أساليب الذكاء الاصطناعي الجغرافي في نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد بين النظرية والتطبيق

إعداد
أ.د. أشرف عبده على عجرمة
د. نرمين أحمد محمد خليل شكرى
قسم الجغر افيا - كلية الآداب - جامعة القاهرة

المستخلص:

جاء التطور في علم الجغرافيا سريعاً منذ منتصف القرن العشرين، وذلك في ظل التطور الذى شهدته الأساليب والأدوات التي ساعدت كثيراً في المجالات الجغرافية المختلفة، وذلك بداية من استخدام الحاسب الآلى ومروراً بالثورة الكمية والتحليل الاحصائى، فضلاً عن استخدام برامج نظم المعلومات الجغرافية وصور الأقمار الصناعية، وإنتهاء بالثورة المعلوماتية واستخدام الذكاء الاصطناعي

ولقد أصبحت التقنيات الجغرافية تشكل مجالاً تطبيقيا وحيوياً مع تزايد المشكلات، ولا سيما التي تتعلق بإدارة الموارد الطبيعية والاقتصادية والعمرانية، ولقد أثبتت معظم الأبحاث العلمية في الإطار الجغرافي ان التقنيات الجغرافية وبرمجياتها تسهم إلي حد كبير في حل المشكلات وإدارة وتحليل تلك الموارد، وذلك بهدف تحسين عمليات صنع وإتخاذ القرار لمعالجة العديد من المشكلات المتعلقة بالتنمية وتوظيف الموارد وصيانة وإدارة المجتمع والبيئة، والوصول إلي قرارات أكثر دقة وايجابية مدعومة آلياً Decision Making and Decision Support Computer-Aided،وذلك من خلال بناء قواعد البيانات والنماذج العلمية والدراسات التطبيقية والنماذج الرياضية والتحليلية

تاريخ استلام البحث: 2022/1/28 تاريخ إجازة البحث: 2022/3/9

ولقد حظى الذكاء الاصطناعي (AI) بإهتمام كبير في الآونة الأخيرة داخل العديد من الأوساط الأكاديمية، وبخاصة داخل الحقل الجغرافي و إرتباطه بنظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد، وذلك علي أساس ان تكامل الجغرافيا والذكاء الاصطناعي (Geo AI) يوفر طرق عديدة وجديدة لمعالجة مجموعة متنوعة من المشكلات، وذلك من خلال تصور منهجي يعتمد علي إنشاء نمذجة متطورة لرصد وتوقع الواقع الجغرافي

وفي ضوء ذلك تحاول الورقة الراهنة إلقاء الضوءعلي مفهوم وتطور واقع الذكاء الاصطناعي داخل المجال الجغرافي، وعرض بعض الجوانب التطبيقية للذكاء الاصطناعي داخل منظومة نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد، مع التركيز علي الأوتوماتا الخلوية Cellular Automata (CA) داخل بيئة نظم المعلومات الجغرافية، والشبكات العصبية الاصطناعية Artificial Neural Networks (ANN) داخل بيئة الأستشعار عن بعد.

الكلمات المفتاحية: الذكاء الاصطناعي ؛ نظم المعلومات الجغرافية ؛ الأستشعار عن بعد ؛ الشبكات العصبية الاصطناعية ؛ الأوتوماتا الخلوية

مقدمة:

كان للتطور التكنولوجي الهائل في نهاية القرن العشرين وبدايات القرن الحادي والعشرين وما نتج عنه من برامج وتطبيقات حديثة مثل نظم المعلومات الجغرافية Geographical Information Systems (GIS) والاستشعار عن بعد Remote Sensing (RS) ان تأثرت كثير من الدراسات الجغرافية ومخرجات ونواتج تلك الدراسات، حيث ساعدت تلك التقنيات الحديثة علي تقديم حلول رقمية حديثة ودقيقة مكنت كثير من الدارسين ومتخذي القرار من معالجة كثير من المشكلات والوصول الي قرارات أكثر دقة وايجابية مدعومة آلياً Decision Making and Decision Support Computer-aided

ولقد حظى الذكاء الاصطناعي Artificial Intelligence (AI) بإهتمام كبير في الآونة الأخيرة داخل العديد من الأوساط الأكاديمية، وبخاصة داخل الحقل الجغرافي و إرتباطه بنظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد، وذلك علي أساس ان تكامل الجغرافيا والذكاء الاصطناعي(Geo AI)Geospatial Artificial Intelligence يوفر طرق عديدة وجديدة لمعالجة مجموعة متنوعة من المشكلات، وذلك من خلال تصور منهجي يعتمد علي إنشاء نمذجة متطورة لرصد وتوقع الواقع الجغرافي.

كما يتجلي تطبيق الذكاء الاصطناعي في المحاكاة والتنبؤ الصحيح بديناميكية الظاهرة الجغرافية، حيث يمكن لتقنيات الذكاء الاصطناعي أن تسهم في تحسين دقة التنبؤ بحجم التطور في الظاهرة وتوجهاتها بشكل أدق، مع الأخذ في الإعتبار كل الإحتمالات الممكنة من خلال تعلم الآلة من المواقف المتكررة والتجاوب معها، بالإضافة إلى ان الذكاء الاصطناعي ساهم في تحسين كثير من الأدوات والأساليب بغرض تحسين التحليلات والمخرجات المختلفة والوصول إلى أعلى درجة ممكنة من الدقة عند تطبيق التحليلات المختلفة.

مشكلة البحث:

لما كانت مشكلة البحث في كونها سؤالاً غير محدد الإجابة عنه ويدور في ذهن الباحثين، ومع ظهور العديد من الأخطاء بين الباحثين في المنطقة العربية في المفاهيم والتطبيقات للذكاء الاصطناعي الجغرافي المكاني، فضلاً عن الخلط بين مفهوم الذكاء الاصطناعي وأساليبه وبين

العديد من أساليب النمذجة المكانية، من هنا يمكن صياغة المشكلة العلمية الرئيسية التي يدور حولها البحث في صورة السؤال عن ما هو مفهوم الذكاء الاصطناعي الجغرافى المكاني، وماهى علاقته بعلم الجغرافيا، وهل هناك فرق بين النمذجة المكانية ونمذجة الذكاء الاصطناعي الجغرافي المكاني، وما هي الاتجاهات البحثية في الذكاء الاصطناعي الجغرافي المكاني سواء كان ذلك داخل بيئة نظم المعلومات الجغرافية أو الأستشعار عن بعد أو كلاهما معا.

فرضية البحث:

تم صياغة فرضية البحث علي النحو التالي:-

- ان هناك فرق بين مفهوم الذكاء الاصطناعي ومفهوم الذكاء الاصطناعي الجغرافى المكاني علي الرغم من وجود أرضية مشتركة بينهما.
- ان هناك علاقة معنوية دالة بين الذكاء الاصطناعي الجغرافى المكاني وعلم الجغرافيا.
- ان الذكاء الاصطناعي الجغرافى المكاني منهج علمي متطور عبارة عن مجموعة خورازميات برمجية يهدف إلى المساعدة فى تنظيم طريقة التفكير الجغرافى في معالجة البيانات المكانية وليس برمجيات إحصائية.
- ان هناك فرق كبير بين النمذجة المكانية ونمذجة الذكاء الاصطناعي الجغرافي المكاني.
- ان الاتجاهات البحثية في الذكاء الاصطناعي الجغرافي المكاني جاءت متسقة مع الأهداف البحثية التي من أجلها تم الدمج بين الذكاء الاصطناعي وعلم الجغرافيا.

هدف البحث:

أنصب هدف البحث بدرجة أساسية علي تحديد علمي دقيق إلى ماهية الذكاء الاصطناعي وذلك من خلال :-

- دراسة ماهية الذكاء الاصطناعي وتحديد مفهوم الذكاء الاصطناعي الجغرافى المكاني.
- الكشف عن الذكاء الاصطناعي الجغرافى المكاني وعلاقته بعلم الجغرافيا.
- إيضاح الفرق بين النمذجة المكانية ونمذجة الذكاء الاصطناعي الجغرافي المكاني.

