

الملاءمة المكانية لتحديد أنسب المواقع لمحطات الطاقة الشمسية في منطقة عسير باستخدام نظم المعلومات الجغرافية متعددة المعايير

أ.د. أمل بنت حسين آل مشيط(*)

الملخص:

تهدف هذه الدراسة لتحديد أنسب المواقع لمحطات الطاقة الشمسية في منطقة عسير جنوب غرب المملكة العربية السعودية، ولتحقيق هذا الهدف اتبعت الدراسة منهجية تدرجت من مراجعة ادبيات تحليل القرار متعدد المعايير (MCDA) لتحديد معايير نموذج ملاءمة أنسب الأماكن مواقع محطات الطاقة الشمسية في المنطقة، وبعد تحديد متغيرات المعايير الطبوغرافية والمناخية والبيئية والاقتصادية، تم جمع بيانات هذه المتغيرات من المرئيات الفضائية والطبقات الرقمية، وبالتالي معالجة بيانات المعايير لأشتقاق طبقاتها بواسطة خوارزميات وزن المسافة المعكوسة (IDW) والمسافة الاقليدية (Euclidean Distance) في نظم المعلومات الجغرافية، وإعادة تصنيف كل طبقة كل معيار، بعدها حددت أهمية معايير نموذج الملاءمة باستخدام طريقة التسلسل الهرمي (AHP)، وبالتالي دمجت المعايير حسب اوزانها او اهميتها النسبية باستخدام الحاسبة الخلوية (Raster Calculator) في بيئة (GIS).

وتظهر نتائج نموذج الملاءمة المكانية لمحطات الطاقة الشمسية في منطقة عسير عدم وجود مناطق غير ملائمة تماما لمواقع محطات الطاقة الشمسية اذ بلغت أدنى نسبة ملاءمة مكانية ٣٩.٨٪، ولا توجد أي منطقة حققت معايير النموذج بنسبة ١٠٠٪، ويؤكد ذلك أن اعلى قيمة ملاءمة مكانية لمواقع محطات طاقة شمسية بلغت ٩٤٪، وبلغ المتوسط المكاني لملاءمة المنطقة لمحطات الطاقة ٦٦٪، وتقع المناطق التي حققت ملاءمة مكانية عالية جداً لمواقع محطات الطاقة الشمسية في منطقة عسير حيث تجاوزت نسبة الملاءمة المكانية ٨٠٪ شمال شرق محافظة ظهران الجنوب، وجنوب ووسط محافظة تثليث، وشمال غرب ووسط محافظة طريب، وشرق محافظة خميس مشيط، ووسط محافظتي بيشة والنماص، وغرب محافظة بلقرن، بمساحة بلغت ١٧٧٦.٦٤ كم^٢ بنسبة ٢.٢٩٪ من إجمالي مساحة منطقة عسير.

كلمات مفتاحية: محطات الطاقة الشمسية، منطقة عسير، نظم المعلومات الجغرافية، القرار متعدد المعايير، طريقة التحليل الهرمي.

(*) أستاذ الجغرافيا المناخية المشارك، قسم الجغرافيا - كلية الآداب والعلوم الإنسانية، جامعة الملك خالد - المملكة العربية السعودية.

مقدمة:

ارتفع الطلب على الطاقة بشكل كبير في السنوات الأخيرة نتيجة نمو السكان وتوسع الاقتصاد العالمي، وارتفاع الاضرار البيئية لاستخدام الوقود الأحفوري لإنتاج الطاقة، ويتوقع أن يتم استنفاد الاحتياطيان القائمة على الطاقة الأحفورية في المستقبل، وعليه هناك حاجة إلى مصادر الطاقة المتجددة لتقليل الآثار البيئية.

وبالتالي هناك إمكانات كبيرة في نشر تقنيات مصادر الطاقة المتجددة كالطاقة الشمسية والريحية والحرارية الأرضية وغيرها، وجميعها تعتبر موارد طبيعية مجانية ومتجددة ومنتشرة في جميع أنحاء العالم، وعليه وفي ظل زيادة احتياجات الطاقة قامت عدد من الدول باستغلال مصادر الطاقة المتجددة لتنويع مصادر الطاقة لديها والتقليل من الانبعاثات الكربونية. وفي الوقت الحاضر تُفضل الطاقات المتجددة على الوقود الأحفوري لكونها مجانية ومتاحة على نطاق واسع وتنتج أقل قدر من التلوث (Jahangiri, et al, 2016, p. 39).

الشمس واحدة من أهم موارد الطاقة الطبيعية، وتعتبر الطاقة الشمسية الأكثر بحثاً واستثماراً وواحدة من أسرع تقنيات نمو الطاقة المتجددة في العالم، وتتمتع تكنولوجيا الطاقة الشمسية بإمكانيات واعدة في مناطق شاسعة على سطح الأرض حيث تكون كمية الإشعاع الشمسي سنوياً عالية جداً كما هو الحال في المملكة العربية السعودية. ولتحديد افضل المواقع لتشييد محطات الطاقة الشمسية يجب التحقيق في جوانب معينة، مثل مدى جودة موقع محطة الطاقة، وكيفية تقليل تكلفة المشروع كالبعد من البنى التحتية الحالية مع تعظيم إنتاج الطاقة من الألواح الشمسية. (Al Garni and Awasthi, 2017, p.1225).

تتمتع منطقة الدراسة بميزة امكانيات الطاقة الشمسية لأنها تقع جغرافيا في المنطقة الواقعة بين من خط الاستواء ومدار السرطان، ولديها إمكانات كبيرة للطاقة الشمسية نظرا لطقسها الجاف الحار المشمس طول العام، لذلك ستحاول هذه الدراسة الاجابة على تساؤلات أين المكان الأنسب لبناء محطات الطاقة الشمسية؟ ما هي المعايير التي سنستخدمها لتحديد أنسب مواقع محطات الطاقة الشمسية؟ بما يساعد على تقليل تكلفة بناء المشروع عن طريق تقليل القرب من البنى التحتية الحالية مع تحسين إنتاج طاقة الألواح الشمسية، بما يعطي نموذج نظام دعم القرار وخريطة تحدد مواقع محطات الطاقة الشمسية في منطقة عسير.

دراسات سابقة:

حدد (Al Garni and Awasthi, 2017) مواقع محطات الطاقة الشمسية الكهروضوئية في المملكة باستخدام منهجية (GIS-AHP)، كان هدف البحث تقييم واختيار أفضل مواقع مشاريع الطاقة الشمسية الكهروضوئية باستخدام نظم المعلومات الجغرافية (GIS)، وتقنية القرار متعددة المعايير (MCDM)، وعملية التسلسل الهرمي التحليلي (AHP) لوزن المعايير وحساب مؤشر ملاءمة الأرض بالاعتماد على ١٤ معيار، لضمان تحقيق أقصى قدر من الطاقة مع تقليل تكلفة المشروع، وصنفت طبقة الملاءمة خمسة فئات: "أقل ملاءمة"، "ملاءمة هامشية"، "ملائمة إلى حد ما"، "ملائمة للغاية"، "أكثر ملاءمة"، وتوصلت النتائج الى أن ١٦٪ من منطقة الدراسة ملائمة لمحطات الطاقة الكهروضوئية، وتقع المناطق الأكثر ملاءمة شمال وشمال غرب المملكة العربية السعودية بالقرب من الطرق الرئيسية وخطوط النقل والمدن الحضرية.

وتناول (Khemiri, et al, 2018) المواقع المثلى للطاقة الشمسية الكهروضوئية في منطقة مكة المكرمة باستخدام عملية التحليل الهرمي ونظم المعلومات الجغرافية، واعتمد على معايير الإشعاع الشمسي والتضاريس واستخدام الأراضي وإمكانية الوصول والقرب من خطوط نقل الكهرباء، واعتمد طريقة عملية التسلسل الهرمي التحليلي (AHP) لتحديد وزن كل معيار، وتظهر النتائج أن ٣٢ كم^٢ بنسبة ١٠٪، ملائمة جداً، ويمكن أن تولد ٢٥ ضعف إجمالي الطلب الفعلي على الطاقة الكهربائية في منطقة مكة المكرمة.

واستخدم (Kocabaldır and Yucel, 2020) القرار متعدد المعايير القائم على نظم المعلومات الجغرافية لاختيار الموقع لمحطات الطاقة الكهروضوئية في مقاطعة تشاناكالي، تركيا، تهدف الدراسة إلى تحديد المناطق التي يمكن فيها إنشاء محطة للطاقة الشمسية الكهروضوئية (PV) بواسطة (GIS-MCDA)، تم تحديد المعايير كالمسافة من الموارد المائية وخطوط نقل الطاقة والطرق والمسافة من المناطق الصناعية والصدوع والإشعاع ودرجات الحرارة والرطوبة النسبية وانحدار واتجاه التضاريس واستعمالات الارض واطهرت الدراسة إن ٩٦٪ من مساحة المنطقة غير ملائمة لمحطات الطاقة الشمسية الحرارية.

واختار (Soydan, 2021) مواقع محطات الطاقة الشمسية في نيجه، تركيا، كان هدف الدراسة اختيار أنسب موقع محطات الطاقة الشمسية باستخدام إحدى معيار (كمدة ومعدل الإشعاع، والانحدار، واتجاه المنحدرات، والطرق، وموارد المياه، والمناطق السكنية، والصدع، ومناطق الألبان، وخطوط الطاقة والمحولات، وتم توزيعها باستخدام عملية التسلسل الهرمي التحليلي (AHP)، ودمجها في نظم المعلومات الجغرافية، وتوصلت النتائج لتركز المناطق الأكثر ملاءمة لمحطات الطاقة الشمسية شمال شرق منطقة نيجه.

وحدد (Alhammad, et al, 2022) المواقع المثلى لمحطات الطاقة الشمسية باستخدام نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد بمنطقة القصيم، وكان هدف البحث التأكد من المواقع المثالية للمحطات في المنطقة من حيث كمية الطاقة الكهروضوئية المحتملة التي يمكن إنتاجها من الطاقة الشمسية، بالاعتماد على معايير الانحدار والإشعاع الشمسي والبعد من الطرق والمناطق السكنية وخطوط الكهرباء، واستخدام تقنيات نظم المعلومات الجغرافية والتسلسل الهرمي التحليلي (AHP)، وأظهرت النتائج أن المناطق الأكثر ملاءمة لمحطات الطاقة الشمسية تقع جنوب وجنوب غرب المنطقة، بنسبة ١٧.٥٣٪ من المساحة، وبلغت نسبة مساحة المناطق غير الملائمة ١٠.١٧٪ من إجمالي منطقة الدراسة تتركز شمال المنطقة.

واستخدم (Bayounis and Eldamaty, 2022) نظم المعلومات الجغرافية لاختيار مواقع محطات الطاقة الشمسية في مكة المكرمة، كان هدف الدراسة تطبيق نظم المعلومات الجغرافية متعدد المعايير لتحديد أنسب المواقع المكانية للطاقة الشمسية، بالاعتماد على مجموعة معايير تخطيطه وبيئية للحصول على أفضل المواقع، وتوصلت النتائج إلى أن جميع المناطق مناسبة للطاقة الشمسية بنسبة تراوحت بين ٣٠ - ٨٠٪، وتتركز المناطق الملائمة للغاية بمحافظات الطائف ٣٥٪، وتربة ٢٤٪، ورنيا ١٤٪ من إجمالي مساحة المنطقة.

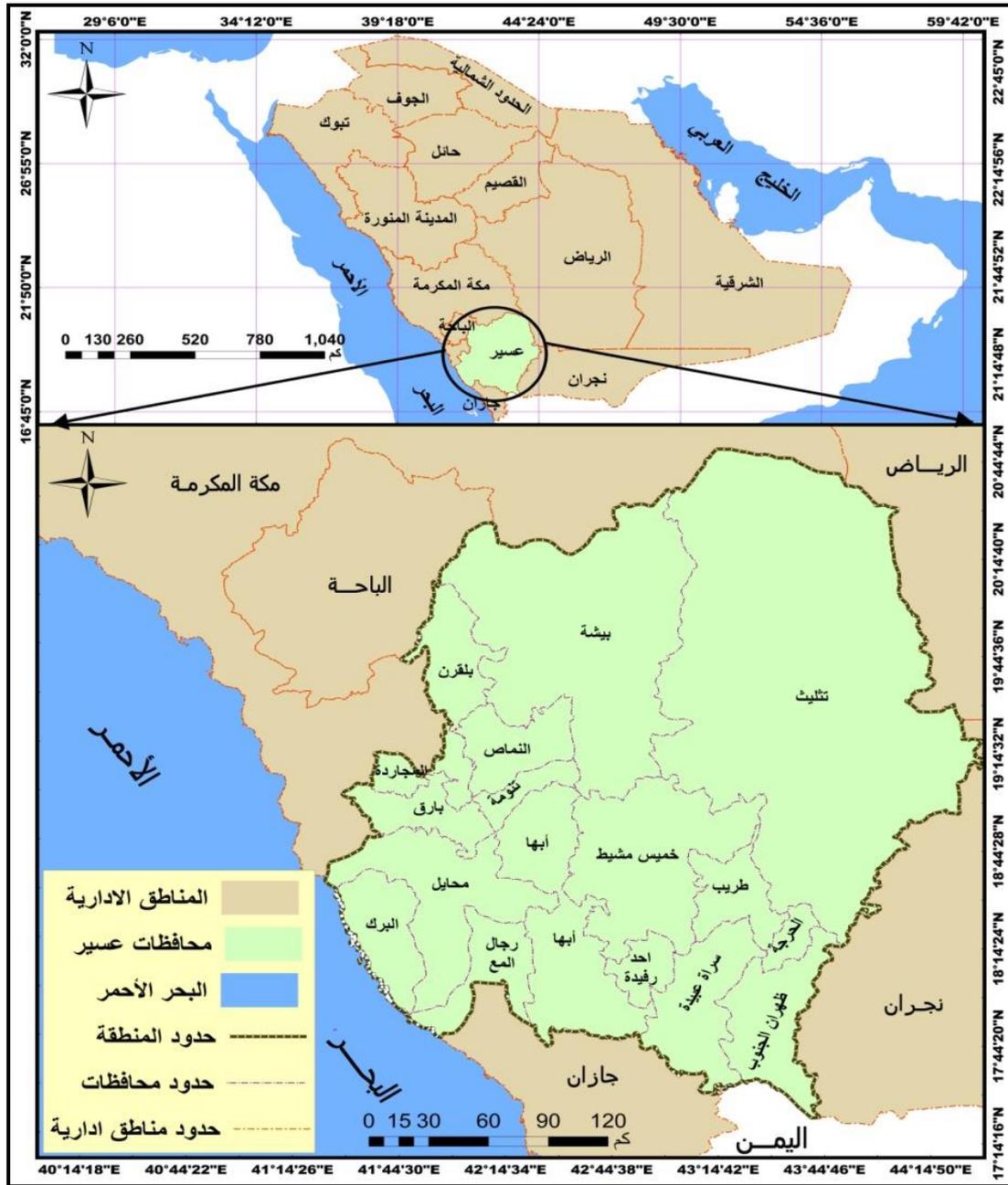
وحدد (Zulkifly and Said, 2022) المواقع المثلى لمحطات الطاقة الشمسية في ملقا، ماليزيا باستخدام نظم المعلومات الجغرافية، ودمجت عدة متغيرات اقتصادية وبيئية وتقنية كالإشعاع والتضاريس والغطاء الأرضي والمناخ والبعد من الطرق والأشجار، وتم تطبيق التحليل باستخدام القرار متعدد المعايير (MCDM) المستند إلى عملية التحليل الهرمي (AHP) للحصول على المواقع المناسبة بناءً على أهمية وزن هذه المعايير.

أهمية الدراسة:

تأتي أهمية الدراسة من أن معرفة المواقع المحتملة لمحطات الطاقة الشمسية الحرارية نقطة أساسية للتنبؤ السنوي بإنتاج محطات الطاقة والجدوى المالية من خلال بناء هذه المحطات، وذلك من خلال إجراء تحليل مكاني أكثر موثوقية يراعي مختلف معايير البيئة المكانية في منطقة الدراسة، وتزداد هذه الأهمية من خلال معرفة الباحثة بأنه لم يتم إجراء أي دراسة لتحديد أفضل المواقع لمحطات الطاقة الشمسية الحرارية في منطقة عسير بالاعتماد على القرار المتعدد (MCDM) القائم على نظم المعلومات الجغرافية (GIS) وطريقة التحليل الهرمي (AHP) في تقييم الأهمية النسبية لمعايير النموذج.

منطقة الدراسة:

تقع منطقة عسير جغرافياً شكل (١) جنوب غرب المملكة بين دائرتي عرض شمالاً $٥٥^{\circ} ٢٠' ١٧'' - ٣٦' ٤٧' ٢٠''$ ، وبين خطي طول شرقاً $١٠' ٣٠' ٤١'' - ٢٥' ٢٩' ٤٤''$ ، بمساحة بلغت ٧٧٤٧٧.٩٥ كم^٢، وتتألف منطقة الدراسة من عدة محافظات أكبرها محافظة تثليث بمساحة ٢٨١٧٠.٥ كم^٢ شمال شرق المنطقة، وأصغرها محافظة الحرجة بمساحة ٥٧٩.٥ كم^٢ شرق منطقة الدراسة.



شكل رقم (١) موقع منطقة عسير

المصدر: الباحثة بالاعتماد على نظم المعلومات الجغرافية.

أهداف الدراسة:

- تحديد المواقع المثلى لمحطات الطاقة الشمسية الحرارية في منطقة عسير بالاعتماد على كل معيار طبوغرافي ومناخي وبيئي واقتصادي.
- بناء نموذج ملاءمة مكانية يحدد المواقع الانسب لبناء محطات الطاقة الشمسية الحرارية في منطقة عسير بناء على جميع المعايير المدمجة حسب اوزانها في بيئة نظم المعلومات الجغرافية.

منهجية البحث:

أصبحت استخدام نظم المعلومات الجغرافية (GIS) شائعاً بشكل في السنوات الاخيرة وذلك في تحديد أفضل المواقع ، لاسيما في مجال فحص المواقع المحتملة لمشاريع الطاقة الشمسية، وقد اقترحت العديد من الدراسات والمنظمات الإستراتيجية مثل المختبر الوطني للطاقة المتجددة (NREL) عدة معايير في تحقيق هذا الهدف، وبذلك فقد تدرجت منهجية هذه الدراسة كما يأتي:

(١) مراجعة الدراسات السابقة ذات العلاقة بالموضوع من اجل تحديد المعايير التي سيتم من خلالها تحديد انسب مواقع الطاقة الشمسية في منطقة عسير .

(٢) القيام بجمع البيانات الخاصة بكل معيار من هذه المعايير، سواء تمثلت بالمرئيات الفضائية كنماذج الارتفاعات الرقمية (DEM)، وتم الحصول عليه من موقع المساحة الجيولوجية الامريكية (<https://earthexplorer.usgs.gov>). ومرئيات عناصر المناخ والغبار التي تم الحصول عليها من موقع وكالة ناسا وبين جدول (١) تفاصيل هذه المرئيات.

جدول رقم (١) بيانات عناصر المناخ المستخدمة في الدراسة

القمر الصناعي	العنصر	الدقة المكانية	وحدة القياس	الوحدة الزمنية	بداية المدة	نهاية المدة
FLDAS	درجات الحرارة	°٠.١	K	شهرية	٢٠٠٠/١/١	٢٠٢٣/١/١
MERRA	الايام الممطرة	°٠.٥	MM/Day	شهرية	٢٠٠٠/١/١	٢٠٢٣/١/١
MODIS Aqua	الغيوم	°١	Hour	يومية	٢٠٠٠/١/١	٢٠٢٣/١/١
MERRA	الغبار	°٠.٥	Kg/m ²	شهرية	٢٠٠٠/١/١	٢٠٢٣/١/١

المصدر: وكالة ناسا (<https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/?fbclid>).

وتم الحصول على طبقة اغطية واستعمالات الارض في المنطقة بدقة ١٠ م من بيانات القمر الصناعي الاوربي (SENTINEL-2A) من موقع ازري (<https://www.arcgis.com>).

وتم جمع طبقتي التجمعات السكانية والطرق من موقع (<https://www.openstreetmap.org/export>). أما طبقة خطوط الكهرباء فقد تم استخراجها من دراسة (Shwehdi, et al, 2018, p.157)، وذلك بعد ارجاع الخريطة الاصلية ومن ثم ترقيمها للحصول على طبقة (Shapfile Line).

٣) معالجة الطبقات التي جمعت بداية بإعادة ارجاعها من النظام الجغرافي الى النظام المتري (UTM 37)، وبالتالي تم تحويل طبقات (Raster) إلى (Points) باستخدام أداة (Rater To Points). وتتألف خطوات معالجة البيانات من اشتقاق طبقة لكل معيار من المعايير (Ruiz, et al, 2020, p.3249).

٤) بالاعتماد على الطبقات المشتقة في الخطوة السابقة تم اشتقاق طبقات مستمرة لكل معيار من معايير نموذج ملاءمة افضل مواقع الطاقة الشمسية باستخدام خوارزميتي وزن المسافة المعكوسة (IDW) والمسافة الاقليدية (Euclidean Distance)، وأعقبها إعادة تصنيف (Reclassify) طبقات المعايير بما يتلاءم مع اهميتها لتحديد مواقع الطاقة الشمسية، ويمثل إعادة تصنيف متغيرات كل معيار إلى درجات على مقياس يتراوح من ١ إلى ٥ لسهولة العرض والتحليل.

