحصيل المعرفة الجغرافية. حيث أدى توسع المدن وازدياد حجمها وتطورها العمراني على وجه الخصوص إلى استحداث أساليب علمية وتقنية عديدة لتحديد أحجام وأشكال التطور العمراني داخل المدن، مما يساعد على تخطيطها وفق المحددات الطبيعية والبشرية للتطور العمراني. كما قدمت الأساليب العلمية والتقنية الحديثة مجالاً أوسع للباحثين لدراسة مختلف الظواهر الطبيعية والبشرية اعتماداً على بيانات الاستشعار عن بُعد (RS) وRemote sensing ونظم المعلومات الجغرافية (GIS) Geographic Information Systems.

ومن أجل التغلب على التحديات والمشكلات العمرانية خاصة مع التزايد السريع للرقمنة وقدرات الحواسب الآلية والخوارزميات التي تسمح بمعالجة كميات كبيرة من البيانات، فقد اتجهت الأبحاث في مجال العمران إلى استخدام مناهج وأساليب ونماذج مكانية نظرية ورياضية لتطويع الأنظمة العمرانية المعقدة، وتذليل صعوبات نسقها المتشابه لإدارة وتحليل التعقيد والتشابه للديناميات الحضرية والريفية وإسقاطاتها المستقبلية لدعم القرار في التخطيط العمراني (Zhang and Wang,2022). وتقدم هذه الدراسة محاكاة مكانية للتطور العمراني بالمدينة المنورة، تجمع بين العلوم الحاسوبية والرياضيات والإحصاء وعلم نظم المعلومات الجغرافية من خلال الاعتماد على خوارزمية ماركوف (CA- Markov) لعمل مصفوفة استعمال الأرض العمرانية الحالية والمستقبلية للمدينة المنورة خلال الفترة من عام (2007 – 2027م) اعتماداً على برنامج IDRISI 17.0.

أولاً: الإطار النظري للدراسة

اشتمل الإطار النظري للدراسة على مشكلة الدراسة وتساؤلاتها، وأبعاد الدراسة وأهميتها، ومناهج الدراسة وأساليبها، بالإضافة للدراسات السابقة.

مشكلة الدراسة وتساؤلاتها:

تشهد المدينة المنورة تطوراً عمرانياً كبيراً يرتبط بعوامل دينية وتاريخية وثقافية يجعلها أحد أبرز الوجهات الدينية والسياحية أو للإقامة الدائمة أو المؤقتة، وفي ظل رؤية المملكة 2030 يقدر أن تستضيف المدينة المنورة 30 مليون زائر سنوياً، وهذا يعكس الاهتمام بالتطور العمراني المستقبلي للمدينة المنورة في عدة تساؤلات منها:

- ماهي محاور التطور العمراني المستقبلي للمدينة المنورة؟ وما اتجاهاته؟
- كيف تؤثر المحددات الطبيعية والبشرية على اتجاه النمو العمراني؟
- ماهي أبعاد هذا النمو العمراني كمياً ومكانياً وزمانياً؟

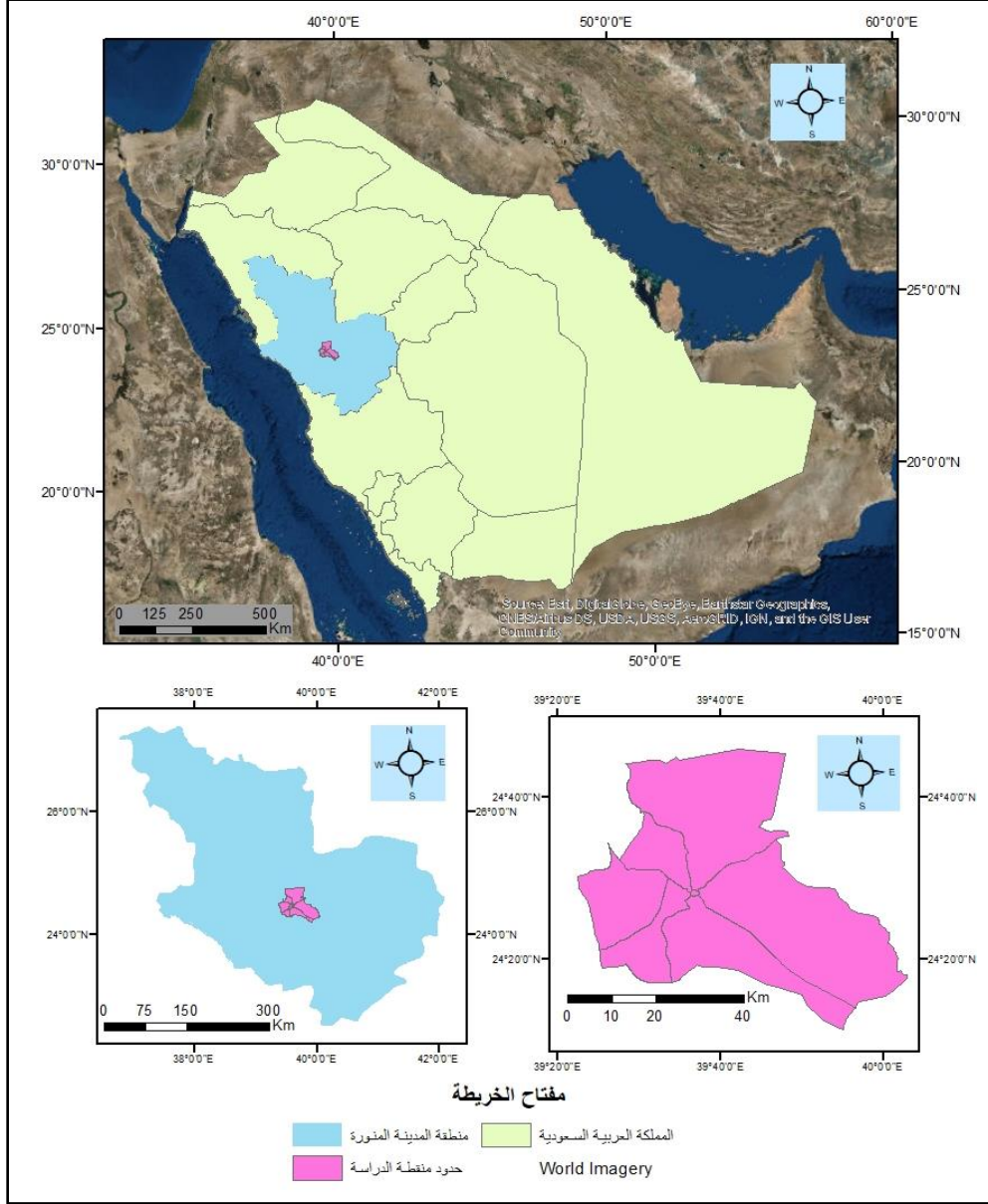
أبعاد الدراسة:

مكانياً: تقع المدينة المنورة فلكياً بين دائرتي عرض $21^{\circ}24'00''$ - $24^{\circ}36'00''$ شمالاً، وبين خطي طول $39^{\circ}36'00''$ - $39^{\circ}42'36''$ شرقاً، وتمتد في الجزء الغربي من المملكة العربية السعودية كما في الشكل رقم (1)، وتعد المدينة المنورة عاصمة إمارة المدينة، وتمثل واحدة من أكبر تسع مدن رئيسة داخل حدود إمارة المنطقة، وما يميز منطقة الدراسة جغرافياً وبخاصة الجانب العمراني هو التطور العمراني بسبب الهجرة المؤقتة والدائمة. ومنذ أن كانت المدينة المنورة بلدة صغيرة تكونت من عدد من الأحياء، ومن الطبيعي أن تتغير هذه الأحياء، ويتغير تقسيمها مع الزمن، إلى جانب ما ينشأ من أحياء جديدة بسبب التغير السريع الذي خضعت وتخضع له المدينة، وقد عمدت أمانة منطقة المدينة المنورة عندما اتسعت المدينة إلى تقسيمها إلى 7 بلديات تمثلها بلدية قباء، وبلدية أحد، وبلدية البيداء، وبلدية العقيق، وبلدية العوالي، وبلدية العيون بالإضافة إلى بلدية الحرم النبوي.

زمنياً: ركز الباحث على الفترة الزمنية الممتدة من عام 2007-2027م، بتسلسل زمني مقداره عشر سنوات من عام 2007، على النحو التالي (2007-2017-2027م) وذلك لتحديد محاور التطور العمراني لتلك

السنوات، وتقييم دقة المحاكاة لعام 2027 من خلال عامي 2007، 2017، وفق العوامل الطبيعية والبشرية.

شكل (1) موقع منطقة الدراسة



المصدر: من إعداد الباحث بالاعتماد على ARCGIS

أهمية الدراسة:

