مراجعة أدبية لتحليل الملاءمة المكانية في نظم المعلومات الجغرافية، الأسس والمفاهيم، والنشأة، والأساليب المستخدمة
المواقع الملاءمة لمحطات توليد الكهرباء بالطاقة النووية : دراسة حالة

أ. ندى بنت محمد العصيمي*

د. مفرح بن ضايم القرادي**

الملخص :

نظراً لما يسببه الوقود الأحفوري من أثاراً سلبيةً على الحياة إضافةً إلى كونُه مصدراً ناضباً؛ تتجه العديد من الدول إلى إستخدام مصادر الطاقة المتجددة والنظيفة، ومع تنوع مصادرها كطاقة الشمس والرياح والطاقة الجوفية الحرارية، إلا أن هناك بعض العقبات المبدئية بسبب إنتاجيتها القليلة والمتذبذبة ولذلك تظل الطاقة النووية المصدر ذو الموثوقية الإقتصادية والمعول عليه بإعتباره مصدراً مستقراً وآمناً للطاقة. ولقد وضعت الوكالة الدولية للطاقة الذرية الإشتراطات والمعايير التي تكفل تحقيق الإستخدام الآمن للمحطات النووية، وأوصت في منشوراتها بإستخدام نظم المعلومات الجغرافية في التخطيط لمواقع المحطات النووية. وفي هذا الشأن تلعب نظم المعلومات الجغرافية دوراً هاماً بما توفره من إمكانيات في بناء قواعد المعلومات ومعالجتها وإجراء التحليلات التي ينتج منها المخرجات التي تدعم إتخاذ القرار المكاني بشأن المواقع الملائمة لهذه المحطات.

وتقدم هذه الورقة إستعراضاً لتحليل الملائمة المكانية وأساليبه ونشأته كما تتطرق إلى المعايير العالمية المتبعة لإختيار مواقع المحطات النووية والمراحل التي تتم بها ومراجعة لأهم الأدبيات المتعلقة بذلك. وتتزايد الحاجة لمثل هذه الورقة مع توجه العديد من الدول العربية وعلى رأسها المملكة العربية السعودية نحو الطاقة النووية وغياب الدراسات العربية التي تتناول مثل هذا الموضوع وهي بذلك توفر للباحث والقارئ العربي مرجعاً نظرياً داعماً لأبحاثهم.

الكلمات المفتاحية: نظم المعلومات الجغرافية، تحليل الملائمة المكانية، تحليل القرار متعدد المعايير، اختيار مواقع المحطات النووية.

---

* طالبة دراسات عليا، قسم الجغرافيا، جامعة الملك سعود.

** أستاذ علم المعلومات المكانية المساعد، قسم الجغرافيا، جامعة الملك سعود.

المقدمة :

على مدى أكثر من ثلاثة عقود ظلت صناعة توليد الطاقة النووية من إختصاص الدول المتقدمة إلا أن العديد من الدول النامية كالصين وجنوب افريقيا وكوريا الجنوبية والهند، قد دخلت في مضمار التنافس على إستثمارها، بهدف توفير مصدر مستقر وآمن للطاقة ومع التقدم العلمي في هذه الصناعة وخاصة من حيث التكلفة والأمان أصبح هناك توجه من قبل العديد من الدول نحوها (عبدالسلام، ٢٠٠٩)، إذ يوجد حالياً ٤٣٥ محطة نووية مشغلة في ٣٠ دولة تنتج مجتمعة ٣٧٠ ألف ميغا واط أي ما نسبته ١٦% من مجمل الكهرباء عالمياً (النعيمي، ٢٠١٥).

والطاقة النووية هي مصدر الطاقة القادر على ضمان إستمرار حضارتنا الصناعية بالإضافة إلى كونها مصدراً نظيفاً خالي من إنبعاثات الكربون، ويمكن أن تحل محل جزء كبير من الوقود الخام، فإنشطار طن متري من اليورانيوم مثلاً يعطي طاقة حرارية تعادل ما ينتج عن احتراق ثلاثة ملايين طن من الفحم الحجري أو ١٢ مليون برميل من النفّط، وتشير التقديرات أنه بحلول عام ٢١٠٠م فإنه من المرجح أن تكون قد استُنْفِذت جميع احتياطيات العالم من النفط والغاز الطبيعي (Comby, 2017).

يعتبر تحديد وتقييم الموقع المناسب لإقامة المحطات النووية عملية حاسمة ومهمة ويمكن أن تؤثر تأثيراً كبيراً على التكاليف والقبول العام من السكان وعلى سلامة المنشأت خلال العمر التشغيلي لها، ونتائج هذه العملية تحدد نجاح مشروع الطاقة النووية بأكمله، إن سوء التخطيط ونقص المعلومات قد يؤدي إلى إتخاذ القرار الخاطئ ويسبب تأخيرات كبيرة وفترات إغلاق موسعه إن لزم الأمر (IAEA, 2015). والتحقق من الملاءمة المكانية لمواقع بناء المحطات النووية هي عملية متعددة الجوانب تتضمن إعتبارات فنية مثل توافر مياه التبريد وإعتبارات السلامة وما يتعلق بالوقاية من المخاطر الخارجية مثل المخاطر الزلزالية والبركانية والجيوتقنية ويتم فرز المواقع ذات المخاطر الخارجية الكبيرة لإستبعادها، كما تهدف عمليات تحديد الموقع إلى الحد من آثار الحوادث المحتملة على السكان والبيئة بالنظر إلى إمكانية تنفيذ خطة الطوارئ في حالة حصول إطلاق عارض للعناصر المشعة ويؤخذ بالإعتبار التضاريس وتوزيع السكان والبنية التحتية التي من شأنها أن تسهل تنفيذ خطط الطوارئ (Vivian et al., 2011) ويتطلب ذلك الحصول على مجموعة كبيرة من البيانات عن منطقة الدراسة وتنظيمها وإدارتها وهنا تلعب تقنيات نظم المعلومات الجغرافية دوراً رئيسياً وهاماً بما تقدمه من إمكانيات كبيرة في تخزين وتنظيم وإدارة كم هائل من البيانات من خلال قواعد البيانات الجغرافية، وهي تشكل أداة هامة للمهندسين والمخططين ومتخذي القرار، وتهدف إلى مساعدة متخذ القرار في إستخدام البيانات والنماذج التحليلية المتقدمة في التعامل مع المشكلات، وذلك بتوفير معلومات وتقديم مقترحات لحل المشاكل، كما أنها عبارة عن نظم قادرة على دعم تحليل البيانات ونمذجة القرار وهي موجهة لحل مشاكل محددة (السيد، ٢٠١٥).

وتهدف هذه المراجعه الادبية إلى :

- التعريف بتحليل الملائمة المكانية ونشأته وأساليبه.
- إستعراض معايير إختيار المواقع الملائمة لمحطات الطاقة النووية.
- إستعراض النماذج التطبيقية لتحليل الملائمة المكانية للمحطات النووية.

عرض ومناقشة

تحليل الملائمة المكانية : مفهومه ونشأته وأساليبه

مفهومه :

يعد تحليل الملاءمة المكانية Spatial Suitability Analysis أداة تستخدم لتحديد المناطق الأكثر ملاءمة للأنشطة المختلفة و يهدف إلى تحديد المتطلبات والقيود لأي مشروع وبالتالي تحديد المناطق الملائِمة وفقاً لهذه المتطلبات والقيود، وذلك عبر منهجية تحليلية مكانية تتم من خلال برمجيات نظم المعلومات الجغرافية وهذا التحليل يعتبر من أكثر تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية فائدة في التخطيط سواء كان ذلك التخطيط للمشاريع المستقبلية أو للتحقق من الملائمة المكانية للمشروعات القائمة. وتتيح التقنيات الحديثة للمسؤولين والمخططين تحليل التفاعلات بين ثلاثة أنواع من العوامل: الموقع، والإجراءات التنموية، والعناصر البيئية. ثم يتمكن المحللون من رسم خريطة لهذه التفاعلات بطرق متنوعة، على سبيل المثالقد تُظِهر الخريطة مايلي:

١. ماهي استخدامات الأراضي التي سيكون لها أقل تأثير سلبي على العمليات البيئية.
٢. التنبؤات النوعية للتأثيرات البيئية للمقترحات التنموية.
٣. المواقع الأكثر والأقل ملاءمة لمقترحات تنموية معينة.

فالعديد من مشاكل إتخاذ القرار المكاني، مثل إختيار المواقع أو تخصيص استخدام الأراضي، تتطلب من صانع القرار النظر في آثار البدائل المختلفة عن طريق أبعاد متعددة من أجل اختيار أفضل بديلوذلك من خلال إنتاج خرائط الملائمة المكانية ويمكن للمسؤولين إستخدام هذه الخرائط لوضع السياسات واتخاذ القرارات. وقد أصبح هؤلاء المسؤولين على وعي متزايد بالتقدم التكنولوجي في تحديد استخدامات الأراضي ونمذجة الملاءمة. وتُسْتَخدم هذه الأساليب الجديدة للتحليل المكاني إستخداماً شائعاً في وضع خطط إستخدام الأراضي وإستعراض الأثر البيئي ودراسات اختيار المواقع للعديد من الاستخدامات المختلفة للأراضي والمرافق العامة والخاصة (Malczewski, 2004).

