المجلة الجغرافية العربية

تصدر عن الجمعية الجغرافية المصرية

خريطة الملاءمة المكانية لمواقع محطات الطاقة الشمسية في محافظة المنيا

"نهج تطبيقي لأسلوب اتخاذ القرار المكاني متعدد المعايير في بيئة نظم المعلومات الجغرافية"

د/ نورا رجب ابراهيم

قسم الجغرافيا– كلية الآداب– جامعة كفرالشيخ

د/ تامر على عبد المجيد الصباغ

قسم الجغرافيا–المعهد العالى للدراسات الأدبية–كنج مريوط

أ.م.د/ محمد أحمد محمود الشناوى

قسم الجغرافيا–كلية الآداب–جامعة كفرالشيخ

سلسلة بحوث جغرافية	(اكتوبر ٢٠٢٣) عدد خاص	العدد: مائة وخمسة وثمانون

كافة حقوق النشر محفوظة للجمعية الجغرافية المصرية
وجميع الأراء الواردة في بحوث هذه السلسلة تعبر عن آراء
أصحابها ولا تعبر بالضرورة عن وجهات نظر الجمعية الجغرافية المصرية

الترقيم الدولي الموحد للطباعة: ١١١٠ – ١٩١١

الترقيم الدولي الموحد الإلكتروني: ٢٦٨٢ – ٤٧٩٥

الموقع على شبكة الانترنت: www.egyptiangs.com

All rights reserved. This book is protected by copyright. No part of it may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording, or otherwise, without written permission from The Egyptian Geographical Society.

قواعد النشر

تهدف هذه السلسلة إلى نشر البحوث الجغرافية الأصيلة التى يقوم بها الجغرافيون المصريون المتخصصون، بهدف تعريف المؤسسات العلمية العالمية والعربية، بالنشاط العلمى الذى تتبناه وتتوفر عليه الجمعية الجغرافية المصرية.

وتقوم بحوث هذه "السلسلة" على الدراسات الجغرافية الميدانية، وعلى البحوث التى تهتم بطرح رؤى جديدة فى مناهج البحث الجغرافى وأساليبه، كما تعنى بالبحوث النفعية فى مختلف مجالات الجغرافيا التطبيقية، وهو ما يتيح للجغرافيين العرب والأجانب الإطلاع على ما تقوم به الجمعية الجغرافية المصرية التى تعد أقدم الجمعيات الجغرافية فى العالم العربى، كما تعد رائدة فى إجراء البحوث والدراسات الجغرافية الجادة والأصلية.

وقد تتضمن بحوث هذه "السلسلة" ملخصات مكثفة لرسائل الماجستير والدكتوراة المجازة فى الجامعات المصرية والعربية وغيرها.

ويشترط فى البحوث التى تنشر ضمن هذه السلسلة مراعاة القواعد التالية:

- تقبل للنشر فى هذه السلسلة البحوث التى تتسم بالأصالة وتسهم فى تقدم المعرفة الجغرافية.
- يقدم مع البحوث المكتوبة باللغة العربية ملخص (Abstract) باللغة الإنجليزية. كما يقدم مع البحوث المكتوبة بلغة أجنبية ملخص باللغة العربية.
- لا يزيد البحث عن ١٥٠ صفحة، ويجوز لمجلس الإدارة استثناء البحوث الممتازة من هذا الشرط.
- يشترط ألا يكون العمل المقدم قد سبق نشره أو قدم للنشر فى أية جهة أخرى.
- يقدم البحث فى صورته الأخيرة المقبولة للنشر من ثلاث نسخ مرفقاً به اسطوانة ليزر (CD) مستخدماً إحدى برمجيات معالجة النصوص مع نظام ويندوز المتوافق مع IBM، على أن تكون الكتابة ببنط ١٤ ومسافة ١ بين الأسطر، وتقدم الخرائط والصور والأشكال مستقلة محفوظة فى صورة JPEG أو Tiff و Resolution ٢٠٠ فأكثر.
- يفضل أن تقدم الخرائط والأشكال البيانية بالألوان بحيث لا تتجاوز مساحتها (١٢ سم عرض × ١٨ سم طول)، وإن تعذر ذلك تقدم بالأبيض والأسود وفق القواعد الكارتوجرافية.
- يكتب الباحث اسمه واسم البحث فى ورقة منفصلة ويكتفى بكتابة عنوان البحث فقط على رأس البحث مراعاة لسرية التحكيم.
- يعرض البحث على اثنين من المحكمين من كبار الأساتذة فى مجال التخصص، وفى حالة اختلاف رأى المحكمين، يرسل البحث إلى محكم ثالث مرجح، وبناء على تقاريرهم يمكن قبول البحث للنشر أو إعادته للباحث لإجراء التعديلات أو التصويبات الضرورية قبل نشره.
- البحوث التى تقدم للنشر لا ترد إلى مقدميها سواء نشرت أو لم تنشر.
- تحتفظ الجمعية بحقوق النشر كاملة.
- يسلم للباحث ١٠ نسخ من بحثه بعد نشره، وإذا أراد نسخاً إضافية يسدد ثمنها طبقاً لسعر البيع الذى تحدده الجمعية.

هيئة تحرير المجلة

أ.د. محمد زكي السديمي	رئيس مجلس إدارة المجلة
أ.د. إسماعيل يوسفإسماعيل	نائب رئيس مجلس إدارة المجلة ورئيس التحرير
أ.د. مصطفى محمد البغدادي	مدير التحرير
أ.م.د. محمد إبراهيم خطاب	محرر تنفيذي
أ.م.د. كامل مصطفى كامل	محرر تنفيذي
د. محمد ربيع عبدالظاهر	محرر تنفيذي
د. رشا حسين رمضان	محرر تنفيذي

مجلس إدارة الجمعية الجغرافية المصرية

أ.د. محمد زكي السديمي	رئيس مجلس إدارة الجمعية
أ.د. عبد الله علام عبده علام	نائب رئيس مجلس إدارة الجمعية
أ.د. إسماعيل يوسف إسماعيل	أمين عام الجمعية
أ.د.مسعد السيد أحمد بحيري	أمين صندوق الجمعية
أ.د. فتحي محمد أبو عيانة	عضو مجلس إدارة الجمعية
أ.د. أحمد حسن إبراهيم	عضو مجلس إدارة الجمعية
أ.د. أحمد السيد الزاملي	عضو مجلس إدارة الجمعية
أ.د. شحاتة سيد أحمد طلبة	عضو مجلس إدارة الجمعية
أ.د. مصطفى محمد البغدادي	عضو مجلس إدارة الجمعية
أ.د. عبد العظيم أحمد عبدالعظيم	عضو مجلس إدارة الجمعية
أ.د. عمر محمد علي محمد	عضو مجلس إدارة الجمعية
أ.د. سامح إبراهيم عبدالوهاب	عضو مجلس إدارة الجمعية
أ.د. عادل عبدالمنعم السعدني	عضو مجلس إدارة الجمعية
أ.د. عطية محمود الطنطاوي	عضو مجلس إدارة الجمعية
أ.د. عبير ابراهيم عبدالله	عضو مجلس إدارة الجمعية

الهيئة الاستشارية

أ.د. عبد الله يوسف الغنيم	أستاذ الجغرافيا الطبيعية بمركز البحوث والدراسات الكويتية
أ.د. نبيل سيد إمبابي	أستاذ بقسم الجغرافيا كلية الآداب جامعة عين شمس
أ.د. فتحي عبد العزيز أبو راضي	أستاذ بقسم الجغرافيا كلية الآداب جامعة الاسكندرية
أ.د. فاروق كامل عز الدين	أستاذ بقسم الجغرافيا كلية الآداب جامعة الزقازيق
أ.د. سعيد محمد عبده	أستاذ بقسم الجغرافيا كلية البنات جامعة عين شمس
أ.د. محمد عبدالرحمن الشرنوبي	أستاذ بقسم الجغرافيا كلية الآداب جامعة الفيوم
أ.د. السعيد إبراهيم البدوي	أستاذ بقسم الجغرافيا كلية الدراسات الأفريقية العليا جامعة القاهرة
أ.د. جودة فتحي التركماني	أستاذ بقسم الجغرافيا كلية الآداب جامعة القاهرة
أ.د. كريم مصلح صالح	أستاذ بقسم الجغرافيا كلية الآداب جامعة سوهاج
أ.د. محمد نور الدين السبعاوي	أستاذ بقسم الجغرافيا كلية الآداب جامعة المنيا
أ.د. عزة أحمد عبد الله	أستاذ بقسم الجغرافيا كلية الآداب جامعة بنها
أ.د. مسعد سلامة مندور	أستاذ بقسم الجغرافيا كلية الآداب جامعة المنصورة
أ.د. إبراهيم محمد علي بدوي	أستاذ بقسم الجغرافيا كلية الآداب جامعة دمياط
أ.د. إبراهيم علي عبدالهادي غانم	أستاذ بقسم الجغرافيا كلية الآداب جامعة طنطا
أ.د. محمد فوزي عطا	أستاذ بقسم الجغرافيا كلية الآداب جامعة بني سويف
أ.د. إيملي محمد حلمي حمادة	أستاذ بقسم الجغرافيا كلية الآداب جامعة المنوفية
أ.م.د. علي الدوسري	أستاذ مساعد بقسم الجغرافيا – جامعة الملك سعود – السعودية
Dr. Niki Evelpidou	**National & Kapodistrian University of Athens Faculty of Geology and Geoenvironment, Greece**

فهرس المحتويات

م	العنوان	ص
	الملخص باللغة العربية	١
	مقدمة	٢
	اتخاذ القرار المكاني	٦
	الدراسات السابقة	١٠
	الفجوة البحثية وأهداف الدراسة	١٨
	مناهج ومداخل الدراسة	١٩
	منطقة الدراسة	١٩
١	مصادر البيانات ومعايير النمذجة المكانية	٢١
٢	المعالجة الأولية لطبقات البيانات	٢٤
٣	إعادة تصنيف طبقات أو معايير الملاءمة (Reclassification)	٢٥
٤	تحديد القيود ومعايير الملاءمة المكانية	٢٨
٥	نتائج الدراسة والمناقشة	٣٣
	الخاتمة	٤١
	قائمة المراجع	٤٣
	الملخص باللغة الإنجليزية	٥٥

فهرس الأشكال

م	العنوان	ص
١	التطور الزمنى للمنشورات العلمية المتعلقة بموضوع الدراسة من ٢٠٠٤-٢٠٢٣	١٣
٢	شبكة التواجد المشترك للكلمات الرئيسية المتعلقة بموضوع البحث الرئيسي	١٤
٣	كثافة شبكة التواجد المشترك للكلمات الرئيسية المتعلقة بموضوع البحث الرئيسي	١٤
٤	الخريطة الزمنية لاهتمامات الباحثين خلال المدة من ٢٠١٨-٢٠٢١	١٦

٥	الموقع الجغرافي، والتقسيم الإداري لمحافظة المنيا ٢٠٢٣	٢٠
٦	معايير الملاءمة المناخية لمواقع محطات الطاقة الشمسية	٢٢
٧	معايير الملاءمة البيئية لمواقع محطات الطاقة الشمسية	٢٢
٨	معايير الملاءمة الاقتصادية لمواقع محطات الطاقة الشمسية	٢٣
٩	معايير الملاءمة البيئية الاقتصادية لمواقع محطات الطاقة الشمسية	٢٣
١٠	مخطط انسيابي يوضح مراحل عمل الدراسة لنموذج الاختيار متعدد المعايير لمواقع محطات الطاقة الشمسية	٢٥
١١	درجات وفئات الملاءمة المكانية لمعايير: الاشعاع الشمسي، ودرجات الحرارة، وشبكة الطرق	٢٧
١٢	درجات وفئات الملاءمة المكانية لمعايير: الانحدار، واتجاه الانحدار، ومنسوب سطح الأرض	٢٧
١٣	درجات وفئات الملاءمة المكانية لمعايير: المحميات الطبيعية، المطارات، وشبكة الكهرباء	٢٨
١٤	نموذج القيود المكانية في عملية اتخاذ القرار المكاني متعدد المعايير لمحطات الطاقة الشمسية	٣٢
١٥	المنحنى الهبسومترى لمتوسط الاشعاع الشمسي (كيلووات ساعة/ متر٢/ يوم) بمحافظة المنيا	٣٥
١٦	المنحنى الهبسومترى لمتوسط درجات الحرارة (درجة مئوية) بمحافظة المنيا	٣٦
١٧	المنحنى الهبسومترى لمنسوب سطح الأرض (متر) بمحافظة المنيا	٣٧
١٨	المنحنى الهبسومترى لانحدار سطح الأرض (%) بمحافظة المنيا	٣٨
١٩	خريطة الملاءمة المكانية لمواقع محطات الطاقة الشمسية في محافظة المنيا	٤١

فهرس الجداول

م	العنوان	ص
١	معايير الملاءمة المكانية لمواقع محطات الطاقة الشمسية	٢١

٢	مجموعة الدوال الرياضـية التي تم اسـتخدامها في عمل تصـنيف معايير الملاءمة لمواقع محطات الطاقة الشمسية	٢٦
٣	القيود المكانية المستخدمة في عملية اتخاذ القرار المكاني متعدد المعايير	٣٠
٤	التوزيع النسبي لمساحات الأراضي الملاءمة وغير الملاءمة على مستوى الوحدات الإدارية بمحافظة المنيا	٣٣
٥	التوزيع النسـبي لدرجات وفئات الملاءمة المكانية لمواقع محطات الطاقة الشمسية بمحافظة المنيا	٤٠

الملخص:

أصبح توجه الدولة نحو المزيد من استغلال مصادر الطاقة المتجددة، وبالأخص الطاقة الشمسية ضرورة ملحة؛ تفرضها عدد من التحديات تتعلق بازدياد الطلب على الطاقة الكهربائية في مختلف مجالات الحياة، وتوجه الدولة نحو اقامة المزيد من المشروعات القومية الكبرى. فضلاً عن عدم قدرة المتاح من مصادر الوقود الأحفوري على تلبية الطلب المتزايد من الطاقة الكهربائية. هدفت الورقة الحالية إلى دراسة الإمكانات المحتملة لتوطن محطات الطاقة الشمسية في محافظة المنيا، من خلال انشاء خريطة رقمية تُوضح درجات الملاءمة المكانية لمواقع تلك المحطات. استخدمت الدراسة نهج تطبيقي اعتمد على أسلوب اتخاذ القرار المكاني متعدد المعايير Multiple Criteria Decision Analysis (MCDA) في بيئة نظم المعلومات الجغرافية.

ووظفت الدراسة ١٨ معياراً وقيداً في بناء نموذج الملاءمة المكانية، تم استقاؤها من الدراسات السابقة، وخبراء الطاقة في حقل البحث. تم تطبيق تقنية التركيب الخطي الموزون "Weighted Overlay Analysis" في بيئة نظم المعلومات الجغرافية للحصول على خريطة الملاءمة النهائية لمواقع محطات الطاقة الشمسية في المحافظة. أسفرت نتائج الدراسة عن تمتع محافظة المنيا في الغالب بإمكانات متوسطة. تراوحت بين نسبة ملاءمة ممتازة (٠,١٢٪)، ونسبة ملاءمة جيدة جداً (٥,١٤٪)، ونسبة ملاءمة جيدة (٢٠,٩٧٪)، ونسبة ملاءمة متوسطة (٣٦,٩٩٪)، ونسبة ملاءمة فقيرة (٣,٢٢٪).

الكلمات المفتاحية: القرار المكاني متعدد المعايير، الطاقة الشمسية، الاشعاع الشمسي، خرائط الملاءمة المكانية، التركيب الخطي الموزون، نظم المعلومات الجغرافية، محافظة المنيا.

مقدمة:

يُعد توفر الطاقة أحد أهم الإشكالات التي واجهت الانسان على مر التاريخ، لارتباطها بخطة التنمية، ولدورها المهم في تحقيق التنمية الاقتصادية. كما أنها كانت أيضاً سبباً مباشراً وغير مباشر للعديد من الصراعات والحروب الدائرة حول العالم (الشرقاوي، ٢٠١١).

هذا، وتُصنف موارد الطاقة في العالم إلى ٣ مجموعات: الوقود الأحفوري، والطاقة النووية، والطاقة المتجددة (Uyan, 2013)، ويُعد توفر الطاقة والتكلفة والآثار البيئية عوامل رئيسة في اختيار نوع الطاقة المستقبلية (Fares, 2017; Taher & Alhousni et al., 2022). فالوقود الأحفوري فضلاً عن آثاره البيئية السلبية، مورد محدود سوف ينضب بمرور الزمن. أما الطاقة النووية، فتتسم بارتفاع تكلفة انتاجها، فضلاً عن خضوعها لتكنولوجيا ذات مستوى عال للغاية، لا يتوفر لمعظم دول العالم – خاصة النامي–، واحتياجها لنظم إدارة معقدة للتخلص من النفايات النووية المشعة، بينما الطاقة المتجددة، تتسم بأنها طاقة نظيفة، غير ملوثة للبيئة، فضلاً عن ديمومتها، وعدم نضوبها.

وللطاقة المتجددة دوراً مهماً في استبدال جزء كبير من الوقود الأحفوري لتوليد طاقة مستدامة، لا تنضب، ونظيفة، وآمنة (Li et al., 2014). وتُعد الطاقة الشمسية من أهم مصادر الطاقة المتجددة، فهي صديقة للبيئة، وتُؤدى دوراً جوهرياً في تحقيق حلول الطاقة للتنمية المستدامة، علاوة على أن الكمية الهائلة من الطاقة الشمسية النظيفة التي يمكن الحصول عليها يومياً تجعلها مورداً جذاباً للغاية لتوليد الكهرباء (Maka & Alabid, 2022; Hosseini & Hosseini, 2012). فضلاً عما سبق، فإن الاعتماد على الطاقة الشمسية كمورد للطاقة النظيفة، يعمل على تقليل انبعاثات ثاني أكسيد الكربون، وتنويع امدادات الطاقة، وتحقيق استقلال الطاقة الإقليمي/ الوطني (Heng et al., 2020; Ohkura & Mori, 2010; Sun et al., 2023).

