Doi: 10.34120/0080-050-003-008

Positioning Solar Energy Station in Ma'an Governorate by using GIS

Ahmad N. Al Neimat
Saleh Al-kassasbeh

Abstract

Objective: The study focused on determining the location of solar energy projects in Ma'an Governorate using GIS,The study combines theory and practice; a it contains a theoretical framework that deals with GIS concepts, descriptive information for the study area from maps, data, published reports and climate data from the Department of Meteorology and data available from NASA's website. a practical application that ensures the processing, **Methods:** classification and tabulation of data using Arc GIS 10.2 to locate solar energy in Ma'an. **Results:** The results of the study showed that Ma'an Governorate is classified as one of the areas that are rich in solar radiation in Jordan, which can be invested in generating electricity. The average daily solar radiation in Ma'an Governorate was about 5.60 kWh / m2/ daily, Based on the results of the study based on the results of the analysis and modeling process in by GIS.

Conclusion: The southeastern region of Ma'an is one of the most receiving areas of solar radiation, ranging between (5,736-5.939 kWh /m 2/daily), moderate temperature, moderate relative humidity, wind speed and proximity to road services, represes 22.18% of Ma'an Governorate area.

Keywords: Renewable Energy, Solar Energy, Solar Radiation, Spatial Analysis, Geographic Information System(GIS).

تطبيقات تقنيات نظم المعلومات الجغرافية في تحديد مواقع الطاقة الشمسية في محافظة معان- الأردن

أحمد حسين النعيمات (*)
صالح كساسبة(**)

ملخص

هدف الدراسة: تهدف الدراسة إلى تحديد موقع مشاريع الطاقة الشمسية في محافظة معان، باستخدام نظام المعلومات الجغرافي، وتجمع الدراسة بين النظرية والتطبيق؛ لما تضمنته من إطار نظري يتناول مفاهيم نظام المعلومات الجغرافي، والمعلومات الوصفية لمنطقة الدراسة من: الخرائط، والبيانات، والتقارير المنشورة، والبيانات المناخية، من دائرة الأرصاد الجوية، والبيانات المتاحة من الموقع الإلكتروني لمحطة ناسا NASA. **المنهجية:** تطبيق عملي يضمن معالجة البيانات وجدولتها وتبويبها، باستخدام برنامج Arc GIS 10.2 لتحديد مواقع الطاقة الشمسية في محافظة معان. **النتائج:** إن محافظة معان تصنف ضمن المناطق الغنية بالإشعاع الشمسي في الأردن، التي يمكن استثمارها في توليد الطاقة الكهربائية، وقد بلغ المعدل العام للإشعاع الشمسي اليومي فيها نحو 5.60 كيلو واط ساعة/م^2/ يوم، بناءً على نتائج الدراسة المعتمدة على عملية التحليل والنمذجة في بيئة نظم المعلومات الجغرافية. **الخلاصة:** إن المنطقة الجنوبية الشرقية من محافظة معان تعدُّ من أكثر المناطق التي تتلقى الإشعاع الشمسي وتراوح فيها بين 5.736 و5.939 كيلو واط ساعة/م^2/يوم، وتمتاز باعتدال الحرارة واعتدال الرطوبة النسبية، وملاءمتها من حيث سرعة الرياح، والقرب من خدمات الطرق، وتمثل هذه المساحة ما نسبته 22.18% من مساحة محافظة معان.

المصطلحات الأساسية: الطاقة المتجددة، الطاقة الشمسية، الإشعاع الشمسي، التحليل المكاني، نظم المعلومات الجغرافية.

(*) وزارة التربية والتعليم، الأردن.
(**) قسم الجغرافيا، جامعة مؤتة، الأردن.

مقدمة:

تشكل الطاقة في الوقت الحالي أولوية مهمة للمملكة الأردنية الهاشمية، وهي تستورد كامل احتياجها من الطاقة من دول الجوار، بما يعنيه ذلك من تهديد لأمن الطاقة الاستراتيجي، وعبء مالي في ظل الأزمة الاقتصادية التي يعاني منها الاقتصاد الأردني، وضآلة المصادر الطبيعية؛ خاصة مصادر الطاقة التقليدية؛ ومن ثم أصبح من الضروري البحث عن مصادر بديلة للطاقة التقليدية، واستغلال الميزة النسبية Comparative Advantage التي تتمتع بها بعض مناطق المملكة من حيث شدة سطوع الإشعاع الشمسي لتوليد الطاقة الكهربائية من الإشعاع الشمسي باعتبارها طاقة متجددة Renewable Energ.

ولم يَعد من الممكن النَّظر إلى قطاع الطاقة على أنَّه مجرَّد قطاع تجاري يمكن التعامل معه من خلال آلية الأسعار فقط، وإنما هو قطاع ذو طبيعة: اقتصادية، واجتماعية، وتكنولوجية متحركة، يتأثر بالتغيرات الإقليمية والدولية، والاستمرار في تطبيق السياسات التي سادت في الفترة الماضية بالاعتماد الكامل على الاستيراد؛ ومن ثم، فإن بيع أشكال الطاقة المختلفة بتكاليفها الفعلية -غير ممكن للمواطن؛ وذلك بسبب ارتفاع التكلفة، ومحدودية المصادر المتوافرة (وزارة الطاقة والثروة المعدنية، 2011). ولهذا أصبحت الطاقة الشمسية في عصرنا الحالي تشكل دخلاً قومياً لبعض البلدان حتى في دول الخليج العربي ، التي تعد من أكثر بلاد العالم غنىً بالنفط، وتستخدم الطاقة الشمسية بشكل رئيس وفعال (الخياط والشيتي، 2010).

وتعدُّ نظم المعلومات الجغرافية من أهم الإنجازات العلمية، التي توظف في الحصول على المعلومات المكانية، وتحليلها ومعالجتها وتخزينها، والاستفادة من تلك البيانات، وتقديمها معلومات لصانع القرار؛ لتوظيفها في خدمة المجتمع.

وبحثت هذه الدراسة في تقييم مصادر الطاقة المتجدِّدة، وخاصة الطاقة الشمسية، وتوزيعها في منطقة الدراسة، واختيار الأماكن المناسبة لاستثمار الطاقة الشمسية باستخدام نظم المعلومات الجغرافية.

ويوضِّح جدول (1) كميات الطاقة التقليدية المستهلكة في الأردن، موزعة بحسب نوع الوقود المستعمل في توليدها، ويتضح أن نسبة استهلاك النفط الخام والمشتقات النفطية من إجمالي استهلاك الطاقة تبلغ نحو 83.21% لعام 2013م، تليها نسبة الغاز الطبيعي بنحو 12.4%. أما الطاقة المتجدِّدة؛ فتبلغ مساهمتها في إجمالي الطاقة المستهلكة 0.602% فقط (وزارة الطاقة والثروة المعدنية، 2015).

جدول (1)

استهلاك الطاقة في الأردن

الطاقة الأولية المستهلكة (ألف طن نفط مكافئ*)	2008	2009	2010	2011	2012	2013
النفط الخام والمشتقات النفطية	4426	4454	4774	6141	6992	6689
الطاقة المتجدِّدة	128	137	141	146	140	145
الغاز الطبيعي	2697	3086	2289	873	659	907
الكهرباء المستوردة	137	98	168	313	188	96
المجموع الكلي	7388	7775	7372	7477	7979	7837

المصدر: وزارة الطاقة والثروة المعدنية–الأردن، 2015.

*1 طن نفط مكافئ: هو كمية الطاقة الناتجة من احتراق طن واحد من النفط الخام، وهي تعادل 42 جيجا جول.

وتجدر الإشارة إلى أن وزارة الطاقة والثروة المعدنية أعدت إستراتيجية قطاع الطاقة في الأردن للسنوات 2007–2020. ومن المتوقع أن يصل إجمالي الاستثمار في القطاع إلى نحو 16 مليار دولار، منها 5.3 مليارات لقطاع الكهرباء؛ أي نحو 34%.

أولاً- الإطار النظري للدراسة:

1 - 1 - مشكلة الدراسة:

تهدف الدراسة إلى تحديد التوزيع المكاني للإشعاع الشمسي في محافظة معان، وتحديد المواقع المثلى لمشاريع توليد الكهرباء من الإشعاع الشمسي باستخدام تقنيات نظام المعلومات الجغرافي Geographic Information System (GIS) من خلال برنامج Arc GIS 10.2، وذلك لبناء قاعدة بيانات جغرافية يمكن من خلالها تحديد المواقع المثلى لمشاريع توليد الطاقة الكهربائية الشمسية في المحافظة.

ولتحقيق ذلك تحاول الدراسة الإجابة عن السؤالين الآتيين:

1 – ما المناطق المناسبة لمشاريع توليد الكهرباء من الإشعاع الشمسي في محافظة معان؟

2 – ما المواقع المثلى لإقامة مشاريع توليد الكهرباء من الإشعاع الشمسي في محافظة معان؟

1 - 2 - أهداف الدراسة:

انطلاقاً من مشكلة الدراسة، يمكن صياغة أهداف الدراسة على النحو الآتي:

1 – تحديد التوزيع المكاني للإشعاع الشمسي في محافظة معان باستخدام نظم المعلومات الجغرافية.