لمحة تاريخية ومناقشة للتطورات المنهجية والتكنولوجية :

إن الانخراط في التقدم التكنولوجي وعدم الاعتراف بالأسس التاريخية لهذا التحليل يجعل من الصعب تحقيق الفهم الدقيق لهذا التحليل وقد ذكر (Michael et al., 2001) تتبع لمراحل التطور التي مر بها تحليل الملاءمة المكانية كما يلي :

بدأت تطبيقات الملائمة المكانية في أوائل القرن العشرين ميلادي وأستخدمت في بداياتها في تخطيط إستخدامات الأراضي ومرت في مراحل مختلفة وصولاً إلى التقنيات المتقدمة مثل الحوسبة العصبية والبرمجة التطويرية، وعليه تم تصنيف التقدم المنهجي لأساليب الملائمة المكانية إلى مراحل متعددة. وتتميز هذه المراحل بالتغيرات في التمثيل والتكنولوجيا والنظرية وتشمل :

١- الرسم اليدوي المبكر، وتقنيات خرائط الغربال (Sieve Mapping).
٢- التقدم في الأدبيات.
٣- رسم خرائط التراكب (Overlay) بمساعدة الحاسب الآلي.
٤- إعادة تعريف البيانات (التصنيف) وتقييم المعايير المتعددة.
٥- تكرار معارف الخبراء في العملية.

المرحلة الأولى : الرسم اليدوي المبكر، وتقنيات (Sieve Mapping).

اتخذت التطبيقات الاولى لتحليل مدى الملاءمة طابع الرسم يدوي والتراكب بإستخدام تقنية (Sieve Mapping). وهذا الاستخدام اليدوي الذي نفذه المهندسون المعماريون الأمريكيون في المناظر الطبيعية (Landscape) في أواخر القرن التاسع عشر واوائل القرن العشرين يعتبر من البدايات المبكرة للتحليل الحديث لمدى ملاءمة استخدام الأراضي (McHarg, 1969).

المرحلة الثانية : التقدم في الأدبيات.

بدأت المرحلة الثانية في تطور تحليل الملاءمةمع ظهور أول مناقشة أكاديمية لتقنية التراكب في عام ١٩٥٠ وذلك مع نشر كتاب (Town and Country Planning) الذي تضمن مقالاً لجاكلين تيروهيت التي تناولت بوضوح تقنية التراكب (Overlay). وقدمت تيرويت (Tyrwhitt) مثالا علي أربع خرائط وهي (الطوبوغرافيا، والهيدرولوجيا، وأنواع الصخور، وتصريف التربة) وقد رسمت علي أوراق شفافة بنفس المقياس وتمت الاشاره إلى ظاهرات التحكم المشترك (Common Control Features) ثم جمعت خرائط البيانات هذه في خريطة واحده لخصائص الأراضي (Tyrwhitt, 1950). وقد حظيت طريقة التراكب هذه بقبول واسع النطاق وأستُخدمت في التخطيط

على نطاقاً واسعاً في المدن البريطانية الجديدة ومشاريع التنمية الأخرى في بريطانيا العظمى وأمريكا الشمالية بعد الحرب العالمية الثانية (Lyle, and F. Stutz., 1983). وخلال السبعينات، جذبت جامعة بنسلفانيا العديد من طلاب الدراسات العليا وقد انخرط هؤلاء الطلبة في مشاريع بحثية تطبيقية بحيث وفرت هذه المشاريع الأكاديمية والمهنية أمثلة دراسة حالة في تحليل الملاءمة المكانية.

المرحلة الثالثة : رسم خرائط التراكب (Overlay) بمساعدة الحاسب الآلي.

نشأت العديد من الصعوبات العملية في تحليل ملاءمة استخدام الأراضي حيث ازداد عدد الخرائط التي يجب تمثيلها يدوياً بشكل ملحوظ خلال أواخر الستينيات وأوائل السبعينيات. وهذه الزيادة حدثت بسبب زيادة شعبية تحليل الملائمة وإنخراط مختلف التخصصات فيه، وقد نمى نطاق المعلومات المتعلقة بالخرائط مما دعى إلى أخذهذا النمو بعين الإعتبار. وفي الوقت الذي كان فيه إزدياد في حجم البيانات زاد إيضاً التقدم التكنولوجي في الحوسبة. وكانت القيود العملية المتمثلة في تعدد الخرائط التي يتم تنفيذها يدوياً وبالتالي مقدار المعلومات فيها، قد قادت المشاركين في تحليل الملاءمة إلى النظر إلى أجهزة الحاسب الآلي.

وقد وفرت هذه التكنولوجيا الجديدة نسبياً العديد من المزايا لرسم الخرائط والجمع بين كميات كبيرة من البيانات. إن ظهور واستخدام الكمبيوتر في تحليل ملاءمة الأراضي يمثل المرحلة الثالثة من تطور هذا التحليل. وعلى الرغم من أن منسوبي جامعة بنسلفانيا شاركوا بعمق في هذا العمل، إلا أن منسوبي جامعة هارفارد وجامعة ماساتشوستس أصبحوا معروفين على نطاق واسع بتطبيق تكنولوجيا الحاسب الآليفي تحليل ملاءمة استخدام الأراضي، ويمكن القول إن أهم التطورات المتعلقة بالحاسب حدثت في جامعة هارفارد.

المرحلة الرابعة : إعادة تعريف البيانات المكانية (التصنيف) وتقييم المعايير المتعددة.

هناك إتجاهين بحثيين جديدين شكلا المرحلة الرابعة وهما المنطق الثنائي (Boolean Logic) وطرق البدائل لإستخدام المفاضلة (Alternative Methods for Using Preferences).

وكان أولها تقييم المنطق الثنائي وقدرته على التعامل مع الحدود المكانية العشوائية أو الممزوجة في تحليل قائم على نظم المعلومات الجغرافية. ونشر العديد من الباحثين، بما في ذلك (Banai, 1993) و (Goodchild, et al., 1993) وكما يتضح من أعمالهم، لوحظت العديد من المشاكل مع الطرق الثنائية الكلاسيكية لتصنيف الوحدة الأرضية. على سبيل المثال، في التصنيف الثنائي (Boolean)، يتم تصنيف وحدة الأرض على أساس تعريف دقيق.بحيث

أن وحدات الأرض المتشابهة ذات القيم التي تقع خارج التعريف المعطى لا يتم تضمينها في الفئة. علي العكس من ذلك، فان نظرية المجموعة الضبابية (Fuzzy Set Theory) تشير إلى ان ادراج وحدة الأراضي داخل الفئة هو مسأله تحديد درجه الانتماء وليس تصنيف صارم على أساس تعريف دقيق، كما في المجموعات الثنائية (Boolean Set Theory)، والمصطلح (Boolean) هنا مشتق من اسم الرياضي الإنجليزي، جورجبوولي (George Boole)، الذي وضع لأول مره القوانين الاساسية للنظرية في منتصف القرن التاسع عشرلتصبح فيما بعد الأساس في تصميم الدوائر المنطقية التي يتكون منها الحاسب الآلي، وهذا الاسلوب يعمل بمُتغيّرين اثنين هما الصح أو الخطأ ويُرمز لهما بالعددين ١ و ٠ ولقد أعتبرت النظرية الضبابية للدكتور لطفي زاده امتدادا لنظرية المجموعة الثنائية وأصبحت موضوعاً بارزاً للنقاش والبحث خلال الثمانينات لاستخدامها ضمنالمعلومات الجغرافية وتحليل مدى ملاءمة استخدام الأراضي.

وبحسب تعريف زاده، فإن المجموعة الضبابية (Fuzzy set) هي مجموعة من الكائنات التي تمتلك قيماً متسلسلة ومتدرجة لانتماءها الى تلك المجموعة، وتتميز العناصر المنتمية الى هذه المجموعات حسب نسبة انتماءها إلى تلك المجموعات الضبابية وهذا يتم تحديده باستخدام دالة الانتماء او دالة العضوية، ودالة الانتماء (Membership Function) هي الدالة التي تحدد نسبة انتماء العنصر الى تلك المجموعة الضبابية ويتكون مخطط المجموعة الضبابية من محورين، الاول هو المحور الافقي ويستخدم لتمثيل قيمة العنصر، والثاني المحور العمودي ويستخدم لتمثيل قيمة دالة انتماء ذلك العنصر الى تلك المجموعة، وهي قيمة تتراوح بين الصفر والواحد. اي بمعنى اوضح بين الصح والخطأ. يمثل هذا المنطق طريقة سهلة لتوصيف وتمثيل الخبرة البشرية،وهو أحد ركائز الذكاء الاصطناعي بحيث يتم فيه محاكاة الخبرة البشرية في التعبيرعن العناصر حيث لوحظ أن الصح والخطأ لا تكفي من أجل تمثيل كافة العناصر على سبيل المثال في حالة الرغبة في التعبير عن الطقس في المنطق الضبابي سيكون التعبير كالتالي (حار، معتدل، بارد) أما في المنطق الثنائي (Boolean) يعتمد على ٠ أو ١ فقط (حار، بارد) وهذا قد تعتمد عليه الكثير من العلاقات في حين توجد علاقات أخرى يكون فيها الموضع الذي فيه العنصر يمكن اعتباره صحيح جزئيا أو خاطئ جزئيا في نفس الوقت.اذن فالمنطق الضبابي هو الدرجة التي تعبر عن المدى الذي ينتمي اليه الوصف التابع للشئ نفسه، بين الصح الكامل والخطأ الكامل، لكي نصل الى تعبير اكثر دقة عن الواقع الملموس يحاكي التعبير البشري (Zadah, 1965). والجدول التالي يوضح مقارنة بين المنطق الثنائي والمنطق الضبابي.