لذا، وبناءً على ما سبق، فقد تنبأ جون إريكسون أن العلاقات الدولية في المستقبل سوف تتغير لصالح البلدان التي لديها طاقة شمسية مستمرة (Badran, 2001). من ثمَّ، فإن المزيد من البلدان حول العالم أصبحت تفكر جدياً في انتاج الطاقة الشمسية كضمان لأمن الطاقة الوطني، لا سيما في ضوء التحول العالمي إلى مفهوم التنمية المستدامة. أدى ذلك إلى أن انتاج الطاقة الشمسية أصبح أحد أسرع الصناعات نمواً في مجمع الطاقة العالمي، حيث لا تُوجد صناعة أخرى في العالم، بما في ذلك الاتصالات السلكية واللاسلكية وأجهزة الحاسوب، لديها مثل هذا النمو المذهل (Akimova, 2018).

ويتم استخدام الطاقة الشمسية بشكل متزايد كواحدة من أهم مصادر الطاقة المتجددة، لمزاياها التي تتمثل في سهولة نشرها لأغراض مختلفة، واتساق قوتها على مدار العام (Taher& Fares, 2017). فضلاً عن كونها تُمثل المورد الأكثر وفرة، والمتاح بسهولة بين مصادر الطاقة المتجددة، فإن الطاقة الشمسية تُؤدى دوراً مهماً في مواجهة تحدى تحول الطاقة المعروف من استخدام الوقود الأحفوري إلى الاستغلال الأوسع لمصادر الطاقة المتجددة (Li et al., 2022). فمن الأمور المسلم بها أن استخدام الطاقة الشمسية هو الحل الواعد لتحقيق الأهداف العالمية والإقليمية المحايدة للكربون (Sun et al., 2022). ولتحقيق أهداف الطاقة والمناخ الوطنية في جميع أنحاء العالم، فإن هناك تركيز رئيسي على تطوير الطاقة الشمسية (Heffron et al., 2021).

بالرغم من كون الطاقة الشمسية أكثر موارد الطاقة وفرة، مع إمكانية أن تصبح مكوناً رئيساً في حل الطاقة العالمي المستدام، إلا أن تدفق الطاقة غير المستقر، وكثافة الطاقة المنخفضة تجعل من الصعب جمع الطاقة الشمسية، وتحويلها، وتخزينها، وهذا هو السبب الرئيس في أن معظم تقنيات توليد الطاقة الشمسية الحالية لها تطبيقات عملية محدودة (Zhong et al., 2015). ومع ذلك، فمن الممكن التغلب على تلك

العيوب السابقة باستخدام طرق مختلفة متاحة مثل: بنك البطارية، والكتلة الحرارية (Taher& Fares, 2017). لاسيما مع الانخفاض المستمر لتكلفة انتاج الكيلووات/ ساعة من الطاقة الشمسية، والتي قلت من واحد يورو قبل عشرون عاماً إلى حوالي ٥-٧ سنتات، أو أقل في الوقت الحاضر (Akimova, 2018).

ويبدو أن الطلب النهم على الطاقة هو ما يُميز مصر في الآونة الأخيرة، مع محدودية موارد الطاقة في البلاد، لذا فإن البحث والتطوير لاستخدام مصادر الطاقة المتجددة أمر لابد منه (Abdel-Aal, 1989). فقد عانت مصر عجزاً في موارد الطاقة، نتيجة الزيادة المتسارعة في استهلاك الطاقة، واستنفاد موارد النفط والغاز المحلية، ما غير وضعها من مصدر صاف للمركبات الهيدروكربونية على مدار العقود الثلاثة الماضية إلى مستورد صاف (شعبان وآخرون، ٢٠٢٢). لذا، وبالتعاون مع الاتحاد الأوروبي، قام قطاع الطاقة في مصر (الكهرباء والطاقة المتجددة والبترول) بإعداد دراسة لتحديد المزيج الأمثل فنياً واقتصادياً لإنتاج الطاقة في مصر حتى عام ٢٠٣٥، وبناءً على تلك الدراسة، اعتمد المجلس الأعلى للطاقة في أكتوبر ٢٠١٦ الاستراتيجية المصرية للطاقة حتى عام ٢٠٣٥، والتي تستهدف الوصول بنسبة مساهمة الطاقة المتجددة إلى ٤٢٪ من إجمالي الطاقة الكهربائية المنتجة عام ٢٠٣٥، وقد مثلت الخلايا والمركزات الشمسية ٢٦٪ من تلك النسبة المستهدفة (وزارة الكهرباء والطاقة المتجددة، ٢٠٢٣).

وللطاقة الشمسية في مصر تطبيقات حيوية، تمس الأمن القومي للبلاد، لعل أهمها استخدام تلك الطاقة في تحلية مياه البحر، خاصة في ظل ما تُعانيه مصر كغيرها من بلدان شمال أفريقيا، والشرق الأوسط من نقص محلى في المياه. وتستخدم الآن تقنيات تحلية المياه عملية التناضح العكسي، أو التحلية الحرارية، والتي يتم اجراؤها باستخدام الكهرباء، التي يتم توليدها في الغالب من الوقود الأحفوري مع انبعاثات غازات الاحتباس الحراري المصاحبة (Lamei et al., 2008). لذا فإن أحد

أهداف الدولة المصرية يتمثل في تعظيم الاستفادة من مصادر الطاقة الجديدة لا سيما الطاقة الشمسية، للتغلب على الكثير من العقبات التي يُعاني منها قطاع الطاقة في مصر، لا سيما ما يتعلق بنقص إمدادات الوقود (الديب، ٢٠٠٩)، وارتفاع معدلات استهلاك الطاقة وتزايدها، واعتماد الدولة على مصادر غير متجددة لتوفير الطاقة، لذا فإنها سوف تواجه مشكلة كبيرة في كيفية تلبية احتياجاتها من الكهرباء والطاقة خلال العقود القادمة. كما تواجه وزارة البترول مشكلة تمويلية مرتبطة بقطاع الكهرباء، تتمثل في توفير الغاز والمازوت والسولار بأسعار مدعمة تواكب سعر الكهرباء المدعم للمستهلكين (غلوش وآخرون، ٢٠٢٠). وقد ترتب على ما سبق عدة مشكلات، لعل أهمها وأخطرها مشكلة الانقطاع المتكرر للكهرباء خاصة في الأعوام الأخيرة، بسبب التوسع في مشروعات كهربة الريف، وظهور مستهلكين جدد كالمدن الصناعية، والمناطق، والأحياء السكنية المستجدة، والقرى السياحية، والفاقد الكهربائي، والأحداث السياسية التي مرت بها البلاد في يناير ٢٠١١ (الصباغ، ٢٠١٥).

وتتمتع مصر بإمكانات هائلة في مجال استغلال الطاقة الشمسية، حيث إن مستويات الاشعاع الشمسي في البلاد عالية بما يكفي للسماح بالتوسع في انشاء محطات الطاقة الشمسية. اذ تُظهر البيانات الاحصائية السنوية في مصر أن متوسط عدد ساعات سطوع الشمس في السنة تتراوح ما بين ٣٤٠٠ ساعة، ٣٩٠٠ ساعة في شمال مصر وجنوبها على التوالي. ويبلغ متوسط الإشعاع الشمسي ١٩٠٠ كيلو وات ساعة/ م٢/ سنة في شمال مصر، ٢٦٠٠ كيلو وات ساعة/ م٢/ سنة في جنوبها (هيئة الطاقة الجديدة والمتجددة، ٢٠١٨). بالرغم من ذلك، لا تُسهم الطاقة الشمسية في مصر سوى بقدر ضئيل من انتاج الطاقة الكهربائية، لا تتعدى ٤٧٥٣ ج.و.س، تُعادل ٢,٢٪ من جملة الكهرباء المولدة بالجمهورية ٢١٤٢٢٠ ج.و.س عام ٢٠٢٢، وما يُعادل ١٨,٨٪ من جملة الكهرباء المولدة من المصادر المتجددة للطاقة بمصر ٢٥١٨٣ ج.و.س في العام نفسه. الأمر الذي يُظهر أن المحطات الحرارية تستحوذ

بمفردها على معظم "٨٨,٢٪" إنتاج الجمهورية من الكهرباء (الشركة القابضة لكهرباء مصر، التقرير السنوي،٢٠٢١م). من هنا تبرز أهمية هذه الدراسة في توجيه أنظار صانعي القرار إلى دور الجغرافيا والجغرافيين في المساهمة بالدراسات العلمية التي من الممكن أن تُسهم في تعظيم الاستفادة من ذلك المورد المهم من أجل الحصول على مصدر طاقة مستدامة ونظيفة؛ كضمان للحاضر، وأمان للمستقبل في ظل احتمالية نفاد الطاقة الأحفورية، وارتفاع أسعارها، وعدم كفايتها في ظل النمو السكاني المتسارع، ومتطلبات عملية التنمية.

وقد اختيرت محافظة المنيا مجالاً للدراسة لعدة أسباب من أهمها:

- اتساع مساحة الظهير الصحراوي، غير المأهول بالسكان في المحافظة. يعنى ذلك نظرياً وجود مساحات من الأراضي غير المأهولة، والتي قد تكون صالحة لإقامة تلك المشروعات المقترحة.
- تَميز المحافظة بارتفاع متوسط الاشعاع الشمسي، والذي يصل إلى حوالي ٢٦٠٠ ك.و.س/م٢/ سنة (هيئة الطاقة الجديدة والمتجددة، ٢٠١٨)، ما يعنى تمتع المحافظة بإمكانات طيبة، يُمكن استغلالها في توطين وانشاء محطات للطاقة الشمسية.

- **اتخاذ القرار المكاني:**

بدء استخدام مفهوم التحسين المكاني Spatial optimization في دراسة المشكلات الجغرافية مع التطور الذي حصل في مجال البرمجة الخطية. تُعد دراسة جاريسون التى نشرت عام ١٩٥٩ واحدة من أولى النقاشات التى تناولت صراحة مشكلات التحسين المكاني في الجغرافية، قد تبعتها عدد من الدراسات الأخرى مثل: Tong & Murray (٢٠١٢)، Beaumont (١٩٨٢)، Church (٢٠١١)، Scott (١٩٧١). وفقاً لـ Church (٢٠٠٢) فإن تحليل المواقع في نظم المعلومات الجغرافية قد بدأ عام ١٩٧٠ مع جهود Kiefer، Robbins، Durfee، Voelker، Dobson.

لطالما حظي مفهوم التحسين المكاني بأهمية كبيرة في مجال العلوم الجغرافية، فقد أسهم في تطور وايجاد الحلول العملية لكثير من المشكلات في مجالات جغرافية متنوعة مثل: النقل، ونمذجة المواقع، وجغرافية تجارة التجزئة، والجغرافية الطبية، وتخطيط استخدامات الأراضي، والجغرافية السياسية، وعلم نظم المعلومات الجغرافية، والتي يكون فيها السياق المكاني ذو مغزى (Daoqin & Murray,2012).

على الرغم من أن اتخاذ قرار التوطن أمر بالغ الأهمية، إذ يترتب عليه في كثير من الأحيان تقرير ما إذا كانت المنشأة ستظل عاملة، أو سيتم التخلي عنها، أو نقلها من مكانها الحالي إلى موقع أكثر ملاءمة (Al-Sabbagh, 2022). على الرغم من ذلك، الا أن قرار التوطن في حد ذاته ليس من السهولة بمكان لتداخل عوامل مختلفة تقنية وتكنولوجية تُؤثر في نجاح صنع هذا القرار، ذكر بعضها Sugumaran and Degroote (٢٠١٠) كما يلي:

- ما البرمجية الأكثر ملاءمة لعملية التحليل؟
- ما النموذج المكاني الأكثر ملاءمة لعملية التحليل؟
- مدى ملاءمة تلك البرمجيات للمستخدم العادي.
- كيف يُمكن تقييم مخرجات عملية النمذجة؟
- ما التكنولوجيا الأكثر ملاءمة لذلك؟
- هل توجد موارد مالية كافية لإجراء تلك العملية؟

وأشار Lee (١٩٩٢) إلى أربعة تقنيات تستخدم لحل مشكلات مواقع المرافق على النحو التالي:

- الحلول التقريبية.
- خرائط الملاءمة المكانية.
- البرمجة الخطية.

- الخوارزميات الاسترشادية.

ولكل تقنية من التقنيات الأربعة ميزاتها وسلبياتها، فبعضها يُستخدم لحل مشكلات المواقع البسيطة، والبعض الآخر يُستخدم لحل مشكلات المواقع المعقدة. وضح Murray (٢٠١٠)، Xiao (٢٠٠٥) أن مشكلات التحسين المكاني في الجغرافيا يمكن معالجتها بواسطة تقنيتين: الأولى، تُعرف بنماذج تخصيص المواقع، الثانية، تُسمى بخرائط الملاءمة المكانية. لكل تقنية طريقتها في معالجة مشكلات التحسين المكاني. وقد أشار Al-Sabbagh (٢٠٢٢) في دراسته إلى أن كلا منهما يتبع أسلوباً مغايراً، حيث تتعامل التقنية الأولى مع مشكلات المواقع من وجهة نظر رياضية، تمر عبر مراحل مختلفة، حتى الوصول إلى الأسلوب الأمثل أو الخوارزمية الرياضية الملاءمة لحل المشكلة. ويرى Christian (٢٠٠٢) بأن هذه التقنية يصعب استخدامها من قبل غير المتخصصين.

بينما تتعامل التقنية الثانية مع المشكلة عن طريق نمذجة وتحليل المواقع عبر عدد من المعايير المكانية المحددة مسبقاً، والتي ينتج عنها عدد من المواقع المحتملة حسب درجة ملاءمتها، والتي تتطابق مع المعايير المتخذة سلفاً بواسطة صانع القرار. ولكن يعيب هذه التقنية انها لا تستطيع الاجابة على تساؤل مهم، يتعلق بعدد المرافق المطلوبة حتى يستطيع السكان الاستفادة من المرفق المطلوب ضمن المعايير القياسية المحلية أو الدولية (Al-Sabbagh, 2022). إجمالاً لا تستطيع كلا التقنيتين قياس العوامل غير المكانية مثل: القرار السياسي، الخصائص الاقتصادية أو الاجتماعية للسكان، واتجاهات الرأي العام. انطلاقاً من هذه النقطة يرى Xiao (٢٠٠٥) بأن إهمال هذه التقنيات لتأثير مثل هذه العوامل، والتي يصعب قياسها بصورة رياضية، قد يجعل من الحلول المقدمة بواسطتها غير مثلى تماماً.

- اتخاذ القرار المكاني متعدد المعايير:

يُعد التحليل المكاني متعدد المعايير واحداً من أفضل الأساليب المعروفة في عملية اتخاذ القرار المكاني (Triantaphyllou, 2000). فهو يُمثل مكوناً أساسياً من مكونات العلوم الحديثة المعنية بعملية اتخاذ القرار، حيث يتيح إمكانية نمذجة عدد متنوع من المتغيرات "المعايير" ذات الصلة بالظاهرة (Odu, 2019). وهو أسلوب يتوافق مع طبيعة الفكر البشرى، الذي يميل إلى الاختيار بين عدة بدائل مختلفة. تضع تلك البدائل بين يدي صانع القرار خيارات متنوعة، تُتيح له تصور سيناريوهات مختلفة، بناءً على الموارد المالية المتاحة، والإمكانات البشرية، والظروف الطبيعية التي تتوافق وطبيعة كل منطقة.

على الرغم من الاستخدام المبكر للتحليل متعدد المعايير في معالجة مشكلات اتخاذ القرار ذات البعد المكاني بدون تدخل من نظم المعلومات الجغرافية، الا أن التحليل متعدد المعايير وحده غير قادر على أن يأخذ في الاعتبار بصورة صريحة البعد المكاني في معالجة المشكلات المكانية (Ouma et al., 2011). كونهما، أي نظم المعلومات الجغرافية، والتحليل متعدد المعايير يُمثلان مجالان مختلفان للبحث، الا أن الجمع بينهما أضاف أبعاداً جديدة في عملية نمذجة وتحليل المواقع، وتقييم معايير الاختيار المختلفة، وتحديد درجة أهميتها (Feizizadeh et al., 2014; Drobne and Lisec, 2009). علاوة على ما سبق، فقد أشار Malczewski (٢٠٠٦) إلى الأهمية المتصاعدة لهذه التقنية في معالجة قضايا اتخاذ القرار، واستمد الباحث تلك القناعة من خلال رصده للعدد المتزايد والمتنوع من المجلات العلمية المحكمة التي قامت بتبني قضايا تمت معالجتها بهذه التقنية.

- تحديد أسلوب اتخاذ القرار المكاني متعدد المعايير:

تعود الجهود الأولى في تطوير مضمار التحليل الطبقي "Overlay Analysis" إلى أعمال McHarg and Mumford. حيث يُعد McHarg من الرواد الأوائل

الذين طوروا تقنية "Overlay analysis" في تقييم تحليلات الملاءمة المكانية. فقد استخدم تقنية يدوية لتراكب الورق الشفاف، كل منها يُمثل معياراً معيناً، وفيها يتم تقسيم البيانات الخاصة بكل معيار إلى مناطق سيئة (غير ملاءمة) تأخذ اللون الأسود، بينما يتم ترك المساحات الجيدة (الملاءمة) شفافة. أخيراً، يتم تصوير الورق الشفاف المتراكب لإنشاء خريطة نهائية، حيث توضح المناطق غير الملونة أفضل المواقع (Abudeif et al., 2015).