- الوقوف علي الاتجاهات البحثية في الذكاء الاصطناعي الجغرافي المكاني.
- تقديم بعض التطبيقات العملية للذكاء الاصطناعي سواء كان ذلك داخل بيئة نظم المعلومات الجغرافية (الأوتوماتا الخلوية CA) أو داخل بيئة الاستشعار عن بعد (الشبكات العصبية الإصطناعية ANN).

أولاً:- الإطار النظري:

1- ماهية الذكاء الاصطناعي:

في القرن التاسع الميلادي اكتشف العالم المسلم "أبو جعفر محمد بن موسى الخوارزمي" ما يسمى "الخوارزميات" Algorithms والتي هي عبارة عن مجموعة من الإجراءات والخطوات المنطقية والرياضية المتسلسلة لحل أي مشكلة ما وتبسيطها وتسهيلها. والتي مثلت بعد ذلك بإحدى عشر قرنا الفكرة الأولي لبدايات الحاسب الآلي واللغات البرمجية بالحاسب الآلى وتطورت لتشمل أساليب الفروع المختلفة للذكاء الاصطناعي، والتي مع تطور البرامج الحاسوبية المختلفة في شتى المجالات سواء كانت "إدارة نظم المعلومات" أو "نظم المعلومات الجغرافية" أو أي قواعد بيانات وبرمجيات ينتج عنها "الخوارزميات" و كذلك ملايين البيانات كان من الصعب بدون الخوارزميات المتطورة والأدوات والإجراءات الرياضية والمنطقية التي توفرها البرامج الحاسوبية المختلفة التعامل معها. وقد استثمر العالم هذه الافكار في اتخاذ القرارات من خلال الاعتماد على "الخوارزميات" والتي تتكون من مدخلات ومخرجات، مدخلات تعتمد على بيانات دقيقة، ومخرجات ومؤشرات موثوقة بقدر دقة البيانات المتوفرة، وبين المدخلات والمخرجات تتم العمليات الرياضية والإحصائية والبرمجة المختلفة والتى تم تسميتها "المعالجات والتحليلات" وبالتالي جاءت المخرجات كمؤشرات أمام صانع القرار لاتخاذ الإجراءات اللازمة لحل المشكلات.

وقد ظهر عدد من تعريفات الذكاء الاصطناعي (AI) على مدار العقود القليلة الماضية، ولعل أبسطها يشير إلى ان مصطلح الذكاء الاصطناعي (AI) هو الأنظمة أو الأجهزة التي تحاكي الذكاء البشري لأداء المهام والتي يمكنها أن تحسن من نفسها استنادًا إلى المعلومات التي تجمعها، أو أنه مجالًا يجمع بين علوم الحاسب ومجموعات البيانات القوية للتمكين من حل المشكلات، أو بأنه قدرة الآلات والحواسيب الرقميّة على القيام بمهام مُعينة تُحاكي وتُشابه تلك

التي تقوم بها الكائنات الذكيّة؛ كالقدرة على التفكير أو التعلُم من التجارب السابقة أو غيرها من العمليات الأُخرى التي تتطلب عمليات ذهنية

اما داخل الإطار الجغرافي فيشير مصطلح الذكاء الاصطناعي الجغرافي المكاني(GeoAI) إلى المصطلح العام للتصور والتحليل واتخاذ القرار والتصميم والتحكم الجغرافي المكاني على أساس التكامل مع تقنيات نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد. فإن الجغرافيا قد استثمرت أولا في البرمجيات الجغرافية بالتسلسل المنطقي أنظمة خورازميات رياضية وإحصائية لمعالجة البيانات وتمثيلها على الخرائط و الإجابة على الأسئلة البحثية المطروحة و الوصول إلى حلول لبعض المشكلات الجغرافية التي كان يصعب حلها بالطرق التقليدية فيستفيد من خلالها صناع القرار في إتخاذ القرارات والإجراءات. أما الاستثمار الجغرافى الثاني فكان من خلال الذكاء الاصطناعي الذي يتركز حاليا في حل المشكلات الجغرافية في إطار رصد الواقع الجغرافي والمحاكاة والتحسين بأنواعه ثم عمليات التنبؤ المستقبلي.

يتفق العلماء الجغرافيين في الوقت الحاضر على أن الذكاء الاصطناعي الجغرافى المكاني (GeoAI) هو مجال علمي ناشئ متعدد التخصصات يسخر ابتكارات العلوم المكانية و الذكاء الاصطناعي (خاصة التعلم الآلي و التعلم العميق Machine Learning and Deep Learning)، و استخراج البيانات Data Mining، و الحوسبة عالية الأداء High-Performance Computing لإكتشاف المعرفة الجغرافية المكانية و استخراج معلومات مفيدة من البيانات المكانية ضخمة الحجم (VoPham, *et al.*, 2018). وعلى ذلك فإن جذور الذكاء الاصطناعي الجغرافى المكاني تنبع من علم البيانات المكانية الجيوحسابية GeoComputation Spatial Data Science، فهي مجال ذو منهج علمي متطور يهدف إلى المساعدة فى تنظيم طريقة التفكير الجغرافى في معالجة البيانات المكانية كبيرة الحجم و المتضخمة و تحليلها و اتخاذ قرارات ذاتية بشكل آلي.

2- تطور الذكاء الاصطناعي الجغرافي :

يمكن إرجاع جذور الذكاء الاصطناعي (AI) إلى فلاسفة اليونان الكلاسيكيين وجهودهم لنمذجة التفكير البشري كنظام للرموز، وفي الآونة الأخيرة في الأربعينيات من القرن الماضي تم تطوير مدرسة فكرية تسمى الاتصالية Connectionism لدراسة عملية التفكير (Foote,

2016)، وفي عام 1950 قام العالم آلان تورينج Alan Turing والذي يشار إليه غالبًا باسم أب علوم الكمبيوتر بطرح سؤال "هل يمكن للآلات أن تفكر؟ من تلك النقطة قدم اختبارًا يعرف باسم" اختبار تورينج"، حيث يحاول المحقق البشري التمييز بين استجابة الكمبيوتر والنص البشري. في حين خضع هذا الاختبار للكثير من التدقيق منذ نشره، إلا أنه يظل جزءًا مهمًا من تاريخ الذكاء الاصطناعي.

وفي الخمسينيات أيضا و في عام 1951 تحديدا قدم كريستوفر ستراش والذي كان يشغل منصب رئيس أبحاث البرمجة في جامعة أكسفورد بالمملكة المتحدة برنامج أستطاع من خلاله تشغيل لعبة الداما checkers Or English draughtsعبر جهاز الحاسب الآلي وتطويرها، وفي عام 1956 قام جون مكارثي بصياغة مصطلح 'الذكاء الاصطناعي' في أول مؤتمر للذكاء الاصطناعي على الإطلاق في كلية دارتموث، حيث جمع الباحثين المهتمين بالشبكات العصبية الاصطناعية،وعلي الرغم من ان تلك الورشة لم تخرج بابتكارات محددة إلا أنها كانت مفيدة بأنها جمعت العديد من مؤسسي علم الذكاء الاصطناعي في ذاك الوقت (Yingjie Hu,*et.al*,2019).

خلال الفترة الممتدة في الستينيات والسبعينيات مرت أبحاث الذكاء الاصطناعي بما يسمى بـ "شتاء الذكاء الاصطناعي" بسبب إخفاقات أساليب الذكاء الاصطناعي في معالجة مشاكل العالم الحقيقي. وشهدت العقود التالية موجات أخرى من التفاؤل وخيبة الأمل، ولعل اهم مظاهر التفاؤل كان عام 1997 حيث تمكن أول جهاز حاسب آلى من التغلب علي منافس بشري فى لعبة الشطرنج.

ومنذ بداية القرن الواحد والعشرين بدأ التقدم في علم الذكاء الاصطناعي، حيث أصبحت الربوتات التفاعلية متاحة للجميع، وأصبح هناك روبوتات تقوم بمهام صعبة كالتفاعل مع المشاعر المختلفة من خلال تعابير الوجه، والتي تقوم بمهمة البحث والاستكشاف في الأماكن النائية والصحاري والمناطق الجليدية.