٥) تحديد العلاقات بين المعايير مع البدائل بشكل هرمي، فكل معيار او طبقة لها بدائل حسب طريقة التسلسل الهرمي (اهمية قليلة، أهمية متوسطة، أهمية كبيرة، أهمية كبيرة جدا، أهمية مطلقة) قابلة للمقارنة الزوجية بينها وبين طبقة المعيار الأخر، وتقاس البدائل حسب التسلسل الهرمي بمقياس يتراوح بين ١ - ٩.

٦) بناء مصفوفة مقارنة زوجية لاستقراء الاهمية النسبية لأوزان معايير نموذج الملاءمة المكانية لمحطات الطاقة الشمسية، وتحديد مدى ثبات الاحكام باستخدام الحاسبة الالكترونية (AHP Online System). وبتطبيق الأوزان المحددة سيتم الوصول إلى نموذج الملاءمة النهائي (Freitas, et al, 2015, p. 916).

٧) دمج طبقات متغيرات كل معيار على حده حسب أوزانها أو أهمية النسبية، فقد دمجت متغيرات المعيار الطبوغرافي في الحاسبة الخلوية ببرنامج (Arc Map 10.5) بتطبيق الصيغة الرياضية:

$$\text{Float ("Reclas_Slope" * 0.35 + " Reclas_Distream" * 0.25 + " Reclas_Aspect" * 0.25 + " Reclas_Relief " * 0.15)}$$

ودمجت متغيرات معيار المناخ في الحاسبة الخلوية للبرنامج نفسه بتطبيق الصيغة الرياضية:

$$\text{Float ("Reclas_Radiation" * 0.40 + " Reclas_Clouds " * 0.25 + " Reclas_Rainday" * 0.20 + " Reclas_Temperatures " * 0.15)}$$

وبالتالي تم دمج متغيرات معيار البيئة في الحاسبة الخلوية للبرنامج نفسه بتطبيق الصيغة الرياضية:

$$\text{Float ("Reclas_Dust" * 0.55 + " Reclas_Landcover" * 0.45)}$$

وأخيراً دمجت متغيرات المعيار الاقتصادي (البعد من تجمعات السكان، وخطوط الكهرباء، والطرق) في الحاسبة الخلوية للبرنامج بتطبيق الصيغة الرياضية:

$$\text{Float ("Reclas_Popgatherings" * 0.40 + " Reclas_Powerlines" * 0.35 + " Reclas_Roads" * 0.25)}$$

٨) دمج طبقات معيار نموذج الملاءمة المكانية الأربعة الناتجة في الخطوة السابقة حسب أهميتها النسبية في الحاسبة الخلوية ببرنامج (Arc Map 10.5) بتطبيق الصيغة الرياضية:

$$\text{Float ("Climatecriterion " * 0.30 + "Environmentcriterion" * 0.25 + " Economycriterion" * 0.25 + " Topographycriterion" * 0.20)}$$

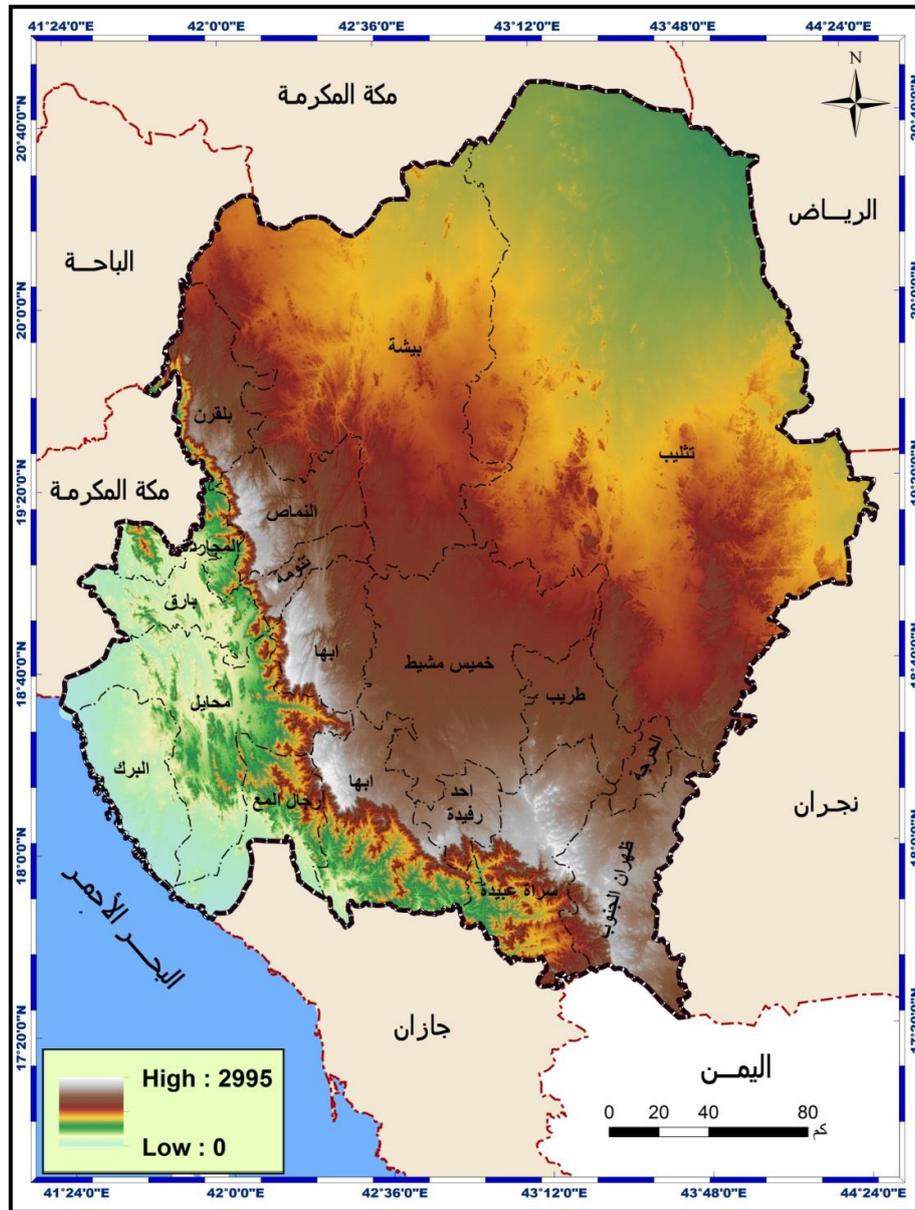
مناقشة النتائج:

أولاً: معايير الملاءمة المكانية لمحطات الطاقة الشمسية:

أ) **معايير طبوغرافية:** تعتبر خصائص تضاريس سطح الأرض من أهم المحددات المكانية لبناء محطات الطاقة الشمسية وبالتالي تعتبر التضاريس المستوية مهمة في موقع محطة الطاقة لان المنحدرات الشديدة تؤدي إلى زيادة تكلفة العمل والصيانة للمشروع. وتعتبر المنحدرات المواجه لاتجاه الجنوب هو اتجاه مثالي لمواقع محطات الشمسية (Al Garni and Awasthi, 2017).

(١) ارتفاع التضاريس:

تعد التضاريس العالية والمعقدة غير ملائمة لتشييد محطات الطاقة الشمسية والعكس كلما كانت التضاريس منخفضة قليلة التضرس زادت ملائمتها، ويبين شكل (٢) تباين ارتفاع التضاريس في منطقة عسير مما يعني تباين الملاءمة المكانية لها في تحديد المواقع المثلى لمحطات الطاقة الشمسية، وبالتالي فقد تراوح ارتفاع تضاريس المنطقة بين صغر في منطقة الساحل كجنوب غرب المنطقة الى ٢٩٩٥ م وسط منطقة عسير، وبلغ المتوسط المكاني لارتفاع التضاريس على مستوى المنطقة ١٣٤٢.٤ م.

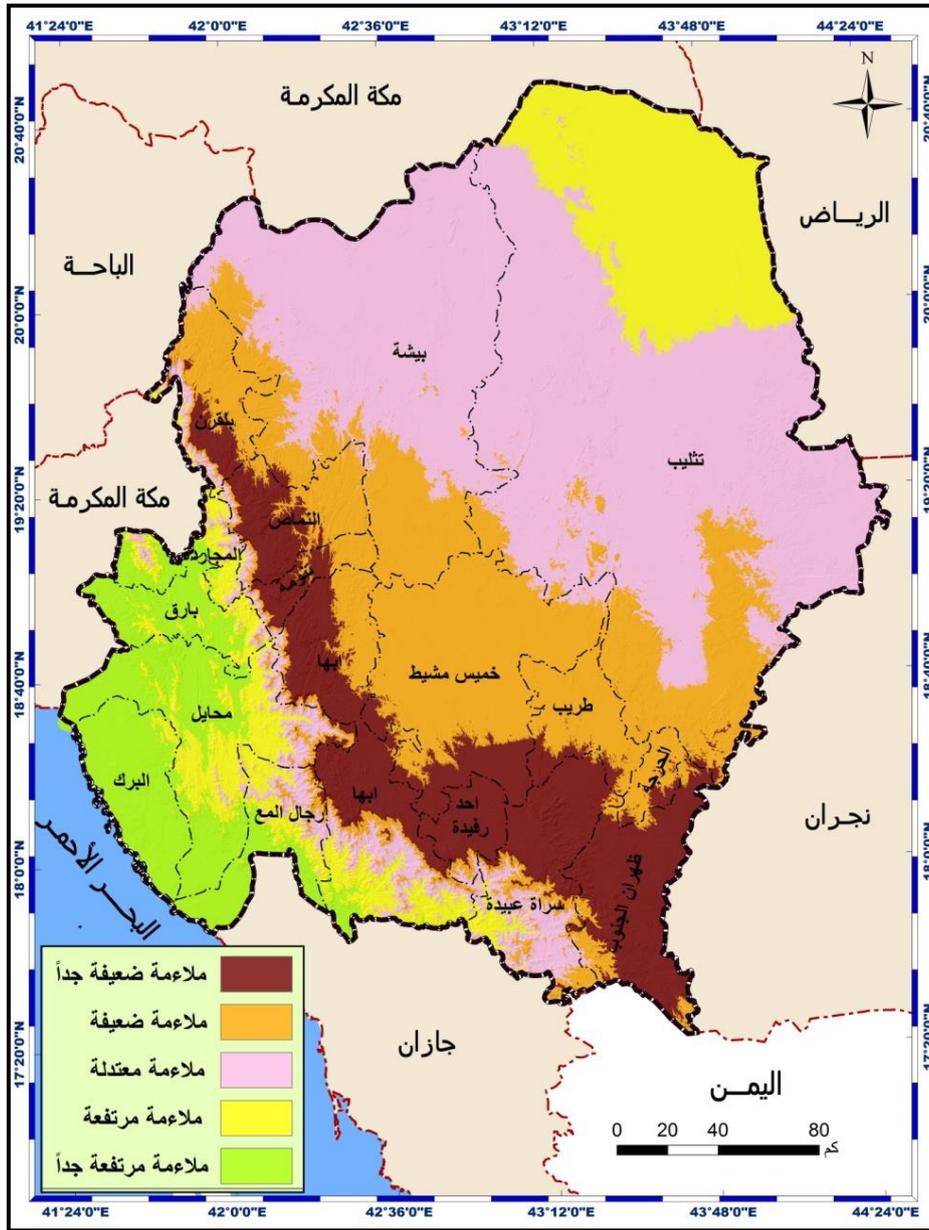


شكل رقم (٢) ارتفاع التضاريس في منطقة عسير

المصدر: الباحثة بالاعتماد على بيانات القمر الصناعي (SRTM).

وتوضح نتائج تصنيف ملاءمة التضاريس لمحطات الطاقة الشمسية في منطقة عسير شكل (٣) وقوع نطاق الملاءمة الضعيفة جدا لمحطات الطاقة الشمسية حيث يتجاوز ارتفاع التضاريس ٢٠٠٠ م ضمن أعلى سلة جبلية ممتدة من شرق محافظة ظهران الجنوب وشمال ووسط سراة عبيدة واحد رفيدة وجنوب خميس مشيط ووسط وغرب محافظة ابها وغرب محافظات تنمومة والنماص وبلقرن، بمساحة ١٠٥٥٥.٤٥ كم^٢ بنسبة ١٣.٦٢٪ من إجمالي مساحة المنطقة. ويبرز النطاق الذي يتصف بملاءمة ضعيفة لمحطات الطاقة الشمسية حيث يتراوح ارتفاع التضاريس بين ٢٠٠٠ - ١٥٠٠ م بشكل واسع شمال النطاق الاول وعلى شكل حزام ضيق جدا جنوب وجنوب غرب وغرب النطاق السابق ضمن محافظات ظهران الجنوب وسراة عبيدة واحد رفيدة وأبها وغرب تنمومة وبلقرن والحرجة وطريب وخميس مشيط النماص، بمساحة ١٨٧٧٢.٧١ كم^٢ بنسبة ٢٤.٢٣٪ من إجمالي مساحة المنطقة. ويغطي نطاق الملاءمة المعتدلة لمحطات الطاقة حيث يتراوح ارتفاع التضاريس بين ١٥٠٠ - ١٠٠٠ م مساحة واسعة من محافظتي تاليث وبيشة، وتضيق مساحة هذه المطاق جنوب النطاق الثاني ليظهر بمحافظات ظهران الجنوب وسراة عبيدة وأبها ورجال المع ومحايل وبارق والمجاردة، بمساحة بلغت ٢٩٧٨٨.٨٨ كم^٢ بنسبة ٣٨.٤٥٪ من إجمالي مساحة منطقة عسير.

ويقع النطاق الذي يتصف بملاءمة عالية لمحطات الطاقة الشمسية حيث يتراوح ارتفاع التضاريس بين ١٠٠٠ - ٥٠٠ م شمال شرق محافظة تاليث وحتوب وجنوب غرب النطاق السابق في محافظات سراة عبيدة وأبها ورجال المع ومحايل وبارق والمجاردة، بمساحة ١١٠٥٩.٣٧ كم^٢ بنسبة ١٤.٢٧٪ من إجمالي مساحة المنطقة. ويبرز نطاق الملاءمة العالية جداً لمحطات الطاقة الشمسية حيث يقل ارتفاع التضاريس عن ٥٠٠ م جنوب غرب وغرب المنطقة ضمن محافظات رجال المع ومحايل والبرك وبارق والمجاردة، بمساحة ٧٣٠١.٥٥ كم^٢ بنسبة ٩.٤٢٪ من إجمالي مساحة منطقة عسير.



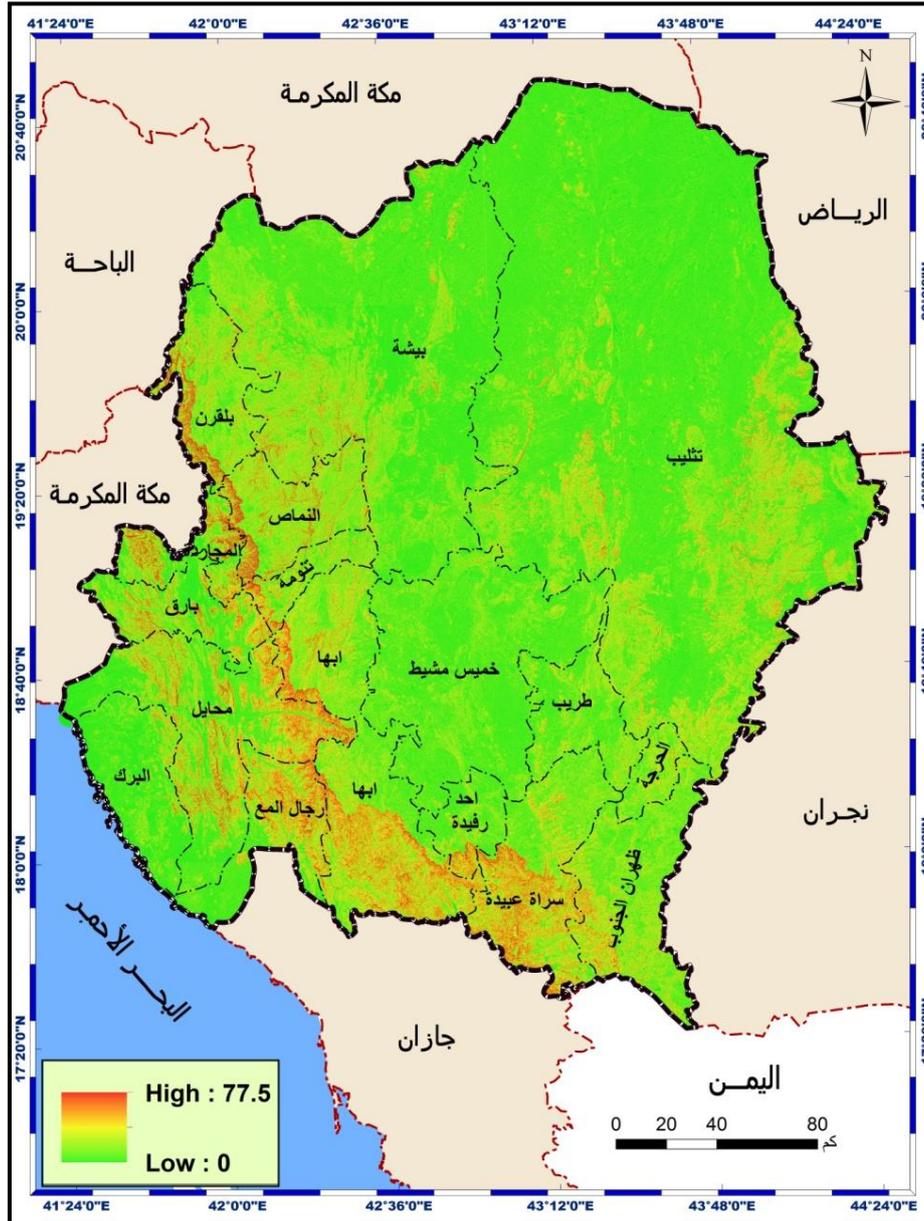
شكل رقم (٣) فئات ملاءمة ارتفاع التضاريس لبناء محطات الطاقة الشمسية في منطقة عسير

المصدر: الباحثة بالاعتماد على الشكل (٢).

(٢) الانحدار:

لا يوجد في الدراسات السابقة أي اتفاق بخصوص درجات الانحدار المقبولة لبناء محطات الطاقة الشمسية (Aly, et al, 2017, p. 161). وبذلك تتصف العلاقة المكانية بين انحدار طبوغرافية سطح الارض والملاءمة المكانية لتشديد محطات الطاقة الشمسية الحرارية بالعكسية، فكلما زاد انحدار التضاريس قلت الملاءمة بسبب صعوبة وصول هذه المناطق وارتفاع تكاليف انشاء المحطات الواسعة ذات قدرات الكبيرة للطاقة.

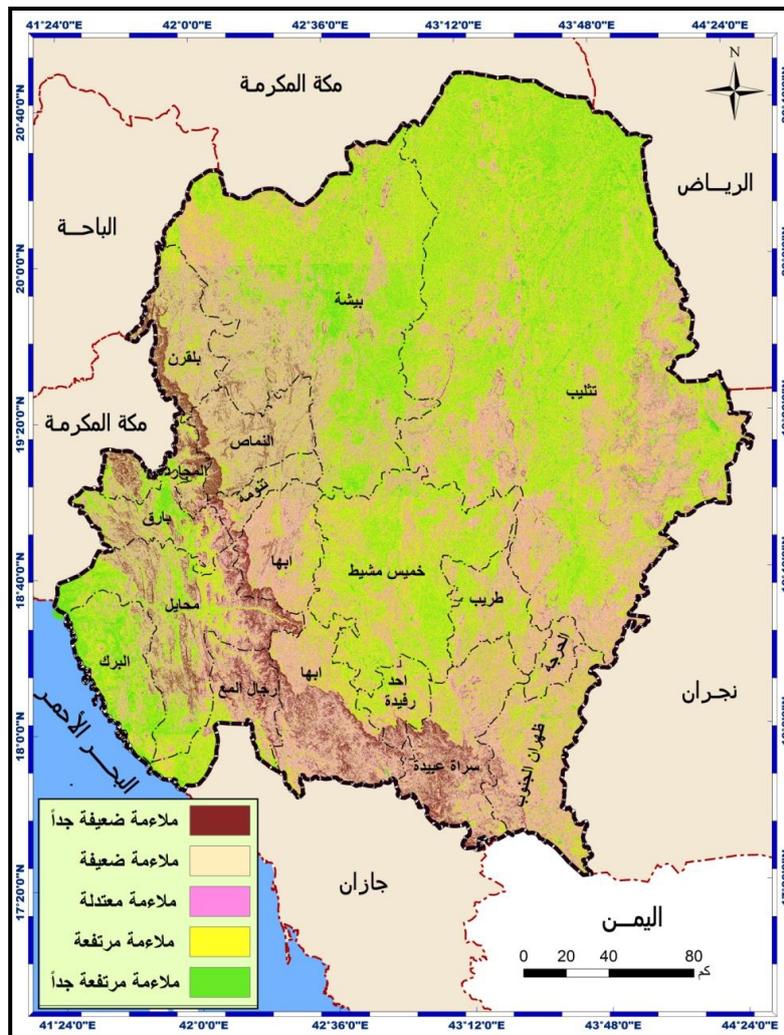
وبذلك يظهر شكل (٤) تباين انحدار تضاريس منطقة عسير وبالتالي تباين ملاءمتها لتحديد أفضل مواقع محطات الطاقة الشمسية الحرارية، لذا فقد تراوح انحدار تضاريس المنطقة بين صفر في المناطق التي تتصف بملاءمة تامة للانحدار في مناطق متفرقة شمال ووسط وغرب المنطقة إلى 77.5° درجات في المناطق التي تتصف بعدم ملاءمتها وذلك ضمن سلسلة المرتفعات العالية وسط منطقة عسير، بمتوسط مكاني لدرجات انحدار تضاريس منطقة عسير بلغت 8.9° درجات.