هذا، ويُعد التركيب الخطى الموزون أحد نماذج أو أساليب اتخاذ القرار الأكثر استخداماً وشيوعاً في نظم المعلومات الجغرافية؛ ويُعد السبب الرئيس في شعبية هذه الطريقة، أنها سهلة التنفيذ في نظم المعلومات الجغرافية، باستخدام جبر الخرائط، ونمذجة رسم الخرائط. هذه الطريقة أيضاً سهلة الفهم، وجذابة بشكل حدسي لصناع القرار (Malczewski, 2000). في هذا المنهج يتم توحيد جميع المعايير المستمرة إلى نطاق رقمي مشترك، ثم يتم دمجها عن طريق المتوسط المرجح. تسمح هذه التقنية للعوامل المختلفة بمقايضة صفاتها "Trad-Off"، بمعنى أنه يُمكن لموقع ضعيف في معيار معين، أن يتم التعويض عنه من خلال استحواذه على عدد من البيانات القوية جداً لعامل آخر أو معايير آخر. ومع ذلك، فإن مثل هذا التعويض ينطوي على بعض المخاطر، نظراً لوجود عامل أو معيار ذو بيانات منخفضة. بذلك لا تنتمي هذه التقنية إلى ما يُعرف بـ Boolean Logic، سواء المعامل المنطقي OR، أو المعامل المنطقي AND، بل تقع في مكان ما بينهما (Eastman et al., 1998).

- **الدراسات السابقة:**

- الدراسات السابقة باللغة العربية:

– دراسة عبده (٢٠١٢): عن مستقبل الطاقة المتجددة في مصر، وقد تناولت مفهوم الطاقة المتجددة، وتاريخ استخدام الطاقة المتجددة في مصر وتطورها، كما تطرقت إلى الإمكانات الحالية للطاقة المتجددة في مصر من خلال التركيز على الطاقة

الشمسية، وطاقة الرياح، بالإضافة إلى طرح رؤية مستقبلية لمصادر الطاقة المتجددة، ودورها في تقليل الاعتماد على مصادر الوقود الأحفوري.

- دراسة حسن (٢٠١٧): وموضوعها عن إمكانات الطاقة الشمسية في مصر مع التطبيق على محطة الكريمات، وتناولت الدراسة عوامل توطين محطات توليد الكهرباء الشمسية، بالإضافة إلى انتاج الكهرباء من الطاقة الشمسية ومستقبلها، كما تناولت الدراسة استخدام نظم المعلومات الجغرافية في اختيار انسب المواقع لإنشاء محطات الطاقة الشمسية.
- دراسة داود وآخرون (٢٠١٧): عن تحديد أفضل المواقع لتجميع الطاقة الشمسية في منطقة مكة المكرمة باستخدام نظم المعلومات الجغرافية، وقد اعتمدت الدراسة على مجموعة من الشروط والمعايير الجغرافية، والفنية، والبيئية، والاقتصادية للحصول على نموذج ملاءمة رقمي يوضح أفضل المواقع لإنشاء محطات الطاقة الشمسية.
- دراسة عرفات (٢٠٢١): عن إنتاج الكهرباء من أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية، وتحديد المواقع المثلي لتوطنها في محافظة الوادي الجديد. وتناولت خلالها دراسة مكونات أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية وأنواع المحطات بمحافظة الوادي الجديد حسب اتصالها بالشبكة الموحدة للكهرباء وتوزيعها الجغرافي.
- دراسة حسن، وربيع (٢٠٢١) عن إنتاج الكهرباء من الطاقة الشمسية في محافظة أسوان مع التطبيق على محطة ببيان: وتناولت الدراسة انتاج الكهرباء من الطاقة الشمسية في محافظة أسوان من خلال دراسة المتوسط السنوي لعدد ساعات السطوع الشمسي، وقيم الاشعاع الشمسي المباشر بالمحافظة، وحجم الطاقة الفوتوفولطية المقدرة.

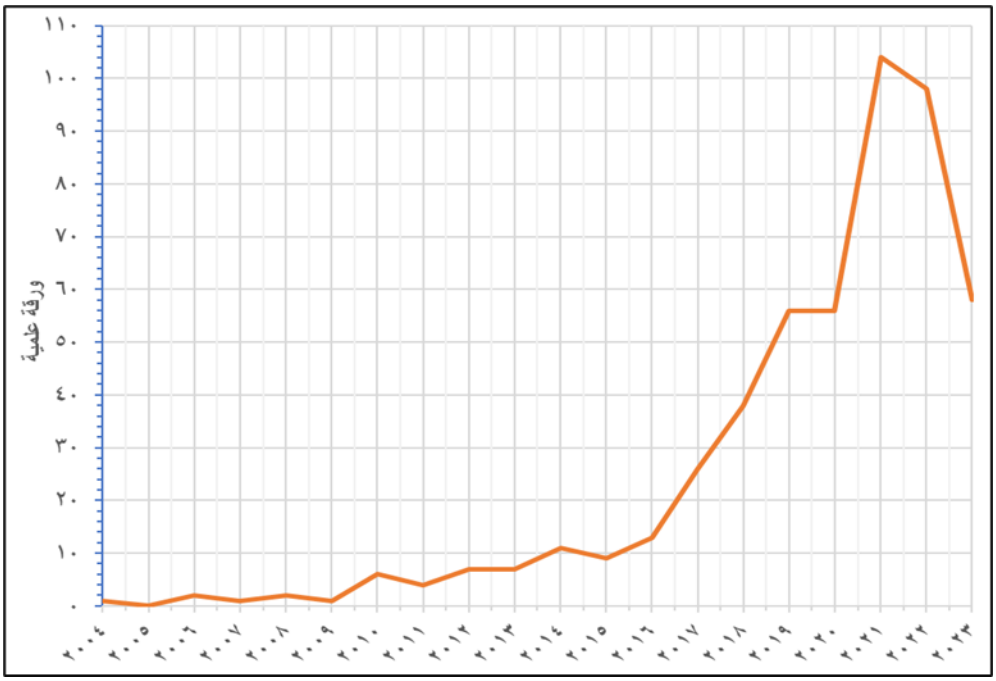
- التحليل الببليومترى:

لاستعراض المجالات، والاتجاهات البحثية للدراسات الأجنبية، فقد قمنا بعمل تحليل ببليومترى، باستخدام قاعدة بيانات سكوبس "Scopus"، كونها قاعدة البيانات

الأكثر استشهاداً في العالم (Elkadeem et al., 2021). وقد أجرينا البحث باستخدام الكلمات المفتاحية التالية باللغة الانجليزية: Solar, Energy, Multi, Criteria, Decision, Making. كانت نتائج البحث محصورة في المقالات باللغة الإنجليزية فقط. وقد تم استخدام برنامج VOS viewer لتحليل مخرجات قاعدة بيانات سكوبس.

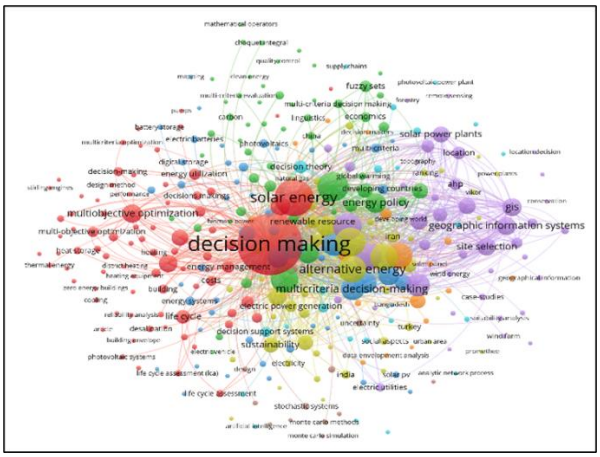
اسفرت نتائج البحث عن ٥٠٠ ورقة علمية شملت الكلمات المفتاحية السابقة. يوضح الشكل (١)، التطور الملحوظ في أعداد الأوراق العلمية المنشورة التي تناولت الكلمات المفتاحية السابقة خلال المدة من ٢٠٠٤: ٢٠٢٣، ما يعكس اهتمام المجتمع العلمي بتناول الزوايا المختلفة لموضوع الدراسة بالبحث والتحليل. كانت مجلات الطاقة أكثر المجلات التي كان لها اهتمام بموضوع البحث، حيث بلغ عدد الأوراق العلمية المنشورة بها (٣٠,٧٪)، يليها المجلات الهندسية بواقع (١٩,٨٪)، ثم العلوم البيئية (١٦,٥٪)، بينما لم يتجاوز عدد البحوث المنشورة في العلوم الاجتماعية –تُصنف المجلات الجغرافية في الغالب ضمن نطاقها– ٥,٢٪. ما يُشير إلى الحاجة لبذل المزيد من الجهد، وإظهار أثر البحوث الجغرافية في إثراء الدراسات التي تتناول مثل هذا النوع من القضايا المهمة.

باستخدام مخرجات قاعدة بيانات سكوبس (٥٠٠ ورقة علمية)، وبرنامج VOS viewer وظفت الدراسة تحليل co-occurrence analysis، وهو أحد التحليلات المهمة التي تُظهر اتجاهات الباحثين في حقل معين. ويهدف هذا التحليل إلى ابراز الترابط المتبادل بين زوج من المفاهيم داخل قاعدة الادبيات (Mustak et al., 2021)، مما يعكس النقاط الساخنة، ويساعد في تحديد المجموعات المواضيعية التي تنشأ الكتل البدائية لحقل التحقيق (Krey et al., 2022).

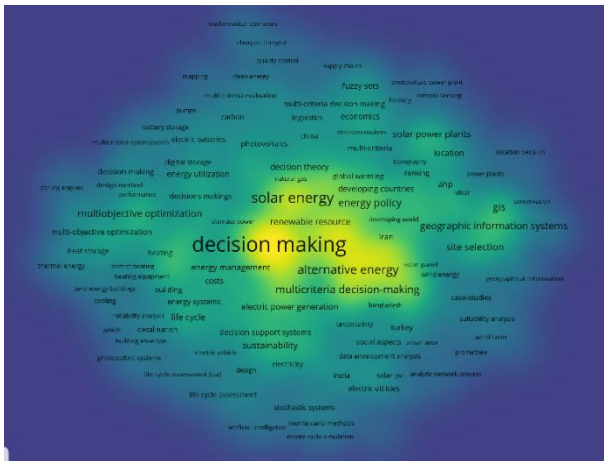


شكل (١) التطور الزمنى للمنشورات العلمية المتعلقة بموضوع الدراسة من ٢٠٠٤-٢٠٢٣

تكمن الفكرة الأساسية من هذا التحليل أن الكلمات المفتاحية التي يتم تجميعها في نفس المجموعة لها حظوظ أكبر في أن تعكس نفس الموضوع. يُبين الشكل (٢)، والشكل (٣) شبكة وكثافة التواجد المشترك للكلمات الرئيسية المتعلقة بموضوع البحث الرئيسي: Solar, Energy, Multi, Criteria, Decision, Making، مع حد أدنى من التكرارات في قاعدة الأدبيات المحددة عند ٥. بناءً على ما سبق، ظهرت ٨ عناقيد من الكلمات الرئيسية المتزامنة التي يبلغ مجموعها ٣٣٦ عنصراً: (الأحمر- اتخاذ القرار، الأخضر- انتاج الطاقة الشمسية، الأزرق- عملية التحليل الهرمي، الأصفر- الطاقة البديلة، البنفسجي- نظم المعلومات الجغرافية، اللبني- نظرية القرار، البرتقالي - الطاقات البديلة، البنى - الأنظمة الخبيرة).



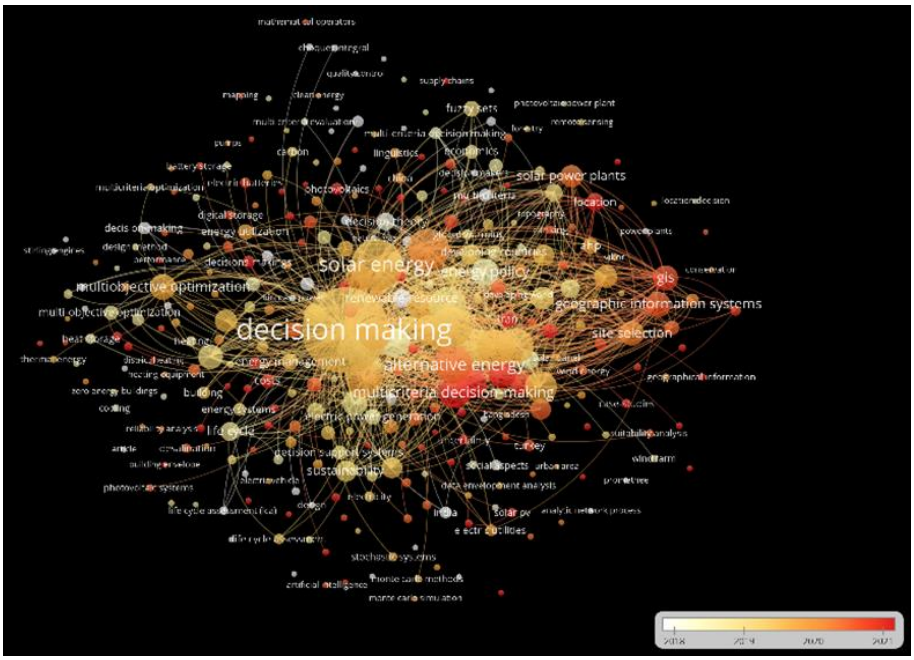
شكل (٢) شبكة التواجد المشترك للكلمات الرئيسية المتعلقة بموضوع البحث الرئيسي



شكل (٣) كثافة شبكة التواجد المشترك للكلمات الرئيسية المتعلقة بموضوع البحث الرئيسي

فيما يتعلق بالعنقود الأحمر، فقد تناول الباحثون موضوعات مثل: التحليل الهرمي، واتخاذ القرار، والخوارزميات الجينية، وتعلم الآلة، وتحليل الموثوقية، وأنظمة الطاقة المتجددة، وأنظمة المضخات الحرارية، والأنظمة الفوتوفولطية. أما العنقود الأخضر، فقد تناول فيه الباحثون قضايا تتعلق بطاقة البيوجاز، والتغير المناخي، وموارد الطاقة، والأنظمة الضبابية، والاحترار العالمي، والطاقة النووية، وموارد الطاقة المتجددة. فيما يتعلق بالعنقود الأزرق، فقد تناول الباحثون في هذا المنحى موضوعات تتعلق بعملية التحليل الهرمي في قضايا تتعلق بالبيوجاز، وأنظمة الطاقة الهجينة،

والطاقات المتجددة الهجينة، والخلايا الفوتوفولطية، وكهربة الريف، والخلايا الشمسية، وطاقة الرياح، وتوربينات الرياح. أما العنقود الأصفر، فقد تناول فيه الباحثون موضوعات تتعلق بالطاقة البديلة، حيث تم تناول قضايا تتعلق بتحليل التكلفة، وأنظمة الطاقة الكهربائية، وأسواق الطاقة، والغاز الطبيعي، ومصادر الطاقة المتجددة، والتنمية المستدامة. أما العنقود البنفسجي فقد تناول فيه الباحثون قضايا تتعلق بنظم المعلومات الجغرافية في حقل البحث، حيث تمت الإشارة إلى كلمات مفتاحية مثل: التحليل الهرمي "AHP"، والاستشعار من بعد، واختيار المواقع، ومزارع الرياح، والمواقع المثلى، والتحليل المكاني، وتحليل الملاءمة. أما العنقود اللبني، فقد تناول فيه الباحثون قضايا تتعلق بنظرية القرار وتطبيقاتها في حقل البحث، حيث أشار الباحثون إلى قضايا تتعلق بالذكاء الاصطناعي، وأنظمة دعم القرار، والتخطيط، وتقييم المخاطر، وسلاسل الامداد، وتحليل الحساسية، والنظرية الضبابية "Fuzzy theory"، واختيار المواقع. بينما في العنقود البرتقالي، تناول الباحثون موضوعات تتعلق بالطاقات البديلة، وعلاقتها بالمنطق الضبابي، وصناعة القرار، ومصفوفات الخلايا الشمسية. أما العنقود البني، فيتعلق بالأنظمة الخبيرة، وعلاقتها بحقل البحث، وقد تناول فيه الباحثون موضوعات تتعلق بعدم الموثوقية، وتحليل عدم الموثوقية، وانتاج الطاقة. ويوضح الشكل (٤) الخريطة الزمنية لاهتمامات الباحثين خلال المدة من ٢٠١٨-٢٠٢١. ويتبين منه أن الكلمات المفتاحية التي تظهر باللون الأحمر، تُمثل موضوعات ساخنة للباحثين في الوقت الحاضر، وقد شملت تلك الموضوعات كلمات مفتاحية مثل: الموقع، والتحليل الهرمي، واتخاذ القرار متعدد المعايير، والتحليل المكاني، والمعلومات الجغرافية، ونظم المعلومات الجغرافية.



شكل (٤) الخريطة الزمنية لاهتمامات الباحثين خلال المدة من ٢٠١٨-٢٠٢١

- الدراسات السابقة باللغة الأجنبية:

- دراسة Dawod & Mandoer (٢٠١٦): عن تحديد المناطق الملاءمة لإنشاء مزارع الطاقة الشمسية في مصر، وقد استخدمت التحليل المكاني متعدد المعايير في نظم المعلومات الجغرافية لتحديد أفضل المواقع لإنشاء المحطات الشمسية في مصر.
- دراسة Imamverdiev (٢٠٢٢): وقد اهتمت بالاختيار الأمثل لمواقع الطاقة الشمسية الكهروضوئية، وقد اعتمدت الدراسة على عملية التسلسل الهرمي التحليلي المستند إلى أساليب اتخاذ القرار متعدد المعايير، وقد وظفت الدراسة ٧ معايير لاختيار تلك المواقع، تضمنت: الاشعاع الشمسي، ونسبة الميل، واستخدام الأراضي، والمسافة الفاصلة بين المناطق ذات الإمكانات العالية للطاقة الشمسية والمناطق السكنية، والقرب من الطرق السريعة، وخطوط الكهرباء، ودمجت تلك المعايير من خلال تطبيق تقنية التراكب الموزون في نظم المعلومات الجغرافية.

