مجلة الريادة للبحوث والأنشطة العلمية
Al-Riyadah Journal For Researches And Scientific Activities
العدد العاشر
سبتمبر September 2024

تقدير كميات الإشعاع الشمسي وتحديد المواقع الأنسب لمنظومات الخلايا الشمسية وإمكانية استثمارها في واحات الكفرة.

أ. محجوبة عطية علي اللويص
قسم الجغرافيا ونظم المعلومات الجغرافية / كلية الآداب والتربية / جامعة صبراتة
mahjoubaha3@gmail.com

الملخص:

تناول البحث تقدير الإشعاع الشمسي واختيار أنسب المواقع ملاءمة لمحطات الطاقة الشمسية، وإمكانية استثمارها في واحات الكفرة جنوب شرق ليبيا؛ لتكتسب أهميتها كونها من الطاقات النظيفة التي لا تسبب تلوث للبيئة المحيطة، واستخدامها في عدة تطبيقات، **يهدف** البحث إلى تحديد المواقع التي تحقق الاستفادة في استخدام الطاقة الشمسية، واختيار مواقع إقامة المحطات وفقاً لمعايير ثابتة عن طريق بناء نماذج الملاءمة المكانية لبيان مدى إسهام هذا المصدر في تلبية وسد العجز في حاجة السكان من الطاقة الكهربائية، مع إبراز دور العوامل الطبيعية المؤثرة في التوزيع المكاني والزماني للإشعاع الشمسي باستخدام نموذج الارتفاع الرقمي DEM بدقة مكانية بلغت 30 مترا اعتمادا على تقنية نظم المعلومات الجغرافية، من خلال اتباع عدة معايير جغرافية واقتصادية وبيئية طبقا للمواصفات العالمية. تم الاعتماد على منهج التحليل المكاني، والأسلوب الكمّي التحليلي، والأسلوب الإحصائي، و**توصل لنتائج منها:** أن هناك ملاءمة مكانية من حيث المعدل السنوي للسطوع الشمسي والذي بلغ حوالي 6050.5 ك/ وات/متر^2/اليوم وهي أعلى قيمة، وأن أغلب أراضي المنطقة ذات انحدار خفيف والتي تسود الأجزاء الوسطى وبعض المناطق المتفرقة الأخرى في الأطراف بنسبة (97.17%) وقد شكلت النسبة الأكبر من إجمالي منطقة الدراسة، **ويوصي البحث** بالعمل على استخدام نظم المعلومات الجغرافية متعدد المعايير في التخطيط التنموي، مع إعطاء أولوية لمنطقة الدراسة من حيث الخطط المستقبلية لمشاريع الطاقة الشمسية لتحقيق تنمية مستدامة وشاملة.

الكلمات المفتاحية: نظم المعلومات الجغرافية، الطاقة الشمسية، الإشعاع الشمسي، أسلوب متعدد المعايير.

Abstract:

The research dealt with estimating solar radiation and choosing the most suitable sites for solar energy stations and the possibility of investing in them in the Kufra oases in southeastern Libya, to gain their importance as they are clean energies that do not cause pollution to the surrounding environment and their use in several applications. The research aims to identify sites that benefit from the use of solar energy. Choosing the sites for establishing stations according to fixed standards by building spatial suitability models to show the extent to which this source contributes to meeting and filling the population's need for electrical energy, while highlighting the role of natural factors affecting the spatial and temporal distribution of solar radiation using a digital elevation model (DEM) with a spatial resolution of 30 meters. Depending on geographic information systems technology, By following several geographical, economic and environmental standards in accordance with international specifications, reliance was placed on the spatial analysis approach, the quantitative analytical method and the statistical method, and results were reached, including that there is spatial suitability in terms of the annual average of the solar surface, which amounted to about 6050.5 kW/m2/day. It is the highest value, and most of the region's lands have a slight slope, which prevails in the central parts and some other scattered areas on the outskirts, at a rate of (97.17%).It constituted the largest percentage of the total study area, and recommendations included working to use the multi-criteria geographic information systems approach in development planning, while giving priority to the study area in terms of future plans for solar energy projects to achieve sustainable and comprehensive development.

Key words:
Geospatial systems, solar energy, solar radiation, multi-criteria approach.

المقدمة:

تعدُّ الطاقة الشمسية أحد أهم مكونات الطاقة المتجددة والتي تشكل مصدرا هاما للطاقة النظيفة، والتي يمكن استخدامها في عدة مجالات منها الإنارة واستخراج المياه وغيرها، ومع زيادة استهلاك الطاقة الكهربائية والتي تعد عامل مهم في تطور المجتمعات في مختلف المجالات الصناعية والزراعية والسياحية والنقل وغيرها، لذلك يمكن الاستفادة من الطاقة الشمسية وخاصة أن واحات الكفرة تعاني من الانقطاع المتكرر للطاقة الكهربائية ويمكن أن تسهم في سد العجز مما يدعو إلى دراسة هذا الموضوع لتحقيق تنمية مستدامة وشاملة، واستخدام التقنيات الحديثة كنظم المعلومات الجغرافية

والاستشعار عن بعد في تحديد المواقع الملاءمة لمنظومات الخلايا الشمسية، أهم ما يميز منطقة الدراسة وقوعها ضمن منطقة الحزام الشمسي الذي يوفر أعلى معدل إشعاع شمسي حيث يبلغ في المتوسط (6.2-8.5) كيلو وات/ساعة/متر^2/يوم، وهي معدلات تكفي لاستغلالها في توليد الطاقة الشمسية بمختلف منظوماتها. كما يبلغ المتوسط السنوي للإشعاع اليومي في الكفرة حوالي 6072 وات/ ساعة/متر^2(أطلس الإشعاع الشمسي، 2005، ص8) ويعود ذلك لموقعها الصحراوي وبعدها عن المؤثرات البحرية وبالرغم من أن هناك غباراً وأتربة فإن الإشعاع يصل إلى السطح بكميات كبيرة، وتزداد معدلات السطوع كلما اتجهنا من الشمال إلى الجنوب، وذلك له أهمية كبيرة في إمكانية الاستفادة من السطوع الشمسي وكمية الإشعاع الهائل في توليد الطاقة الشمسية. **مشكلة البحث:**

تكمن مشكلة البحث في التساؤلات الآتية:

1- ما هي الشروط والمعايير لاختيار أنسب الأماكن لإنشاء محطات الطاقة الشمسية في منطقة الدراسة؟

2-هل يمكن استخدام تقنية نظم المعلومات الجغرافية (GIS) في تحديد أنسب المواقع لإقامة محطات الطاقة الشمسية بمنطقة الدراسة؟

فرضياته:

الفرضية الأولى: إن تطبيق المعايير باستخدام نظم المعلومات الجغرافية (GIS) يساعد في اختيار أنسب الأماكن لإنشاء محطات الطاقة الشمسية في منطقة الدراسة.

الفرضية الثانية: من الممكن استخدام تقنية نظم المعلومات الجغرافية (GIS) في تحديد أنسب المواقع لإقامة خلايا الطاقة الشمسية بمنطقة الدراسة.

أهميته:

تكمن أهمية البحث في الآتي:

1- تعدُّ الطاقة الشمسية أحد البدائل المهمة للطاقة الكهربائية كونها طاقة غير نابضة.

2- يسهم البحث في توجيه متخذي القرار لاستغلال هذا الفضاء الصحراوي الشاسع بما يحقق مصدر دخل للدولة، ومصدراً بديلاً للطاقة من خلال الاعتماد على منظومات الطاقة الشمسية كخطوة لحل أزمة انقطاع الطاقة الكهربائية في المنطقة.

أهدافه:

يهدف البحث إلى تحقيق الآتي:

1- توضيح مدى إسهام الطاقة الشمسية في تلبية وسدّ النقص في حاجة السكان من الطاقة الكهربائية المولدة من الوقود الأحفوري.

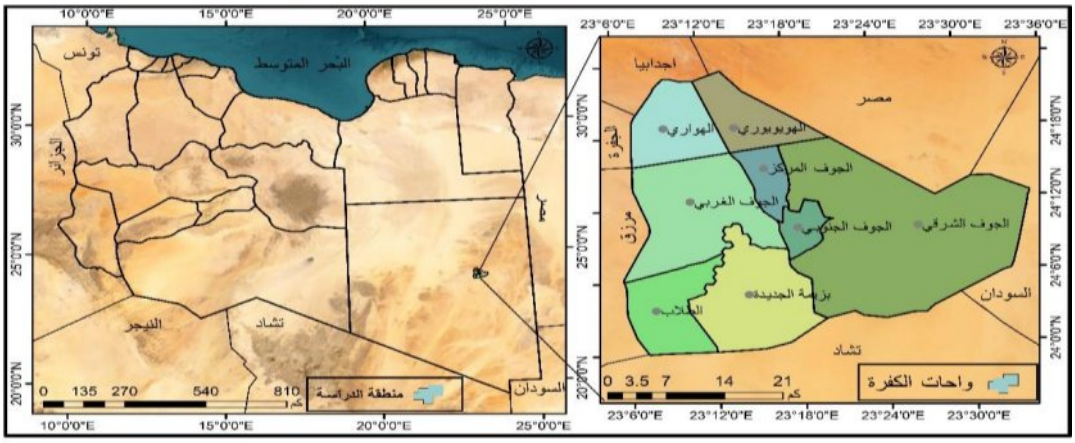
2- الإسهام في تحديد مواقع إقامة المحطات التي تحقق الاستفادة في استخدام الطاقة الشمسية.

3-إبراز دور العوامل المؤثرة في التوزيع المكاني والزماني للإشعاع الشمسي في واحات الكفرة.