2 – تعرف العوامل المؤثرة في توزيع للإشعاع الشمسي في محافظة معان باستخدام نظم المعلومات الجغرافية.

3 – تحديد المناطق المناسبة لمشاريع توليد الكهرباء من الإشعاع الشمسي في محافظة معان عن طريق اختبار المعايير المعتمدة لاختيار الموقع الأفضل باستخدام نظم المعلومات الجغرافية.

4 – ما الموقع الأمثل لإقامة مشاريع توليد الكهرباء من الإشعاع الشمسي في محافظة معان.

1- 3 - أهمية الدراسة ومبرراتها:

تبرز أهمية الدراسة في جانبين:

أولاً- الجانب التطبيقي: تعتبر الطاقة الشمسية من أهم مصادر الطاقة المتجددة في العالم، وهي طاقة نظيفة، يتمتع الأردن بنصيب وافر منها، في حين يعاني من ارتفاع فاتورة الطاقة؛ ومن ثم يكمن التحدي في عملية الاستفادة من الطاقة الشمسية لتخفيف عبء فاتورة الطاقة.

ثانياً- الجانب العملي: من خلال تصميم نموذج عملي باستخدام Arc GIS 10. 2 لاختيار المواقع المناسبة لإقامة مشاريع توليد الكهرباء من الإشعاع الشمسي؛ مما يوفر لمتخذ القرار قاعدة بيانات Data Base شاملة يمكن استغلالها لتحديد الموقع الأمثل لتلك المشاريع.

وعليه؛ يمكن إدراج المبررات التالية للدراسة:

1 – عدم وجود قاعدة بيانات توفر معلومات عن الطاقة الشمسية في محافظة معان يمكن تقديمها لصانع القرار.

2 – الاستفادة من تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بُعد في مجال الطاقة البديلة.

3 – تقليل انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون CO_2.

4 – تقليل تكلفة استيراد الطاقة الأحفورية والاعتماد عليها.

ثانياً- منهجية الدراسة:

لتحقيق أهداف الدراسة استخدم المنهج الآتي:

المنهج التحليلي والتطبيقي: استخدم لتحليل التوزيع المكاني للإشعاع الشمسي في منطقة الدراسة، بالإضافة إلى تحليل العوامل المختلفة ذات العلاقة بالإشعاع الشمسي، وإجراء التحليلات المكانية باستخدام برامج نظم المعلومات الجغرافية، وإنتاج خرائط التوزيع المكاني للإشعاع الشمسي وعناصر المناخ (الحرارة، الرطوبة، الرياح) في محافظة معان.

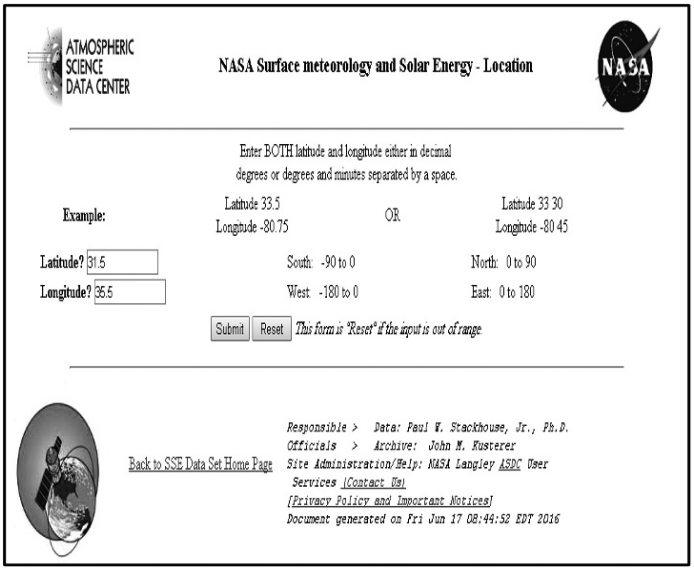
- مصادر البيانات:

اعتمدت الدراسة على المصادر الآتية:

أ – البيانات المناخية الشهرية في 120 نقطة رصد موزعة على مختلف مناطق مكان الدراسة بمسافات متساوية، وقد أجريت قراءة للبيانات المناخية لهذه النقاط مدة خمس سنوات متتالية للفترة من 2011–2015م، وتعد هذه الفترة مقبولة لأهداف هذه الدراسة. وحددت مواقع هذه النقاط بحيث تشمل جميع مناطق محافظة معان، وضمن مسافات متساوية حسبت بناء على خطوط الطول ودوائر العرض بمسافة تعادل 0.15. وشملت القراءات البيانات المُناخية الآتية: كمية الإشعاع الشمسي، درجة الحرارة، الرطوبة النسبية، سرعة الرياح. وتمَّ الحصول على هذه البيانات من الموقع الإلكتروني الرسمي لوكالة ناسا NASA الفضائية الأمريكية www.nasa.com، من خلال الرابط الخاص بالبيانات المناخية Surface Meteorology and Solar Energy، ويوفر الموقع الإلكتروني للوكالة فرصة الحصول على البيانات المناخية المختلفة لأي نقطة على سطح الأرض بعد تحديد إحداثياتها الجغرافية، بحسب نموذج معد لهذه الغاية، حيث يتم إدخال إحداثيات النقطة على النموذج، وتعرض البيانات المناخية المطلوبة، ومن ثمَّ تجهز للعمل عليها ضمن برنامج إكسل، وبعد ذلك تحوّل إلى ملفات شكلية Shape Files، يمكن تحليلها ضمن برامج نظم المعلومات الجغرافية، ويوضح شكل (1) النموذج المعتمد لإدخال الإحداثيات للحصول على البيانات المناخية المطلوبة، كما يوضح شكل (2) مواقع محطات الرصد المستخدمة في الدراسة.

شكل (1)

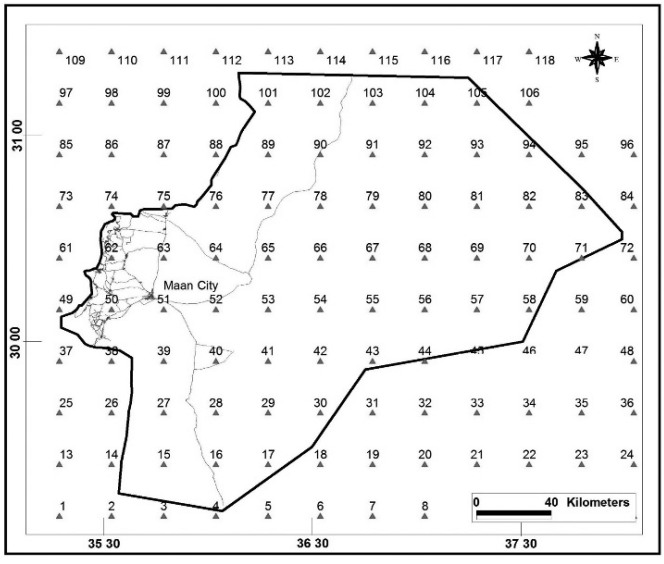
نموذج تحديد الموقع للحصول على البيانات المناخية من موقع وكالة ناسا الإلكتروني



المصدر: NASA, 2015

شكل (2)

المحطات المستخدمة في الدِّراسة للفترة من 2011 حتى نهاية 2015



المصدر: عمل الباحثين، بالاعتماد على برنامج ArcGIS.

ب – الخرائط الطبوغرافية وخرائط الطقس لمنطقة الدراسة، وكذلك مراجعة الدراسات السابقة وذات الصلة، والكتب، والبحوث، والدوريات، والمراجع الأجنبية، والعربية، التي تشكِّل الإطار النظري للدراسة.

ج – استخدام برنامج نظم المعلومات الجغرافية Arc Map 10.3 وArc Catalog 10.3 لرسم الخرائط وإجراء بعض التحليلات والمقارنات المكانية.

ثالثاً - إجراءات الدراسة:

لتحقيق أهداف الدراسة أجريت الخطوات الآتية:

أولاً- الحصول على: الخرائط، والبيانات، والمعلومات، والتقارير المنشورة، والنشرات الصادرة عن الهيئات والمؤسسات الرسمية الحكومية، والخاصة المتعلقة بمنطقة الدراسة، وتشمل:

1 – الخريطة الإدارية لموقع منطقة الدراسة وتقسيماتها الإدارية.

2 – البيانات المناخية المتوافرة لمنطقة الدراسة من دائرة الأرصاد الجوية، والبيانات المناخية المتاحة من الموقع الإلكتروني لمحطة ناسا NASA.

3 – الخريطة الطبوغرافية لمنطقة الدراسة مقياس رسم 1 :50,000.

ثانياً: مرحلة معالجة البيانات المناخية (المرحلة التحضيرية) وتبويبها:

في هذه المرحلة عولجت جميع البيانات المناخية لمحطات الرصد المستخدمة في الدراسة؛ ومن ثم جدولت وبوبت من أجل بناء قاعدة بيانات مناخية متكاملة، تشمل الخصائص المناخية لمنطقة الدراسة.