- دراسة Elboshy et al. (٢٠٢٢): وقد تناولت الدراسة رسم خرائط الملاءمة المكانية لمزارع الطاقة الشمسية الكهروضوئية في مصر، بناءً على نظم المعلومات الجغرافية، وعملية التسلسل الهرمي التحليلي.
- دراسة Elkadeem et al. (٢٠٢٢): بعنوان: تحليل متعدد المعايير لتقييم الإمكانات الجغرافية والتقنية والاقتصادية المحتملة للطاقة الشمسية وطاقة الرياح، وقد اقترحت الدراسة نموذجاً جديداً لصنع القرار الجغرافي، بهدف الوصول إلى رسم خرائط الإمكانات الجغرافية والفنية والاقتصادية، وتقييم محطات الطاقة الشمسية الكهروضوئية، وتوربينات الرياح بمستوى عال من الدقة.
- دراسة Ahadi et al. (٢٠٢٣): عن المواقع المثلى لمحطات الطاقة الشمسية في إيران باستخدام التحليل الهرمي "AHP"، وقد استخدمت الدراسة بعض المعايير مثل: كمية الاشعاع الشمسي، وعدد الأيام المشمسة، ومتوسط درجة الحرارة، ونسبة الرطوبة، وكمية هطول الأمطار، ومستوى الرؤية، والغيوم.
- دراسة Gökmener et al. (٢٠٢٣): هدفت الدراسة إلى تقديم تحليل ملاءمة اختيار الموقع باستخدام نهج الأولوية الترتيبية، وقد تم تحديد عشرة معايير لاختيار المواقع تتعلق بالجوانب الفنية، والاقتصادية، والاجتماعية. وفى هذه الدراسة تم اجراء استبانة بين الخبراء الميدانيين في مجال الطاقة الشمسية.
- دراسة Sun et al. (٢٠٢٣): استخدم الباحثون في هذه الدراسة ٢١ عامل تكييف جغرافي مكاني لتطوير الطاقة الشمسية، كما استخدمت الدراسة نمذجة اختيارات الموقع لتركيب الخلايا الكهروضوئية باستخدام نماذج متعددة الطبقات.
- دراسة Qutaina et al. (٢٠٢٣): عن منهجية اختيار المواقع القائمة على نظم المعلومات الجغرافية لأنظمة الطاقة المتجددة في الأراضي الفلسطينية، وفى هذه الدراسة تم تحديد معايير الاختيار، ووزنها النسبي وفقاً لعملية التسلسل الهرمي التحليلي "AHP".

- دراسة كلاً من Alanazi & Alanazi (٢٠٢٣): تناول الباحثين في الدراسة خطط الحكومة السعودية لجعل الطاقة المتجددة جزءاً اساسياً من مزيج الطاقة لديها. وطبقت الدراسة تقنيات صنع القرار متعدد المعايير على ٣ مدن سعودية لتحليل تقنية الطاقة الشمسية، والكهروضوئية، والحرارة الشمسية، اعتماداً على طريقة الوزن الإضافي البسيط، وعملية التسلسل الهرمي التحليلي.
- دراسة .Hassan et al (٢٠٢٣): وقد اقترحت الدراسة اطاراً هجيناً جديداً لتقييم المواقع المناسبة والإمكانات التقنية لأنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية، من خلال دمج تقنيتين لصنع القرار متعدد المعايير. وقد اعتمدت الدراسة على مجموعة متنوعة من المعايير والمتغيرات، بما في ذلك المتغيرات المناخية، والتقنية، والجغرافية، والاقتصادية، وذلك بالتطبيق على ٥ مدن سعودية هي: الرياض، وجدة، والاحساء، والدمام، وأبها.
- دراسة .Raza et al (٢٠٢٣): وقد تناولت الملاءمة المكانية لمواقع الطاقة الشمسية، وطاقة الرياح في البلدان النامية، مع التطبيق على باكستان، وقد استخدمت الدراسة مزيجاً من تقنيات نظم المعلومات الجغرافية، وعملية التسلسل الهرمي التحليلي.

- **الفجوة البحثية وأهداف الدراسة:**

أظهر العرض السابق، تنوع الدراسات التي تناولت موضوع البحث على الصعيد الدولي، وفقاً لتقنيات مختلفة. وأيضاً وجهات نظر متباينة، تراوحت بين علوم الطاقة، والهندسة، والبيئة، والجغرافيا ... الخ. بينما كان الوضع مختلف قليلاً على صعيد الدراسات العربية، وبالأخص في مصر. اذ إن الدراسات الجغرافية التي تناولت موضوع البحث في مصر محدودة للغاية كما سبق عرضه. بالإضافة لما سبق، تميزت تلك الدراسة بتوظيف معايير جديدة، لم يتم تناولها من قبل في الدراسات المماثلة مثل: طبقة

المحاجر، وطبقة المناطق الأثرية. من هنا جاءت الدراسة الحالية لتحقيق الأهداف التالية:

- انشاء خريطة رقمية تُوضح درجات الملاءمة المكانية لإنشاء محطات الطاقة الشمسية في محافظة المنيا.
- انشاء قاعدة بيانات جغرافية رقمية، تتضمن طبقات الخرائط للمعايير والقيود المستخدمة في عملية بناء خريطة الملاءمة المكانية، واتخاذ القرار المكاني متعدد المعايير.

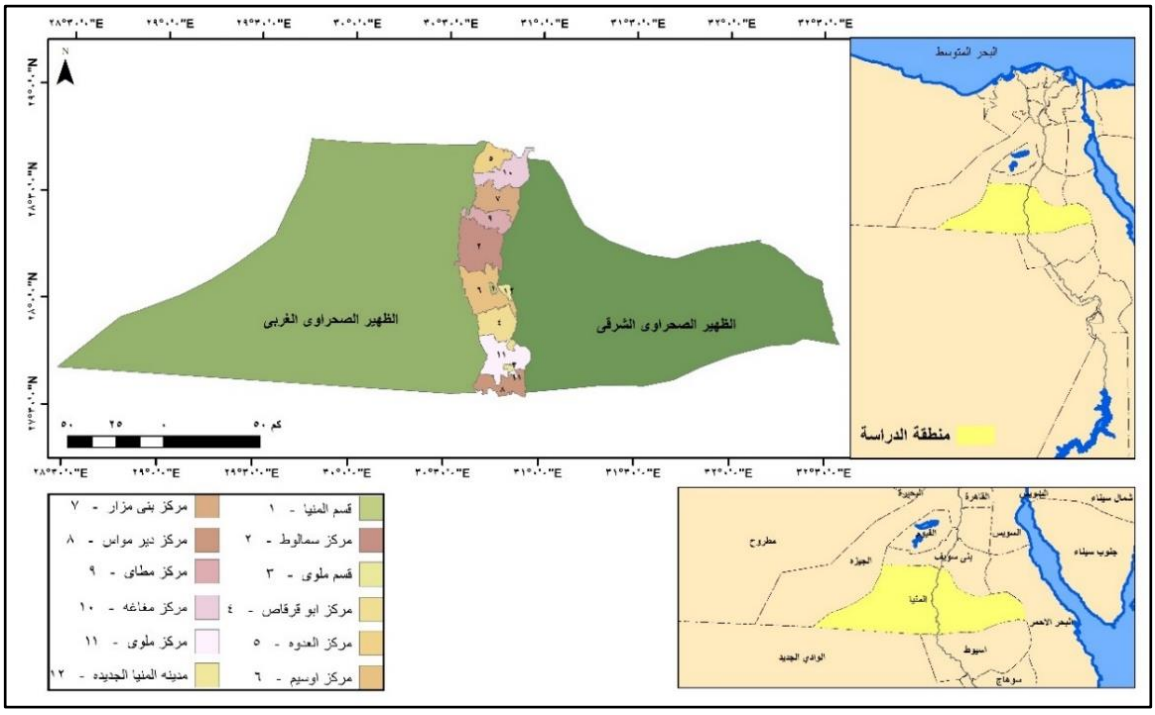
- **مناهج ومداخل الدراسة:**

اقتضت طبيعة الدراسة، الاعتماد على المنهج الوصفي التحليلي، والذي يُعنى برصد الحقائق المتعلقة بموضوع الدراسة. وذلك بجمع البيانات المكانية ومعالجتها في بيئة نظم المعلومات الجغرافية، وتحليلها، وتفسيرها، وإصدار تعميمات بشأنها (توفيق، ٢٠٠٧). كما أن الطبيعة التقنية للعمل البحثي الحالي، قد اقتضت أيضاً استخدام المنهج التجريبي، في إطار العمل التجريبي في بيئة نظم المعلومات الجغرافية، حيث حتمت الضرورة البحثية، اجراء تجارب متعددة باستخدام أدوات تحليلية مختلفة، وصولاً إلى أنسب طريقة عمل لإنجاز الأهداف المطلوبة ضمن نطاق العمل البحثي الحالي. كما اعتمد البحث على عدد من المداخل أهمها، المدخل الإقليمي، اذ ينحصر المجال المكاني للعمل الحالي ضمن النطاق الإداري لمحافظة المنيا.

- **منطقة الدراسة:**

تقع محافظة المنيا بين دائرتي عرض ٣٠ َ ٢٧ ْ، ٥٠ َ ٢٨ ْ شمالاً، وبين خطى طول ٤٠ َ ٢٨ ْ، ٣٥ َ ٣٢ ْ شرقاً، وتُعد المنيا من أكبر محافظات صعيد مصر، حيث تبلغ مساحتها ٣١١١٠,٨٨ كم٢ (الخريطة الرقمية للمحافظة). تُمثل المحافظة نحو ٣,٢٪ من مساحة الجمهورية (المرتبة الخامسة). يحدها شمالاً محافظتي بنى سويف،

والبحر الأحمر. وشرقاً محافظة البحر الأحمر. وغرباً محافظة الجيزة. وجنوباً محافظتي أسيوط، والوادي الجديد (شكل ٥). وتتألف المحافظة من تسعة مراكز إدارية، تمتد من الشمال إلى الجنوب على النحو التالي: العدوة، مغاغة، وبنى مزار، ومطاي، وسمالوط، والمنيا، وأبو قرقاص، وملوى، وديرمواس. ويتمثل النطاق المأهول بالسكان في ذلك الشريط الضيق لوادي نهر النيل الذي يبلغ متوسط اتساعه نحو ٢٢كم، يمتد طولياً لمسافة تبلغ ١٣٨كم ما بين محافظتي بنى سويف شمالاً وأسيوط جنوباً، ومن جهتي الشرق والغرب ينحصر مجرى النهر ووادية وسط فضاء صحراوي، يبلغ متوسط امتداده نحو ٣٠٠كم، يلتقي مع محافظة البحر الأحمر في الشرق، ومحافظتي الجيزة، والوادي الجديد في الغرب. وتُقدر المساحة المأهولة بالسكان في محافظة المنيا حوالي ٢٠٤ ألف متر مربع، تُمثل نحو ٧,٥٪ من جملة مساحة المحافظة (السيد، ٢٠١٥).



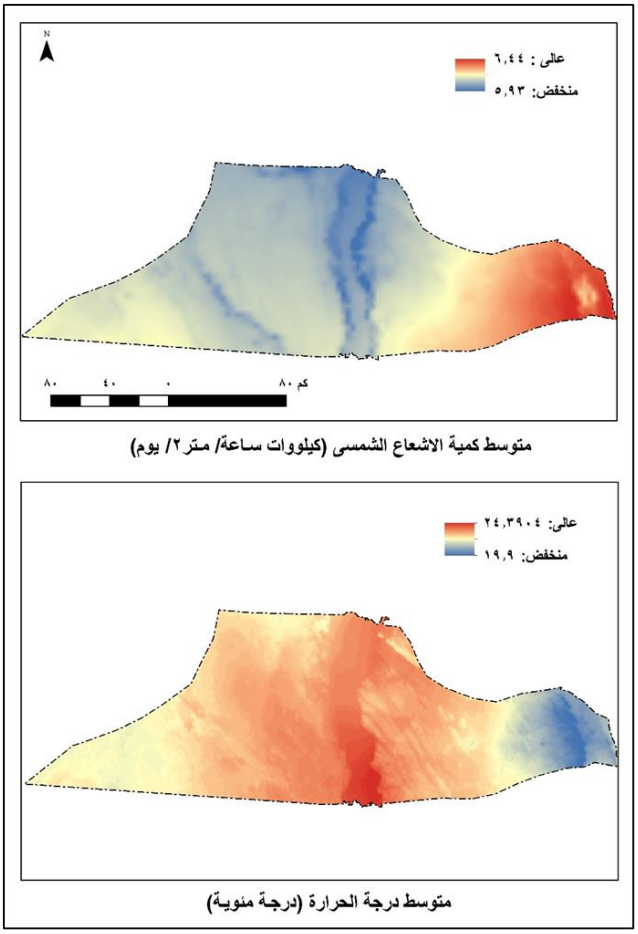
شكل (٥) الموقع الجغرافي، والتقسيم الإداري لمحافظة المنيا ٢٠٢٣

١. مصادر البيانات ومعايير النمذجة المكانية:

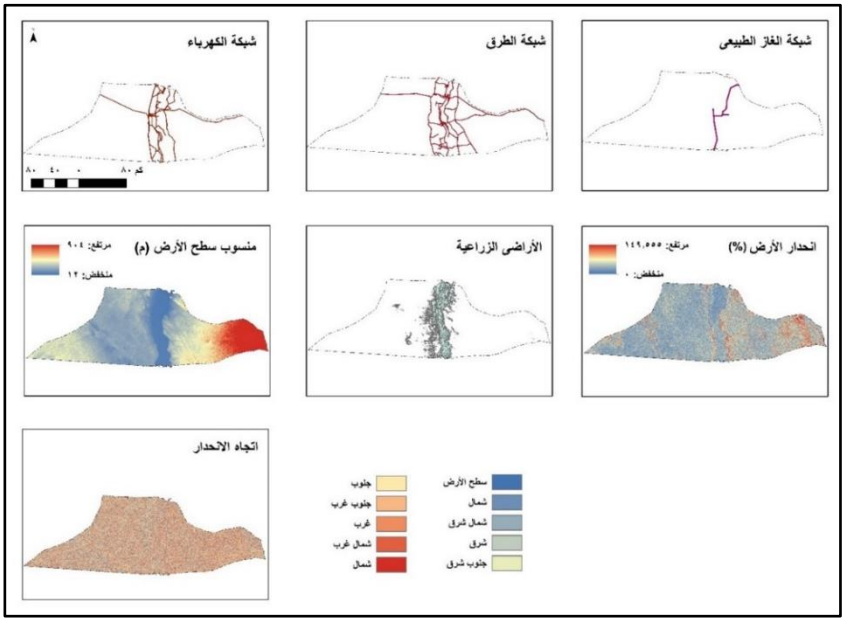
تم تحديد عوامل الملاءمة أو المعايير المؤثرة في درجات الملاءمة المكانية لمواقع محطات الطاقة الشمسية من خلال مراجعة مكثفة للأدبيات ذات الصلة، حيث أمكن الوقوف على بعض المعايير مثل: شبكة الكهرباء، وشبكة النقل، ومتوسط كمية الاشعاع الشمسي. البعض الآخر من المعايير تم اشتقاقه من خلال أدوات التحليل المكاني في بيئة نظم المعلومات الجغرافية مثل: انحدار الأرض، ومنسوب الأرض. إجمالاً أمكن تحديد ١٨ معياراً وقيداً الجدول (١)، تم تصنيفها إلى ٤ مجموعات فرعية (أشكال: ٦، ٧، ٨، ٩)، يُعتقد أنها تُسهم في تحديد اتجاهات صانعي القرار فيما يختص بعملية تحديد مواقع محطات الطاقة الشمسية.

جدول (١) معايير الملاءمة المكانية لمواقع محطات الطاقة الشمسية

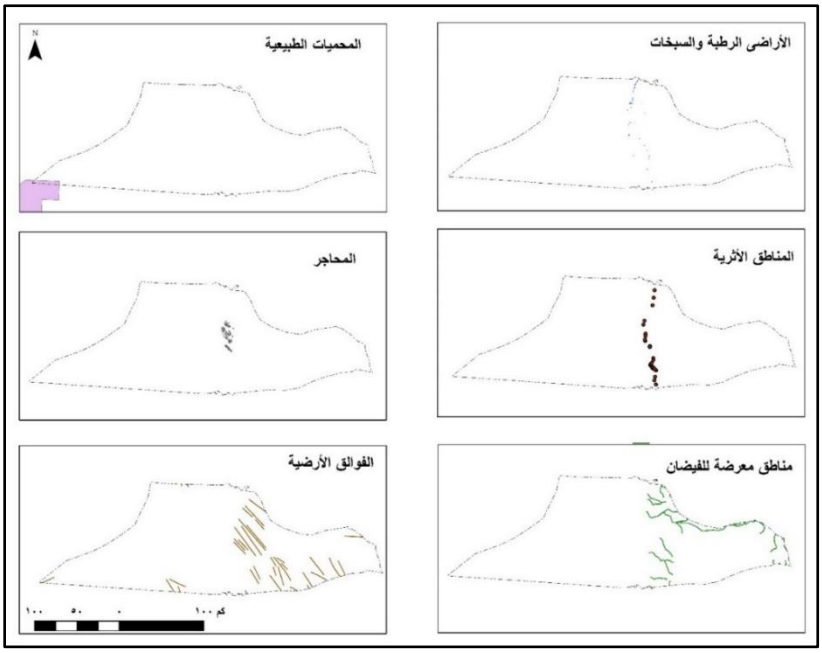
مجموعات المعايير	معايير النمذجة	مصادر البيانات	الدقة المكانية (م٢×م٢)	نوع الطبقة
المعايير المناخية	الاشعاع الشمسي	https://globalsolaratlas.info/global-pv-potential-study	272	Raster
	درجة الحرارة	https://globalsolaratlas.info/global-pv-potential-study	272	Raster
المعايير البيئية	المحميات الطبيعية	https://www.protectedplanet.net/en	-	Vector
	الأراضي الرطبة والمسبخات	GEOFABRIK // Maps & Data	-	Vector
	الفوالق الأرضية	Geodynamics - Resources: 2019 The Release of the GEM Global Active Faults Database and Global Seismic Hazard Map: About	-	Vector
	المناطق الاثرية	الجهاز المركزى للتعبئة العامة والاحصاء	-	Vector
	القيضانات المحتملة	https://www.floodsmart.gov/understanding-my-flood-zone	-	Vector
	المحاجر	ESRI landcover2020	-	Vector
المعايير الاقتصادية	شبكة الكهرباء	GEOFABRIK // Maps & Data	-	Vector
	شبكة النقل	GEOFABRIK // Maps & Data	-	Vector
	انحدار الأرض	Gis interpolation	30	Raster
	اتجاه انحدار الأرض	Gis interpolation	30	Raster
	الأراضي الزراعية	Esri	Sentinel-2 Land Cover Explorer (arcgis.com)	10	Raster
	شبكة الغاز الطبيعي	OpenStreetMap (OSM). https://www.openstreetmap.org	-	Vector
	منسوب سطح الأرض	Gis interpolation	30	Raster
المعايير البيئية الاقتصادية	المجاري المائية	GEOFABRIK // Maps & Data	-	Vector
	المناطق العمرانية	Esri	Sentinel-2 Land Cover Explorer (arcgis.com)	10	Raster
	المطارات	https://overpass-turbo.eu/	-	Vector