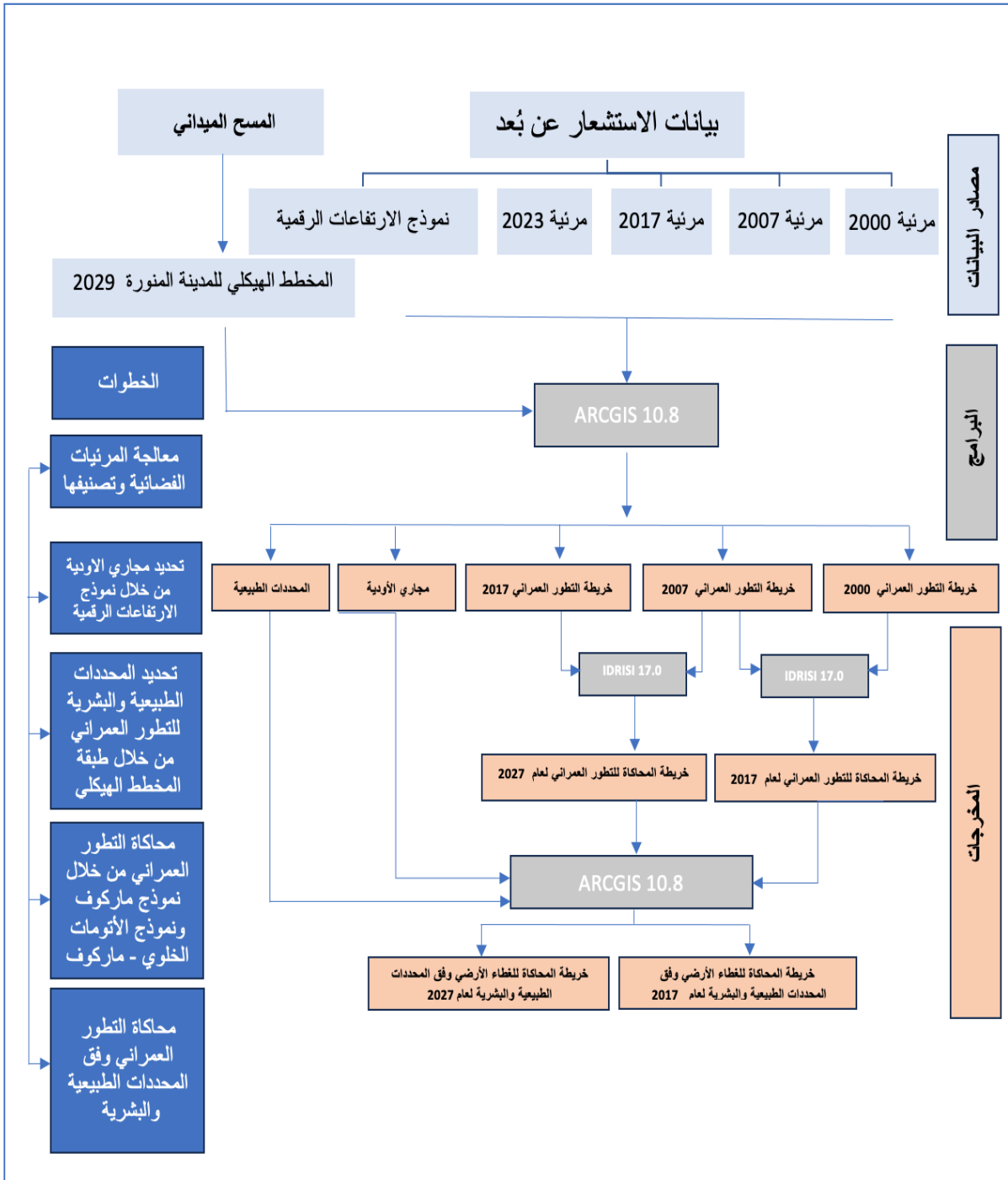
تتمثل أهمية الدراسة في جانبين، أولهما: أن الدراسة تقدم لمتخذي القرار تصوراً عن مستقبل التطور العمراني في المدينة المنورة من حيث أوجه التوسع العمراني حتى عام 2027م، بما يتناسب مع شروط ومعايير اختيارها، وثانيهما: إبراز دور التقنيات الجغرافية الحديثة متمثلة في النماذج المكانية ودورها في تحديد التطورات العمرانية المستقبلية للمدينة المنورة، نظراً لدقتها وشموليتها المكانية.

مناهج الدراسة وأساليبها:

تتطلب طبيعة الدراسة اتباع عدد من مناهج البحث وأساليبه، والتي من أهمها المنهج المسحي التتبعي عبر فترات زمنية عديدة، والمنهج المسحي هو محاولة منظمة للحصول على معلومات من جمهور محدد أو عينة منه باستخدام أدوات المسح كالمقابلات والملاحظات والاستبانات. ويجري البحث المسحي التتبعي عبر فترات زمنية عديدة ويمكن أن يكون البحث ميدانياً field-setting أو معملياً laboratory أو محاكاة simulation (الوليبي، 2012، ص 33). منهج التحليل المكاني، من خلال دراسة العلاقات بين خصائص المحددات الطبيعية والبشرية لمواقع الكتلة العمرانية وتوسعاتها. والمنهج التطبيقي من خلال بناء قاعدة بيانات جغرافية لكافة معايير ومحددات التطورات العمرانية لاستخدامها في بناء نموذج ماركوف بالمدينة المنورة.

بالإضافة للمنهج الإقليمي: ويهدف هذا المنهج إلى إبراز الاختلافات الإقليمية والمحلية لكافة الأنشطة المختلفة على مستوى المدينة، وبالتالي يبرز هذا المنهج دراسة الإطار الإقليمي، وتحليل التوزيع الجغرافي للمقومات البيئية والظروف البشرية والخدمية.

كما اعتمدت الدراسة أيضاً على عدد من الأساليب وأهمها: الأسلوب الكمي التحليلي ويستخدم في معالجة بيانات الجداول والقياسات وفق معادلات رياضية مناسبة، الأسلوب الكارتوجرافي ويهدف إلى تقديم مجموعة من الخرائط والأشكال البيانية من خلال مجموعة من البرامج التطبيقية في مجال التقنيات الرقمية ومنها: برنامج (ArcGIS 10.8)، برنامج (IDRISI.17) ويوضح شكل (2) الخطوات المنهجية العملية للدراسة.



شكل (2) الخطوات المنهجية العملية للدراسة

الدراسات السابقة:

تعد دراسات استخدام النماذج الرياضية والمكانية من أهم الدراسات التطبيقية الحديثة المعتمدة على تقنيات نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد ولعل أهمها:

- دراسة سو واي منت ولي وانج (2006م): عن نموذج قرار متعدد المعايير للغطاء الأرضي واستخدامات الأرض ومدى تغييرها وذلك باستخدام تحليل سلسلة ماركوف ونهج الأتومات الخلوي.
- دراسة (Effat & Hegazy, 2013) عن: استخدام المنهج متعدد المعايير لرسم خرائط مناطق التنمية الحضرية المحتملة في شبه جزيرة سيناء، مصر باستخدام الاستشعار عن بعد ونظام المعلومات الجغرافية.
- دراسة عياصرة (2016م): عن محاكاة النور العمراني بالاستناد إلى نمذجة السلوك الذاتي-الخلوي ونمذجة تغير الأرض وتم من خلالها تحديد التغيرات التي طرأت على الغطاء الأرضي لمنطقة ساكب بالأردن خلال الفترة الممتدة بين عامي 1988م و2016م.
- دراسة (Diefallah, et al , 2017) عن : دراسة حالة لاختيار أفضل مسار باستخدام منهج القرار المتكامل متعدد المعايير لنظم المعلومات الجغرافية.
- دراسة (Aburasa, et al, 2017) عن: تحليل ملاءمة الأرض للنمو الحضري في سيريمبان ماليزيا، باستخدام عملية التسلسل الهرمي التحليلي القائم على نظم المعلومات الجغرافية.
- دراسة أبو راس و يوك مينغ هوا وراملي واشعري (2017): عن تحسين قدرة نموذج الأتومات الخلوي ماركوف المتكامل على محاكاة اتجاهات النمو الحضري المكاني والزمني باستخدام عملية التحليل الهرمي ونسبة التردد.
- دراسة (الجبوري، 2018) عن: بناء نموذج الملاءمة المكانية لإنشاء المناطق الخضراء في مدينة الديوانية العراقية باستخدام نظم المعلومات الجغرافية GIS.

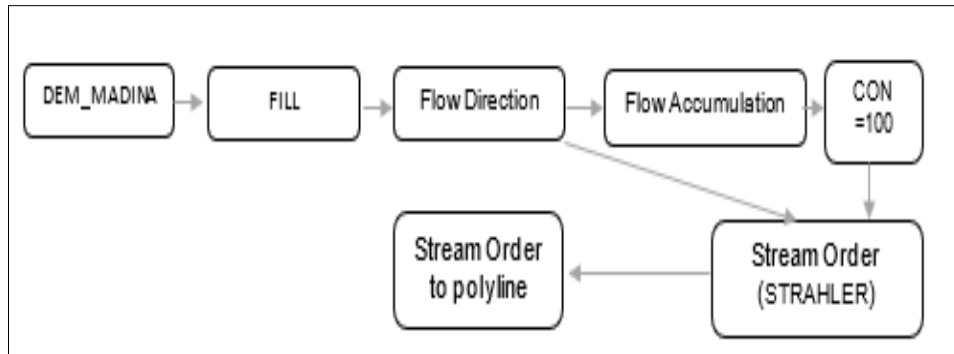
ثانياً: المحددات المكانية لمحاكاة التطور العمراني بالمدينة المنورة باستخدام نموذج ماركوف المدمج (CA_MARKOV)

تعرف المحاكاة المكانية بأنها عملية تحليلية يتم تنفيذها بالاقتران مع نظم المعلومات الجغرافية من أجل وصف العمليات والخصائص الأساسية لمجموعة معينة من السمات المكانية. والهدف من المحاكاة المكانية




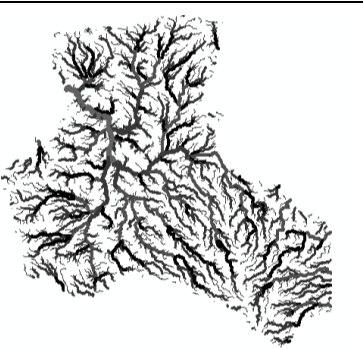
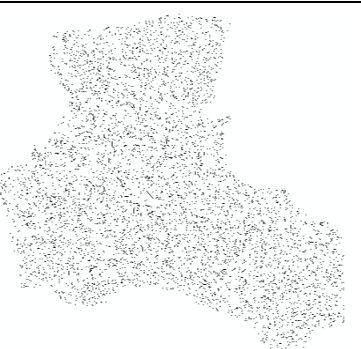


هو أن تكون قادرة على دراسة ومحاكاة الكائنات المكانية أو الظواهر التي تحدث في العالم الحقيقي ومن ثم المساعدة في حل المشاكل والتخطيط (الورفلي، 2017، ص5). لذلك سيتم بناء نموذج ماركوف للمحاكاة المكانية وفق المحددات الطبيعية والبشرية للمنطقة كما يلي:

المحددات الطبيعية للتطور العمراني:

تتم الدراسات المستقبلية والتنمية بدراسة الخصائص الطبيعية للمكان المراد تنميته، لكونها مكوناً أساسياً من مكونات الوحدة المكانية، فمن شأن التنمية أن تُصعد الاهتمام بخصائص البيئة الطبيعية، وذلك على اعتبار أنها تمثل الوعاء الذي يحتوي الناس، وتؤثر فيهم وتتأثر بهم (الشامي، 1990، ص154). وقد اعتمد الباحث في محاكاة التطور العمراني للمدينة المنورة باستخدام نموذج ماركوف على أكثر المحددات الطبيعية تأثيراً وهي مظاهر السطح ومجري الأودية (وادي العقيق، وادي بطحان، وادي الرانونا، وادي قناة، وادي المبعوث) مع الأخذ في الاعتبار أنه يمكن أن يتوسع العمران ويتداخل مع الحدود الجبلية بينما مجاري الأودية تعتبر محددًا مهمًا وخطراً لا يجوز التعدي عليه بأي شكل من الأشكال وذلك حسب أنظمة البناء والتصاريح من أمانة منطقة المدينة المنورة. واعتمد الباحث في تحديد المناطق التضاريسية لمنطقة الدراسة على نموذج الارتفاعات الرقمية (DEM) بعد ملء القيم الشاذة من خلال أداة (Fill) حيث تتراوح قيم النموذج من 543م إلى أقصى ارتفاع 1328م ، وتم تحديد القيم المناسبة للتوسع العمراني وهي من ارتفاع 543م إلى أقل من 1000م، وكلما ارتفع منسوب الخلية قلت ملاءمتها حتى تصبح في المستقبل صوراً احتمالية للانتقال العمراني. بينما تم تحديد مجاري الأودية من خلال تحليل نموذج الارتفاعات الرقمية لاستخلاص مجاري الأودية في المدينة المنورة بالاعتماد على (شكل3)، ثم تصحيح مجرى وادي بطحان ووادي الرانونا بناءً على طبقة المخطط الهيكلي للمدينة المنورة لعام 1450هـ، وخريطة الأودية للمؤرخ عز الدين محمد المسكي، كما في الشكل رقم (4).



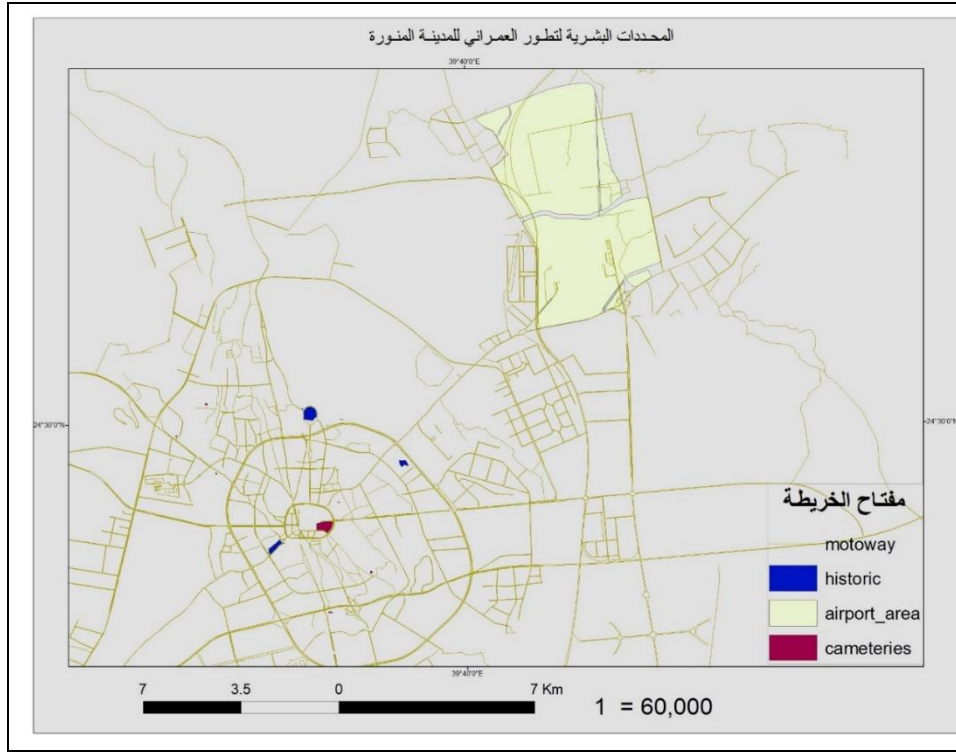
شكل (3) نموذج مراحل اشتقاق مجاري الأودية بالاعتماد على نموذج الارتفاعات الرقمية

		
أتجاه التجمع (Flow Direction)	نموذج الارتفاعات بعد ملئ القيم الشاذة (Fill)	نموذج الارتفاعات
		
رتب مجاري الأودية (Stream) (Order)	التحسس بقيمة 100 (CON)	التجمع التراكمي (Flow) (Accumulation)
		
تصحيح مجاري الأودية الرئيسية بالاعتماد على طبقة المخطط الهيكلية لأمانة المدينة المنورة وخريطة المؤرخ المسكي		

شكل (4) نموذج اشتقاق مجاري الأودية

المحددات البشرية للتطور العمراني: تتمثل المحددات البشرية للتطور العمراني للمدينة المنورة في شبكة الطرق والمنطقة المحرمة لمطار الأمير محمد بن عبد العزيز والمقابر ومناطق الآثار، وتم تحديد تلك المناطق من خلال المخطط الهيكلية للمدينة المنورة، كما هو موضح في الشكل رقم (5).

شكل (5) المحددات البشرية للتطور العمراني بالمدينة المنورة

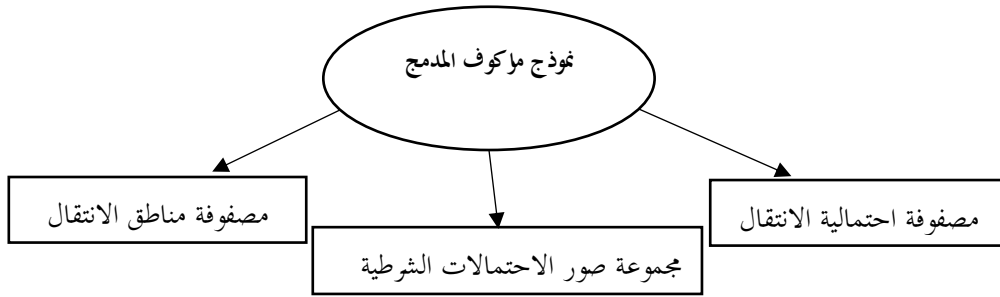


ثالثاً: تطبيق نموذج ماركوف المدمج لمحاكاة التطور العمراني الحالي بالمدينة المنورة (2007-2027)

يعرف نموذج ماركوف بأنه نموذج رياضي يعود لعالم الرياضيات الروسي اندريه ماركوف (1856م-1922م) الذي قام بوضع سلسلة ماركوف أو ما يسمى بالعمليات العشوائية وهي عمليات تقوم بالتنبؤ بالقيم المستقبلية بناءً على الحاضر والماضي واحتمال انتقال القيم من فئة إلى أخرى، بينما نموذج ماركوف المدمج (CA_MARKOV): يتكون من نموذجين؛ نموذج ماركوف ونموذج الأتومات الخلوي، ويعرف بأنه تعبير (رياضي - برمجي) يدل على مصفوفة من الخلايا يمكن أن تأخذ عددًا منتهيًا من الحالات بحيث تكون كل حالة مستقبلية للخلية تتعلق بحالتها الحاضرة، وبجالة الخلايا المجاورة لها. ويتم من خلال نموذج ماركوف المدمج عرض مخرجات النموذج (شكل 6) والتي تتمثل فيما يلي:

مصفوفة احتمالية الانتقال: هي ملف نصي يسجل احتمال تغير كل فئة من فئات الغطاء الأرضي لكل فئة أخرى.

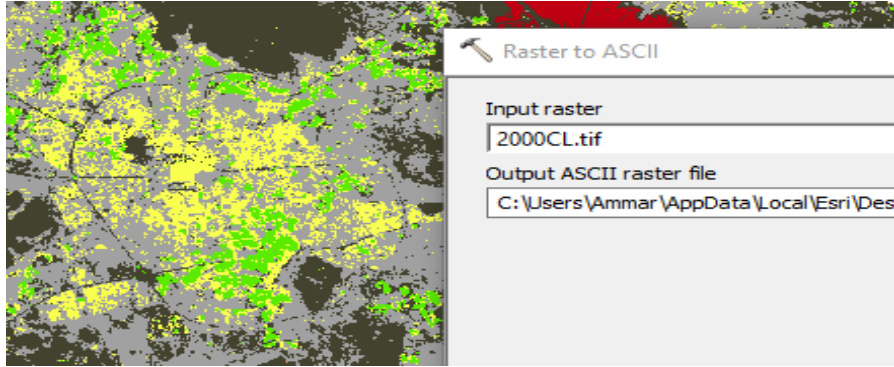
مصفوفة مناطق الانتقال: هي عبارة عن ملف نصي يسجل عدد البيكسل المتوقع تغييره من كل نوع من أنواع الغطاء الأرضي إلى كل نوع من أنواع الغطاء الأرضي الأخرى عبر العدد المحدد للوحدات الزمنية. مجموعة صور الاحتمال الشرطي: احتمال العثور على كل نوع من الغطاء الأرضي عند كل بكسل بعدد الوحدات الزمنية المحددة، ويمكن في هذه الخطوة تحديد مناطق الانتقال أو صور الاحتمال الشرطي من خلال معالج القرار (Decision Wizard) وهو يستخدم وحدات دعم القرار FUZZY و MCE و WEIGHT.