4- توضيح الشروط والمعايير المتبعة في اختيار مواقع محطات الطاقة الشمسية.

موقع منطقة البحث:

تقع واحات الكفرة في الركن الجنوبي الشرقي من البلاد وتبعد نحو 1000 كم جنوب مدينة بنغازي، وهي تضم واحات: الطلاب، بزيمة الجديدة، الهواري، الهويريوي، الجوف، والجوف المركز، الجوف الجنوبي، الجوف الشرقي، والجوف الغربي، يحدّها من الشرق مصر ومن الجنوب الشرقي السودان، وتشاد من الجنوب والجنوب الغربي، ومن الشمال أجدابيا ومن الغرب مزرق والجفرة (دقاني، 2023، ص 313). تمتد فلكيًا بين دائرتي عرض 2، 24° و24، 24° شمالا، وخطي طول 5، 23° و35، 23° شرقا. كما موضح بالشكل (1).



شكل (1) الموقع الجغرافي لمنطقة الدراسة

عمل الباحثة استنادا إلى: عبد الحكيم بالحسن سليمان دقاني، الزيادة الطبيعية في الكفرة خلال الفترة (1995 -2020 م) مجلة ليبيا للدراسات الجغرافية، العدد الخامس / يوليو - 2023 م، ص 313 وبرنامج Arc Map 10.5.

المنهجية المتبعة: تم استخدام منهج التحليل المكاني لإبراز الاختلافات المكانية وتحليلها، ومنهج الأسلوب الكمي التحليلي للتعامل مع البيانات المتعلقة بالعناصر المناخية وتحليلها وتمثيلها في جداول بيانية.

والأسلوب الإحصائي: لتحليل البيانات إحصائيا بالاعتماد على تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية Arc Map 10.5 لمعالجة البيانات الوصفية.

مرحلة جمع البيانات: تنوعت مصادر البيانات والتي تمثلت في المصادر المكتبية المتمثلة في الكتب ورسائل الماجستير والدكتوراه ذات العلاقة بموضوع الدراسة والصور الفضائية والبيانات المناخية الصادرة من وكالة الفضاء الأمريكية ناسا (NASA) . (https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer)

الأدوات والوسائل المستخدمة لتصنيف وتحليل البيانات تم استخدام برنامج Arc Map10.5 وبعض ملحقاته والمتمثلة في صندوق الأدوات (Arc Toolbox) ومنه إلى الأدوات: Spatial Analyst Tools ،3DAnalyst Tools ،Solar Radiation

–مرئية فضائية والتي تعرف بنموذج الارتفاع الرقمي Digital Elevation Model المتاح على شبكة الانترنت من موقع مصلحة المساحة الجيولوجية الأمريكية (USGS) (https://earthexplorer.usgs.gov) بدقة مكانية 30 متر.

تحليل ومعالجة بيانات الدراسة:

اعتمد البحث على عدد من أساليب التحليل لإبراز البيانات والمعلومات بشكل جغرافي تمثلت في الأسلوب الكارتوغرافي لإنتاج الخرائط الرقمية الخاصة بتقدير الإشعاع الشمسي وانحدار سطح الأرض وارتفاعها من نموذج الارتفاع الرقمي والصور الفضائية والبيانات المناخية إضافة إلى شبكتي الكهرباء والطرق وتحليلها في بيئة نظم المعلومات الجغرافية.

الدراسات السابقة: هناك عدة دراسات محلية وإقليمية تناولت الموضوع بالدراسة ومنها:

الدراسات المحلية:

–**دراسة** (عبد السيد ،وآخرون، 2022 م) **الموسومة بعنوان الطاقات المتجددة كمدخل لتحقيق التنمية المستدامة في الكفرة جنوب شرق ليبيا، هدفت** الدراسة إلى إلقاء الضوء على الظروف الطبيعية والبشرية المؤثرة في استخدام الطاقات المتجددة في إقليم الكفرة وتحديد اتجاهات الاستدامة في تنمية المنطقة وكيفية استغلالها كمصدر آمن وخالي من التلوث، وتوصلت إلى **نتائج** منها أن هناك ظروفًا طبيعية وبشرية في إقليم الكفرة ساعدت إلى حد كبير في استغلال الطاقات المتجددة وخاصة أنها تقع ضمن منطقة الحزام الشمسي والذي يتجاوز 13 ساعة في متوسطها العام وتحقيق تنمية مستدامة، كما أنها توفر فرص عمل في مختلف المجالات.

-**دراسة** (مليطان، والعجيلي،2023 م) الموسومة **بعنوان الملاءمة المكانية لاختيار أفضل موقع لإنشاء محطة طاقة شمسية في بلدية مصراتة باستخدام تقنية نظم المعلومات الجغرافية متعددة المعايير، هدفت** الدراسة إلى التوصل إلى حساب وتقدير كميات الإشعاع الشمسي في بلدية مصراتة كونها عاملا مهما عند التخطيط لإنشاء المشروعات المتعلقة بالطاقة الشمسية من خلال التعرف على أفضل الأماكن لتجميع الطاقة الشمسية، وتوصلت إلى **نتائج** لعل أهمها أن هناك ملاءمة مكانية جيدة من خلال معيار البعد عن شبكة الطرق وكانت الملاءمة عالية بالنسبة لمعيار البعد عن شبكة الكهرباء كونها تغطي مساحات كبيرة في منطقة الدراسة. بينما معيار انحدار سطح الأرض كانت الأجزاء الشمالية والشرقية المحاذية لساحل البحر ملاءمة بدرجة عالية بينما كانت المناطق الوسطى والغربية متوسطة إلى غير ملاءمة لوجود بعض درجات الميل وبلغت مساحة المناطق مجتمعة نحو 40.8 كم^2.

أما الدراسات الإقليمية:

-**دراسة** (شهوان، 2017 م) بعنوان **طاقة الشمس والرياح دراسة في المناخ التطبيقي باستخدام الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية، هدفت** الدراسة إلى وضع حلول لأزمة الطاقة نظرا لنضوب الطاقة الأحفورية مع دراسة الإشعاع الشمسي والرياح والحرارة كموارد صالحة للاستخدام في شبه جزيرة سيناء، ودراسة المناطق الواقعة على نفس الدوائر العرضية والتي لها نفس الظروف المناخية التي تسمح بتوليد الطاقة وتوظيفها في العملية التنموية والتخطيط مع استغلال عناصر المناخ باعتبارها موارد مهمة وجب الأخذ بها في عمليات التنمية، وتوصلت إلى **نتائج** لعل أهمها أن منطقة الدراسة تتميز بسرعات مناسبة لإنتاج الكهرباء وبخاصة الجزء الشرقي من خليج السويس وشرم الشيخ وسانت كاترين والطور، وأن للطاقة دورا مهما في تطوير المجتمعات.

-**دراسة** (محمد، 2021 م) **بعنوان التوزيع الجغرافي لمنظومات خلايا الإشعاع الشمسي واستثماراتها في سفوح الجبال الجنوبية من محافظة دهوك، هدفت** الدراسة إلى إسناد خطط التنمية باستعمال طاقة الإشعاع الشمسي على اعتبارها الدافع الرئيس لتوسيع مشاريع التطور المدني والحفاظ على البيئة من التلوث في محافظة دهوك، مع دراسة العوامل المساهمة في تباين التوزيع الجغرافي الأمثل في المنطقة لتحديد أنسب المواقع لإقامة مزارع الطاقة الكهروشمسية وحساب الطاقة المتوقع إنتاجها، وتوصلت إلى **نتائج** لعل أهمها أن المعدلات السنوية لعدد ساعات النهار سجلت تساويا في قيمتها

في مختلف أرجاء المحافظة والتي كانت بواقع 12 ساعة حيث بلغت ساعات النهار النظرية السنوية 4380 ساعة / السنة ما يدل على أنها مثالية لاستثمار الطاقة الشمسية كما أن معدلات عدد ساعات النهار الفعلية وصل أقصاه في الصيف بواقع 10.7 ساعة.

دراسة– Applying Geographic Information System (GIS) for Solar Power Plants Site Selection Support in Makkah. (Bayounis, Eldamaty,2022)

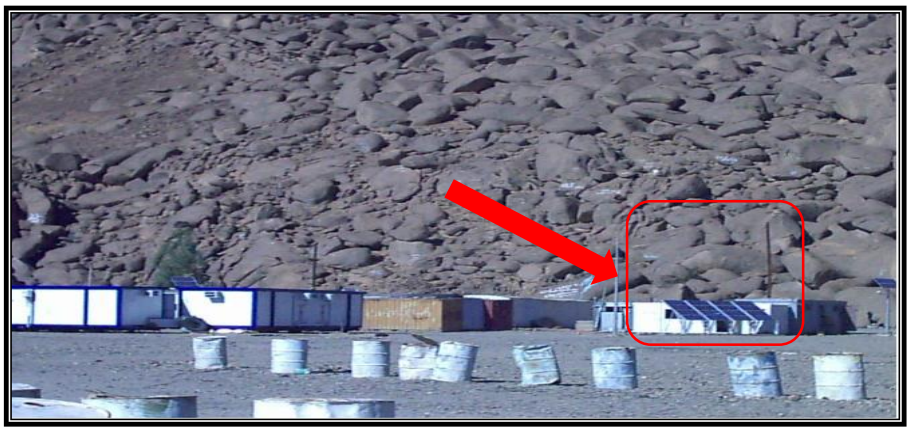
تهدف الدراسة إلى تطبيق أسلوب نظم المعلومات الجغرافية متعددة المعايير لتحديد أنسب المواقع المكانية لتجميع الطاقة الشمسية في منطقة مكة المكرمة الإدارية اعتمادا على مجموعة من الشروط والمعايير المطلوبة سواء الجغرافية أو الفنية أو البيئية أو الاقتصادية للحصول على نموذج ملاءمة رقمي يوضح أفضل مواقع إنشاء محطات الطاقة الشمسية، وتوفير عدة خيارات أو بدائل أمام متخذي القرار، وتوصلت إلى **نتائج** منها أن كل منطقة مكة المكرمة الإدارية صالحة ومناسبة لمشروعات تجميع الطاقة الشمسية بنسب ملاءمة تتراوح بين 47% و97% وبمتوسط 80% وبلغت مساحة الأراضي التي تتميز بنسب ملاءمة عالية في محافظة مكة المكرمة بنسبة 22% تليها محافظات رابغ وخليص بنسبة 19% كما تبلغ مساحة الأراضي التي تميزت بنسب ملاءمة أكثر من 90% حوالي 7 كم^2 بنسبة 5% من إجمالي الأراضي المناسبة.