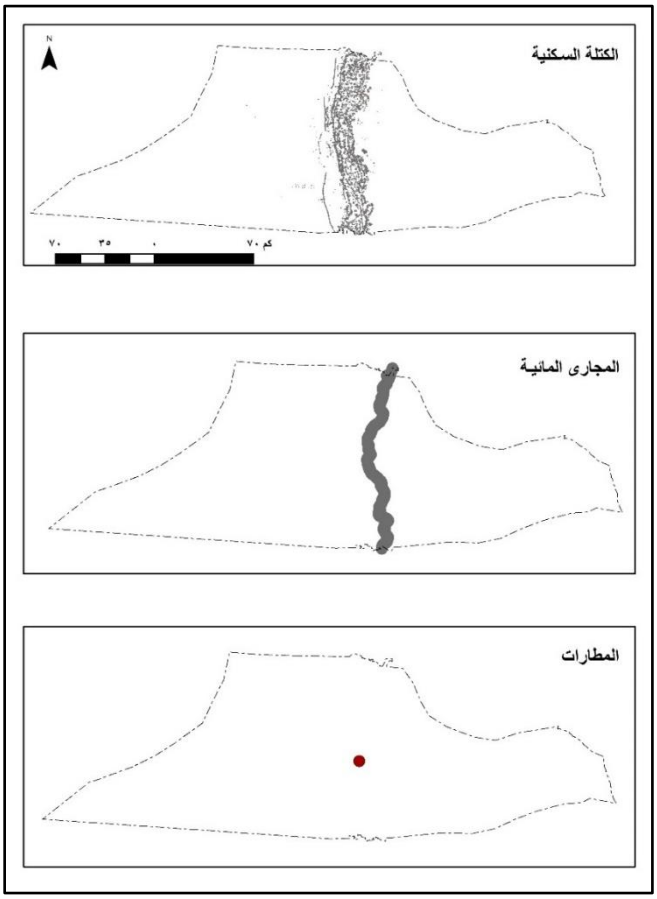
شكل (٦) معايير الملاءمة المناخية لمواقع محطات الطاقة الشمسية



شكل (٧) معايير الملاءمة البيئية لمواقع محطات الطاقة الشمسية



شكل (٨) معايير الملاءمة الاقتصادية لمواقع محطات الطاقة الشمسية



شكل (٩) معايير الملاءمة البيئية الاقتصادية لمواقع محطات الطاقة الشمسية

٢. المعالجة الأولية لطبقات البيانات:

قبل الشروع في عملية بناء نموذج الملاءمة المكانية لإجراء التحليل المكاني متعدد المعايير، كان لابد من إجراء معالجة أولية للبيانات السابقة (شكل ١٠)، حيث إن بعض تلك البيانات في صورتها الخام مثل: نموذج الارتفاع الرقمي (DEM)، والذي مر بعدد من الإجراءات قبل اشتقاق بعض المعايير المهمة من خلاله، ولعل أولها عملية تغيير المسقط المرجعي من GCS_WGS_1984.prj إلى WGS_1984_UTM_ZONE_36N.prj، حيث استخدمت دالة Project Raster في بيئة نظم المعلومات الجغرافية. كما تضمنت تلك المرحلة أيضاً تحويل بعض البيانات المكانية من Vector model إلى Raster model. ومن ثمَّ توحيد حجم الخلية الشبكية لكل معيار "Raster cell" إلى ٢٠م^{٢}×٢٠م^{٢}، حتى يُمكن دمج تلك الطبقات أو المعايير في عملية النمذجة والتحليل المكاني. وفيما يلي بعض أهم أدوات التحليل المكاني التي تم استخدامها في تلك المرحلة:

- GIS Surface tool: استخدمت بعض الدوال في تلك المجموعة مثل: Aspect, Slope لاشتقاق بعض المعايير المهمة من خلال بيانات نموذج الارتفاع الرقمي الخاص بمنطقة الدراسة مثل: انحدار الأرض، واتجاه الانحدار، ومنسوب سطح الأرض.
- GIS Conversion tool: تم توظيف بعض أدوات هذه المجموعة مثل: الدالة To raster، بغرض تحويل بعض الطبقات أو المعايير من Vector model مثل: المحميات الطبيعية، والفوالق الأرضية، والأراضي الرطبة والسبخات إلى Raster model.
- GIS Euclidean distance: تم استخدام هذه الدالة لحساب المسافات الاقليدية لبعض معايير النمذجة مثل: شبكة الطرق، وشبكة الكهرباء، والمطارات.

شكل (١٠) مخطط انسيابي يوضح مراحل عمل الدراسة لنموذج الاختيار متعدد المعايير لمواقع محطات الطاقة الشمسية

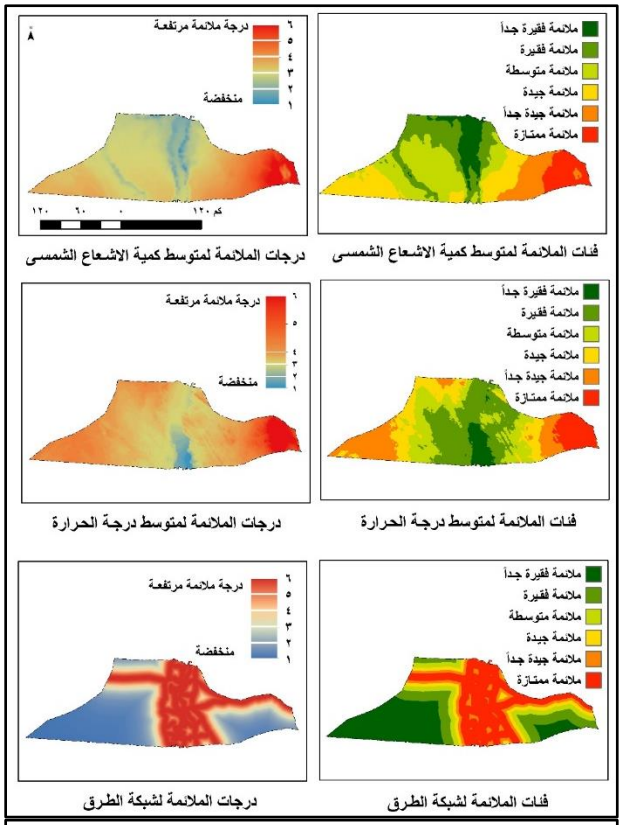
٣. إعادة تصنيف طبقات أو معايير الملاءمة (Reclassification):

بعد الانتهاء من المرحلة السابقة، ولكي يُمكن اكمال عملية النمذجة المكانية للمعايير المختلفة، وكذلك اجراء عملية التحليل الطبقي "Overlay analysis" في بيئة نظم المعلومات الجغرافية، كان لابد من اتخاذ اجراء لتحويل قيم المعايير المختلفة "Raster maps" إلى وحدات متشابهة في القياس (Moeinaddini et al., 2010). تُعرف هذه العملية بالتقييس أو Standardization. ولإنجاز تلك العملية، تم عمل إعادة تصنيف "Reclassify" لجميع طبقات المعايير المستخدمة إلى درجات

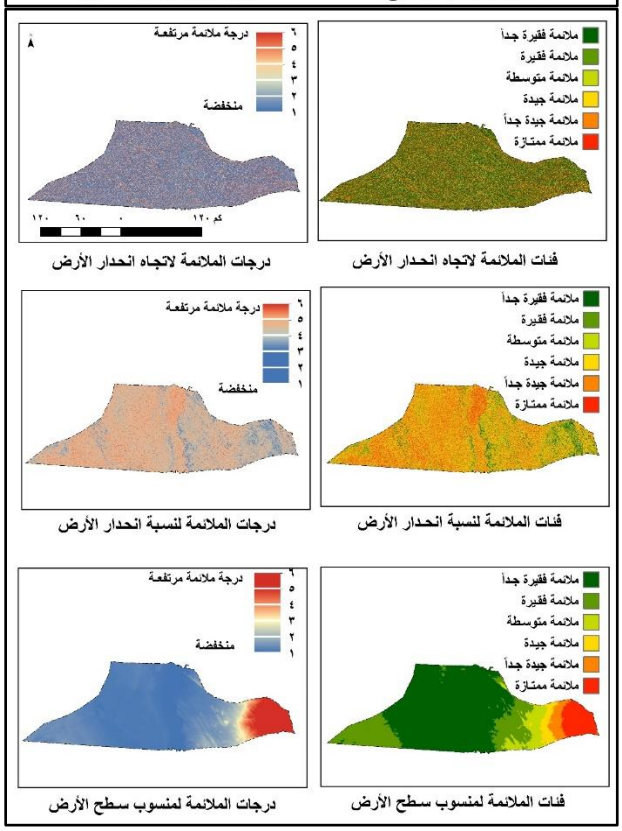
تتراوح بين ١، ٦. وتُشير الدرجة ١ إلى فئة ملاءمة فقيرة جداً، بينما تُشير الدرجة ٦ إلى فئة ملاءمة ممتازة. بعد الانتهاء من الخطوات السابقة، أصبحت جميع طبقات المعايير جاهزة للاستخدام في بيئة نظم المعلومات الجغرافية عن طريق توظيف أداة التركيب الخطي الموزون. وتلك الطريقة مبنية على أساس حساب المتوسط الموزون لمجموعة من المعايير في كل خلية (داود وآخرون، ٢٠١٧). ويوضح الجدول (٢)، الدوال الرياضية التي تم استخدامها لعمل إعادة تصنيف للطبقات المستخدمة في عملية النمذجة، وفقاً لطبيعة البيانات الخاصة بكل معيار (أشكال: ١١، ١٢، ١٣).

جدول (٢) مجموعة الدوال الرياضية التي تم استخدامها في عمل تصنيف معايير الملاءمة لمواقع محطات الطاقة الشمسية

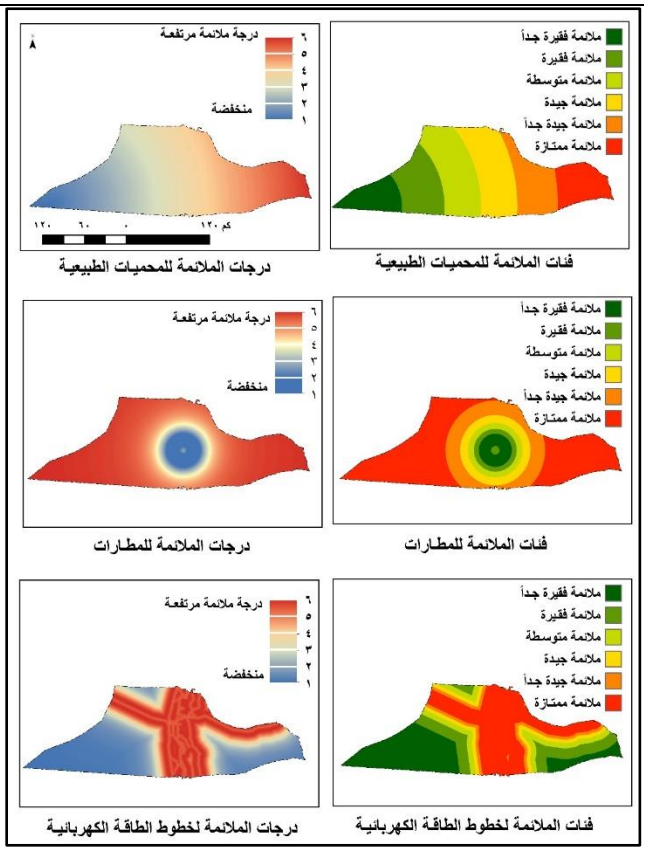
م	المعيار	دالة التصنيف	وصف الدالة
١	الاشعاع الشمسي	القيم الكبيرة (Large)	تُستخدم عندما تكون هناك أفضلية للقيم الكبيرة.
٢	درجة الحرارة	القيم الصغيرة (Smal)	تُستخدم عندما تكون هناك أفضلية للقيم الصغيرة.
٣	منسوب سطح الأرض	النمو اللوجيستي (Logistic Growth)	تُستخدم عندما تكون القيم الصغيرة غير مفضلة، وتزداد الأفضلية كلما زادت القيمة.
٤	انحدار الأرض	اللوغاريتمية (Logarithm)	تُستخدم عندما تزداد الأفضلية للقيم الصغيرة بسرعة كبيرة.
٥	اتجاه انحدار الأرض	الغاوسية (Gaussian)	تُستخدم نقطة الوسط للتوزيع الطبيعي لقيم البيانات لتحديد القيمة الأكثر تفضيلاً (نقطة الوسط ١٧٩)، حيث تتراوح درجة الانحدار لاتجاه الجنوب ما بين ١٥٧,٥ – ٢٠٢,٥ درجة.
٦	المحميات الطبيعية	الخطية (Linear)	تُستخدم عندما تكون القيمة الصغرى (الصفر)، أصغر من أكبر قيمة (٣٧٣١٨٩ متراً)، حيث تكون الأفضلية للقيم الكبيرة.
٧	المطارات	القرب (Near)	تُستخدم عندما تكون قيم البيانات قريبة من نقطة الوسط للتوزيع الطبيعي للبيانات الأكثر أفضلية (نقطة الوسط ١٥كم).
٨	شبكة الكهرباء	القرب (Near)	تُستخدم عندما تكون قيم البيانات قريبة من نقطة الوسط للتوزيع الطبيعي للبيانات الأكثر أفضلية (نقطة الوسط ٥كم).
٩	شبكة النقل	القرب (Near)	تُستخدم عندما تكون قيم البيانات قريبة من نقطة الوسط للتوزيع الطبيعي للبيانات الأكثر أفضلية (نقطة الوسط ١كم).
المصدر: من اعداد الباحث اعتماداً على برنامج نظم المعلومات الجغرافية ArcGIS 10.8.			



شكل (١١) درجات وفئات الملاءمة المكانية لمعايير: الاشعاع الشمسي، ودرجات الحرارة، وشبكة الطرق



شكل (١٢) درجات وفئات الملاءمة المكانية لمعايير: الانحدار، واتجاه الانحدار، ومنسوب سطح الأرض



شكل (١٣) درجات وفئات الملاءمة المكانية لمعايير: المحميات الطبيعية، المطارات، وشبكة الكهرباء

٤. تحديد القيود ومعايير الملاءمة المكانية:

تخضع عملية التخطيط الحضري في المدن المكتظة بالسكان عادة إلى ضوابط معينة، كما أن النقص في عدد الأراضي المتاحة والصالحة يضع مزيداً من القيود على مخططي المدن (Habibi et al. 2008). بالنظر إلى الواقع الفعلي، يُمكن الاستجلاء بوضوح أنه لا يمكن أخذ جميع المواقع في المدينة أو منطقة ما على قدم المساواة؛ بسبب وجود قيود أو عقبات على بعض المواقع، قد تكون فنية، أو جغرافية، أو تخطيطية ... الخ. من هنا ظهر مصطلحين شائعين في مجال اتخاذ القرار المكاني، أحدهما يتعلق بمفهوم القيود، والتي تُستخدم لتأمين الأراضي الهشة، وضمان عدم اختيار المناطق المبنية. ويرتبط المصطلح الآخر بمعايير

الملاءمة أو العوامل، والتي من خلالها يتم تقييم درجات أو مؤشرات الملاءمة المكانية لبعض المناطق (Ramadan and Effat, 2021).

- بناء نموذج القيود المكانية (معايير الاستبعاد):

عند تخطيط وتحليل جدوى انشاء مزارع الطاقة الشمسية، لابد من مراعاة بعض القيود الفنية، والاقتصادية، والبيئية (Sassi et al., 2023). حيث تكون المواقع التي تشملها تلك القيود بمثابة حواجز مكانية لا يُمكن أن تشملها عملية التحليل المكاني. يُبين الجدول (٣)، القيود المستخدمة في عملية الملاءمة المكانية لمحطات الطاقة الشمسية في منطقة الدراسة، والتي تم استنباطها من خلال الدراسات السابقة، وخبراء الطاقة في حقل البحث. وفيما يلي عرض لخصائص تلك القيود.

تشمل القيود المناخية، متوسط كمية الاشعاع الشمسي، ومتوسط درجة الحرارة. وفقاً لدراسة Elkadeem et al. (٢٠٢٢) فإنه يُنصح بإنشاء محطات الطاقة الشمسية في المناطق التي تستقبل كمية اشعاع شمسي < ٤ ك.و.س/م٢، وذلك لضمان الجدوى الفنية والاقتصادية من المشروع. بناءً عليه سوف يتم استبعاد المناطق التي يقل بها متوسط كمية الاشعاع الشمسي عن الرقم المذكور أعلاه. كما أن لدرجات الحرارة المرتفعة تأثير سلبي على كفاءة الوحدات الكهروضوئية، حيث تُؤثر الحرارة المرتفعة على أداء بعض مكونات النظام مثل: المحولات الكهربائية (Sassi et al., 2023). ومن ثمَّ، سوف يتم استبعاد المناطق التي تقل فيها درجة الحرارة عن ٣ درجة مئوية، وأيضاً التي ترتفع عن ٢٧ درجة مئوية.