المنطق الثنائي (Boolean)	المنطق الضبابي (Fuzzy)
التحديد النظيف (Clean Definition) لحدود تضمين أو استبعاد عنصر من مجموعة	يسمح بالمرونة في تحديد حدود عتبات المتغيرات التي يتم تعيينها
أي عنصر يتم إما تضمينه أو إستبعاده من المجموعة	تضمين أي عنصر في مجموعة ضبابية يعتمد على درجة معينة
لا يسمح بالإنتماء الجزئي لعنصر في مجموعه.	يسمح بالإنتماء الجزئي لعنصر في مجموعه ضبابية
تقتصر القيم الدالة للإنتماء على نقطتين (٠، إذا لم يكن العنصر في المجموعه، ١ إذا كان العنصر في المجموعة)	تاخذ القيم الدالة للإنتماء نطاق القيم المتسلسلة بين (٠ و ١)

المصدر: (Banai, 1993).

الاتجاه البحثي الثاني الذي يمثل المرحلة الرابعة من التطوير في تحليل ملاءمة استخدام الأراضيفقد ركز على إيجاد طرق بديلة لإدماج تفضيلات متخذي القرار ضمن تخصيص استخدام الأراضي وتحليل الملاءمة.

ومن بين هذه البدائل استخدام أساليب اتخاذ القرارات المتعددة المعايير Multi Criteria (Decision Making) أو أساليب التقييم المتعدد المعايير (Multi Criteria Evaluation) لتحليل القرارات متعددة الأغراض باستخدام أساليب البرمجة الرياضية، وما يعرف بالأمثلية (Optimization).

قدم (Dyer, et al., 1992) استعراضا جيداً للأدبيات حول إتخاذ القرار المتعدد المعايير (MCDM) والتقييم متعدد المعايير (MCE) ويقدم الاتجاهات البحثية المستقبلية.

المرحلة الخامسة : تكرار معارف الخبراء في العملية (الحالة الراهنة).

أما المرحلة الخامسة فتشير إلى دمج الذكاء الإصطناعي (Artificial Intelligence) في تحليل ملاءمة استخدام الأراضي وهي المرحلة الحالية للبحوث في الميدان وتهدف إلى إستخلاص خبرات الخبراء البشريين وضمها في نظام حاسوبي يحل محل الإنسان. وقد شهدت السنوات العشر الماضية تطوير أساليب وأدوات الذكاء الصناعي القادرة على تطبيقها على العديد من المشاكل الجغرافية العملية. واتسمت هذه التطورات بإزدياد الإقبال والأهتمام بالإبتكارات الخاصة بالذكاء الصناعي. وعلى الرغم من أن إستخدام الذكاء الاصطناعي (AI) في التخطيط والجغرافيا كان في مهده، إلا أن هناك أمثله قليلة عليه وتشمل الامثله الاولى علي

تطبيق تكنولوجيا الذكاء الاصطناعي في الجغرافيا وتخطيط استخدام الأراضي استخدام عمليات البحث الاستدلالية (Heuristic Search Processes)، ونظم الخبراء (Expert Systems)، والحوسبة العصبية (Neurocomputing)، والبرمجة الوراثية (Genetic Programming) (Michael et al., 2001).

أساليب تحليل الملاءمة المستندة إلى نظم المعلومات الجغرافية :

إن جذور هذا التحليل القائم على نظم المعلومات الجغرافية ترجع إلى تقنيات التراكب المرسومة باليد التي أستخدمها مهندسو المناظر الطبيعية (Landscape) الأمريكيون في أواخر القرن التاسع عشر وأوائل القرن العشرين. ويمكن التمييز بين ثلاث مجموعات رئيسية من أساليب تحليل الملاءمة المكانية القائمة على نظم المعلومات الجغرافية:

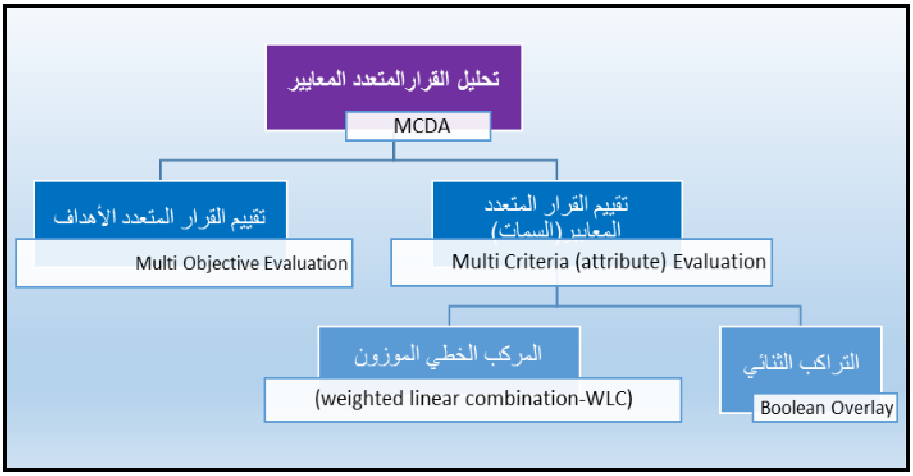
١- خرائط التراكب بمساعدة الحاسب الآلي :

تم تطوير تقنيات التراكب بمساعدة الحاسب إستجابة للقيود التي تفرضها الطريقة اليدوية في رسم الخرائط والجمع بين مجموعات البيانات الكبيرة، فبدلاً من التعيين اليدوي للقيم المتسلسلة لعوامل الملاءمة في المقاييس الرمادية أو الملونة، يتم تخزين النماذج في شكل رقمي كمصفوفات في الكمبيوتر. ويمكن بعد ذلك تحليل خرائط الملاءمة الفردية ودمجها للحصول على خريطة ملاءمة عامة.

٢- تحليل القرار المتعدد المعايير MCDA :

هو العملية التي تجمع البيانات الجغرافية والأحكام للحصول على معلومات لاتخاذ القرارات ويوفر هذا الأسلوب مجموعة غنية من التقنيات والإجراءات لهيكلة مشاكل القرار، وتصميم وتقييم وتحديد أولويات القرارات البديلة. وتنقسم الى قسمين كما في الشكل التالي:

١. **التقييم متعدد الأهداف** (Multi-Objective Evaluation): أحيانا يسمى أيضا بتحليل القرار متعدد الأهداف (MODA)، وهو يعبر عن البحث عن الموقع الملائم بناء على أهداف متعددة على سبيل المثال؛ تحليل أفضل إستخدامات للأراضي (الغابات، الزراعة، السكن، الخ).
٢. **التقييم متعدد المعايير** (Multi Criteria Evaluation): أحيانا يشار إليه أيضا بالتقييم متعدد السمات (multi-attribute evaluation) أو تحليل القرار متعدد السمات (MADA)، ويرتبط التقييم المتعدد المعايير في نظم المعلومات الجغرافية بتخصيص الأراضي لتتناسب مع هدف واحدعلى أساس مجموعة متنوعة من السمات التي ينبغي أن تمتلكها المناطق المختارة. على سبيل المثال؛ تحليل الموقع الملائم للإسكان (هدف واحد محدد). ويتم إجراء هذا التقييم بإحدى طريقتين وهي:



شكل (١) : أقسام تحليل القرار متعدد المعايير MCDA.

أ- **التراكب الثنائي** (Boolean Overlay): التراكب الثنائي هو اسلوب يعتمد على المنطق الثنائي (Boolean Logic) ويستخدم هنا للإشارة إلى أي مسح مكاني في المناطق التي يتم تعيينها بواسطة نظام الأرقام الثنائية البسيطة اما الانتماء لمجموعة معينة أو عدم الانتماء ويتم فيهتحويل جميع بيانات معايير الملاءمة للقرار قيد النظر إلى متغيرات ثنائية (صحيح أو خاطئ)، في كثير من النواحي، يمكن التفكير بشكل مفيد في هذه المتغيرات الثنائية كقيود، لأنها تعمل على تحديد المناطق التي لاتكون مناسبة ولايوجد مجال للنظر فيها. ثم يتم الجمع بين هذه القيود من خلال مركب من مشغل التقاطع intersect (logical AND) أو مشغل الإتحاد union (logical OR). وبما أن هذا النوع من التحليل يهدف للتمييز بين المناطق الملائمة (١) والمناطق الغير ملائمة (٠) فإن الخريطة النهائية ستعبر عن لونين فقط فاللون الأول يعبر عن المناطق الملائمة والثاني عن المناطق غير الملائمة. وهذه العمليات تميل إلى إنتاج حلول متطرفة، اعتمادا على المشغل المستخدم. فعلى سبيل المثال وفي حالة إستخدام المشغل AND؛ إذا كان الموقع لا يستوفي معياراً واحداً فقط ولكنه يستوفي جميع المعايير المتبقية، فإن هذه المنطقة ستصنف على أنها غير ملائمة. وفي المشغل OR في حالة كان هناك عشرة معايير على سبيل المثال ومن بينها ٩ معايير لم تستوفي الشروط ولكن كان هناك معياراً واحداً فقط أستوفى الشرط فإن المنطقة سوف تعتبر على أنها ملائمة (PA Longley, et al., 2017).

