Journal of King Abdulaziz University: Arts and Humanities

Volume 33 | Issue 4 Article 8

8-31-2025

Developing a multi- criteria model using GIS aimed to select the optimal location to build solar power plants in Madina region

Nasser bin Saeed Al-Zabnah
King Khalid University, naalzabnh@kku.edu.sa

Afnan Abdul Aziz Al-Haddad
Taibah University

Saleh Taher Daqamseh
Taibah University

Follow this and additional works at: https://kauj.researchcommons.org/jah

Part of the Arts and Humanities Commons

Recommended Citation

Al-Zabnah, Nasser bin Saeed; Al-Haddad, Afnan Abdul Aziz; and Daqamseh, Saleh Taher (2025) "Developing a multi- criteria model using GIS aimed to select the optimal location to build solar power plants in Madina region," *Journal of King Abdulaziz University: Arts and Humanities*: Vol. 33: Iss. 4, Article 8.
DOI: https://doi.org/10.64064/1658-4295.1044

This Article is brought to you for free and open access by King Abdulaziz University Journals. It has been accepted for inclusion in Journal of King Abdulaziz University: Arts and Humanities by an authorized editor of King Abdulaziz University Journals.

مجلة جامعة الملك عبدالعزيز: الآداب والعلوم الإنسانية، م (٣٣)، ع (٤)، ص ص: ١٩٣ – ٢٢٧، (٢٠٢٥م)
DOI: 10.64064/1658-4295.1044

بناء نموذج متعدد المعايير لاختيار الموقع الأمثل لإنشاء محطات الطاقة الشمسية في المدينة المنورة باستخدام نظم المعلومات الجغرافية

ناصر بن سعيد آل زبنه [١]

افنان عبد العزيز الحداد [٢]

صالح طاهر دقامسة [٣]

جامعة الملك خالد[١]
naalzabnh@kku.edu.sa
جامعة طيبة [٢، ٣]

الملخص

الأهداف: تهدف هذه الدراسة إلى بناء نموذج متعدد المعايير لاختيار الموقع الأمثل لإنشاء محطات طاقة شمسية في المدينة المنورة، كما تسعى للكشف عن أهم المعايير، ونسبة تأثير وزني لكل معيار لإنشاء محطة طاقة شمسية في منطقة الدراسة من خلال تطبيق أسلوب نظم المعلومات الجغرافية (Mulity criteria analysis)في تحديد أنسب المواقع لإنشاء محطة طاقة شمسية. وذلك باستخدام حزم برامج نظم المعلومات الجغرافية على برنامج ARCGIS 10.8 في معالجة البيانات المكانية، وتصميم قاعدة بيانات مكانية لمنطقة الدراسة. **المنهج:** اعتمدت الدراسة على المنهج التحليلي والمنهج التقني حيث استندت الدراسة على بيانات الاقمار الصناعية (DEM , Sentinel 2A) وبيانات خطية لمنطقة الدراسة (خرائط طبوغرافية، شبكة كهرباء، شبكة الطرق، الاودية، وخرائط التجمعات العمرانية) وبيانات وصفية من محطات الرصد المناخية في المدينة المنورة (بيانات الاشعاع الشمسي وبيانات السطوع الشمسي). **النتائج:** أشارت النتائج التي تم التوصل إليها؛ أن معظم مناطق المدينة المنورة مناسبة لإقامة محطة طاقة شمسية بدرجات ملائمة مختلفة، وظهرت المواقع الأكثر ملاءمة ضمن أربع نطاقات من الأهمية، وتبين أن الأراضي التي تتميز بنسبة ملاءمة عالية تبلغ مساحتها ٢٩٢ كم^{٢} من إجمالي مساحة منطقة الدراسة بنسبة ١,٣٨%، ثم تليها المناطق متوسطة الملاءمة والتي تبلغ مساحتها ٩١٩٠كم^{٢} بنسبة ٤٣,٥١%، وأن غالبية المناطق تتركز في درجة ملائمة قليلة حيث تبلغ مساحتها ١١٣٣٦ كم^{٢}، وتبلغ نسبة ملاءمتها ٥٣,٦٦%، وتأتي في المرتبة الأخيرة المناطق

التي تكون نسبة ملائمة قليلة جداً تبلغ مساحة ٣٥٠ كم^{٢} وتبلغ نسبتها ١,٤٥% من أجمالي أراضي منطقة الدراسة.

الكلمات المفتاحية: النموذج، نظم معلومات جغرافية، الإشعاع الشمسي، الطاقة الشمسية، أسلوب متعدد المعايير.

المقدمة

تعد تقنية الاستشعار عن بُعد (RS) ونظم المعلومات الجغرافية (GIS) من أهم التطبيقات المستخدمة في وقتنا الحالي في وضع ومراقبة الخطط المستقبلية للمدن، وقد أسهمت هذه التقنية في دراسة الظواهر الجغرافية والمراقبة المستمرة للظاهرات الطبيعية والبشرية من خلال الأقمار الصناعية، والقدرة الهائلة على تقديم معلومات غزيرة عن الأرض، وساعد أيضا في توفير أقمار الطقس والمناخ بيانات مستشعرة عن بُعد يمكن تحويلها إلى قياسات الإشعاع (دقامسة، ٢٠٢٠م، ص١٨٠-١٨١-١٩٥).

وتعتبر الطاقة الشمسية إحدى الخيارات الاستراتيجية الرئيسة لتلبية الاحتياجات المستقبلية والمحلية والعالمية لذلك زاد الاهتمام على المستوى العالمي بتقنيات وأساليب وطرق تجميع الطاقة الشمسية والاستفادة منها في العديد من المجالات، ومع ارتفاع معدل النمو السكاني والاقتصادي في المملكة العربية السعودية زاد الارتفاع في معدل استهلاك الطاقة، لذلك توجهت المملكة لتحقيق المتطلبات المستقبلية للتنمية المستدامة من الطاقة وتحقيق الاستقرار الاقتصادي (مدينة الملك عبد الله لطاقة الذرية والمتجددة).

وعلاوة على ذلك؛ فنتيجة للزيادة السكانية في المدينة المنورة أدي ذلك إلى زيادة استهلاك الكهرباء بشكل كبير وبالتالي تزايد التكاليف الناتجة عن استخدام أنواع الطاقة الأخرى بما فيها البترول والغاز والفحم في توليد الكهرباء؛ لذا يجب الاهتمام بتطوير مصادر الطاقة النظيفة المتجددة، والتوسع في إقامة مشاريع التنمية المستدامة، والاتجاه إلى استغلال مصادر الطاقة المتجددة من الطاقة الشمسية في المدينة المنورة، والبحث عن بديل للنفط كما جاء في رؤية المملكة العربية السعودية المستقبلية ٢٠٣٠م، والتي يطلق عليها أحيانًا خطة ما بعد النفط، لذلك قامت هذه الدراسة باستخدام تقنية نظم المعلومات الجغرافية لبناء (Model Builder) لاختيار أمثل المواقع لإقامة محطة طاقة شمسية بالاعتماد على عدة معايير واستخدام الوسائل والأساليب العلمية الحديثة في دعم واتخاذ القرار. لذا يجب الاتجاه إلى استغلال مصادر الطاقة الجديدة والمتجددة، خاصة الإشعاع الشمسي التي تحظى بها منطقة الدراسة.

وتهدف طريقة نظم المعلومات الجغرافية متعددة المعايير إلى دراسة إمكانية وجود العديد من المعايير الطبيعية والاقتصادية والبيئية في منطقة مكانية محددة ومن ثم التوصل إلى مجموعة من البدائل أو الحلول لصناع القرار، وتستطيع نظم المعلومات الجغرافية إيجاد المواقع الملائمة التي تحقق المعاير المطلوبة في يسر وسهولة (داود،٢٠١٧م، ص٣). ولا يقتصر هذا الأسلوب على مجال معين، بل تم استخدامه لتحديد أفضل مواقع لعدة أهداف أخرى؛ في المملكة العربية السعودية ثم استخدام هذه الأسلوب في العديد من المجالات، على سبيل المثال دراسة (آل زبنه، ٢٠١٥م) التي استخدمت هذا النموذج لاختيار أفضل المواقع لانشاء مراكز للرعاية الصحية في مدينة أبها ودراسة (الرحيلي، ١٤٣١هـ) استخدمت هذا الأسلوب في اختيار أنسب مواقع دفن النفايات في المدينة المنورة، وقام (داود، ٢٠١٣م) تطبيق أسلوب متعدد المعايير في تحديد أفضل مواقع إقامة المنشئات السياحية بمنطقة الهداء شرق مكة المكرمة. وفي هذا الإطار فقد أثبت أسلوب نظم المعلومات الجغرافية متعددة المعايير كفاءة كبيرة كنظام لمساعدة متخذي القرار من خلال تحديد أفضل مواقع تجميع الطاقة الشمسية. وقام (داود وآخرون، ٢٠١٧م) US Energy Information Administration,(2021) Saudi Arabia BP. BP Statistical Review of World Energ (2019), Alghamdi(2019), Government. Saudi Vision, 2030 تحديد أفضل المواقع لتجميع طاقة شمسية في مكة المكرمة. بينما قام (Castillo et al.2016) بتقييم إمكانيات تجميع الطاقة الشمسية في دول الاتحاد الأوربي باستخدام أسلوب نظم المعلومات الجغرافية متعدد المعايير.

وتبين من خلال الدراسات السابقة أن أغلب الدراسات تركز على ثلاثة محاور فقط في بناء نموذج الملائمة المكانية لانشاء محطات الطاقة الشمسية منها دراسات ركزت على الطاقة الشمسية، Asif) (et al. 2019 ودراسات ركزت على طاقة الرياح، (Khan et al 2014) ودراسات ركزت على الطاقة الشمسية والرياح معًا، ومن خلال الدراسات السابقة تبين أن موضوع الدراسة لم يسبق دراسته في منطقة الدراسة بصورة جغرافية كاملة، وانفردت هذه الدراسة بالاعتماد على ستة معايير بالإضافة لاعتمادها على ١٠ محطات لرصد وقياس بيانات الإشعاع الشمسي مجتمعة مما ساعد في تحسين دقة اختيار أفضل المواقع الملائمة وتصنيف درجات الملائمة لإنشاء محطة طاقة شمسية.

١- أهداف الدراسة:

١. التحليل المكاني للإشعاع الشمسي لتحديد أنسب مواقع استغلال الطاقة الشمسية في المدينة المنورة.

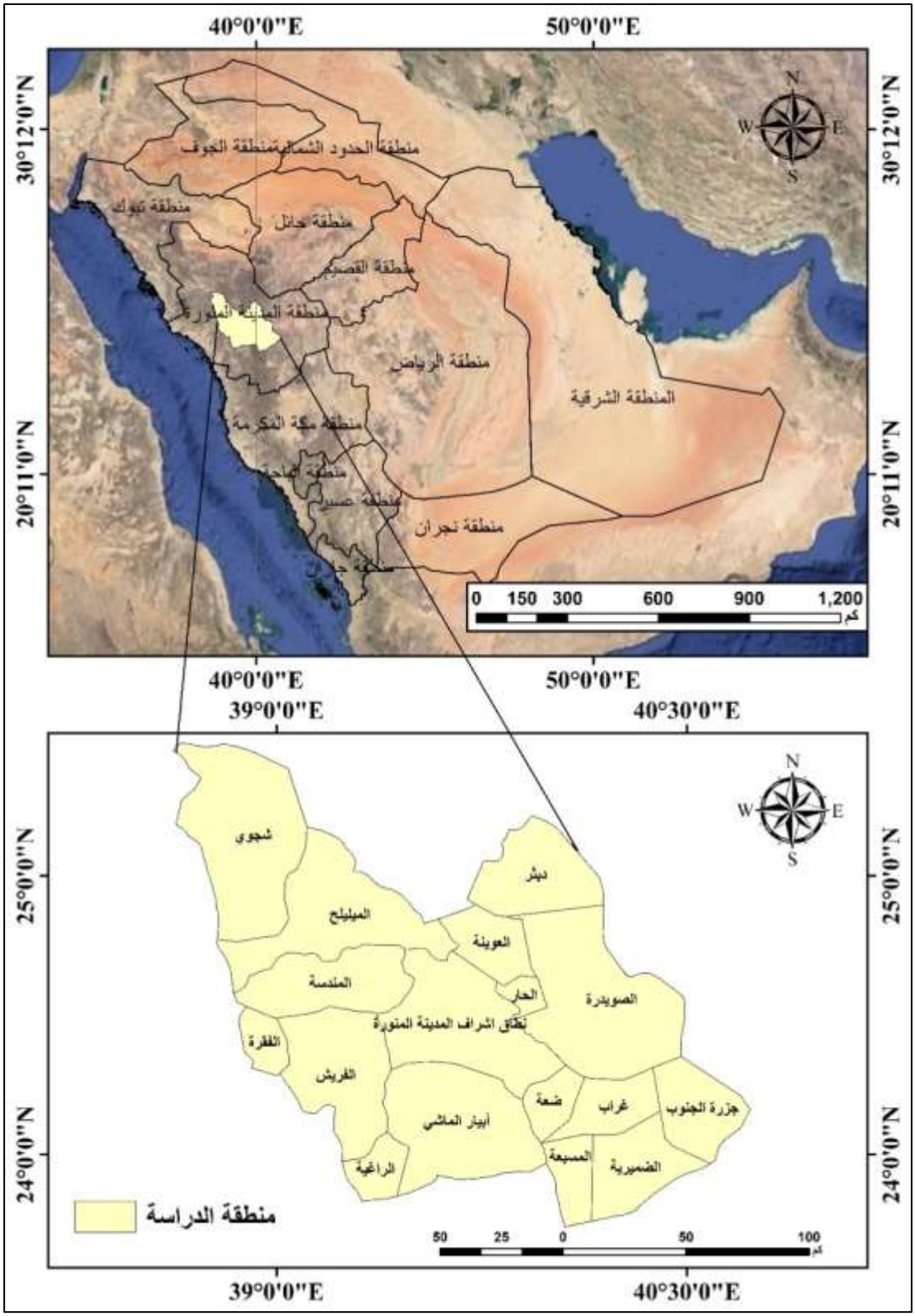
٢. بناء نموذج تحديد الموقع الأمثل لإنشاء محطة طاقة شمسية باستخدام تحليل متعدد المعايير في تقنيات نظم المعلومات الجغرافية.