وفي هذه المرحلة أدخلت جميع البيانات والمعلومات الوصفية الكمية والنوعية وربطت بالطبقات والبيانات الجغرافية التي تم ترقيمها، وذلك بعد تحويلها إلى ملفات رسم Shape Files. وتشمل هذه المرحلة إعداد نماذج مناخية لتحليل التوزيع المكاني للإشعاع الشمسي من خلال صياغة المعايير ومعالجتها باستخدام وظائف التحليل المكاني، وأعطي كل معيار رتبة معينة بحسب أهميتها. فالمعايير الأكثر أهمية والتي تشكل أثراً مباشر على كفاءة الاختيار تأخذ رتبة أعلى، والمعايير الأقل أهمية تأخذ رتبة أقل، واعتمد على هذه المعايير لاشتقاق خريطة الموقع الأمثل لمشاريع توليد الكهرباء من الإشعاع الشمسي في منطقة الدراسة، وتحليل النتائج باستخدام برنامج

Arc GIS 10.2، ورُكز على أهم العوامل المؤثرة في كفاءة الطاقة الشمسية واستغلالها ونجاحها، وشملت عوامل: الإشعاع الشمسي، ودرجات الحرارة، وسرعة الرياح، والرطوبة النسبية، والقرب من الخدمات، والتضاريس.

ثالثاً- مرحلة الإخراج والتحليل الكارتوغرافي Cartographic Design

أنتج في هذه المرحلة جميع الخرائط الموضوعية المتعلقة بالدراسة وفق الثوابت التقنية الكارتوغرافية الخاصة بتمثيل التدرج النوعي، والكمي، للإشعاع الشمسي، والعناصر المناخية الأخرى، وحولت جميع البيانات إلى ملفات شبكية بحسب المعايير المستخدمة، ونفذت الاختبارات الخاصة بعملية تحديد الموقع الأفضل.

الاختبارات الكارتوغرافية المستخدمة في الدراسة:

استخدمت الدراسة برمجيات نظم المعلومات الجغرافية؛ مثل برنامج ArcGIS 10. 2 لتحويل الخرائط الورقية الخاصة بمنطقة الدراسة إلى خرائط رقمية وفق إحداثيات جغرافية مصححة، واستخدمت هذه الخرائط أساساً لتوقيع قيم الإشعاع الشمسي على الحيز المكاني لمنطقة الدراسة، وتمثيلها بالنظام الشبكي Raster Formate، فضلاً عن إجراء تحليل كارتوغرافي عليها، وتمثيل نتائج التحليل الإحصائي على الخرائط، واستخدمت هذه الخرائط في تحديد أماكن التركز الجغرافي للإشعاع الشمسي.

ولتحقيق ذلك اتخذ ما يأتي:

استخدام ملحق البرنامج الخاص بالتحليل المكاني Spatial Analysis في برنامج نظام المعلومات الجغرافي Arc Gis 10.2، الذي يستند إلى نماذج رياضية مناسبة لتحديد نمط التوزيع المكاني للإشعاع الشمسي، وتخزين الخرائط على شكل ملفات شبكية Raster، لسهولة التعامل معها وعرضها وتحليلها.

1 – إجراء وتنفيذ الأوامر الخاصة باستنباط خريطة الموقع الأمثل؛ بناءً على الطبقات التي تم تمثيلها وفقاً للمعايير المتبعة، وأعطي كل معيار رتبة معينة بحسب أهميته في عملية المفاضلة بين المواقع لاختيار الموقع الأمثل لمشاريع الطاقة الشمسية، وحولت البيانات المناخية النقطية إلى الصيغة الخلوية بتنفيذ الأمر Spline with Barriers Interpolation، والأمر Raster Reclassification ضمن برنامج ArcGIS 10.2.

2 – إيجاد كثافة توزيع الإشعاع الشمسي، وإجراء بعض الاختبارات الكارتوغرافية؛ لوصف التوزيع المكاني للإشعاع الشمسي وعلاقته بالعناصر المناخية الأخرى، من

خلال استخدام الأمر Raster Calculator وتنفيذ وإجراء جبر الطبقات Execute Map Algebra expressions.

واستخدمت الدراسة عدداً من الأساليب الإحصائية والعلاقات الرياضية، وهي:

1 – استخدام معامل ارتباط بيرسون Person's Coeff لتحديد العلاقة بين معدل الإشعاع الشمسي والعناصر المناخِية الأخرى، وذلك بحسب الصيغة الرياضية الآتية:

$$r = \frac{S_{xy}}{S_x \, S_y} = \frac{\frac{\sum (x-\bar{x})(y-\bar{y})}{(n-1)}}{\sqrt{\frac{\sum (x-\bar{x})^2}{(n-1)}}\sqrt{\frac{\sum (y-\bar{y})^2}{(n-1)}}}$$

حيث إن:

X : قيم المتغير الأول.

Y: قيم المتغير الثاني.

X̄: الوسط الحسابي لقيم المتغير الأول.

Ȳ: الوسط الحسابي لقيم المتغير الثاني.

N: عدد القيم.

2 – تحليل شكل الاتجاه العام لمعدلات الإشعاع الشمسي خلال فترة الدراسة، واعتمد على طريقة المربعات الصغرى Least Square Method للتوصل إلى معادلة الاتجاه العامة للسلسلة الزمنية، وسيعتمد على العلاقات الرياضية الآتية (Box & Jenkins, 1970):

$$T = a + bx \quad (1)$$

T : تمثل القيم الاتجاهية للإشعاع الشمسي.

X: تمثل الزمن.

وتحسب قيمة كل من b و a باستخدام طريقة المربعات الصغرى.

3 – استخدام مقاييس النزعة المركزية؛ مثل المتوسطات الحسابية، والانحراف المعياري، ومعامل التغير؛ لتعرف مدى التغير أو التباين Variability في معدلات

الإشعاع الشمسي خلال فترة الدراسة في مواقع الرصد المناخية المختارة في منطقة الدراسة، وقد استخدم الانحراف المعياري ومعامل التغير لمعدل الإشعاع الشمسي؛ حيث يفيد الانحراف المعياري في معرفة مدى التباين في معدلات الإشعاع الشمسي في فترة الدراسة، ويتم الحصول عليه بتربيع انحراف درجات معدلات الإشعاع الشمسي السنوية عن المعدل العام لمتوسط الإشعاع الشمسي، وقسمتها على عدد السنوات خلال فترة الدراسة، ثم إيجاد الجذر التربيعي للتباين. ولتعرف مدى التغير الذي تتعرض له كميات الإشعاع الشمسي في منطقة الدراسة حُسب معامل التغير على النحو الآتي :

$$C.V.\ (\%) = (S \times 100) / X$$

حيث إنَّ: C.V. = معامل التغير، S = الانحراف المعياري، X= المتوسط السنوي للإشعاع الشمسي في فترة الدراسة.

رابعاً- منطقة الدراسة:

تقع محافظة معان جنوبي المملكة الأردنية الهاشمية، وتمتد بين خطي الطول (30 °35 - 00 °38) شرقاً ودائرتي عرض (11 °29 - 15 °31) شمالاً، (شكل 3)، ويبلغ متوسط ارتفاعها فوق سطح البحر نحو 1112م، وتبعد مدينة معان عن العاصمة عمان نحو (210) كم، وتبلغ مساحة المحافظة نحو (32832) كم^2؛ أي ما يعادل (36.98%) من المساحة الإجمالية للمملكة. يمثل سكان محافظة معان البالغ نحو (144082) نسمة ما نسبته (1.51%) من سكان المملكة، البالغ عددهم نحو 9531712 نسمة، وهي بذلك تعد المحافظة الأوسع مساحة والأقل سكاناً مقارنة بمساحتها؛ إذ تبلغ الكثافة العامة للسكان في المحافظة نحو (4.4) نسمة/كم^2 بحسب التعداد العام للسكان عام2015. (دائرة الإحصاءات العامة، 2016)

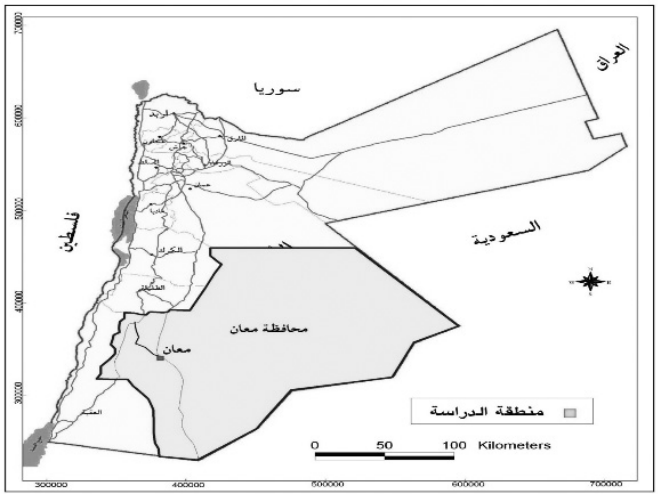
4 - 1 - تضاريس منطقة الدراسة:

ينقسم السطح الطبيعي لمحافظة معان إلى وحدتين طبيعيتين، هما:

1 – الصحراء: وتشكل ما يقارب (95%) من مجموع مساحة المحافظة.

2 – الجبال: وتعرف بسلسلة جبال الشراه، وتشمل القسم الغربي من المحافظة وتشكل جبال الشوبك، والبتراء مركزها الرئيس، ويصل ارتفاعها إلى نحو (1700م) عن مستوى سطح البحر.