وداخل الإطار الجغرافي يمكن القول بان العلاقة بين الذكاء الاصطناعي وعلم الجغرافيا قد شهد ثلاث مراحل رئيسية في ظل ما شهده الذكاء الاصطناعي من تطور في العالم وداخل العلوم المختلفة، هذه المراحل الثلاث تتمثل في:-

- المرحلة الأولى:- تطورت المدرسة الجغرافية القديمة والتي كانت تعتمد على الدراسات النظرية والميدانية والأطر الوصفية إلى بداية الثورة الكمية Quantitative Revolution في فترة الخمسينيات والستينيات حيث أدخلت أدوات تحليلية وإحصائية كثيرة لها القدرة على معالجة البيانات الكبيرة وترتيبها وتنظيمها وتصنيفها ومن ثم تمثيلها عبر الخرائط، وبما دفع إلى انتقال علم الجغرافيا من الأطر النظرية الوصفية إلى الجغرافيا التطبيقية.
- المرحلة الثانية:- شهد علم الجغرافيا خلال التسعينيات من القرن العشرين الإنتقال إلى ما أطلق عليه الثورة الحسابية GeoComputation Revolution، والتي قد تم التمهيد لها قبلها بعقد من الزمان علي يد بعض العلماء وعلي رأسهم Dobson عام 1983 (Couclelis,1998) والذي قدم الجغرافيا في ثوب متطور جديد أطلق عليه "الجغرافيا الآلية" Automated Geography كتطبيق إنتقائى للأساليب والتقنيات الحسابية لعرض الخصائص المكانية وشرح الظواهر الجغرافية وحل المشكلات الجغرافية المختلفة (Dobson, 1983)، وكان التدشين العالمي الرسمي لبدء هذه الثورة الجغرافية الجديدة في عام 1996 عند انعقاد المؤتمر الدولى الأول للجغرافيا الحسابية في جامعة ليدز في بريطانيا، ثم توالت بعدها الأسهامات الجغرافية في هذا المجال الجغرافي المستحدث. وقد أجمع العديد من العلماء علي أن هذه الثورة الجغرافية المستجدة هي ثورة متتابعة لنظم المعلومات الجغرافية GISystems التي أزدهرت عالمياً بشكل كبير في بداية التسعينيات من القرن العشرين كنظام تقني فعال وأداة لإنشاء الخرائط وتحليل الظاهرات الجغرافية مكانياً و انتهت في بدايات القرن الحادي والعشرين لتصبح علماً مستقلاً بذاته (GISience).
- المرحلة الثالثة:- منذ مطلع القرن الحادي والعشرين أنبثقت من بوتقة الجغرافيا الحسابية إتجاه جديد متمثل في إنشاء النماذج الذكية التي لا تستخدم فقط التقنيات الحسابية لحل المشكلات المكانية في إطار جغرافي وإنما هي طريقة جديدة للوصول إلى تصور منهجي جديد يعتمد علي تصميم وإنشاء النماذج الذكية المتطورة (Artificial Intelligence Models) لرصد وتمثيل (محاكاة) والتحسين والتوقع

المستقبلي للواقع الجغرافي، والتي أطلق عليها مرحلة الذكاء الاصطناعي الجغرافي (GeoAI)، ومنذ عام 2010 كان هناك تقدم كبير في أبحاث الذكاء الاصطناعي بحيث ساهمت ثلاثة عوامل رئيسية في هذا التقدم السريع في الذكاء الاصطناعي الجغرافي أولهما البيانات الضخمة والتي جاءت نتيجة للتطور الكبير في الاستشعار عن بعد وكذلك المحتوى الذي ينشئه المستخدمون على الويب، وثانيهماالخوارزميات الجديدة والتي جاءت نتيجة تبنى مجتمع الذكاء الاصطناعي أفكارًا ونظريات مختلفة من مجالات أخرى مثل الإحصاء والاقتصاد والعلوم الطبية وعلم الأحياء والفيزياء والعلوم المعرفية، وثالثهما القوة الحسابية الهائلة والتي جاءت لربط البيانات الضخمة والنماذج الحسابية الجديدة وسمحت بإنشاء النماذج، وهذه العوامل الثلاث هي التي غذت بشكل كبير التطور الملحوظ للذكاء الاصطناعي في السنوات الأخيرة.

3- الفرق بين النمذجة المكانية ونمذجة الذكاء الاصطناعي الجغرافي المكاني :

تعد النمذجة المكانية Spatial Modeling نوع من أنواع النمذجة الجاهزة والمبنية داخل برمجيات نظم المعلومات الجغرافية، ويكون أساسها الخوارزميات الإحصائية التقليدية، حيث تعتمد علي:-

- إجراء الباحث أو المستخدم لمجموعة من الإجراءات أو الخطوات التحليلية المستخدمة والمتوافرة داخل بيئة نظم المعلومات الجغرافية لإشتقاق معلومات حول العلاقات المكانية بين الظواهر الجغرافية، بالإضافة إلي انها توفر للمستخدم الذي ليس لديه قدرة برمجية ان يقوم ببناء بعض النماذج التي يوفرها له النظام الجاهز وتمكنه أيضاً من التنبؤ بالنتائج المحتملة، مع الوضع فى الإعتبار اختلاف المخرجات المنتجة من باحث إلى آخر وفقاً لكفاءته الشخصية و كذلك وفقاً لنوع البيانات التى يقوم بتغذيتها للنموذج.
- إن النمذجة المكانية كما ذكر سابقا تستخدم عادة **النماذج الإحصائية** Statistical Models أو قد تستخدم **أساليب النمذجة الكارتوجرافية** Cartographic Modeling Techniques معها وكذلك تستخدم **الجبر الخرائطي** Map- Algebra

مثل أساليب التحليل المكاني للبيانات الإتجاهية كإنشاء حرم الظاهرات المكانية Buffering Zone والمطابقة المكانية Overlay ومعالجات الخرائط والاستخلاص المكاني Extraction، بالإضافة إلي جميع عمليات قواعد البيانات Database Operations أو ربما يستخدم الباحث مزيجاً من الاثنين معا.

علي حين يعد الذكاء الاصطناعي الجغرافي المكاني (GeoAI) شكلاً جديداً من أشكال التعلم الآلي بناء علي مكونات جغرافية، وهو منهج **حسابي برمجي** وليس إحصائي لن يؤدي فقط إلى تفسير المعلومات المفقودة في استخدامات المعلومات الموقعية بل يساعد أيضاً في إيجاد حلول أكثر كفاءة و أكثر دقة لمشكلات جغرافية محددة، بمعني آخر يعد الذكاء الاصطناعي الجغرافي المكاني عبارة عن مجموعة **خورازميات برمجية** مستقلة أو متكاملة مع بيئات نظم المعلومات الجغرافية أو الاستشعار عن بعد وليست برمجيات إحصائية مثل النمذجة المكانية، حيث تعتمد علي مجموعة بيانات يمكن من خلالها التوصل إلى قرار دون الحاجة إلى التدخل البشري في عملية صنع القرار بل تعمل بمفردها على إتخاذ القرار.

4- الاتجاهات البحثية في الذكاء الاصطناعي الجغرافي المكاني:

جاء الذكاء الاصطناعي الجغرافي كما ذكر سابقاً كخورازميات برمجية تم تصميمها منفصلة بعيدة عن بيئات نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد. فمنذ مطلع القرن الحادي والعشرين بدأ الجغرافيون في استخدام الذكاء الاصطناعي كخورازميات ذكية عن طريق الدمج أولاً مع بيئة الاستشعار عن بعد حيث تم تثبيت البعض من تلك الخورازميات الذكية وبناءها داخل بعض برامج الاستشعار عن بعد، وثانياً مع بيئة نظم المعلومات الجغرافية حيث تم استخدام الذكاء الاصطناعي كخورازميات ذكية متكاملة ولكن ليست مبنية داخل برامج نظم المعلومات الجغرافية.