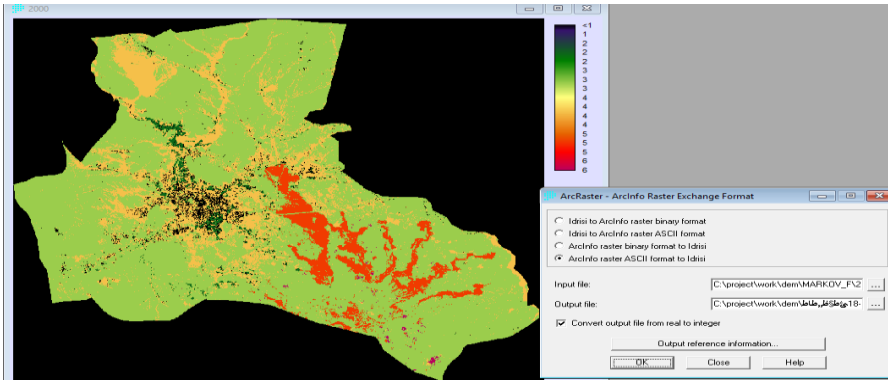
شكل (6) مخرجات نموذج ماركوف المدمج

وبناءً على ما سبق تم بناء نموذج ماركوف المدمج وفق المحددات الطبيعية والبشرية للمنطقة، والتي تم تحديدها وفق منطقة الدراسة وتأثيرها المكاني، وذلك بناءً على مجموعة من المراحل والخطوات الأساسية، تم تطبيقها اعتماداً على برنامج IDRISI 17.0 كما يلي:

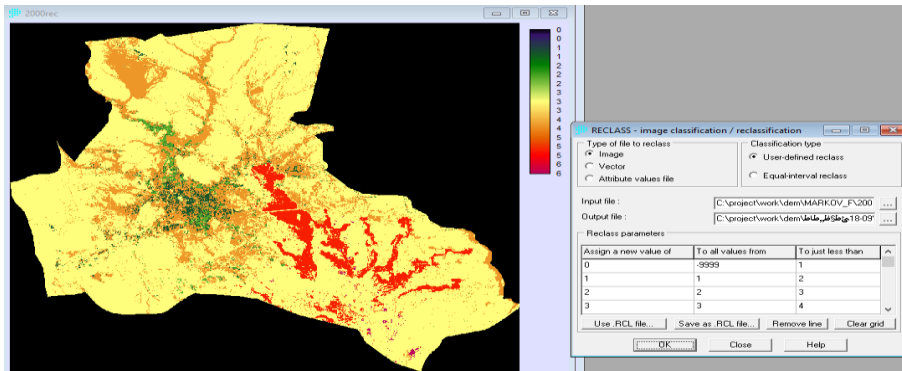
المرحلة الأولى: وفيها تم تحديد مصفوفة مناطق الانتقال واحتمالية الانتقال وصور الاحتمالات الشرطية. ولتطبيق نموذج ماركوف نحتاج لخريطين، والفترة الزمنية بينهما، والفترة الزمنية للخريطة التي سيتم محاكاتها، حيث تمثل الخريطة الأولى عام 2007 والخريطة الثانية 2017، بفترة زمنية عشر سنوات، فيما بين الخريطة الأولى والخريطة الثانية وفترة زمنية عشر سنوات لخريطة المحاكاة. ولكن قبل القيام بإدخال البيانات للنموذج من خلال قائمة MODLING, MARKOV، تم تحويل واستعراض الخرائط لعام 2007، 2017 إلى صيغة (ASCLL) من خلال الأداة (ARCRASTER، Raster to ASCLL)، كما تم ضبط القيم لخلفية المتمثلة بالقيمة (0) من خلال (RECLASS) كما يتضح من الشكل (7-9). كما تم من خلال نموذج ماركوف الحصول على المخرجات التالية كما في الشكل (10-11).



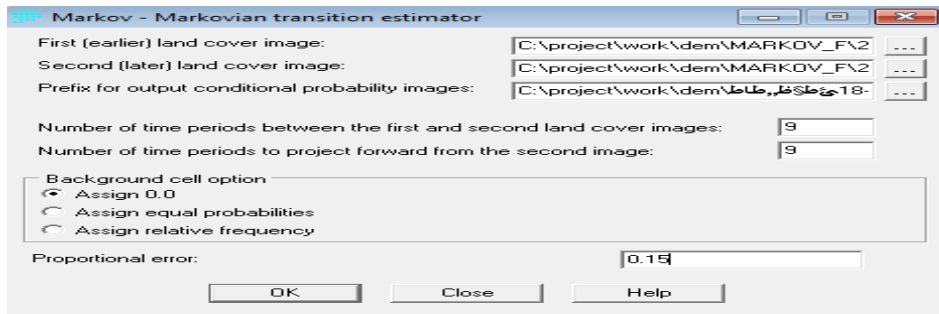
شكل (7) أداة تحويل الطبقة من الصيغة الشبكية إلى الصيغة نصية



شكل (8) طريقة استعراض الخرائط بالصيغة النصية



شكل (9) ضبط القيم الصفرية من خلال الأداة (RECLASS)



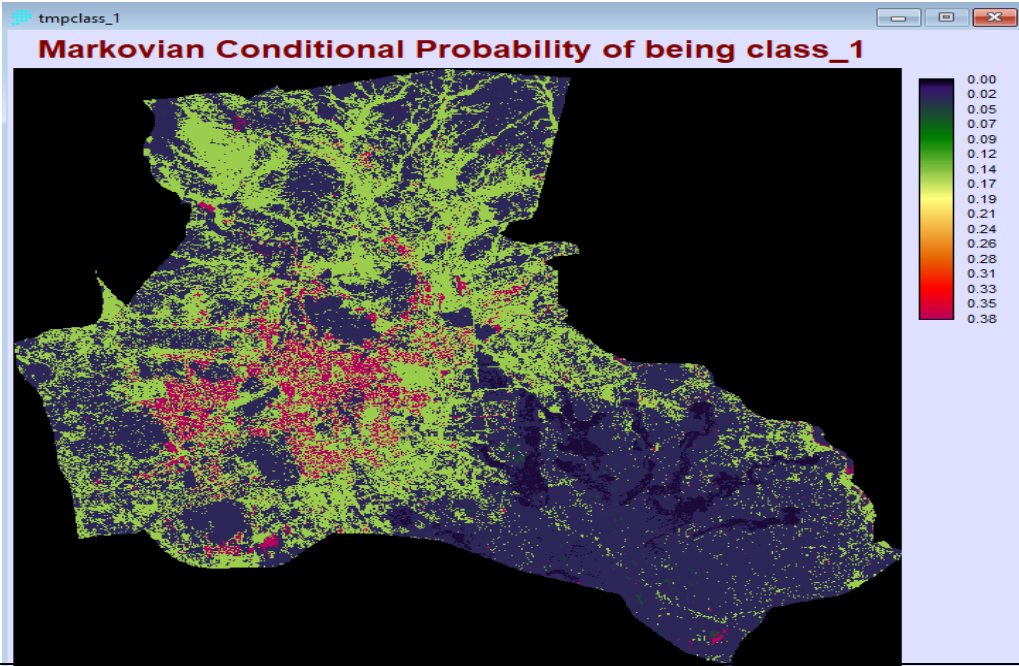
شكل (10) تطبيق نموذج ماركوف لتحديد مصفوفة مناطق الانتقال واحتمالية الانتقال بالإضافة لصور الاحتمالات الشرطية

Given :	Probability of changing to :					
	Cl. 1	Cl. 2	Cl. 3	Cl. 4	Cl. 5	Cl. 6
Class 1 :	0.3787	0.0225	0.2655	0.3333	0.0001	0.0000
Class 2 :	0.0239	0.4430	0.4650	0.0682	0.0000	0.0000
Class 3 :	0.0289	0.0008	0.5797	0.3879	0.0013	0.0014
Class 4 :	0.1522	0.0012	0.2592	0.5871	0.0000	0.0002
Class 5 :	0.0085	0.0000	0.5164	0.0499	0.4241	0.0011
Class 6 :	0.0529	0.0000	0.6266	0.0088	0.0014	0.3103

مصفوفة احتمالية الانتقال

Cells in :	Expected to transition to :					
	Cl. 1	Cl. 2	Cl. 3	Cl. 4	Cl. 5	Cl. 6
Class 1 :	54213	3217	38008	47726	8	2
Class 2 :	376	6980	7327	1074	0	1
Class 3 :	40190	1113	807172	540096	1811	1967
Class 4 :	139199	1098	237005	536875	2	197
Class 5 :	668	1	40657	3926	33393	88
Class 6 :	246	0	2913	41	6	1443

مصفوفة مناطق الانتقال



توضح هذه الطبقة صورة الاحتمالات الشرطية للتصنيف الأول (ويشمل الملف جميع صور الاحتمالات الشرطية وهي 6 صور حسب التصنيف)

شكل (11) مخرجات نموذج ماركوف: مصفوفة مناطق الانتقال واحتمالية الانتقال بالإضافة لصور الاحتمالات الشرطية

المرحلة الثانية: وفيها يتم تحديد صورة الاحتمال الشرطي للتطور العمراني من خلال نموذج تقييم المعايير المتعددة - وتحليل عملية التسلسل الهرمي (MCE-AHP). ويتم ذلك اعتماداً على المحددات الطبيعية والبشرية للتطور العمراني، وهي مظاهر السطح ممثلة في نموذج الارتفاعات الرقمية بصيغة شبكية (raster) ثم مجاري الأودية والمنطقة المحرمة لمطار الأمير محمد بن عبد العزيز وشبكة الطرق والمقابر والمناطق الأثرية بصيغة خطية (vector) عن طريق مجموعة من الخطوات أهمها:

استعراض نموذج الارتفاعات بعد تحويله إلى صيغة نصية (ASCLL) من خلال أداة ARCRASTER ، بعد ذلك تم استعراض مجاري الأودية والمنطقة المحرمة لمطار الأمير محمد بن عبد العزيز وشبكة الطرق والمقابر والمناطق الأثرية من خلال أداة SHAPEIDR. (شكل 12)، ثم تحويل المحددات من الصيغة الخطية إلى الصيغة الشبكية من خلال الأداة (RASTERVECTOR)، شكل (13).

حساب المسافة الإقليدية من خلال الأداة (DISTANCE) وهي تعبر عن المسافة انطلاقاً من الظاهرة وتظهر على هيئة نطاقات حسب المسافة، وتعبر قيمة الصفر عن موقع تجمع الظاهرة، شكل (14).