ب- **المركب الخطي الموزون** (WLC): عادة ما تسمى المعايير في هذه الطريقة بالعوامل، وتعتمد على المنطق الضبابي بحيث يتم توحيد العوامل إلى نطاق مستمر من الملاءمة على سبيل المثال من ٠ (الأقل ملاءمة للتنمية الحضرية) إلى ١٠٠ (الأنسب) أي أن الخريطة النهائية ستعبر عن درجات لونية متدرجة حسب درجة الملائمة بعكس الخريطة التي تنتج من المنطق الثنائي، يتم التعامل مع القرب من الطرق مثلاً ليس كمنطقة مناسبة ومحددة وأي منطقة خارج الحدود تعتبر غير مناسبة، بل على أنه تعبير مستمر ومتدرج عن الملاءمة وفقاً لمقياس رقمي خاص (على سبيل المثال ٠-١، ٠-١٠٠، ٠-٢٥٥، وما إلى ذلك). عملية تحويل البيانات إلى مثل هذه المقاييس الرقمية هو الأكثر شيوعا و يسمى التوحيد (Standardization) ويتم بعد ذلك إعطاء كل عامل أهمية نسبية تسمى الوزن (Voogd, 2017).

٣- أساليب الذكاء الإصطناعي (AI) :

توضح التطورات الأخيرة في التحليل المكاني أن الذكاء الاصطناعي (Artificial Intelligence) يوفر فرصاً جديدة لتحليل ملاءمة استخدام الأراضي والتخطيط. وعلى نطاق واسع، يتضمن التقنيات الحاسوبية الحديثة (AI) التي يمكن أن تساعد في نمذجة ووصف النظم المعقدة للإستدلال وصنع القرار. المجال الرئيسي للذكاء الاصطناعي هو الحوسبة الناعمة (Soft Computing). ومن هذا المنظور، تسعى (AI) إلى تطوير أنظمة تحاول محاكاة الذكاء البشري دون أن تدرك فهم العمليات الداخلية المستترة داخل هذه الأنظمة.

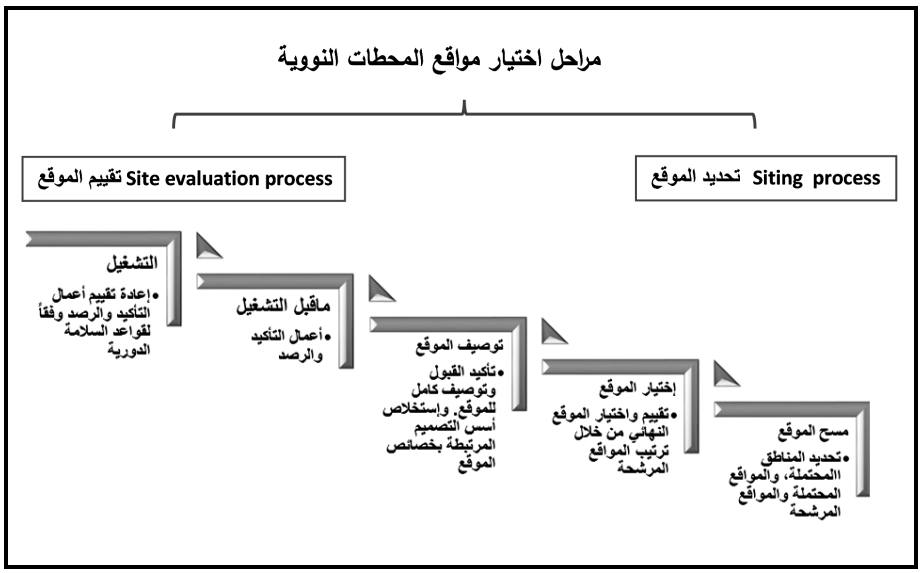
والقاسم المشترك لهذه الطرق وهو ما يختلف مع النهج التقليدي، هو عدم التشديد مع عدم الدقة، والغموض، وعدم اليقين، والحقيقة الجزئية. ويستخدم مصطلح التحليل الجغرافي أحيانا لتغطية هذه التقنيات الجديدة القائمة على الحاسوب لتحليل ونمذجة البيانات الجغرافية وحل المشاكل المكانية (Longley et al., 1998; Openshaw and Abrahart, 2000).

وما يتضح أعلاه تنوع الأساليب وتعددها لذا ينبغي على الباحث إختيار الأسلوب الذي يتلائم مع هدف بحثه على سبيل المثال فإن أسلوب التطابق الثنائي (Boolean Overlay) الذي يندرج تحتتحليل القرار متعدد المعايير (MCDA) يتم إستخدامه في التقديرات الأولى للتعرف على المناطق الملائمة بحيث يحقق تصنيف الأراضي إلى مناطق ملائمة ومناطق غير ملائمة بالإعتماد على معايير الإستبعاد (Exclusionary Criteria) التي يتم تسميتها في هذا التحليل بالقيود (Constraint). بينما في حالة أن البحث يهدف لتحديد الموقع الأمثل فإنه ينبغي على الباحث إستخدام المنطق الضبابي وأسلوب المركب الخطي الموزون (WLC) حيث أنه يعمل على ترتيب منطقة الدراسة بطريقة متسلسلة تبين الأفضلية.

المراحل والمعايير العالمية لإختيار مواقع المحطات النووية والمعتمدة لدى الوكالة الدولية للطاقة الذرية (IAEA):

المراحل :

إن عمليات تحديد المواقع الملاءمة للمحطات النووية تتم من خلال عمليتين رئيسيتين وهي إختيار الموقعوتقييم الموقع (siting and site evaluation) وتنقسم بدورها إلى خمس عمليات وقد تم وضع إطار لمرحلتي إختيار الموقع وتقييم الموقع – كما في الشكل ٢ – وبذلك فإن تحديد الموقع (Siting) يشمل المسح ثم الإختيار.

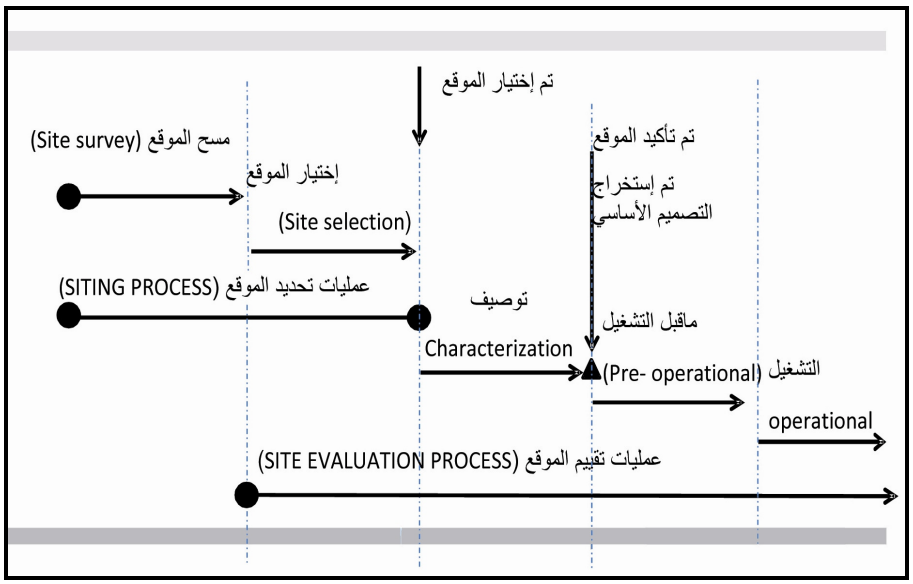


شكل (٢) : المراحل المتسلسلة في عمليتي تحديد الموقع وتقييم الموقع.

المصدر: (IAEA, 2015).

تحديد الموقع Siting : هذه العملية عبارة عن أول مرحلتين من الخمسة مراحل السابق ذكرها وهي عباره عن مرحلة مسح الموقع ومرحلة إختيار الموقع، وفي مرحلة المسح يتم التحقق من مناطق واسعة للعثور على المواقع المحتملة وتحديد واحد أو أكثر كمواقع مرشحة ويتم رفض المواقع الغير مناسبة وبعد ذلك يتم تقييم المواقع المتبقية عن طريق الفحص والمقارنة على اساس السلامة والإعتبارات الأخرى.

تقييم الموقع Site evaluation : تقييم الموقع هو العملية التي تمتد من المرحلة الأخيرة من عملية تحديد المواقع (أي مرحلة تقييم المواقع المرشحة للوصول إلى أفضل موقع) إلى المرحلة التفصيلية المتعلقة بوصف الموقع المحدد لتأكيد صلاحيته ثم توصيف واشتقاق أسسا لتصميم المنشأة النووية المتعلقة بالموقع. وصولاً إلى إستكمال التقييم في مرحلة ما قبل التشغيل للمنشأة أي خلال التصميم والبناء والتجميع والمراحل التجريبية. وأخيراً إلى مرحلة تشغيل المنشأة، وهكذا فإن تقييم الموقع يتم بشكل دوري خلال العمر التشغيلي للمنشأة ليؤخذ في الإعتبار أي تغيرات قد تحدث في خصائص الموقع. والمرحلة الثانية من عمليات تحديد الموقع وهي إختيار الموقع تعتبر جزء من عمليات تقييم الموقع وهي مرحلة متداخلة بين العمليتين كما في الشكل (٣) والشكل (٤).