وجاءت الاتجاهات البحثية في الذكاء الاصطناعي الجغرافي المكاني متسقة مع الأهداف البحثية التي من أجلها تم الدمج بين الذكاء الاصطناعي وعلم الجغرافيا، وذلك عن طريق تبني بعض شركات البرمجيات مؤخراً بعض الأساليب الذكية الأصطناعية لتصبح مبنية داخل برمجيات نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد.

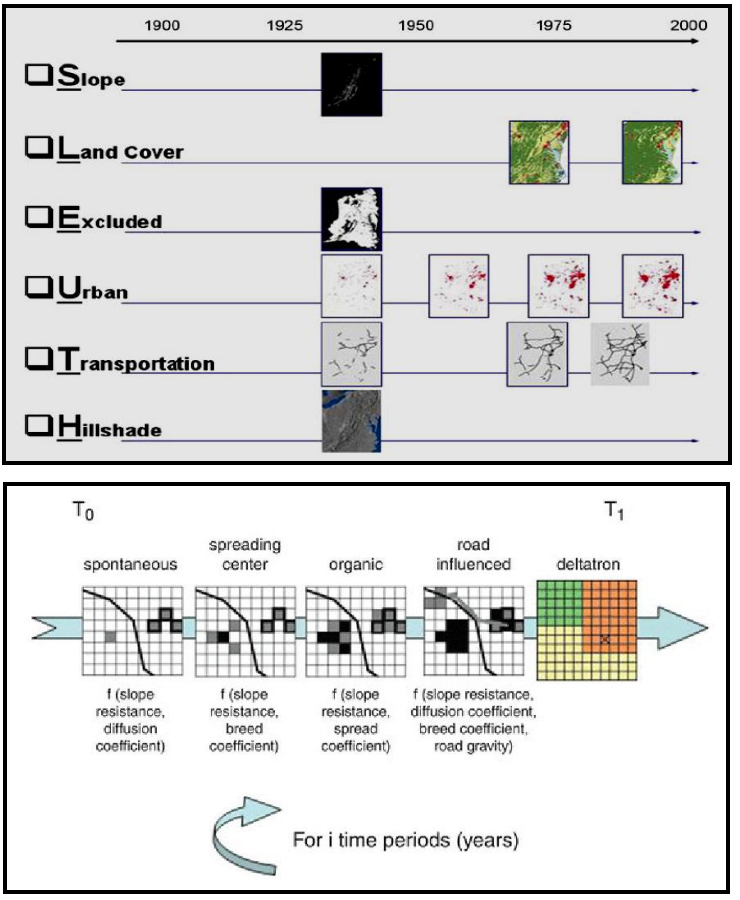
وعلي ذلك فإن اتجاهات البحث في الذكاء الاصطناعي الجغرافي المكاني سارت علي ثلاث محاور رئيسية هي:-

- المحور الأول:- وهو البحث العلمي للذكاء الاصطناعي داخل بيئة نظم المعلومات الجغرافية بغرض التنبؤ المستقبلي لإتخاذ قرارات علمية دقيقة مبنية علي بيانات كبيرة و متضخمة الحجم، ومن أشهرها نموذج كيث كلارك Keith Clarke عن توقعات النمو العمراني المستقبلي والذي أستخدم فيه الأوتوماتا الخلوية Cellular Automata (CA) من خلال عمل نموذجين الأول Urban Growth Model (UGM) مع التطبيق علي النطاق المحلي بالولايات المتحدة الأمريكية، ثم قام بتعديل و تطوير هذا النموذج ليصبح نموذجا آخر معدلا و أطلق عليه اسم SLUETH ليستخدم تطبيقياً علي المستوي العالمي مع اختلاف البيئات الجغرافية على سطح الكرة الأرضية.
- المحور الثاني:- وهو البحث العلمي للذكاء الاصطناعي داخل بيئة الاستشعار عن بعد بغرض تحسين التحليلات المختلفة في الاستشعار عن بعد ومن أهمها تحليلات التصنيفات الخاصة بالغطاءات الأرضية Land Cover Classification Analyses والتي من أشهرها الشبكات العصبية الاصطناعية Artificial Neural Networks (ANN) والتى تعد الآن أحد الخورازميات الذكية للتصنيف والتي تمكن الباحثين من الوصول إلى أعلي درجة دقة تصنيفية، وهو ما لا يتواجد مع الطرق والأساليب التصنيفية الإحصائية التقليدية الأخرى الموجودة و المستخدمة في بيئة الاستشعار عن بعد، ومنها أيضاً يمكن للباحثين الوصول إلى أعلي درجة دقة ممكنة عند تطبيق تحليلات متقدمة تعتمد علي تحليلات التصنيفات ومن أهمها تحليلات رصد التغير Change Detection Analyses.
- المحور الثالث:- وهو ما يمثل الأتجاه الحديث في البحث العلمي للذكاء الاصطناعي الجغرافي المكاني عن طريق الدمج بين الأساليب الذكية بعضها وبعض وتكاملها في بيئات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية، وذلك بغرض التحسين والتنبؤ في نفس الوقت.

ثانياً: الإطار التطبيقي:

1- تطبيق نموذج الأوتوماتا الخلوية CA : دراسة حالة:

تعد الأوتوماتا الخلوية Cellular Automata Model (CA) أحد أهم فروع الذكاء الاصطناعي الجغرافي المكاني GeoAI المتكامل جزئيا مع البيئة الخلوية لنظم المعلومات الجغرافية Raster-GIS. واجتهد العديد من الباحثين-المحللين الجغرافيين وغير الجغرافيين في إنشاء العديد من النماذج البرمجية الفردية للأوتوماتا الخلوية التي استخدمت في توقع التطور المستقبلي للعديد من التطبيقات في التسعينيات من القرن العشرين. ويعد نموذج كلارك للأوتوماتا الخلوية Clarke CA Model (شكل 1) من أهم النماذج الذكية التي يتم استخدامها وتطبيقها لتوقع التطور المستقبلي للنمو الحضري معتمدا على سلسلة زمنية مكانية طويلة المدى. وقد قام العالم الجغرافى كيث كلارك Keith Clarke مع فريق عمله من الباحثين الواعدين بإنشاء وتطوير هذا النموذج الذكي كنموذج برمجي مستقل يعمل في بيئة نظام تشغيل اليونكس Unix Operating System (Clarke, KC., *et.al.*, 1997). ويتكامل هذا النموذج الذكى مع بيئة نظم المعلومات الجغرافية GIS مع الحفاظ على استقلاليته البرمجية الكاملة، ويتمثل التكامل فقط في إدخال طبقات البيانات الشبكية المحددة سلفا في النموذج. وقد تمت إعادة تسمية نموذج كلارك بعد ذلك باسم نموذج سليوويث للأوتوماتا الخلويه "SLEUTH CA Model". وقد سمى بهذا الاسم اشتقاقا من الحروف الأولى للطبقات الشبكية المدخلة إليه من بيئة نظم المعلومات الجغرافية وهى كالآتي:



شكل (1) نموذج كلارك للنمو العمراني:شروط البيانات المدخلة وآلية التنبؤ في دورة حسابية واحدة

المصدر: (Clarke, KC., 2014)

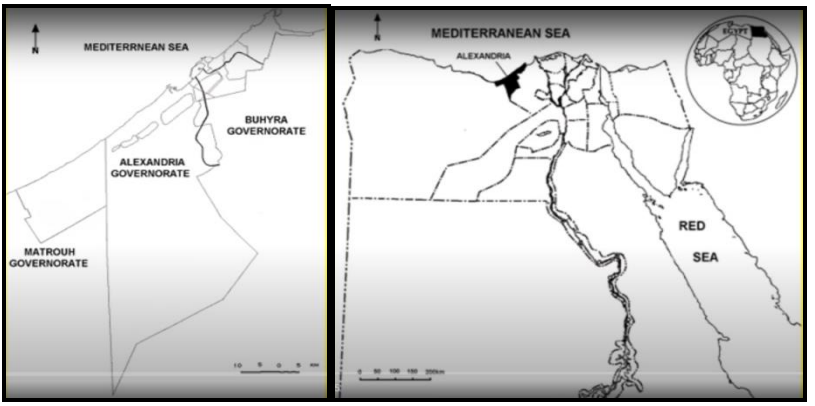
- الحرف S يعد اختصارا لمسمى الطبقة المدخلة الخاصة بالانحدار التضاريسي Slope، و يشترط النموذج إدخال طبقة واحدة كحد أدنى (Min. Layers = 1).
- الحرف L يرمز لطبقة الغطاء الأرضي أو طبقة استخدام الأرض Land Cover or Land Use (LC/LU)، ويشترط النموذج إدخال طبقتين على الأقل من الغطاءات الأرضية (Min. Layers = 2).