٢- منطقة الدراسة:

أ- **الموقع الفلكي:** تقع المدينة المنورة في وسط المنطقة الغربية من المملكة العربية السعودية، على خط طول ٣٩ درجة و٣٦ دقيقة، وخط عرض ٢٤ درجة و٢٨ دقيقة، بشكل يجعلها تتوسط العالم الإسلامي أولاً، والإقليم الغربي من المملكة العربية السعودية ثانياً كما في الشكل رقم (١).

ب-**الموقع الجغرافي:** تعد المدينة المنورة من مناطق بالمملكة العربية السعودية التي تقع في الجزء الغربي لقارة آسيا، التي يفصلها البحر الأحمر عن قارة أفريقيا، تعتبر جزءًا من شبه الجزيرة العربية التي تعد جزءًا من النطاق الصحراوي الكبير، وتقع المدينة المنورة في وسط مساحات شاسعة من اليابسة، بعيدة عن البحر الأحمر (٢٠٠كم)، ولا يوجد فيها بحيرات أو أنهار، بالإضافة إلى عدم وجود مسطحات مائية أخرى قريبة منها. وكل ذلك له تأثير واضح في ارتفاع المدى الحراري اليومي والسنوي وانخفاض الرطوبة النسبية (طلبة، ٢٠٠٢م، ص٣٦-٣٧).

وتتميز المدينة المنورة بمناخ قاري حار، تتراوح درجات الحرارة المرتفعة ما بين ٣٦°-٤٦° خلال أشهر الصيف، ودرجات الحرارة الباردة ما بين ١٥-٢٠ درجة مئوية خلال فصل الشتاء، في حين يبلغ متوسط درجة الحرارة في الصيف ٣٠° و١٥° في فصل الشتاء، وعادة تتلقى المنطقة كميات قليلة من الأمطار بمعدل ٩٤ ملم مكعب؛ وتسقط الأمطار بشكل أساسي بين شهري نوفمبر ويناير، وتتميز المدينة المنورة بأن مصدر الإشعاع الشمسي المتعامد من أعلى المصادر في العالم مما يجعله مناسب لإنشاء محطات طاقة شمسية باستخدام تقنية التركيز الحراري (وزارة الشؤون البلدية والقروية،١٤٤٠هـ) (تقرير حالة ازدهار المدن، المدينة المنورة).



شكل (١) الموقع الفلكي والجغرافي لمنطقة الدراسة

المصدر: من إعداد الباحثون بالاعتماد على ARCGIS

٢- منهجية الدراسة

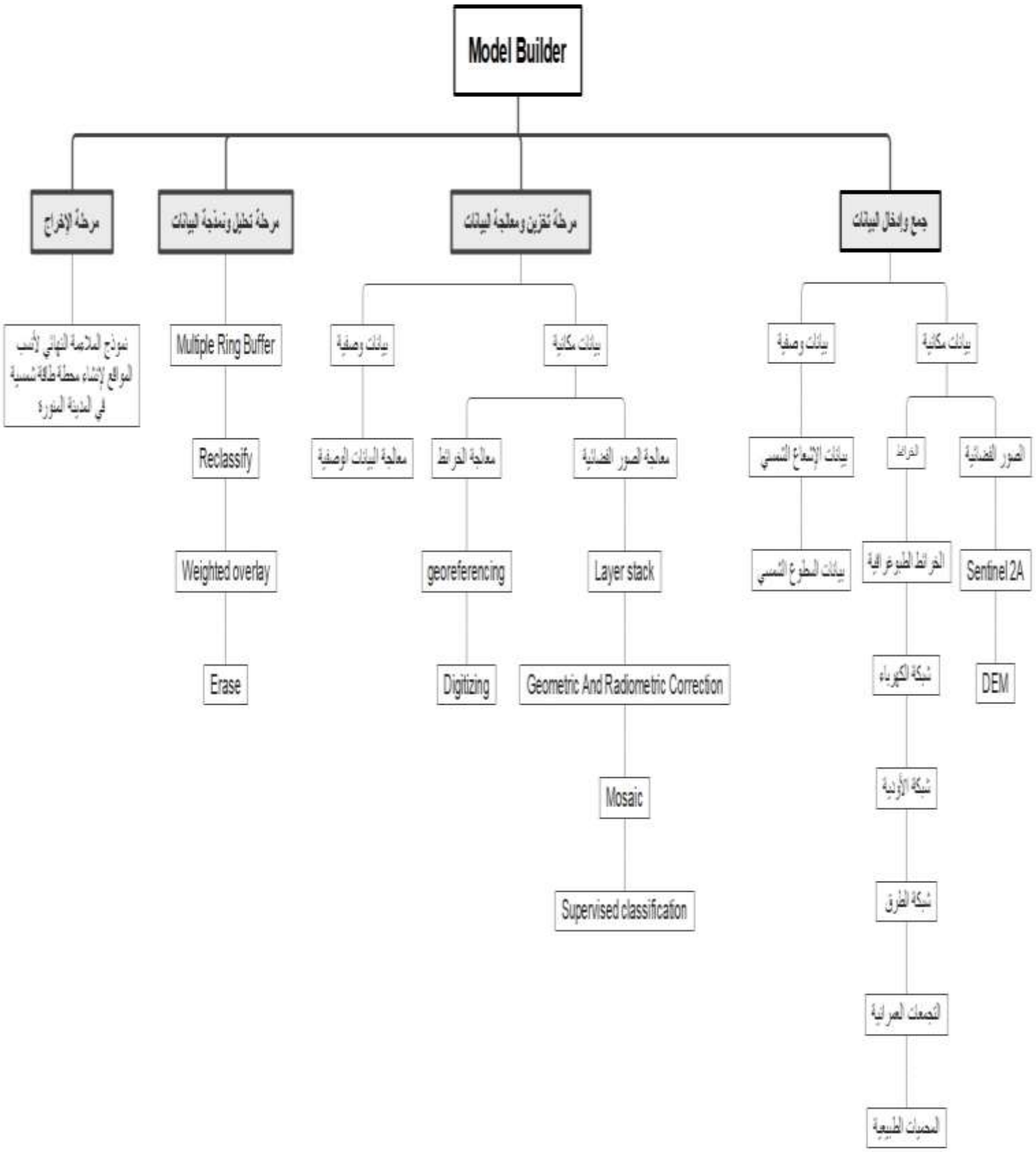
تركز المنهجية التطبيقية في هذا البحث على أربع مراحل رئيسة شكل رقم (٢) لبناء نظام معلومات جغرافي لتحديد أنسب المواقع لإنشاء محطة طاقة شمسية في منطقة الدراسة، وهي:

- المرحلة الأولى: مرحلة جمع وإدخال البيانات
- المرحلة الثانية: مرحلة معالجة البيانات
- المرحلة الثالثة: مرحلة تحليل ونمذجة البيانات
- المرحلة الرابعة: مرحلة الإخراج

المرحلة الأولى: جمع وإدخال البيانات Data collection and in put

تعتبر مرحلة جمع البيانات هي عملية تحويل البيانات من شكلها الأولي إلى شكل يمكن استخدامه في نظم المعلومات الجغرافية، وبمعنى آخر إلى شكل يستطيع أن يتعامل معه الحاسب الآلي (شرف، ٢٠٠٨، ص٢٨).

تعد مرحلة تحديد المعايير وإدخال البيانات المرحلة الأساسية الفعلية في بناء قاعدة بيانات لهذه الدراسة، والتي جمعت من مصادر مختلفة مثل هيئة تطوير المدينة، وامانة المدينة، ومحطات الرصد المناخية في المدينة ودائرة المساحة الجيولجية الأمريكية (USGS). وقد اعتمدت الدراسة على المرئيات الفضائية والنماذج الخطية والبيانات الوصفية للاشعاع الشمسي بعد معالجتها في إطار نظم المعلومات الجغرافية ومن ثم إنشاء قواعد البيانات الازمة. من أجل بناء الخلفة النظرية التي ترتكز عليها الدراسة، وفيما يلي عرض لهذه البيانات كما يلي:



شكل (٢) المسار المنهجي لتحديد الموقع الأنسب لإنشاء محطة طاقة شمسية

أولاً: البيانات المكانية Spatial Data

١.بيانات المرئيات الفضائية

تعتبر المرئيات الفضائية Satellite images مصدرًا من مصادر المعلومات الجغرافية وهي نتاج التصوير الفضائي بواسطة الأقمار الاصطناعية، وقد اعتمدت الدراسة على مرئية فضائية للقمر الصناعي (Sentinel 2)، وهو أحد أنواع المرئيات الفضائية التي تمثل أهم مخرجات الاستشعار عن بُعد، وكان لها دور كبير في رسم خرائط الأساس لمنطقة الدراسة وتحديد بعض الظواهر. وأيضًا تم الاستفادة منها في مطابقة البيانات والتعرف البصري السريع على المواقع، وعمل خرائط الغطاءات الأرضية وقد تم استخدام مرئية فضائية للقمر (Sentinel 2A)، بدرجة وضوح (١٠ متر).

كما اعتمدت الدراسة على نوع آخر من المرئيات وهي أقمار صناعية متخصصة بإنتاج صور فضائية رقمية، تمثل نماذج الارتفاع الرقمي (Digital Elevation Model (DEM التي تعد أحد أهم مصادر البحث والدراسة في كثير من العلوم والمجالات الحديثة. ويعد نموذج الارتفاعات الرقمية أهم مدخلات ومخرجات نظم المعلومات الجغرافية، يعطي عادة رؤية ثلاثية الأبعاد لتضاريس الأرض. واعتمدت الدراسة على نموذج الارتفاع الرقمي (STRM1) الذي تصل دقته المكانية ٣٠×٣٠ متر وقد تم التأكد قبل البدء أن يكون المرجع محلياً. ويوضح الجدول رقم (١) خصائص المرئيات.

ثانيًا: البيانات الوصفية Attribute Data

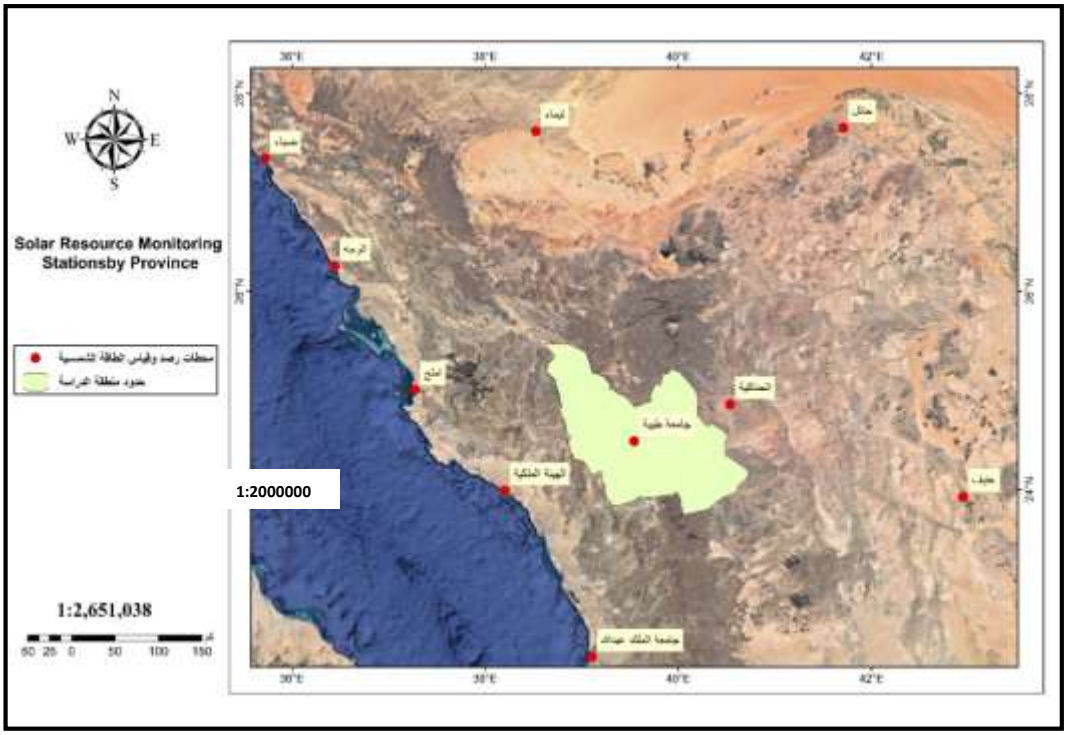
وهي عبارة عن البيانات المجدولة مثل البيانات المناخية ممثلة في الإشعاع الشمسي، التقارير المناخية، ومصادر الطاقة المتجددة من خلالها جمعت البيانات والأرقام الخام للبيانات المناخية وبيانات الإشعاع الشمسي.

١. المحطات والبيانات المستخدمة في منطقة الدراسة

- الإشعاع الشمسي: استخدمت الدراسة (١٠) محطات لقياس ورصد الإشعاع الشمسي في منطقة الدراسة وبعض المناطق المجاورة لها، لدراسة كمية الإشعاع الشمسي في منطقة الدراسة شكل رقم (٣)، وتم الحصول عليها من أطلس مصادر الطاقة المتجددة للفترة من سنة ٢٠١٣م حتى سنة ٢٠٢٣م بهدف دراسة التباين المكاني.

– **السطوع الشمسي:** تم دراسة السطوع الشمسي في محطة المدينة المنورة لمدة ستة وثلاثون عام لدراسة التباين الزمني، خلال الفترة من ١٩٧٣م إلى ٢٠٠٩م، وذلك بهدف دراسة عدد ساعات

سطوع الإشعاع الشمسي في منطقة الدراسة، وقد اعتمدت الدراسة في الحصول على البيانات من وزارة البيئة والمياه والزراعة.



شكل (٣) مواقع محطات رصد وقياس الطاقة الشمسية

المرحلة الثانية: مرحلة معالجة البيانات

وتم تقسيم هذه المرحلة الى عدة مراحل لتوظيف البيانات داخل تطبيقات برامج نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بُعد على النحو التالي:

١. معالجة المرئيات الفضائية

يتم من خلالها معالجة المرئيات الفضائية للقمر الصناعي (Sentinel 2A)، حيث تمر عملية المعالجة لهذه المرئيات في عدة خطوات كما يلي: –

أ– تجميع النطاقات الطيفية Layer stack

في هذه العملية تم تجميع الحزم الطيفية (Bands) للمرئيات الفضائية وهي عبارة عن مجموعة من الحزم الطيفية المختلفة التي يجب أن نختار المناسب منها للعمل عليها، وتحويل هذه الحزم الطيفية إلى مرئية متكاملة يصلح العمل عليها. وتم استخدام عدد ٨ صور Sentinel لكي تغطي منطقة الدراسة وقد تحتوي على ثلاثة عشر حزمة طيفية (نطاقات)، واعتمدت الدراسة على استخدام ثلاثة حزم طيفية (3-4-8 bands)، تنتج عنها (false color compensation>Color infrared).