شكل (٣) : مخطط لعمليتي تحديد الموقع وتقييم الموقع.

المصدر: (IAEA, 2015).

إن عملية تحديد الموقع عبارة سلسلة من الأنشطة المنهجية وتكون تباعاً لتطبيق عدد من المعايير وهذه الأنشطة تتم من خلال ثلاثة خطوات تبدأ من منطقة الدراسة – كما في الشكل ٤ – وتكون على النحو التالي:

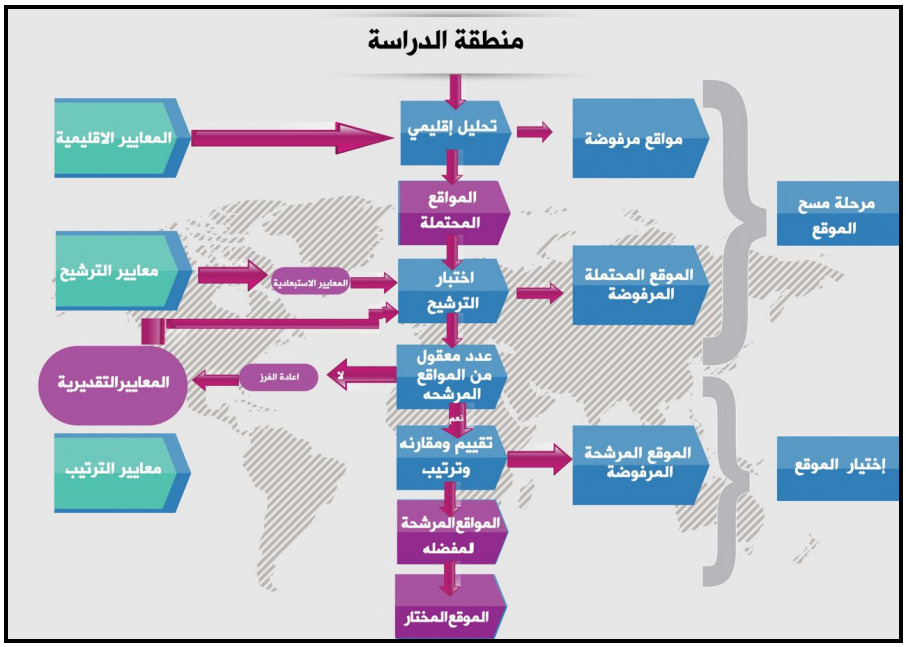
١- **التحليل الإقليمي** Regional analysis : يجب أن تؤخذ جميع المواقع المحتمله في منطقة الدراسة إلى الخطوة التالية وهي (الترشيح) إلا إذا تم إستبعاد أي موقع بتبرير مناسب.

٢- **الترشيح** Screening : في الخطوة الثانية يجري فرز المواقع المحتملة لإختيار المواقع المرشحة. الهدف الرئيسي في هذه الخطوة هو إستبعاد المواقع غير الملاءمة على أساس كل الإعتبارات المتعلقة بالسلامة كذلك إعتبارات أخرى ليس لها علاقة بالسلامة والتي سيرد ذكرها في الجدول رقم (١).

٣- **التقييم والمقارنة والترتيب** Evaluation, Comparison and Ranking: بعدما تم الخروج بالمواقع المرشحة يتم إجراء عمليات التقييم والمقارنة والترتيب والغرض هذه العمليات ذو شقين:

أ- لتقييم المواقع من أجل ضمان عدم وجود أي مظاهر (في المواقع أو في المناطق المحيطة بها) التي من شأنها أن تحول دون بناء وتشغيل المنشأة النووية.

ب- لمقارنة المواقع المرشحة وترتيبها حسب أفضليتها بوصفها مواقع محتملة.حيث أنه في الدراسة المفصلة في مرحلة توصيف الموقع؛ قد يتم العثور على موقع سبق ترشيحه ولكن تم الإكتشاف في مراحل متقدمه أنه غير مناسب وبالتالي تم إستبعاده. ومن أجل مراعاة مثل هذه الحالات ينبغي أن توضع المواقع المرشحة في ترتيب الأفضلية للسماح لإختيار موقع بديل يحتمل أن يكون مناسب.



شكل (٤) : مخطط للإنشطة المتبعة لإختيار الموقع الملاءم لمحطات توليد الكهرباء بالطاقة النووية.

المصدر: (IAEA, 2015).

إختيار الموقع للمنشأة النووية سوف يكون من قائمة المواقع المرشحة، ويتم الإختيار النهائي من قبل جهة حكومية أو المُشغِل للمنشأة المرخص له. مع مساهمات مع أصحاب الشأن المعنيين.

المعايير:

تُعطي معايير تحديد الموقع الأساس الذي يتم إتخاذ القرار بناء عليه وذلك بفحص سمات الموقع في الخطوات المختلفة وهي مرتبطة بالأحداث والظواهر والمخاطر البيئية والعديد من الإعتبارات الأخرى التي تؤثر على المنشأت النووية. وينبغي أن يكون هناك ثلاثة فئات من معايير تحديد الموقع على النحو التالي:

١- **المعايير الإقليمية** (Regional criteria): ترتبط المعايير الاقليمية بشكل عام بسياسات متعلقة بالدولة. ويجب أن تكون القيود الفنية (توافر مياه التبريد) من الإعتبارات الهامة للتحليل الإقليمي .ينبغي ان تحدد المعايير الاقليمية جميع المواقع المحتملة الممكنة والتخلص من أي موقع غير ملائم.

٢- **معايير الترشيح** (Screening criteria): ينبغي إجراء فرز المواقع المحتملة بإستخدام نوعين من المعايير.

أ. معايير الاستبعاد (Exclusion criteria): تستخدم للتخلص من المواقع الغير مقبولة على أساس السمات المرتبطة بالقضايا والأحداث والظواهر والمخاطر التي لاتوجد لها حلول هندسية ممكنة وتستخدم للخروج بالمناطق المرشحة.

ب. معايير تقديرية (Discretionary criteria): تستخدم هذه المعايير عند وجود عدد كبير من المواقع المرشحة التي نتجت من تطبيق معايير الإستبعاد ويتم من خلال المعايير التقديرية الفرز المتكرر لإستبعاد المواقع الأقل إيجابية وذلك لتسهيل عملية الإختيار. والمعايير التقديرية مرتبطة بالقضايا والاحداث والظواهر والمخاطر التي لها حلول هندسية وقائية متاحة.

٣- **معايير الترتيب** (Ranking criteria): ينبغي أن توضع المواقع المرشحة في ترتيب الأفضلية من خلال عمل المقارنة والترتيب بإستخدام معايير الملاءمة الترتيبية.

يقدم الجدول رقم ١ المعايير التي ترتبط مع مختلف القضايا المتعلقة بعملية تحديد المواقع:

جدول (١) : معايير تحديد مواقع المحطات النووية.

المعيار			الفئة			الترتيب
			إستبعادية (Exclusionary)	التوشيح (Screening)	تقديرية (Discretionary)	(Ranking)
أولي (Primary)	الزلازل	اهتزاز الأرض			✓	✓
		تمزق السطح	✓			
		عدم استقرار المنحدرات – الانهيارات الأرضية المدمرة (massive landslide)	✓		✓	✓
	المخاطر الجيوتقنيه	الانهيارات الأرضية الطفيفة (minor)			✓	✓
		الهبوط	✓			✓
		تسيّل تربه (liquefaction) مدمر			✓	✓
		تسيّل تربه			✓	
		كارست (Karst) مدمره	✓			
	مخاطر البراكين	تدفق الصخور المنصهرة (Lava flow)	✓			
		تدفق السحابة المكونة من الرماد الساخن والغازات والصخور (Pyroclastic flow)	✓			
		تشوه الأرض (Ground deformation)	✓			
		سقوط الغبار البركاني(Tephra fall)			✓	✓
		الغازات البركانية			✓	✓
	الفيضانات	انهيارات طينية بركانية ضخمة (Lahars)	✓			
		الأنهار			✓	✓
		تحطم السدود (Dam break)			✓	✓
		السواحل (فعل العواصف، الأمواج..الخ)			✓	✓
		التسونامي			✓	✓
	أحداث الأرصاد الجوية المتطرفة	الرياح الشديدة (High straight winds)			✓	✓
		الأعاصير (Tornados)			✓	✓
		العواصف الاستوائية (Tropical storms)			✓	✓
		الأمطار			✓	✓
		العواصف الرملية والعواصف الترابية			✓	✓

تابع جدول (٢) : معايير تحديد مواقع المحطات النووية.