استخدام الخلايا الشمسية في توليد الطاقة الكهربائية في ليبيا:

بدأ استخدام تقنية الخلايا الكهروضوئية بليبيا منذُ سنة 1976 م وذلك لتوفير الحماية المهبطية لأنابيب النفط من الصدأ والتآكل وذلك للخط الذي يربط حقل الظهرة مع ميناء السدرة، وتعد المنظومات المستخدمة لحماية أنابيب النفط من أكثرها والتي بلغت حوالي 220 منظومة وبقدرة 275 ك.و؛ وذلك بسبب تعرض المنشآت المعدنية في المناطق المطمورة تحت الأرض للتآكل مما يؤدي إلى سرعة إتلافها إضافة إلى الآبار النفطية الموجودة في البحر وحماية خزانات الوقود وغيرها، أما في مجال الاتصالات بدأ استخدامها في سنة 1980م لتوريد الطاقة لمحطة تقوية بالقرب من منطقة زلة وفي مجال ضخ المياه بدأ سنة 1983 م لأغراض الشرب والري، بدأ استخدامها في إنارة المناطق الريفية سنة 2003 م ثم انتشر تطبيقها وإن كان على نطاق ضيق، وبسبب نجاح بعضها من الناحية التقنية والاقتصادية تم استبدالها مع محطات الديزل في منظومة الاتصالات كما بلغت القدرات المركبة

منها نحو690 ك.و سنة 2006 م؛ لأنها تتميز باقتصاداتها لقلة حاجتها إلى قطع غيار منذُ تركيبها مما يثبت نجاحها وطول عمرها الافتراضي، وفي مجال الموجات السنتيمترية (الاتصالات) عدد 54 منظومة في المناطق النائية بقدرة 141.5 ك.و، وفي النقاط الأمنية بلغ عدد المنظومات نحو 20 منظومة في المناطق الحدودية والبعيدة عن إمدادات الشركة العامة للكهرباء بقدرة 2 ك.و الصورة (Ekhlat,p12-17,2007).(1)

صورة (1) الخلايا الشمسية لتوليد الكهرباء لبوابة أمنية بمنطقة الكفرة



المصدر: الجهاز التنفيذي للطاقات المتجددة، قسم الطاقة الشمسية، زاوية الدهماني، طرابلس، www.reoal.org.ly

تقدير الإشعاع الشمسي بالمنطقة خلال المدة من 2001-2022:

تتباين ساعات السطوع الشمسي من منطقة إلى أخرى حيث تتأثر كمية الإشعاع الشمسي التي تصل إلى سطح الأرض بعدة عوامل منها ارتفاع الرطوبة النسبية ونسبة العاكسيه، إضافة إلى الغبار وغيرها، هناك تفاوت في ساعات السطوع الشمسي من منطقة إلى أخرى، وذلك حسب المنطقة ساحلية أو داخلية، صيفاً أو شتاءً (النطاح، 1990، ص 42).

متوسط مدة السطوع الشمسي اليومي للسنوات من 2001-2022:

إن أهم ما يميز منطقة الدراسة وقوعها ضمن منطقة الحزام الشمسي الذي يوفر أعلى معدل إشعاع شمسي حيث يبلغ في المتوسط (6.2-8.5) ك.و.س.م^2 وهي معدلات تكفي لاستغلالها في توليد الطاقة الشمسية بمختلف منظوماتها، وتزداد معدلات السطوع الشمسي كلما اتجهنا من الشمال إلى الجنوب، حيث يبلغ المتوسط السنوي للإشعاع اليومي حوالي 6072 و/ س/ م^2/يوم* (أطلس الإشعاع

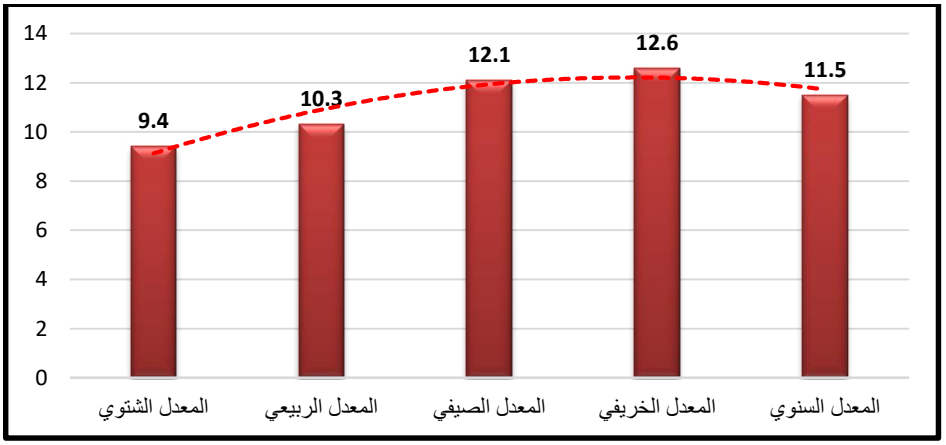
* المتوسط السنوي للإشعاع الشمسي اليومي = وات/ساعة/متر2/يوم (و.س.م2/م) .

الشمسي، 2005، ص8)، ويعزى ذلك لموقعها الصحراوي وبعدها عن المؤثرات البحرية، أما معدل السطوع الشمسي فهو يتباين من فصل لآخر حيث يصل إلى نحو 9.7 ك/ وات/ساعة/م^2/يوم في شهر فبراير (2) وهو الأعلى في فصل الشتاء ويزداد ليصل إلى 11.0 ك/وات/ساعة/م^2/يوم خلال شهر مايو (5) في فصل الربيع وبلغ خلال شهر يونيو (6) 12.3 ك/وات/ساعة/م^2/يوم بينما بلغ كحد أعلى في شهر نوفمبر (10) بنحو 16.6 ك/ وات/ساعة/م^2/يوم وكمعدل سنوي بلغ 11.5 ك/ وات/ساعة/م^2/يوم الجدول (1) والشكل (2).

جدول (1) متوسط مدة السطوع الشمسي/ساعة في محطة الكفرة خلال الفترة 2001-2022

المحطة	الشهر	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	المعدل السنوي
الكفرة		9.4	9.3	9.7	9.9	10.2	11.0	12.3	12.2	11.9	10.9	16.9	10.0	11.5
المعدل الشتوي 9.4					المعدل الربيعي 10.3			المعدل الصيفي 12.1				المعدل الخريفي 12.6		

المصدر: عمل الباحثة استنادا إلى وكالة الفضاء الامريكية ناسا (NASA).



شكل (2) متوسط مدة السطوع الشمسي/ساعة في محطة الكفرة خلال الفترة 2001-2022

المصدر: عمل الباحثة استنادا إلى بيانات الجدول (1)

الخصائص الطبيعية لواحات الكفرة:

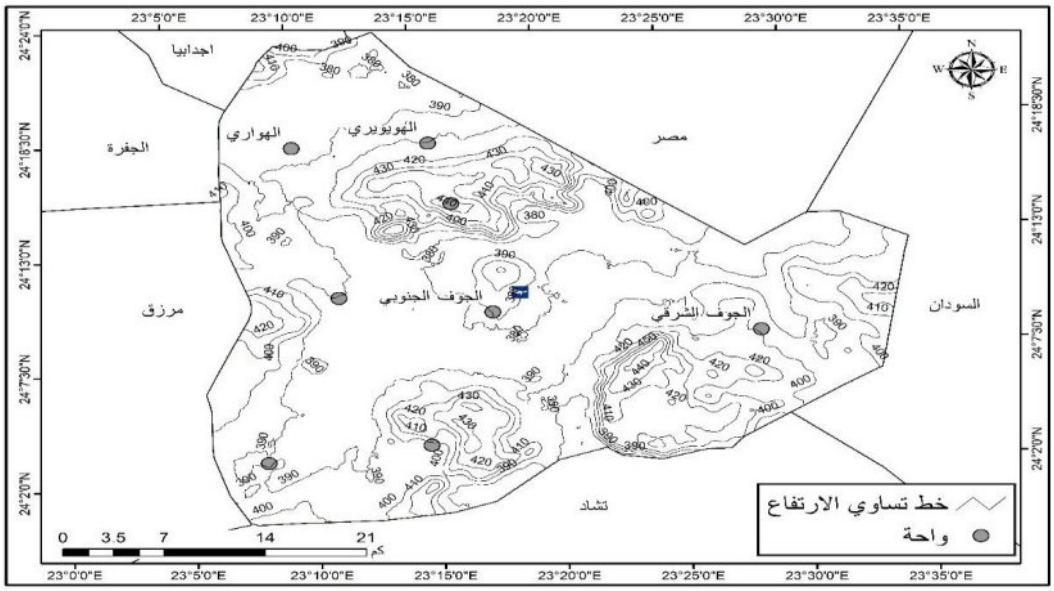
إن دراسة الخصائص الطبيعية لها أهمية كبيرة وبخاصة عند التخطيط لإنشاء محطات لتوليد الطاقة الكهربائية باستخدام الألواح الفوتوضوئية من الشمس في واحات الكفرة الواقعة جنوب شرق ليبيا وهي: الطلاب، بزيمة الجديدة، الهواري، الهويريوي الجوف، والجوف المركز، الجوف الجنوبي، الجوف الشرقي، والجوف الغربي، كما أن أغلب السكان يتركزون في منطقة الواحات، بلغ إجمالي مساحتها نحو 1386.443 كم^2.* ومن الخصائص المؤثرة في اختيار مواقع الخلايا الشمسية :