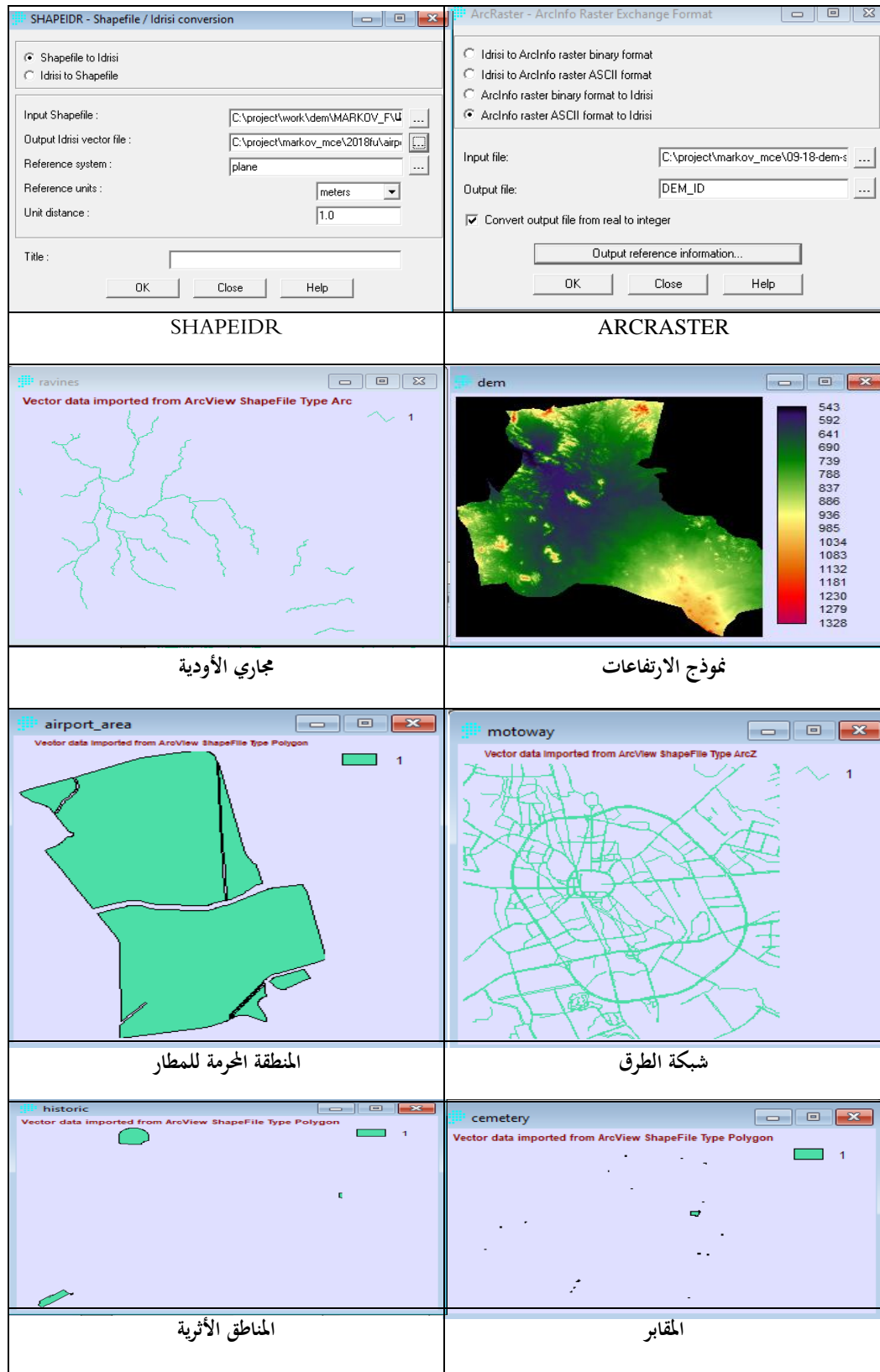
إنشاء صورة الاحتمال للتطور العمراني حسب المحددات من خلال تطبيق نموذج تقييم المعايير المتعددة - وتحليل عملية التسلسل الهرمي (MCE-AHP) باستخدام معالج القرار (Decision Wizard)، شكل (15). ثم تحديد العوامل (Factors): وهي العوامل التي تعزز أو تنقص من ملاءمة الموقع للهدف، حيث يتم استخدام المقياس (0-255) حيث (0) غير مناسب على الإطلاق و255 مناسب تماماً (IDRISI selve Help system).

توحيد المقياس الضبابي من خلال (Fozzy - Factor): حيث يتم تطبيق الوظيفة الضبابية للبيانات عن طريق نقاط التحكم (1)، التي يتم تحديدها بناءً على شكل الدالة العضوية ونوع الدالة العضوية ويتم تحديد نوع الدالة وشكلها حسب نوع كل عامل (محدد). حيث إن هناك ثلاثة أشكال للدوال العضوية: شكل الزيادة أحادية الرتبة (monotonically increasing): إن اختيار الزيادة أحادية الرتبة يعني أن قيم المسافات الصغيرة لها قيم ملاءمة صغيرة وأنه في بعض المسافة، يتم تحقيق أعلى مستوى من الملاءمة ويوجد لجميع قيم المسافات الأكبر. شكل الانخفاض التناقصي (monotonically decreasing): حيث يشير اختيار

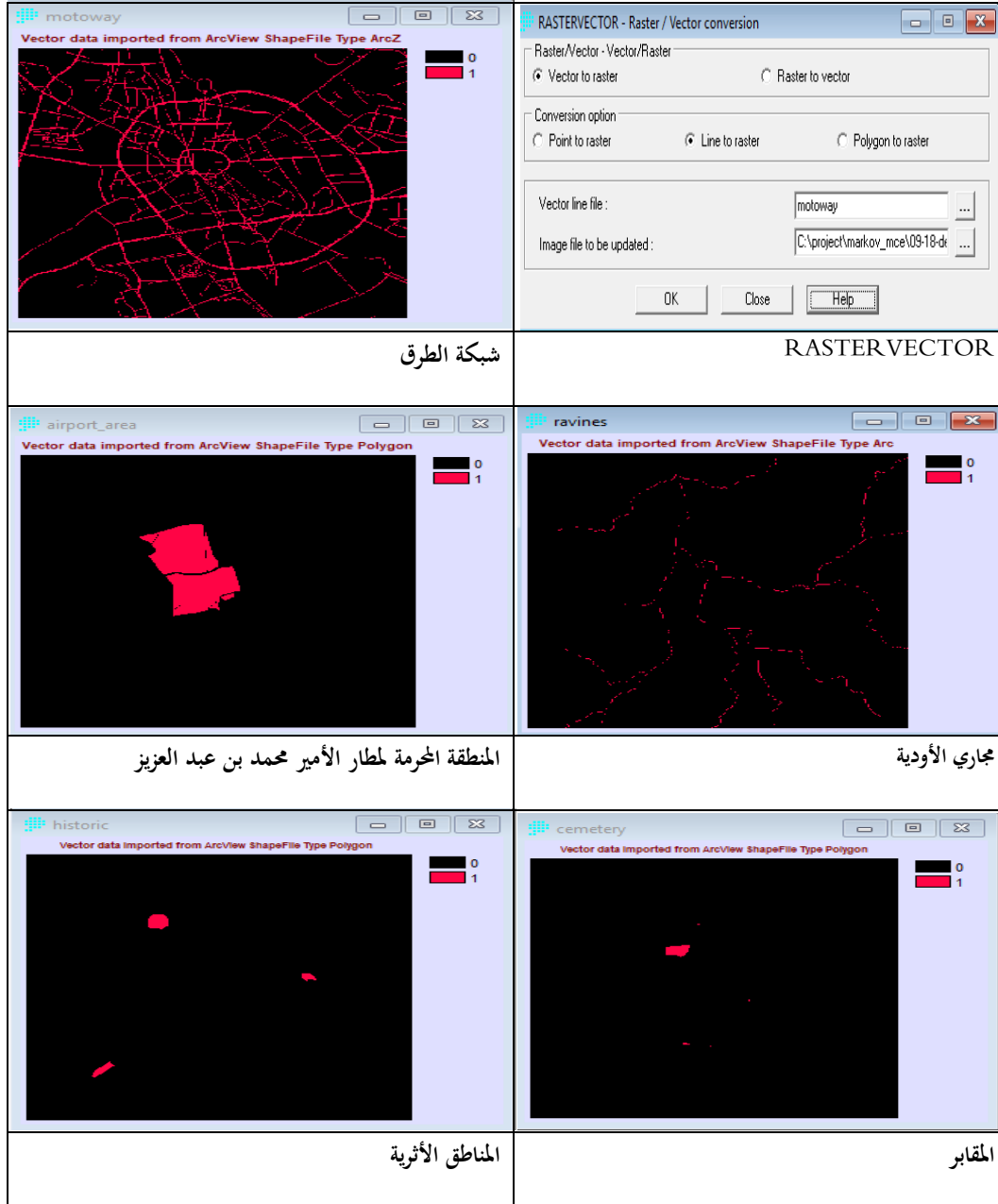
الانخفاض التناقصي إلى أن أصغر قيمة للمسافة لها أعلى درجة ملاءمة. شكل التناظر أو التماثل (symmetric): إن اختيار التناظر يشير إلى أن أقل قيمة للمسافة لها ملاءمة منخفضة ولكن في وقت ما تزداد ملاءمتها حتى تصل إلى مستوى مناسب تماماً. بعد ذلك تبدأ بعض الملاءمة للمسافات الأكبر في الانخفاض حتى تصل إلى ملاءمتها مرة أخرى (IDRISI selve Help system).

كما تحدد أنواع الدوال العضوية (membership function type): قيم نقاط التحكم للمنحنى الخطي وتشكل قيم النقاط حسب شكل العضوية على هيئة نقاط تكون إما (A-B) أو (D-C) أو (A-B-C-) (D) وأنواع الدوال العضوية ثلاث وهي: الدالة الخطية (linear function): مع الدالة الخطية ينتج عن التغيير المعطى في قيمة الظاهرة تغيير معين في الملاءمة بين نقطتي تحكم الدالة السينية (sigmoidal function): مع الدالة السينية: يكون التغيير في الملاءمة أصغر بالنسبة لتغيير المعين في قيمة الظاهرة بالقرب من نقاط التحكم مقارنة بنقاط التحكم. الدالة شكل J (J-shaped function): مع وظيفة الشكل J: يكون الانحدار من الملاءمة العالية شديد الانحدار، لكن الوظيفة غير مقارنة لمحور الملاءمة (0). هذا يشير إلى أنه في أي قيمة، لا يزال هناك مستوى من الملاءمة (IDRISI selve Help system).