شكل رقم (٤) درجات انحدار التضاريس في منطقة عسير

المصدر: الباحثة بالاعتماد على بيانات القمر الصناعي (SRTM).

وتبين نتائج تحديد مدى ملائمة انحدار تضاريس المنطقة لمحطات الطاقة الشمسية في منطقة عسير شكل (٥) وقوع المنطقة ذات الملاءمة الضعيفة جداً لمحطات الطاقة الشمسية حيث تتجاوز درجات الانحدار 30° درجة ضمن سلسلة الجبال المرتفعة الممتدة من جنوب شرق وحتى شمال غرب المنطقة، بمساحة 3914.66 كم^٢ بنسبة 5.05% من إجمالي مساحة المنطقة. ويقع نطاق الملاءمة الضعيفة لمحطات الطاقة الشمسية حيث تتراوح درجات الانحدار بين $30^\circ - 16^\circ$ درجة بمحاذاة النطاق الأول من الجنوب والشمال والغرب ويظهر كذلك شرق ووسط منطقة عسير، بمساحة 10581.03 كم^٢ بنسبة 13.65% من إجمالي مساحة المنطقة. وينتشر النطاق الذي يتسم بملاءمة معتدلة لمحطات الطاقة حيث تتراوح درجات الانحدار بين $16^\circ - 8^\circ$ شرق وجنوب ووسط وغرب منطقة عسير، بمساحة بلغت 13867.4 كم^٢ بنسبة 17.9% من إجمالي مساحة منطقة عسير.



شكل رقم (٥) فئات ملائمة انحدار التضاريس لبناء محطات الطاقة الشمسية في منطقة عسير

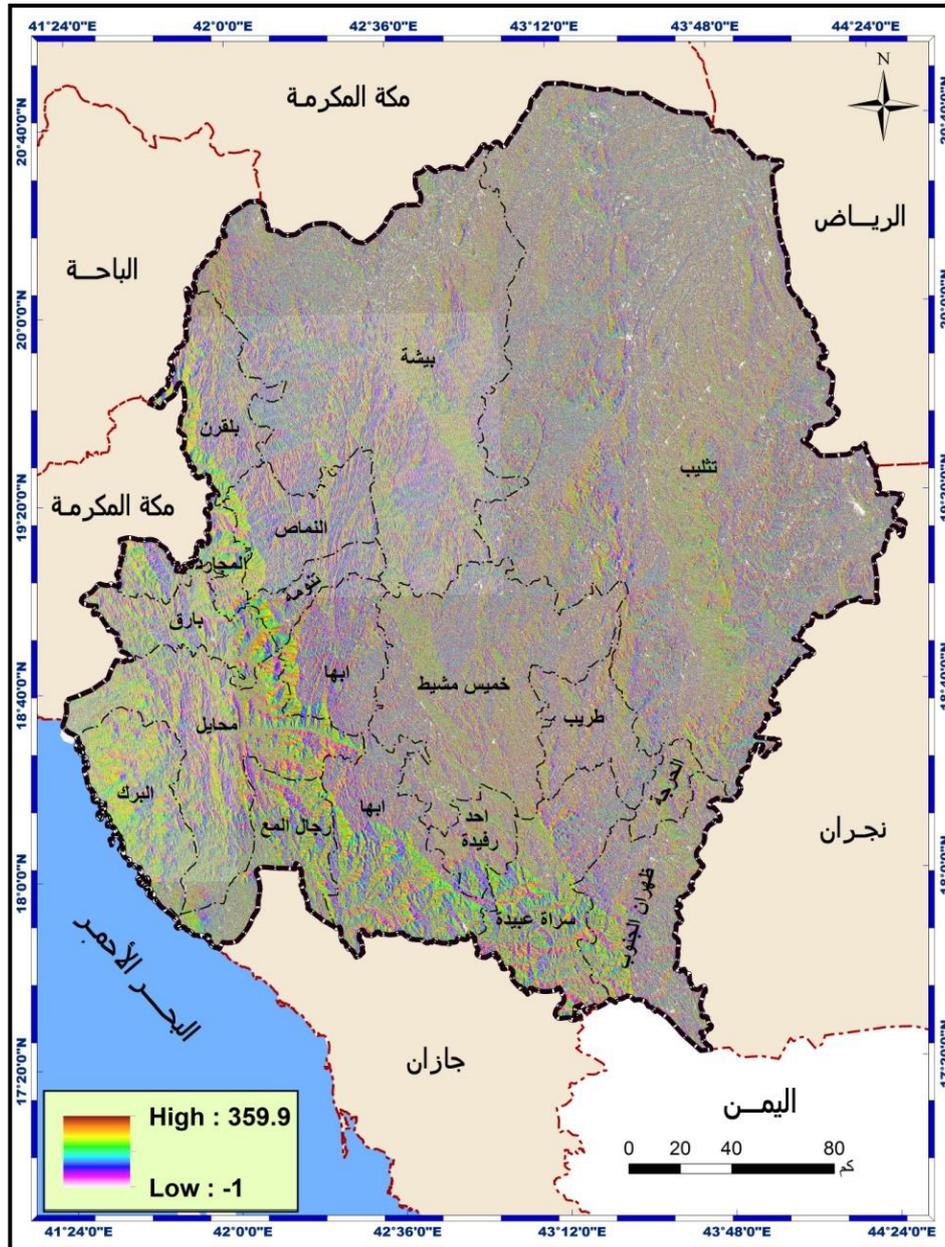
المصدر: الباحثة بالاعتماد على الشكل (٤).

ويظهر نطاق الملاءمة العالية لمحطات الطاقة الشمسية حيث تتراوح درجات الانحدار بين ٨ - ٢° درجة شمال وشمال شرق ووسط وشمال غرب وجنوب غرب منطقة عسير، بمساحة ٣٠٤١٤.٧٥ كم^٢ بنسبة ٢٩.٢٦٪ من إجمالي مساحة المنطقة. ويقع نطاق الملاءمة العالية جداً لمحطات الطاقة الشمسية في المناطق المستوية وشبه المستوية حيث تقل درجات الانحدار بين ٢° درجة شمال ووسط وجنوب غرب منطقة عسير، بمساحة ١٨٦٩٩.٦١ كم^٢ بنسبة ٢٤.١٤٪ من إجمالي مساحة منطقة عسير.

(٣) اتجاه التضاريس:

تحدد اتجاه التضاريس مدة بقاء الاشعاع الشمسي في أي منطقة، وهذا يؤثر في تحديد افضل مواقع محطات الطاقة الشمسية، وبالتالي تعتبر المناطق المستوية (Flat) والجنوبية من افضل مواقع محطات الطاقة، وتعتبر التضاريس المواجه للشمال اقل ملاءمة لبناء محطات الطاقة الشمسية. وقد فضلت دراستي (Al Garni and Awasthi, 2017, Kocabaldir and Yucel, 2020) أن يكون للتضاريس واجهة جنوبية من أجل الاستفادة القصوى من الطاقة الشمسية.

وبذلك تظهر نتائج تحليل اتجاه التضاريس في منطقة عسير شكل (٦) مواجهة تضاريس المنطقة لجميع الاتجاهات وبذلك فقد تتراوح اتجاه التضاريس بين ١° للمناطق المستوية (Flat) الى ٣٥٩.٩° درجة في المناطق المواجهة لاتجاه الشمال الغربي، وبلغ المتوسط المكاني لاتجاه انحدار تضاريس المنطقة ١٥٩.٤° درجة أي ان غالبية المناطق تواجه تضاريسها اتجاه الجنوب الشرقي.

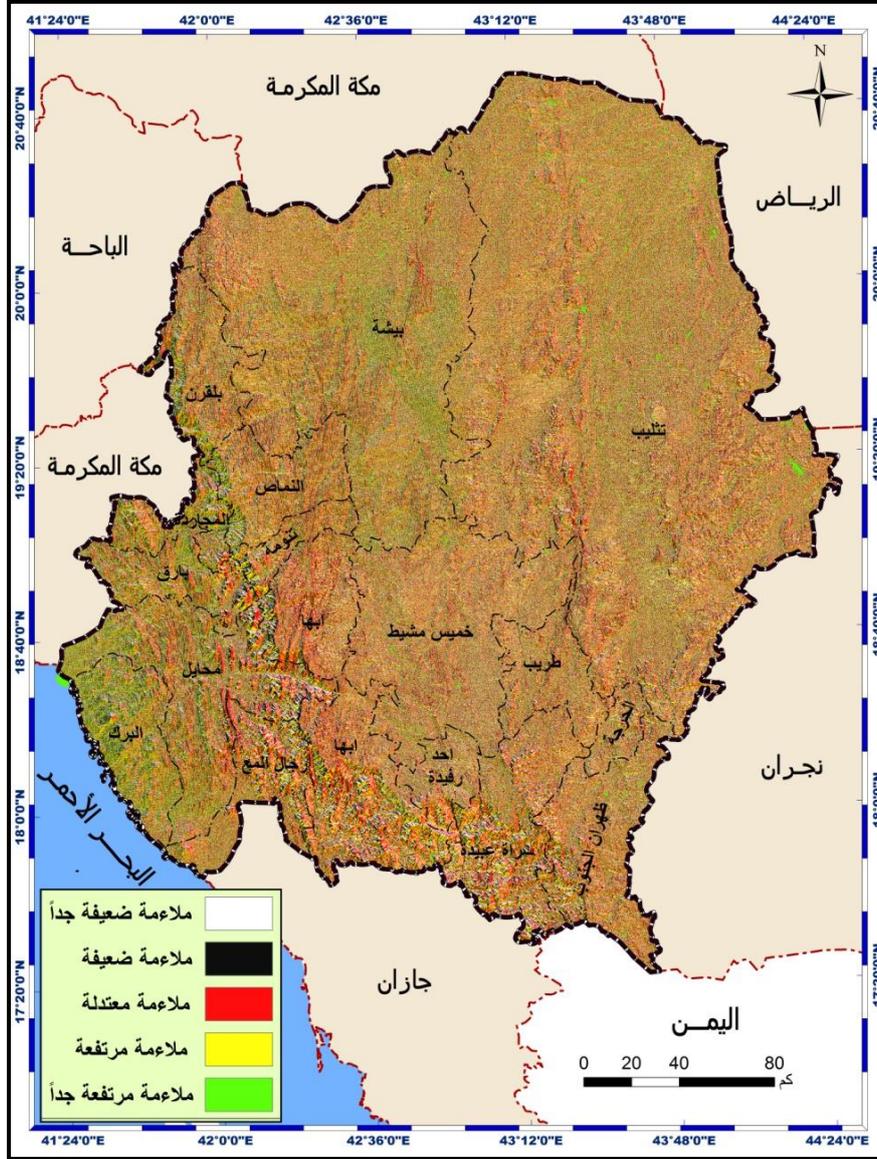


شكل رقم (٦) اتجاه التضاريس في منطقة عسير

المصدر: الباحثة بالاعتماد على بيانات القمر الصناعي (SRTM).

وتبين نتائج تحديد ملاءمة اتجاه انحدار التضاريس في منطقة الدراسة لمحطات الطاقة الشمسية شكل (٧) وقوع نطاق الملاءمة الضعيفة جدا لمحطات الطاقة الشمسية في المناطق المواجهة للشمال بين زاويتي $45^\circ - 315^\circ$ درجة في جميع المحافظات بالذات شمال ووسط وشمال غرب المنطقة، بمساحة 18442.85 كم^٢ بنسبة 23.8% من إجمالي مساحة المنطقة. ويظهر نطاق الملاءمة الضعيفة لمحطات الطاقة الشمسية في اتجاه الغرب حيث تتراوح زاوية اتجاه التضاريس بين $225^\circ - 315^\circ$ درجة في جميع المحافظات بالذات غرب وجنوب غرب وجنوب المنطقة، بمساحة 18231.3 كم^٢ بنسبة 53.53% من إجمالي مساحة

المنطقة. وينتشر نطاق الملاءمة المعتدلة لمحطات الطاقة جهة الشرق حيث تتراوح زاوية اتجاه التضاريس ٤٥ - ١٣٥ جنوب وجنوب غرب وغرب وجنوب شرق وشمال غرب المنطقة، بمساحة بلغت ١٨٣٤٦.٨٨ كم^٢ بنسبة ٢٣.٦٨٪ من إجمالي مساحة منطقة عسير.



شكل رقم (٧) فئات ملاءمة اتجاه التضاريس لبناء محطات الطاقة الشمسية في منطقة عسير

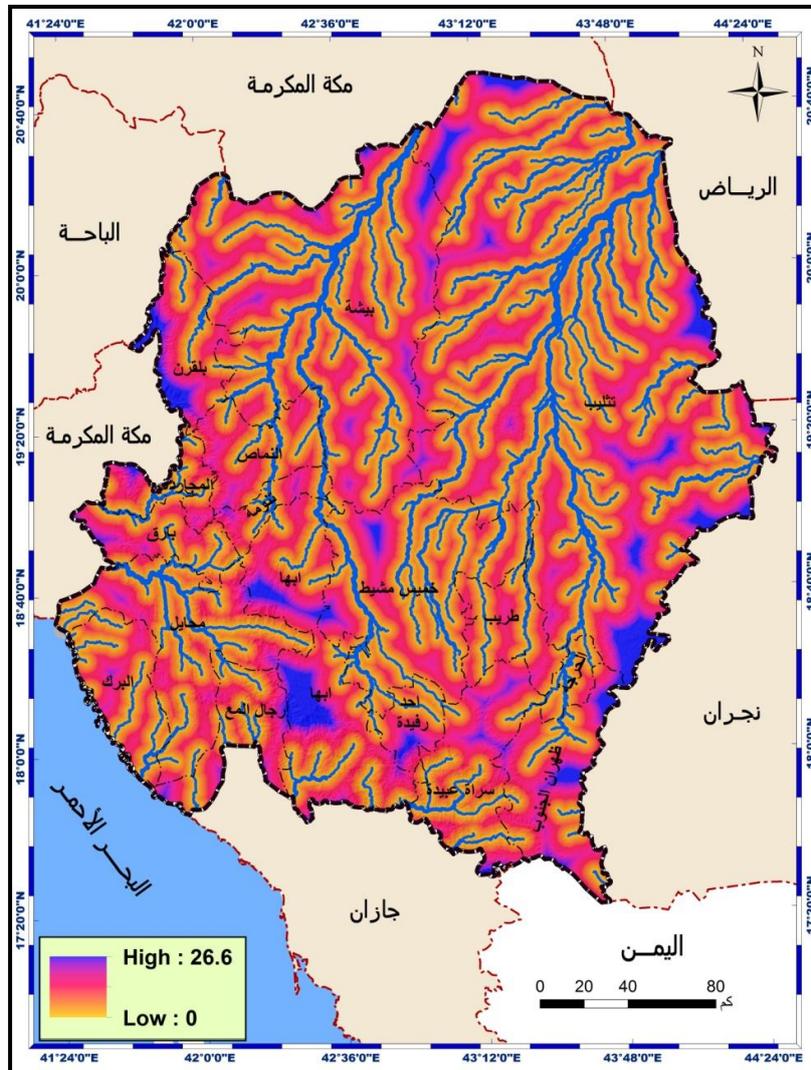
المصدر: الباحثة بالاعتماد على الشكل (٦).

ويظهر نطاق الملاءمة العالي لبناء محطات الطاقة الشمسية شكل (٧) السابق حيث تتجه التضاريس جنوباً بمناطق تراوح زاوية اتجاه التضاريس بين ١٣٥ - ٢٢٥ درجة في جميع محافظات وجهات منطقة الدراسة، بمساحة ١٧٤٢٢.١٥ كم^٢ بنسبة ٢٢.٤٩٪ من إجمالي مساحة المنطقة. ويقع نطاق الملاءمة العالية جداً لمحطات الطاقة الشمسية في المناطق المستوية التي ليس لها أي اتجاه حيث تقل زاوية اتجاه التضاريس عن ١° درجة وتظهر في مختلف المحافظة

حيث الأراضي المستوية في بطون الاودية ومناطق السهول، بمساحة ٥٠٣٤.٧٧ كم^٢ بنسبة ٦.٤٩٪ من إجمالي مساحة منطقة عسير.

٤) البعد من الاودية:

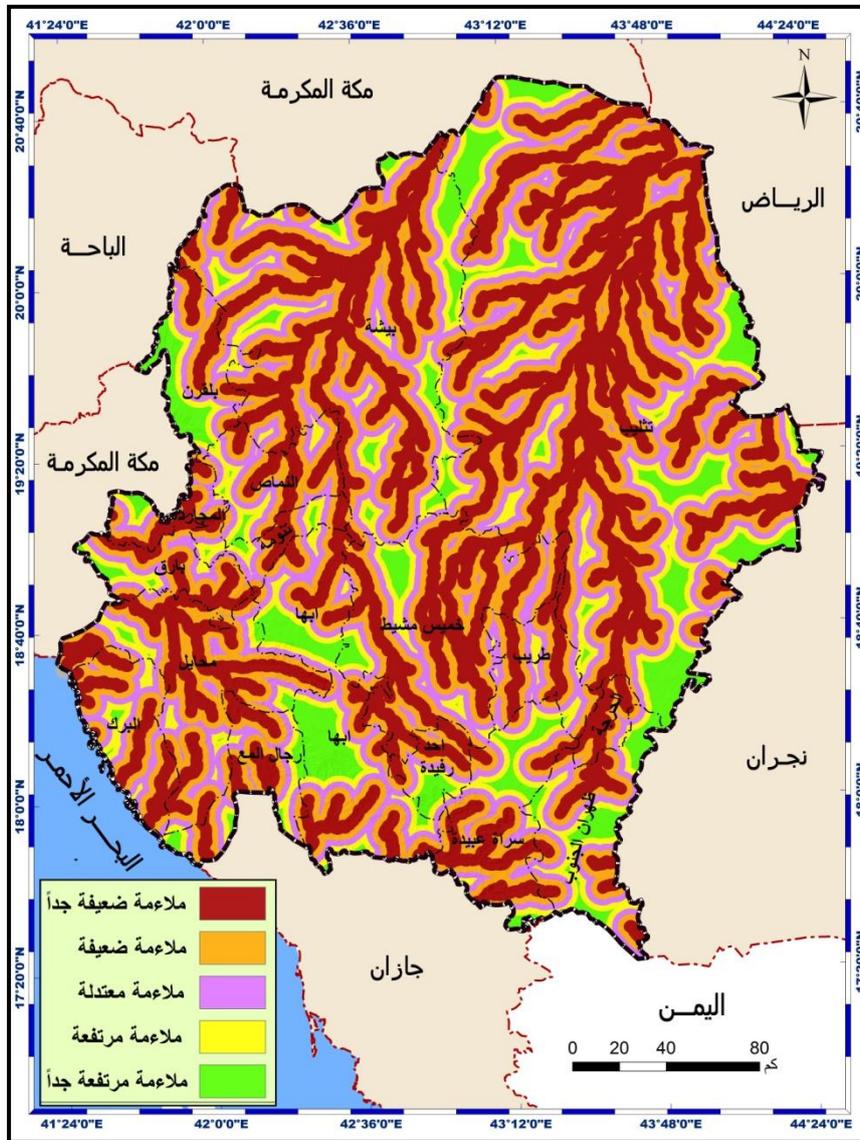
تتصف علاقة افضل المواقع لبناء محطات الطاقة الشمسية بالبعد من مجاري الاودية بالطردية فكلما زاد البعد من مجاري الاودية قلت المخاطر على المحطة كما تقل الاثار البيئية للمحطة على هذه المناطق التي تتصف عادة بترب خصبة وانتشار جيد للغطاء النباتي والعكس. وعليه تبين نتائج تحليل توزيع البعد من مجاري الاودية في منطقة عسير شكل رقم (٨) تراوح البعد من صغر في بطون الاودية كحد ادنى الى ٢٦.٦ كم كحد اعلى للبعد، بمتوسط مكاني على مستوى المنطقة ٤.٤ كم.



شكل رقم (٨) البعد من مجاري الاودية في منطقة عسير

المصدر: الباحثة بالاعتماد على بيانات القمر الصناعي (SRTM).

وتظهر نتائج تحديد ملاءمة منطقة الدراسة لبناء محطات الطاقة الشمسية حسب البعد من مجاري الاودية شكل (٩) خمسة نطاقات الاول يتصف بملاءمة ضعيفة جدا لبناء محطات الطاقة وذلك حيث يقل البعد من مجاري الاودية عن ٢.٥ كم، بمساحة ٢٧٨٠٩.٨٩ كم^٢ بنسبة ٣٥.٩٪ من إجمالي مساحة المنطقة. ويتسم الثاني بملاءمة ضعيفة لمحطات الطاقة حيث يتراوح البعد من مجاري الاودية بين ٢.٥ - ٥ كم، بمساحة بلغت ٢٠٩٤٧.٨٧ كم^٢ بنسبة ٢٧.٠٤٪ من إجمالي مساحة المنطقة. ويمتد نطاق الملاءمة المعتدلة لمحطات الطاقة حيث يتراوح البعد من مجاري الاودية بين ٥ - ٧.٥ كم، بمساحة بلغت ١٤٣٢٧.٤٥ كم^٢ بنسبة ١٨.٥٪ من إجمالي مساحة منطقة عسير.



شكل رقم (٩) فئات ملاءمة البعد من الاودية لبناء محطات طاقة شمسية في منطقة عسير

المصدر: الباحثة بالاعتماد على الشكل (٨).