* تم حساب المساحات باستخدام الأمر calculator Geometry في برنامج ArcMap 10.5

1-المظهر الطبوغرافي:

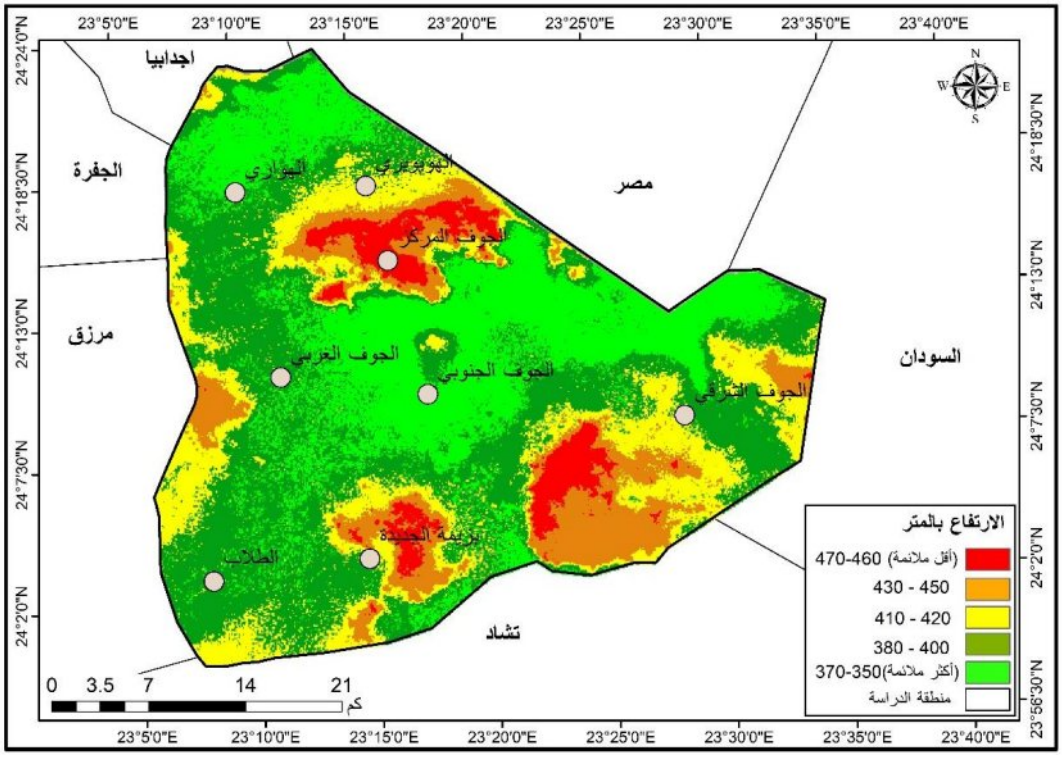
تعدُّ المنطقة طبوغرافيا مغطاة بالكثبان الرملية ويحف المنطقة من الركن الشمالي قوس عظيم من التلال التي تظهر على شكل صفوف متتابعة من بقايا سطح تحاتي قديم منها جبل فاضل والهوائش وجبل النار، كما تنتشر تلك التلال عند الحدود الجنوبية والغربية المحيطة بها وتوجد مجموعة من البحيرات الضحلة مثل بحيرة الجوف وبعض السباخ والأودية والتلال المنعزلة والمتناثرة مثل: قارة الزروق وقارة ربيانة (الهرام، ص 127-128).

وهذا ما توضحه خطوط تساوي الارتفاع (الكنتور) شكل (3) والتي تبدو غير منتظمة حيث تنتشر الكثبان الرملية والتي تظهر واضحة بسبب تباعد خطوط الكنتور. أما المناطق التي يظهر فيها تقارب فذلك بسبب وعورة السطح نتيجة لوجود بعض التلال المتقاربة والتلال المنعزلة المتناثرة؛ حيث تُظهر أن منطقة الدراسة تراوح ارتفاعها بين 350-469 متر فوق مستوى سطح البحر، وبلغت الأراضي التي يبلغ ارتفاعها 390م مساحة قدرها 488.53 كم^2 بنسبة 33.56% تنتشر في أطرف الواحات كالهويويري والهواري، حيث يلاحظ تباعد خطوط الكنتور ما يدل على أنها أرض منبسطة السطح تقريبا، ثم يبدأ السطح في الارتفاع حتى يصل إلى 400م يشغل مساحة قدرها 379.81 كم^2 بنسبة بلغت نحو 26.09% ،ويشغل الوسط وبعض الأطراف عند واحات الجوف المركز والجوف الغربي والجنوبي، حيث تتقارب خطوط الكنتور ما يدل على وعورة السطح، وعند الارتفاع 410م والذي يشغل مساحة قدرها 196.74 كم^2 بنسبة 13.51% يوجد وسط واحات الهويويوري والجوف الغربي والشرقي، أما الارتفاعات الأخرى فجاءت بنسب منخفضة تراوحت ما بين (8.44- 0.16%) شكلت مجتمعة ما نسبته 26.82%، ومن خلال ذلك لوحظ أنها ذات ملاءمة مكانية عالية جدا حيث إن هناك تدرجات في الارتفاع من خلال المعايير المتبعة في اختيار أنسب المواقع، حيث تم استبعاد المناطق التي يزيد ارتفاعها عن 400 متر؛ لكونها مناطق يصعب إيصال المعدات إليها حيث كانت أكثر المناطق ملاءمة التي تراوح ارتفاعها بين 350-370 متر باللون الأخضر الفاتح وتتمثل في معظم الأجزاء الوسطى من الواحات وبعض المناطق المتفرقة في الأطراف، بينما شكلت الارتفاعات الأقل ملاءمة المناطق التي تراوح ارتفاعها بين 460-470 متر باللون الأحمر والتي غطت الجزء الجنوبي الشرقي والشرقي بواحة الجوف الشرقي وجزء صغير بالقرب من واحة الجوف المركز شكل (4).



شكل (3) ارتفاع الأرض وخطوط تساوي الارتفاع بمنطقة الدراسة

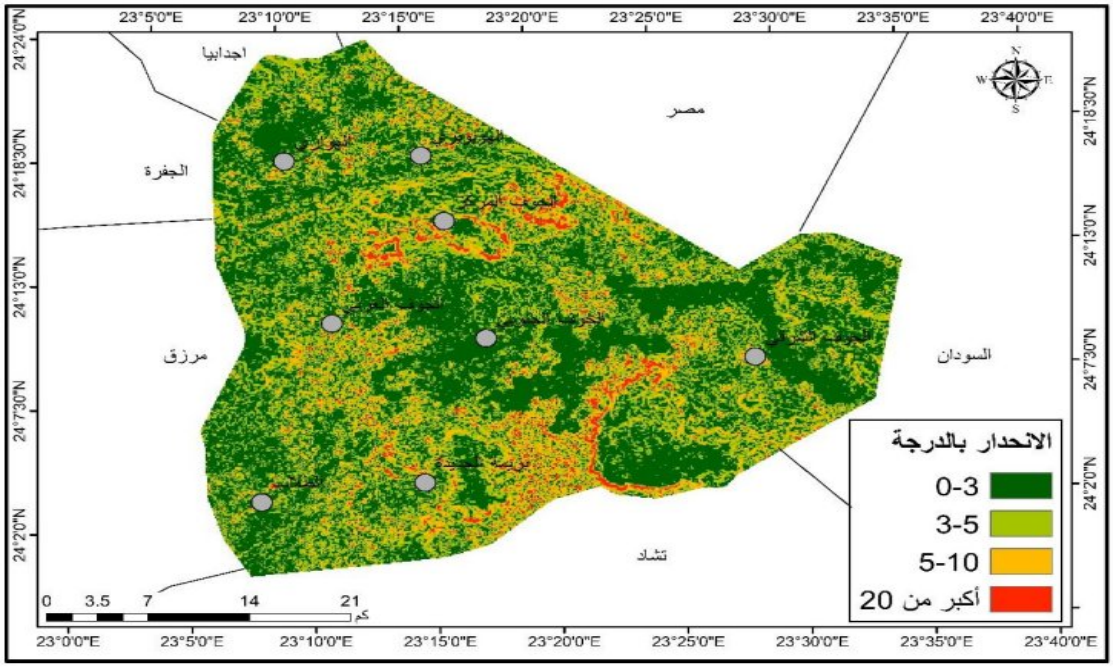
المصدر: عمل الباحثة استنادا إلى برنامج Arc Map 10.5