شكل (3)
خريطة موقع منطقة الدراسة في الأردن



المصدر: عمل الباحثين بالاعتماد على خريطة التقسيمات الإدارية من دائرة الأراضي والمساحة مقياس 1 :2500.

4 - 2 - مناخ منطقة الدراسة:

تتشكل المنظومة المناخية في منطقة الدراسة من تداخل عدد من العناصر المناخية، تتمثل في درجة الحرارة، والرطوبة النسبية، والرياح والعواصف، والأمطار، وكمية الإشعاع الشمسي. ويمثل تفاعلها الضابط الطبيعي الأول لعمليات التنمية؛ إذ يمكن أن يؤثر المناخ على خصائص المنطقة من حيث قدرتها على توفير الشروط المناسبة لإقامة مشاريع توليد الكهرباء من الإشعاع الشمسي. وفي ضوء هذا الاعتبار تم تناول مناخ منطقة الدراسة؛ إذ تقع محافظة معان ضمن نطاق المناخ الصحراوي في المناطق الشرقية؛ حيث البيئة الصحراوية، ومناخ إقليم البحر المتوسط في المناطق الغربية؛ حيث بيئة المرتفعات الجبلية، ويمكن إيضاح العناصر الرئيسة للمناخ، التي ترتبط بها مشاريع توليد الكهرباء من الإشعاع الشمسي في منطقة الدراسة على النحو الآتي:

4-2-1 - درجات الحرارة :

يبلغ معدل درجة الحرارة في فصل الصيف نحو (36°م) في المناطق الصحراوية، و(29°م) في المناطق الجبلية، في حين يكون معدل درجات الحرارة في أشهر الشتاء

(2°م) في المناطق الصحراوية، و(4°م) في المرتفعات الجبلية، وبالنظر إلى متوسط درجات الحرارة على مدار العام نجد أنه لا يوجد تفاوت كبير بينها؛ مما يجعل محافظة معان منطقة جاذبة لمشروعات توليد الكهرباء من الإشعاع الشمسي؛ وبخاصة في المناطق الشرقية والوسطى.

4-2-2 - الأمطار

تتفاوت كميات الأمطار في منطقة الدراسة تبعاً للاختلاف في المناسيب؛ حيث الأمطار القليلة أقل من (100) ملم سنوياً في المناطق الشرقية التي تتميز بالبيئة الصحراوية واستواء السطح، وتصل الأمطار إلى نحو 300 ملم سنوياً في المناطق المرتفعة غربي المحافظة (دائرة الأرصاد الجوية، 2015).

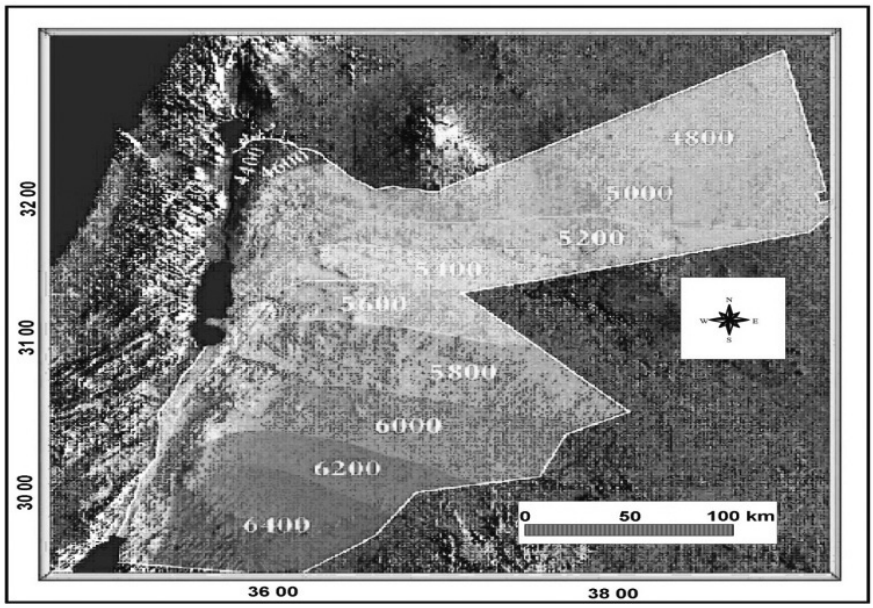
4-2-3 - الرطوبة النسبية:

ترتبط الرطوبة النسبية بدرجات الحرارة؛ فعند ارتفاع نسب الرطوبة في ظل وجود درجة حرارة أعلى من مستوى الراحة الحرارية للإنسان (أعلى من 27م°)، فإن الإحساس بالرطوبة يكون له تأثير سلبي كبير على الإنسان، وفي الوقت نفسه إذا زادت درجة الحرارة عن مستوى الراحة الحرارية للإنسان في ظل نسب رطوبة منخفضة، فإن ذلك يقلل من التأثير السلبي لدرجة الحرارة.

4-2-4 - الإشعاع الشمسي:

يُظهر شكل (4) المعدل اليومي للإشعاع الشمسي (جول/ سم^2) في الأردن؛ حيث يوفر الإشعاع الشمسي جميع الطاقة اللازمة للعمليات الحيوية والبيولوجية، ويلحظ من شكل (4) أن منطقة الدراسة تتلقى معدلات مرتفعة من الإشعاع الشمسي مقارنة مع باقي المناطق في الأردن؛ حيث يراوح معدل الإشعاع الشمسي في منطقة الدراسة بين (5600 و6400 جول/سم^2)؛ الأمر الذي يعطي أهمية ودافعاً لإنشاء مشاريع الطاقة الشمسية، علماً بأن محافظة معان -على وجه الخصوص- يظهر فيها أعلى نسبة إشعاع شمسي في الأردن؛ مما يناسب مشاريع توليد الكهرباء من الإشعاع الشمسي بمختلف أشكالها في منطقة الدراسة. وتشير الدراسات إلى أنَّ كمية الإشعاع الشمسي الساقطة على المتر المربع الواحد في المملكة تعطي من الطاقة ما يعادل برميل نفط في العام؛ أي أنَّ الكيلومتر المربع يمكن أن ينتج مليون برميل في العام الواحد (المركز الوطني لبحوث الطاقة، 2012).

شكل (4)
المعدل اليومي للإشعاع الشمسي في الأردن



المصدر: المركز الوطني لبحوث الطاقة، 2012م.

خامساً- تحليل النتائج:

5-1 - الخصائص العامة للإشعاع الشمسي في منطقة الدراسة:

أولاً- المتوسطات السنوية لكمية الاشعاع الشمسي:

حسبت المتوسطات السنوية للإشعاع الشمسي لفترة خمسة أعوام - فترة الدراسة (2011-2015). ويوضِّح جدول (2) قيم المتوسطات السنوية للإشعاع الشمسي في منطقة الدراسة.

جدول (2)

المتوسطات الحسابية للإشعاع الشمسي الكلي في منطقة الدراسة في الفترة (2011-2015)

السنوات	معدل الإشعاع الشمسي اليومي[1]. (كيلو واط ساعة/ م^2/ يوميا)	الإشعاع الشمسي السنوي (كيلو واط ساعة/ م^2/ يوميا)	الانحراف عن المعدل العام
2011	5.60	2043.57	0.03-
2012	5.57	2036.05	7.55-
2013	5.58	2039.56	4.04-
2014	5.62	2053.44	9.84
2015	5.60	2045.40	1.80
المعدل العام	5.60	2043.60	0.00

المصدر: من إعداد الباحثين بالاعتماد على البيانات الصادرة عن وكالة ناسا.

يتضح من جدول (2) أنَّ المعدل العام للإشعاع الشمسي اليومي في منطقة الدراسة في الفترة (2011-2015) يبلغ نحو (5.60 كيلو واط ساعة/م^2/ يومياً)، وتبلغ قيمة الإشعاع الشمسي السنوي نحو (2043.00 كيلو واط ساعة/م^2/ يومياً)، وبمقارنة هذه القيم بالمعدل العام السنوي للإشعاع الشمسي في الأردن البالغ نحو (1922 كيلو واط ساعة/م^2/ يومياً) يتضح أن منطقة الدراسة تصنف ضمن المناطق الغنية بالإشعاع الشمسي في الأردن، التي يمكن استثمارها في توليد الطاقة الكهربائية والعديد من مجالات تطبيقات الطاقة الشمسية، وتتميز منطقة الدراسة بالتباينات القليلة في معدلات الإشعاع الشمسي في فترة الدراسة؛ حيث راوحت الانحرافات عن المعدل العام ما بين (-4.04 و9.84 كيلو واط ساعة/م^2/ يومياً).