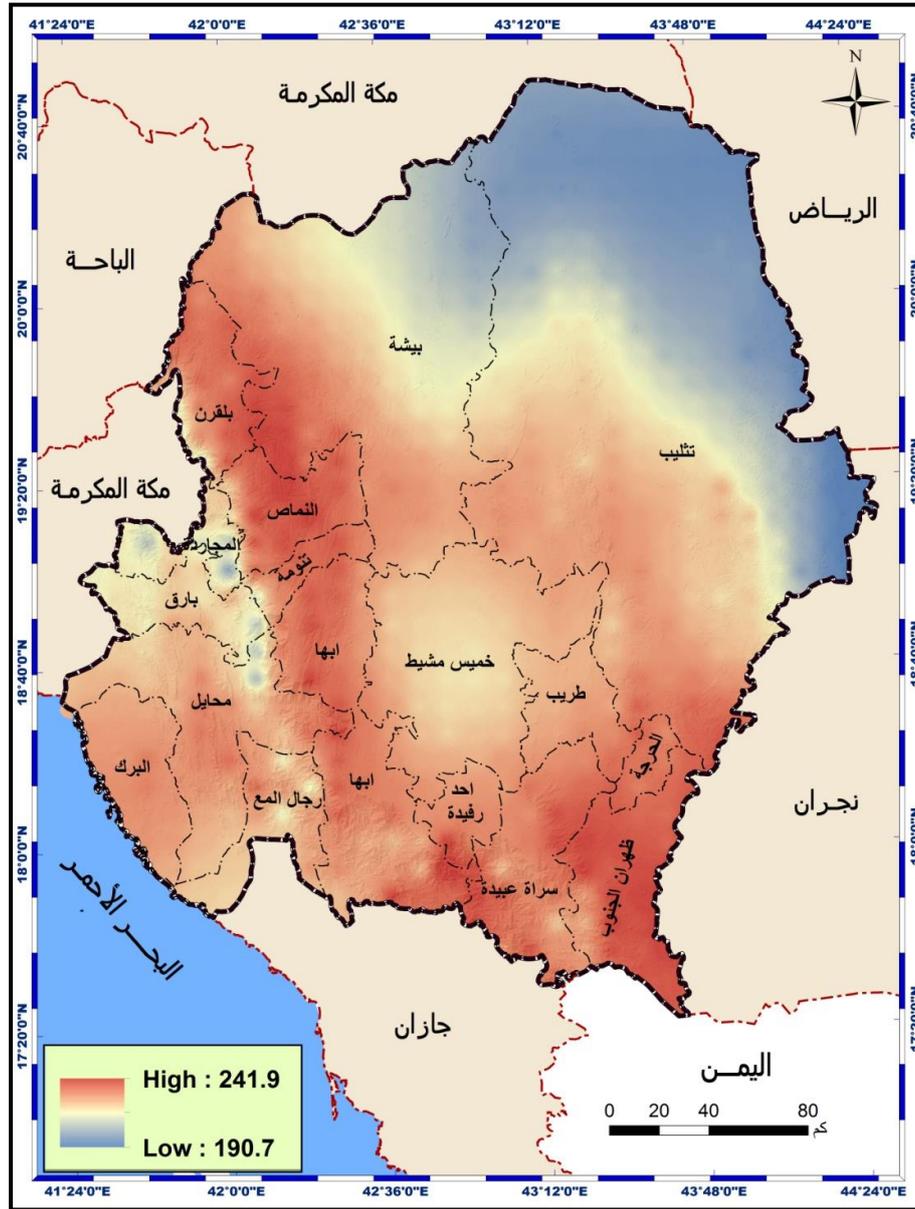
ويقع نطاق الملاءمة المرتفعة لبناء محطات الطاقة الشمسية حيث يتراوح البعد من مجاري الأودية بين ٧.٥ - ١٠ كم، بمساحة بلغت ٨٢٦٤.٩٢١ كم^٢ بنسبة ١٠.٦٦٪ من إجمالي مساحة المنطقة. ويظهر نطاق الملاءمة المرتفعة جداً لمحطات الطاقة الشمسية حيث يتجاوز البعد من مجاري الأودية ١٠ كم، بمساحة بلغت ٦١٢٧.٨٢٧ كم^٢ بنسبة ٧.٩٪ من إجمالي مساحة منطقة عسير.

(ب) معايير مناخية:

(١) معدل الإشعاع الشمسي:

يعتبر معدل الإشعاع الشمسي أولى محددات تحديد أفضل المواقع لمحطات الطاقة الشمسية الحرارية فالعلاقة بينهما تتسم بالطردية فكلما زاد معدل الإشعاع زادت الملاءمة المكانية لأفضل مواقع محطات الطاقة الشمسية، تعد قيمة الإشعاع الشمسي من أهم المعايير (Nguyen & Pearce, 2011, p.831).

وبذلك تظهر نتائج تحليل توزيع المعدل الشهري للإشعاع الشمسي في منطقة عسير بين عامي ٢٠٠٠ - ٢٠٢٣ شكل رقم (١٠) تراوح معدل الإشعاع الشمسي بين ١٩٠.٧ واط/م^٢ شمال شرق المنطقة الى ٢٤١.٩ واط/م^٢ جنوب وجنوب شرق بمتوسط على المستوى المكاني لمنطقة عسير بلغ خلال هذه المدة ٢١٩.٦ واط/م^٢.

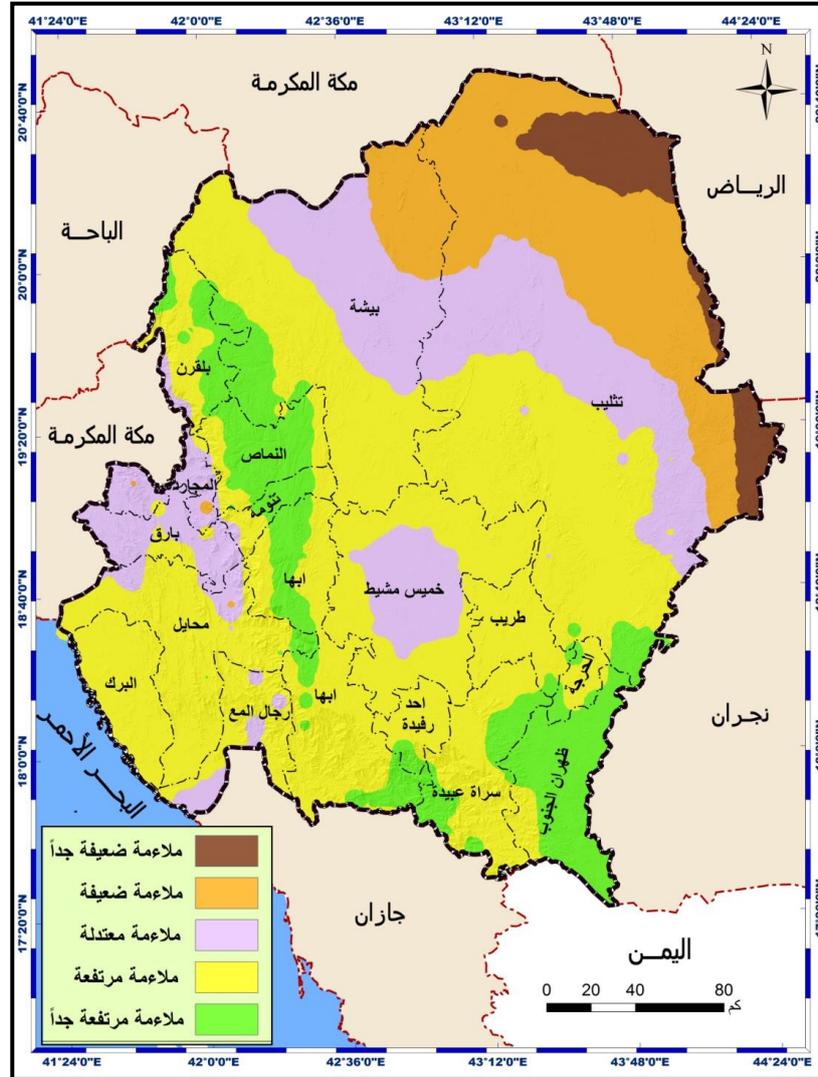


شكل رقم (١٠) الإشعاع الشمسي في منطقة عسير بين عامي ٢٠٠٠ - ٢٠٢٣

المصدر: الباحثة بالاعتماد على بيانات القمر الصناعي (Fidas).

وتؤكد نتائج تصنيف معدل الإشعاع الشمسي شكل (١١) وقوع الفئة الأولى التي تتصف بملاءمة ضعيفة جداً لإقامة محطات طاقة شمسية حيث يقل معدل الإشعاع عن ٢٠٠ واط/م^٢ شرق وشمال شرق محافظة تثليث، بمساحة بلغت ٢٩٩٩.٤ كم^٢ بنسبة ٣.٨٧٪ من إجمالي مساحة المنطقة. ويظهر النطاق الثاني الذي يتصف بملاءمة ضعيفة لإقامة محطات الطاقة الشمسية حيث يتراوح معدل الإشعاع بين ٢٠٠ - ٢١٠ واط/م^٢ شمال وشرق محافظة تثليث وشمال شرق محافظة بيشة، بمساحة بلغت ١١٦٣٥.٧٥ كم^٢ بنسبة ١٥.٠١٪ من إجمالي مساحة المنطقة. ويبرز نطاق الملاءمة المعتدلة لإقامة محطات الطاقة حيث يتراوح

معدل الأشعاع بين ٢١٠ - ٢٢٠ واط/م^٢ وسط محافظات تثليث وبيشة وخميس مشيط وفي بارق والمجاردة وجنوب غرب رجال المع، بمساحة بلغت ١٥٧١١.٠٨ كم^٢ بنسبة من إجمالي مساحة المنطقة.



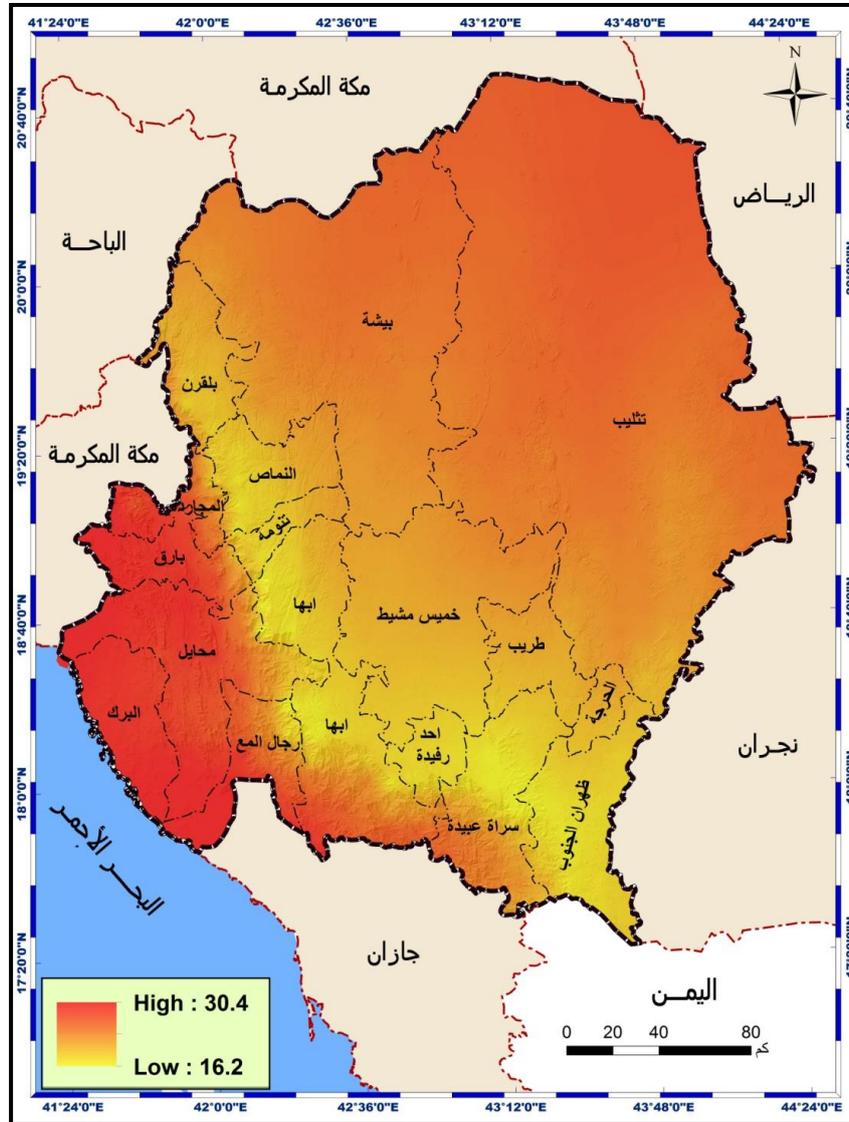
شكل رقم (١١) فئات ملاءمة الإشعاع الشمسي لبناء محطات الطاقة الشمسية في منطقة عسير

المصدر: الباحثة بالاعتماد على الشكل (١٠).

ويغطي نطاق الملاءمة المرتفعة لإقامة محطات طاقة شمسية حيث يتراوح الأشعاع بين ٢٢٠ - ٢٣٠ واط/م^٢ غالبية المحافظات وسط وجنوب وشمال غرب منطقة الدراسة، بمساحة ٣٧٤٩٦.٤٥ كم^٢ بنسبة من إجمالي المساحة. ويظهر نطاق الملاءمة المرتفعة جداً لمحطات طاقة شمسية حيث يتجاوز الأشعاع بين ٢٣٠ واط/م^٢ جنوب شرق وجنوب ووسط شمال غرب المنطقة، بمساحة ٩٦٣٥.٢٧ كم^٢ بنسبة ١٢.٤٣٪ من إجمالي مساحة منطقة عسير.

(٢) الحرارة:

تعد الحرارة العالية من المؤشرات ذات الملاءمة العالية لمحطات الطاقة الشمسية فالعلاقة بين الحرارة والمواقع الملائمة لها تتسم بالطردية، وعليه أظهرت نتائج التحليل المكاني لتوزيع المعدل السنوي لدرجات الحرارة في منطقة عسير بين عامي ٢٠٠٠ - ٢٠٢٣ شكل رقم (١٢) تراوح معدل الحرارة بين 16.2° م في السلسلة الجبلية الأكثر ارتفاعا الممتدة من جنوب شرق محافظة ظهران الجنوب حتى غرب محافظتي النماص وبلقرن الى 30.4° م في المنطقة الساحلية جنوب غرب منطقة عسير بمتوسط مكاني على مستوى منطقة عسير بلغ خلال هذه المدة 24° م.

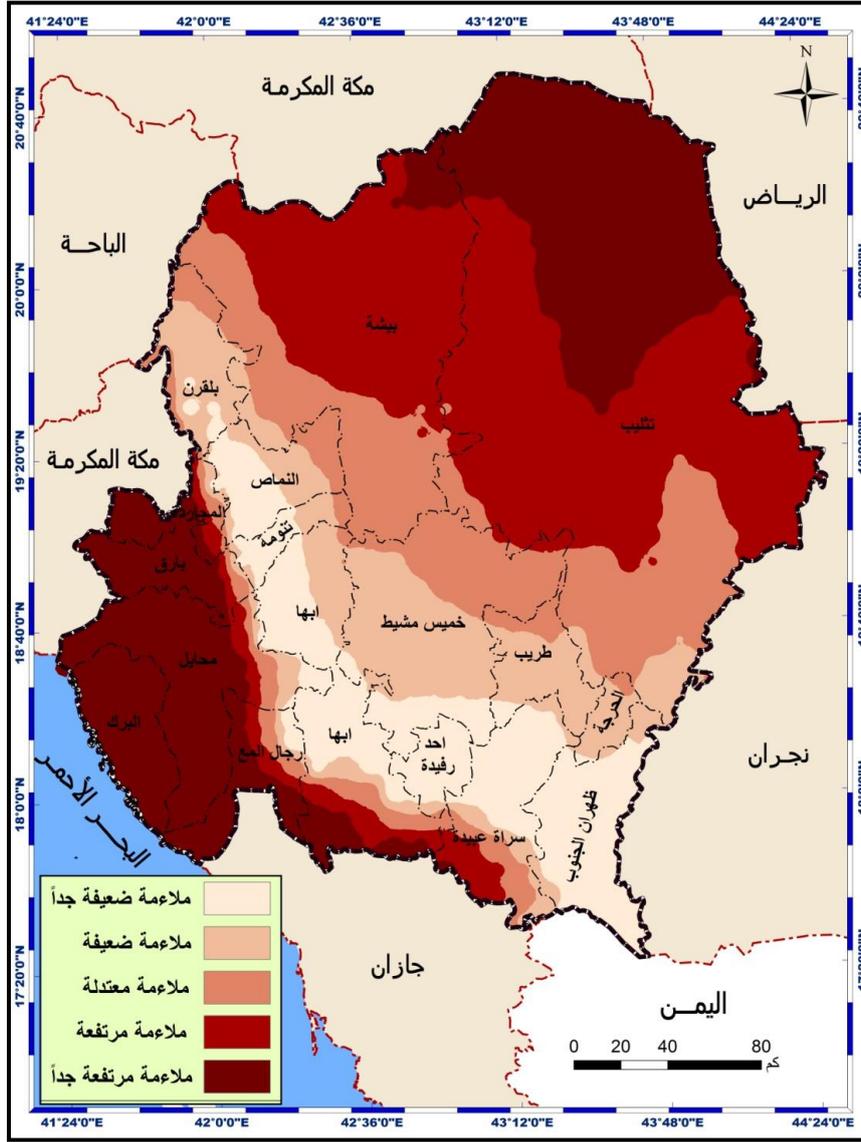


شكل رقم (١٢) معدل درجات الحرارة في منطقة عسير بين عامي ٢٠٠٠ - ٢٠٢٣

المصدر: الباحثة بالاعتماد على بيانات القمر الصناعي (Fidas).

وتبين نتائج كشف ملاءمة درجات الحرارة تصنيف لإقامة محطات الطاقة الشمسية في المنطقة شكل (١٣) وقوع النطاق الذي يتسم بملاءمة ضعيفة جداً لمحطات الطاقة الشمسية حيث تقل درجات الحرارة عن 20° م ضمن لسلة الجبال العالية من جنوب شرق محافظة ظهران الجنوب عبر سراة عبيدة واحد رفيده وأبها ووسط تنمومة والنماص وبلقرن، بمساحة 10429.25 كم^٢ بنسبة 13.46% من إجمالي مساحة المنطقة. ويقع نطاق الملاءمة الضعيفة لمحطات الطاقة حيث تتراوح الحرارة بين 22° - 20° م بمحاذاة النطاق الأول من الجنوب والجنوب الغربي عبر محافظات ظهران الجنوب وسراة عبيدة واحد رفيده وأبها وغرب تنمومة وبلقرن ومن شمال النطاق السابق عبر محافظات ظهران الجنوب وسراة عبيدة والحرجة وطريب وخميس مشيط حتى شرقي النماص وبلقرن، بمساحة 10442.01 كم^٢ بنسبة 13.48% من إجمالي مساحة المنطقة. ويغطي نطاق الملاءمة المعتدلة لمحطات الطاقة حيث تتراوح الحرارة بين 24° - 22° م جنوب محافظة تثليث وشمال طريب والخميس وجنوب وجنوب غرب محافظة بيشة، ويمتد على شكل حزام ضيق جنوب النطاق السابق عبر محافظات ظهران الجنوب وسراة عبيدة وأبها ورجال المع ومحايل وبارق والمجاردة، بمساحة بلغت 13940.28 كم^٢ بنسبة 18% من إجمالي مساحة منطقة عسير.

ويقع نطاق الملاءمة المرتفعة لمحطات الطاقة الشمسية حيث تتراوح الحرارة بين 24° - 26° م شرق ووسط محافظة تثليث وشمال وشمال غرب بيشة ويمتد على شكل حزام ضيق جنوب النطاق السابق عبر محافظات سراة عبيدة وأبها ورجال المع ومحايل وبارق والمجاردة، بمساحة 22338.95 كم^٢ بنسبة 28.84% من إجمالي مساحة منطقة الدراسة. ويبرز نطاق الملاءمة المرتفعة جداً لمحطات الطاقة الشمسية حيث تتجاوز الحرارة 26° م شمال محافظتي تثليث وبيشة وجنوب أبها وجنوب غرب وغرب محافظات رجال المع ومحايل والبرك وبارق والمجاردة، بمساحة 20327.48 كم^٢ بنسبة 26.24% من إجمالي مساحة منطقة عسير.