المعيار		الفئة		
		الترشيح (Screening)		الترتيب
أولي (Primary)	النوع (Type)	إستبعادية (Exclusionary)	تقديرية (Discretionary)	(Ranking)
الأحداث الناجمة عن النشاط البشري	تحطم الطائرات		✓	✓
	الإنفجارات		✓	✓
	إطلاق الغاز		✓	✓
	الحرائق الخارجية		✓	✓
	التداخل الكهرومغناطيسي		✓	✓
أحداث الأمن النووي			✓	✓
التشتت	في الماء والهواء		✓	✓
إمكانية تنفيذ خطة الطوارئ		✓		
تنفيذ خطة الطوارئ			✓	✓
معايير غير متعلقة بالسلامة	الطوبوغرافيا		✓	✓
	توافر مياه التبريد	✓		
	الحصول على المياه		✓	✓
	الحصول على شبكة كهرباء محلية أو إقليمية		✓	✓
	الآثار البيئية غير الإشعاعية	✓		
	الآثار الاجتماعية والاقتصادية		✓	✓
	تخطيط استخدام الأراضي		✓	✓

المصدر: (IAEA, 2015)

نماذج تطبيقية لتحليل الملائمة المكانية لمحطات الطاقة النووية :

تعتبر نظم المعلومات الجغرافية أداة تحليل مكاني فاعل يساهم في دعم إتخاذ القرار لإمكانياتها التقنية في معالجة وتحليل كم هائل من المعلومات المكانية والوصفية التي تهدف الى التحقق من الملاءمة المكانية للمشروعات المختلفة وأثبتت فعاليتها في تحقيق هذا الهدف كذلك جرى توظيفها في ترشيح وإختيار المناطق الملائمة للمحطات النووية على وجه الخصوص، وفيما يلي مراجعة لبعض دراسات الملاءمة المكانية لمحطات توليد الكهرباء بالطاقة النووية بإستخدام نظم المعلومات الجغرافية.

في الولايات المتحدة الأمريكية ومن منطلق التوجه نحو إنتاج ٣٠٠ غيغا واط من الكهرباء بالطاقة النووية بحلول عام ٢٠٥٠ قام (Mays et al., 2012) بتطبيق نمذجة البيانات المكانية ونظم المعلومات الجغرافية (GIS) لتحديد المواقع المحتملة لهذه المحطات وقد تم جمع البيانات من الهيئات والمنظمات ومختلف الجهات وتحديد معايير إستبعاد وهي كالتالي (يتم استبعاد الأراضي ذات الكثافة السكانية التي تزيد عن ٥٠٠ نسمة لكل ميل مربع بما في ذلك منطقة عازلة (Buffer) ٢٠ ميل، يتم استبعاد الأراضي القريبة جداً من خطوط الصدوع، يتم إستبعاد الأراضي المحمية المتمثلة في (محميات الحياة البرية، المناطق التاريخية، المنتزهات الوطنية)، يتم استبعاد الأرض ذات الانحدار أكبر من ١٢٪، يتم استبعاد مناطق الإنهيار الأرضي والتي تكون بدرجة خطورة معتدلة أوعالية، يتم إستبعاد الأراضي الرطبه (Wetlands)، يتم استبعاد المناطق التي تبعد أكثر من ٢٠ ميلا من مصدر مياه التبريد، يتم تجنب الأراضي التي تقع بالقرب من المرافق الخطرة. وقد أعتمد الباحث على أسلوب المنطق الثنائي (Boolean Logic) في إعداد الطبقات الفردية وفي النهاية تم إنتاج خريطة نهائية تقسم الموقع إلى أربع فئات وتظهر المناطق التي لايوجد فيها تحديات أي المناطق الملاءمة باللون الأخضر، الفئة الثانية تمثل مناطق هامة ولكن يوجد تحدي واحد فقط والمناطق بالبرتقالي يوجد بها إثنان من التحديات والمناطق الحمراء تمثل ثلاثة وأكثر من التحديات في عملية تحديد المكان الأمثل. وتمثل المنطقة الخضراء ٢٢٪ من الولايات المتحدة.

وفي دراسة (Abdel-Latif, 2012) عن مقارنة أداء مختلف نماذج إتخاذ القرار المكاني في تحديد مكان انشاء محطة نووية في المملكة العربية السعودية. تم تحديد المنطقة الشرقية كمنطقة للدراسة وأستخدم الباحث جزء من المعايير وهي إحدى عشر عامل وأربعة من القيود. وأستعرضت هذه الدراسة تطبيقنوعين من نماذج اتخاذ القرارات المكانية في بيئة نظم المعلومات الجغرافية لتحديد المواقع المثلى لمحطات الطاقة النووية. ويسعى النموذج إلى تحديد الموقع الأكثر جدوى والذي يتوافق مع الاشتراطات المعيارية للوكالة الدولية للطاقة الذرية، وكذلك بعض العوامل المضافة من قبل الباحث والمقرر أن يكون بها المفاضلة بين مختلف المواقع. ثم تم الجمع بين هذه العوامل

بإستخدام أساليب مختلفة وهي تقنيات التراكب الموزون باستخدام أسلوب التحليل الهرمي (AHP)، ونموذج التراكب الثنائي (binary overlay)، وأخيراً تشغيل مخرجات النموذجين ومقارنتها.

وفي الصين أجرى (Yun-na et al., 2012) دراسة عن إختيار المكان الأمثل للمحطات النووية بالإستناد على التقييم الشامل الضبابي، قيم الباحثين بالإعتماد على أربعة أنواع من العوامل أولا فيما يخص الجدوى الفنية وهي تتكون أربعة فئات (الموقع، شبكة الكهرباء، المياه، المنشأت الصناعية) ثانياً عوامل الأمان والموثوقية للموقع وثالثاً العوامل المتعلقة بخصائص الموقع التي تحقق التوافق البيئي ورابعاً عوامل الجدوى الإقتصادية. وقد قامت منهجية هذه الدراسة على مراجعة الأدبيات السابقة، وإستبيان دلفي (Delphi questionnaire)، وتحليل العوامل (AHP)، والتقييم الضبابي (fuzzy synthetic evaluation).

وفي ماليزيا أجرى (Idris and Abd Latif, 2012) دراسة أستخدمت نظم المعلومات الجغرافية المتعددة المعايير لإختيار موقع محطة الطاقة النووية تركز هذه الدراسة على دور التحليل الهرمي (AHP) في تحديد افضل موقع للمحطة النووية، وقد اختيرت ولاية باهانجك موقع دراسة بسبب أن تضاريسها تلبي معظم المعايير. تم إعتبار سبعة معايير في التحليل وهي الكثافة السكانية، المناطق المحمية، القرب من النهر، الطوبوغرافيا، استخدامات الأراضي، البنية التحتية للكهرباء وملكية الأراضي. وأظهرت نتائج تقييم مدى ملائمة الموقع أن الموقع E الموجود في أولودونغ كان أكثر المناطق ملائمة لتحديد موقع محطة الطاقة النووية، حيث يغطي مساحة ١٠٠٦٣,٨٦ فدانا أو ٣٨٪ من المساحة الكلية وعلاوة على ذلك توفر الخريطة الأساس الذي يعتمد عليه صناع القرار لتحديد موقع محطة للطاقة النووية.

وفي ولاية كاليفورنيا بالولايات المتحدة الأمريكية يقلق البعض من حدوث كارثة نووية لنشاط المنطقة الزلزالي وقربها من المحيط ومع ذلك لايزال هناك حاجة للطاقة النووية كونها مصدرا نظيفاً يلبي إحتياجات المنطقة من الكهرباء وفي هذا الشأن أجرى (Goldfarb, 2013) دراسة تهدف الى تقييم مواقع المفاعلات النووية الحالية والماضية في الدولة استناداً إلى عدد من العوامل والأخذ بالاعتبار المخاطر التي تهدد هذه المحطات. وبالإضافة إلى ذلك، تم إقتراح المواقع الملائمة لبناء المفاعلات النووية المستقبلية بغض النظر عن الإخطار التي قد قدمت نفسها في اليابان، والحوادث التاريخية الشهيرة، فإنه لايزال من المهم النظر في استخدام الطاقة النووية في المستقبل وذلك بعدما يتم التحقق من الملاءمة المكانية وبالنظر الى العديد من المعايير وقد تم إعتبار ٣ فئات رئيسية من المعايير وهي الحوادث والظواهر الطبيعية، والتغيرات الجيولوجية الناجمة عن النشاط البشري، والبنية التحتية. وأظهرت الخريطة مواقع جيدة للبناء في شمال الولاية وأظهر التحليل أن مواقع المحطات الماضية والحالية تعتبر جيده وفقاً لخريطة المخاطر التي تم إنشائها، على الرغم من أن

"منطقةالخليج" تظهر كمنطقة ساخنة، إلا أن المفاعلات في هذه المنطقة هيمفاعلاتللبحث، أما مفاعلات توليد الطاقة الموجودة فإنها ليست بالكبيرة.