- الحرف E يرمز لطبقة الظاهرات المستبعدة من النمو المستقبلى Exclusion، و يشترط النموذج إدخال طبقة واحدة كحد أدنى (Min. Layers = 1).
- الحرف U يرمز لطبقة التوسعات و الامتدادات الحضرية Urban Extension، و يشترط النموذج إدخال أربعة طبقات للامتدادات العمرانية كحد أدنى (Min. Layers = 4).
- الحرف T يرمز لطبقة شبكة المواصلات Transportation، و يشترط النموذج إدخال ثلاثة طبقات كحد أدنى (Min. Layers = 3).
- الحرف H يرمز لطبقة الظل التضاريسي Hillshade المستخدم كخلفية لمخرجات النموذج، و يشترط النموذج إدخال طبقة واحدة كحد أدنى (Min. Layers = 1).

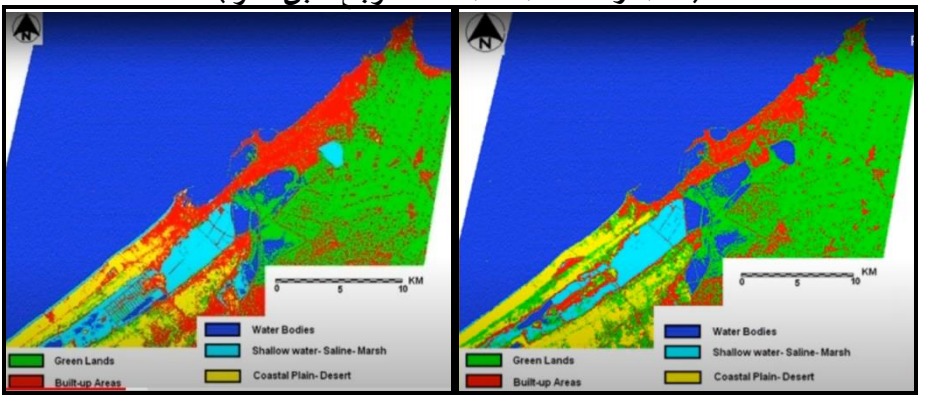
كانت دراسة **لطفى كمال عزاز** الجغرافى المصرى في عام 2004 عن رصد و نمذجة و إدارة النمو العمراني الحضري لمدينة الأسكندرية باستخدام نظم المعلومات الجغرافية و الاستشعار عن بعد في أطروحته المقدمة لنيل درجة الدكتوراه (Azaz,L.K., 2004)، من أوائل الدراسات الجغرافية المصرية و العربية التي استخدمت نموذج كلارك الجاهز SLEUTH. و ارتكز تطبيق نموذج سليوويث في دراسة عزاز على عدة مراحل هى :

- **المرحلة الأولى**: هى مرحلة جمع و تجهيز البيانات عن منطقة دراسته المتمثلة في مدينة الأسكندرية (شكل 2) و تشمل النوع الأول منها، بيانات الصور الفضائية في تاريخين مختلفين. الصورة الأولى Landsat-TM لعام 1984، والصورة الثانية Landsat-TM لعام 1993 بفارق زمنى عشر سنوات بين الصورتين. أما النوع الثانى من البيانات، فيتمثل في مجموعة من الخرائط الطبوغرافية والكادسترالية ذات مقياس رسم كبير، بالإضافة إلى البيانات التعدادية السكانية الإحصائية لتعدادي 1986 و 1996.
- **المرحلة الثانية:** هى مرحلة ما قبل المعالجات للصور الفضائية و تشمل تجميع صور الدراسة و إجراء عدة تحسينات على الصور Image enhancements، و بعض المعالجات الأخرى، و كذلك إتمام عمليات التصحيح الهندسى للصورتين Geometric correction.

- **المرحلة الثالثة**: هى مرحلة المعالجات و تطبيق تصنيف الصور الفضائية باستخدام تحليل التصنيف غير الموجه-أسلوب الآيزوداتا Unsupervised classification- ISODATA Method (شكل 3) التي أعقبها قياسات درجات الدقة التصنيفية للصورتين المصنفتين، ثم تطبيق رصد التغير لفترة زمنية واحدة (1984-1993) بين الصورتين باستخدام أسلوب مقارنة رصد التغير الناتج عن العمليات اللاحقة للتصنيف Post-Classification Comparison Change Detection و ذلك للتعرف على التغير الإحصائي الكمي للفئات التصنيفية في تلك الفترة الزمنية.

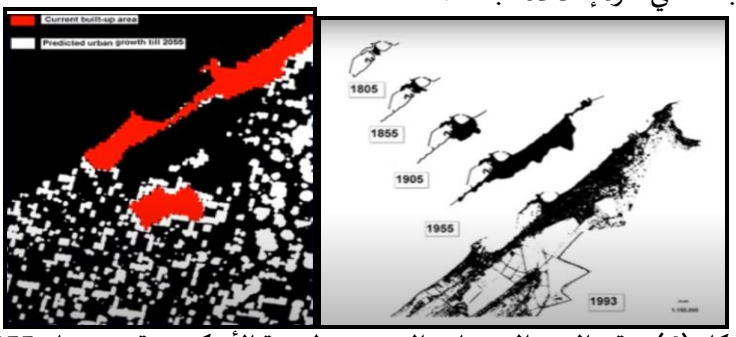


شكل (2) منطقة الدراسة- مدينة الأسكندرية
(المصدر: Azaz,L.K., 2004، مرجع سبق ذكره)



شكل (3) تصنيف الصورتين الفضائيتين لعامى 1984 و1993 لمدينة الأسكندرية
(المصدر: Azaz,L.K., 2004، مرجع سبق ذكره)

- **المرحلة الرابعة:** هى مرحلة إعداد وتجهيز ملفات البيانات المكانية الشبكية الستة المطلوبة للإدخال في نموذج سليوويث وتم تحويل الملفات إلى جميع الصيغ الملائمة للنموذج. تم تجهيز طبقة بيانات الإنحدار بعد تحويل قياسها إلى نسب مئوية بدلا من درجات الإنحدار، وكذلك تجهيز طبقة المناطق المكانية المستبعدة من النمو. أما بالنسبة لطبقة الامتدادات الحضرية التي تتطلب سلسلة زمنية طويلة المدى حسب اشتراطات النموذج فتم استخلاصها من ناتج العملية التصنيفية للغطاء الأرضي للحصول على صور تصنيفية ثنائية Binary classification image تكون أحادية الطيف وتحتوى على فئتين تصنيفيتين فقط هما: مناطق حضرية/غير حضرية urban/non-urban للصورتين محل الدراسة لعامي 1984 و 1993، بالإضافة إلى تجهيز طبقتي الطرق والظل التضاريسي.
- **المرحلة الخامسة والأخيرة:** في هذه المرحلة تم إختبار النموذج للتأكد من مدى كفاءة تشغيله وإجراء عمليات المعايرة للتوصل الى المعاملات الإحصائية المناسبة من قبل النموذج لتنفيذ عمليات المحاكاة المكانية لتوقع النمو الحضري المستقبلي. توصل عزاز فى نهاية هذه المرحلة من تطبيقه لنموذج سليوويث الى توقع النمو العمراني الحضري لمدينة الأسكندرية فى فترتين زمنيتين، هما: الفترة الأولى هى توقع مستقبلي في فترة عشرون عاما (1995-2015) والفترة الثانية هي توقع مستقبلي فى فترة ستون عاما (1995-2055) (شكل 4). وكانت النتيجة من وجهة نظر الباحث وقت إعداده للبحث ليست مرضية تماما لأن النموذج لم يضع فى إعتباره العوامل الإجتماعية والإقتصادية علاوة على ضعف الإمكانيات الحاسوبية والقدرات التخزينية في ذلك الوقت بالإضافة إلى عدم غزارة البيانات المكانية وعدم توفرها بشكل أكبر لدى الباحث في فترة إعداده للبحث.