جدول (٣) القيود المكانية المستخدمة في عملية اتخاذ القرار المكاني متعدد المعايير

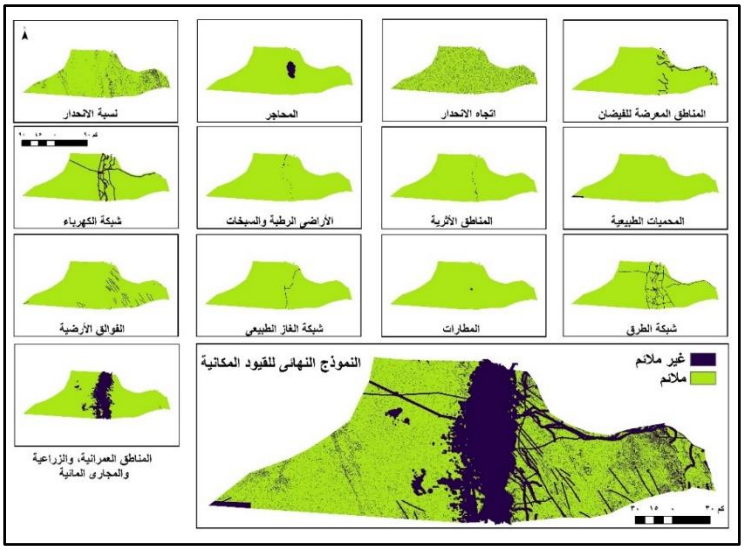
م	عامل القيد		القيمة	المرجع
١	القيود المناخية	الإشعاع الشمسي	4 KWh/m2/day >	Elkadeem et al,2022& Ostovari et al,2019
٢		درجة الحرارة	3 C > & 27 C <	Elkadeem et al,2022& Tercan et al,2021
٣	القيود البيئية	المحميات الطبيعية	0.5 Km >	Uyan,2013 & Elkadeem et al,2022& Fida et al2022
٤		الأراضي الرطبة والسبخات	0.5 Km >	Elkadeem et al,2022
٥		الفوالق الأرضية	0.5 Km >	Elkadeem et al,2022
٦		المناطق الاثرية	1 Km >	خبير طاقة
٧		الفيضانات المحتملة	1 Km >	Asakereh et al,2017& Al Garni HZ.et al,2017
٨		المحاجر	5 Km >	خبير طاقة
٩	القيود الاقتصادية	شبكة الكهرباء	1 Km >	Soha et al,2020& Han et al,2020& Al Garni et al,2017
١٠		شبكة النقل	0.5 Km >	Al Garni et al,2017& Zoghi et al,2017
١١		انحدار الأرض	10% <	Hossein et al 2018 & Zoghi, et al,2017& Yousefi et al,2018
١٢		اتجاه انحدار الأرض	الشمال	Zoghi et al,2017& Elkadeem et al,2022& Sassi et al,2023
١٣		الأراضي الزراعية	0.5 Km >	Saraswat et al,2021& Al Garni et al,2017 & Uyan,2013
١٤		شبكة الغاز الطبيعي	0.5 Km >	Nadizadeh et al,2021& Al Garni et al,2017& Elkadeem et al,2022
١٥		منسوب سطح الأرض	1.5 Km < & 0 >	Elkadeem et al,2022
١٦	القيود البيئية الاقتصادية	المجاري المائية	0.5 Km >	Hossein et al 2018&Mensour et al2019
١٧		المناطق العمرانية	2 Km >	Hossein et al 2018&Aydin et al,2013& Elkadeem et al,2022
١٨		المطارات	3 Km >	Elkadeem et al,2022

وتشمل القيود البيئية ٦ عوامل، وتكمن الأهمية الاعتبارية لهذه العوامل في كونها إحدى متطلبات التنمية المستدامة لمشروعات الطاقة، وبدونها تكون عملية التنمية غير مكتملة الأركان (Fida et al., 2022). بناءً على ما سبق، ونظراً للقيمة الحيوية والبيئية للمحميات الطبيعية، فقد تم استبعاد المناطق التي تقع في نطاق يصل إلى ٥٠٠ متراً من أي محمية طبيعية توجد في منطقة الدراسة (Zoghi et al., 2017). علاوة على ذلك، تم استبعاد مناطق الأراضي الرطبة والسبخات، والمناطق التي تقع في حدود ٥٠٠ متراً من مواقع الفوالق الأرضية، والمناطق التي تقع في حدود ١ كم من المناطق الأثرية، ومناطق الفيضانات المحتملة، والمناطق التي تقع في حدود ٥كم من مواقع المحاجر.

وتتضمن القيود الاقتصادية ٧ معايير، من أهمها: شبكة النقل، وشبكة الكهرباء، يلعب هذان العاملان دوراً ايجابياً في استدامة مرافق الطاقة الشمسية (Sassi et al., 2023)، حيث يرتبط بسهولة الوصول لموقع محطة الطاقة الشمسية تقليل التكاليف التي تنطوي عليها عملية البناء، والدعم اللوجيستي أثناء مرحلة البناء والتشغيل (Garni et al., 2017). وأيضاً مراعاة لقواعد السلامة والمرور، فقد استبعدت المناطق التي تقع في نطاق ٥٠٠ متراً من شبكات النقل. في المقابل، يرتبط القرب من شبكة الكهرباء ارتباطاً مباشراً بتكاليف نقل وتوزيع الطاقة (Zoghi et al., 2017). فكلما بعدت المسافة عن مسارات الشبكة الكهربائية، كلما زادت تكلفة النقل والتوزيع. لذا تم اعتبار المناطق التي تبعد مسافة ١ كم عن مسارات خطوط الطاقة الكهربائية غير ملاءمة لإقامة محطات الطاقة الشمسية. من جهة أخرى، فإن للانحدارات دوراً مهماً في اختيار مواقع محطات الطاقة الشمسية، فالانحدارات الشديدة ليست مناسبة لبناء محطات الطاقة الشمسية، حيث يصعب على الشاحنات ووسائل النقل المختلفة الوصول اليها، ومن ثمَّ تُساهم في ارتفاع التكلفة الاقتصادية.

بناءً على ذلك، فقد تم استبعاد المناطق التي يزيد نسبة انحدارها عن ١٠٪ (Garni et al., 2017). كما تم استثناء المناطق ذات الانحدارات الشمالية من عملية التحليل المكاني، حيث تكون بظل الشمس. علاوة على ما سبق، تم استبعاد الأراضي التي تقع في نطاق ٥٠٠ متراً من الأراضي الزراعية (شكل ١٤).

على الرغم من أهمية القيود البيئية الاقتصادية لإقامة محطات الطاقة الشمسية، فإن المناطق التي تقع في نطاق ٥٠٠ متراً من المجاري المائية تعتبر غير ملاءمة؛ لتجنب تلوث المياه، وتوفير الحماية من الكوارث البيئية (Fida et al., 2022). على الرغم من أن القرب من المناطق الحضرية، يضمن امداد تلك المناطق بمصادر الطاقة، ويقلل من التكلفة الاقتصادية لنقل وتوزيع الطاقة إلى مسافات طويلة، الا أن قرب تلك المحطات من المناطق الحضرية، قد يُشكل عائقاً أمام عملية التنمية الحضرية المستقبلية (Aydin et al., 2013). علاوة على ما سبق، فإن وجود مسافة آمنة من المناطق الحضرية، يُقلل أيضاً من الأثار السلبية التي من الممكن أن تُسببها تلك المحطات للسكان (Ali et al., 2019). لذا، فقد استبعدت المناطق التي تقع في حدود ٢كم من المناطق السكنية (شكل ١٤).



شكل (١٤) نموذج القيود المكانية في عملية اتخاذ القرار المكاني متعدد المعايير لمحطات الطاقة الشمسية

٥. نتائج الدراسة والمناقشة:

- تحليل نموذج القيود المكانية:

يوضح الشكل (١٤) أن إجمالي مساحة المواقع غير الملاءمة لإقامة محطات الطاقة الشمسية في محافظة المنيا قد بلغ حوالي ١٠٢٧٧,٩١ كم٢، تُعادل تلك المساحة نحو ٣٢,٩١٪ من إجمالي مساحة المحافظة. يَعنى ذلك أن باقي مساحة المحافظة، والبالغ نسبتها ٦٧,٠٩٪، يُعد ملائماً من الناحية النظرية لإقامة محطات للطاقة الشمسية بدرجات متفاوتة. ويوضح الجدول التالي توزيع المساحات الملاءمة وغير الملاءمة لإقامة محطات الطاقة الشمسية على مستوى الوحدات الإدارية لمحافظة المنيا.

جدول (٤) التوزيع النسبي لمساحات الأراضي الملاءمة وغير الملاءمة على مستوى الوحدات الإدارية بمحافظة المنيا

الوحدة الادارية	مساحة الأراضي الملاءمة (كم٢)	% من مساحة الأراضي الملاءمة	مساحة الأراضي غير الملاءمة (كم٢)	% من مساحة الأراضي غير الملاءمة
الظهير الصحراوي الشرقي	٧٤٣٧,٤٤	٣٥,٤٩	٣٩٩٠,٥٨	38.83
الظهير الصحراوي الغربي	١٣٤٩٠,٥	64,38	٣٣٢٩,٩٦	32.40
قسم المنيا	----	----	١٤,٩٩	٠,١٥
قسم ملوي	----	----	١٩,٣٠	٠,١٩
مدينة المنيا الجديدة	----	----	٣٦,٧٤	٠,٣٦
مركز أبو قرقاص	٠,٧٥	0.004	٣٠٤,٢٢	2.96
مركز العدوة	----	----	١٩٣,٦٣	1.88
مركز أوسيم	٠,٨٠	0.004	٤٢٥,٦٢	4.14
مركز بنى مزار	----	----	٣١٦,٨٥	3.08
مركز دير مواس	٨,٢٥	0.039	٢٢٤,٩٩	2.19
مركز سمالوط	٠,٢١	0.001	٥٢٣,٣٩	5.09
مركز مطاي	----	----	٢٠٣,٢١	1.98
مركز مغاغة	٣,٨٨	0.019	٣١٨,١٨	3.10
مركز ملوي	١٢,٢٥	0.058	٣٧٦,٢٩	3.66

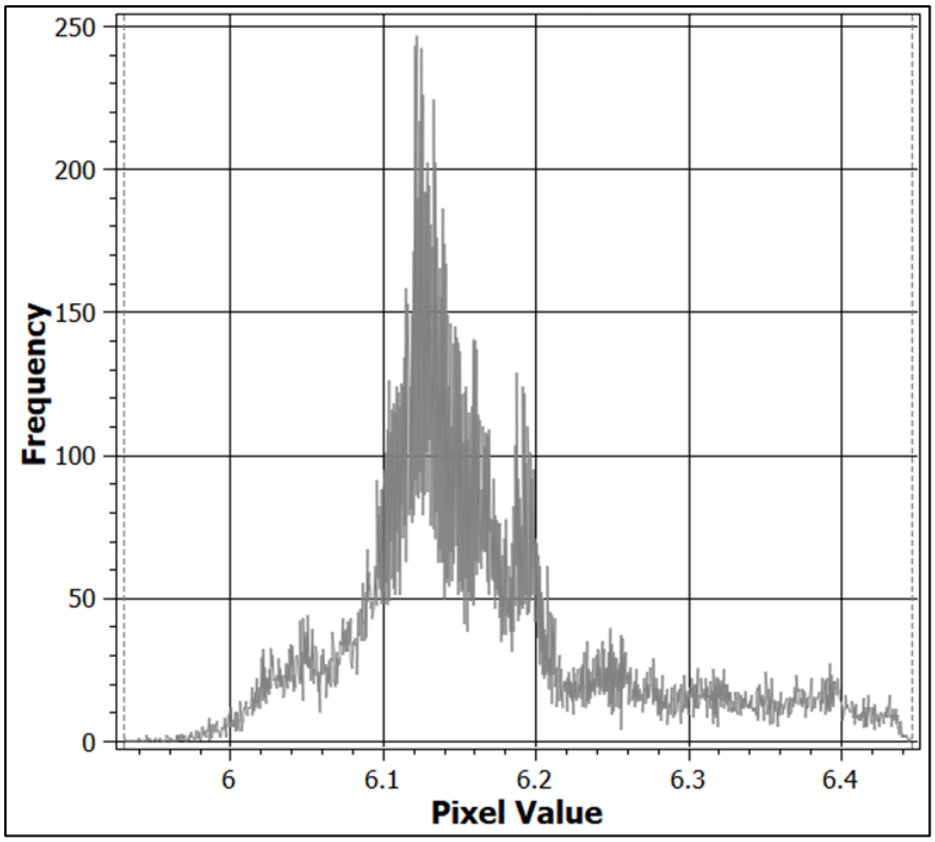
المصدر: من اعداد الباحث اعتماداً على نتائج نموذج القيود المكانية (شكل ١٤).

يتبين من تحليل بيانات الجدول (٤) أن ٦ وحدات إدارية في المحافظة: مدينة المنيا الجديدة، وقسم المنيا، وقسم ملوي، ومركز العدوة، ومركز بنى مزار، ومركز مطاي تخلو تماماً من أي مواقع ملاءمة لإنشاء محطات الطاقة الشمسية. أما مراكز سمالوط، وأبو قرقاص، وأوسيم، ودير مواس، ومغاغة، وملوى فقد وجدت بها بعض المواقع الملاءمة لإنشاء محطات الطاقة الشمسية، ولكن بمساحات صغيرة تراوحت بين ٠,٢١ كم٢ في مركز سمالوط، ١٢,٢٥ كم٢ في مركز ملوي.

- تحليل معايير الملاءمة المكانية:

قبل الشروع في تحليل خريطة الملاءمة النهائية، سوف يعرض الجزء الحالي من الدراسة لأهم خصائص معايير الملاءمة التي استخدمت في عمل التحليل المكاني متعدد المعايير، بغرض انشاء خريطة الملاءمة المكانية لمواقع محطات الطاقة الشمسية في محافظة المنيا على النحو التالي:

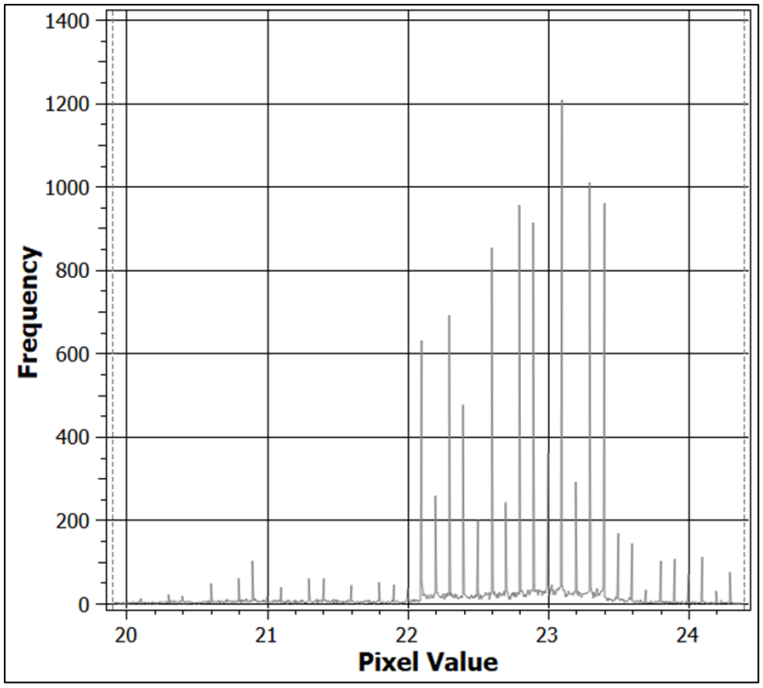
- الاشعاع الشمسي: هو المصدر الرئيس لطاقة الألواح الشمسية، لذلك كلما زاد الإشعاع الشمسي، زادت كمية الكهرباء التي يتم توليدها بواسطة تلك الألواح، وبالتالي كان الموقع أفضل لمحطات الطاقة الشمسية. وفقاً للدراسات السابقة فإن الحد الأدنى ١٣٠٠ كيلووات ساعة/ متر٢/ سنة، مناسب للألواح الشمسية لكي تكون مجدية اقتصادياً. يُظهر الشكل (٦)، أن محافظة المنيا تتمتع بقدر عال من الإشعاع الشمسي، يتراوح بين ٥,٩٣، ٦,٤٤ كيلووات ساعة/ متر٢/ يوم، ومتوسط يبلغ حوالي ٦,١٧ كيلووات ساعة/ متر٢/ يوم (شكل ١٥). وتُعد الأجزاء الشرقية منها الأكثر ملاءمة، بينما تقل درجات الملاءمة تدريجياً بالاتجاه نحو الغرب، خاصة المناطق الوسطى.