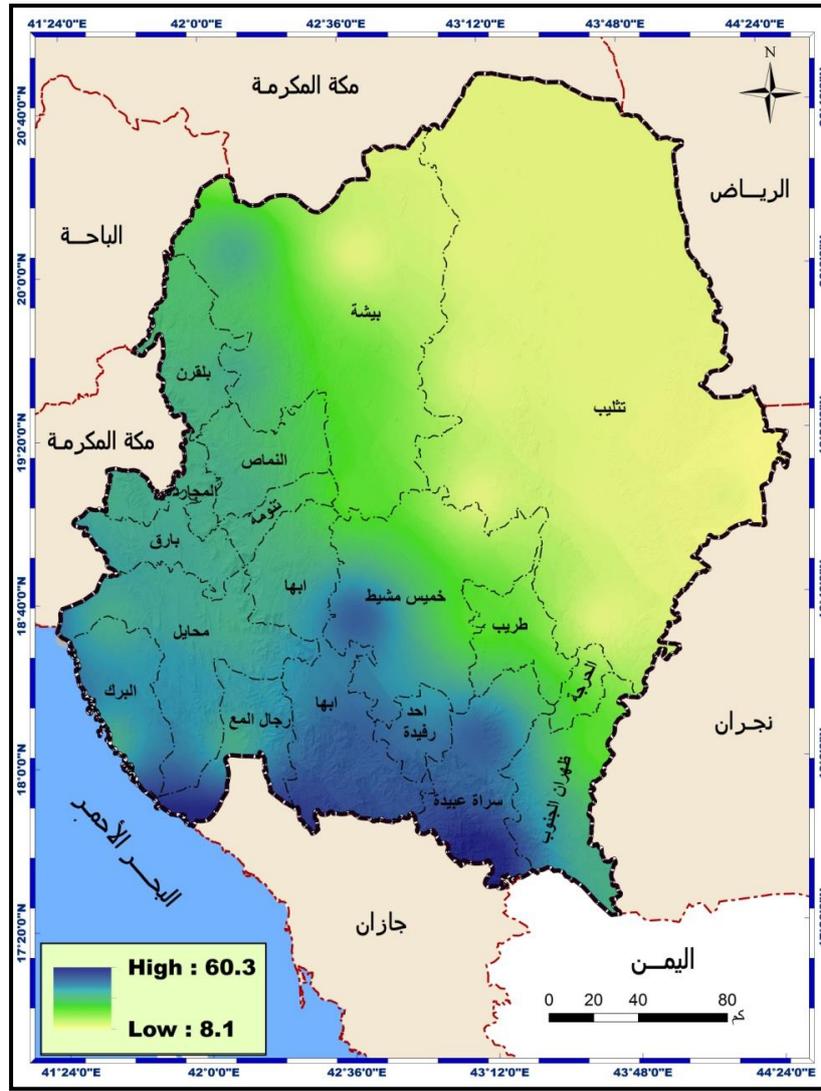


شكل رقم (١٣) فئات ملاءمة الحرارة لبناء محطات الطاقة الشمسية في منطقة عسير

المصدر: الباحثة بالاعتماد على الشكل (١٢).

٣) الأيام الممطرة:

هناك علاقة عكسية بين متغيري عدد الايام الممطرة سنوياً والمواقع المثالية لمحطات الطاقة الشمسية الحرارية عكسية، فزيادة عدد الايام تقلل من امكانيات استغلال أي منطقة للطاقة الشمسية والعكس، وعليه أظهرت نتائج التحليل المكاني لتوزيع عدد الايام الممطرة في منطقة عسير بين عامي ٢٠٠٠ - ٢٠٢٣ شكل (١٤) تتراوح عدد الايام الممطرة بين ٨.١ يوم سنوياً شمال وشمال شرق المنطقة بمحافظة تثليث الى ٦٠.٣ يوم سنوياً جنوب وجنوب غرب منطقة عسير بمتوسط مكاني على مستوى المنطقة بلغ خلال هذه المدة ٢٥.٧ يوم سنوياً.

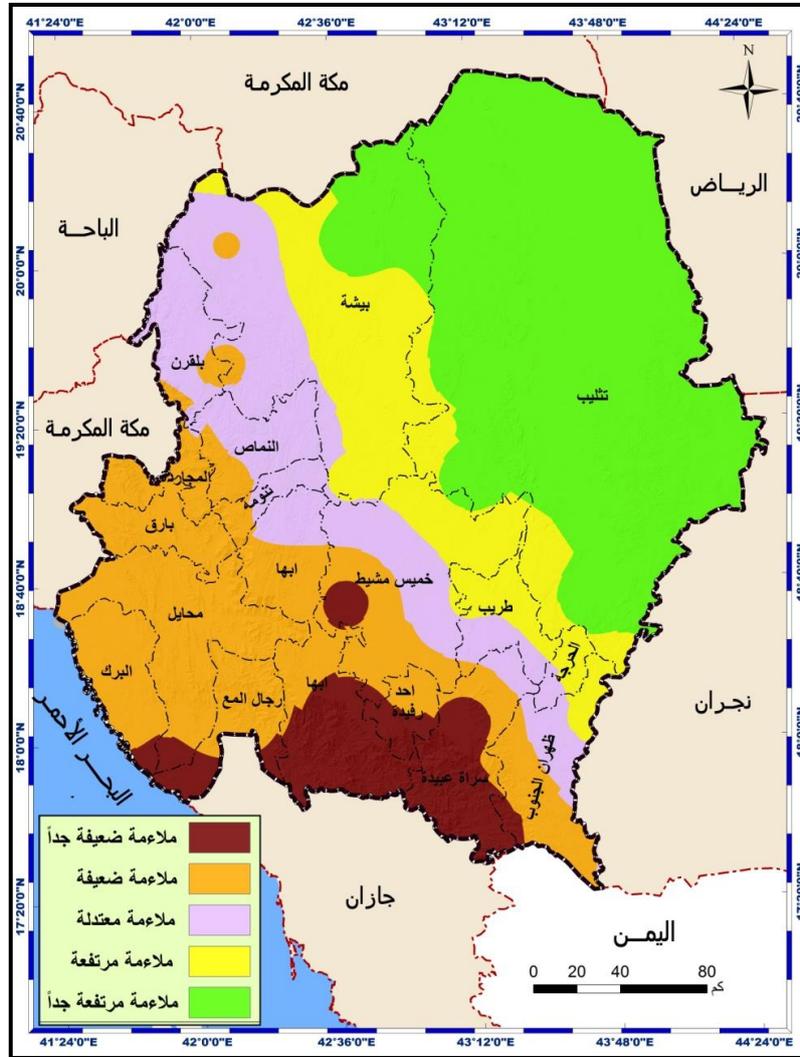


شكل رقم (١٤) عدد الايام الممطرة سنوياً في منطقة عسير بين عامي ٢٠٠٠ - ٢٠٢٣

المصدر: الباحثة بالاعتماد على بيانات القمر الصناعي (MERRA).

وتوضح نتائج كشف ملاءمة عدد الايام الممطرة سنوياً لبناء محطات الطاقة الشمسية في المنطقة شكل (١٥) وقوع النطاق الذي يتسم بملاءمة ضعيفة جداً لمحطات الطاقة حيث تزيد عدد الايام الممطرة عن ٤٥ يوم سنوياً جنوب وجنوب غرب المنطقة بمحافظات ظهران الجنوب وسراة عبيدة واحد رفيدة وابها وجنوب غرب محائل ورجال المع وجنوب شرق البرك، بمساحة ٦٥٧٠.٦٧ كم^٢ بنسبة ٨.٤٨٪ من إجمالي مساحة المنطقة. ويبرز نطاق الملاءمة الضعيفة لمحطات الطاقة حيث تتراوح عدد الايام الممطرة بين ٤٥ - ٣٥ يوم سنوياً جنوب شرق وجنوب غرب المنطقة ضمن محافظات ظهران الجنوب وسراة عبيدة واحد رفيدة وأبها وخميس مشيط ورجال المع ومحائل والبرك وتثومة والنماص والمجاردة وبارق، بمساحة ١٨٢٢٥.٩٧ كم^٢ بنسبة ٢٣.٥٢٪ من إجمالي مساحة المنطقة. ويمتد نطاق الملاءمة

المعتدلة لمحطات الطاقة الشمسية حيث تتراوح عدد الايام الممطرة بين ٣٥ - ٢٥ يوم سنوياً من جنوب شرق الى شمال غرب المنطقة ضمن محافظات ظهران الجنوب وسراة عبيدة والحرجة وطريب وخميس مشيط وابها وتتومة والنماص وبيشة وبلقرن، بمساحة ١٢٣٩٢.٥١ كم^٢ بنسبة ١٦٪ من إجمالي مساحة منطقة عسير.



شكل رقم (١٥) فئات ملاءمة عدد الايام الممطرة لمحطات الطاقة الشمسية في منطقة عسير

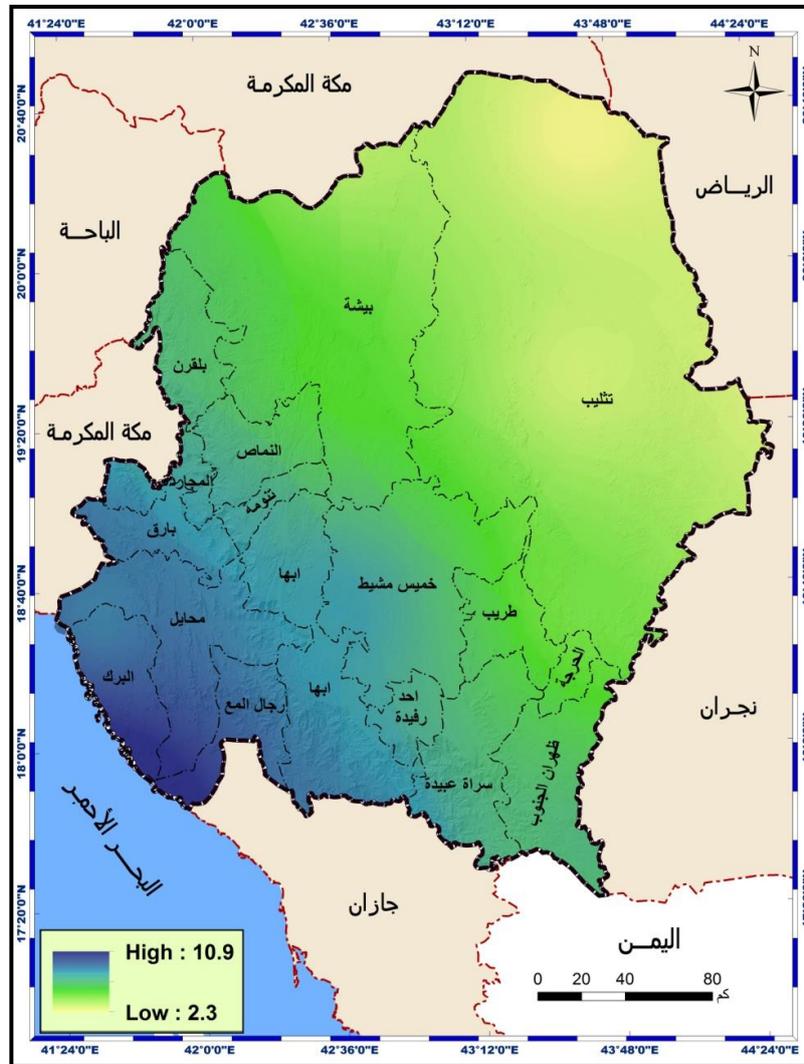
المصدر: الباحثة بالاعتماد على الشكل (١٤).

ويقع نطاق الملاءمة المرتفعة لمحطات الطاقة الشمسية حيث تتراوح عدد الايام الممطرة بين ٢٥ - ١٥ يوم سنوياً بمحافظة ظهران الجنوب وطريب وتثليث وخميس مشيط وبيشة، بمساحة ١١٣٨٦.٩٥ كم^٢ بنسبة ١٤.٦٩٪ من إجمالي مساحة المنطقة. ويغطي نطاق الملاءمة المرتفعة جداً لمحطات الطاقة الشمسية حيث تقل عدد الايام الممطرة عن ١٥ يوم سنوياً

شمال شرق وشمال المنطقة ضمن محافظتي تثليث وبيشة، بمساحة ٢٨٩٠١.٨٥ كم^٢ بنسبة ٣٧.٣٪ من إجمالي مساحة منطقة عسير.

٤) تغطية الغيوم:

تتصف العلاقة المكانية بين عدد ساعات بقاء الغيوم وأفضل مواقع محطات الطاقة الشمسية بالعكسية فكلما زادت مدة بقاء الغيوم قلت كمية الإشعاع الشمسي وبالتالي تتراجع امكانيات المنطقة للطاقة الشمسية، وعليه تبين نتائج تحليل توزيع المتوسط اليومي لعدد ساعات الغيوم في المنطقة للمدة بين عامي ٢٠٠٠ - ٢٠٢٣ شكل رقم (١٦) تراوح معدل المتوسط اليومي خلال هذه المدة بين ٢.٣ ساعة/يوم كحد ادنى شمال وشمال شرق منطقة عسير الى ١٠.٩ ساعة/يوم جنوب غرب منطقة عسير، بمتوسط على المستوى المكاني للمنطقة خلال هذه المدة بلغ ٥.٢ ساعة/يوم.

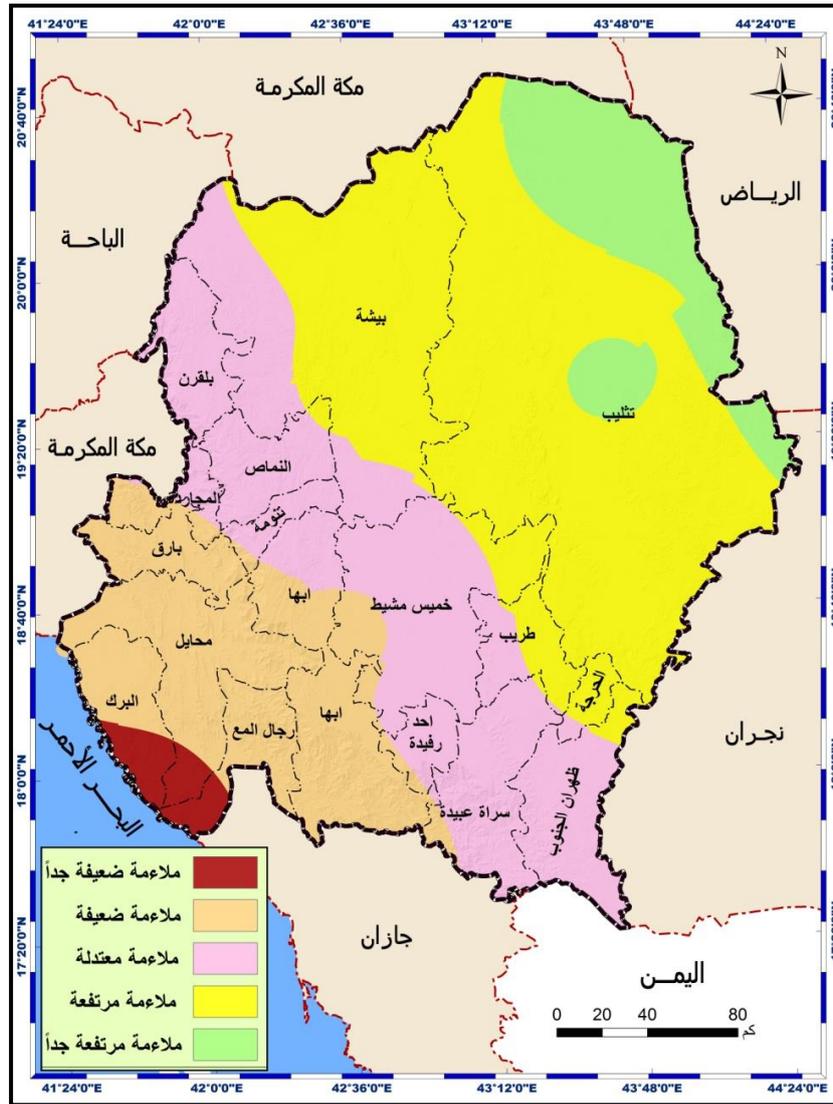


شكل رقم (١٦) متوسط عدد ساعات الغيوم يومياً في منطقة عسير بين عامي ٢٠٠٠ - ٢٠٢٣

المصدر: الباحثة بالاعتماد على بيانات القمر الصناعي (Modis Aqua).

وتظهر نتائج تحديد ملاءمة المنطقة حسب مدة تغطية الغيوم لبناء محطات الطاقة الشمسية شكل (١٧) وقوع النطاق الذي يتسم بملاءمة ضعيفة جداً لمحطات الطاقة الشمسية حيث تتجاوز عدد ساعات تغطية الغيوم عن ٩ ساعات/يوم جنوب غرب المنطقة ضمن محافظات رجال المه ومحائل والبرك، بمساحة ١٥٤٣.٢٥٨ كم^٢ بنسبة ١.٩٩٪ من إجمالي مساحة المنطقة. ويقع نطاق الملاءمة الضعيفة لبناء محطات الطاقة حيث تتراوح عدد ساعات تغطية الغيوم بين ٩ - ٧ ساعات/يوم جنوب غرب منطقة عسير بمحافظة سراة عبيدة واحد رفيدة والخميس وأبها ورجال المع ومحائل والبرك وبارق والمجاردة، بمساحة ١٤٥٤١.٨١ كم^٢ بنسبة ١٨.٧٦٪ من إجمالي مساحة المنطقة. ويمتد نطاق الملاءمة المعتدلة لمحطات الطاقة حيث تتراوح ساعات تغطية الغيوم بين ٧ - ٥ ساعات/يوم من جنوب شرق وحتى وسط وغرب منطقة عسير ضمن محافظات ظهران الجنوب وسراة عبيدة وأحد رفيدة والحرجة وطريب وخميس مشيط وأبها وتتومة والنماص وبيشة والنماص والمجاردة وبلقرن، بمساحة بلغت ٢١٧٦٢.٠٦ كم^٢ بنسبة ٢٨.٠٩٪ من إجمالي مساحة منطقة عسير.

ويقع نطاق الملاءمة المرتفعة لمحطات الطاقة الشمسية حيث تتراوح ساعات تغطية الغيوم بين ٥ - ٣ ساعات/يوم شرق ووسط المنطقة وشمالها الغربي عبر محافظات ظهران الجنوب والحرجة وطريب سراة عبيدة وأبها وخميس مشيط وتثليث وبيشة، بمساحة ٣١٨٨٧.٢٤ كم^٢ بنسبة ٤١.١٦٪ من إجمالي مساحة المنطق. ويبرز نطاق الملاءمة المرتفعة جداً لبناء محطات طاقة شمسية حيث تقل عدد ساعات تغطية الغيوم عن ٣ ساعات/يوم وسط وشمال شرق محافظة تثليث، بمساحة ٧٧٤٣.٥٩ كم^٢ بنسبة ١٠٪ من إجمالي مساحة منطقة الدراسة.



شكل رقم (١٧) فئات ملاءمة ساعات الغيوم لبناء محطات طاقة شمسية في منطقة عسير

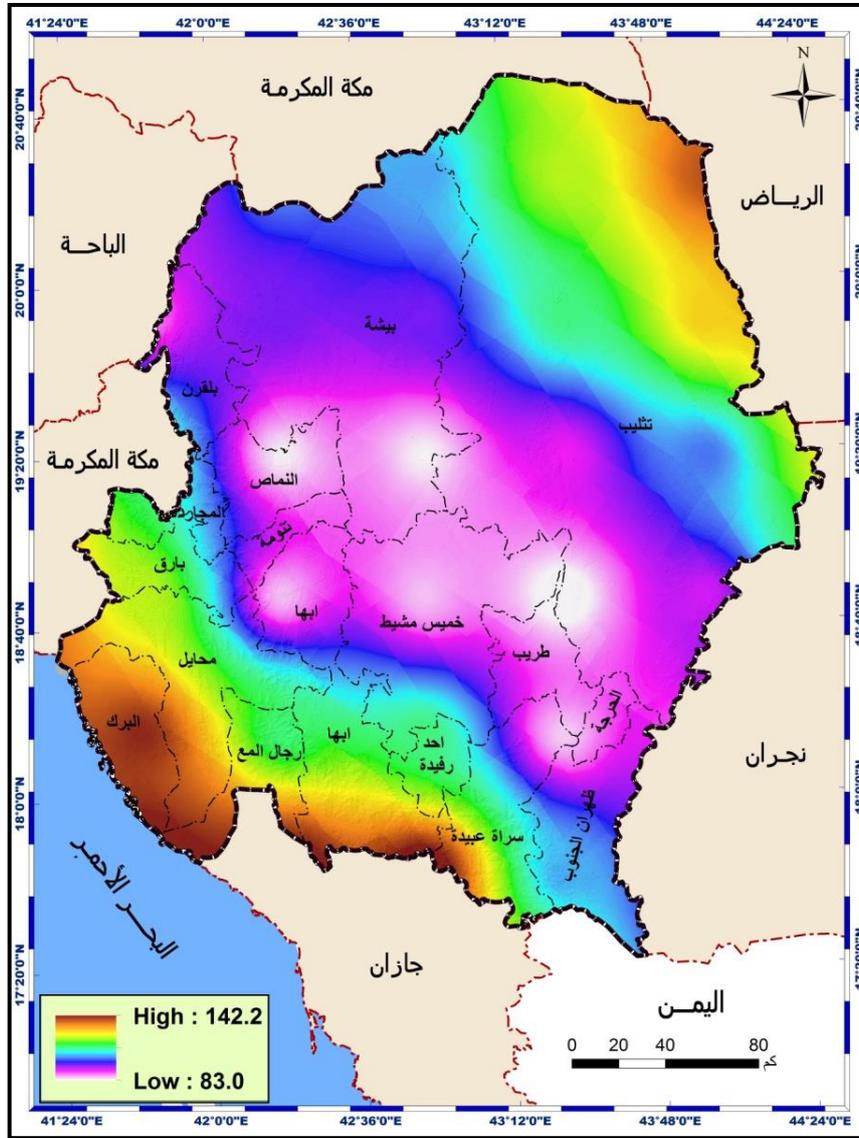
المصدر: الباحثة بالاعتماد على الشكل (١٦).

ج) معايير بيئية:

تمثلت المعايير البيئية في الدراسة بنسبة الهباء الجوي او الغبار المنتشر في الغلاف الجوي والذي يؤثر في كمية الاشعاع الذي يصل سنويا الى سطح الأرض، وبالتالي يؤثر في تباين المواقع الملائمة للطاقة الشمسية، ويتمثل المعيار الاخر باستخدام الارض المستخرجة من صور الأقمار الصناعية، لأن تركيب محطات الطاقة يحتاج إلى مساحات شاسعة لتجنب أي آثار ضارة محتملة على البيئة المحلية والمجتمعات المحيطة. وبالتالي فإن التحديد الأمثل لموقع محطة الطاقة الشمسية يجب أن يأخذ في الاعتبار الحفاظ على الموارد البيئية لتقليل أي ضرر محتمل على البيئة (Yousefi, et al, 2018, p.1648).