شكل (4) توقع النمو العمرانى الحضرى لمدينة الأسكندرية حتى عام 2055
(المصدر: Azaz,L.K., 2004، مرجع سبق ذكره)

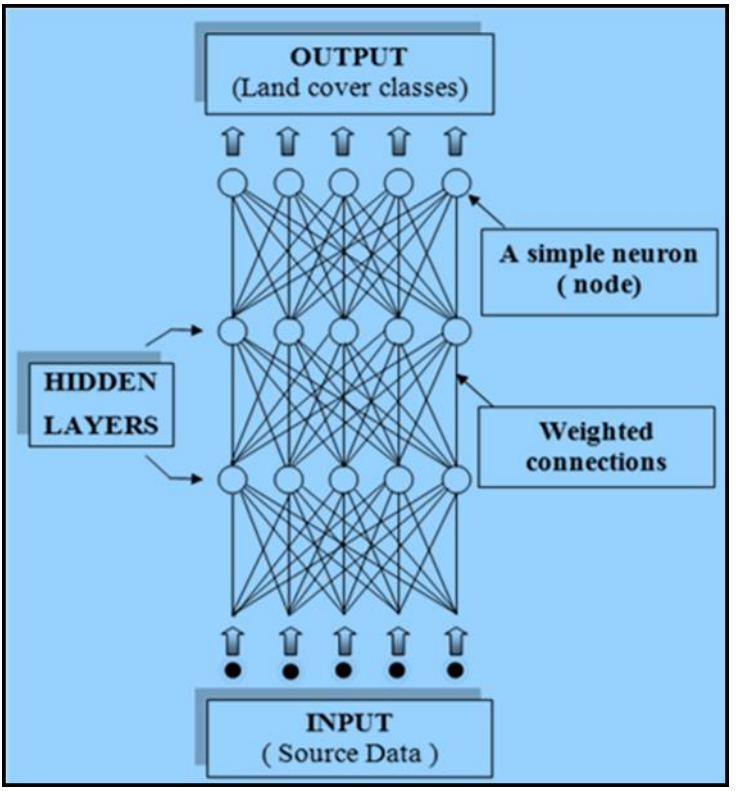
2- تطبيق نموذج الشبكات العصبية الإصطناعية ANN : دراسة حالة

تعد الشبكات العصبية الاصطناعية Artificial Neural Networks (ANNs) هى أحدى مجالات التقنيات المتطورة في مجال الذكاء الاصطناعي الجغرافى المكاني Geo-Artificial Intelligence (GeoAI) والذي يُطلق عليه أحيانًا مسمى الذكاء الحسابي الجغرافى GeoComputational Intelligence (GeoCI). يرجع الإهتمام الجغرافى بهذا المجال النمذجى الذكى المتكامل برمجيا مع بيئة الاستشعار عن بعد الى بدايات فترة التسعينيات من القرن العشرين على يد مجموعة من الجغرافيين-المحللين Analyst-Geographers الذين توصلوا إلى أن بناء تلك النماذج و تكاملها مع بيئة الاستشعار عن بعد تكون لديها القدرة الفائقة على التمييز النمطى Pattern recognition و تصنيف الصور الفضائية. كانت الإسهامات البرمجية المنفردة الأولى لبعض العلماء أمثال "هيبنر"، و "ريتر" و "فوودى"، و "جوبال"، و "وودكوك"، و "فيشر"، و "أبراهارت" (Hepner,G. &Ritter, N.,1989; Hepner, G., 1990; Foody,G.M., *et.al.*, 1995;Foody,G.M., 1997; Gopal,S. &Woodcock,C.E., 1996; Fisher,M. &Abrahart,R., 2000)، ذات بادرة مبشرة في ذاك الوقت لهذا المجال الذكي أن يقتحم مجال التصنيفات الذكية في علم الاستشعار عن بعد.

عمل الشبكات العصبية الاصطناعية الذكية ANN برمجيا في محاولة لمحاكاة شبكة الخلايا العصبية الدماغية المترابطة للمخ البشرى ، مما يجعلها تتعلم و تميز الأنماط ذاتيا ثم تتخذ القرارات المناسبة للتصنيف أيضا بشكل ذاتي و بطريقة شبيهة بالبشر و يكون ذلك عن طريق البرمجة المستقلة-المتكاملة أو المبنية داخل بيئة برمجيات الاستشعار عن بعد. و على ذلك ، يمكن أن يعمل تحليل الشبكات العصبية الاصطناعية كوظيفة رياضية معقدة مستقلة تقوم بتحويل بيانات الإدخال مثل "صور الأقمار الصناعية" إلى المخرجات المرغوبة مثل "تصنيف الغطاء الأرضي" في تحليل التصنيف الموجه الذكي. تقوم شبكات ANN بإنشاء ارتباطا بين بيانات الإدخال والإخراج بمجرد التعامل مع عينات التدريب Training Sites/Samples من خلال إنشاء أوزان داخل طبقة مخفية واحدة أو أكثر مما يمكنها ذاتيا من التعرف على المعالم غير المرئية في الصورة، بالإضافة إلى قدرتها الفائقة على تعميم فئات المخرجات أيضًا.

أصبحت شبكات ANN في السنوات القليلة الأخيرة من أهم فروع تحليلات التصنيفات الموجهة المتقدمة المبرمجة الذكية Advanced-Intelligent Supervised Classification Analyses على المستوى العالمي، و تعددت أساليبها و خوارزمياتها البرمجية حتى وصلت في الوقت الحاضر إلى سبعة أساليب ذكية وهى كما يلى: أسلوب الشبكات العصبية ذات التغذية الأمامية Feed-forward Networks (شكل 5)، و أسلوب الشبكات العصبية ذات التغذية الخلفية Feed-backward Networks، وأسلوب الشبكات العصبية الإلتفافية Convolutional Neural Networks ، وأسلوب نظام أو وظيفة الأساس الإشعاعي للشبكات العصبية Radial-basis Function Neural Networks،وأسلوب شبكات "كوهونين" العصبية ذاتية التنظيم Kohonen Self-Organizing Neural Networks، وأسلوب الشبكات العصبية المتكررة Recurrent Neural Networks (RNN)، ثم أسلوب الشبكات العصبية المعيارية Modular Neural Networks.

كانت دراسة **نرمين أحمد شكرى** الجغرافية المصرية (الباحثة نفسها) في عام 2017 عن الشبكات العصبية الإصطناعية لرصد التغير في زراعات النخيل بالمدينة المنورة بالمملكة العربية السعودية ، من أوائل الدراسات الجغرافية بالوطن العربي التي استخدمت الشبكات العصبية الاصطناعية (ANNs) التي تعد من أكثر تقنيات الذكاء الاصطناعي المتقدمة الواعدة بالنسبة للتحليلات و الخوارزميات التصنيفية لصور الأقمار الصناعية التي يعقبها تحليلات رصد التغيرات في مجال الاستشعار عن بعد (Shoukry,N.A., 2017). قدمت الباحثة منهجا جديدا لتحسين الخوارزمية التصنيفية الذكية التي تعمل بدورها على تحسين خوارزميات رصد التغير