شكل (١٥) المنحنى الهبسومترى لمتوسط الاشعاع الشمسي (كيلووات ساعة/ متر٢/ يوم) بمحافظة المنيا

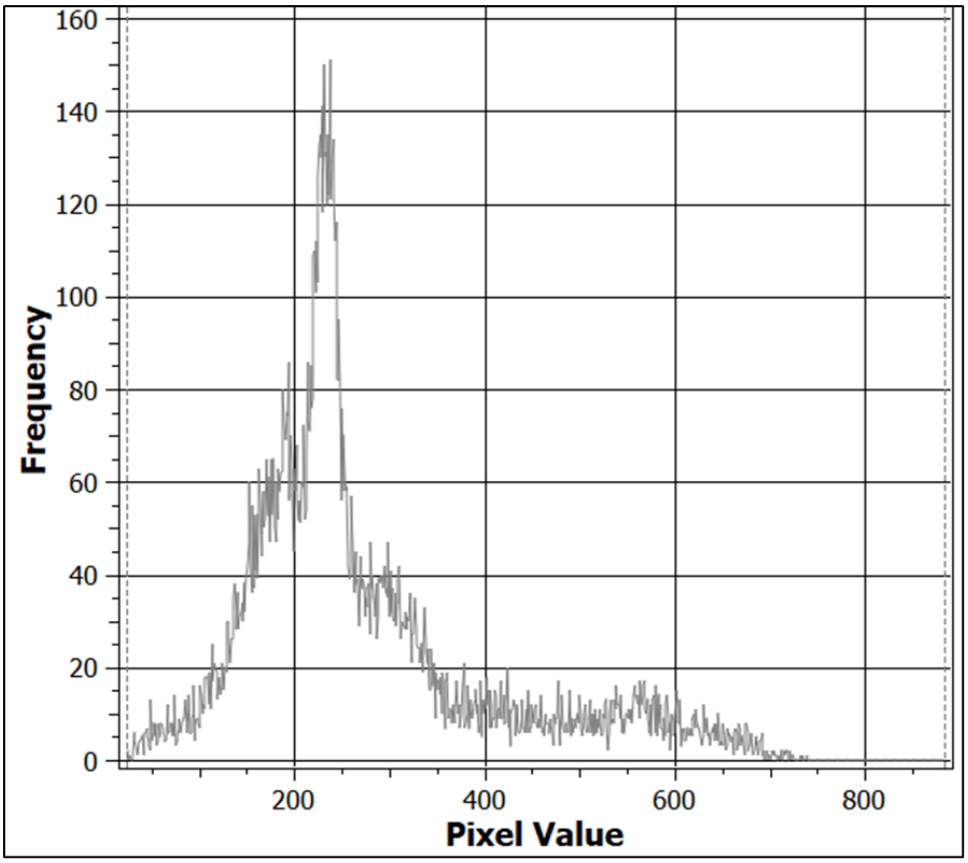
- درجة الحرارة: يتراوح متوسط درجات الحرارة في منطقة الدراسة بين حد أدنى بلغ ١٩,٩ درجة مئوية، وحد أقصى بلغ ٢٤,٣٩ درجة مئوية. وبصفة عامة تميل درجات الحرارة في منطقة الدراسة نحو القيم الكبيرة، وبصفة خاصة ما بين ٢٢، ٢٣ درجة مئوية (شكل ١٦). يتبين من (الشكل ٦) أن أكثر المواقع ملاءمة تتركز في الأجزاء الشرقية من المحافظة، وأقصى الأجزاء الغربية؛ حيث ساعد ارتفاع منسوب سطح الأرض على الحد من ارتفاع درجات الحرارة مقارنة بباقي أجزاء المحافظة الواقعة على نفس دوائر العرض. في حين تتوزع المناطق

الملاءمة بدرجة جيد في الأجزاء الغربية وبعض الأجزاء الشمالية، بينما تنخفض درجات الملاءمة على جانبي نهر النيل بالظهير الصحراوي الغربي والشرقي.



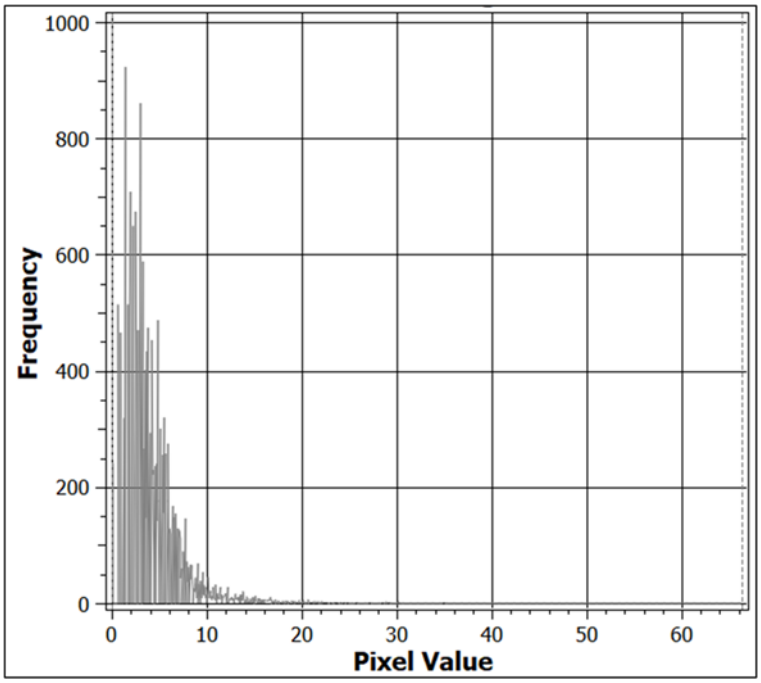
شكل (١٦) المنحنى الهبسومترى لمتوسط درجات الحرارة (درجة مئوية) بمحافظة المنيا

- منسوب سطح الأرض: تزداد كفاءة الألواح الشمسية الكهروضوئية في الارتفاعات العالية؛ فالمناطق الأعلى لديها إمكانات أكبر في تلقى الاشعاع الشمسي من نظيرتها الأقل ارتفاعاً (Yousefi et al.,2018). ويتراوح منسوب سطح الأرض في منطقة الدراسة بين ٩٠٤، ١٢ متراً فوق مستوى سطح البحر. وبصفة عامة تميل مناسيب سطح الأرض في منطقة الدراسة نحو القيم المنخفضة (شكل ١٧). وبالنظر إلى شكل (٨)، يتبين أن أقصى المناطق الشرقية من المحافظة، تُمثل أعلى درجات الملاءمة وفقاً لهذا المعيار. في المقابل تقل درجة الملاءمة بالاتجاه غرباً، وخاصة في المناطق الوسطى من المحافظة.



شكل (١٧) المنحنى الهبسومترى لمنسوب سطح الأرض (متر) بمحافظة المنيا

- انحدار الأرض: يتراوح انحدار سطح الأرض في منطقة الدراسة بين صفر، ١٤٩,٥٥٪. ويوضح الشكل (١٨)، أن الانحدارات السائدة في منطقة الدراسة أقل من ١٠٪. وهو ما يعنى أن أغلب أجزاء المحافظة لها درجات ملاءمة عالية. عدا بعض المناطق بالحافة الشرقية من نهر النيل، وبعض الأماكن المتفرقة بالظهير الصحراوي الغربي التي لها ميول كبيرة، ومن ثمَّ كانت درجات الملاءمة عندها فقيرة وأحياناً فقيرة جداً في القمم العالية.



شكل (١٨) المنحنى الهبسومترى لانحدار سطح الأرض (%) بمحافظة المنيا

- اتجاه انحدار الأرض: تتلقى المنحدرات المواجهة لاتجاه الجنوب، والجنوب الغربي، والجنوب الشرقي في نصف الكرة الشمالي معظم الاشعاع الشمسي مما يجعلها الأنسب لإقامة محطات الطاقة الشمسية (Sassi et al., 2023). تتراوح درجة الانحدار لاتجاه الجنوب، والجنوب الشرقي، والجنوب الغربي بين ١١٢,٥، ٢٤٧,٥ درجة، يبلغ متوسط درجات الانحدار لجميع الاتجاهات نحو ١٧٣,٣٤ درجة، ما يشير إلى أن معظم الاتجاهات في منطقة الدراسة تميل نحو الاتجاهات الثلاثة السابق ذكرها.
- المناطق العمرانية، وشبكة النقل: يرتبط توزيع شبكة الطرق بمنطقة الدراسة في الغالب بالتجمعات العمرانية والسكنية، بينما يخلو الظهير الصحراوي الشرقي والغربي من وجود كثافات عالية لشبكة الطرق. وفقاً لذلك، كانت أنسب المواقع طبقاً لهذين المعيارين، هي المواقع التي تكون على مقربة من الكتلة السكنية.

في المقابل، تقل درجة ملاءمة الأراضي بالاتجاه شرقاً وغرباً بعيداً عن الكتلة السكنية.

- شبكة الكهرباء: يُلاحظ من نموذج الملاءمة المكانية (شكل ١٣) لمعيار البعد عن شبكة توزيع الكهرباء، أن المناطق عالية الملاءمة هي التي لا تبعد بأكثر من ٥كم عن خطوط توزيع الشبكة، ويُبين الشكل أيضاً أن المواقع الملاءمة لهذا المعيار تتركز في الأجزاء الوسطى والشمالية من المحافظة.
- المطارات: يُوضح الشكل (١٣)، أن الغالبية العظمى من الأراضي في محافظة المنيا ملاءمة نظرياً وفقاً لهذا المعيار، باستثناء المناطق التي تقع في نطاق ١٥كم من المطار، والتي هي بالأساس تقع داخل الكتلة العمرانية. بينما تُشكل باقي المناطق في الاتجاهات الأربعة مناطق ملاءمة.
- المحميات الطبيعية: وفقاً للشكل (١٣)، فإن غالبية أراضي المحافظة ملاءمة لإقامة محطات الطاقة الشمسية خاصة في المناطق الشرقية منها. في المقابل تقل درجة الملاءمة في الجزء الجنوبي الغربي بالظهير الصحراوي الغربي في المناطق التي تبعد مسافة أقل من ١كم من محمية الصحراء البيضاء.

- تحليل خريطة الملاءمة المكانية:

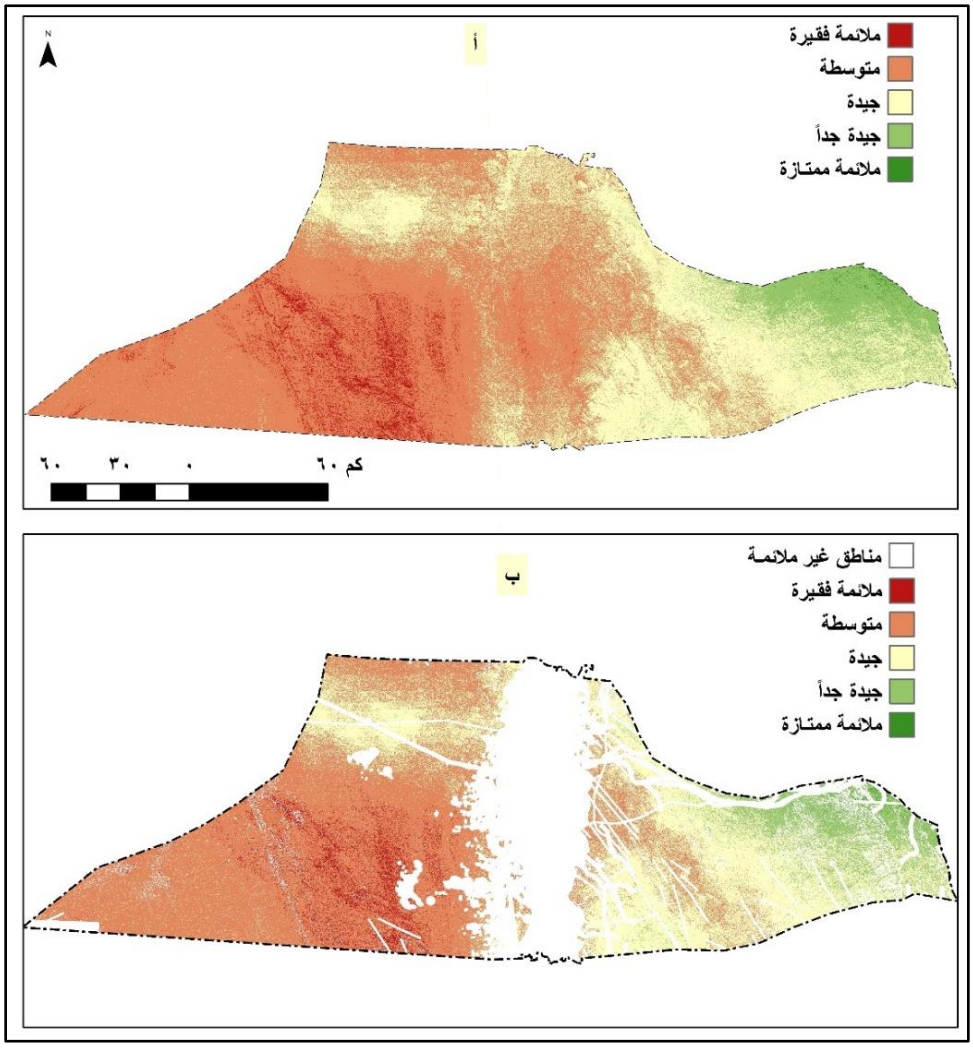
بعد الانتهاء من إعداد خريطة القيود المكانية، وأيضاً تجهيز معايير الملاءمة المكانية كما سبق ايضاحه، تبقى إجراء أخير يتمثل في تنفيذ عملية التحليل الطبقي لكلاً من خريطة القيود المكانية، ومعايير الملاءمة المكانية من خلال استخدام التحليل الطبقي الموزون في بيئة نظم المعلومات الجغرافية. ويوضح الشكل ١٩-أ خريطة الملاءمة بدون استخدام نموذج القيود المكانية، بينما يوضح الشكل ١٩-ب خريطة الملاءمة المكانية مع استخدام نموذج القيود المكانية.

جدول (٥) التوزيع النسبي لدرجات وفئات الملاءمة المكانية لمواقع محطات الطاقة الشمسية بمحافظة المنيا

م	درجة الملاءمة	فئة الملاءمة	المساحة\ كم٢	%
١	٠	غير ملائم	10441.6	33.56
٢	١	فقيرة جداً	----	----
٣	٢	فقيرة	1002.2	3.22
٤	٣	متوسطة	11506.64	36.99
٥	٤	جيدة	6523.92	20.97
٦	٥	جيدة جداً	1600.04	5.14
٧	٦	ممتازة	36.48	0.12
الإجمالي	------	------	31110.88	١٠٠

المصدر: من اعداد الباحث اعتماداً على نتائج شكل (١٩).

يتضح من تحليل أرقام الجدول (٥)، أن درجات الملاءمة المكانية لمحطات الطاقة الشمسية في محافظة المنيا، قد تراوحت ما بين ٢ ، ٦ درجات. أي أنها تتراوح بين فئة الملاءمة الفقيرة (٢ درجة)، والممتازة (٦ درجات). بينما اختفت درجة الملاءمة ١، أي فئة الملاءمة الفقيرة جداً. وقد نالت فئة الملاءمة الممتازة على أقل نسبة من مساحة المحافظة، بواقع ٣٦,٤٨كم٢، أو ما يُعادل حوالي ٠,١٢٪ من إجمالي مساحتها. وتتركز تلك الأراضي في أقصى شرقي المدينة. أما أعلى فئة ملاءمة فكانت من نصيب فئة الملاءمة المتوسطة (الدرجة ٣)، بما يُعادل نحو ٣٦,٩٩٪ من مساحة المحافظة، وتكاد تشغل جميع المناطق في الظهير الصحراوي الشرقي. اجمالاً، تستحوذ الثلاث فئات المتوسطة، والجيدة، والجيدة جداً على حوالي ٦٣,١٢٪ من مساحة المحافظة.



شكل (١٩) خريطة الملاءمة المكانية لمواقع محطات الطاقة الشمسية في محافظة المنيا

الخاتمة:

يُعد توفر الطاقة عنصراً أساسياً في أي تقدم حضاري، كما أنها تُعد الأساس لأي نهضة صناعية في العصر الحديث. ومع ذلك تواجه المجتمعات كافة إشكالات كثيرة تتعلق بتوفير الطاقة بصورة مستدامة. من هنا ظهر الاتجاه نحو استغلال مصادر الطاقة المتجددة، للتغلب على نقص مصادر الوقود الأحفوري التقليدية. هذا، وتُعد الطاقة الشمسية من أهم تلك المصادر، والتي تتمتع مصر فيها

بإمكانات هائلة. وقد هدفت الدراسة الحالية إلى تقييم الملاءمة المكانية لمواقع محطات الطاقة الشمسية في محافظة المنيا، من خلال توظيف تقنيات نظم المعلومات الجغرافية.

انتهجت الدراسة أسلوب اتخاذ القرار المكاني متعدد المعايير، من خلال توظيف ١٨ معياراً وقيداً مكانياً، تُمثل تلك المعايير آراء الخبراء والعاملين في هذا الحقل. وقد تم استنباط تلك المعايير من خلال مراجعة مكثفة وشاملة للأدبيات السابقة ذات الصلة. مرت عملية معالجة نلك البيانات بمراحل مختلفة من المعالجة والتصحيح، حتى يمكن توظيفها في تقنيات نظم المعلومات الجغرافية.

من خلال تطبيق أسلوب المتوسط الموزون (Weighted Overlay)، أمكن الوصول إلى خريطة الملاءمة المكانية لمواقع محطات الطاقة الشمسية في محافظة المنيا. أظهرت نتائج الخريطة، أن المحافظة تتمتع بإمكانات متنوعة في مجال توطن محطات الطاقة الشمسية، تراوحت ما بين نسبة ملاءمة ممتازة (٠,١٢٪)، ونسبة ملاءمة جيدة جداً (٥,١٤٪)، ونسبة ملاءمة جيدة (٢٠,٩٧٪)، ونسبة ملاءمة متوسطة (٣٦,٩٩٪)، ونسبة ملاءمة فقيرة (٣,٢٢٪).

أخيراً، يأمل الباحثون، أن يتم تناول توسيع عدد المعايير المكانية في نموذج التحليل المكاني مثل: متوسط سرعة الرياح على سبيل المثال في الدراسات المستقبلية. وأيضاً تناول ما يتعلق باقتصاديات انتاج الطاقة الشمسية في المحافظة.

قائمة المراجع

١. المراجع باللغة العربية:

- توفيق، محمود (٢٠٠٧). منهجية البحث العلمي مع التطبيق على البحث الجغرافي، مكتبة الأنجلو المصرية، القاهرة.

- حسن، ياسر محمد عبد الموجود (٢٠١٧). امكانات الطاقة الشمسية في مصر مع التطبيق على محطة الكريمات – دراسة في جغرافية الطاقة باستخدام نظم المعلومات الجغرافية، رسالة دكتوراة غير منشورة، كلية الآداب، جامعة أسيوط.

- حسن، ياسر محمد عبد الموجود، وفرج، محمد ربيع (٢٠٢١). إنتاج الكهرباء من الطاقة الشمسية في محافظة أسوان مع التطبيق على محطة بنبان: دراسة في جغرافية الطاقة باستخدام نظم المعلومات الجغرافية. المجلة الجغرافية العربية، س,٥٢ ع،٧٧ ٢١٥.