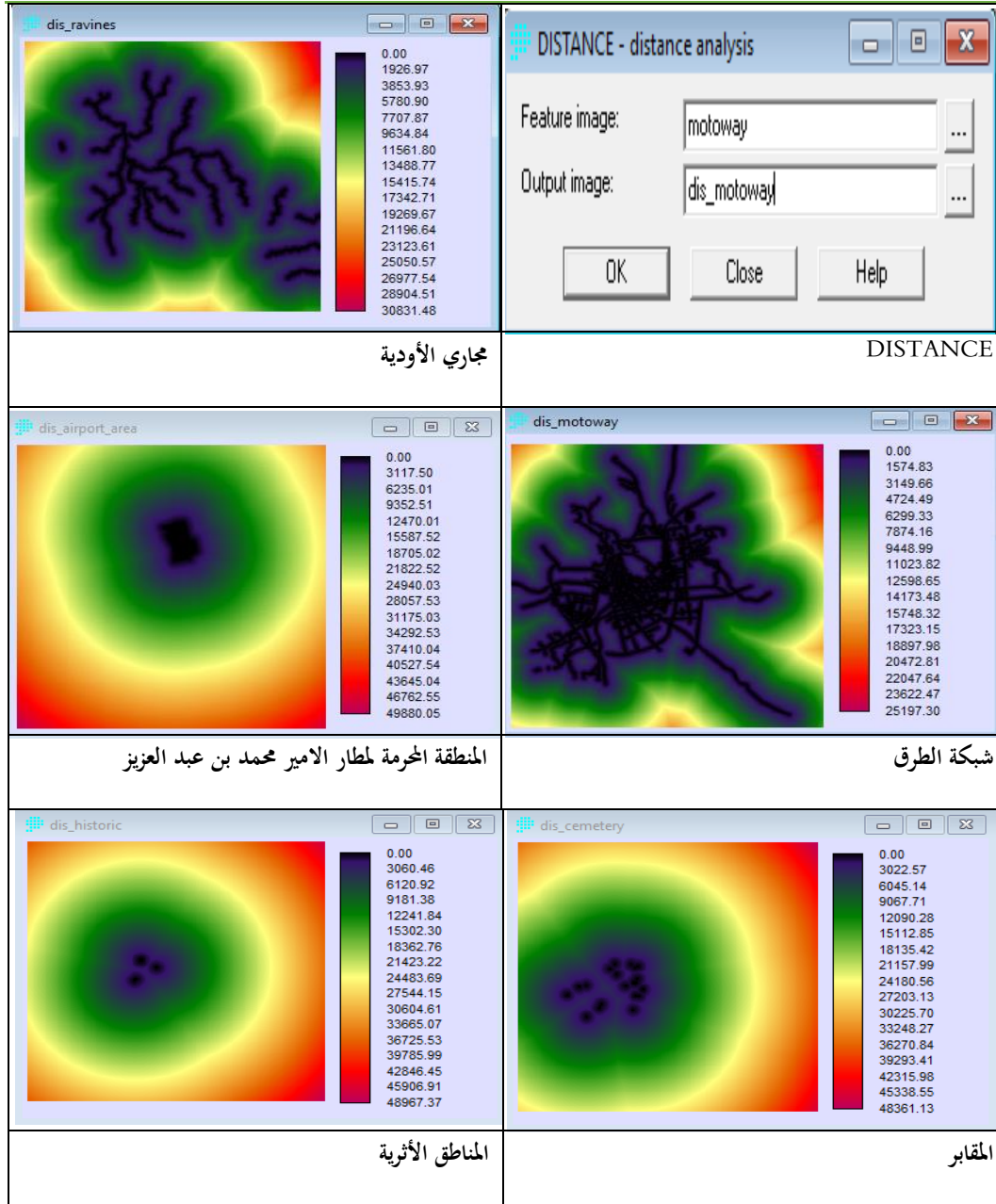
تحليل عملية التسلسل الهرمي (AHP- Analytical Hierarchy Process): يساعد (AHP) في تحديد الأوزان من خلال عملية المقارنة الزوجية. وتساعد وحدة الوزن في تحديد العديد من العوامل وذلك لمعالجة قرار الترجيح لأكثر من عامل في وقت واحد، وتم تحديد الأوزان بناء على منطقة الدراسة وعلى سبيل المثال لا الحصر قد تكون الجبال في الدول النائية عائقاً وعملاً ذا أهمية سلبية بسبب تكاليف التسوية بينما في دول متقدمة مثل المملكة العربية السعودية تكون الجبال أقل أهمية للإمكانيات الهندسية والتقنية.



شكل (12) استعراض المحددات الطبيعية والبشرية ببرنامج الإدرسي

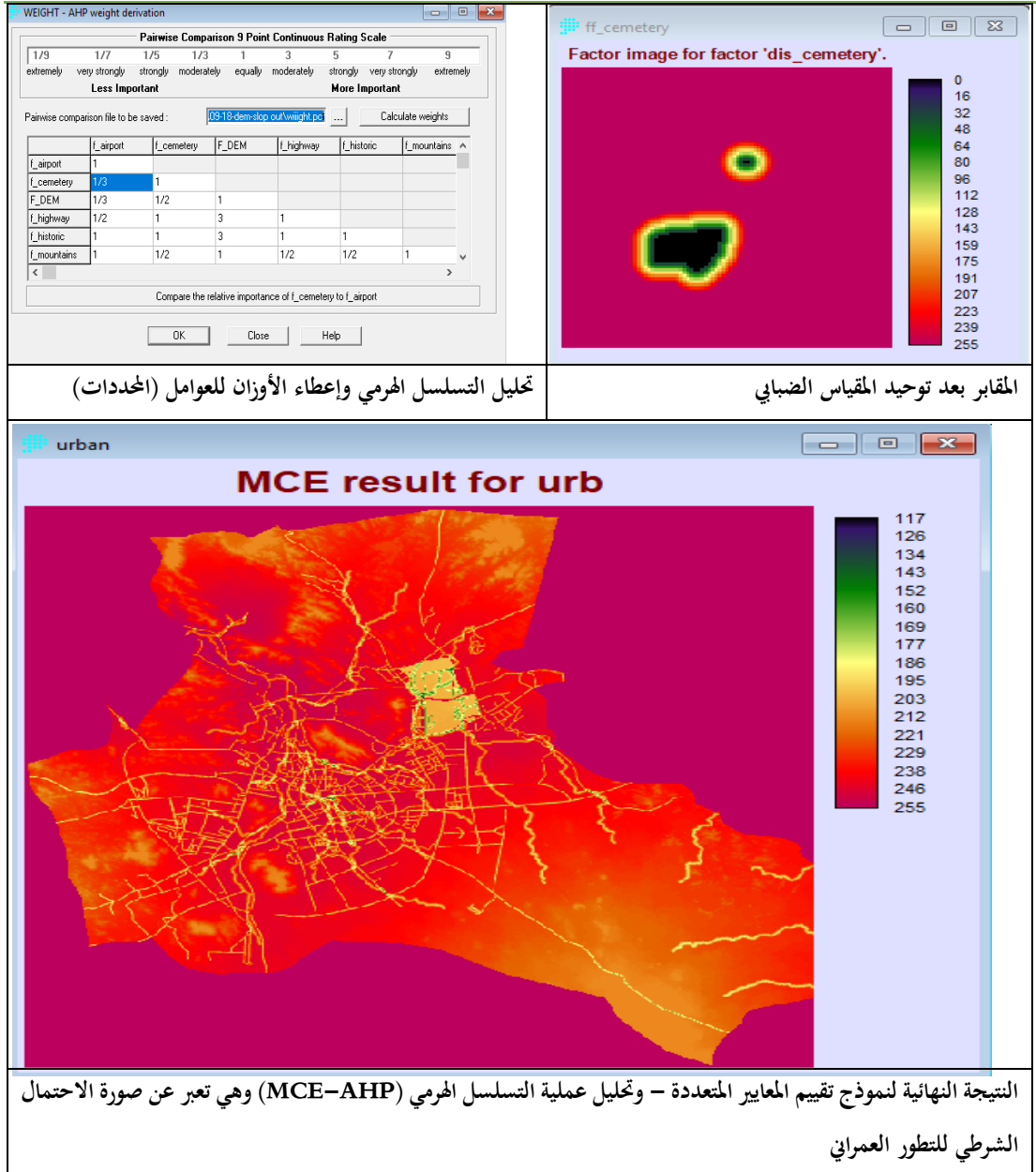


شكل (13) تحويل المحددات من الصيغة الخطية إلى الصيغة الشبكية



شكل (14) حساب المسافة الإقليدية للمحددات

<p>نافذة تحديد العوامل</p>	<p>نافذة معالج القرار</p>
<p>نطاق مطار الأمير محمد بن عبد العزيز بعد توحيد المقياس الضبابي</p>	<p>نافذة تحديد نوع وشكل الدالة بالإضافة لإعطاء قيم نقاط</p>
<p>التحكم</p>	<p>التحكم</p>
<p>شبكة الطرق بعد توحيد القياس الضبابي</p>	<p>المناطق الأثرية بعد توحيد المقياس الضبابي</p>
<p>نموذج الارتفاعات (الجبال) بعد توحيد المقياس الضبابي</p>	<p>مجري الأودية بعد توحيد المقياس الضبابي</p>