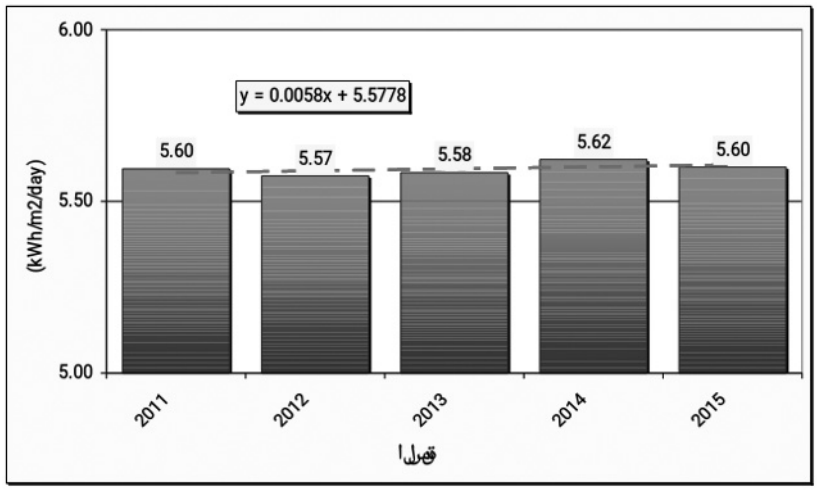
ويظهر من شكل (5) التباين القليل في المعدل العام للإشعاع الشمسي السنوي خلال فترة الدراسة، ويتبين ذلك من خلال قيم الإشعاع الشمسي السنوي، التي انحصرت ضمن الفترة بين (2036.0 و2053.4 كيلو واط ساعة/م^2/يومياً)، ويظهر ذلك من خلال معادلة انحدار الخط المستقيم التي تمثل الاتجاه العام للإشعاع الشمسي بشكل عام في منطقة الدراسة، ويلحظ أن الاتجاه العام للإشعاع الشمسي

(1) حسب المتوسط الحسابي للإشعاع الشمسي اليومي بجمع قيم الإشعاع الشمسي اليومي في السنة وقسمتها على عدد الأيام الكلي.

السنوي يتجه نحو الزيادة خلال فترة الدراسة، وأن الزيادة في قيم الإشعاع الشمسي قليلة، وهو ما يظهر في شكل (5)؛ مما يشير إلى ثبات قيم الإشعاع الشمسي في منطقة الدراسة، ومن ثم عدم وجود تذبذب كبير يمكن أن يؤثر على كفاءة مشروعات توليد الطاقة الكهربائية من الطاقة الشمسية.

شكل (5)

المعدلات السنوية للإشعاع الشمسي الكلي في منطقة الدراسة في الفترة (2011-2015)



المصدر : عمل الباحثين بالاعتماد على البيانات المناخية لمنطقة الدراسة.

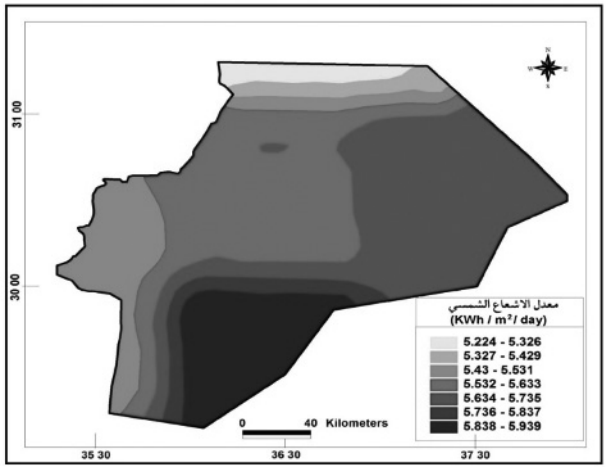
ثانياً- التباين المكاني السنوي للإشعاع الشمسي

يوضِّح شكل (6) التباين المكاني السنوي لمعدل الإشعاع الشمسي الكلي الساقط على السطح الأفقي في منطقة الدراسة خلال الفترة (2011-2015)؛ حيث يلحظ التدرج الواضح في قيم الإشعاع الشمسي الكلي في المنطقة، وتتلقى المنطقة الجنوبية الشرقية أعلى القيم للإشعاع الشمسي، التي راوحت بين (5.736 و5.939 كيلو واط ساعة/ م^2/ يوم)، أما المناطق الشمالية والغربية؛ فيلحظ أنَّ قيم الإشعاع الشمسي تقل فيها عموماً عما هو في المناطق الجنوبية الغربية، التي تراوح فيها (5.531 و5.224 كيلو واط ساعة/م^2/ يومياً)، أما في المناطق الوسطى ومناطق السهول الصحراوية المنبسطة؛ فإن معدلات الإشعاع الشمسي تكون متقاربة؛ وذلك لتشابه الظروف المناخية من حيث عدد ساعات سطوع الشمس ومتوسط الرطوبة

النسبية. ويعود السبب في زيادة الإشعاع الشمسي السنوي الكلي في منطقة الدراسة إلى الظروف الجوية والخصائص الطبيعية السائدة في المنطقة، ولعدد ساعات سطوع الشمس، والموقع العام بالنسبة لدوائر العرض ولمعدلات الرطوبة السائدة.

شكل (6)

التباين المكاني للإشعاع الشمسي السنوي الكلي الساقط على منطقة الدراسة



المصدر : عمل الباحثين بالاعتماد على البيانات المناخية وبرنامج ArcGIS.

ثالثاً - معدلات الإشعاع الشمسي الشهرية:

للكشف عن معدلات الإشعاع الشمسي الشهرية خلال فترة الدراسة، حسبت المتوسطات الحسابية لكميات الإشعاع الشمسي الكلي لكل شهر خلال الفترة من (2011–2015)، ويظهر جدول (3) معدلات الإشعاع الشمسي اليومي والشهري، والانحراف عن المعدل العام في منطقة الدراسة.

جدول (3)

معدلات الإشعاع الشمسي اليومي والشهري في منطقة الدراسة في الفترة (2011 – 2015)

السنوات	معدل الإشعاع الشمسي اليومي[1]. (كيلو واط ساعة/ م2/ يومياً)	الإشعاع الشمسي الشهري (كيلو واط ساعة/م2/ يومياً)	الانحراف عن المعدل الشهري
كانون/2	3.31	102.6	67.8–
شباط	4.16	116.6	53.8–
آذار	5.33	165.1	5.3–
نيسان	6.48	194.3	23.9
أيار	7.33	227.4	57.0
حزيران	8.13	243.8	73.4
تموز	7.95	246.4	76.0
آب	7.19	222.9	52.5
أيلول	6.18	185.4	15.0
تشرين/1	4.64	144.0	26.4–
تشرين/2	3.48	104.5	65.9–
كانون/1	2.98	92.3	78.1–
المعدل العام	5.60	170.4	0.0

المصدر: عمل الباحثين بالاعتماد على البيانات المناخية من وكالة NASA.

يظهر من جدول (3) أن أعلى كمية للإشعاع الشمسي الشهري في منطقة الدراسة تقع في شهر تموز؛ إذ تبلغ نحو (246.4 كيلو واط ساعة/ م^2/ يومياً) وأدناها في شهر كانون الأول، وتبلغ نحو (92.3 كيلو واط ساعة/ م^2/ يومياً)، ويلحظ أن دورة الإشعاع الشمسي الشهري تبدأ بالتزايد التدريجي ابتداءً من شهر كانون الثاني حتى شهر تموز، ثم تبدأ بالتناقص التدريجي ابتداءً من شهر آب لتصل أدناها في شهر كانون الأول.

(1) حسب المتوسط الحسابي للإشعاع الشمسي اليومي بجمع قيم الإشعاع الشمسي اليومي خلال الشهر وقسمتها على عدد أيام الشهر.

ويتوافق هذا التباين الواضح للإشعاع الشمسي الشهري في منطقة الدراسة مع قيم المتوسطات الشهرية لعدد ساعات السطوع، التي تزيد بشكل عام ابتداءً من شهر شباط، إلى أن تصل قمتها في شهري: حزيران وتموز، ثم تتناقص لتصل إلى أدناها في شهر كانون الأول. وعموماً يلحظ أن منطقة الدراسة تكون خلال جميع أشهر السنة غنية بالإشعاع الشمسي التي يمكن استثمارها في العديد من مجالات تطبيقات الطاقة الشمسية.

رابعاً - معدلات الإشعاع الشمسي الفصلية:

للكشف عن معدلات الإشعاع الشمسي الفصلي خلال فترة الدراسة، حسبت المتوسطات الحسابية لكميات الإشعاع الشمسي الكلي لكل فصل من فصول السنة خلال الفترة (2011-2015)، ويظهر جدول (4) معدلات الإشعاع الشمسي اليومي والفصلي، والانحراف عن المعدل العام في منطقة الدراسة.

جدول (4)

المتوسطات الحسابية للإشعاع الشمسي في منطقة الدراسة

الفصل	معدل الإشعاع الشمسي[1] (كيلو واط ساعة/ م^2/ يومياً)	الإشعاع الشمسي الفصلي (كيلو واط ساعة/ م^2/ يومياً)	الانحراف عن المعدل الفصلي
الشتاء	3.48	313.63	197.64-
الربيع	6.38	586.90	75.63
الصيف	7.76	705.78	194.51
الخريف	4.77	438.77	72.50-
المتوسط	5.60	511.27	0.00

المصدر: عمل الباحثين بالاعتماد على البيانات المناخية من وكالة NASA.

يتضح من جدول (4) أن أعلى كمية للإشعاع الشمسي الفصلي في منطقة الدراسة تقع خلال شهور فصل الصيف (حزيران، تموز، آب)؛ إذ تبلغ نحو (705.78 كيلو واط ساعة/م^2/ يومياً) وأدناها خلال شهور فصل الشتاء (كانون الأول، كانون الثاني، شباط)، وتبلغ نحو (313.63 كيلو واط ساعة/ م^2/ يومياً) ويلحظ من شكل (7)

(1) حسب المتوسط الحسابي للإشعاع الشمسي الفصلي بجمع قيم الإشعاع الشمسي الفصلي وقسمتها على عدد أيام الفصل.