- داود، جمعة محمد، وآخرون (٢٠١٧). تحديد أفضل المواقع لتجميع الطاقة الشمسية في منطقة مكة المكرمة الادارية باستخدام نظم المعلومات الجغرافية متعددة المعايير، الملتقي الوطني الحادي عشر لتطبيقات نظم المعلومات الجغرافية في المملكة العربية السعودية جامعة الامام عبد الرحمن بن فيصل ١١-١٣ ابريل.

- الديب، محمد محمود إبراهيم (٢٠٠٩). قضايا الطاقة في مصر، سلسلة بحوث جغرافية، ع،٢٥ ١ – ٩٠.

- السيد، نورا رجب إبراهيم (٢٠١٥). التحجير وآثاره الجيومورفولوجية والبيئية بمحافظة المنيا، ماجستير، غير منشورة، جامعة كفر الشيخ.

- الشرقاوي، ماجد أبو النجا (٢٠١١). الأبعاد الاقتصادية لاستخدامات الطاقة الشمسية في جمهورية مصر العربية. مجلة مصر المعاصرة، مج ,١٠٣ ع ٥٠٤، 16. – 85.

- شعبان، غادة سيد عبد الله سيد، والفالوجي، أحمد محمد (٢٠٢٢). دور الطاقة المتجددة في تحقيق التنمية الاقتصادية "في إطار رؤية مصر ٢٠٣٠". مجلة البحوث التجارية، مج,٤٤ ع،٢ ٤٢٥.

- الصباغ، عبد الحميد إبراهيم (٢٠١٥). إمكانات إنتاج الطاقة الكهربائية من البرك الملحية الشمسية في مصر: دراسة في جغرافية الطاقة. مجلة الدراسات الإنسانية والأدبية، ع,٩ مج،١ ١ – ٥.

- عبده، سعيد أحمد (٢٠١٢). مستقبل الطاقة المتجددة في مصر، مجلة المجمع العلمي المصري، المجلد ٨٧.

- عرفات، نورا محمد أحمد (٢٠٢١). إنتاج الكهرباء من أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية وتحديد المواقع المثلي لتوطنها في محافظة الوادي الجديد– دراسة في جغرافية الطاقة، جامعة المنصورة، مجلة كلية الآداب، العدد التاسع والستون.

- غلوش، محفوظ مصطفى محمد، عمران، محمد موسى علي، وحماد، طارق عبدالعال (٢٠٢٠). التقييم المالي البيئي لتوليد الطاقة الكهربائية بالطاقة الشمسية على أحد المشروعات في جنوب مصر. مجلة الدراسات والبحوث التجارية، س,٤٠ ع،٣ ٤٠٥ – .٤٣٨.

- وزارة الكهرباء والطاقة المتجددة (٢٠١٨). هيئة الطاقة الجديدة والمتجددة، التقرير السنوي، القاهرة.

- وزارة الكهرباء والطاقة المتجددة (٢٠٢١- ٢٠٢٢). الشركة القابضة لكهرباء مصر، التقرير الإحصائي السنوي.

٢. المراجع باللغة الأجنبية:

- Abdel-Aal, H. K., & Mohamed, M. A. (1989). Potentials of storing solar energy in the form of hydrogen for Egypt. Energy sources, 11(2), 95-103.

- Abudeif, A. M., AA Abdel Moneim, and A. F. Farrag. "Multicriteria decision analysis based on analytic hierarchy process in GIS environment for siting nuclear power plant in Egypt." Annals of nuclear energy 75 (2015): 682-692.

- Ahadi, P., Fakhrabadi, F., Pourshaghaghy, A., & Kowsary, F. (2023). Optimal site selection for a solar power plant in Iran via the Analytic Hierarchy Process (AHP). Renewable Energy, 215,118944.

- Akimova, V. V. (2018). Solar energy production: specifics of its territorial structure and modern geographical trends. Geography, environment, sustainability, 11(3), 100-110.

- 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. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.10.024.

- Alanazi, A., & Alanazi, M. (2023). Multicriteria Decision-Making for Evaluating Solar Energy Source of Saudi Arabia. Sustainability, 15(13), 1022.

- Alhousni, F. K., Ismail, F. B., Okonkwo, P. C., Mohamed, H., Okonkwo, B. O., & Al-Shahri, O. A. (2022). A review of PV solar energy system operations and applications in Dhofar Oman. AIMS Energy, 10(4), 858-884.

- Al-Sabbagh, T.A. GIS location-allocation models in improving accessibility to primary schools in Mansura city-Egypt. GeoJournal (2022). https://doi.org/10.1007/s10708-020-10290-5.

- Asakereh A, Soleymani M, Sheikhdavoodi MJ. A GIS-based Fuzzy-AHP method for the evaluation of solar farms locations: Case study in Khuzestan province. Iran Sol Energy 2017;155:342–53. https://doi.org/10.1016/j.solener.2017.05.075.

- Aydin NY, Kentel E, Duzgun HS. GIS-based site selection methodology for hybrid renewable energy systems: A case study from western Turkey. Energy Conver Manage 2013;1(70):90–106. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2013.02.004.

- Badran, O. O. (2001). Study in industrial applications of solar energy and the range of its utilization in Jordan. Renewable Energy, 24(3-4), 485-490.

- Christian Krog Lindeskov. (2002). Ambulance allocation using gis, informatics and mathematical modelling, Technical University of Denmark, DTU, IMM-EKS-2002-49, (p. 21).

- Dawod, G., & Mandoer, M. S. (2016, April). Optimum sites for solar energy harvesting in Egypt based on multi-criteria GIS. In the first Future University international conference on new energy and environmental engineering, April (pp. 11-14).

- Drobne, Samo, and Anka Lisec. "Multi-attribute decision analysis in GIS: weighted linear combination and ordered weighted averaging." Informatica 33.4 (2009).

- Eastman, J. Ronald, Hong Jiang, and James Toledano. "Multi-criteria and multi-objective decision making for land allocation using GIS." Multicriteria analysis for land-use management. Springer, Dordrecht, 1998. 227-251.

- Elboshy, B., Alwetaishi, M., Aly, R. M., & Zalhaf, A. S. (2022). A suitability mapping for the PV solar farms in Egypt based on GIS-AHP to optimize multi-criteria feasibility. Ain Shams Engineering Journal, 13(3), 101618.

- Elkadeem, M. R., et al. "Sustainable siting and design optimization of hybrid renewable energy system: A geospatial multicriteria analysis." Applied Energy 295 (2021): 117071.

- Elkadeem, M. R., Younes, A., Mazzeo, D., Jurasz, J., Campana, P. E., Sharshir, S. W., & Alaam, M. A. (2022). Geospatial-assisted multi-criterion analysis of solar and wind power geographical-technical-economic potential assessment. Applied Energy, 322, 119532.

- Feizizadeh, B., Shadman Roodposhti, M., Jankowski, P., & Blaschke, T. (2014). A GIS-based extended fuzzy multicriteria evaluation for landslide susceptibility mapping. Computers and Geosciences, 73, 208–221. https://doi.org/10.1016/j.cageo.2014.08.001.

- Fida A, Adul B, Shahariar C,kuaananT, Suitable Site Selection for Solar-Based Green Hydrogen in Southern Thailand Using GIS-MCDM Approach. Sustainability 2022, 14(11), 6597; https://doi.org/10.3390/su14116597.

- Gökmener, S., Oğuz, E., Deveci, M., & Göllü, K. (2023). Site selection for floating photovoltaic system on dam reservoirs using sine trigonometric decision-making model. Ocean Engineering, 281, 114820.

- Habibi, K., Lotfi, S., & Koohsari, M. J. (2008). Spatial analysis of urban fire station locations by integrating AHP model and IO logic using GIS (a case study of zone 6 of Tehran). Journal of Applied Sciences, 8(19), 3302-3315.

- Han Z, Sun J, Xiao C, Zhang S, Zhao Y. A review of multi-criteria decision-making applications for renewable energy site selection. Renewable Energy 2020;157: 377–403.

  https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.04.137.

- Hassan, I., Alhamrouni, I., & Azhan, N. H. (2023). A CRITIC–TOPSIS Multi-Criteria Decision-Making Approach for Optimum Site Selection for Solar PV Farm. Energies, 16(10), 4245.

- Heffron, R., Halbrügge, S., Körner, M. F., Obeng-Darko, N. A., Sumarno, T., Wagner, J., & Weibelzahl, M. (2021). Justice in solar energy development. Solar Energy, 218, 68-75.

- Heng, Y., Lu, C. L., Yu, L., & Gao, Z. (2020). The heterogeneous preferences for solar energy policies among US households. Energy Policy, 137, 111187.

- Hossein Y, Hamed H and Amin Y, Spatial Site Selection for Solar Power Plants Using a GIS-Based Boolean-Fuzzy Logic

Model: A Case Study of Markazi Province, Iran. Energies 2018, 11, 1648; doi:10.3390/en11071648.

- Hosseini, A. A., & Hosseini, S. H. (2012). Utilizing solar energy instead of fossil fuels as domestic energy (case study: Dehloran city, Ilam province, Iran). Energy exploration & exploitation, 30(3), 389-401.

- Imamverdiev, N. S. (2022). Optimal Site Selection for Solar Photovoltaic Power Plants: A Case Study of the Nakhchivan Autonomous Republic, Azerbaijan. Geography and Natural Resources, 43(2), 189-199.

- Jacek Malczewski. "On the use of weighted linear combination method in GIS: common and best practice approaches." Transactions in GIS 4.1 (2000): 5-22.

- Jacek Malczewski (2006) GIS-based multicriteria decision analysis: a survey of the literature, International Journal of Geographical Information Science, 20:7, 703-726, DOI: 10.1080/13658810600661508.

- Krey, N., Picot-Coupey, K., & Cliquet, G. (2022). Shopping mall retailing: A bibliometric analysis and systematic assessment of Chebat's contributions. Journal of Retailing and Consumer Services, 64, 102702.

- Lamei, A., Van der Zaag, P., & Von Muench, E. J. E. P. (2008). Impact of solar energy cost on water production cost of seawater desalination plants in Egypt. Energy Policy, 36(5), 1748-1756.

- Lee, J. (1992). Location-Allocation analysis of retailing using microsoft windows, Miami university, Computer Science and

Systems Analysis, Technical Reports. MU-SEAS-CSA-1992-004, (p. 8).

- Li, D. H., Chong, B. L., Chan, W. W., & Lam, J. C. (2014). An analysis of potential applications of wide-scale solar energy in Hong Kong. Building Services Engineering Research and Technology, 35(5), 516-528.

- Li, G., Li, M., Taylor, R., Hao, Y., Besagni, G., & Markides, C. N. (2022). Solar energy utilisation: Current status and roll-out potential. Applied Thermal Engineering, 209, 118285.

- Maka, A. O., & Alabid, J. M. (2022). Solar energy technology and its roles in sustainable development. Clean Energy, 6(3), 476-483.

- Mensour ON, El Ghazzani B, Hlimi B, Ihlal A. A geographical information system based multi-criteria method for the evaluation of solar farms locations: A study in Souss-Massa area, southern Morocco. Energy 2019;182:900–19. https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.06.063.

- Moeinaddini M et al. Siting MSW landfill using weighted linear combination and analytical hierarchy process (AHP) methodology in GIS environment (case study: Karaj). Waste Management. 2010;30(5):912-920.

- Murray, A. T. (2010). Advances in location modeling: GIS linkages and contributions. Journal of Geographical Systems, 12, 335–354.

- Mustak, M., Salminen, J., Ple, L., Wirtz, J., 2021. Artificial intelligence in marketing: topic modeling, scientometric analysis, and research agenda. J. Bus. Res. 124, 389–404. https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2020.10.044.

- Nadizadeh Shorabeh S, Argany M, Rabiei J, Karimi Firozjaei H, Nematollahi O. Potential assessment of multi-renewable energy farms establishment using spatial multi-criteria decision analysis: A case study and mapping in Iran. J Clean Prod 2021; 295:126318.

  https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126318.

- Odu, G. O. "Weighting methods for multi-criteria decision-making technique." Journal of Applied Sciences and Environmental Management 23.8 (2019): 1449-1457.

- Ohkura, M., & Mori, S. (2010). Investigation of Optimal Configuration of Solar Energy System Considering Configuration of Apparatuses and Electricity Transportation between Interprofessional Consumers. IEEJ Transactions on Electronics, Information and Systems, 130(2), 209-215.

- Ostovari Y, Honarbakhsh A, Sangoony H, Zolfaghari F, Maleki K, Ingram B. GIS and multi-criteria decision-making analysis assessment of land suitability for rapeseed farming in calcareous soils of semi-arid regions. Ecol Indic 2019;103: 479–87. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.04.051.

- Qutaina, B., Shehada, A., Yasin, A., & Alsayed, M. (2023). Geographical Information Systems based site selection methodology for renewable energy systems in Palestinian Territories. International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE), 13(4), 3622-3630.

- Ramadan, Mona S., and Hala A. Effat. "Geospatial modeling for a sustainable urban development zoning map using AHP in Ismailia Governorate, Egypt." The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science 24.2 (2021): 191-202.

- Raza, M. A., Yousif, M., Hassan, M., Numan, M., & Kazmi, S. A. A. (2023). Site suitability for solar and wind energy in developing countries using combination of GIS-AHP; a case study of Pakistan. Renewable Energy, 206, 180-191.

- Saraswat SK, Digalwar AK, Yadav SS, Kumar G. MCDM and GIS based modelling technique for assessment of solar and wind farm locations in India. Renew Energy 2021; 169:865–84. https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.01.056.

- Sassi Rekik, Souheil El Alimi. Optimal wind-solar site selection using a GIS-AHP based approach: A case of Tunisia. Energy Conversion and Management: X. volume 18 april 2023,100355.

  https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2023.100355.

- Sugumaran, R., & Degroote, J. (2010). Spatial Decision Support Systems: Principles and Practices (1st ed.). CRC Press. https://doi.org/10.1201/b10322.

- Sun, W., Li, R., Cai, R., Ji, Z., & Cheng, M. (2023). The impact of solar energy investment in multilateral development banks on technological innovation: Evidence from a multi-period DID method. Frontiers in Energy Research, 10, 1085012.

- Sun, Y., Li, Y., Wang, R., & Ma, R. (2022). Measuring dynamics of solar energy resource quality: Methodology and policy implications for reducing regional energy inequality. Renewable Energy, 197, 138-150.

- Sun, Y., Zhu, D., Li, Y., Wang, R., & Ma, R. (2023). Spatial modelling the location choice of large-scale solar photovoltaic power plants: Application of interpretable machine learning

techniques and the national inventory. Energy Conversion and Management, 289, 117198.

- Taher, M. A., & Fares, M. N. (2017). Experimental investigation of solar energy storage using paraffin wax as thermal mass. International Journal of Renewable Energy Research (IJRER), 7(4), 1850-1856.

- Tong, D., & Murray, A. (2012). Spatial optimization in geography. Annals of the Association of American Geographers. https://doi.org/10.1080/00045608.2012.685044.(P.1293).

- Triantaphyllou, Evangelos. "Multi-criteria decision-making methods." Multi-criteria decision-making methods: A comparative study. Springer, Boston, MA, 2000. 5-21.

- Uyan, M. GIS-based solar farms site selection using analytic hierarchy process (AHP) in Karapinar region, Konya/Turkey. Renew Sustain. Energy Rev. 2013, 28, 11–17 https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.07.042.

- Xiao, N. (2005). Geographic optimization using evolutionary algorithms. In: 8th International Conference on GeoComputation, University of Michigan, USA (pp.2, 3).

- Yashon O. Ouma, Emmanuel C. Kipkorir & Ryutaro Tateishi (2011) MCDA-GIS integrated approach for optimized landfill site selection for growing urban regions: an application of neighborhood-proximity analysis, Annals of GIS, 17:1, 43-62, DOI: 10.1080/19475683.2011.558021.

- Yousefi, H.; Hafeznia, H.; Yousefi-Sahzabi, A. Spatial Site Selection for Solar Power Plants Using a GIS-Based Boolean-

Fuzzy Logic Model: A Case Study of Markazi Province, Iran. Energies 2018, 11, 1648 https://doi.org/10.3390/en11071648.

- Zhong, Y., Roman, M. B., Zhong, Y., Archer, S., Chen, R., Deitz, L., ... & Liao, W. (2015). Using anaerobic digestion of organic wastes to biochemically store solar thermal energy. Energy, 83, 638-646.

- Zoghi M, Ehsani AH, Sadat M. Javad Amiri, M., &Karimi, S. (2017). Optimization solar site selection by fuzzy logic model and weighted linear combination method in arid and semiarid region: A case study Isfahan-IRAN. Renewable and Sustainable Energy Reviews.;68(1):986-996.

https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.07.014.

Spatial suitability map for solar power plant locations in Minya Governorate – An applied approach to multi-criteria spatial decision-making analysis in a geographic information system environment

Abstract:

The government's drive to increase the use of renewable energy sources, particularly solar energy, has become an urgent need. This is caused by several challenges related to the increasing demand for electrical energy in various walks of life, the government's focus on establishing larger national projects, and the inability of the available fossil fuel sources to meet the increasing demand for electrical energy. The aim of the present work was to investigate the possibility of building solar power plants in Minya Governorate by creating a digital map showing the degree of spatial suitability of the sites of the plants. In our present work, we used an applied technique in a GIS environment based on the Multiple Criteria Decision Analysis (MCDA) method. The present study used 18 criteria and constraints from previous studies and energy research specialists to develop the spatial adaptation model. The weighted overlay approach was used in conjunction with geographic information systems to produce a final suitability map for the governorate's solar power plant sites. According to the results of the study, the governorate of Al-Minya has predominantly medium potential. It varied from an excellent adjustment rate of 0.12% to a very good adjustment rate of 5.14%, a good adjustment rate of 20.97%, a medium adjustment rate of 36.99%, and a poor adjustment rate of 3.2%.

Keywords: Multiple Criteria Decision Analysis; Solar energy; solar radiation; Spatial suitability maps; Weighted linear combination; Geographic information system (GIS); Minya Governorate.