(١) انتشار الغبار:

يؤثر انتشار الغبار في الغلاف الجوي في تشتت الاشعاع الشمسي في الغلاف الجوي قبل وصوله الى الألواح الشمسية على سطح الارض مما يقلل من فرصة بناء محطات طاقة شمسية بصورة جيدة والعكس، وعليه تبين نتائج تحليل توزيع المعدل الشهري للغبار (pm_2) في المنطقة خلال المدة بين عامي ٢٠٠٠ - ٢٠٢٣ شكل رقم (١٨) تراوح معدل الغبار بين ٨٣ جرام/م^٢ شهرياً كحد ادنى شمال شرق وجنوب غرب منطقة عسير الى ١٤٢.٢ جرام/م^٢ شهرياً جنوب غرب منطقة عسير، بمتوسط على المستوى المكاني للمنطقة خلال هذه المدة بلغ ١٠٥.٢ جرام/م^٢ شهرياً.

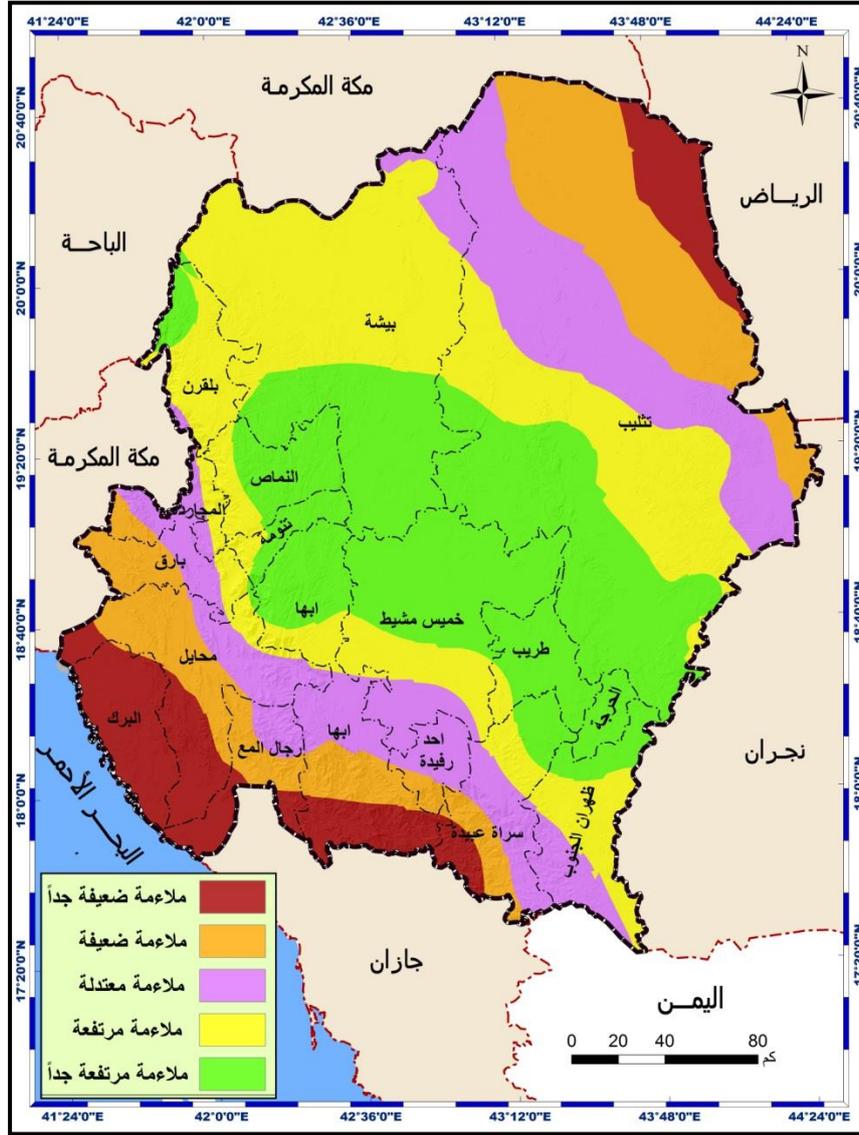


شكل رقم (١٨) انتشار الغبار في الغلاف الجوي بمنطقة عسير بين عامي ٢٠٠٠ - ٢٠٢٣

المصدر: الباحثة بالاعتماد على بيانات القمر الصناعي (MERRA).

وبذلك توصلت نتائج تحديد ملاءمة المنطقة حسب انتشار الغبار في الغلاف الجوي لإقامة محطات طاقة شمسية شكل (١٩) وقوع نطاق الملاءمة الضعيفة جداً لمحطات الطاقة الشمسية حيث يتجاوز معدل الغبار ١٢٥ جرام/م^٢ شهرياً شمال غرب وجنوب غرب المنطقة بمحافظات تثليث ورجال المع ومحايل والبرك وجنوب ابها وغرب سراة عبيدة، بمساحة ٧٦٥٠.٦٩ كم^٢ بنسبة ٩.٨٧٪ من إجمالي مساحة المنطقة. ويبرز نطاق الملاءمة الضعيفة لمحطات الطاقة حيث يتراوح الغبار بين ١٢٥ - ١١٥ جرام/م^٢ شهرياً على شكل حزامين الأول شمال شرق المنطقة بمحافظة تثليث والثاني جنوب وجنوب غرب المنطقة بمحافظات سراة عبيدة واحد رفيده وأبها ورجال المع ومحايل والبرك وبارق والمجاردة، بمساحة ١٢٠٤٨.٨٢ كم^٢ بنسبة ١٥.٥٥٪ من إجمالي مساحة المنطقة. ويبرز نطاق الملاءمة المعتدلة لمحطات الطاقة الشمسية حيث يتراوح الغبار بين ١١٥ - ١٠٥ جرام/م^٢ شهرياً على شكل نطاقين الأول وسط المنطقة بمحافظتي تثليث وبيشة، والثاني جنوب غرب المنطقة بمحافظات ظهران الجنوب وسراة عبيدة واحد رفيده وأبها ورجال المع ومحايل والبرك وبارق والمجاردة وبلقرن، بمساحة بلغت ١٤٩٦٤.٨١ كم^٢ بنسبة ١٩.٣١٪ من إجمالي مساحة منطقة عسير.

ويظهر نطاق الملاءمة المرتفعة لمحطات الطاقة الشمسية حيث يتراوح الغبار بين ١٠٥ - ٩٥ جرام/م^٢ شهرياً على شكل قوس من شرق تثليث الى شمال غرب بيشة ويلتف غرباً بمحافظات بلقرن والنماص والمجاردة وتنومة ثم يتجه شرقاً عبر محافظات ابها وخميس مشيط وطريب وسراة عبيدة وظهران الجنوب والحرجة، بمساحة ٢٠٨٠٧.٩٩ كم^٢ بنسبة ٢٦.٨٦٪ من إجمالي مساحة المنطقة. ويبرز نطاق الملاءمة المرتفعة جداً لبناء محطات الطاقة الشمسية حيث يقل الغبار بين ٩٥ - ١٠٥ جرام/م^٢ شهرياً وسط المنطقة ضمن محافظات تثليث وبيشة وتنومة وابها وخميس مشيط وطريب وسراة عبيدة وظهران الجنوب والحرجة، بمساحة ٢٢٠٠٥.٦٥ كم^٢ بنسبة ٢٨.٤١٪ من إجمالي مساحة منطقة الدراسة.

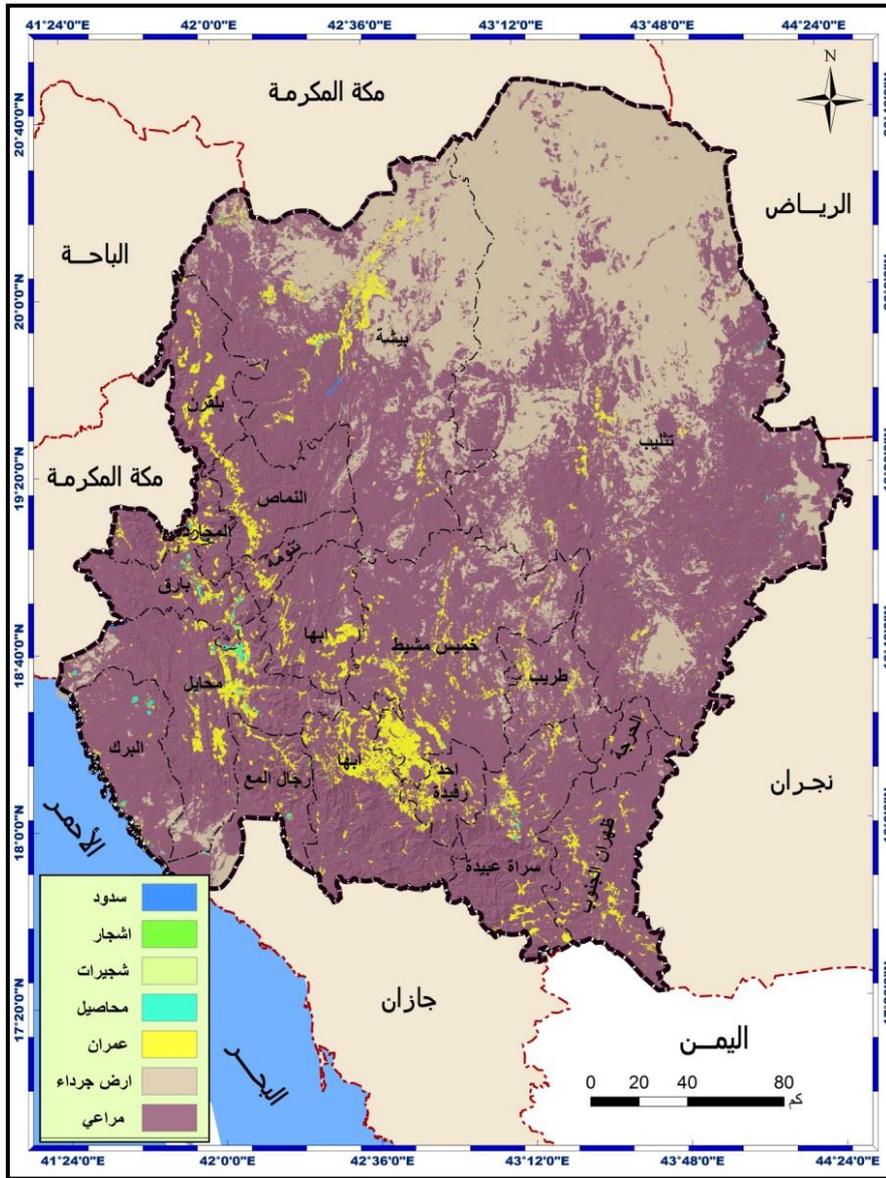


شكل رقم (١٩) فئات ملاءمة انتشار الغبار لبناء محطات طاقة شمسية في منطقة عسير

المصدر: الباحثة بالاعتماد على الشكل (١٨).

(٢) الغطاء الأرضي:

تظهر نتائج تصنيف مرئية سينتال (SENTINEL-2A) للعام ٢٠٢١ شكل (٢٠) تعدد اغطية واستعمالات الارض في منطقة الدراسة، وعليه فقد جاء غطاء المراعي في المرتبة الاولى من حيث المساحة ويغطي أكثر من ثلثي المنطقة ويتركز جنوب وغرب وشرق منطقة عسير، ومن ثم جاءت الاراضي الجرداء في المرتبة الثانية في المساحة بأقل من ثلث المساحة الكلية، وتتواجد شمال ووسط منطقة الدراسة، وبعدها جاء الغطاء العمراني بنسبة ٤.٦٥% ثم جاءت بقية الاغطية الارضية الاخرى بنسب بسيطة.

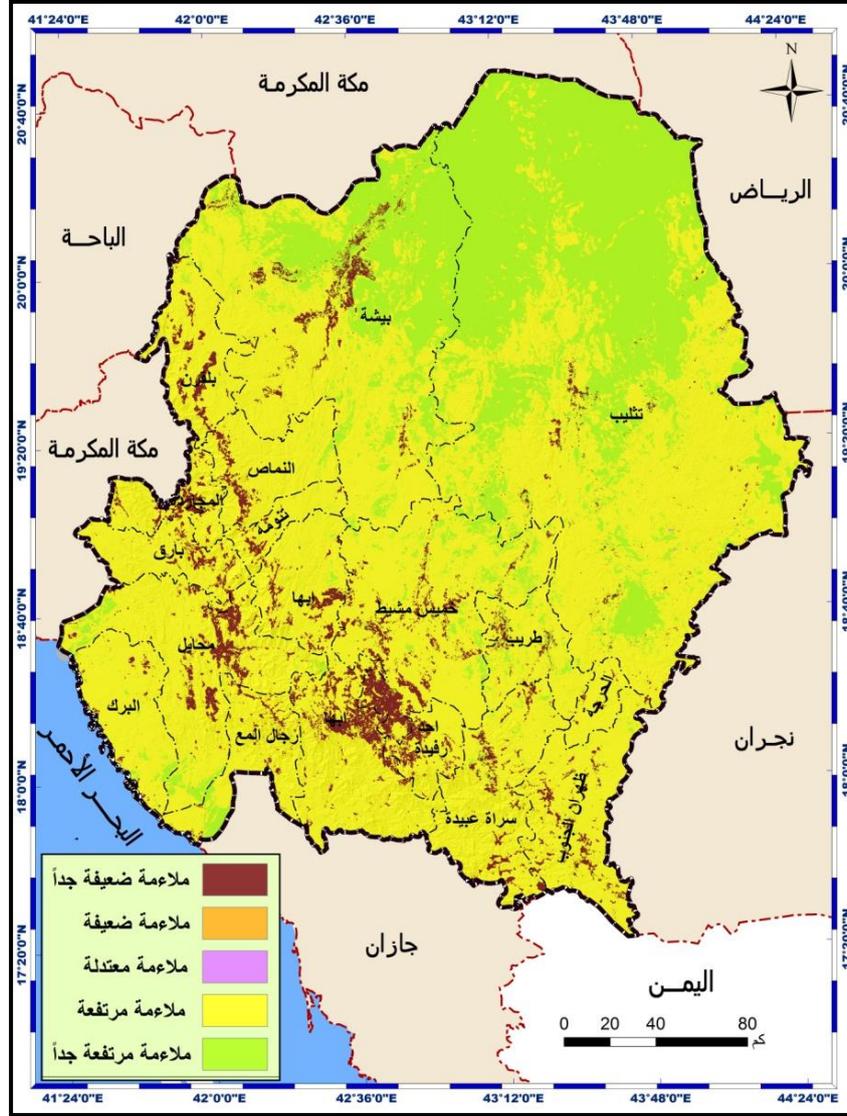


شكل رقم (٢٠) استعمالات الارض في منطقة عسير عام ٢٠٢١

المصدر: الباحثة بالاعتماد على بيانات القمر الصناعي (SENTINEL-2A).

وبذلك توصلت نتائج تحديد ملاءمة المنطقة لبناء محطات الطاقة الشمسية حسب نوعية أغطية واستعمالات الارض شكل (٢١) وقوع المنطقة التي تتصف بضعف شديد في ملاءمتها لمحطات الطاقة الشمسية بمواقع تواجد السدود والبرك المائية والعمران ومناطق زراعة المحاصيل جنوب وجنوب غرب وغرب وشمال غرب منطقة الدراسة، بمساحة 3777.073 كم^٢ بنسبة ٤.٨٧٪ من إجمالي مساحة المنطقة. وتقع المنطقة التي تتصف بملاءمة ضعيفة لبناء محطات الطاقة حيث تنتشر الغابات التي تكثر فيها الاشجار ببطنون الاودية جنوب وجنوب غرب منطقة عسير، بمساحة بلغت ١٣.٢١ كم^٢ بنسبة ٠.٠١٧٪ من

إجمالي مساحة المنطقة. وتمتد المنطقة التي تتصف بملاءمة معتدلة لمحطات الطاقة حيث تنتشر الشجيرات جنوب شرق و جنوب غرب وغرب ووسط منطقة الدراسة، بمساحة بلغت ٥.١ كم^٢ بنسبة ٠.٠٠٦٪ من إجمالي مساحة منطقة عسير.



شكل رقم (٢١) فئات ملاءمة استعمالات الارض لبناء محطات طاقة شمسية في منطقة عسير

المصدر: الباحثة بالاعتماد على الشكل (٢٠).

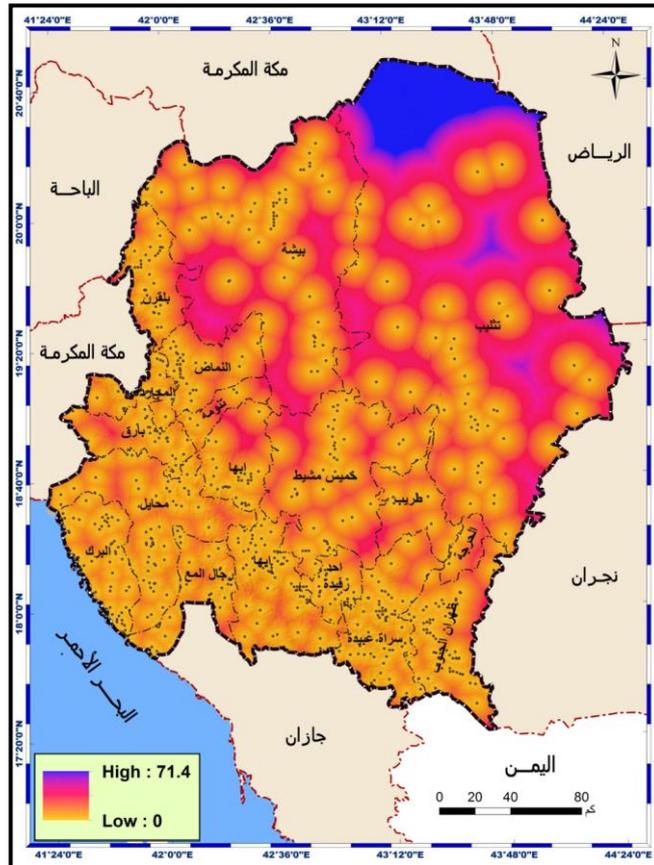
وتظهر المنطقة التي تتسم بملاءمة مرتفعة لبناء محطات الطاقة الشمسية حيث تتواجد المراعي التي تغطي غالبية المنطقة، بمساحة ٥٢٩٢٤.٨٦ كم^٢ بنسبة ٦٨.٣٪ من إجمالي مساحة المنطقة. وتبرز منطقة الملاءمة المرتفعة جداً لمحطات الطاقة الشمسية حيث تتواجد الاراضي الجرداء شمال ووسط وجنوب غرب المنطقة، بمساحة ٢٠٧٥٧.٦٩ كم^٢ بنسبة ٢٦.٨٪ من إجمالي مساحة منطقة الدراسة.

د) معايير اقتصادية:

ولقد تمثلت المعايير الاقتصادية التي اعتمدها الدراسة في تحديد افضل المواقع للطاقة الشمسية في منطقة عسير بعدد من المعايير التي تتصف بسهولة الوصول الى المواقع وتقلل تكاليف تشييد هذه المحطات وتشغيلها وتقليل المخاطر الطبيعية عليها مستقبلا كالبعد من التجمعات السكانية التي ستخدمها والبعد من الطرق وخطوط الكهرباء والأودية.

١) البعد من التجمعات السكانية:

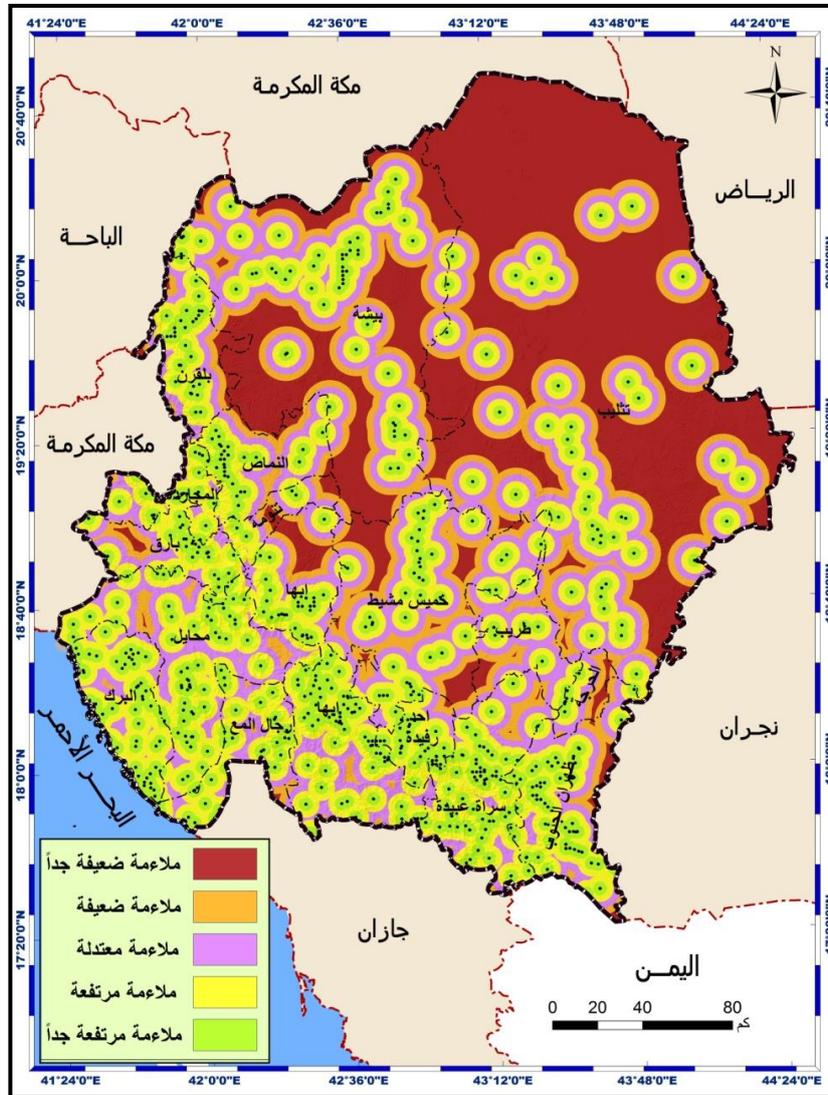
يعتبر الهدف الاساسي من انشاء محطات الطاقة الشمسية هو تغطية احتياجات السكان وتحقيق التنمية المستدامة في مختلف القطاعات الاقتصادية، وبالتالي من المهم ان تكون هذه المنشآت الكهربائية قريبة من تجمعات السكان، وبذلك توضح نتائج التحليل للبعد من التجمعات السكانية (مدن، مراكز، قرى) في منطقة عسير شكل (٢٢) تراوح البعد من التجمعات السكانية من صفر الى ٧١.٤ كم كحد اعلى للبعد من تجمعات السكان شمال المنطقة، بمتوسط مكاني للبعد على مستوى منطقة الدراسة بلغ ٩.٩ كم.