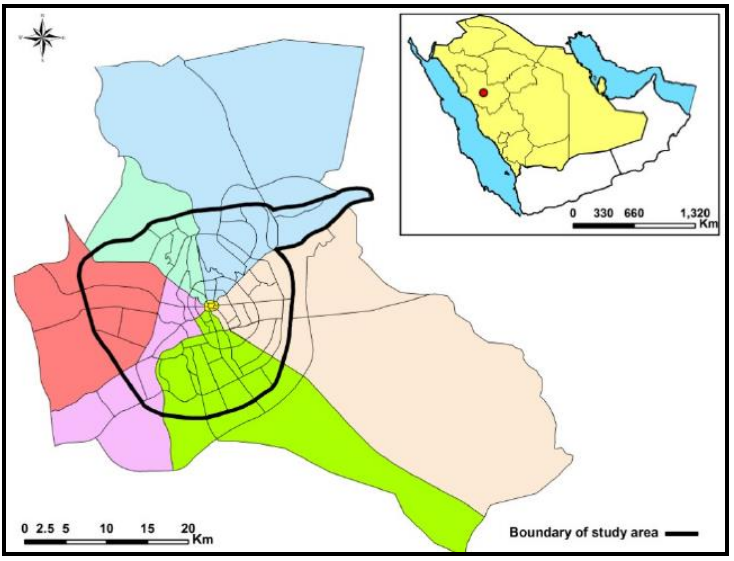
شكل (5) بناء نموذج ANN أسلوب الشبكات العصبية ذات التغذية الأمامية Feed-forward Networks (المصدر: Shoukry,N.A., 2017)

اللاحقة للتصنيف عن طريق إنشاء و دمج بعض المعالجات السابقة للتحليلات مما حقق قياسا غير مسبوقا فى قياسات تقييم الدقة Accuracy assessment متجاوزا نسبة 98% وارتكز تطبيق الشبكات العصبية الإصطناعية في دراسة الباحثة على عدة مراحل هى :

- **المرحلة الأولى**: هى مرحلة جمع و تجهيز البيانات عن منطقة الدراسة المتمثلة في المدينة المنورة (شكل 6)، و تشمل بيانات الصور الفضائية مختلفة الدقة المكانية و الراديومترية لنفس القمر الصناعى Landsat في ثلاثة تواريخ زمنية مختلفة مع الحفاظ على ثبات عنصر Anniversary date (شكل 7). الصورة الأولى TM-1990، و الصورة الثانية ETM-2005، و الصورة الثالثة OLI-2015. كما تشتمل البيانات على

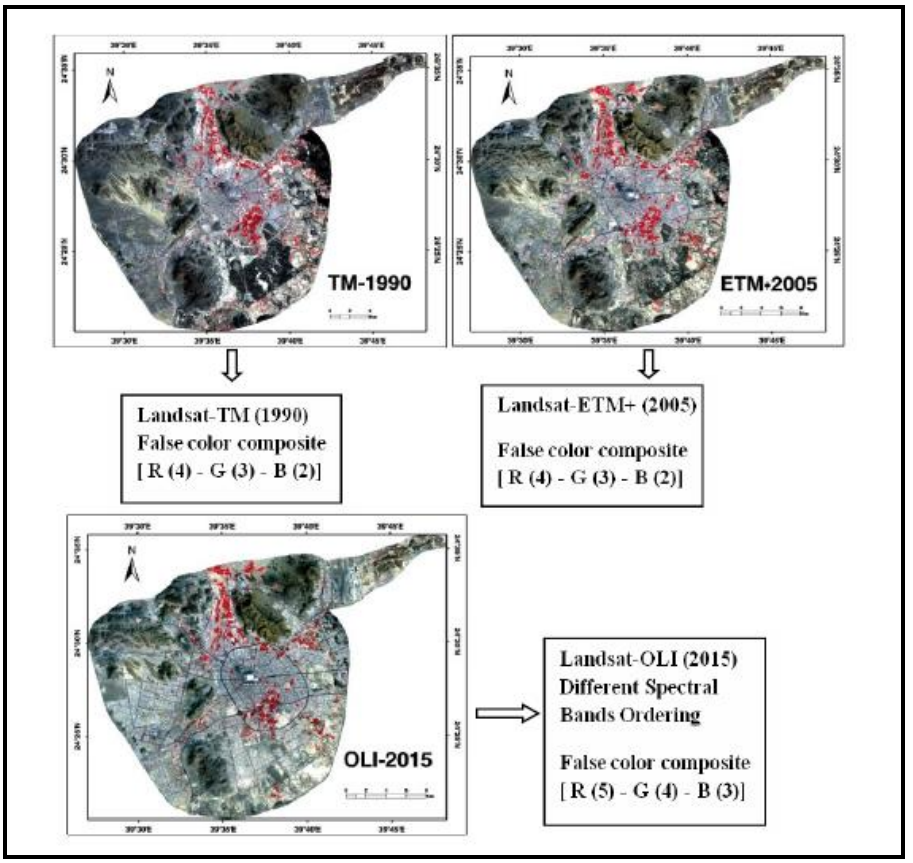
مجموعةمجموعة من الخرائط الطبوغرافية و الكادسترالية ذات مقياس رسم كبير، بالإضافة إلى البيانات الإتجاهية المساعدة الأخرى Vector Ancillary Data.

- - **المرحلة الثانية:** هي مرحلة ما قبل المعالجات Pre-processing للصور الفضائية و هي تعد من أهم المراحل في الدراسة، نظرا لأنها تشتمل على أسلوب التحسين و الدمج الذي أنشأته الباحثة لإجراء عدة عمليات معالجيه للوصول إلى أفضل نتيجة يمكن التوصل إليها عند تطبيق نموذج ANN . واهتم البحث بتوضيح و شرح الإجراءات المنهجية المقترحة لتنفيذ هذا الأسلوب.



شكل (6) منطقة الدراسة- المدينة المنورة

(المصدر: Shoukry,N.A., 2017، مرجع سبق ذكره)



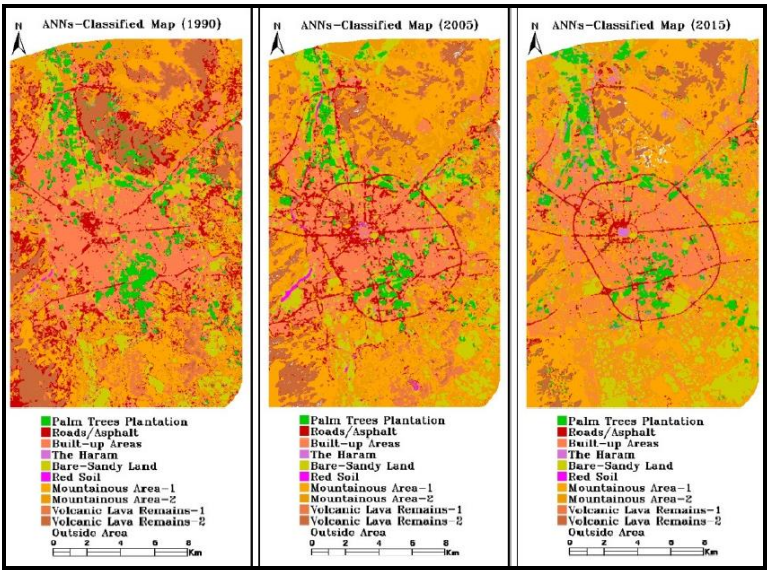
شكل (7) الصور الفضائية مختلفة الدقة المكانية و الراديومترية لمنطقة الدراسة- المدينة المنورة

(المصدر: Shoukry,N.A., 2017، مرجع سبق ذكره)

- **المرحلة الثالثة**: هي مرحلة المعالجات الذكية-المتقدمة Advanced-Intelligent Processing و تطبيق النموذج التصنيفي الموجهه الذكي للشبكات العصبية الاصطناعية للصور الفضائية باستخدام خوارزمية الشبكات العصبية ذات التغذية الأمامية Feed-forward Networks التي تم دمجها من قبل الباحثة مع خوارزمية أخري متتابعة، ألا و هي خوارزمية الإنتشار العكسي القياسية Standard back-propagation algorithm للحصول على النتيجة النهائية للصور المصنفة الثلاثة

(شكل 8). أعقب الإنتهاء من العملية التصنيفية، قياس الدقة التصنيفية الذاتية الذكية التي تقاس آليا لكل دورة حسابية في الخوارزمية التصنيفية و التي سجلت أقل قيمة أخطاء $RMS_E = 0.1$ لكل صورة مصنفة. أعقبها أيضا قيام الباحثة بقياس درجات الدقة التصنيفية بالطريقة الإحصائية و الحسابية التقليدية للتأكد من مدى دقة النتائج الذاتية عن طريق قياس مصفوفة الخطأ The Error Matrix ،و قياس معامل كابا Kappa coefficient (*K*). و قد بلغت نسبة الدقة الإجمالية للصور الثلاث المصنفة لأعوام 1990,2005,2015 نسب 98.13 ,%99.52,%97.88% على الترتيب.