ب- التصحيح الهندسي والراديومتري Geometric And Radiometric Correction

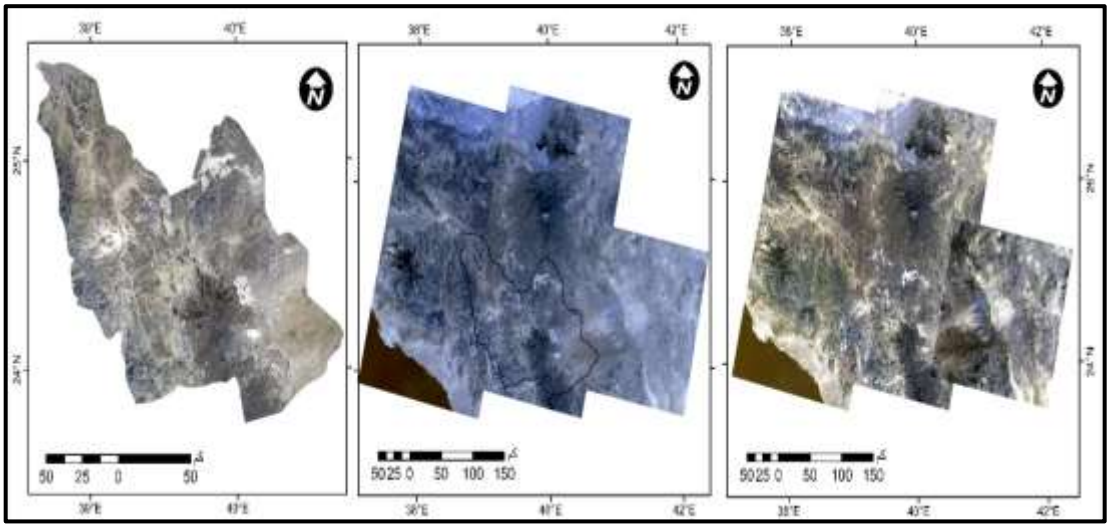
التصحيح الراديو متري: يتعلق بتصحيح الاختلاف في كمية الطاقة المنعكسة التي يتم تسجيلها على كل بكسل في الصورة أو المرئية عن كمية الطاقة المنعكسة فعلياً من الهدف (دقامسة،٢٠٢٠م، ص١٤٦). أما التصحيح الهندسي هو عملية تصحيح التشوهات في صور المرئيات وتحويلها بحيث تحتوي على خصائص الخريطة، وتم تنسيقها وفقاً لإسقاط الخريطة الذي تم اختيارها (green et. Al.,2000, p94). يعالج التصحيح الهندسي للصور الفضائية التشوهات الهندسية، وانحراف الماسح scan، والتغير في سرعة الماسح؛ الهدف منها توحيد المسقط. وقد تمت عملية معالجة بيانات المرئيات بهدف الوصول إلى أفضل دقة للمرئية وأكبر قدر من المعلومات.

ت- دمج لمرئيات Mosaic

منطقة الدراسة مغطاة بعدد من المرئيات البالغ عددها (٨)؛ لذلك يجب جمعها في مرئية واحدة مجمعة، وتم تجميع هذه المرئيات في مرئية واحدة شكل رقم (٤).

ث- اقتطاع المرئيات الفضائية

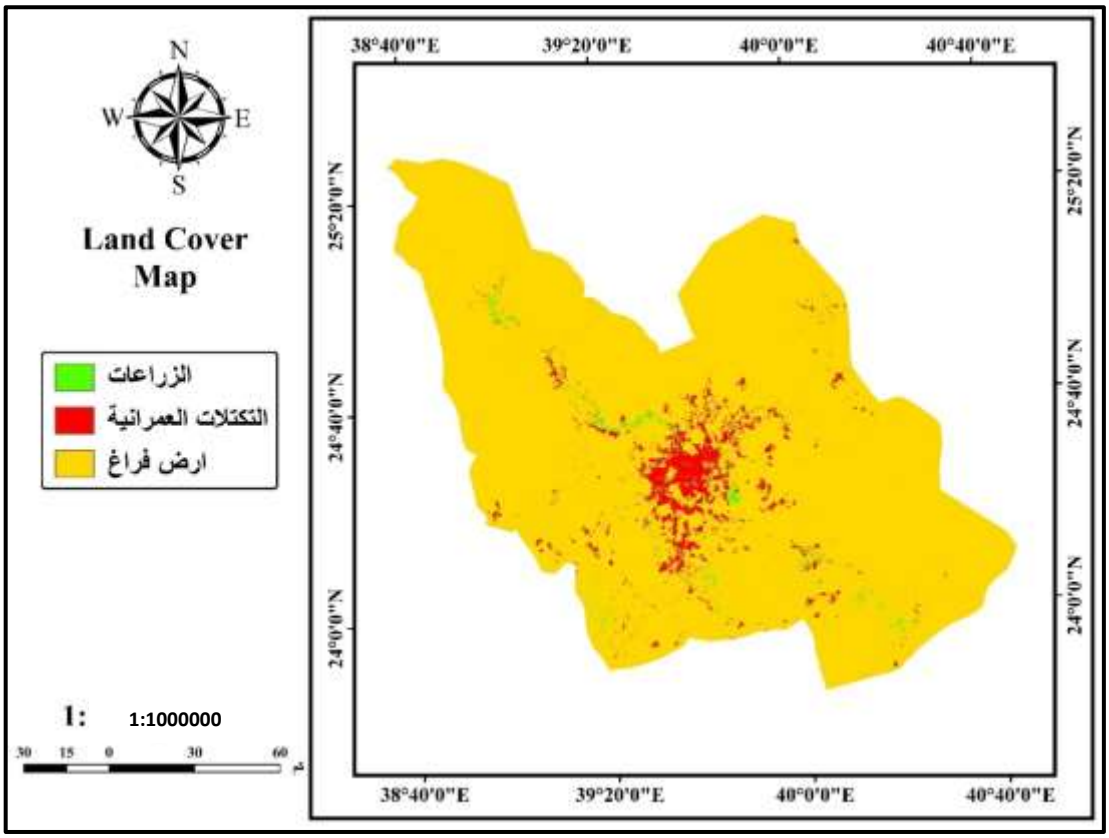
تم إجراء عملية قطع الصورة الفضائية الناتجة من عملية (Mosaic) لتحديد جزء من المرئية لتكون مرئية جديدة، وتم اقتطاع منطقة الدراسة (المدينة المنورة ومراكزها) بطريقة الاقتطاع غير منتظم بواسطة shapefiles الخاص بحدود منطقة الدراسة شكل رقم (٤).



شكل (٤) تجميع النطاقات، ودمج واستقطاع صورة الفضائية Sentinel 2A

ج- الغطاءات الارضية الرئيسية لمنطقة الدراسة

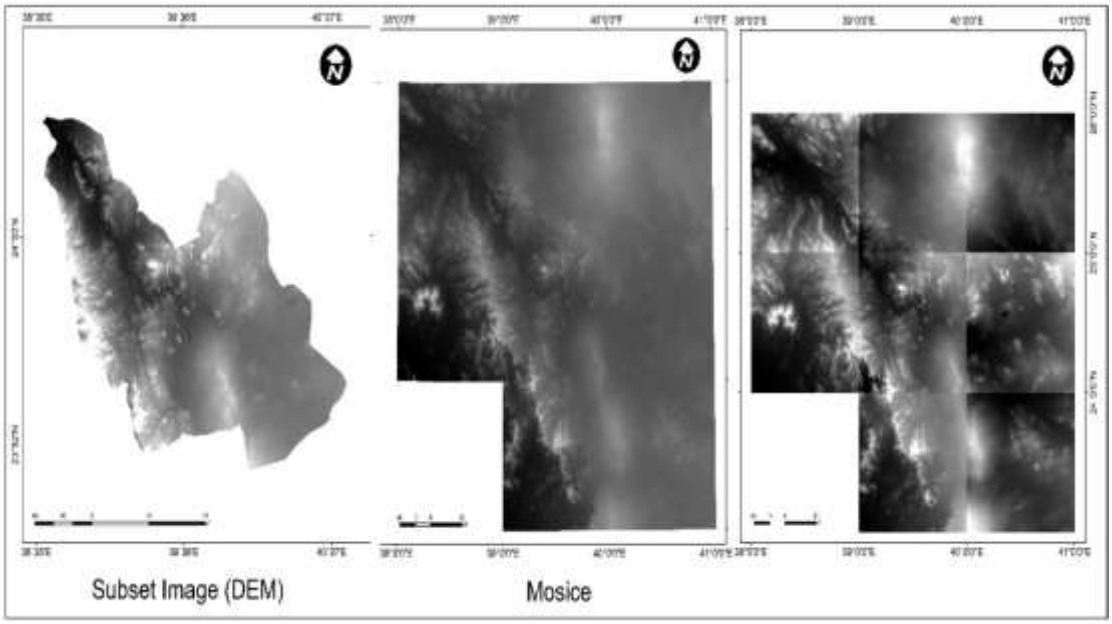
تم الاعتماد في هذه الدراسة على عملية التصنيف المراقب Supervised classification لاستخرج الغطاءات الأرضية (Land cover) كما في الشكل رقم (٥).



شكل (٥) الغطاءات الارضية الرئيسية لمنطقة الدراسة

٢. معالجة نماذج الارتفاع الرقمي (DEM)

فيما يخص البيانات الرادارية من نوع SRTM، المستخدمة في حساب مناسيب وميول سطح الأرض، حيث يغطي منطقة الدراسة أكثر من نموذج ارتفاع رقمي واحد ويبلغ عددهم ثمانية نماذج، وتم تجميع نماذج الارتفاعات الرقمية في نموذج واحد، وتسمى هذه العملية Mosaic، تم توحيد المسقط من خلال Data management واختيار الامر Project، يلي ذلك عملية الاقتطاع وتم اقتطاع منطقة الدراسة بشكل غير منتظم عن طريق Shapefiles الخاص بحدود المدينة المنورة (النطاق لإشرافي) كما يتضح من الشكل رقم (٦).



شكل (٦) تجميع واستقطاع المرئية الفضائية لنموذج الارتفاع الرقمي

٣. معالجة بيانات الإشعاع الشمسي:

استغلال الطاقة الشمسية يتطلب الكثير من المعلومات التفصيلية عن الإشعاع الشمسي وكميته في منطقة الدراسة ويتطلب الأمر إجراء العديد من القياسات وعلى فترات مختلفة؛ للوصول إلى صورة واضحة عن إمكانيات استغلال الطاقة الشمسية، من خلال قياس سطوع الشمس وقياس الأشعة الشمسية المباشرة وكمية الإشعاع الكلي التي تصل إلى منطقة الدراسة، حيث تم حساب المتوسطات الشهرية والفصلية ثم السنوية للبيانات باستخدام برنامج (Microsoft Excel) ولكي تربط هذه البيانات الرقمية بمواقعها الجغرافية ويتم إجراء التحليلات المكانية عليها فيما بعد، يجب ربط هذه البيانات بمواقع محطات الرصد من خلال إحداثياتها الجغرافية التي تم تحويلها إلى إحداثيات مترية من خلال برنامج (Franson coord trans)، وبعد ذلك يتم ادخال الملف إلى برنامج (Arc Map) من خلال صندوق أدوات التحليل ويتم اختيار (Excel) ثم (Excel To Table).

وللاستدلال الكمي تم تحليل البيانات للوقوف على التباين المكاني والزمني لكمية الإشعاع الشمسي ودراسة المؤثرات الجغرافية للإشعاع الشمسي الساقط على منطقة الدراسة، والاستفادة منها في الموقع الأنسب لاختيار محطة طاقة شمسية. وتم معالجة البيانات بإستخدام الأساليب الكمية والتحليلية والكارتوجرافية.

المرحلة الثالثة: مرحلة تحليل ونمذجة البيانات

تعد هذه المرحلة تكاملية بين جميع البيانات التي اعتمدت في هذه الدراسة سواء كانت بيانات وصفية أو بيانات مكانية، واستخدمت آليات أسلوب التحليل المكاني spatial Analysis لبيانات الإشعاع الشمسي، وما يرتبط بها من عمليات التقدير المكاني interpolation لرسم خرائط الأماكن الأنسب لتوليد الطاقة من الإشعاع الشمسي، ونتيجة لذلك كان لابد من عمل نموذج model واضح يضم جميع بيانات النموذج ويحقق الغرض الأساسي للدراسة.

١. التحليل متعدد المعايير multi- criteria analysis

تمثلت أولى خطوات هذه المرحلة في التوصل إلى مجموعة من المعاير المطلوب توفرها في اختيار الموقع الأنسب لإنشاء محطة طاقة شمسية، ومن خلال البحوث والدارسات العلمية السابقة المتعلقة بذات الموضوع تم دراسة المعايير بشكل واضح في كل دراسة للوصول إلى تحديد أدق المعايير التي تؤدي لكفاءة هذه المواقع المكانية في إقامة مشروعات محطات الطاقة الشمسية. ومن هذه الدراسات: دراسة Sanchez-Lozano et al. (2013) Garni et al (2017)، ودراسة داود (٢٠١٧م)، وعويضة (٢٠١٧م)، وآل سرور (٢٠١٨م).

قد تؤثر بعض العوامل الطبيعية والبشرية في اختيار المعايير تبعاً لظروف منطقة الدراسة، وقد تختلف المعايير من منطقة لأخرى لاختلاف طبيعة المنطقة مثلاً: معيار البعد عن الشواطئ لايتوفر في منطقة الدراسة لخلوها من البحار، لذلك يجب الأخذ بعين الاعتبار طبيعة المنطقة المدروسة عند اختيار المعايير المناسبة على العوامل التقنية أو الفنية والاقتصادية بالإضافة إلى تحديد عدة قيود لتجنب إقامة هذه المعايير. كما في الجدول رقم (١). ومن خلال معالجة البيانات للوصول إلى مجموعة من المعايير التي يجب توفرها في تحديد أنسب موقع لإنشاء محطة طاقة شمسية في منطقة الدراسة، فتم ترتيبها وفق أهمية كل منها على حده:

أ- الإشعاع الشمسي: تعد قيمة الإشعاع الشمسي التي تصل إلى سطح الأرض هي المعيار الأول والأهم في النموذج.