شكل (4) تصنيف درجات ملاءمة ارتفاع الأرض في منطقة الدراسة

المصدر: عمل الباحثة استنادا إلى برنامج Arc Map 10.5

2-**الانحدار**: يعني الانحدار انحراف أو ميل الأرض على المستوى الأفقي وكلما زاد الانحدار زاد الميل أو الانحراف، حيث يساعد انحدار الأرض على التقليل من المسافات البينية بين مصفوفات الألواح الكهروضوئية ومن ثم يبدو تأثير انحدار الأرض على المعدات وتركيبها (Eldamaty,Mar ,2022,p 44). وبالنسبة لمنطقة الدراسة تبين من خلال التحليل أن أعلى درجة بلغت نحو 469 م جنوب الواحات، وأقل نقطة بحوالي 350 م عند القسم الشمالي الشرقي وعليه تم تمثيل نموذج الانحدار والتعبير عنه بالدرجات والتي تراوحت بين (0-3°) بانحدار خفيف والتي تسود الأجزاء الوسطى وبعض المناطق المتفرقة الأخرى في الأطراف بمساحة بلغت 1345.944 كم^2 بنسبة 97.17% وقد شكلت النسبة الأكبر، وبدرجة انحدار متوسطة من(3-5°) بلغت مساحتها 37.51 كم^2 بنسبة 2.70% بينما كانت درجة الانحدار الشديدة (أكبر من 20°) بمساحة 0.136369 كم^2 وهي الأقل انتشارا في الأطراف الجنوبية والجنوبية الشرقية بنسبة (0.09%)، نستنتج من ذلك أن معظم منطقة الدراسة تقع ضمن درجة الانحدار الخفيف بنحو 97.17% من إجمالي مساحتها البالغة نحو 1385.055 كم^2 ما يعني صلاحيتها لإقامة محطات الخلايا الشمسية حيث تم استبعاد المناطق شديدة الانحدار لصعوبة استخدامها إضافة إلى تقليل التكاليف المضافة شكل(5) والجدول (2).



شكل (5) توزيع درجة الانحدار في منطقة الدراسة

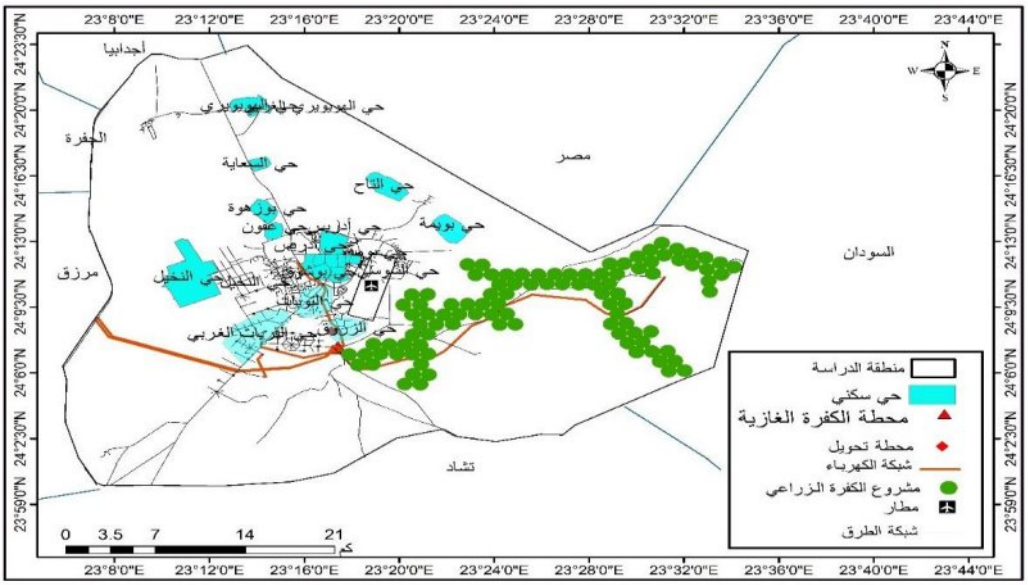
المصدر: عمل الباحثة استنادا إلى برنامج Arc Map 10.5

جدول (2) توزيع درجة الانحدار ومساحتها في منطقة الدراسة

درجة الانحدار	المساحة كم 2	النسبة
0-3	1345.944	97.17
5-3	37.51797	2.70
10-5	1.456225	0.10
أكبر من 20	0.136369	%0.09
المجموع	1385.055	100

المصدر: عمل الباحثة استنادا إلى الشكل (4).

ومن الشكل (6) تم استخدام مجموعة من الخرائط الطبوغرافية ومرئية فضائية لإظهار مواقع المدن والمطارات وشبكتي الطرق وخطوط توزيع الكهرباء، إضافة إلى محطة الكفرة الغازية ومحطة التحويل وذلك لغرض اختيار المواقع القريبة من الشبكة الكهربائية لإمكانية ربطها مع محطات الطاقة الشمسية قد بلغ أطوال شبكة الطرق حوالي 6466.155 كم وطول شبكة الكهرباء نحو 88.7365 كم * وذلك لأهميتها في القرب من محطات الطاقة الشمسية لتسهيل نقل المعدات وغيرها.



شكل (6) شبكتي الطرق والكهرباء والأحياء السكنية والمطارات في منطقة الدراسة

المصدر: عمل الباحثة استنادا إلى برنامج Arc Map 10.5

المعايير التي تم استخدامها لتحديد أنسب الأماكن لمحطات الخلايا الشمسية:

هناك عدة معايير تم استخدامها لتحديد أفضل الأماكن وأكثرها ملاءمة لمحطات الخلايا الشمسية في منطقة الدراسة ومنها الإشعاع الشمسي بوزن نسبي 35% وذلك لأن الإشعاع الشمسي يعد

* تم احتساب طول شبكتي الطرق والكهرباء باستخدام برنامج Arc map باستخدام الأمر calculate geometry

المعيار الأول في تجميع الطاقة الشمسية، بعد ذلك يأتي معيار الميول (Slope) كونه يؤثر على عملية تركيب المعدات اللازمة لمنظومات الخلايا الشمسية وغيرها، إضافة إلى عامل الارتفاع بالمتر لصعوبة الحركة ونقل المعدات والتجهيزات الخاصة بالمنظومات وقد حُدد 20% لكل منها وشبكة الكهرباء 10%، لأنه كلما زادت المسافة زاد الفاقد الفني والتجاري في الطاقة لذلك يفضل قربه منها لربطها مع منظومات الطاقة الشمسية وضمان إيصالها للمستهلك إضافة إلى زيادة التكاليف، وشبكة الطرق 5% لتسهيل إمكانية الوصول والحركة لنقل المعدات خلال مراحل التركيب والتشغيل والصيانة، واستخدامات الأراضي (Land Uses) 10% بحيث لا تكون إقامة منظومات الخلايا الشمسية على حساب الأراضي الزراعية أو السياحية وبذلك يتم اختيار الأراضي غير المستغلة للاستعمالات السكنية والعمرانية وتفادي تأثيرات الظلال الناتجة عن المباني، وبذلك تم إعطاء كل معيار وزن نسبي مختلف وذلك حسب أهميته. كما مبين بالجدول (3).

جدول (3) معايير مواقع ملائمة لمحطات الطاقة الشمسية

المعيار	نوع المعيار	الفئات	الملاءمة	الوزن %
تقني	الاشعاع الشمسي (كيلو وات/متر^2 /يوم)	6041-6051.1 5951.5-5903.5 5903.5-5844.1 5844.5-5785.5 5544.5-5533.1	ممتازة جيدة جدا جيدة متوسطة منخفضة	0.35
	ميل سطح الأرض بالدرجة (Slope)	3-0 5-3 10-5 أكبر من 20	عالية متوسطة قليلة غير ملائمة	0.20
	ارتفاع الأرض بالمتر	350-370 400-380 420-410 450-430 460-470	أكثر ملاءمة أقل ملاءمة	0.20
	البعد عن شبكة الكهرباء(كم)	5-0 10-5 20-10 أكبر من 15	عالية متوسطة قليلة غير ملائمة	0.15
اقتصادي/بيئي	البعد عن شبكة الطرق(كم)	3 6 9 أكبر من 12	عالية متوسطة قليلة غير ملائمة	0.5
	استخدامات الأرض	أرض فضاء أراضي زراعية منطقة مبنية	ملائم غير ملائم غير ملائم	0.10

المصدر: بتصرف محدود عن

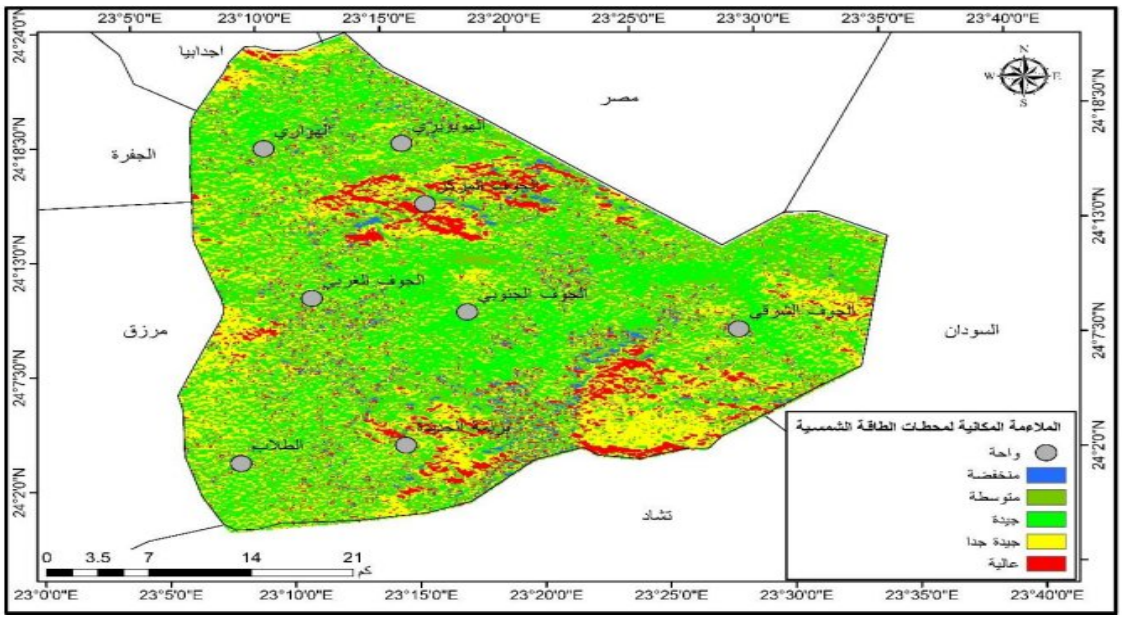
Dawod M.G. and Mandoer S.M, Optimum Sites for Solar Energy Harvesting in Egypt Based on Multi-Criteria GIS, The First Future University International Conference on New Energy and Environmental Engineering Cairo, Egypt. April 11-14, 2016 ,P 453.