وفي مصر أجرى (Abudeif et al., 2015) دراسة عن تحليل القرار متعدد المعايير بناء على عملية التحليل الهرمي في بيئة نظم المعلومات الجغرافية لتحديد موقع محطة للطاقة النووية. تم إعتبار ستة قيود (Constraints) واثنان وعشرون من العوامل (Factors) تتعلق بالسلامة والبيئة والعوامل الإجتماعية والإقتصادية في دراسة تحديد موقع المحطة النووية، وقد تم تطبيق تحليل القرار متعدد المعايير بإستخدام برامج نظم المعلومات الجغرافية وطبق في هذه الدراسة ثلاثة نماذج إتخاذ القرارات المكانية خلال مرحلة إختيار الموقع. واستُخدِم أسلوب التطابق الثنائي أولاً لتحديد المناطق المرشحة ومثلت كل القيود في خرائط ثنائية متراكبة وأنشأت طبقة إخفاء (Masking Layer) لإستبعاد المناطق التي تنطبق عليها القيود ثم بعد ذلك تم تمثيل إثنان وعشرون من العوامل في خرائط مشتقة بعد توحيد كلاً منها بإستخدام أسلوب المركب الخطي الموزون (WLC) ومثلت الخريطة المركبة النهائية بعدد من المضلعات المنتجة في الوظيفة الإضافية مفتوحة المصدر (تحليل القرار متعدد المعايير MCDA). وكان هناك أربعة مواقع تم أختيارها كمواقع مرشحه تقع في الشمال الغربي وساحل البحر الأحمر، وذلك بعد إستبعاد المواقع الأقل تحقيقاً للمعايير، وقد تم إستخدام عملية التحليل الهرمي (AHP) لتحديد الموقع الملائِم وترتيب المواقع حسب الأفضلية وعُثِر على منطقة الضبع لتكون الأكثر ملائمة يليها موقع شرق النجيله على البحر الأبيض المتوسط.

في إيران أجرى (Hamidreza et al., 2015) دراسة عن تحديد موقع لمحطة الطاقة النووية بإستخدام GIS تم فيها تطبيق طريقة المركب الخطي الموزون (Weighted Linear Combination-WLC) لتحديد المواقع المثلى لمحطات الطاقة النووية في محافظة هرمزكان الواقعة على مضيق هرمز والهدف من النموذج في هذه الدراسة هو تحديد الموقع الأكثر جدوى الذي يتوافق مع الإشتراطات المعيارية للوكالة الدولية للطاقة الذرية، وبعض العوامل التي أضافها الباحثون، ثم الجمع بينها بإستخدام تقنيات المركب الموزون بإستخدام أسلوب التحليل الهرمي وهو الأسلوب الذي يساعد في اتخاذ أفضل القرارات من خلال إجراء المقارنة الموضوعية بين عدد من البدائل وفقاً لمعاييرمعدة مسبقاً. وقد نوقش العديد من النقاط الفنية للنموذج المكّون أهمها ١. تحديد أوزان المعايير ٢. مقارنة معايير مختلفة ٣. وظيفة التطابق. وكان من أهم نتائج الدراسة هي عملية جمع البيانات حيث قام الباحثين بتفتيش دقيق للبيانات المتاحة عن منطقة الدراسة وأسفرت جهودهم عن بناء قاعدة بيانات جغرافية تغطي المنطقة بما يشمل معظم البيانات المطلوبة وفقاً لمتطلبات التقييم المعتمدة لدى الوكالة الدولية للطاقة الذرية وقد تم الحصول على أوزان العوامل بإستخدام عملية التحليل الهرمي AHP ومن ثم تصديرها في أدوات التطابق الموزون الموجودة في Toolbox

لبرنامج Arc Map. وكان هناك اثنان من القيود وعشرة من العوامل المدخلة في النموذج. وقد تم إنتاج خريطة الملاءمة المكانية والتي جزئت منطقة الدراسة إلى أربعة مناطق وهي (غير ملائمه، وملائمه نسبيه، ملائمة متوسطة، ملائمه).

وفي البرازيل وإنطلاقاً من خطة الطاقة البرازيلية (PNE, 2030) حيث وجهت الحكومة في صياغة استراتيجيتها للتوسع في إمدادات الطاقة بحلول عام ٢٠٣٠ والتي تم فيها تسليط الضوء على حاجة النظام الكهربائي البرازيلي لأكثر من ٤٠٠٠ ميجاوات من مصادر نووية بحلول عام ٢٠٢٥ قدم (Vivian et al., 2015) دراسة عن عملية اختيار الموقع لمحطات الطاقة النووية – كوسيلة لدعم عملية إتخاذ القرار وتحسين المشاركة العامة. وعرض الباحثون في هذه الدراسة لمحة عامة عن عملية اختيار الموقع ومراحلها، والمعايير العاملة في كل خطوة، والأدوات التي يمكن إستخدامها في دعم القرار والصعوبات في تطبيق الإجراءات المتصلة بإتخاذ القرار. ونوقش أيضا السبل لجعل العملية أكثر شفافية وديمقراطية، وزيادة إشراك العامة باعتبارها وسيلة لتحسين القبول والحد من المعارضة من مختلف قطاعات المجتمع، في محاولة للحد من النفقات والوقت الذي يتطلبه تنفيذ المشاريع من هذا النوع. كما نوقش العنصر المكاني القوي في هذا النوع من الدراسات لإشتمالهاعلى مجموعة من البدائل (مواقع) محددة جغرافياً والتي يتم الإختيار فيما بينها وفقاً لمعايير تقييم وهذه المعايير ترتبط مع الكيانات الجغرافية والعلاقات بينهما، وبالتالي فإنها تمثل على شكل خرائط وفقاً لهذه المعايير، ومن جهة أخرى فإن إستخدام نظم المعلومات الجغرافية مفيد و يمكن إستخدامها كنظام داعم لإتخاذ القرار (System to Support Decision Making-SDM)، ويشمل إدماج البيانات ذات المرجعية المكانية في بيئة تتسم بحلال مشاكل، ويمكن إعتبارها كقاعدة بيانات رقمية لأغراض محددة تشترك بنظام إحداثيات موحد. وهذه النظم تسمح بدمج مجموعة واسعة من التقنيات الجغرافية مثل الإستشعار عن بعد، ونظام تحديد المواقع العالمي (GPS) والتصميم بمساعدة الكمبيوتر (CAD)، ولديه القدرة على تنفيذ العديد من المهام باستخدام البيانات المخزنة ويمكن دمجها مع التقنيات والدعم التحليلي لإتخاذ القرار. وناقش الباحثون تحليل القرار المكاني المتعدد المعايير (Spatial MultiCriteria Decision Analysis) وما يمر به من سلسلة من الأنشطة تبدأ بتعريف المشكلة ثم تقييم المعايير ثم خرائط المعايير والتي تمثل طبقه لكل معيار ثم وزن المعايير أي التعبير عن أهمية كل معيار بالنسبة لغيره من المعايير والخطوة الأخيرة هي الحكم بالقرار. ومن أهم القضايا التي ناقشتها هذه الدراسة هي ما يتعلق بإشراك الأطراف المعنية وأصحاب المصلحة وهم متخذي القرار بالإضافة الى جميع من قد يتأثر سواء بطريقة مباشرة أو غير مباشره بنتائج المشاريع النووية المحتملة. وخصوصا بعد أحداث جزيرة ثريمايلو تشيرنوبل، ومؤخراً فوكوشيما التي جذبتإهتمامالمجتمعبالقضاياالنووية. حيث أن قضايا تحديد الموقع لبناء محطة للطاقة النووية لم

تعد تنفذ في مجتمع مغلق من الفنيين والتنفيذيين. بل ينبغي لجميع أصحاب المصلحة من أن يعطوا فرصة المشاركة بصورة فعالة. وهذه المشاركة ستعملعلىتحسين عملية صنع القرار، وكذلك تعزيز المصلحة المشتركة في ضمان سلامة المنشآت النووية، وقد أظهرت التجربة في المجتمعات الديمقراطية أن بناء محطة نووية جديدة ليس ممكناً من دون تقبل السكان على الأقل السكان الذين قد يتأثرون بصورة مباشرة من هذه المحطات.

وفي إيران أجرى (Barzehkar et al., 2016) دراسة تسعى لاختيار موقع محطة الطاقة النووية في المنطقة الساحلية من مقاطعة غيلان (سحر خيز)، وذلك بالنظر الى الإمكانيات الطبيعية والقيود في المنطقة بالإضافة إلى اللوائح التنظيمة التي حددتها الوكالة الدولية للطاقة الذرية، كانت المعايير الإيكولوجية والاجتماعية والاقتصادية الهدف الرئيسي لهذه الدراسة، واستخدمت طريقة المنطق الثنائي (Boolean logic) في إعداد خرائط الطبقات وتحديد المناطق المختارة، تم تطبيق الأسلوب المنطق الضبابي (fuzzy logic) إستناداً إلى المركب الخطي الموزون (WLC) لاختيار موقع محطة الطاقةالنووية الجديدة.