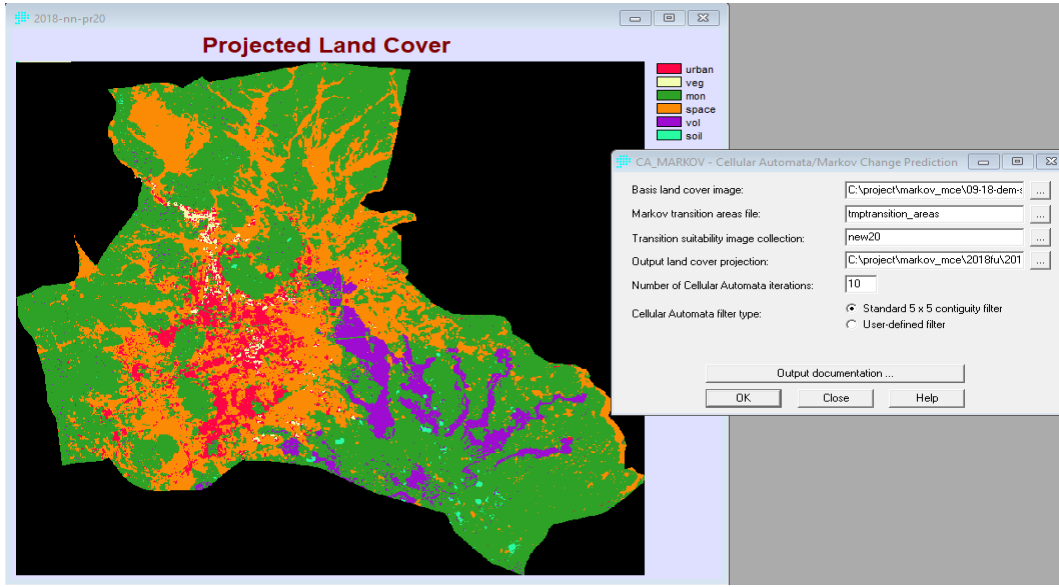


شكل (15) خطوات بناء صورة الاحتمال للتطور العمراني حسب محددات الدراسة

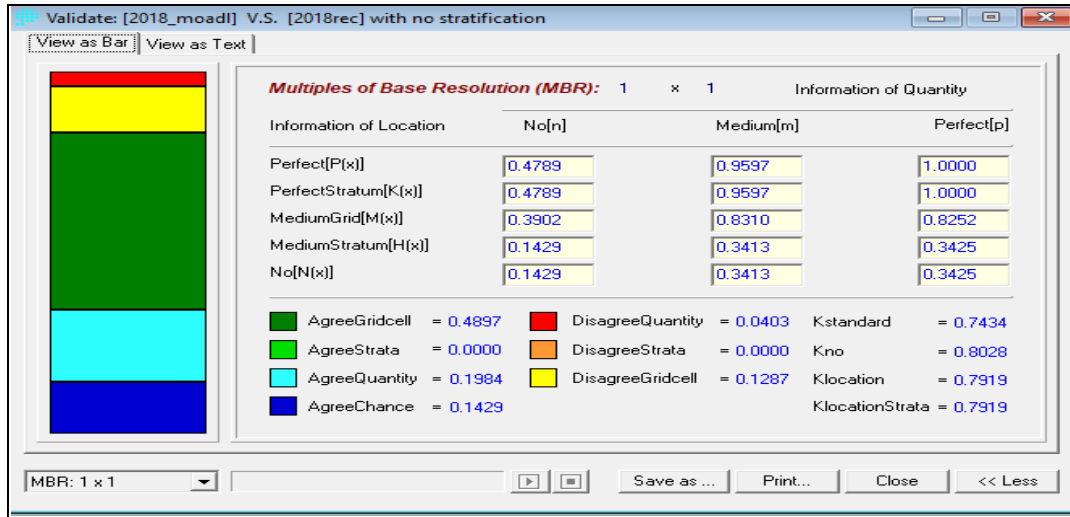
المرحلة الثالثة: وفيها يتم تطبيق وتقييم وعرض نتائج نموذج ماركوف المدمج (CA_MARKOV) بالاعتماد على مخرجات المراحل السابقة من حيث مصفوفة مناطق الانتقال وهي مصفوفة توضح عدد البكسلات المتوقع تحولها إلى قيم عمرانية بدون ربط هذه البكسلات مكانياً، لذلك هناك صور احتمال الانتقال أو صور الاحتمالات الشرطية، حيث يتم توزيع البكسلات من مصفوفة مناطق الانتقال حسب ملائمة صورة الاحتمال الشرطي، ولذلك تم تحديد صورة الاحتمال الشرطي للتطور العمراني حسب المحددات المذكورة سابقاً. ولتطبيق نموذج ماركوف المدمج لمحاكاة التطور في الغطاء الأرضي لعام 2027

نحتاج لمصفوفة مناطق الانتقال، صور الاحتمال الشرطي بعد تحديد صورة الاحتمال الشرطي لتطور العمراني مخرج (MCE)، ثم صورة الغطاء الأرضي لعام 2017، كما هو موضح بالشكل (16، 18).

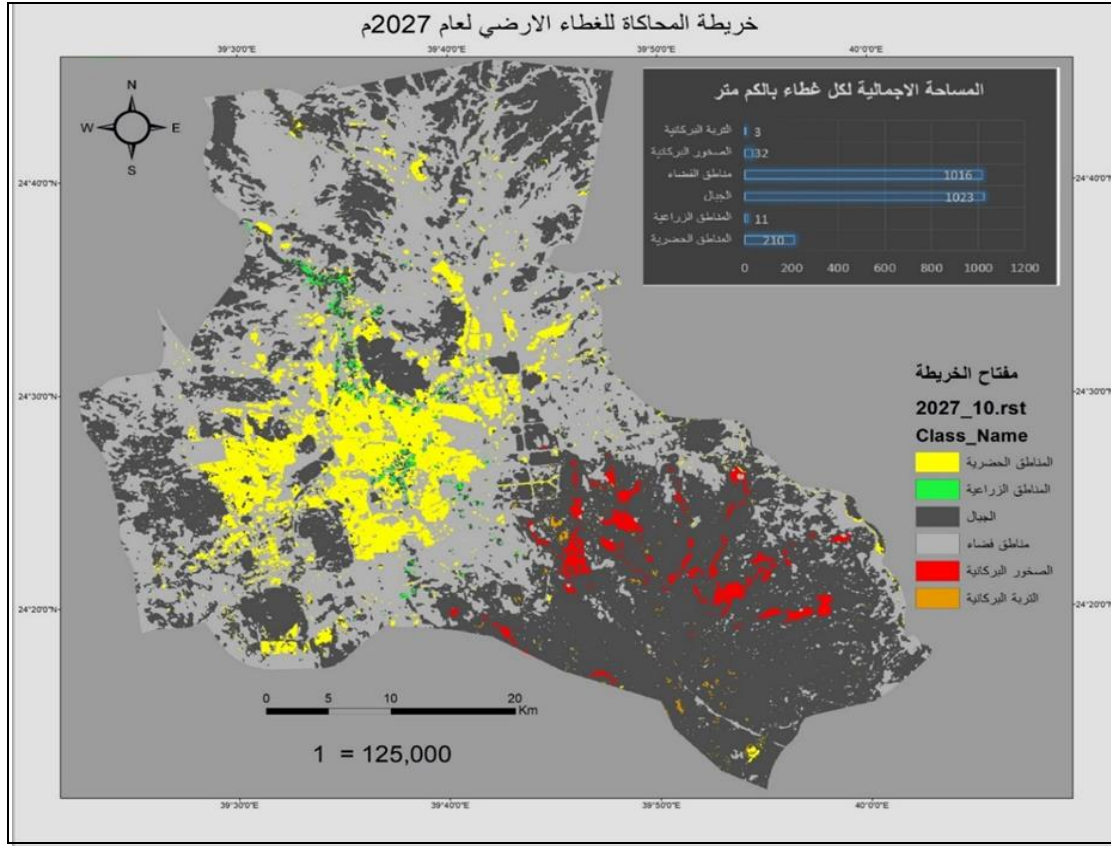
كما تم تقييم الدقة (accuracy assessment) من خلال برنامج (IDRISI) عبر الأداة (VALIDATE) التي تعتمد على خريطة المحاكاة وخريطة التصنيف لنفس العام 2017م حيث بلغت قيمة معامل كابا (0.79) كما في الشكل (17). بينما عرض وإنتاج خريطة محاكاة الغطاء الأرضي لعام 2017م.



شكل (16) أداة تطبيق نموذج الأتومات الحلوي - ماركوف



شكل (17) نتيجة تقييم دقة المحاكاة من خلال الأداة (VALIDATE)



شكل (18) خريطة المحاكاة للغطاء الأرضي لعام 2027

رابعاً: النتائج والتوصيات

١- النتائج: تتلخص نتائج البحث في عدة نقاط على النحو التالي:

- بناء نموذج يعتمد على التكامل التقني بين بيانات الاستشعار عن بُعد ونظم المعلومات الجغرافية للتغلب على الإشكاليات التي تسببها الطرق التقليدية في عملية الرصد من خلال قياس دقة طرق الرصد وتقييم مدى صدق نموذج ماركوف في التعبير عن التنبؤات المكانية- الزمانية للعمران بالمدينة المنورة.

- متوسط معدل النمو العمراني السنوي ما بين عامي 2007 - 2017 بلغ 5.69% وما بين عامي 2017-2027م بلغ 7.32% ومن الملاحظ أن التغير في معدل النمو العمراني يؤثر بشكل سلبي على دقة المحاكاة.

- يتخذ التوزيع العمراني المُستقبلي للمدينة المنورة لعام 2027م محور شمال شرقي جنوب غربي، حيث يؤثر اتجاه الجنوب الغربي على الاتجاه التوزيعي لتطور العمراني المُستقبلي بنسبة 70.1% بينما اتجاه الشمال الشرقي بنسبة 29.9%، حيث توجد مجموعة من الأسباب المكانية والموضعية التي أثرت في ديناميكية تغير العمران الحالي والمُستقبلي، بعضها طبيعي (الموقع الجغرافي والعلاقات المكانية- التركيب الجيولوجي- طبوغرافية السطح ومجري الأودية) والبعض الآخر بشري (السكان- النقل - البنية التحتية- والمنطقة المحرمة لمطار الأمير محمد بن عبد العزيز والمقابر ومناطق الآثار).