ب- ميول سطح الأرض: لغرض اختيار المناطق مستوية السطح.

ت- القرب من شبكة الكهرباء : لإمكانية الربط بين المحطة وشبكة الكهرباء للتزود بالطاقة المنتجة منها، وأيضًا إمداد المحطة بالكهرباء وقت الحاجة.

ث- التجمعات السكانية: ضرورة البعد عن المناطق المأهولة بالسكان لتفادي تأثير ظل المساكن على المحطة أو انعكاس الضوء، بالإضافة إلى إمكانية توسيع المحطة في المستقبل.

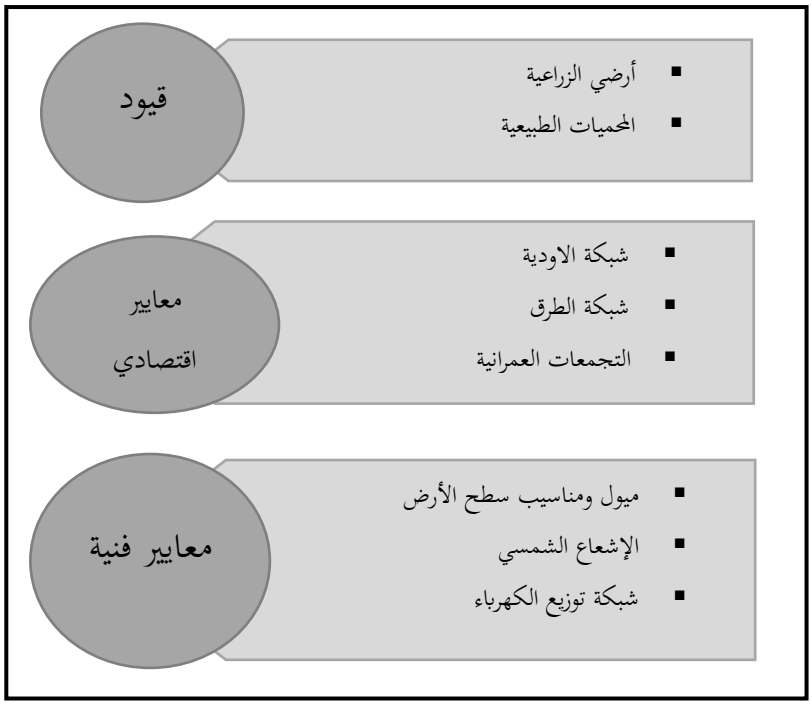
ج- البعد عن شبكة الأودية: لتفادي خطورة التعرض للسيول الفجائية التي ستؤثر على المحطة وعلى البنية التحتية لها.

ح- القرب من شبكة الطرق: يعتبر من المعايير المهمة؛ وذلك لسهولة وصول الآلات والمعدات إلى موقع المحطة وإمكانية إجراء الصيانة لها بعد التشغيل.

ولإجراء نموذج الاستبعاد تم استبعاد جميع المناطق غير الصالحة؛ لإجراء نموذج الملائمة النهائي لإقامة محطات الطاقة الشمسية؛ ومنها ما يلي:

أ- **المناطق الزراعية:** استبعاد المناطق الزراعية أو المناسبة للزراعة لتحقيق التنمية المستدامة المنشودة في هذا المجال.

ب- المحميات الطبيعية: ضرورة استبعاد مناطق المحميات الطبيعية للمحافظة على الموارد البيئية المتجددة وحمايتها.



جدول (١) منهجية استنباط نموذج الملائمة

٢. الأوزان التركيبية weighted overlay

يقوم بقياس العديد من المعايير ودرجة تاثيرها باستخدام مقياس مشترك وأوزان لكل منها وفقا لأهميتها، ويجب تحديد المشكلة ثم تقسيم النموذج إلى نماذج فرعية، وتحديد المدخلات لكل نموذج، ويجب توحيد جميع المدخلات إلى مقياس موحد، ثم يتم تخصيص وزن عام للمعيار الواحد بالمقارنة

مع المعايير الأخرى، بحيث يعبر هذا الوزن عن الأهمية النسبية لهذا المعيار مقارنة مع غيره من المعايير، حيث أن الوزن هو نسبة مئوية، ومجموع أوزان المعايير تساوي (١٠٠) (Esri,2016).

بناء على الدراسات السابقة والبحوث العلمية وطبيعة منطقة الدراسة يتم اختيار الأوزان النسبية التي تؤثر على النموذج النهائي جدول رقم (٢)، ويتم تحديد الرتب والوزن النسبي للطبقات تبعاً لأهمية كل طبقة في النموذج. فجاءت طبقة الإشعاع الشمسي في المرتبة الأولى من حيث الأهمية وأخذت وزن (٣٠%) حيث أنه بدون توافرها في المواقع لا يمكن إقامة محطات طاقة شمسية، وثاني الطبقات أهمية هي طبقة البعد عن التجمعات السكانية وأخذت وزن (٢٠%)، أما طبقتي انحدار الأرض وطبقة شبكة الكهرباء فأخذت نفس الوزن (١٥%) لكل منها؛ حيث يتساوون في الأهمية لأن توفر مواقع مستوية السطح يوفر في تكاليف إقامة محطات الطاقة الشمسية، وكذلك طبقة الكهرباء عامل مهم نظراً للعلاقة العكسية بين البعد وزيادة المسافة وزيادة الطاقة المفقودة أثناء رحلة الإلكترونات من المصدر إلى المستهلك مما يضاعف تكلفة النقل، تليها طبقة شبكة الأودية وطبقة شبكة الطرق لها نفس الوزن (١٠%).

الطبقة	الوزن النسبي للطبقة %
الإشعاع الشمسي	%٣٠
التجمعات العمرانية	%٢٠
انحدار سطح الأرض	%١٥
شبكة الكهرباء	%١٥
شبكة الأودية	%١٠
شبكة الطرق	%١٠

جدول (٢) الوزن النسبي للطبقات المستخدمة في نموذج الطاقة الشمسية

المصدر: بالإعتماد على مدخلات ومتغيرات إجراء النموذج.

رابعًا: عدد ساعات سطوع الشمس في المدينة المنورة

تعد مدة سطوع الشمس من العوامل الهامة التي تتحكم وتسيطر على كمية الأشعة الشمسية الواصلة إلى المدينة المنورة. وتنقسم مدة سطوع الشمس إلى مدة السطوع النظرية؛ وهي المدة المحصورة بين شروق الشمس وغروبها، وفترة السطوع الفعلية التي تعني الفترة التي يُشاهَد فيها قرص الشمس ساطعا أثناء النهار، وفترة السطوع الفعلية لا ترتبط بطول أو قصر النهار؛ فقد يكون النهار طويلا ولكنه مليء بالغيوم فتكون فترة السطوع الفعلية قليلة، والعكس صحيح. (سليمان، ١٩٨٧م، ص٣٢) ويعد السطوع الشمسي من عناصر المناخ الأولية حسب تقسيم مانكهاوس لعناصر المناخ (عبدالرحمن، ٢٠١٥م، ص١٧). وتساعد معرفة عدد ساعات سطوع الشمس الفعلية في التحديد الدقيق لحجم الطاقة المتوقع إنتاجه من طاقة الشمس كما في جدول رقم (٣).

الفصول	الشتاء			الربيع			الصيف			الخريف		
الشهور	ديسمبر	يناير	فبراير	مارس	أبريل	مايو	يونيو	يوليو	أغسطس	سبتمبر	أكتوبر	نوفمبر
المعدل الشهري	٧,٨٨	٨,٢٣	٨,٨٥	٨,٩٠	٩,٨٣	١١,٦٠	١١,١٣	١٠,٨١	١٠,٢٥	٩,٢٥	٩,٢٧	٨,٦٥
المعدل الفصلي	٨,٣٢			١٠,١١			١٠,٧٣			٩,٠٥٦		
المعدل السنوي	٩,٥٩											

جدول (٣) المعدل السنوي والشهري والفصلي لساعات سطوع الشمس (ساعة/ م٢ /اليوم) للفترة ما بين سنة ١٩٧٣-٢٠٢٣م في محطة منطقة الدراسة (محطة مطار المدينة المنورة)

المصدر: إعداد الباحثون بالاعتماد على بيانات وزارة البيئة والمياه والزراعة.

١.المعدل السنوي لعدد ساعات سطوع الشمسي:

من خلال البيانات المدرجة في الجدول رقم (٢) يتضح أن مدة السطوع الفعلية في المدينة المنورة تتراوح ما بين (٧,٨٨ ساعة /اليوم) كحد أدنى، و(١١,٦٠ساعة /اليوم) كحد أقصى. وتبين من الجدول (٣) أن المعدل السنوي لعدد ساعات السطوع الشمسي في المدينة المنورة بلغت (٩,٩٥ ساعة/ اليوم) خلال شهور السنة للفترة (١٩٧٣-٢٠٢٣م).

- **بناء النموذج الخرائطي للتوزيع الأنسب لاختيار محطة طاقة شمسية في المدينة المنورة**

تعتمد الدراسة على بناء نموذج تحديد أنسب موقع site selection modeling في برنامج ArcGIS 10.8؛ وذلك لبناء نموذج الموقع الأنسب لاختيار محطة طاقة شمسية في المدينة المنورة (النطاق الإشرافي)، ولاقتراح أنسب موقع لأنشاء محطة طاقة شمسية لا بد من عرض وتحليل المعايير

والشروط المحددة لتحديد مدى ملائمة تلك المعايير والشروط في منطقة الدراسة، وسوف يتم ذلك من خلال تحليل الملائمة المكانية التي تهدف إلى إختيار مكاني مناسب لأداء وظيفة معينة وهي من أهم وظائف تقنية نظم المعلومات الجغرافية.

المرحلة الأولى: تحديد المعايير والأوزان للنموذج

وتنفذ عملية التحليل المكاني في نظم المعلومات الجغرافية وفق الخطوات التالية: -

١. تحديد واستنباط المعايير Identify and derive the criteria

تعد المعايير التخطيطية أحد الوسائل والأدوات المهمة التي تستخدم في إعداد المخططات التنموية؛ لأنها تساعد المخططين في اتخاذ القرار المناسب. فقد تم تحديد مجموعة من المعايير المناسبة لاختيار محطة طاقة شمسية، وتم اختيار المعايير بناءًا على الدراسات السابقة ومن خلال جمع عدد من الدراسات السابقة والبحوث العالمية المتعلقة بذات الموضوع ودراسة المعايير المطبقة في كل دراسة للتوصل إلى أدق المعايير التي تؤدي لكفاءة هذه المواقع المكانية في إقامة مشروعات تجمع الطاقة الشمسية بها، وتستخدم هذه الدراسة ستة معايير متنوعة ما بين المعايير الاقتصادية والفنية بالإضافة إلى تحديد قيدين وكانت هذه المعايير مقسمة على النحو التالي:

أ- معايير فنية واقتصادية: يجب توافرها في أنسب مواقع مشروعات طاقة شمسية

- **المعيار الأول: متوسط الإشعاع الشمسي**: يعد المعيار الأول هو قيمة الإشعاع الشمسي التي تصل إلى الأرض، وتم اختياره بغرض اختيار المناطق التي تزيد فيها عدد ساعات سطوع الشمس، كما يجب أن تكون كميةُ الطاقة الشمسية كافية حتى يضمن إنتاج كميات من الطاقة الكهربائية. تعتبر الطاقة الشمسية إحدى أهم المعايير التي يجب مراعاتها عند اختيار محطات الطاقة الشمسية؛ وذلك لأنها المصدر الأساسي الذي يزود الخلايا الشمسية بالطاقة.

- **المعيار الثاني: المناطق العمرانية**: لاختيار المواقع البعيدة عن التجمعات العمرانية وختيار المناطق غير المأهولة بالسكان، بعيدة عن تأثير الأنشطة البشرية وعدم العبث بها، إضافة إلى تأثير الظل الناتج عن المباني المرتفعة التي تؤثر على الإشعاع الشمسي ورخص الأراضي التي تكون خارج النطاق العمراني.

- **المعيار الثالث: الانحدار**: معيار ميول سطح الأرض بغرض اختيار المناطق مستوية السطح؛ بحيث لا يؤثر على تجهيزات المحطة أو تركيب الأجهزة اللازمة، يفضل أن تكون في منطقة ذات انحدار بسيط؛ وذلك لتقليل من تكاليف الإنشاء بالإضافة إلى سهولة تركيب ألواح الطاقة الشمسية.

- **المعيار الرابع: شبكة توزيع الكهرباء**: يعد عاملاً مهمًا نظرا للعلاقة العكسية بين البعد وزيادة المسافة وزيادة الطاقة المفقودة أثناء عملية النقل وأيضا زيادة تكلفة نقل الطاقة، يفضل أن تبعد شبكة الكهرباء بأقل من ١ كم لتوصيل شبكة الكهرباء بأقل التكاليف.
- **المعيار الخامس: شبكة الأودية**: يجب أن تكون مواقع المحطات بعيدة عن مجاري السيول المائية؛ حتى لا تتعرض المحطات لخطر السيول أو الانجراف والتدمير.
- **المعيار السادس: شبكة الطرق:** تعد الطرق من البنية الأساسية ولعملية التنمية في أي منطقة، ويعتبر توفير طرق لنقل المعدات الإنشائية والتشغيلية إلى المحطات واحداً من العوامل المهمة التي لا يمكن تجنبها أو تجاهلها عند بناء محطات الطاقة الشمسية، وتمكن الشبكة من الوصول إلى جميع المدن والمراكز التابعة للمدينة المنورة.

ب- القيود: التجنب من إقامة هذه المشروعات داخلها.

- **المحميات الطبيعية:** تم استبعاد إقامة محطة طاقة شمسية داخل المحميات الطبيعية نظرًا للبروتوكولات العالمية في المحميات الطبيعية، ويتضح عدم صلاحية إقامة مشروعات للطاقة الشمسية في مناطق المحميات إلا في حدود ضيقة والتي تخدم المحمية نفسها ومبانيها.
- **الأراضي الزراعية:** لتأثير المنتج الكهربي في بعض الأحيان على الزراعة، وعدم استخدام الأراضي المناسبة للزراعة لتنمية الثروة الزراعية.