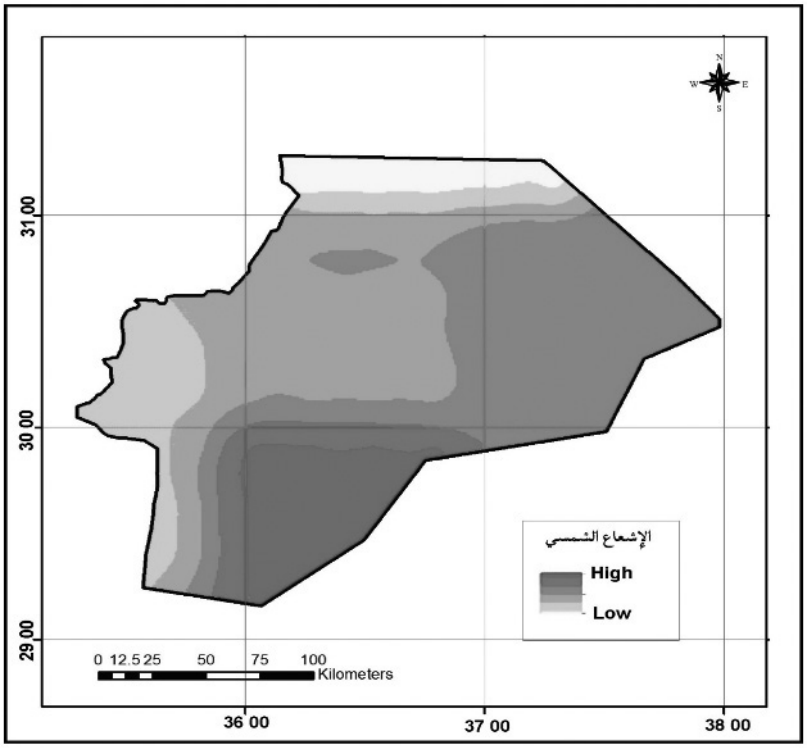
أن دورة الإشعاع الشمسي الفصلي تبدأ بالزيادة التدريجية ابتداءً من فصل الشتاء حتى فصل الصيف، ثم تبدأ بالتناقص التدريجي ابتداءً من فصل الخريف.

5 - 2 - المعايير المعتمدة في اختيار مواقع مشروعات الطاقة الشمسية ومدى ملاءمتها في منطقة الدراسة:

يتطلب التخطيط لإنشاء مشروعات توليد الكهرباء من الإشعاع الشمسي أن يراعى عدد من الشروط والمعايير اللازمة لإقامتها؛ لكي تتحقق الفائدة القصوى منها لتجنب آثار سلبية ناتجة عنها، وستعتمد الدراسة على عدد من المعايير الرئيسة، التي يمكن من خلالها تحديد المناطق الأكثر ملاءمة لإنشاء مشاريع الطاقة الكهربائية من الطاقة الشمسية. لذا تُمثل هذه المعايير على برنامج Arc GIS على شكل طبقات شبكية Raster، وتعطى لها قيم بحسب درجة تأثيرها في اختيار المواقع الأنسب، وقد اعتمد على تحديد القيم والمعايير على بعض الدراسات التطبيقية.

1 – الإشعاع الشمسي: تعد كمية الإشعاع الشمسي من أهم العوامل الرئيسة المؤثرة في اختيار مواقع مشروعات توليد الكهرباء من الإشعاع الشمسي، فكلما زادت كمية الإشعاع الشمسي زادت قدرة الخلايا الشمسية على إنتاج الطاقة. يوضِّح شكل (7) المعيار المكاني المستخدم في الدراسة لتحديد الموقع الأمثل لمشروعات الطاقة الشمسية بحسب درجة تأثير عامل الإشعاع الشمسي في منطقة الدراسة، ودُرّج المعيار بحسب درجة الملاءمة من «ملائم جداً» ويقابله: «High» إلى «غير ملائم» ويقابله: «Low».

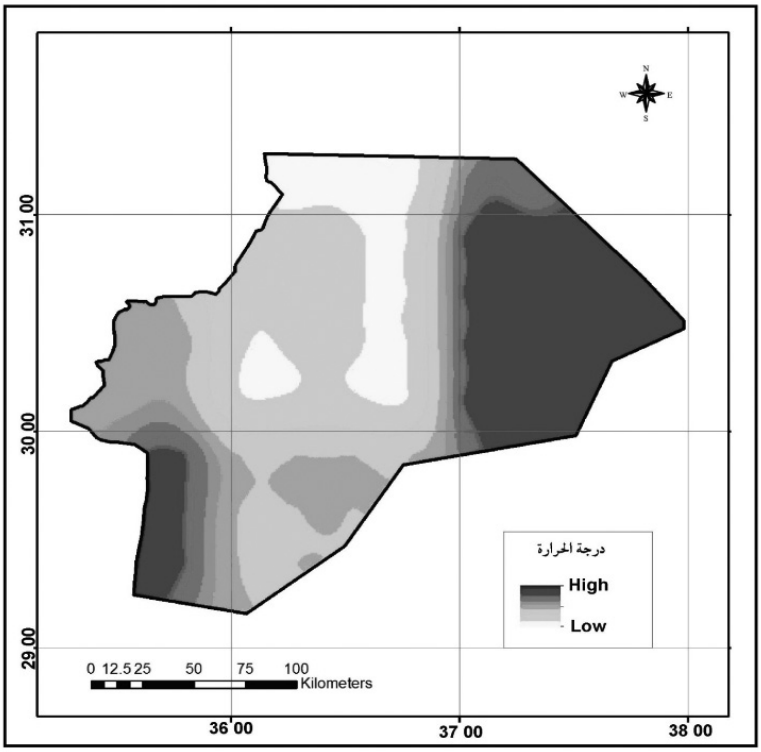
شكل (7)
تصنيف المناطق بحسب درجة تأثير معيار الإشعاع الشمسي لإقامة مشروعات توليد الكهرباء من الإشعاع الشمسي في منطقة الدراسة



المصدر: عمل الباحثين بالاعتماد على برنامج ArcGIS.

2 – درجات الحرارة: تؤثر درجات الحرارة المرتفعة سلباً على قدرة الخلايا الشمسية على إنتاج الطاقة، ولها تأثير كبير على تقليل القدرة الناتجة من الخلايا. يوضِّح شكل (8) المعيار المكاني المستخدم في الدراسة لتحديد الموقع الأمثل لمشروعات الطاقة الشمسية بحسب درجة تأثير عامل درجات الحرارة في منطقة الدراسة، وقد دُرّج المعيار بحسب درجة الملاءمة من «ملائم جداً» ويقابلة: «High» إلى «غير ملائم» ويقابله: «Low».

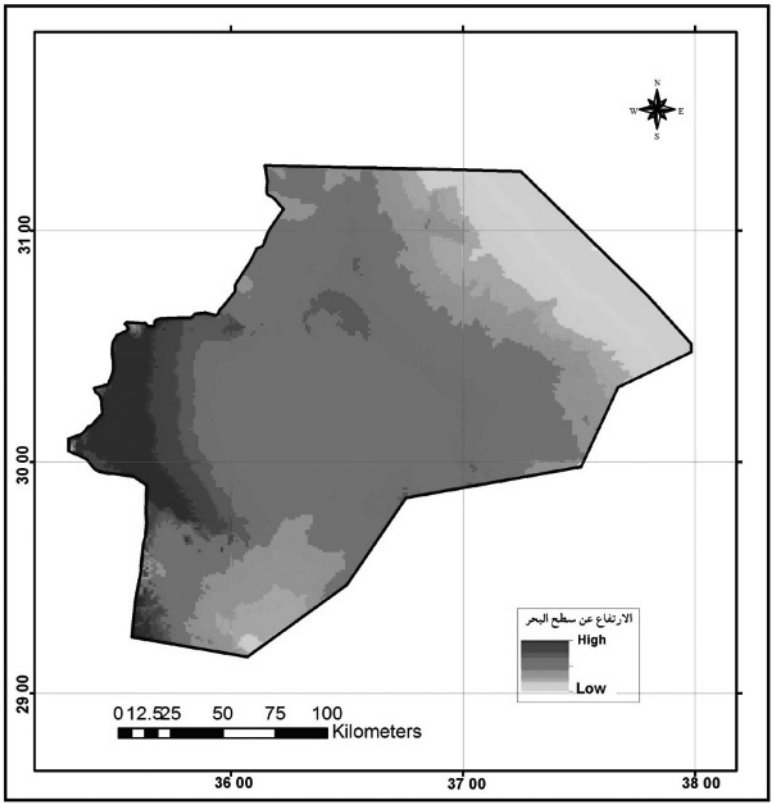
شكل (8)
تصنيف المناطق بحسب درجة تأثير معيار درجات الحرارة لإقامة مشروعات توليد الكهرباء من الإشعاع الشمسي في منطقة الدراسة



المصدر: عمل الباحثين بالاعتماد على برنامج ArcGIS.