- إمكانية تحديد عدد المباني العمرانية وذلك من خلال تحديد متوسط مساحة المباني العمرانية في منطقة الدراسة وقسمتها على إجمالي مساحة الطبقة العمرانية، حيث تبين أن عدد المباني المُستقبلية للمدينة المنورة لعام 2027م هو 504 ألف مبنى، وعند مقارنة عدد المساكن المتوقعة بالاعتماد على تصنيف المرئية الفضائية لعام 2017 البالغ 322 ألف مسكن مع عدد المساكن وحسب المسح الإحصائي لعام 2018 بلغ عدد المساكن المشغولة بأسر سعودية 249 ألف مسكن، وبالنظر إلى المسح الإحصائي لعام 2010م نجد أن المساكن المشغولة بأسر سعودية بالمدينة المنورة هي 65.3% وبذلك يكون عدد المساكن لعام 2017 هو 381 ألف مسكن وعند مقارنة عدد المساكن المتوقع والحقيقي نجد أن نسبة الخطأ تبلغ 18.29%.

- سيشهد 19 حيًا كثافة عمرانية مرتفعة حسب نتائج الدراسة وذلك بحلول عام 2027م بمعدل (2744-2439) مبنى/كم² على النحو التالي، وكما هو موضح بالجدول رقم (1) الذي يوضح امتداد الكثافة العمرانية على مستوى الحي أو مجموعة الأحياء المتصلة كثافياً.

جدول (1) مساحة امتداد الكثافة العمرانية المتصلة حسب امتداد الكثافة على مستوى الحي أو مجموعة الأحياء

2- التوصيات: توصي الدراسة في ضوء مخرجات ونتائج هذا البحث عدة توصيات على النحو التالي:

-الأخذ بالاعتبار مركزية الكثافة العمرانية المستقبلية لعام 2027م المتمثلة في طوق الكثافة العمرانية التي

1	المساحة	17 كم ²	12 كم ²	6 كم ²	5 كم ²	4 كم ²	2 كم ²	1 كم ²	1 كم ²	1
الحى	1 بني حارثة	2 العريض	3 الاسكان	4 الخالدية	5 قباء	1 العنابس	2 الراية	3 الفتح	4 القبلتين	5 بئر عثمان
البركة	الذراع	1 أبو بريقاء	2 القصواء	1 البركة	2 الزهرة	الوربة	الرانوناء	باقدو		

تحد المسجد النبوي الشريف من الجهات الثلاثة الجهة الشمال الشرقية والشرقية والجنوب الغربية بالإضافة للكثافة العمرانية الممتدة في حي العزيزية مع مراعاة الجوانب الأمنية والمرورية والخدمية لهذه المواقع.

- النظر في الحلول الهندسية من قبل المختصين لتفادي الكثافة المرورية المتوقعة على طريق الملك عبد العزيز نظراً لوجود جزء من الطريق بمسافة 2 كم (1) يمر بطوق الكثافة العمرانية شرق المسجد النبوي وستؤثر تلك الكثافة على الحركة المرورية للحجاج والمعتمرين القادمين من محطة قطار الحرمين ومطار الأمير محمد بن عبد العزيز إلى المسجد النبوي الشريف مع الأخذ في الاعتبار الزيادة الاستيعابية المتوقعة للمحطتين بحلول عام 2030م.

- ضرورة إشراك تقنيات نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بُعد لدى الهيئة العامة للإحصاء في عملية مسح المساكن حيث توصل الباحث لإمكانية تحديد عدد المساكن لعام 2017 بنسبة خطأ بلغت

¹ ما بين تقاطع طريق الملك عبد العزيز مع طريق الأمير محمد بن عبد العزيز حتى جسر المشاة على طريق الملك عبد العزيز بالاتجاه الشرقي

18.29% بالاعتماد على تصنيف مرئية فضائية بلغت دقة التصنيف الإجمالية لها 90.67% ودقة تصنيف الغطاء العمراني 72.73%.

- ضرورة التوسع في استخدام التقنيات الحديثة خاصة تقنيات الاستشعار عن بُعد ونظم المعلومات الجغرافية، في محاكاة التنبؤات العمرانية المستقبلية، حيث تعد الوسيلة الأقل تكلفة والأسرع والأكثر تغطية لمساحة كبيرة.

- العمل على بناء نظام معلومات جغرافي متكامل للتنمية الشاملة بالمدينة المنورة سواء في الجانب السكاني أو العمراني أو الاقتصادي.

- الاهتمام ببناء النماذج في نظم المعلومات الجغرافية، وإعطاؤها أولوية في الدراسات التطبيقية، بالإضافة إلى توجيه الدراسات الجغرافية لتقييم صدق محاكاة النماذج المكانية.

- وضع خطة وتصور من الهيئات الحكومية للتعامل مع النمو العمراني المستقبلي للمدينة المنورة، ومواجهة المشكلات التي قد تنتج عنه. مع وضع خطة تنموية شاملة لتوجيه العمران مستقبلاً بعيداً عن الأراضي الزراعية من خلال ضبط وتوجيه التنمية العمرانية عن طريق حزمة من النظم واللوائح والقوانين التي تراعي مشكلات الأوضاع الراهنة والرؤية المستقبلية لها.

- ضرورة الأخذ بنتائج نماذج الملاءمة المكانية القائمة على تطبيقات النماذج المكانية المعتمدة على نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بُعد والذكاء الاصطناعي الجغرافي، لما لها من قدرة هائلة في تمكين صناع القرار من التعامل مع المشكلات المعقدة.

- اعتماد المحورين الجنوبي الغربي، والشمال الشرقي، بوصفهما أفضل المحاور للتنمية العمرانية بالمدينة المنورة، بناء على المعايير (الإمكانات- المحددات) المؤثرة التي نتجت من التحليل المكاني.

- ضرورة وضع مخطط فعال وشامل للمدينة بشكل عام يتم فيه اتباع سياسة فعالة ومرنة وموجهة من قبل الجهات ذات الاختصاص، والعمل على تقييم مرحلي لعملية التنمية الحضرية كل فترة زمنية ومراقبتها.

المصادر والمراجع

1- المراجع باللغة العربية

- أبوعيانة، فتحي، محمد، (2013). "جغرافية العمران دراسة تحليلية للقرية والمدينة". الإسكندرية: دار المعرفة الجامعية.
- الصالح، ناصر، عبدالله، (1979). "الجغرافية الكمية و الإحصائية أسس و تطبيقات". مكة المكرمة: العبيكان
- العمران، علي، ابراهيم، (2012). "مقدمة في الاستشعار عن بعد ومعالجة الصور رقمياً". الرياض: دار وجوه للنشر والتوزيع الإصدار الأول.
- القحطاني، سعد، سعيد، (2015). "الإحصاء التطبيقي. الرياض": معهد الإدارة العامة.
- الهيبي، صبري، فارس، (2002). "جغرافية المدن". عمان: دار الصفاء للنشر والتوزيع الإصدار الأول.
- الوليبي، عبدالله، ناصر، (2012). "المدخل إلى إعداد البحوث والرسائل الجامعية في العلوم الاجتماعية". الرياض: مكتبة الملك فهد الإصدار الأول.
- داود، جمعة، محمد، (2012)، "أسس التحليل المكاني في إطار نظم المعلومات الجغرافية"، مكة المكرمة: المملكة العربية السعودية.
- داود، جمعة، محمد، (2012)، "أسس التحليل المكاني في إطار نظم المعلومات الجغرافية"، مكة المكرمة: المملكة العربية السعودية.
- داود، جمعة، محمد، (2012)، "أسس التحليل المكاني في إطار نظم المعلومات الجغرافية"، مكة المكرمة: المملكة العربية السعودية.
- دبس، عبدالرحمن، مصطفى، (2016). "تحليل سطح المدينة المنورة باستخدام نظم المعلومات الجغرافية ونموذج الارتفاعات الرقمية لتحديد أماكن خطر السيول". المدينة المنورة: المجلة العربية لنظم المعلومات الجغرافية المجلد 9 العدد 2 الصفحة 103.

دبس، عبدالرحمن، مصطفى، (2009). "نظم المعلومات الجغرافية". المدينة المنورة: دار الزمان للنشر والتوزيع الإصدار الأول.

عبدالفتاح، صديق، عبدالاه، (2013). "أسس الصور الجوية والإستشعار عن بعد". الرياض: مكتبة الرشد الإصدار الثامن.

عياصرة، ثائر مطلق محمد، (2018). "محاكاة النمو العمراني بالاستناد إلى نمذجة السلوك الذاتي-الخليوي ونمذجة تغير الأرض". الرياض: مجلة العمارة والتخطيط.

ثانيا: المراجع باللغة الإنجليزية

Aburas, Maher Milad, et al.(2017) "Improving the capability of an integrated CA-Markov model to simulate spatio-temporal urban growth trends using an Analytical Hierarchy Process and Frequency Ratio." International journal of applied earth observation and geoinformation 59 : 65-78.

Andy, M. 2005. The ESRI Guide to GIS Analysis, 2: Spatial Measurements and Statistics, ESRI.

ESRI 'Open Street <https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/arcgis-editor-for-openstreetmap>.

Gemitzi A (2021): Predicting land cover changes using a CA Markov model under different shared socioeconomic pathways in Greece, GIScience & Remote Sensing, 58:3, 425-441

Hamad, Rahel, Heiko Balzter, and Kamal Kolo.(2018) "Predicting land use/land cover changes using a ca-markov model under two different scenarios." Sustainability 10.10 : 3421.

Mitchell, A. 2005. The ESRI Guide to GIS Analysis: 2 Spatial Measurements And Statistics. ESRI Press, Redlands, California.

Myint, Soe W., and Le Wang.(2006) "Multicriteria decision approach for land use land cover change using Markov chain analysis and a cellular automata approach." Canadian Journal of Remote Sensing 32.6 : 390-404.

USGS, <https://earthexplorer.usgs.gov/>

ثالثا: مواقع الشبكة العنكبوتية

— <https://www.youtube.com/watch?v=bME61TH4u5A&t=2s>

-
- <https://www.youtube.com/watch?v=cqUCoTUqTvE&t=284s>
 - www.usgs.gov
 - www.esri.com
 - www.clarklabs.org
 - www.amana-md.gov.sa
 - www.mda.gov.sa
 - www.spa.gov.sa