تحديد المتغيرات وإجراء إعادة التصنيف للطبقات ودرجة وملاءمتها للنموذج:

الهدف من هذه الخطوات إنتاج خرائط لجميع الطبقات المستعملة في الدراسة عن طريق اتخاذ عدة تحليلات لاختيار أنسب الأماكن وأكثرها ملاءمة لإقامة محطات الطاقة الشمسية، وبناءً على بعض الدراسات السابقة تم اختيار بعض المعايير التقنية والاقتصادية والبيئية ومنها الإشعاع الشمسي (كيلو وات/متر^2 /يوم)، وانحدار الأرض بالدرجة وارتفاعها بالمتر، وشبكتي الكهرباء والطرق بالكيلو متر. إضافة إلى استخدامات الأراضي من خلال تحليل ومعالجة البيانات باستخدام الأداة Euclidean Distance الموجودة ضمن أدوات التحليل المكاني Spatial Analyst وذلك لإنشاء نطاقات حول الطبقات المستخدمة في الدراسة ثم خطوة إعادة تصنيفها إلى خمس فئات بفاصل متساوٍ (Equal Interval) من خلال الأمر Reclassify إلى درجات من (1– 5) وذلك حسب أهمية المعيار.

أولا: مرحلة إعداد قاعدة البيانات من خلال بعض المدخلات المتعلقة بالمعايير في نموذج الملاءمة المكانية:

1– معيار طبقة المعدل السنوي للسطوع الشمسي مُقاس بالكيلو وات/متر^2/اليوم حيث تراوح في المنطقة بين حوالي 6050.523 بالكيلو وات/متر^2/اليوم وهي أعلى قيمة وأُعطيت أفضل المناطق ملاءمة لمعدل الإشعاع الشمسي السنوي اللون الأحمر، ثم التدرج من حيث درجات الملاءمة إلى اللون الأزرق حيث بلغت أقل قيمة 1493.324 كيلو وات/متر^2/اليوم الشكل (7).

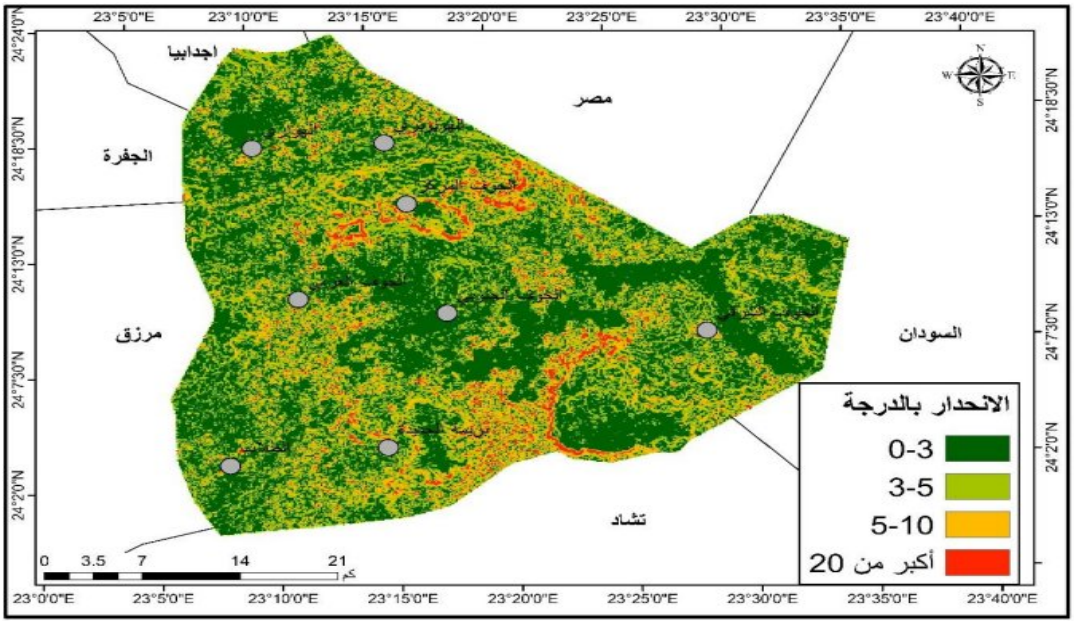


شكل (7) تصنيف درجات الملاءمة لمعدل الإشعاع الشمسي (ك/وات/م^2/يوم) في منطقة الدراسة

المصدر: عمل الباحثة استنادا إلى برنامج Arc Map 10.5

2- معيار الانحدار بالدرجة: تراوح الانحدار بين 0-3° إلى أكبر من 20° حسب تصنيف (Young) إلى أربع فئات أخذت أفضل المناطق ملاءمة اللون الأخضر الفاتح وأقلها ملاءمة اللون الأحمر. أما معيار الارتفاع عن سطح الأرض بالمتر فقد تم اعتماد 5 فئات وإعادة تصنيفها بفاصل متساوٍ (Equal Interval) لتحديد المناطق الملائمة لإقامة محطات الطاقة الشمسية، وأخذت أكثر المناطق ملاءمة اللون الأخضر وأقلها ملاءمة باللون الأحمر شكل (8).

3- معيار استخدامات الأراضي: تم استعمال طبقة استخدام الأرض لمعرفة المناطق المأهولة وغير المأهولة بالسكان والتي تبعد عن الأنشطة البشرية والتي قد تؤثر على المنظومات وللتطبيق تم تصنيف استخدامات الأراضي اعتمادا على مرئية فضائية بدقة 10 متر، حيث بلغت مساحة الأراضي الفضاء حوالي 977.59 كم^2 بنسبة 72.11%، تليها استخدامات المراعي بنحو 270.09 كم^2 بنسبة 20.20%. أما الأراضي الزراعية فقد بلغت مساحتها 55.92 كم^2 بنسبة 4.18%، وبمساحة 33.42 كم للمناطق السكنية بنسبة 2.49% ما يعني قلة تأثير المساكن على منظومات الخلايا الشمسية من حيث الظل، ومن أهم مزايا الطاقة الشمسية أنها طاقة نظيفة لا تسبب أي تلوث لذلك يجب مراعاة إقامتها بحيث لا يكون على حساب البيئة وذلك بما توفر من مساحات فضاء والتي بلغت النسبة الأكبر كما ذكر آنفا. الجدول (4) والشكل (9).



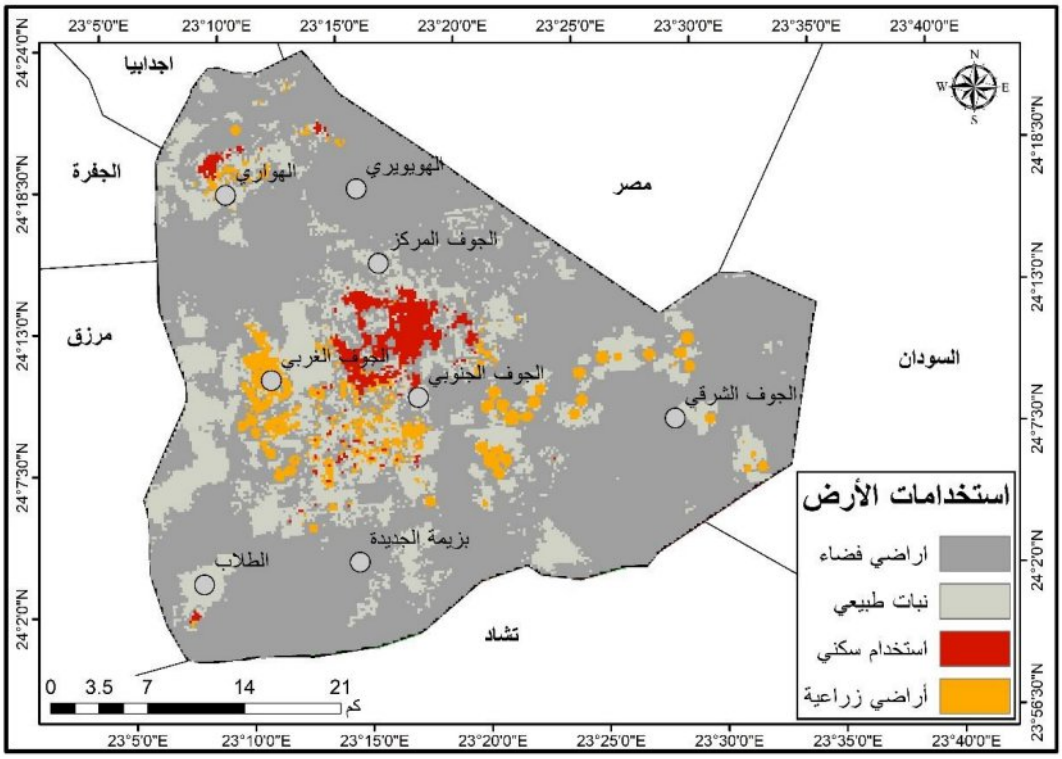
شكل (8) تصنيف درجات الملاءمة لدرجات الانحدار في منطقة الدراسة