3 – الارتفاع عن مستوى سطح البحر: يؤثر الارتفاع عن سطح البحر إيجابياً على قدرة الخلايا الشمسية على إنتاج الطاقة؛ لعاملين، الأول: هو زيادة كمية الإشعاع الشمسي الواصلة لقلة الهواء الواقع فوق المنطقة، والثاني: يؤدي الارتفاع إلى خفض درجات الحرارة؛ مما يزيد من كفاءة الخلايا الشمسية المولدة للطاقة الكهربائية، ويقابل ذلك زيادة في معدلات الرطوبة. ويوضِّح شكل (9) المعيار المكاني المستخدم في الدراسة لتحديد الموقع الأمثل لمشروعات توليد الكهرباء من الإشعاع الشمسي بحسب درجة تأثير الارتفاع عن سطح البحر في منطقة الدراسة، وقد دُرّج المعيار بحسب درجة الملاءمة من «ملائم جداً» ويقابلة: «High» إلى «غير ملائم» ويقابله: «Low».

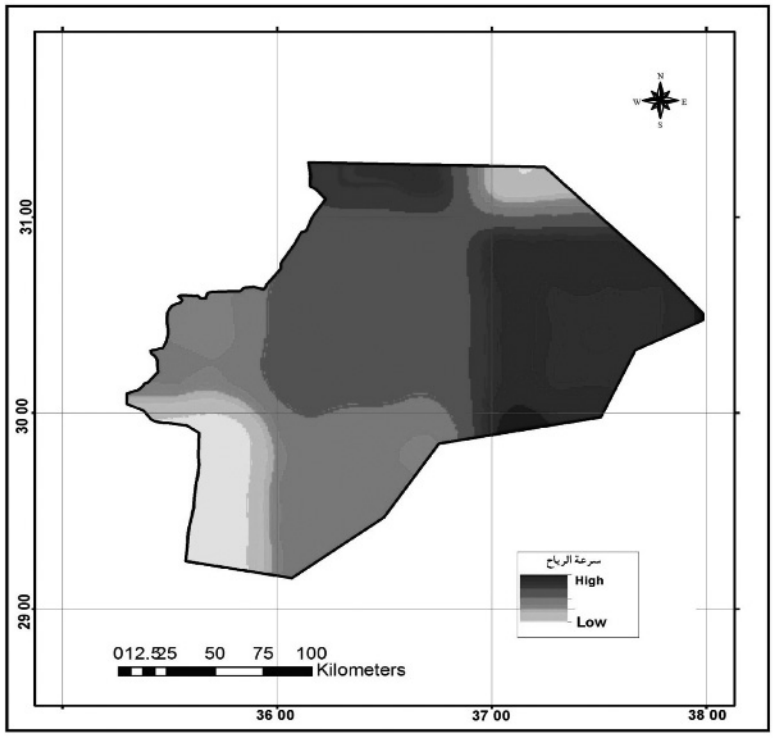
شكل (9)
تصنيف المناطق بحسب درجة تأثير معيار الارتفاع عن سطح البحر لإقامة مشروعات توليد الكهرباء من الإشعاع الشمسي في منطقة الدراسة



المصدر: عمل الباحثين بالاعتماد على برنامج ArcGIS وبرنامج Global Mapper.

4 – سرعة الرياح: تؤثر سرعة الرياح إيجابياً على قدرة الخلايا الشمسية على إنتاج الطاقة؛ إذ تقلل الرياح درجات الحرارة في الخلايا الشمسية، وتزيد من قدرة الخلايا الشمسية على إنتاج الطاقة. ويوضِّح شكل (10) المعيار المكاني المستخدم في الدراسة لتحديد الموقع الأمثل لمشروعات الطاقة الشمسية بحسب درجة تأثير الارتفاع عن سطح البحر في منطقة الدراسة، وقد دُرّج المعيار بحسب درجة الملاءمة من «ملائم جداً» ويقابلة: «High» إلى «غير ملائم» ويقابله: «Low».

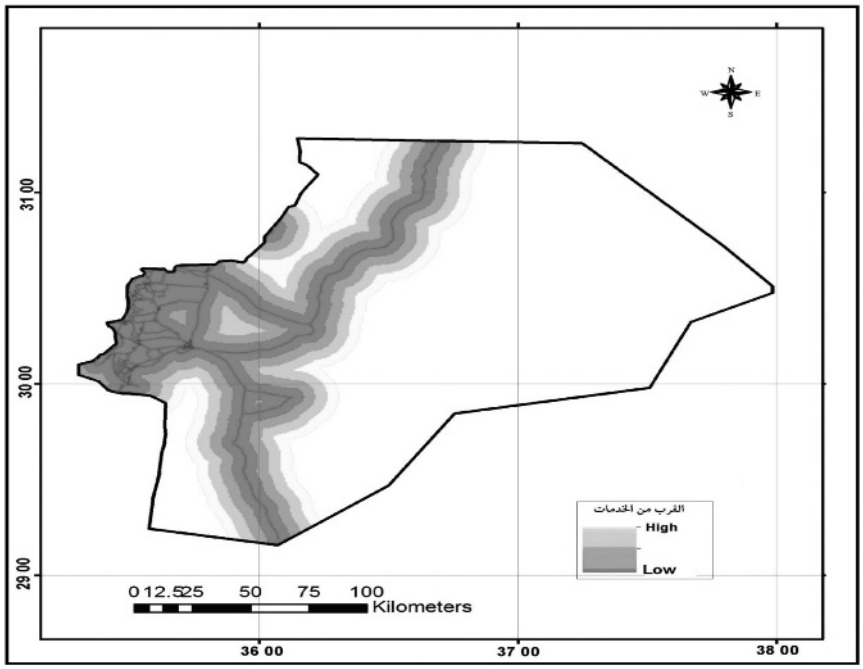
شكل (10)
تصنيف المناطق بحسب درجة تأثير معيار سرعة الرياح لإقامة مشروعات توليد الكهرباء من الإشعاع الشمسي في منطقة الدراسة



المصدر: عمل الباحثين بالاعتماد على برنامج ArcGIS.

5 – القرب من الخدمات: تزيد كفاءة مشروعات الطاقة الشمسية في المناطق التي تتوافر فيها خدمات الطرق والكهرباء؛ وذلك لسهولة النقل، وتوفير المعدات، وربط المشروع بشبكة الكهرباء المحلية. ويوضِّح شكل (11) المعيار المكاني المستخدم في الدراسة لتحديد الموقع الأمثل لمشروعات الطاقة الشمسية بحسب درجة تأثير القرب من خدمات الطرق وشبكة الكهرباء الوطنية في منطقة الدراسة، وقد دُرّج المعيار بحسب درجة الملاءمة من «ملائم جداً» ويقابلة: «High» إلى «غير ملائم» ويقابله: «Low».

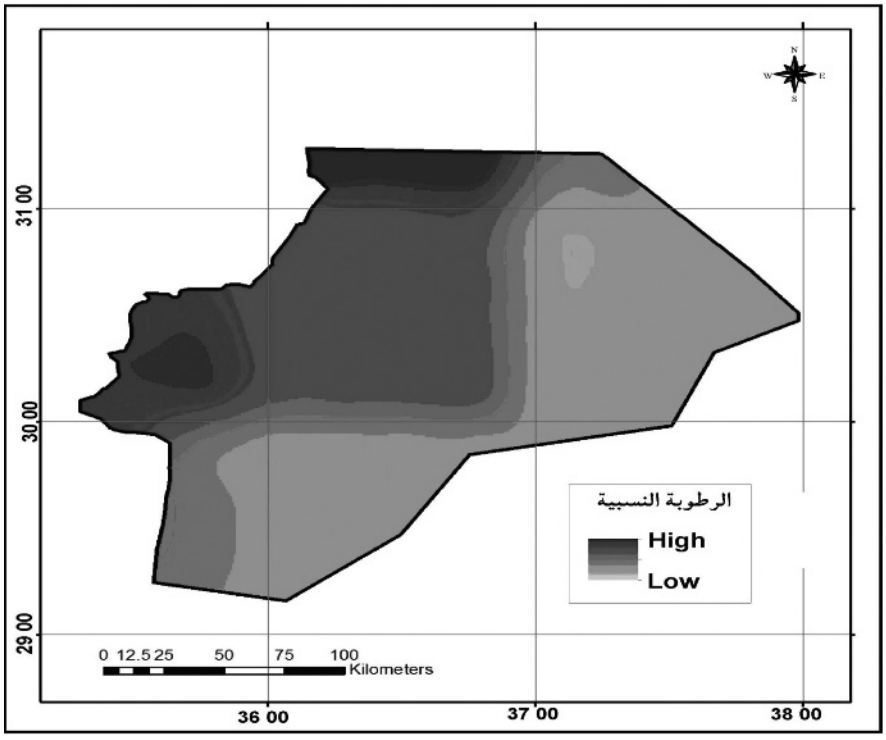
شكل (11)
تصنيف المناطق بحسب درجة تأثير معيار القرب من الخدمات لإقامة مشروعات توليد الكهرباء من الإشعاع الشمسي في منطقة الدراسة



المصدر: عمل الباحثين بالاعتماد على برنامج ArcGIS.