شكل رقم (٢٢) البعد من التجمعات السكانية في منطقة عسير

المصدر: الباحثة بالاعتماد على طبقة (Shapfile ESRI and OSM).

بناء على ذلك تبين نتائج تحديد ملاءمة منطقة الدراسة لبناء محطات طاقة شمسية طبقاً لمعيار البعد من التجمعات السكانية شكل (٢٣) وقوع نطاق الملاءمة الضعيفة جداً لبناء محطات طاقة شمسية في المناطق الذي يزيد بعدها من تجمعات السكان عن ١٢ كم، بمساحة ٢٢٤٠٢.٨٥ كم^٢ بنسبة ٢٨.٥٥٪ من إجمالي مساحة المنطقة شمال شرق ووسط وشرق محافظتي تثليث وبيشة. ويتصف ثاني النطاقات بملاءمة ضعيفة لمحطات الطاقة الشمسية حيث يتراوح البعد من التجمعات السكانية بين ٩ - ١٢ كم، بمساحة بلغت ١٠١١٧.٤٣ كم^٢ بنسبة ١٢.٨٩٪ من إجمالي مساحة المنطقة بمحيط النطاق الاول في المحافظتين نفسها. ويبرز نطاق الملاءمة المعتدلة لمحطات الطاقة حيث يتراوح البعد من تجمعات السكان بين ٩ - ٦ كم، بمساحة بلغت ١٤٥٦٠.٩٨ كم^٢ بنسبة ١٨.٥٥٪ من إجمالي مساحة منطقة عسير.



شكل رقم (٢٣) فئات ملاءمة البعد من تجمعات السكان لبناء محطات طاقة شمسية بمنطقة عسير

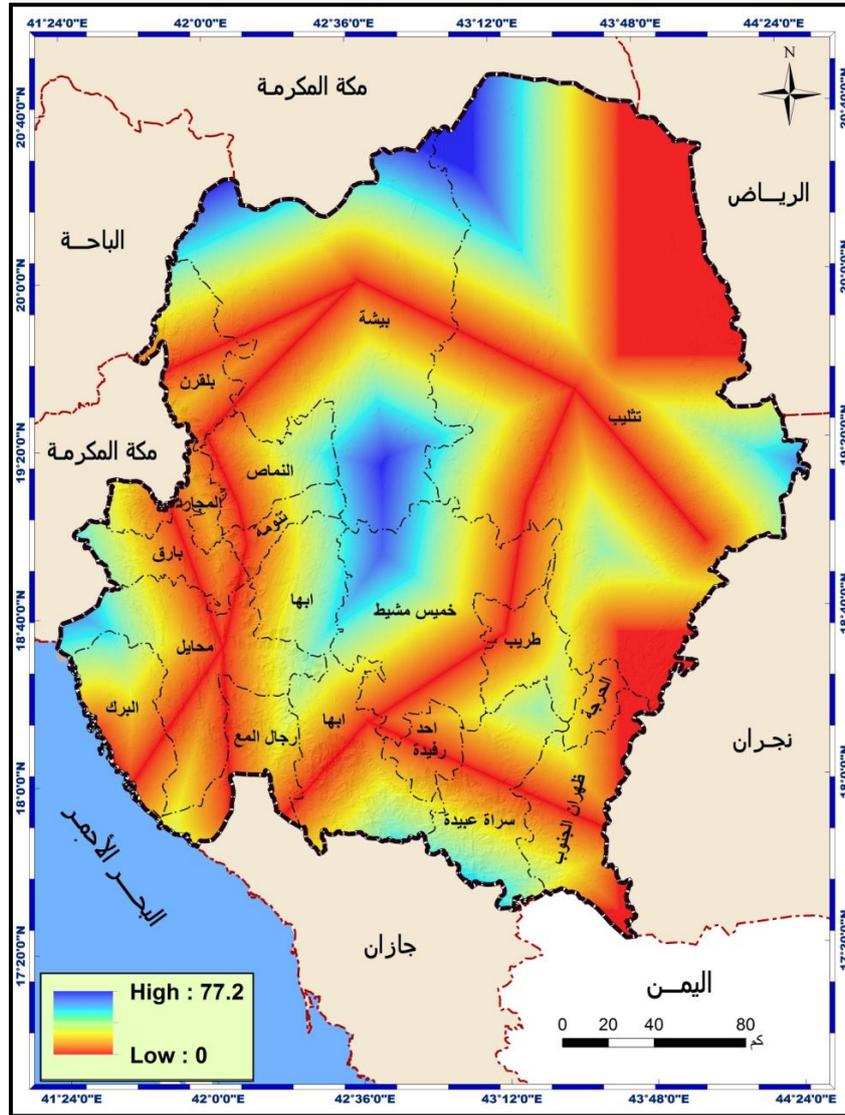
المصدر: الباحثة بالاعتماد على الشكل (٢٢).

ويغطي نطاق الملاءمة المرتفعة لبناء محطات الطاقة الشمسية حيث يتراوح البعد من تجمعات السكان بين ٦ - ٣ كم، بمساحة بلغت ١٨٧٨٦.٢٦ كم^٢ بنسبة ٢٣.٩٤٪ من إجمالي مساحة المنطقة. ويبرز نطاق الملاءمة المرتفعة جداً لإقامة محطات الطاقة الشمسية حيث يقل البعد من تجمعات السكان عن ٣ كم، بمساحة بلغت ١٢٦١٠.٤٤ كم^٢ بنسبة ١٦.٠٦٪ من إجمالي مساحة منطقة الدراسة، ويظهر نطاق الملاءمة المرتفعة والمرتفعة جداً كما يوضح الشكل السابق في المحافظات التي ترتفع فيها كثافة التجمعات السكانية جنوب وجنوب غرب وغرب منطقة عسير.

(٢) البعد من خطوط الكهرباء:

يوفر قرب محطات الطاقة الشمسية من خطوط نقل الطاقة ميزة من حيث الكفاءة، فمحطات الطاقة الشمسية التي سيتم بناؤها في المناطق البعيدة من خطوط الكهرباء تزيد من فقدان الطاقة وتقليل الكفاءة والعكس (Soydan, 2020, p.20).

وبذلك يتصف شكل العلاقة بين أفضل المواقع لمحطات الطاقة الشمسية والبعد من خطوط نقل الكهرباء بالعكسية أي كلما قلت المسافة من خطوط نقل الكهرباء زادت ملاءمة هذه المناطق مكانياً لتشييد محطات الطاقة الشمسية والعكس. وعليه تبين نتائج تحليل توزيع البعد من خطوط نقل الكهرباء في منطقة عسير شكل (٢٤) تراوح البعد من خطوط الكهرباء في المنطقة من صغر كحد أدنى إلى ٧٧.٢ كم كحد أعلى للبعد من خطوط الكهرباء، بمتوسط على المستوى المكاني للمنطقة ١٨.٧ كم.

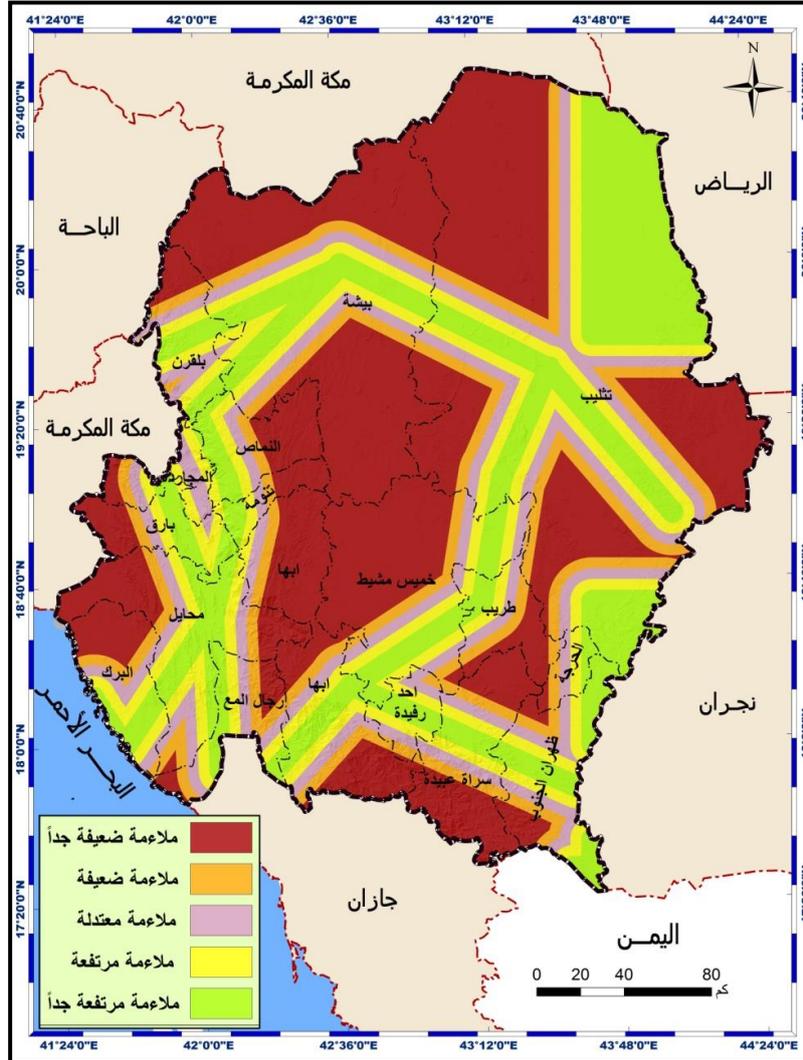


شكل رقم (٢٤) البعد من خطوط نقل الكهرباء في منطقة عسير

المصدر: الباحثة بالاعتماد على طبقة (Shapfile).

وعليه فقد توصلت نتائج تحديد ملاءمة منطقة عسير لإقامة محطات طاقة الشمسية حسب البعد من خطوط نقل الكهرباء شكل (٢٥) وقوع نطاق الملاءمة الضعيفة جدا لتشبيد محطات طاقة شمسية في المناطق الذي يزيد بعدها من خطوط نقل الكهرباء عن ٢٠ كم، بمساحة ٣١٣٨٥.٨٥ كم^٢ بنسبة ٤٠.٥١٪ من إجمالي مساحة المنطقة وسط وشمال وفي اطراف منطقة عسير. ويقع النطاق الذي يتسم بملاءمة ضعيفة لمحطات الطاقة الشمسية حيث يتراوح البعد من خطوط نقل الكهرباء بين ٢٠ - ١٥ كم، بمساحة بلغت ٨٥٤٤.٩٨١ كم^٢ بنسبة ١١.٠٢٪ من إجمالي مساحة المنطقة. ويظهر نطاق الملاءمة المعتدلة لمحطات الطاقة

حيث يتراوح البعد من خطوط نقل الكهرباء بين ١٥ - ١٠ كم، بمساحة بلغت ٩٩٠٧.١٣٩ كم^٢ بنسبة ١٢.٧٨٪ من إجمالي مساحة منطقة عسير.



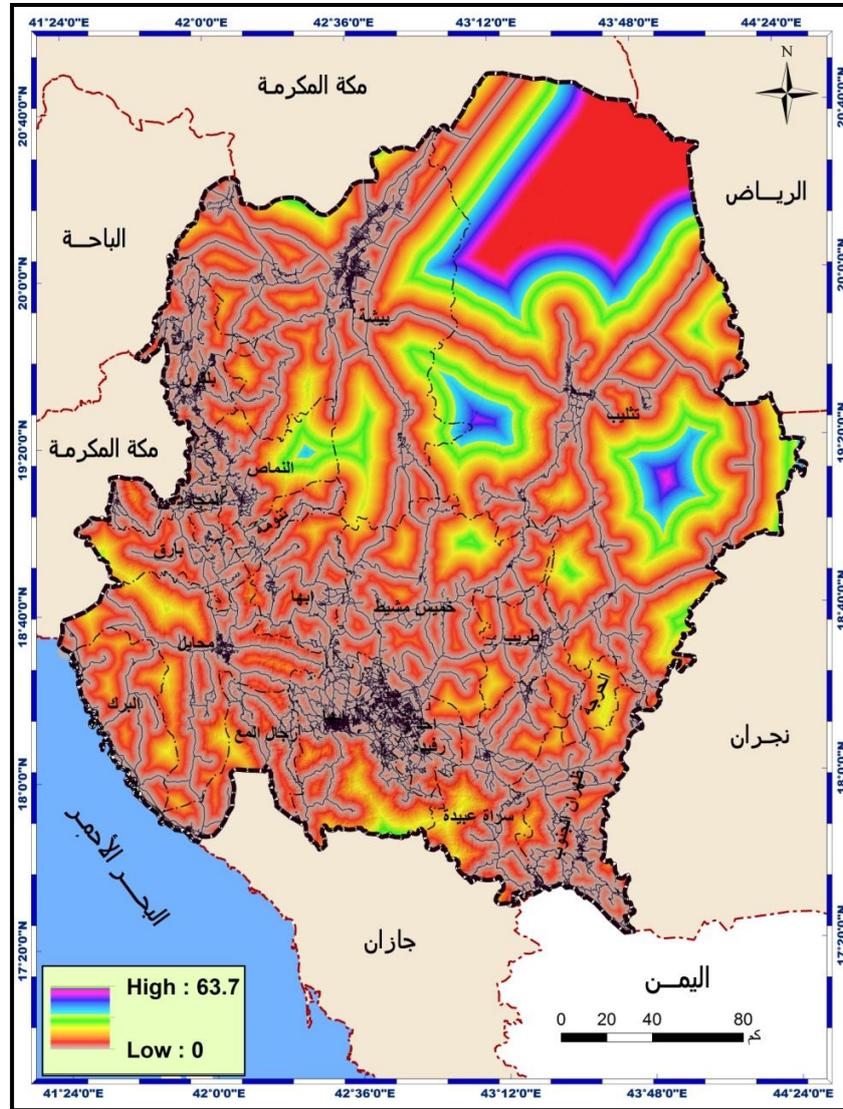
شكل رقم (٢٥) فئات ملائمة البعد من خطوط الكهرباء لبناء محطات طاقة شمسية بمنطقة عسير

المصدر: الباحثة بالاعتماد على الشكل (٢٤).

ويمتد نطاق الملاءمة المرتفعة لمحطات الطاقة الشمسية حيث يتراوح البعد من خطوط نقل الكهرباء بين ١٠ - ٥ كم، بمساحة ١٠٩١٢.٢٩ كم^٢ بنسبة ١٤.٠٨٪ من إجمالي مساحة المنطقة. ويغطي نطاق الملاءمة المرتفعة جداً لإقامة محطات طاقة شمسية حيث يقل البعد من خطوط نقل الكهرباء عن ٥ كم، بمساحة بلغت ١٦٧٢٧.٧ كم^٢ بنسبة ٢١.٦٪ من إجمالي مساحة منطقة الدراسة.

(٣) البعد من الطرق:

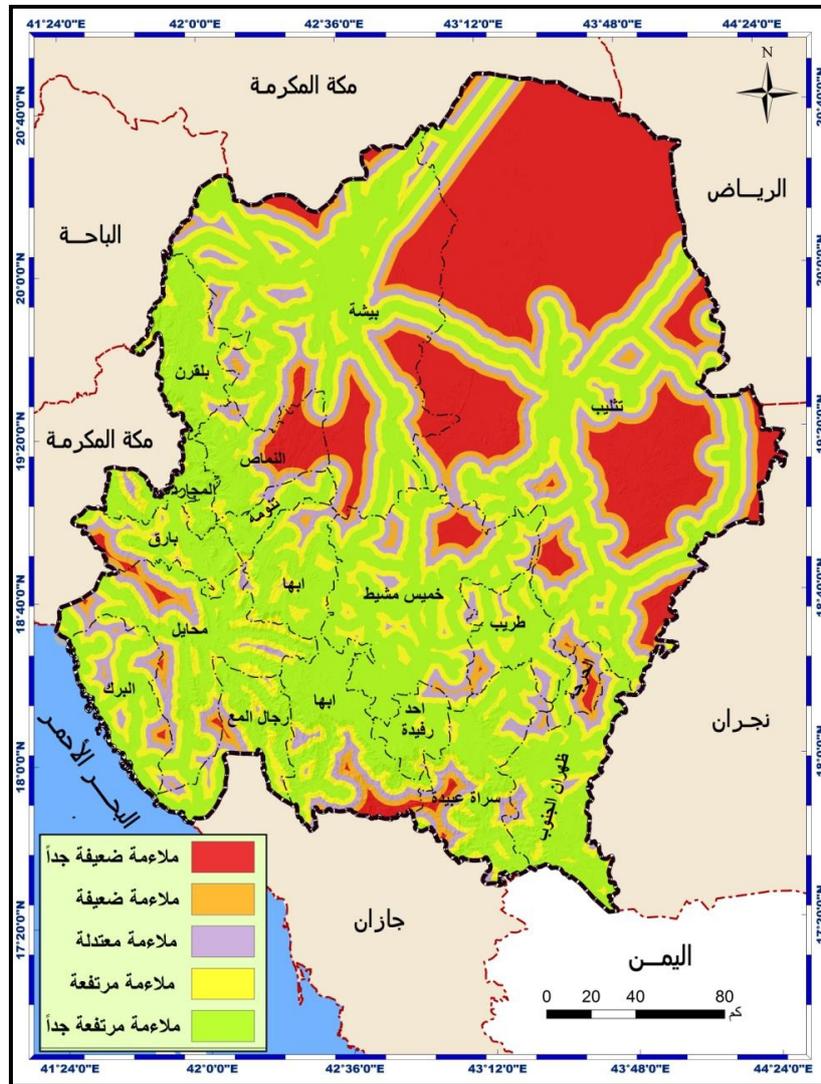
إمكانية الوصول إلى شبكة النقل تقلل من التكاليف التشغيلية لتركيب محطة توليد الكهرباء من الشمس، ويعد الاتصال بالطرق عاملاً مهماً لتقليل تكلفة تركيب محطات الطاقة الشمسية، وبذلك تتسم تحديد علاقة أفضل مواقع محطات الطاقة الشمسية بالبعد من الطرق بالعكسية أي كلما قل البعد من الطرق زادت الملاءمة المكانية لبناء محطات الطاقة الشمسية والعكس. وعليه تبين نتائج تحليل توزيع البعد من الطرق في منطقة عسير شكل (٢٦) تراوح البعد من صفر كحد أدنى إلى ٦٣.٧ كم كحد أعلى للبعد من الطرق، بمتوسط على المستوى المكاني للمنطقة ٧.٣ كم.



شكل رقم (٢٦) البعد من الطرق في منطقة عسير

المصدر: الباحثة بالاعتماد على طبقة (Shapfile OSM).

بناء على ذلك تبين نتائج تحديد ملائمة منطقة الدراسة لبناء محطات الطاقة الشمسية طبقاً للبعد من الطرق شكل (٢٧) وقوع نطاق الملاءمة الضعيفة جداً لبناء محطات طاقة شمسية في المناطق التي يزيد فيها البعد عن الطرق عن ١٠ كم، بمساحة ١٦٨٥٥.٣٢ كم^٢ بنسبة ٢١.٧٦٪ من إجمالي مساحة المنطقة شمال شرق ووسط وشرق محافظة تثليث. ويتصف ثاني نطاقات الملاءمة بملاءمة ضعيفة لمحطات الطاقة الشمسية حيث يتراوح البعد من الطرق بين ١٠ - ٧.٥ كم، بمساحة بلغت ٥٥٢٤.٦٤ كم^٢ بنسبة ٧.١٣٪ من إجمالي مساحة المنطقة بمحاذاة الأول في محافظتي تثليث وبيشة. ويمتد نطاق الملاءمة المعتدلة لمحطات الطاقة حيث يتراوح البعد من الطرق بين ٧.٥ - ٥ كم، بمساحة بلغت ٨٧١١.٢٠٥ كم^٢ بنسبة ١١.٢٤٪ من إجمالي مساحة منطقة عسير.



شكل رقم (٢٧) فئات ملائمة البعد من الطرق لبناء محطات طاقة شمسية في منطقة عسير

المصدر: الباحثة بالاعتماد على الشكل (٢٦).