- **تحليل متعدد المعايير يعتمد على نظام المعلومات الجغرافية (GIS-MCA):**

التحليل متعدد المعايير (MCA)، هو "دراسة عدد من إمكانيات الاختيار في ضوء المعايير المتعددة والأهداف المتضاربة"، بعد أن تم تحديد المعايير التي تؤثر بشكل مباشر في اختيار الموقع الأفضل لإنشاء محطة طاقة شمسية، لابد من تحديد مصادر البيانات وتجهيز هذه البيانات وطريقة إعدادها قبل البدء في بناء النموذج.

أ- طبقة حدود منطقة الدراسة

عبارة عن طبقة shapefile، تمثل حدود منطقة الدراسة والمراكز التابعة لها، وتم الحصول عليها من أمانة منطقة المدينة المنورة، وتم الاعتماد عليها في إخراج نتائج الدراسة.

ب-طبقة الإشعاع الشمسي

تم التعامل مع بيانات الإشعاع الشمسي والاعتماد على أطلس مصادر الطاقة المتجددة في الحصول على البيانات وتم حساب متوسط الشهري والسنوي باستخدام برنامج (Microsoft Excel)، وتم ربط

هذه البيانات الرقمية بمواقعها الجغرافية من خلال إجراء التحليلات المكانية عليها ثم ربطها بمواقع محطات رصد وقياس الطاقة الشمسة من خلال الإحداثيات الجغرافية، بعد ذلك تم ادخال الملف إلى برنامج ArcGIS.

ت- طبقة شبكة خطوط الكهرباء الرئيسية

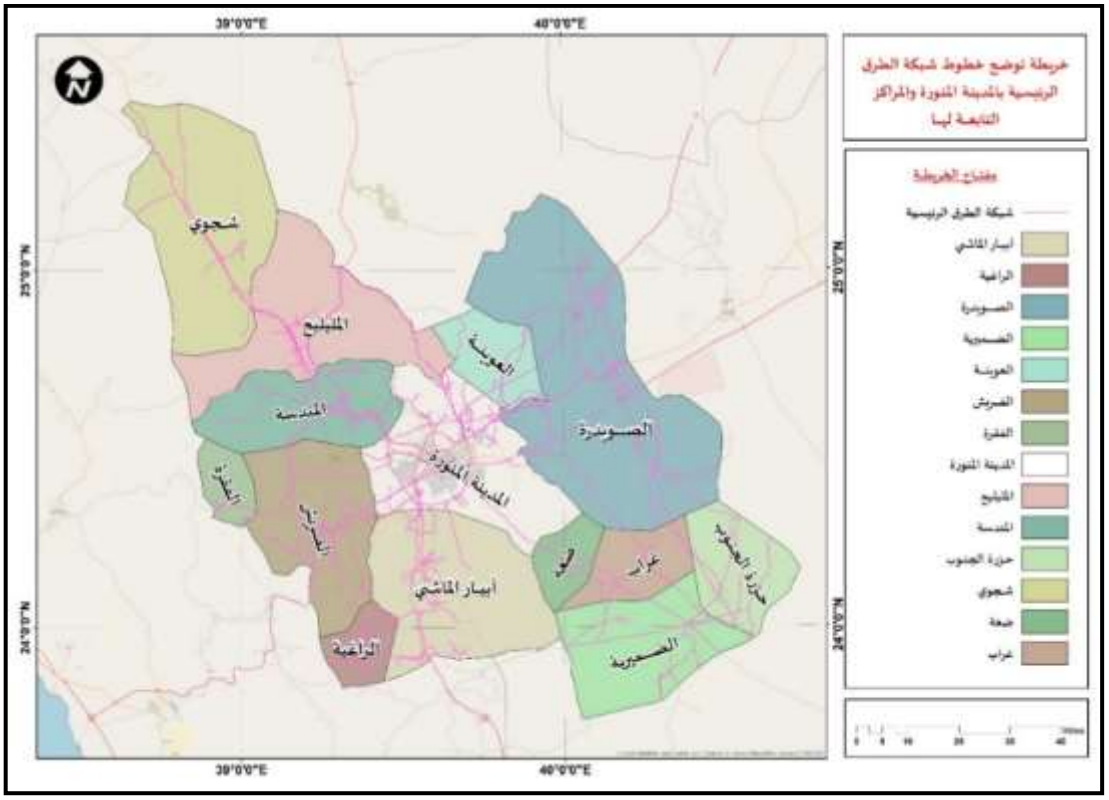
تم الحصول على طبقة شبكة الكهرباء في المدينة المنورة من أمانة المدينة المنورة صيغة الملف shapefile خطي، بحيث يتم استخدمها في عملية التحليل المتعدد المعايير وبناء النموذج.

ث- تحضير خريطة الطرق الرئيسية

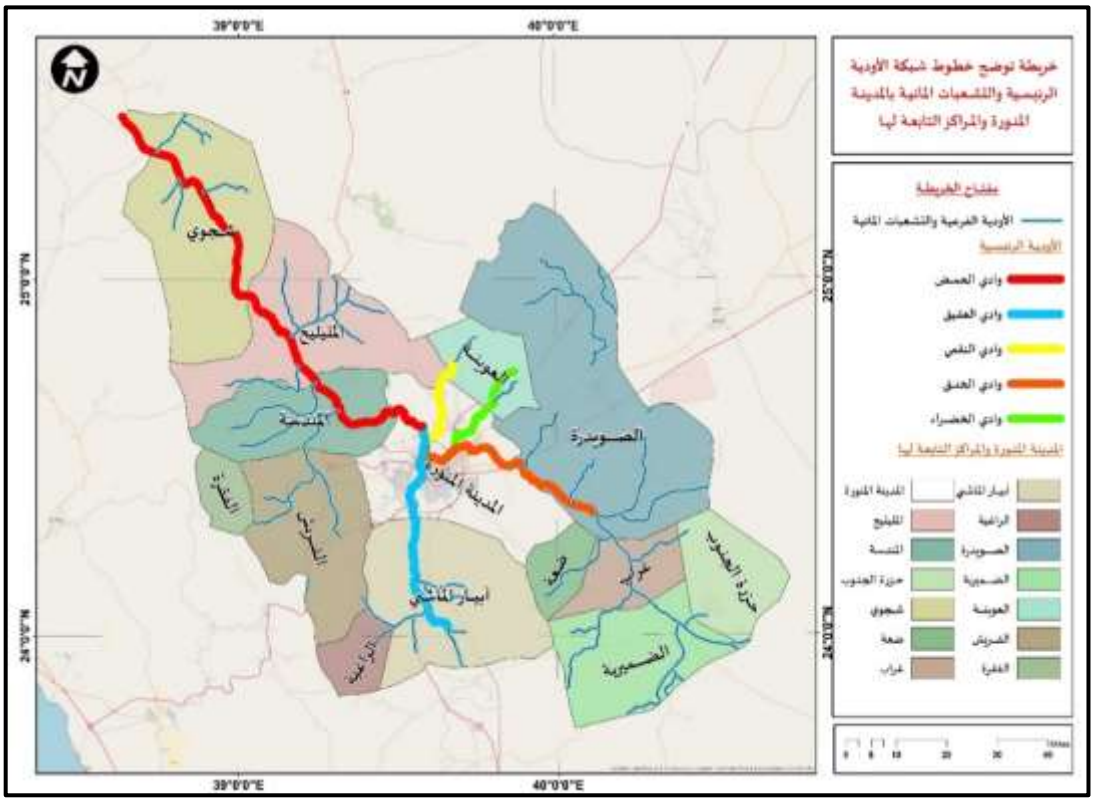
تم الحصول على ملف خطي shapefile يمثل شبكة الطرق الرئيسية في المدينة المنورة وتم الحصول عليه من هيئة تطوير المدينة المنورة، وتم إضافته من خلال الرسم لطبقة الطرق لبعض المناطق الريفية. يوضح الشكل رقم (٧) خريطة شبكة الطرق الرئيسة.

ج- تحضير خريطة الاودية والمجاري المائية

تم تحديد المجاري المائية؛ وذلك لاستخدمها في التحليل متعدد المعايير بهدف منع النموذج من إقامة محطة الطاقة الشمسية في الأودية أو بالقرب منها، كما في الشكل رقم (٨).



شكل (٧) خريطة شبكة الطرق الرئيسة في منطقة الدراسة



شكل (٨) خريطة الأودية في منطقة الدراسة

ح- طبقة المحميات الطبيعية

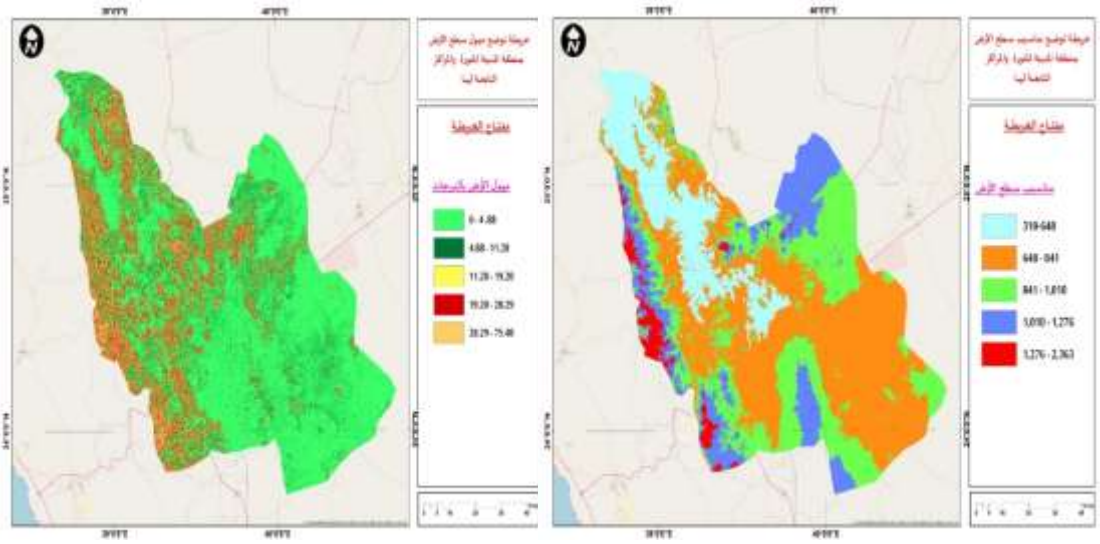
خريطة المحميات الطبيعية في منطقة الدراسة تم الحصول عليها من موقع Protected Planet، وتستخدم هذه الطبقة في النموذج بهدف منع النموذج من إقامة محطات الطاقة الشمسية في المحميات الطبيعية.

خ- طبقة المناطق الزراعية

تستخدم طبقة الأراضي الزراعية في النموذج لمنع إقامة محطة طاقة شمسية عليها، وتم الحصول عليها من خلال تحليل NDVI لمنطقة الدراسة.

د-طبقة انحدار السطح DEM

تم الحصول على ثمان مرئيات من القمر الصناعي STM 1 Arc من موقع وكالة الفضاء الأمريكية "ناسا" ثم دمج المرئيات من خلال الامر Mosaic، ثم اقتطاع الجزء الذي يغطي منطقة الدراسة بواسطة ملف shapefile يمثل حدود المدينة المنورة (النطاق الاشرافي)، تم انتاج خريطة انحدار السطح بالدرجات وخريطة مناسيب سطح الأرض بالأمتار لمنطقة الدراسة، كما في الشكل رقم(٩).



شكل (٩) خريطة ميول مناسيب سطح الأرض في منطقة الدراسة

٢. تحديد الأوزان النسبية للمعايير

تعد مسألة تحديد الأوزان للمعايير الموجودة في الدراسة واحدة من إحدى النقاط المهمة في هذا التحليل. وقد لجأت الدراسة إلى استخدام القيم الموزونة weight، وتم إعطاء كل طبقة من طبقات النموذج نسبة مئوية تجعلها تؤثر على بقية الطبقات بحيث يصبح مجموع النسب ١٠٠%، وقد تم تحديد أوزان المعايير لكل معيار والأهمية النسبية بناءًا على الأبحاث السابقة وتجارب الدراسات، كما هو موضح في العمود الأخير في الجدول رقم (٤).

نوع المعيار	المعيار	الوزن %
	الإشعاع الشمسي السنوي (واط ساعة/ م٢)	%٣٠
	ميل سطح الأرض (درجة)	%١٥
	البعد عن شبكة توزيع الكهرباء (كم)	%١٥
	البعد عن العمران (كم)	%٢٠
	البعد عن شبكة الطرق (كم)	%١٠
	البعد عن الاودية (كم)	%١٠
	المحميات الطبيعية	
	المناطق الزراعية	

جدول (٤) أوزان المعايير المستخدمة في بناء النموذج

رابعًا: المرحلة الثانية: تصميم النموذج Modeling

تتناول هذه المرحلة أهم الخطوات المتبعة في إنتاج نموذج الملائمة المكانية؛ حيث حددت البيانات الأساسية المطلوبة لبدء العمل؛ على أساسها اختيرت مجموعة من الطبقات وتشمل:

١. تحليل سطح الأرض: Slop

يستخدم أسلوب تحليل سطح الأرض Surface Analysis، لإنتاج طبقة الانحدار السطحي من خلال الأداة (slope)، بهدف معرفة تضاريس منطقة الدراسة؛ وذلك لتحديد المناطق المناسبة لإنشاء محطة الطاقة الشمسية.

٢. تحليل: Multiple Ring Buffer

بهدف إجراء التحليل متعدد المعايير، فقد تم أولاً إجراء تحليل المسافات. وتستخدم خرائط المسافات ضمن خرائط التحليل المكاني في نظم المعلومات الجغرافية في إنشاء نطاقات القرب والبعد عن ظاهرات معينة، والتي يعطي لكل منها وزن على حسب أهمية الظاهرة، حيث يرتبط هذا التحليل بعملية المطابقة لأوزان المعايير فمن خلاله تتم معرفة مسافة البعد عن كل معيار والوصول إلى الخطوة اللاحقة، وهي تحديد مدى الملائمة المكانية، وتم تصنيف الفئات في كل معيار إلى ٥ فئات بحيث تقاس مسافات البعد بالكيلومتر. وتم الوصول لهذه الأداة من صندوق الأدوات التحليل Arc Tools ومنه تم اختيار (Analysis Tools) ثم (proximity) ثم (multiple Ring Buffer). ويستثنى في تطبيق هذا التحليل معايير القيود وذلك لعدم صلاحية إنشاء محطات الطاقة الشمسية عليها.