المصدر: عمل الباحثة استنادا إلى برنامج Arc Map 10.5

جدول (4) نمط استخدام الأراضي في منطقة الدراسة

نمط الاستخدام	المساحة كم 2	النسبة
أراضي فضاء	977.59	73.11
مراعي	270.09	20.20
استخدام سكني	33.42	2.49
أراضي زراعية	55.92	4.18
المجموع	1337.04	100

المصدر: عمل الباحثة استنادا إلى بيانات Esri Land Space2 source imagery: sentinenl2. وبرنامج Arc Map 10.5



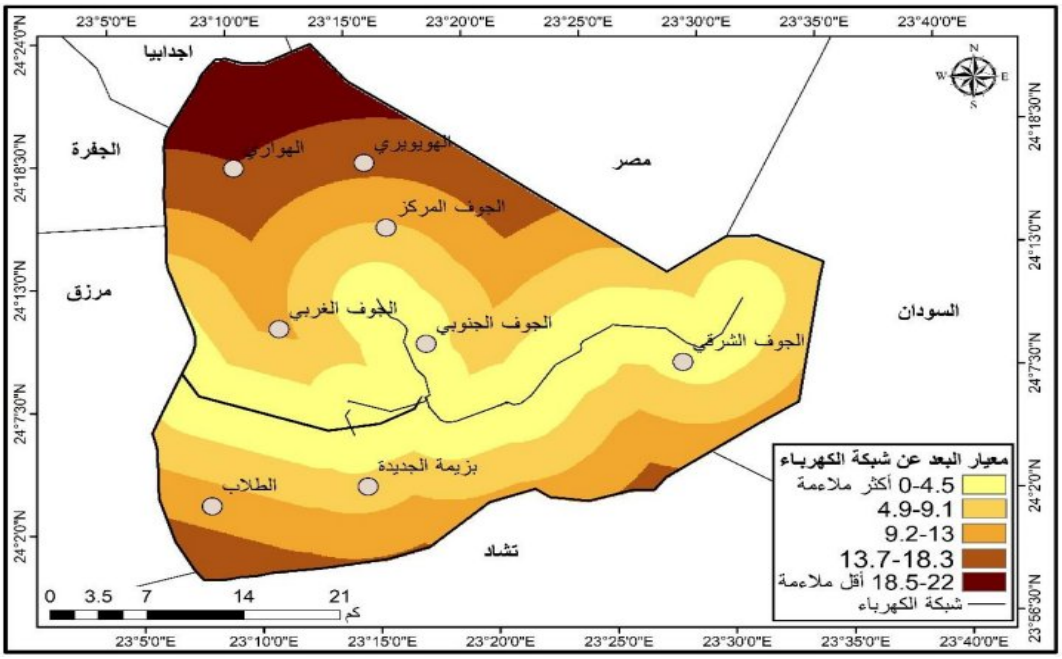
شكل (9) استخدامات الأراضي في منطقة الدراسة

المصدر: عمل الباحثة استنادا إلى بيانات الجدول (4) وبرنامج Arc Map 10.5

ثانيا: إجراء نموذج الاستبعاد للمناطق التي لا تصلح لإجراء نموذج الطاقة الشمسية:

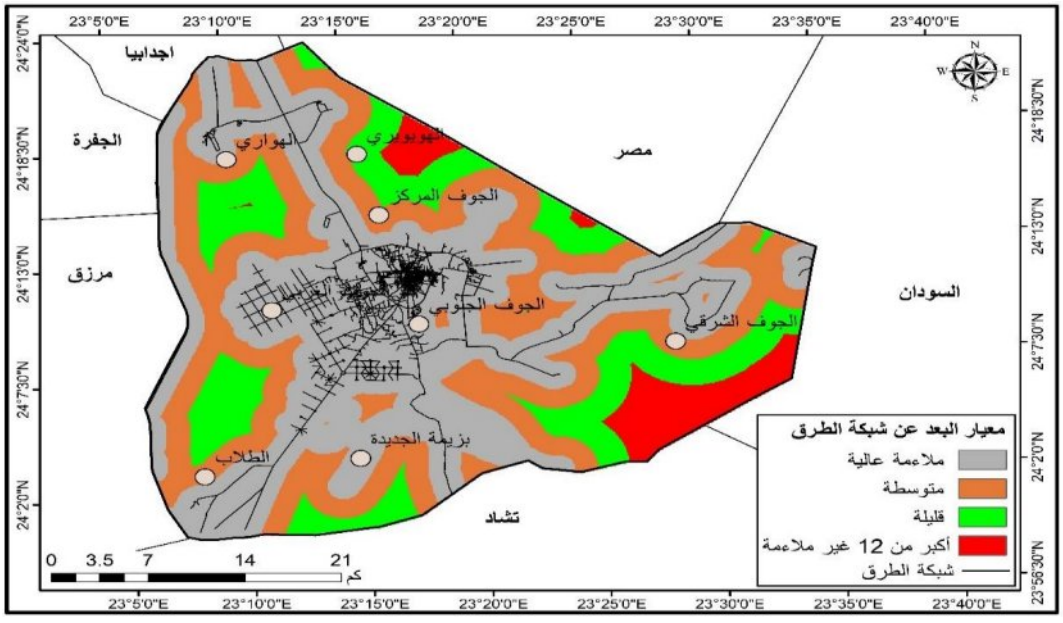
1-معيار شبكة توزيع الكهرباء: تم تحديد مسافة 4 كم لكل نطاق باستخدام الأداة (Multiple Range buffer) الموجودة ضمن أدوات التحليل المكاني 3DAnalyst Tools وهي الأنسب لتجنب نقل الكهرباء لمسافات بعيدة؛ لأنه كلما كانت المسافات أبعد زاد الفاقد الفني والتجاري وتصبح غير اقتصادية. الشكل (10).

2-معيار القرب من شبكة الطرق: يعدُّ هذا المعيار مهما في اختيار المناطق القريبة لتسهيل الوصول إلى المحطة ونقل المعدات في مختلف المراحل لإنشاء المشروع وإجراء عمليات الصيانة وغيرها ويفضل أن تكون قريبة من الخدمات العامة الأساسية. شكل (11).



شكل (10) نطاق التباعد حول شبكة خطوط نقل الكهرباء في منطقة الدراسة

المصدر: عمل الباحثة استنادا إلى برنامج Arc Map 10.5

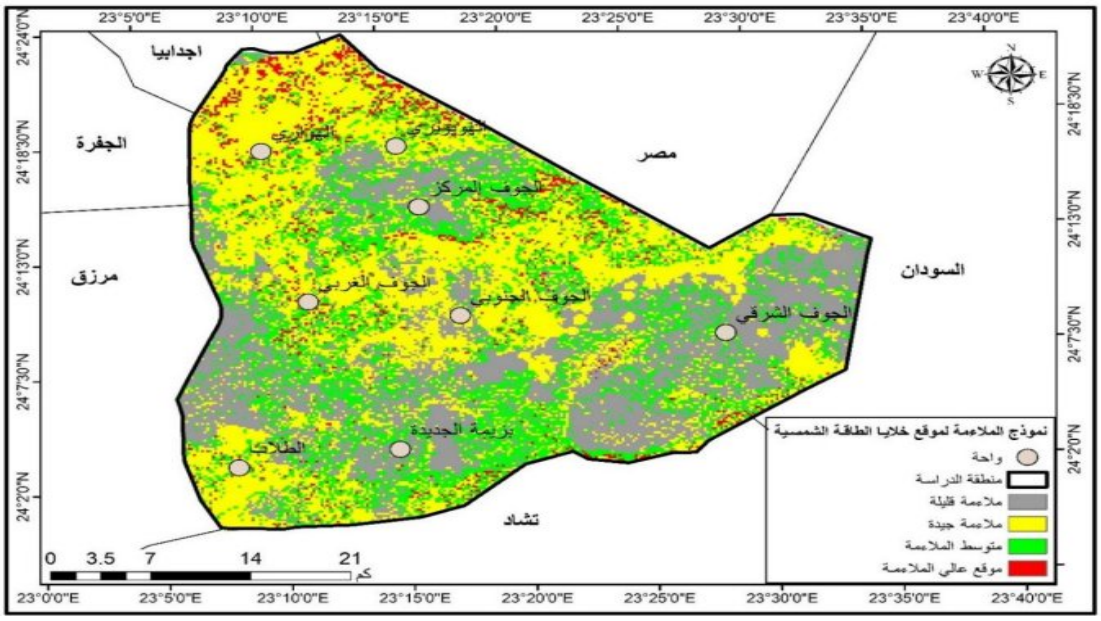


شكل (11) نطاق التباعد حول شبكة الطرق في منطقة الدراسة

المصدر: عمل الباحثة استنادا إلى برنامج Arc Map 10.5

ثالثا: مرحلة إعداد النموذج النهائي بناء على تحديد الأوزان للمعايير المدخلة مسبقا:

بناء على بعض الدراسات السابقة وإعطاء أوزان نسبية (100%) حيث بلغت نسبة الإشعاع الشمسي كمعيار 35%، ودرجة انحدار الأرض بالدرجة وارتفاعها بالمتر 20% لكل منهما، بينما أخذت شبكة الكهرباء واستخدامات الأرض 20% لكليهما، و 5% لشبكة الطرق تشير نتائج الملاءمة النهائية من الشكل (12) بعد عملية التركيب الخطي الموزون باستخدام الأداة Weighted Overlay إلى أن أنسب المواقع وأكثرها ملاءمة لإنشاء محطات الطاقة الشمسية في واحات الكفرة قد بلغت مساحتها الإجمالية 50.61 كم ^{2} بنسبة 34.37%، ويمكن ملاحظة أن واحة الهويويري قد شكلت النسبة الأكبر بنحو 10.71% تليها واحة الهواري بنسبة 9.74% بينما تراوحت النسب بين باقي الواحات بين 1.53–3.31% أي تركزت في أقصى الشمال وفي بعض الواحات الأخرى في الوسط عند واحتي الجوف الغربي والجوف الجنوبي وفي الأطراف عند واحة الطلاب، وبذلك يلاحظ أن أكثر الواحات مناسبة لإنشاء محطات الطاقة الشمسية هما واحتي الهويويري والهواري، والتي يجب أن تعطى أهمية من حيث الخطط المستقبلية لمشاريع الطاقة الشمسية لتحقيق تنمية مستدامة وشاملة في المنطقة. الجدول (5) والشكل (13).