ويقع نطاق الملاءمة المرتفعة لبناء محطات الطاقة الشمسية حيث يتراوح البعد من الطرق بين ٥ - ٢.٥ كم، بمساحة بلغت ١٤٩١٩.٨٥ كم^٢ بنسبة ١٩.٢٥٪ من إجمالي مساحة المنطقة. ويظهر نطاق الملاءمة المرتفعة جداً لإقامة محطات الطاقة الشمسية حيث يقل البعد من الطرق عن ٢.٥ كم، بمساحة بلغت ٣١٤٦٦.٩٤ كم^٢ بنسبة ٤٠.٦٢٪ من إجمالي مساحة منطقة الدراسة، ويظهر كما في الشكل السابق بالقرب من المدن الكبيرة كمدينة أبها وخميس مشيط ومحاليل وبيشة.

ثانياً) نموذج الملاءمة المكانية لمحطات الطاقة الشمسية:

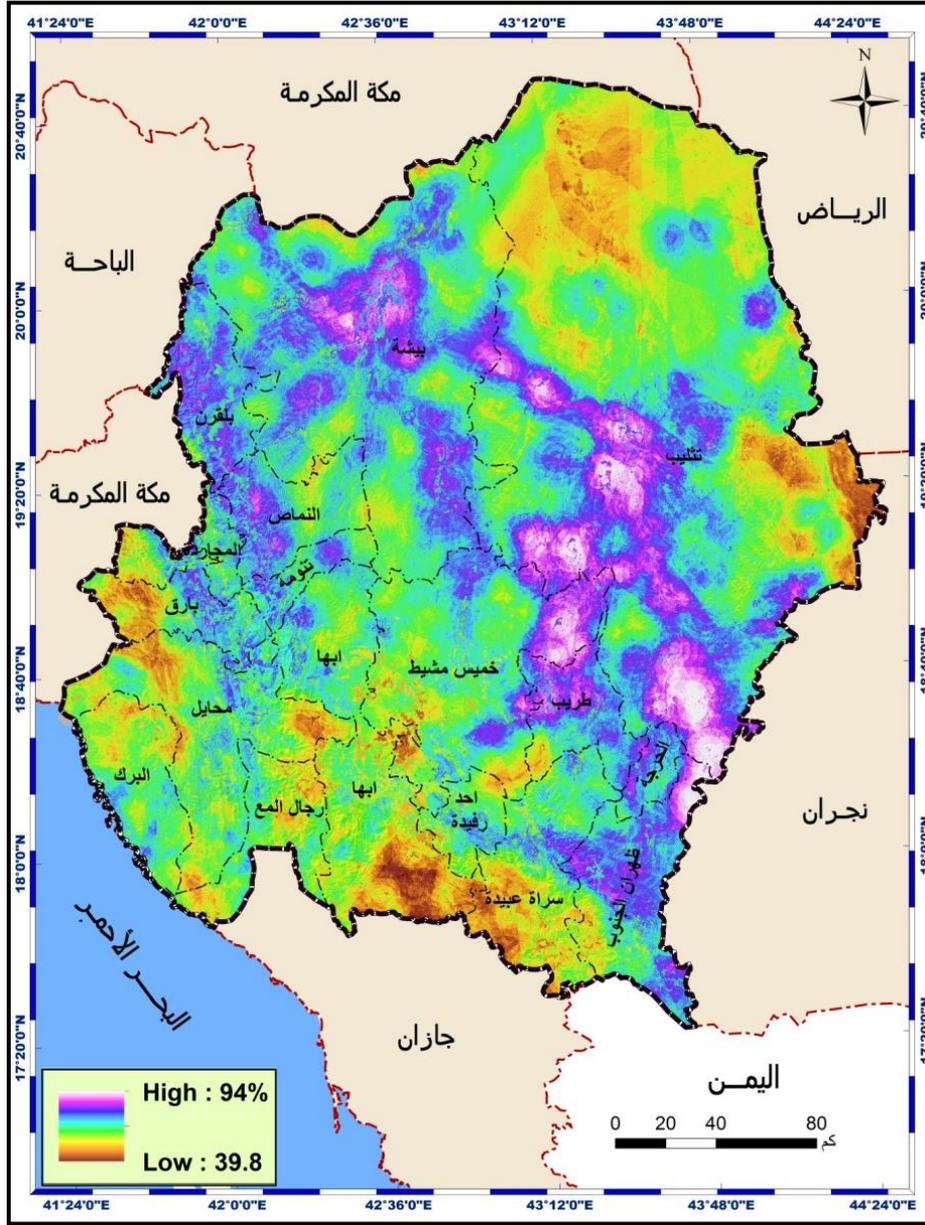
لتطبيق نموذج الملاءمة لمحطات الطاقة الشمسية بدأت الباحثة في الخطوة الأولى بدمج طبقات متغيرات كل معيار حسب اوزانها المطلقة المبينة جدول رقم (٢) باستخدام حاسبة نظم المعلومات الجغرافية (Raster Calculator) لنحصل على اربعة طبقات للمعايير الاربعة الطبوغرافي والمناخي والبيئي والاقتصادي، تلى ذلك دمج او جبر الطبقات للمعيار الاربعة باستخدام حاسبة (Gis)، وذلك بعد تحديد اهميتها النسبية التي استخرجت باستخدام حاسبة التسلسل الهرمي (ahp) حيث كانت اهمية متغيرات معيار الطبوغرافيا ٢٠٪، ومتغيرات معيار المناخ ٣٠٪، ومتغيرات معيار البيئة ٢٥٪، ومتغيرات معيار الاقتصاد ٢٥٪، وجبرت هذه الطبقات بعد تحويل الاهمية النسبية لكل منها من النسب الى الارقام المطلقة، وذلك بقسمة كل منها على ١٠٠ لتصبح هذه الاوزان جدول رقم (٢) الطبوغرافيا ٠.٢٪، ومتغيرات معيار المناخ ٠.٣٪، ومتغيرات معيار البيئة ٠.٢٥٪، ومتغيرات معيار الاقتصاد ٠.٢٥٪.

جدول رقم (١) معايير ومتغيرات الملاءمة المكانية لمواضع الطاقة الشمسية في منطقة عسير

المعيار	المتغير	أوزان فئات المتغيرات					الوزن النسبي للمعيار
		١	٢	٣	٤	٥	
	الانحدار	> ٣٠	١٦-٣٠	٨-١٦	٢-٨	< ٢	٠.٣٥
	البعد من الأودية	< ٢.٥	٥-٢.٥	٧.٥-٥	١٠-٧.٥	> ١٠ كم	٠.٢٥
الطوبوغرافي	اتجاه التضاريس	٣١٥-٤٠	٣١٥-٢٢٥	١٣٥-٤٥	٢٢٥-١٣٥	< ١	٠.٢
	ارتفاع التضاريس	> ٢٠٠٠	١٥٠٠-٢٠٠٠	١٠٠٠-١٥٠٠	٥٠٠-١٠٠٠	< ٥٠٠ م	٠.١٥
	الإشعاع الشمسي	< ٢٠٠	٢١٠-٢٠٠	٢٢٠-٢١٠	٢٣٠-٢٢٠	> ٢٣٠ و/ت/م	٠.٠٤
	الحرارة	< ٢٠	٢٠-٢٢	٢٢-٢٤	٢٤-٢٦	> ٢٦	٠.١٥
المناخي	الأيام الممطرة	> ٤٥	٣٥-٤٥	٢٥-٣٥	١٥-٢٥	< ١٥ يوم	٠.٢
	عدد ساعات الغيوم	> ٩	Sep-٧	Jul-٥	May-٣	< ٣ ساعة/يوم	٠.٢٥
	الغبار	> ١٢٥	١١٥-١٢٥	١٠٥-١١٥	٩٥-١٠٥	< ٩٥ جرام/م	٠.٥٥
البيئي	الغطاء الأرضي	سدود وعمران وزراعة	اشجار	شجيرات	مراعي	اراضي جرداء	٠.٤٥
	البعد من تجمعات السكان	> ١٢	Dec-٩	Sep-٦	Jun-٣	< ٣ كم	٠.٠٤
	البعد من خطوط الكهرباء	< ٢٠	١٥-٢٠	١٠-١٥	Oct-٥	> ٥ كم	٠.٣٥
الاقتصادي	البعد من الطرق	> ١٠	٧.٥-١٠	٥-٧.٥	٢.٥-٥	< ٢.٥ كم	٠.٢٥

المصدر: الباحثة بالاعتماد على حاسبة التحليل الهرمي (<https://bpmmsg.com/ahp>) ونظم المعلومات الجغرافية.

وبذلك يظهر شكل (٢٨) الطبقة الناتجة عن دمج طبقات المعايير الاربعة السابقة بعد تحويلها الى مقياس الاهمية النسبية بضربها في (٢٠) عدم وجود مناطق غير ملائمة تماما لبناء محطات الطاقة الشمسية في منطقة عسير بدليل ان اقل قيمة للملاءمة المكانية في المنطقة بلغت ٣٩.٨٪ شرق محافظة تثليث وجنوب محافظة أبها وجنوب غرب محافظة سراة عبيدة، وبلغت اعلى قيمة للملاءمة المكانية لبناء محطات الطاقة الشمسية في المنطقة ٩٤٪ أي ان هذه المناطق انطبقت عليها ٩٤٪ من شروط بناء النموذج، وبلغ متوسط الملاءمة المكانية على مستوى المنطقة ٦٦٪.

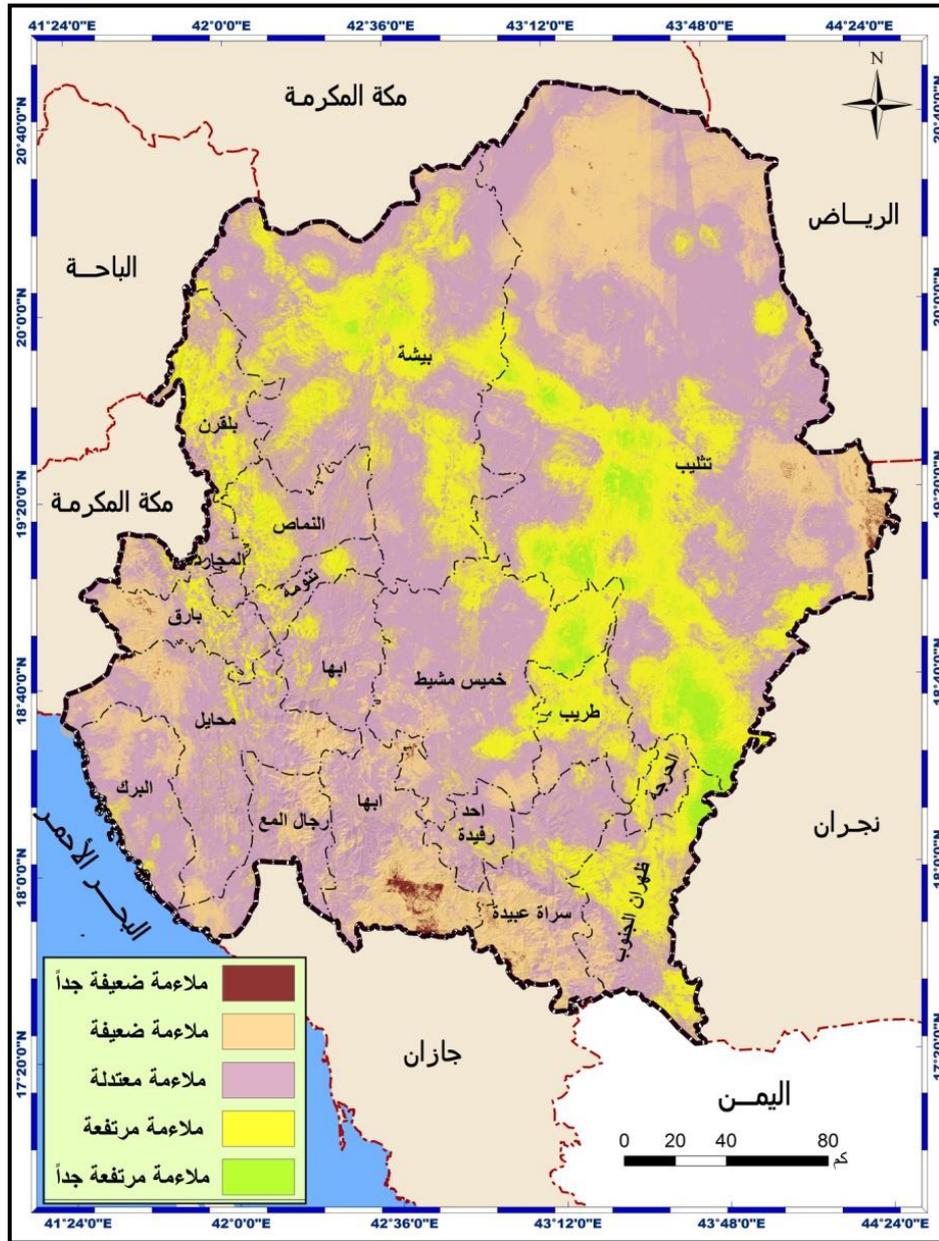


شكل رقم (٢٨) درجات الملاءمة المكانية لمحطات الطاقة الشمسية في منطقة عسير

المصدر: الباحثة بالاعتماد على طبقات الخرائط (٣، ٥، ٧، ٩، ١١، ١٣، ١٥، ١٧، ١٩، ٢١، ٢٣، ٢٥، ٢٧).

بناء على ذلك نتائج تصنيف ملاءمة منطقة عسير لبناء محطات طاقة شمسية حسب جميع معايير النموذج المدمجة شكل (٢٩) وقوع نطاق الملاءمة الضعيفة جدا لبناء محطات للطاقة الشمسية في المنطقة حيث تقل نسبة الملاءمة المكانية الناتجة عن تطبيق النموذج عن ٥٠٪، أو في المناطق التي انطبقت عليها معايير النموذج بنسبة تقل عن ٥٠٪ جنوب محافظة أبها وجنوب غرب محافظة سراة عبيدة وشرق محافظة نثايلث وفي مناطق متفرقة بمحافظات بارق ومحائل ورجال المع وخميس مشيط، بمساحة بلغت ٢٧٦.٧٣ كم^٢ بنسبة ٠.٣٥٪ من إجمالي مساحة المنطقة. يقع النطاق الثاني الذي يتصف بملاءمة ضعيفة لإقامة

محطات طاقة شمسية حيث تتراوح نسبة الملاءمة المكانية بين ٥٠ - ٦٠٪ من انطباق المعايير في جميع محافظات المنطقة خاصة شمال وشرق وجنوب وجنوب غرب منطقة الدراسة، بمساحة بلغت ١٤١٢٤.٧٨ كم^٢ بنسبة ١٨.٢٣٪ من إجمالي مساحة منطقة الدراسة. ويغطي نطاق الملاءمة المعتدلة لتشييد محطات الطاقة الشمسية حيث تتراوح نسبة الملاءمة المكانية بين ٦٠ - ٧٠٪ من إجمالي معايير النموذج غالبية مساحة مختلف المحافظات، بمساحة بلغت ٤١٩٥٦.٢١ كم^٢ بنسبة ٥٤.٦٪ من إجمالي مساحة منطقة عسير.



شكل رقم (٢٩) فئات الملاءمة المكانية لبناء محطات الطاقة الشمسية في منطقة عسير

المصدر: الباحثة بالاعتماد على الشكل (٢٨).

ويقع النطاق الذي يتصف بملاءمة مرتفعة لبناء محطات طاقة شمسية حيث انطبقت معايير نموذج الملاءمة بنسبة تتراوح بين ٧٠ - ٨٠٪ في المحافظات الواقعة جنوب شرق وشرق ووسط وشمال غرب منطقة الدراسة، بمساحة بلغت ١٩٣٤٣.٦ كم^٢ بنسبة ٢٤.٩٧٪ من إجمالي مساحة المنطقة. وتنتشر مناطق الملاءمة المرتفعة جداً لبناء محطات طاقة شمسية حيث تتجاوز نسبة انطباق معايير نموذج الملاءمة المكانية ٨٠٪ شمال شرق محافظة ظهران الجنوب وجنوب ووسط محافظة تثليث وشمال غرب ووسط محافظة طريب وشرق محافظة خميس مشيط ووسط محافظتي بيشة والنماص وغرب محافظة بلقرن، بمساحة بلغت ١٧٧٦.٦٤ كم^٢ بنسبة ٢.٢٩٪ من إجمالي مساحة منطقة عسير.

المصادر:

- 1) Al Garni, H. Z., Awasthi, A. (2017). *Solar PV power plant site selection using a GIS-AHP based approach with application in Saudi Arabia*, *Applied Energy*, Vol, 206, 15: pp. 1225-1240.
- 2) Alhammad, A., Sun, Q. C., Tao, Y. (2022). *Optimal Solar Plant Site Identification Using GIS and Remote Sensing: Framework and Case Study*. *Energies*, Vol, 15(1), 312: pp.1-21.
- 3) Aly, A., Jensen S. S., Pedersen, A. B. (2017). *Solar power potential of Tanzania: Identifying CSP and PV hot spots through a GIS multicriteria decision making analysis*. *Journal of Renewable Energy*, Vol, 113: pp.159-175.
- 4) Bayounis, A., Eldamaty, T. (2022). *Applying Geographic Information System (GIS) for Solar Power Plants Site Selection Support in Makkah*, *Technology and Investment*, Vol, 13, No, 2: pp. 37- 58.
- 5) ESRI Site, *Layers of Earth's Cover of the Sentinel 2 Image*, Date of Visit 1, May, 2023, website link, (<https://www.arcgis.com>).
- 6) Freitas, S., Catita, C., Redweik, P., & Brito, M. C. (2015). *Modelling Solar Potential in the Urban Environment: State of the Art Review*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol, 41: pp. 915-931.
- 7) *Hierarchy Process Calculator Website*, Visit Date 17, May, 2023, Website Link, (<https://bpmsg.com/ahp>).
- 8) Jahangiri, M., Ghaderi, R., Haghani, H., Nematollahi, O. (2016), *Finding the best locations for establishment of solar-wind power stations in Middle-East using GIS: A review*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol, 66(2): pp .38-52.
- 9) Khemiri, W., Yaagoubi, R., Miky, Y. (2018). *Optimal placement of solar photovoltaic farms using analytical hierarchical process and geographic information system in Mekkah, Saudi Arabia*. *International Congress on Solar Energy Research, Technology and Applications*, pp.1-11.

- 10) Kocabaldır, C., Yücel, C. M. (2020). *GIS-Based Multi-Criteria Decision Analysis of Site Selection for Photovoltaic Power Plants in Çanakkale Province. International Journal of Environment and Geoinformatics, Vol, 7(3): pp. 347-355.*
- 11) NASA Website, Visit Date, 1, May, 2023, Website Link, (<https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/?fbclid>).
- 12) Nguyen, H. T., & Pearce, J. M. (2010). *Estimating Potential Photovoltaic Yield with r. sun and the Open-Source Geographical Resources Analysis Support System. Solar Energy, Vol, 84: pp. 831-843.*
- 13) OpenStreetMap Site, Shipfile layers, Visit Date 1, May, 2023, Website link, (<https://www.openstreetmap.org/export>).
- 14) Ruiz, H. S., Sunarso, A., Ibrahim-Bathis, K. et al. (2020). *GIS-AHP Multi Criteria Decision Analysis for the Optimal Location of Solar Energy Plants at Indonesia. Energy Reports, Vol, 6: pp 3249-3263.*
- 15) Shwehdi, M.H., Mohamed, S. R., Smadi, A. A. (2018). *Optimal capacitor placement on West–East inter-tie in Saudi Arabia using genetic algorithm. Computers and Electrical Engineering, 68: pp.156–169.*
- 16) Soydan, O. (2021). *Solar power plants site selection for sustainable ecological development in Nigde, Turkey, Applied Sciences, Vol, 3:41: pp.1-18.*
- 17) USGS Website, Visit Date, 1, May, 2023, Website Link, (<https://earthexplorer.usgs.gov>).
- 18) Yousefi, H.; Hafeznia, H.; Yousefi-Sahzabi, A. (2018,). *Spatial site selection for solar power plants using a gis-based boolean-fuzzy logic model: A case study of Markazi Province, Iran. Energies, Vol, 11, pp.1648.*
- 19) Zulkifly, M. I. D., Said, M. S. M. (2022). *Determining Optimal Solar Power Plant Location in Melaka, Malaysia: A GIS-Based Solutions, IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science, pp. 1-16.*

Abstract:

This study aims to identify most suitable sites for solar power plants in Aseer region, southwest Kingdom of Saudi Arabia. To achieve this aim, the study followed a methodology included a review of literature on multi-criteria decision analysis (MCDA) to determine criteria for suitability model for the most suitable places for building solar power plants in the region. After determining the topographic, climatic, environmental and economic criteria, their data were collected from satellite image and shapfile layers, and thus data were processed to derive their layers by the algorithms of Inverse Distance Weight (IDW) and Euclidean Distance in GIS, reclassify criterions layers, then determine importance of model criteria using the Analytic Hierarchy Process (AHP). and merge criteria according to their weights using the Raster Calculator in (GIS) environment.

Results of spatial suitability model for solar power plants in Aseer region show there aren't areas that are completely unsuitable for building solar power stations, as the lowest spatial suitability rate reached 39.8%. and there isn't area matched 100% with model criteria, and confirms this highest spatial suitability rate for Site of Solar power plants 94%, and spatial mean of region's suitability for power plants 66%. The areas that have achieved very high spatial suitability for Sites solar power plants are located in Aseer region, where spatial suitability rate exceeds 80%. northeast of Dhahran Al-Janoub Governorate, south and middle of Tathlith Governorate, northwest and middle Tarib Governorate, east of Khamis Mushayt Governorate, middle Bishah and Al- Namas governorates, and west of Balqarn Governorate, with an area 1776.64 km², rate 2.29% of area Aseer region.

Keywords: *Solar Power Plants, Aseer Region, Geographic Information System, Multi Criteria Decision Analysis, Analytic Hierarchy Process.*