وفي تركيا أجرى (Zeki and Cevdet, 2017) دراسة تهدف الىوضع منهجية للكشف عن المناطق المناسبة في أدرنة، باستخدام نظم المعلومات الجغرافية (GIS) عن طريق التحليل المكاني على أساس معايير الترشيح (screening criteria) وُيعتبر إدراج الطاقة النووية كمصدر للطاقة هو أمر بالغ الأهمية بالنسبة لتركيا لتلبية الطلب المتزايد على الكهرباء والحد من المخاطر الناجمة عن الاعتماد على الوقود المستورد. وبالإضافة إلى ذلك، يتم إدخال الطاقة النووية بوصفها "طاقة وطنية" لتعزيز الدوافع السياسية والدعم العام ضد الاعتماد على الغاز الطبيعي المستورد. واقترح في هذه الدراسة إنشاء محطة للطاقة النووية تحتوي على أربعة مفاعلات. وتتطلب محطات الطاقة النووية نظاما خاصا للسلامة، خلاف الغيرها من محطات توليد الطاقة والمواقع الصناعية. يبدأ نهجا لسلامة بالعمل التحليلي لاختيار الموقع والتقييم. وينبغي تقييم المعايير القائمة على هذا النهج ليس فقط في مرحلة التشييد والتشغيل وإيقاف التشغيل، ولكن أيضا أثناء عملية اختيارالموقع. تم اختيار القرب من الفوالق، الزلازل، وتوافر مياه التبريد، والسكان، والفيضانات، والطوبوغرافيا، والمحميات البيئية، والقرب من الحدود الوطنية، والشبكة الكهربائية، وفرص النقل، والمرافق الخطرة كمعايير ترشيح. وتم تقييم المقاطعة بأكملها بمعايير الترشيح في نظم المعلومات الجغرافية واقترحت خمسة مواقع مرشحة. تم تطبيق طريقة المركب الخطي الموزون (WLC) لدعم عملية اتخاذ القرار. وكشفت الدراسة أن هناك بعض المواقع المناسبة لتطوير مشروع محطة للطاقة النووية في الساحل الجنوبي من أدرنة وبعض المناطق في نهر إرجين.

الخلاصه :

تبين مما سبق دور نظم المعلومات الجغرافية في تحديد المواقع الملائمة للمحطات النووية، وأختلفت في معاييرها المستخدمة وأساليبها ولكنها قدمت الأسس لإختيار الأسلوب المناسب وأفادت بملائمة أسلوب المنطق الثنائي (Boolean Logic) في التقديرات الأولية لترشيح المناطق الملائمة بالإعتماد على معايير الإستبعاد (القيود) بحيث يتم عمل تصفية أولية لإستبعاد المناطق التي تحول دون بناء محطة الطاقة النووية مما يؤدي إلى تقليص منطقة الدراسة وبالتالي يمكن تنفيذ أساليب أكثر تعقيد وبمعايير أكثر دقة وهذه المعايير تحتاج إلى جمع قدر كبير من البيانات فبعد تقليص منطقة الدراسة يمكن الأخذ بالنوع الثاني وهي المعايير التقديرية والتي تسمى بالعوامل وتستخدم بالإعتماد على المنطق الضبابي (Fuzzy Logic). وعليه فإن هذه الدراسات تقدم منهجية تطبيقية تدعم الدراسات المستقبلية، إلا أن هناك مأخذ على بعض هذه الدراسات حيث وضعت عنواناً يعبر عن إختيار الموقع الأمثل للمحطات النووية (Site Selection) وعند الإطلاع على المعايير المتبعةيتضح إستخدامهم لمعايير عامة تعبّر عن ترشيح مناطق (Candidate Area) وليست المعايير الخاصة بإختيار موقع محدد وبحسب المعايير الدولية الصادرة عن الوكالة الدولية للطاقة الذرية فإن هناك معايير للترشيح (Screening Criteria) ينتج منها مناطق مرشحة ومعايير للترتيب والمفاضلة (Ranking criteria) ينتج منها أختيار الموقع الأمثل. ولكن في العديد من الدراسات تؤخذ معايير عامة تعتبر من معايير ترشيح المناطق الملائمة ويشير الباحث أنه توصل للموقع الأمثل وهذا غير منطقي حيث أن الموقع الأمثل لا يتم تحديده إلا بالإعتماد على ما لايقل عن ٣٧ معيار، لذلككان من الصواب لو تم وضع الهدف والعنوان بصياغة تعبر عن المعايير المتبعة. إلا أن هناك دراسات نموذجية مثل دراسة (Abudeif et al., 2015) حيث بدأ الباحث بتطبيق معايير الإستبعاد بإستخدام Boolean Logic ثم أنتقل إلى معايير المفاضلة وأجرى التحليل بإستخدام Fuzzy Logic، كما أن دراسة (Mays et al., 2012) من الدراسات الجيدة لانها حددت الهدف وهو ترشيح (المناطق) التي يمكن من خلالها إختيار (المواقع) وأشارت في العنوان الى أختيار المواقع (المحتملة) كما أن الباحث استخدم أسلوب Boolean Logic وهو الأسلوب الملائم لهدف الدراسة.

المراجـــع

أولاً : المراجع غير العربية.

١. رضا عبدالسلام، (٢٠٠٩). الطاقة النووية وأهداف التنمية المستدامة لدول مجلس التعاون. الإمارات العربية المتحدة: مركز الإمارات للدراسات والبحوث الإستراتيجية.

٢. محمد علي رجب السيد، (٢٠١٥). نظم المعلومات الجغرافية الحديثة GIS. مصر: دار الوفاء لدنيا الطباعة والنشر.

٣. نعمان سعد الدين النعيمي، (٢٠١٥). الطاقة النووية للبلاد العربية للكهرباء وتحلية المياه المالحة والإرتقاء بالقدرات العلمية والتكنولوجية. الأردن: دار الأيام للنشر.

ثانياً : المراجع غير العربية.

1. Abdel-Latif, A. (2012). Comparing Different Spatial Decision Making Models Performance in Siting a Nuclear Power Plant. GIS Conference.
2. Banai, R. (1993). Fuzziness in geographical information systems: contributions from the analytic hierarchy process. International Journal Geographical Information Systems, 315-329.
3. Comby, B. (2017, 2 25). The Benefits of Nuclear Energy. Retrieved from EFN - Environmentalists For Nuclear: http://ecolo.org/documents/documents_in_english/BENEFITS-of-NUCLEAR.pdf
4. Dyer, J. S., P. C. Fishburn, R. E. Steuer, J. Wallenius, and S. Zionts. (1992). Multiple criteria decision making, multiattribute utility theory: the next ten years. . Management Science , 645–654.
5. Goldfarb, A. (2013). Regional-Scale Analysis of Nuclear Reactor Site Locations in the State of California. Geological Applications of GIS.
6. Goodchild, M. F., B. Parks, and L. Steyaert. (1993). Environmental Modeling with GIS. New York: Oxford University Press.
7. Hopkins, L.D. (2010). Methods for Generating Land Suitability Maps: A Comparative Evaluation . Journal of the American Planning Association.
8. IAEA. (2015). Site Survey and Site Selection for Nuclear Installations (Vol. IAEA Safety Standards Series). Vienna: IAEA.
9. Jankowski, P. (1995). Integrating geographical information systems and multiple criteria decision-making methods. Geographical information Systems, Vol. 9, 251-273.
10. Lyle, J., and F. Stutz. (1983). Computerized land use suitability mapping. Cartographic Journal, 39-49.
11. Malczewski, J. (2004). GIS-based land-use suitability analysis: a critical overview. Progress in Planning, 3–65.
12. McHarg, I.L. (1969). design with nature. New York.: Published for the American Museum of Natural History [by] the Natural History Press.

13. Michael G. Collins, Frederick R. Steiner, Michael J. Rushman (2001). Land-Use Suitability Analysis in the United States: Environmental Management.
14. PA Longley, MF Goodchild, DJ Maguire, and DW Rhind (2017, 10 21). New Developments in Geographical Information Systems: Principles, Techniques, Management and Applications. Retrieved from gisteac: https://www.geos.ed.ac.uk/~gisteac/gis_book_abridged/
15. Tyrwhitt, J. (1950). Town and Country Planning. Architectural Press: London.
16. Voogd, J. (2017, 11 28). Multicriteria evaluation for urban and regional planning. Retrieved from ipcbee.: https://pure.tue.nl/ws/files/3744610/102252.pdf
17. Yang, Z. (2013). Using GIS to Determine Wind Energy Potential in Minnesota, USA. Papersin Resource Analysis.
18. Zadah, L.A. (1965). Fuzzy Sets, USA. Information and Control.
19. Zeki Mehmet Baskurt, Cevdet Coskun Aydin. (2017). Nuclear power plant site selection by Weighted Linear Combination in GIS environment, Edirne, Turkey. (Progress in Nuclear Energy).

Spatial Suitability Analysis in GIS: Concepts, Historical Development, and Methods Used
A Case Study Sites Suitable for Nuclear Power Plants

ABSTRACT

Due to negative effects of fossil fuels on life as well it is a depleted source;many countries are turning to renewable and clean energy sources. With diverse sources such as solar, wind and Geothermal energy, but there are some initial obstacles due to their low and fluctuating productivity and therefore the nuclear energy is the source of economic reliability and dependable As a stable and secure source of energy. The International Atomic Energy Agency (IAEA) has established requirements and standards to ensure the safe use of nuclear plants, and in its publications, recommended the use of geographic information systems in the planning of nuclear Power plant (NPP) sites. In this regard, geographic information systems play an important role by providing the potential for building and processing databases the analyses that result from the analysis will support spatial decision-making on the sites suitable for NPP.This paper provides a review of spatial suitability analysis, methods and origins and addresses global standards to choose the location of nuclear plants and the stages in which they are carried out and to review the most relevant literature. The need for such a paper is growing as many Arab countries are heading towards nuclear energy while absence the Arab studies dealing in this field. And thereby these paper provide the Arab scholar and reader with a theoretical reference in support of their research.

Key Word: Geographic Information System,Spatial Suitability Analysis, Multi Criteria Decision Analysis, Siting Nuclear Power Plant.