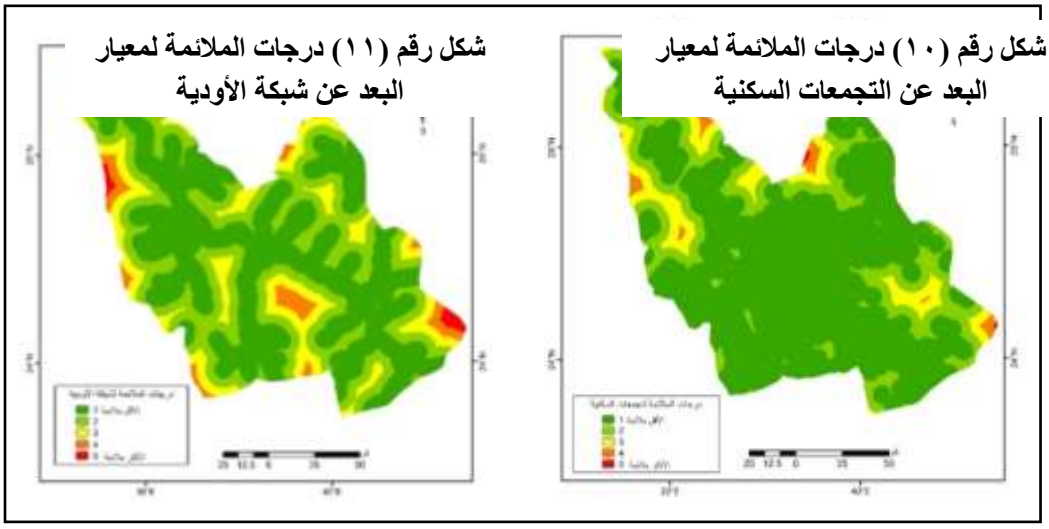
٣. التحويل إلى النموذج الشبكي: Rasterization

يتم العمل مع البيانات في النمط الشبكي اثناء التحليل، وتم تحويل خرائط المتغيرات الخطية vector إلى النمط الشبكي Raster، لتسهيل عملية النمذجة.

٤. إعادة تصنيف المعايير: Reclassify

تصنف المعايير إلى رتب تبين مدى صلاحية البعد والقرب عن كل معيار بالنسبة لمحطة الطاقة الشمسية، تستخدم هذه الأداة لإعادة تصنيف المعايير بحيث تعطي قيم جديدة بدل القيم القديمة، ولكن بتصنيف جديد للخريطة، وتمت عملية التصنيف في بيئة نظم المعلومات الجغرافية Arc GIS من خلال أداة (Spatial Analysis Tools) ومنه تم اختيار (Reclass) ثم (Reclassify) بعد ذلك صنفت تلك الفئات إلى خمسة نطاقات من القيمة ١ إلى القيمة ٥ لسهولة العرض والتحليل،

فتكون جميع المعايير فئة المسافة الأقرب من المعيار هي الأعلى في قيمة الملائمة (٥)، وتعني المنطقة الأكثر ملائمة وفئة المسافة الأبعد من المعيار هي الأقل في قيمة الملائمة (١)، وتعني المنطقة غير ملائمة كما يظهر في الاشكال (١٠-١٣).

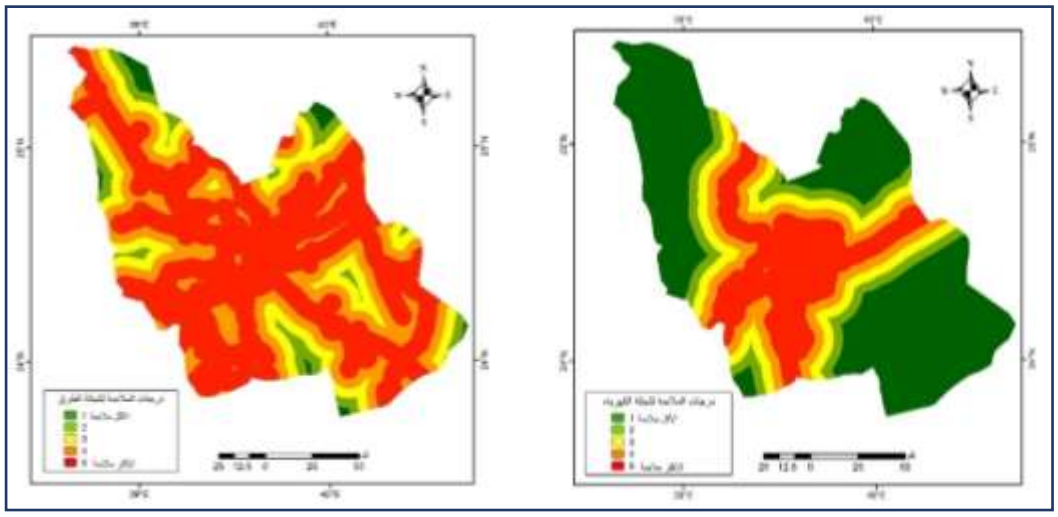


شكل رقم (١٠) درجات الملائمة لمعيار البعد عن التجمعات السكنية

شكل رقم (١١) درجات الملائمة لمعيار البعد عن شبكة الأودية

شكل رقم (١٢) درجات الملائمة لمعيار البعد عن شبكة الكهرباء

شـكل رقم (١٣) درجات الملائمة لمعيار البعد عن شبكة الطرق



شكل (١٢) درجات الملائمة لمعيار البعد عن شبكة الكهرباء

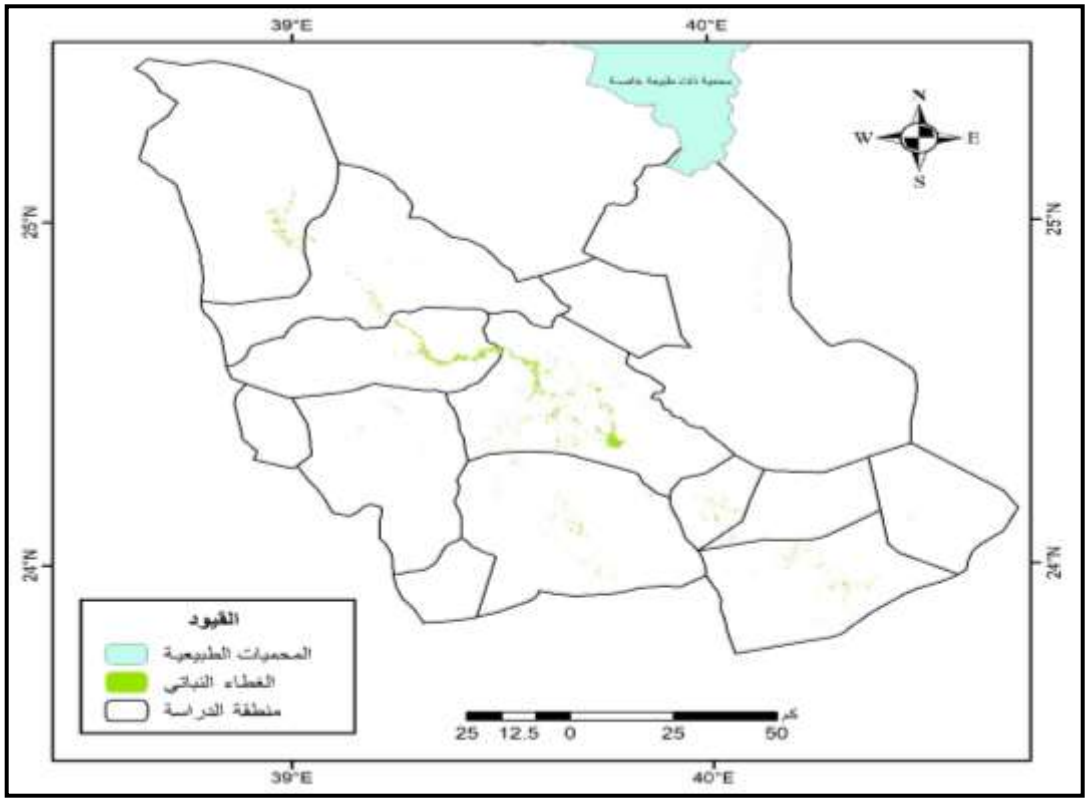
شكل (١٣) درجات الملائمة لمعيار البعد عن شبكة الطرق

- **تحليل الأوزان التركيبية Weighted overlay Analysis**

وهو تحليل الملائمة المكانية كأحد أدوات التحليل المكاني في برنامج Arc GIS، وتم التعامل في هذه الخطوة مع المخرجات التي تمت إعادة تصنيفها، وتحديد الاوزان لكل معيار من المعايير الستة بحيث كان مجموع الاوزان يساوي ١٠٠%، وتم تحويل طبقات قيم كل معيار من معايير النموذج إلى طبقات تمثل مدى الملائمة المكانية لكل معيار منفرداً، أي أنه تم التوصل إلى عدة نماذج ملائمة مكانية أولية، وتم الوصول للأداة من صندوق أدوات التحليل والانتقال إلى (Spatial Analysis Tools) ثم (Overlay) ومنه تم اختيار (Weighted overlay).

٥. إجراء نموذج الاستبعاد

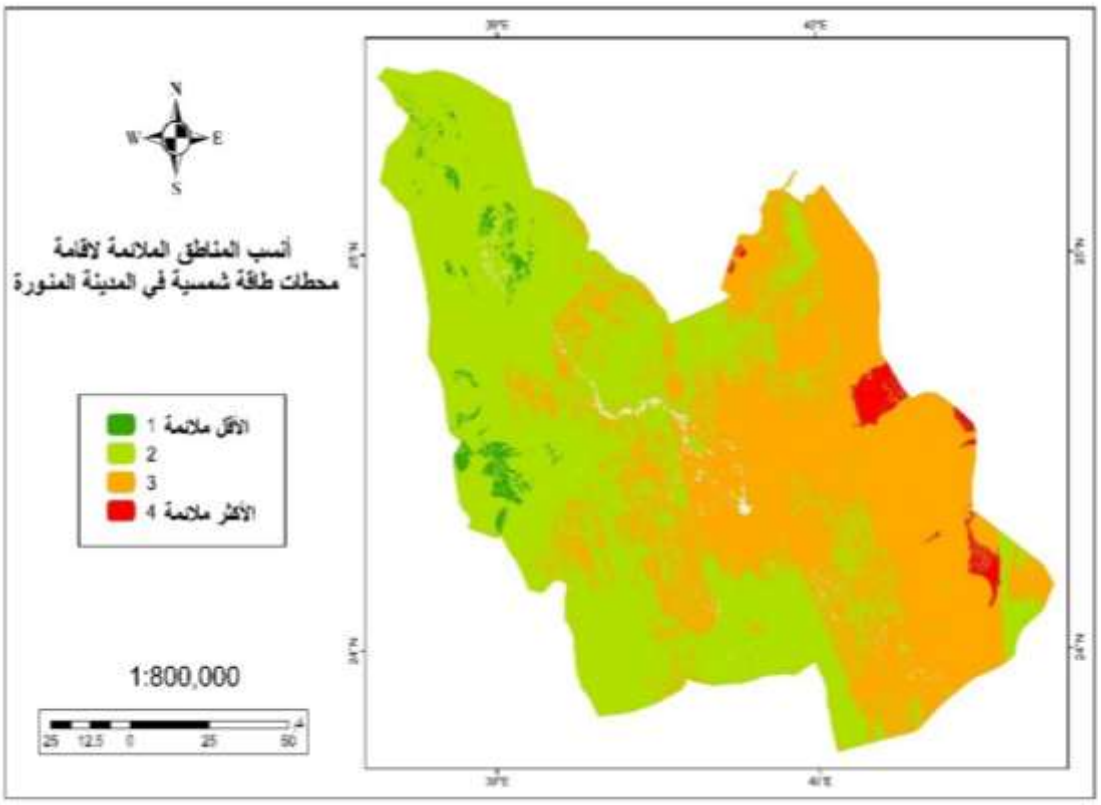
يتم في هذه المرحلة استبعاد جميع المناطق غير الصالحة لإجراء نموذج إقامة محطة طاقة شمسية من خلال عمل استبعاد من أداة (Erase) تقوم بمسح الظواهر الجغرافية. حيث يمثل الشكل رقم (١٤) أماكن القيود التي يجب أن لا يتم بناء محطة طاقة شمسية بها، وهي حدود المحميات الطبيعية والأراضي الزراعية.



شكل (١٤) القيود المكانية المفروضة على نموذج الملائمة

٦. استنتاج خريطة الملائمة للموقع الأنسب لإنشاء محطة طاقة شمسية

تبين من خلال عملية التحليل والنمذجة في بيئة نظم المعلومات الجغرافية انتاج خريطة تبين درجات ملائمة أفضل موقع لإنشاء محطة طاقة شمسية في المدينة المنورة (النطاق الإشرافي)، بناء على شكل رقم (١٥) حيث يمثل الرقم (١) في الخريطة أقل ملاءمة، بينما يمثل رقم (٤) أكثر ملاءمة. وقد اعتمدت الدراسة على مجموعة من المعايير التي شملت المعايير البيئية والاقتصادية في إخراج هذه النتائج. وبعد تطبيق النموذج بناءًا على المعايير والرتب التي حصلت عليها، وذلك ضمن مراحل وخطوات منتظمة ومدروسة وعلى أسس علمية، فإن نتائج نموذج الملائمة النهائي تشير إلى أن المنطقة الشرقية والجنوب الشرقي من المدينة المنورة مناسبة لإقامة مشروع محطة طاقة شمسية؛ ويمكن ملاحظته من خلال خريطة نموذج الملاءمة النهائي رقم (١٥)، كما تبين أن هناك تفاوتاً في مدى الملائمة المكانية حيث يمثل اللون الأحمر نسبة الملائمة الأكبر بينما يمثل اللون البرتقالي متوسط الملائمة، بينما يمثل اللون الأخضر أقل ملاءمة.