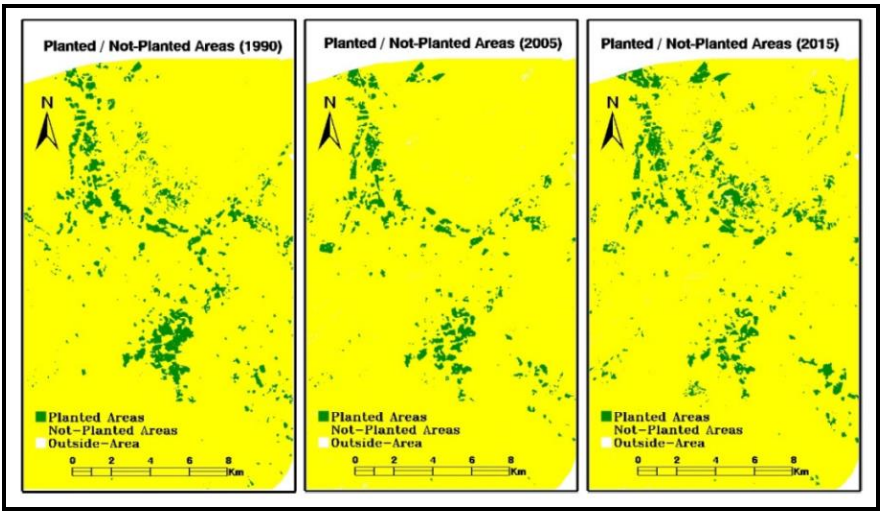
- **المرحلة الرابعة:** هى المرحلة اللاحقة للعمليات التصنيفية و التي قامت فيها الباحثة باستخلاص الأقنعة التصنيفية لأشجار النخيل التي تم استخلاصها من ناتج العملية التصنيفية الذكية للغطاءات الأرضية للصور محل الدراسة للحصول على صور تصنيفية ثنائية



شكل (8) الصور الفضائية المصنفة بالشبكات العصبية الاصطناعية
(المصدر: Shoukry,N.A., 2017، مرجع سبق ذكره)

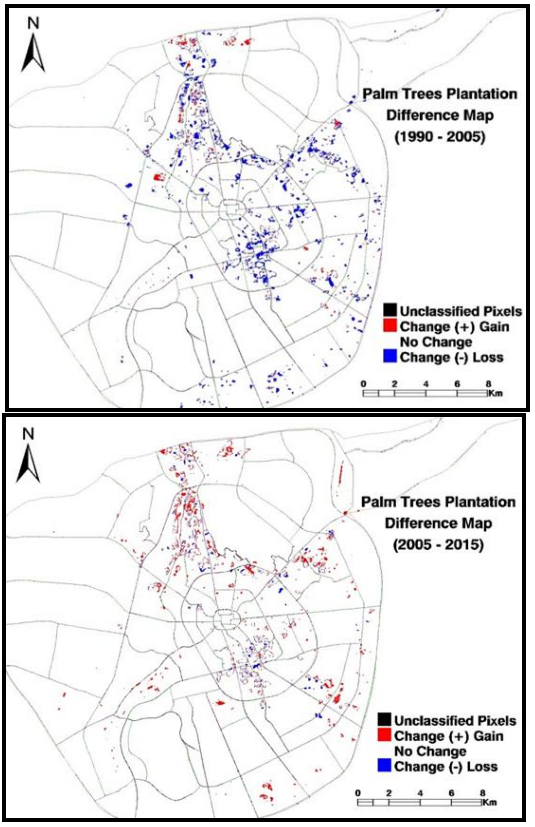
Binary classification image تكون أحادية الطيف و تحتوى على فئتين تصنيفيتين فقط هما: مناطق مزروعة بالنخيل/مناطق غير مزروعة بالنخيل Planted/not-Planted (شكل 9).

- -**المرحلة الخامسة والأخيرة:** فى هذه المرحلة تم تطبيق أسلوبين لرصد التغير للفترتين الزمنيتين محل الدراسة (1990-2005)/(2005-2015). الأسلوب الأول هو خوارزمية مقارنة رصد التغير الناتج عن العمليات اللاحقة للتصنيف The Post-Classification Comparison Change Detection Algorithm و ذلك للتعرف على التغير الإحصائي الكمي للفئات التصنيفية لتلك الفترتين الزمنيتين. أما الأسلوب الثاني فهو خوارزمية القناع الثنائى أحادى الطيف للتغيير مقابل عدم التغيير The Change Versus No-change Binary Mask لإنشاء خرائط تغير لزراعات أشجار النخيل بالمدينة المنورة في فترتى التغير (شكل -10).



شكل (9) استخلاص الأقنعة التصنيفية لأشجار النخيل و إنشاء الصور التصنيفية الثنائية أحادية الطيف

(المصدر: Shoukry,N.A., 2017، مرجع سبق ذكره)



شكل (10) رصد تغير زراعات أشجار النخيل بالمدينة المنورة في الفترتين (1990-2005)/(2005-2015) - (المصدر: Shoukry,N.A., 2017، مرجع سبق ذكره)

المراجع

- Azaz,L.K., 2004, Monitoring, Modeling, and Managing Urban Growth in Alexandria, Egypt: Using Remote Sensing and GIS, Ph.D. Thesis, Geomatics Department, The University of Newcastle, U.K.
- Clarke,K.C., Hoppen,S., Gaydos,L., (1997) A self-modifying cellular automaton model of historical urbanization in the San Francisco Bay area. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 24(2):247–261
- Clarke, K.C., (2014), "Cellular Automata and Agent-Based Models" in Fischer, M.M. &Nijkamp, P. (eds.), Handbook of Regional Science, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1217-1233.
- Couclelis, H., (1998) GeoComputation and Space, Environment and Planning, 25th Anniversary Issue, P.P, 41-47
- Dobsin, J.E., (1983) Automated Geography, The Professional Geographer, Vol., 35, Issue (2), P.P. 135- 143
- Foody, G.M., McCulloch, M.B., and Yates, W.B., 1995, Classification of Remotely Sensed Databy an Artificial Neural Network: Issues Related to Training DataCharacteristics. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 61(4):391-401.
- Foody, G.M., 1997, Fully fuzzy supervised classification of land cover from remotely sensed imagery with an artificial neural network. *Neural Computing& Applications*, 5(4):238-247.
- Foote,Keith D. A Brief History of Artificial Intelligence, https://www.dataversity.net/brief-history-artificial-intelligence/ on April 5, 2016

- Gopal, S. & Woodcock, C.E., 1996, Remote sensing of forest change using artificial neural networks. *IEEE Transactions on Geoscience and RemoteSensing*, 34(2):398-404.
- Hepner, G., and N. Ritter, 1989. Application of an Artificial Neural Network to Land Cover Classification of Thematic Mapper Imagery, **JPL** Internal Technical Report.
- Hepner,G.F., 1990, Artificial Neural Network Classification Using a Minimal Training Set: Comparison to Conventional Supervised Classification. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 56(4):469-473.
- Shoukry,N.A., 2017, Artificial Neural Networks Based Change Detection for Monitoring Palm Trees Plantation in Al Madinah-Saudi Arabia, *Bulletin of the Egyptian Geographical Society*, 90:167-200.
- VoPham, T., *et.al.*, 2018, Emerging Trends in Geospatial Artificial Intelligence (GeoAI): Potential applications for environment epidemiology, *Environmental Health*, 17:40.
- Yingjie Hu, *et.al.*, 2019, Artificial Intelligence Approaches, University Consortium for The Geographic Information Science & Technology Body of Knowledge (3rd Quarter 2019 Edition), Cornell University.