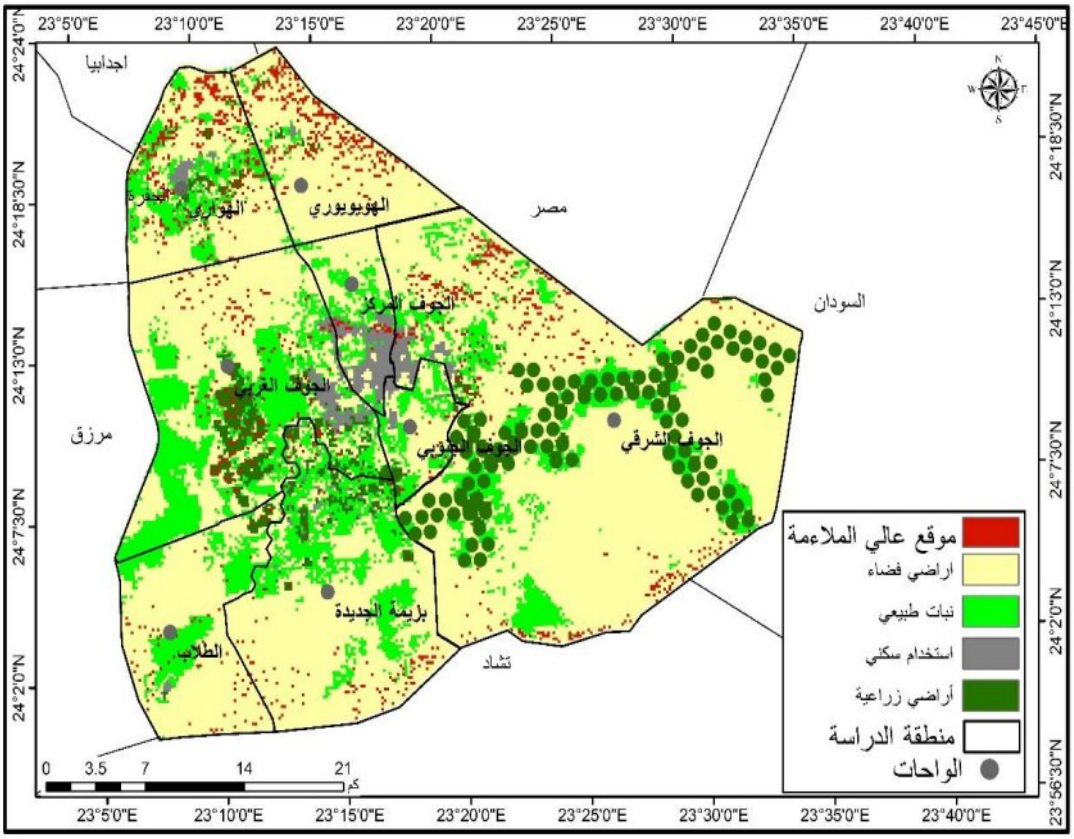
شكل (12) مواقع مقترحة لإقامة محطات الخلايا الشمسية في منطقة الدراسة

المصدر: عمل الباحثة استنادا إلى برنامج Arc Map 10.5

جدول (5) المواقع ذات الملاءمة العالية حسب الواحات

الواحة	المساحة كم 2	النسبة
الهواري	10.58	9.74
الهويويري	9.69	10.71
الجوف الشرقي	14.94	2.81
الجوف المركز	0.71	1.53
الجوف الجنوبي	0.63	1.85
بزيمة الجديدة	4.09	2.15
الجوف الغربي	7.37	3.27
الطلاب	2.6	2.31
المجموع	50.61	34.37

المصدر: عمل الباحثة استنادا إلى الشكل (12).



شكل (13) نموذج الملاءمة النهائية لمواقع محطات تجميع الطاقة الشمسية في منطقة الدراسة

المصدر: عمل الباحثة استنادا إلى الأشكال من (7-12).

النتائج:

من خلال البحث تم التوصل إلى النتائج الآتية:

1- أن هناك ملاءمة مكانية من حيث المعدل السنوي للسطوع الشمسي والذي بلغ حوالي 1493.324 ك/وات/متر^2/اليوم كأقل قيمة ونحو 6050.523 ك/ وات/متر^2/اليوم وهي أعلى قيمة.

2- تعدُّ درجة الانحدار الخفيف ذات ملاءمة عالية والتي تسود الأجزاء الوسطى وبعض المناطق المتفرقة الأخرى في الأطراف بمساحة بلغت (1345.944 كم^2) بنسبة (97.17%) وقد شكلت النسبة الأكبر من إجمالي منطقة الدراسة.

3- بلغت مساحة الأراضي الفضاء حوالي 977.59 كم^2 بنسبة 72.11% أما الأراضي الزراعية فقد بلغت مساحتها 55.92 كم^2 بنسبة 4.18% وبمساحة 33.42 كم، والمناطق السكنية بنسبة 2.49%. ما يعني قلة تأثير المساكن على منظومات الخلايا الشمسية من حيث الظل.

4- إن أنسب المواقع وأكثرها ملاءمة لإنشاء محطات الطاقة الشمسية في واحات الكفرة قد بلغت مساحتها الإجمالية 50.61 كم^2 بنسبة 34.37% ضمن واحتي الهويويري بنسبة 10.71% والهواري بنسبة 9.74%.

التوصيات:

1- العمل على استخدام أسلوب نظم المعلومات الجغرافية متعدد المعايير في التخطيط التنموي لتحديد أكثر المناطق ملاءمة لإنشاء محطات الطاقة الشمسية.

2- تشجيع الاستثمار في مجالات الطاقة الشمسية واستخدامها في البيئات الصحراوية والمناطق النائية.

3- إعطاء أهمية لواحتي الهويويري والهواري من حيث الخطط المستقبلية لمشاريع الطاقة الشمسية لتحقيق تنمية مستدامة وشاملة في المنطقة.

قائمة المراجع:

اولا: العربية

1-المكتب الوطني للبحث والتطوير، مركز دراسات الطاقة الشمسية، أطلس الإشعاع الشمسي والرياح، الإصدار الأول 2005 م.

2-عبد الحكيم بالحسن سليمان دقاني، الزيادة الطبيعية في الكفرة خلال الفترة (1995 -2020 م) مجلة ليبيا للدراسات الجغرافية، العدد الخامس / يوليو - 2023 م.

3-جمعة محمد داوود، خالد عبد الرحمن الغامدي، وآخرون، تحديد أفضل المواقع لتجميع الطاقة الشمسية في منطقة مكة المكرمة الإدارية باستخدام نظم المعلومات متعددة المعايير، الملتقى الوطني الحادي عشر لتطبيقات نظم المعلومات الجغرافية في المملكة العربية السعودية، جامعة الإمام عبد الرحمن بن فيصل 11-13، أبريل ،2017 م.

4- خضر رشيد عبد الرحمن محمد، التوزيع الجغرافي لمنظومات خلايا الإشعاع الشمسي واستثماراتها في سفوح الجبال الجنوبية من محافظة دهوك، أطروحة دكتوراه، غير منشورة، جامعة الموصل، كلية التربية للعلوم الإنسانية، قسم الجغرافيا ،2012 م.

5-فاطمة المبروك عبد السيد، أشرف عبد الرحمن بو حبل، الطاقات المتجددة كمدخل لتحقيق التنمية المستدامة في إقليم الكفرة - جنوب شرق ليبيا، مجلة المنارة العلمية، العدد الرابع، مايو،2022 م.

6- زينب مليطان، عائشة العجيلي، الملاءمة المكانية لاختيار أفضل موقع لإنشاء محطة طاقة شمسية في بلدية مصراتة باستخدام تقنية نظم المعلومات الجغرافية متعددة المعايير، مؤتمر ليبيا جيوتيك 5، المؤتمر الدولي الخامس للاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية ،8-9 مارس 2023 طرابلس.

7-محمد النطاح، الأرصاد الجوية، الدار الجماهيرية للنشر والتوزيع والإعلان، مصراتة، 1990م.

8- هبة محمود عبد الرزاق شهوان، طاقة الشمس والرياح دراسة في المناخ التطبيقي باستخدام الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية، رسالة ماجستير، غير منشورة، جامعة القاهرة، كلية الآداب، قسم الجغرافيا، القاهرة، مصر ،2017 م.

ثانياً: الاجنبية:

8-Ramadan Abdiwe، conference " solar Energy in the Mena region " – 2009 Erfurt Germany.

9- Mohamed Ekhlat ,Mediterranean and National Strategies sustainable Development, in Liby,2007.

10- Abdul Rahim Bayounis, Tarek Eldamaty, Applying Geographic Information System (GIS) for Solar Power Plants Site Selection Support in Makkah, Technology and Investment, Mar ,2022.