شكل (١٥) نموذج الملاءمة النهائي لأنسب المواقع لإنشاء محطة طاقة شمسية في المدينة المنورة

ظهرت المواقع الأكثر ملاءمة لإنشاء المحطات متدرجة ضمن أربع نطاقات من الأهمية كما في الشكل رقم (١٥) وجدول رقم (٥)، وتم حساب مساحات نتائج الملائمة النهائية للفئات من خلال

التحديد على الطبقة ثم فتح جدول المواصفات ثم إنشاء مجلد جديد لحساب المساحات من خلال الأمر (Calculate Gontents) كما هو موضح في الجدول رقم (٥).

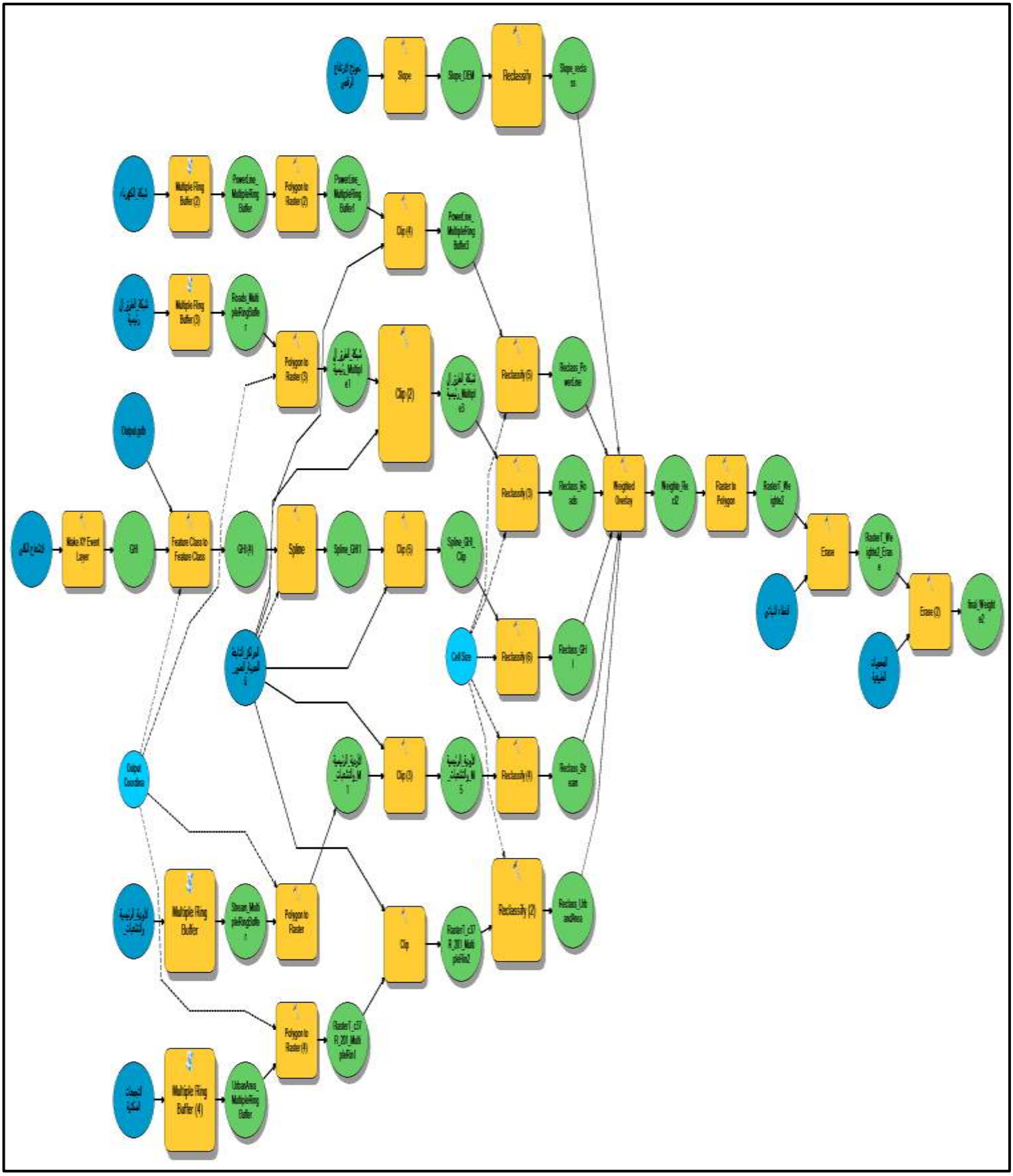
درجة الملائمة	الملائمة	المساحة (كم٢)	النسبة المئوية
١	قليلة جدًا	٣٠٥ كم٢	%١,٤٥
٢	قليلة	١١٣٣٦ كم٢	%٥٣,٦٦
٣	متوسطة	٩١٩٠ كم٢	%٤٣,٥١
٤	عالية	٢٩٢ كم٢	%١,٣٨

جدول (٥) درجات الملاءمة المكانية للنموذج النهائي

وعند تصنيف النتائج بشكل أدق لتوضيح الفروق بين النتائج النهائية تبين أن معدل الملاءمة يتزايد في المرتبة ٣ و٤ ويتضح من خلال جدول رقم (٥) أن المساحات الواسعة للملاءمة تتركز في الفئات قليلة الملائمة ومتوسطة الملائمة، تليها المساحة الغير ملائمة، وفي المرتبة الأخيرة المساحات عالية الملائمة، وتعتبر هذه النتائج واعدة ومبشرة لقطاع الطاقة المتجددة في المدينة المنورة، ويجب أخذها بعين الاعتبار. وبالتحليل الدقيق لهذه المواقع تبين أن الأراضي التي تكون نسبة ملائمة أقل تبلغ مساحة ٣٥٠ كم^{٢} وتبلغ نسبتها ١,٤٥% من أجمالي أراضي منطقة الدراسة، وأن غالبية المناطق تتركز في درجة ملائمة قليلة حيث تبلغ مساحتها ١١٣٣٦ كم^{٢} وتبلغ نسبة ملاءمتها ٥٣,٦٦% تليها المناطق متوسطة الملاءمة والتي تبلغ مساحتها ٩١٩٠كم^{٢} بنسبة ٤٣,٥١% وتأتي في المرتبة الأخيرة المناطق التي تتميز بنسبة ملائمة أكبر حيث تبلغ مساحتها ٢٩٢كم^{٢} بنسبة ملائمة ١,٣٨% من أجمالي مساحة منطقة الدراسة.

٧. النموذج الهيكلي Model Builder للنموذج الكارتوغرافي

للوصول إلى مدى ملاءمة موقع الدراسة لتطوير مشروعات الطاقة الشمسية، حيث يعتمد هذا الأسلوب على بناء النموذج الهيكلي للتحليل المكاني على أساس تبسيط المشاكل المعقدة والتداخل في البيانات وعلاقاتها المكانية والوصفية؛ لذلك يتم صياغة هذا النموذج لتبسيط المشكلة الأساسية وصياغة طريقة حلها من خلال ما يسمى بالتخطيط البياني لمراحل العمل Flowchart، شكل (١٦) ويعتمد في مجمله على مراحل التحليل المكاني مع إضافة أساليب وأدوات التحليل المستخدمة وتبسيط المشكلة الرئيسية إلى مجموعة مشاكل فرعية، كما أنه يوضح خطوات عملية التحليل بالتفصيل (أبو جياب، ٢٠١٢م، ص٢١١).



شكل (١٦) نموذج أنسب موقع لإنشاء محطة طاقة شمسية في المدينة المنورة

النتائج والتوصيات

أولاً: النتائج

استخدم في الدراسة تقنية نظم المعلومات الجغرافية التي ساعدت من خلال توظيف أدواتها وأساليبها في تطبيق أسلوب نظم المعلومات الجغرافية متعدد المعايير وتطبيق التحليلات المكانية التي تحاكي الواقع، وتقدم الحلول لمشكلات قد تواجه قطاع الطاقة الكهربائية، والسعي للاستفادة من البدائل الموجودة في الطبيعة كالطاقة الشمسية، قد تفيد الجهات المهتمة في اتخاذ القرارات المستقبلية في هذا المجال. وتوصلت الدراسة إلى النتائج الآتية:

١. تتباين توزيع الظواهر المكانية ما بين ظواهر بشرية وطبيعية التي تنتشر على أراضي المدينة المنورة كالأودية، وشبكات الكهرباء، والطرق، والأراضي الزراعية، إلى جانب المراكز والتجمعات السكنية في المدينة المنورة وتعد هذه الظواهر معايير اعتمدت عليها الدراسة لتصميم نموذج يحدد الملاءمة المكانية لاختيار أنسب موقع لإنشاء محطة طاقة شمسية.

٢. تبين من خلال دراسة عامل الإشعاع الشمسي أنه يتأثر في منطقة الدراسة بعدد من العوامل، ولكن يُعد عامل موقع الدراسة من دوائر العرض وموقعها ضمن نطاق حزام التعامد أكبر العوامل المؤثرة على عنصر الإشعاع الشمسي في المدينة المنورة.

٣. يتراوح المعدل السنوي لعدد ساعات سطوع الشمسي (٩,٥٩ ساعة/ اليوم) نجد أن أعلى نسبة يتمتع بها فصل الصيف؛ حيث تصل إلى ٢٨% من سطوع الشمس السنوي، أما أدني نسبة فهي في فصل الشتاء؛ حيث تصل إلى ٢٢% من السطوع الشمسي السنوي.

٤. اتضح من خلال الدراسة للإشعاع الشمسي الكلي في المدينة المنورة أنه يبلغ (٦١٣٣,٤ واط ساعة/م^{٢}) خلال السنة، وأن أعلى نسبة معدل يتصف بها فصل الصيف؛ حيث بلغ معدله (٧٦١١,٩ واط ساعة/ م^{٢}) من الإشعاع الشمسي الكلي السنوي، أما أدنى معدل فنجده في فصل الشتاء؛ حيث بلغ (٤٥٩٤,٢ واط ساعة/ م^{٢}).

٥. كما توصلت الدراسة إلى أن منطقة المدينة المنورة تقع في نطاق الإشعاع الشمسي التي يبلغ فيه المعدل السنوي لكمية الإشعاع الشمسي المباشر (٦١٣٨,٦ واط ساعة/ م^{٢})، بينما تصل أعلى معدل في فصل الصيف؛ حيث بلغ (٦٩٦٦,٧ واط ساعة/ م^{٢}) من الإشعاع الشمسي السنوي، وأقل قيمة في فصل الشتاء؛ حيث بلغ معدل به (٥٧٧٠,٥ واط ساعة/م^{٢}).

٦. تتمتع المدينة المنورة بمقومات جغرافية تجعلها تتلقى كميات كبيرة من الإشعاع الشمسي طوال العام، مع اختلاف في كمية الإشعاع خلال فصول السنة، مما يجعلها صالحة لبناء محطة طاقة شمسية.

٧. التوصل إلى النموذج النهائي لتحويل طبقات القيم لكل معيار للوصول لعدة نماذج ملائمة مبدئية، وكشفت نتائج النموذج النهائي شكل رقم (١٥) بعد مسح مناطق القيود المكانية (المناطق الزراعية، المحميات الطبيعية) التي لا يتناسب إنشاء محطة طاقة شمسية عليها، أن هناك تفاوتاً في مدى الملاءمة المكانية حيث اتضح أن المناطق ذات اللون الأحمر من الفئة (٤) أعلى ملاءمة ويمكن تصنيف درجة ملاءمتها عالية، حيث تتركز هذه المناطق في الشرق والجنوب الشرقي.

٨. تبين أن المناطق ذات اللون الأحمر ذات الملاءمة الأكبر في إنشاء محطة طاقة شمسية وبلغت مساحتها ٢٩٢كم^{٢} بنسبة ١,٣٨% من إجمالي مساحة منطقة الدراسة، حيث قوة الإشعاع الشمسي واستواء السطح والقرب من شبكة الطرق والشبكة العامة للكهرباء وبعدها من المناطق العمرانية.

ثانيًا: التوصيات

١. العمل على معرفة الملاءمة المكانية لمحطات الطاقة الشمسية لتفعيل رؤية المملكة ٢٠٣٠ وذلك من خلال تطبيق أسلوب المعايير المتعددة على جميع المناطق الإدارية بالمملكة.

٢. زيادة مشاريع الطاقة الشمسية والتأكيد على نشر ثقافة وزيادة التوعية باستخدام الطاقة الشمسية لدى السكان.

٣. الاطلاع على تجارب الدول الأخرى المشابهة للظروف المناخية مع المنطقة وتحليلها والخروج بأهم الدروس المستفادة منها.

٤. الاستفادة من نموذج الملاءمة المرفق في الدراسة في الخطط المستقبلية لمشروعات الطاقة الشمسية بالمدينة المنورة.

٥. إدراج أسلوب نظم المعلومات الجغرافية متعددة المعايير في جميع برامج ومبادرات التنمية في قطاع الطاقة.

٦. تخصيص جزء من برامج الدعم لمشروعات الطاقة الشمسية وشركات تجميع وتركيب الخلايا.

٧. دعم الأبحاث والدراسات في مجال الطاقة الشمسية في المؤسسات التعليمية والمراكز المتخصصة، وتطبيق الأبحاث التي تم الانتهاء منها.

٨. توصي الدراسة بأن يتم اختيار وتصميم مخططات الطاقة الشمسية بناءًا على تحليلات ومخرجات نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بُعد.

٩. عقد شراكات مع الهيئة العامة للأرصاد الجوية للاهتمام بتوفير المعلومات المناخية ورصد الإشعاع الشمسي الكلي والمباشر والمشتت، لاستخدامها في تطبيقات إنتاج الطاقة المتجددة.

١٠. إدارة المعلومات الجغرافية من قبل الجهات المعنية باستخدام الطاقة الشمسية على مستوى القطاع العام والخاص، واستخدامها في مشروعات إنتاج الطاقة.

١١. وضع خطط للطاقة الشمسية طويلة ومتوسطة الأجل واعتمادها من قبل الجهات المعنية والمستويات العليا في الدولة.

١٢. عمل برامج ومبادرات تشجع وتوجه الاستثمار في الأنشطة الإنتاجية لتحقيق الطاقة المستدامة.

المصادر والمراجع

المراجع العربية

أبو العطا، فهمي هلالي (١٩٧٤م). الطقس والمناخ دراسة في طبيعة الجو وجغرافيا المناخ، (ط٢). مؤسسة الثقافة الجامعية.

آل زبنه، ناصر بن سعيد (٢٠١٤م). بناء نموذج خرائطي للتوزيع الأمثل لمراكز الرعاية الصحية الأولية في مدينة أبها باستخدام نظم المعلومات الجغرافية، رسالة دكتوراه، جامعة الملك سعود، كلية الآداب، قسم الجغرافيا، الرياض.

آل سرور، فوزية علي أحمد (٢٠١٨م). التوزيع الأمثل لمواقع استغلال الطاقة الشمسية بمحافظة النعيرية باستخدام نظم المعلومات الجغرافية.

داود، جمعة محمد (٢٠١٤م). مبادئ علم نظم المعلومات الجغرافية، (ط١)، مكة المكرمة، المملكة العربية السعودية.

داود، جمعة محمد؛ والغامدي، خالد عبد الرحمن؛ ومندور، مسعد سلامة، (٢٠١٧م). تحديد أفضل المواقع لتجميع الطاقة الشمسية في منطقة مكة المكرمة الإدارية باستخدام نظم المعلومات الجغرافية متعددة المعايير، الملتقى الوطني الحادي عشر لتطبيقات نظم المعلومات الجغرافية في المملكة العربية السعودية، الدمام ١١-١٣ أبريل ٢٠١٧م.

داود، جمعة محمد (٢٠١٩م). نظم المعلومات الجغرافية وقواعد البيانات (عروض تقديمية)، حلقة (٩) التحليل المكاني في GIS.

دبس، عبد الرحمن مصطفى (١٤٣٦هـ). مبادئ علم الخرائط، (ط١)، المدينة المنورة، مكتبة دار الزمان للنشر والتوزيع.

دبس، عبد الرحمن مصطفى، (١٤٤٠ هـ). نظم المعلومات الجغرافية، أسس ومبادئ تمارين وتطبيقات، (ط١). المدينة المنورة، مكتبة الملك فهد الوطنية.

دبس، عبد الرحمن مصطفى؛ وآل زبنه، ناصر بن سعيد (١٤٤٠ هـ). الخرائط الرقمية. (ط١)، المدينة المنورة، مكتبة الملك فهد الوطنية.

دقامسة، صالح طاهر (٢٠٢٠م). مقدمة في الاستشعار عن بُعد، (ط٢)، المدينة المنورة، مكتبة دار الزمان للنشر والتوزيع.

الراوي، عادل سعيد؛ والسامراني، قصي عبد المجيد (١٩٩٠م). المناخ التطبيقي، جامعة بغداد، العراق.

الرحيلي، عهود عائض راجح (١٤٣١ هـ). استخدام نظم المعلومات الجغرافية لاختيار أفضل مواقع الدفن الآمن للنفايات الخطرة في المدينة المنورة، مجلة جامعة السلطان قابوس: الآداب والعلوم الاجتماعية. (مقبولة لنشر).

الرويثي، محمد؛ وخوجلي، مصطفى، (١٩٩٨م). المدينة المنورة والإنسان، (ط١). المدينة المنورة، نادي المدينة المنورة الأدبي، دارة الواحة العربية.

سليمان، كامل حنان (١٩٨٧م). مناخ مصر، الهيئة العامة للأرصاد الجوية، القاهرة.

شرف، محمد إبراهيم (٢٠٠٧م). جغرافية المناخ والبيئة، جامعة الإسكندرية، كلية الآداب، الإسكندرية.

شرف، محمد إبراهيم محمد، (٢٠٠٨م). التحليل المكاني باستخدام نظم المعلومات الجغرافية، الإسكندرية، دار المعرفة.

شرف، محمد إبراهيم محمد (٢٠٠٩). خرائط الطقس والمناخ، الإسكندرية، دار المعرفة الجامعية.

طلبه، شحاته سيد أحمد (٢٠٠٢م). مناخ المدينة المنورة وآثرها الاقتصادية، (ط١). المدينة المنورة، نادي المدينة المنورة الأدبي.

عبد الرحمن، حسن يونس حسن (٢٠١٥م). المناخ وأثره على الموازنة المائية في شبة جزيرة سيناء دراسة في المناخ التطبيقي، رسالة ماجستير، جامعة طنطا، كلية الآداب، مصر.

عبدالفتاح، عبدالفتاح السيد (٢٠١٧م) تقييم طرق تصنيف المرئيات الفضائية لدراسة التغير العمراني بمحافظة البحيرة، رسالة الدكتوراه، جامعة القاهرة، كلية الآداب، قسم الجغرافية، القاهرة.

كهار، عبد الكريم عباس كريم؛ والجوازري، عدنان كريم كهار(٢٠٢٠م). إمكانات استثمار الإشعاع الشمسي والرياح لإنتاج الطاقة المتجددة (محافظتا السلمانية والمثنى دراسة مقارنة). مجلة العلوم الإنسانية كلية التربية للعلوم الإنسانية. (مقبول للنشر).

مرزا، معرج نواب؛ على، محمد السيد (٢٠١٣م). المدينة المنورة من منظور مناخي. مجلد الجمعية الجغرافية الخليجية. (مقبولة للنشر).

يوسف، عبد العزيز عبد اللطيف (٢٠٠٠م). المناخ الفسيولوجي في مصر، حوليات كلية الآداب، دورية علمية نصف سنوية، م٢٨ (٢)، جامعة عين الشمس.

المراجع الأجنبية

Al Garni, H. Z.; Awasthi, A. *Solar PV power plant site selection using a GIS-AHP based approach with application in Saudi Arabia*. Appl. Energy 2017,206, 1225–1240. [CrossRef]

Alghamdi, A.S. *Potential for Rooftop-Mounted PV Power Generation to Meet Domestic Electrical Demand in Saudi Arabia*: CaseStudy of a Villa in Jeddah. Energies 2019, 12, 4411. [CrossRef]

Asif, M.; Hassanain, M.A.; Nahiduzzaman, K.M.; Sawalha, H. *Techno-economic assessment of application of solar PV in building sector*: A case study from Saudi Arabia. Smart Sustain. Built Environ. 2019, 8, 34–52. [CrossRef]

BP. BP Statistical Review of World Energy 2019, 68th ed.; BPX Energy: Denver, CO, USA, 2019; Available online: https://www.bp.com/content/dam/bp/businesssites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2019-full-report.pdf (accessed on 27 October 2021).

Dawod, Gomaa M. (2013). *Suitability analysis for tourist infrastructures utilizing multi-criteria GIS*: A case study in Al-Hada city, Saudi Arabia. International journal of geomatics and geosciences, V. 4, No. 2, pp. 313-24.

Elshurafa, A.M.; Muhsen, A.R. *The Upper Limit of Distributed Solar PV Capacity in Riyadh: A GIS-Assisted Study*. Sustainability 2019, 11, 4301. [CrossRef]

Green, E.P., Clark, C.D., Edwards, A.J. (2000) *Geometric correction of satellite and airborne imagery, Remote Sensing Handbook for Tropical Coastal Management*. Coastal Management Sourcebooks 3, UNESCO, Paris.

Khan, G.; Rathi, S. *Optimal site selection for solar PV power plant in an Indian state using geographical information system (GIS)*. Int. J. Emerg. Eng. Res. Technol. 2014, 2, 260–266.

Sanchez-Lozano, J., Teruel-Solano, J., Soto-Elvira, P., and Garcia-Cascales, S. (2013) *Geographic information systems (GIS) and multi-criteria decision making (MCDM) methods for the evaluation of solar farms locations*: Case study in south-eastern Spain, Renewable and sustainable energy review, No. 24, pp. 544-556.

Saudi Arabia Government. Saudi Vision 2030. Available online: https://vision2030.gov.sa/en/node/87 (accessed on27 October 2021).

United Nations Saudi Arabia. Sustainable Development Goal. Available online: https://saudiarabia.un.org/en/sdgs/7 (accessed on 19 October 2021). Energies 2022, 15, 312 20 of 21

US Energy Information Administration. Country Analysis Brief: Saudi Arabia.Availableonline:https://www.eia.gov/international/content/analysis/countries_long/Saudi_Arabia/saudi_arabia.pdf (accessed on 24 October 2021).

المراجع العربية بحروف لاتينية

Abu Al-Ata, Fahmi Hilali (1974). Weather and Climate: A Study of the Nature of the Atmosphere and Climate Geography, (2nd ed.). University Culture Foundation.

Al-Zabnah, Nasser bin Saeed (2014). Building a Cartographic Model for the Optimal Distribution of Primary Healthcare Centers in Abha City Using Geographic

Information Systems. PhD Thesis, King Saud University, College of Arts, Department of Geography, Riyadh.

Al-Surur, Fawzia Ali Ahmed (2018). Optimal Distribution of Solar Energy Utilization Sites in Al-Nuairyah Governorate Using Geographic Information Systems.

Dawood, Jumaa Muhammad (2014). Principles of Geographic Information Systems, (1st ed.), Makkah Al-Mukarramah, Kingdom of Saudi Arabia.

Dawood, Jumaa Muhammad; Al-Ghamdi, Khaled Abdul Rahman; and Mandour, Masoud Salama (2017). Determining the Best Sites for Solar Energy Collection in the Makkah Al-Mukarramah Administrative Region Using Multi-Criteria Geographic Information Systems. The Eleventh National Forum for Geographic Information Systems Applications in the Kingdom of Saudi Arabia, Dammam, April 11-13, 2017. Dawood, Juma Muhammad (2019). Geographic Information Systems and Databases (Presentations), Episode (9): Spatial Analysis in GIS.

Dabs, Abdul Rahman Mustafa (1436 AH). Principles of Cartography, (1st ed.), Medina, Dar Al-Zaman Library for Publishing and Distribution.

Dabs, Abdul Rahman Mustafa (1440 AH). Geographic Information Systems, Foundations and Principles, Exercises and Applications, (1st ed.), Medina, King Fahd National Library.

Dabs, Abdul Rahman Mustafa; and Al-Zabnah, Nasser bin Saeed (1440 AH). Digital Maps. (1st ed.), Medina, King Fahd National Library.

Daqamseh, Saleh Taher (2020). Introduction to Remote Sensing, (2nd ed.), Medina, Dar Al-Zaman Library for Publishing and Distribution.

Al-Rawi, Adel Saeed; and Al-Samarani, Qusay Abdul Majeed (1990). Applied Climatology, University of Baghdad, Iraq. Al-Rahili, Ahoud A'idh Rajih (1431 AH). Using Geographic Information Systems to Select the Best Safe Landfill Sites for Hazardous Waste in Medina. Journal of Sultan Qaboos University: Arts and Social Sciences. (Accepted for publication).

Al-Ruwaithi, Muhammad; and Khojali, Mustafa (1998). Medina and the Human Being, (1st ed.). Medina, Medina Literary Club, Darat Al-Waha Al-Arabiya.

Suleiman, Kamel Hanan (1987). The Climate of Egypt, General Authority of Meteorology, Cairo.

Sharaf, Muhammad Ibrahim (2007). Geography of Climate and Environment, Alexandria University, Faculty of Arts, Alexandria.

Sharaf, Muhammad Ibrahim Muhammad (2008). Spatial Analysis Using Geographic Information Systems, Alexandria, Dar Al-Ma'rifa.

Sharaf, Muhammad Ibrahim Muhammad (2009). Weather and Climate Maps, Alexandria, Dar Al-Ma'rifa Al-Jami'a.

Talbah, Shehata Sayed Ahmed (2002). The Climate of Medina and Its Economic Impact, (1st ed.). Al-Madinah Al-Munawwarah, Al-Madinah Al-Munawwarah Literary Club.

Abdul Rahman, Hassan Younis Hassan (2015). Climate and its Impact on the Water Balance in the Sinai Peninsula: A Study in Applied Climatology. Master's Thesis, Tanta University, Faculty of Arts, Egypt.

Abdul Fattah, Abdel Fattah Al-Sayed (2017). Evaluating Satellite Image Classification Methods to Study Urban Change in Beheira Governorate. PhD Thesis, Cairo University, Faculty of Arts, Department of Geography, Cairo.

Kahhar, Abdul Karim Abbas Karim; and Al-Jawazry, Adnan Karim Kahar (2020). The Potential of Utilizing Solar Radiation and Wind to Produce Renewable Energy (Salmaniyah and Muthanna Governorates: A Comparative Study). Journal of Humanities, Faculty of Education for the Humanities. (Accepted for publication).

Mirza, Maraj Nawab; Ali, Muhammad Al-Sayed (2013). Al-Madinah Al-Munawwarah from a Climatic Perspective. Gulf Geographical Society Volume. (Accepted for publication).

Youssef, Abdul Aziz Abdul Latif (2000). Physiological Climate in Egypt, Annals of the Faculty of Arts, a semi-annual scientific journal, Issue 28 (2), Ain Shams University.

مجلة جامعة الملك عبدالعزيز: الآداب والعلوم الإنسانية، م (٣٣)، ع (٤)، ص ص: ١٩٣ – ٢٢٧، (٢٠٢٥م)
DOI: 10.64064/1658-4295.1044

Developing a multi- criteria model using GIS aimed to select the optimal location to build solar power plants in Madina region

1 Nasser bin Saeed Al-Zabnah

King Khalid University

naalzabnh@kku.edu.sa

2 Afnan Abdul Aziz Al-Haddad

3 Saleh Taher Daqamseh

2، 3 Taibah University

Abstract

Objectives: The main objective of this research is to develop model to determine the optimal site for establishing a solar energy plant in Medina, it also seeks to detect the most important influential criteria, and to apply the multi-criteria GIS method in determining the most appropriate sites for establishing a solar energy plant. This study has used the practical and analytical approach, and the analytical inductive approach by using the GIS software packages, on top of which is ARCGIS 10.8 program in entering the spatial data and creating a database. **Approach**: The study relayed on analytical and technical methods. The study was based on data obtained from the government sources. ***Results***: the result's findings indicated that most of Medina regions are convenient for establishing a solar energy plant with different degrees of appropriateness. The most appropriate sites appeared within four scopes of importance, and it has been found that the area of the lands, which are characterized by a high appropriateness percentage, amounts to 292 km^2 of the total area of study region with a percentage of 1.38%, then followed by the regions of medium appropriateness whose area amounts to 9190 km^2 with a percentage of 43.51%, and that the majority of regions are localized in a degree of low appropriateness with an area which amounts to 11336 km^2 and their appropriateness percentage amounts to 53.66%. In the last rank comes the regions of very low appropriateness percentage whose area is 350 $km^{2,}$ and their percentage amounts to 1.45% of the total lands of the study region.

Keywords: model, Geographic Information Systems, Solar Radiation, Multi-Criteria Method**.**