6 – الرطوبة النسبية: تعمل معدلات الرطوبة المرتفعة على زيادة الغطاء النباتي وتقليل كميات الغبار في المنطقة ، كما تعمل على تقليل كفاءة الخلايا الشمسية المولدة للطاقة، ويوضِّح شكل (12) المعيار المكاني المستخدم في الدراسة لتحديد الموقع الأمثل لمشروعات الطاقة الشمسية بحسب درجة تأثير الرطوبة النسبية في منطقة الدراسة، وقد دُرّج المعيار f بحسب درجة الملاءمة من «ملائم جداً» ويقابلة: «High» إلى «غير ملائم» ويقابله: Low.

شكل (12)
تصنيف المناطق بحسب درجة تأثير الرطوبة النسبية لإقامة مشروعات توليد الكهرباء من الإشعاع الشمسي في منطقة الدراسة



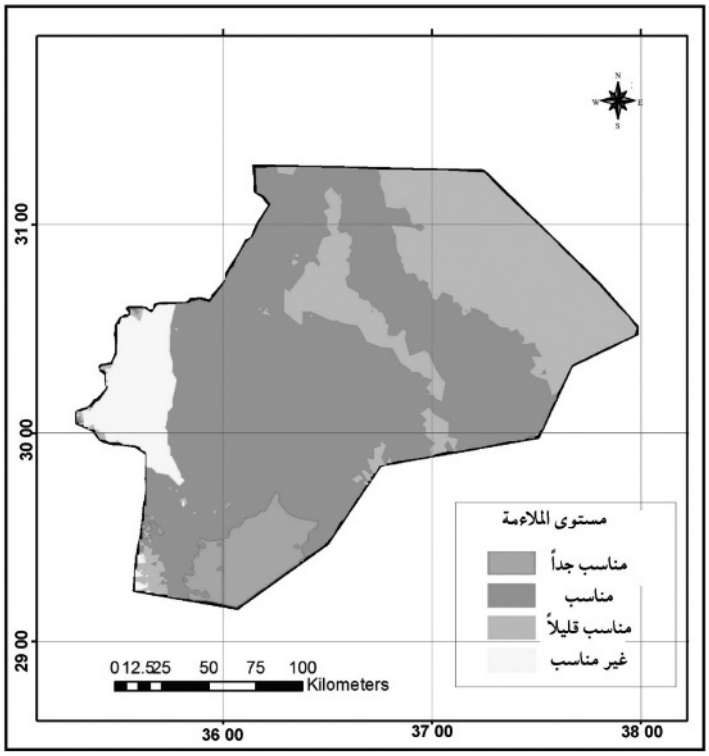
المصدر: عمل الباحثين بالاعتماد على برنامج ArcGIS.

5 - 3 - استنتاج الموقع الأمثل لمشروعات الطاقة الشمسية

بعد تجهيز الطبقات السابقة بحسب المعايير المعتمدة، وإجراء الأمر الخاص بتنفيذ جمع الطبقات من خلال الأمر Raster Calculation، انتهت إلى النموذج الخاص باستنتاج الموقع الأمثل، وذلك بعد إجراء عملية التحليل والنمذجة في بيئة نظم المعلومات الجغرافية إلى إخراج خريطة تبين أفضل المواقع لإقامة مشروعات الطاقة الشمسية بناء على مجموعة المعايير التي تضمنت المعايير المناخية، ومعايير القرب من الخدمات، ومُثلت درجة الملاءمة ضمن 4 فئات رئيسة، الأولى: مناسب جداً، والفئة الثانية: مناسب، والفئة الثالثة: مناسب بدرجة قليلة، والفئة الرابعة: غير مناسب. وبعد تطبيق النموذج بناء على هذه المعايير والرتب التي حصلت عليها، وذلك ضمن مراحل

وخطوات مدروسة ومنتظمة وعلى أسس علمية، خلصت الدراسة إلى استنتاج أفضل المواقع لإقامة مشروعات توليد الطاقة الكهربائية، وهو ما يوضحه شكل (13).

شكل (13)
فئات المناطق بحسب ملاءمتها لإقامة مشروعات توليد الكهرباء من الإشعاع الشمسي في منطقة الدراسة



المصدر: عمل الباحثين بالاعتماد على برنامج ArcGIS.

يوضح شكل (13) مستويات الملاءمة لإقامة مشروعات توليد الكهرباء من الإشعاع الشمسي باستخدام الطاقة الشمسية بحسب المعايير المتبعة في الدراسة على النحو الآتي:

1 – يمثل اللون الأخضر في الشكل أكثر المواقع ملاءمة على الإطلاق، وهي تقع في المنطقة الجنوبية الشرقية من محافظة معان، وتعدُّ هذه المنطقة من أكثر المناطق التي تتلقى الإشعاع الشمسي؛ حيث تراوح قيم الإشعاع الشمسي فيها بين

(5.736 و5.939 كيلو واط ساعة/م^2/ يومياً)، كما تتميز باعتدال درجات الحرارة فيها؛ حيث تبلغ معدلات الحرارة السنوية نحو (19.2م)، وتتميز أيضاً باعتدال الرطوبة النسبية؛ إذ تبلغ نحو 40%، وتتميز أيضاً من حيث سرعة الرياح والقرب من خدمات الطرق (طريق معان المدورة).

2 – يمثل اللون البني في الشكل المواقع الملائمة، التي تغطي أجزاء كبيرة من المحافظة، وهي تمتد في الأجزاء الشمالية والوسطى، وتعد هذه المنطقة من المناطق التي تتلقى كميات أقل من الإشعاع الشمسي مقارنة بالمنطقة الأولى؛ حيث تراوح قيم الإشعاع الشمسي فيها بين (5.532 و5.735 كيلو واط ساعة/م^2/ يومياً)، كما تتميز باعتدال درجات الحرارة؛ حيث تبلغ معدلات الحرارة السنوية نحو (19.0م)، وتتميز أيضاً باعتدال الرطوبة النسبية، التي تبلغ نحو 38%، وكذلك تتميز بملاءمتها من حيث الارتفاع عن سطح البحر وسرعة الرياح والقرب من خدمات الطرق.

3 – يمثل اللون الأزرق في الشكل المواقع الملائمة بدرجة قليلة، وهي تغطي أجزاء من الشمال الشرقي من المحافظة، وتمتد على شريط داخلي في المنطقة الوسطى من المحافظة، وتعدُّ هذه المنطقة من المناطق التي تتلقى كميات أقل من الإشعاع الشمسي بمُقارنة بالمنطقتين الأولى والثانية، كما تتميز بالارتفاع النسبي لدرجات الحرارة فيها.

4 – يمثل اللون الأصفر في الشكل المواقع غير الملائمة لإقامة مشروعات الطاقة الشمسية، وتغطي هذه المنطقة أجزاء واسعة من غربي المحافظة، وتعد هذه المنطقة من أقل المناطق التي تتلقى الإشعاع الشمسي مقارنة بالمناطق السابقة. ويبيِّن جدول (5) المساحة النسبية لكل فئة من هذه الفئات.

جدول (5)

مساحة فئات المناطق بحسب ملاءمتها لإقامة مشروعات الطاقة الشمسية في منطقة الدراسة

الفئة	المساحة (كم^2)	المساحة النسبية لكل فئة %
الفئة الأولى: مناسبة جداً	7283	22.18
الفئة الثانية: مناسبة	10953	33.36
الفئة الثالثة: مناسبة بدرجة قليلة	12656	38.55
الفئة الرابعة: غير مناسبة	1939	5.91
المجموع	32832	100.00

المصدر: عمل الباحثين.

سادساً - النتائج والتوصيات:

6 - 1 - النتائج:

في ضوء نتائج الدراسة المستندة إلى برامج نظم المعلومات الجغرافية في التحليل المكاني للمعايير المعتمدة لإقامة مشروعات توليد الكهرباء من الإشعاع الشمسي في محافظة معان أمكن استخلاص النتائج الرئيسة الآتية:

1 - يبلغ المعدل العام للإشعاع الشمسي اليومي في محافظة معان نحو (5.60 كيلو واط ساعة/م^2/ يومياً)، وتبلغ قيمة الإشعاع الشمسي السنوي نحو (2043.00 كيلو واط ساعة/ م^2/ يوم)، وبمقارنة هذه القيم بالمعدل العام السنوي للإشعاع الشمسي في الأردن البالغ نحو (1922 كيلو واط ساعة/م^2/ يومياً)، يتضح أن محافظة معان تصنف ضمن المناطق الغنية بالإشعاع الشمسي في الأردن، التي يمكن استثمارها في توليد الطاقة الكهربائية، والعديد من مجالات تطبيقها، وتتميز المحافظة بارتفاع عدد الأيام المشمسة؛ إذ تبلغ نحو 316 يوماً في السنة، بمعدل 8 ساعات سطوع شمسي في اليوم.

2 - تتلقى المنطقة الجنوبية الشرقية في محافظة معان أعلى القيم للإشعاع الشمسي، وقد راوحت بين (5.736 و5.939 كيلو واط ساعة/م^2/يومياً)، أما المناطق الشمالية والغربية؛ فتقل فيها عموماً قيم الإشعاع الشمسي؛ حيث تراوح قيم الإشعاع الشمسي فيها بين (5.224 و5.531 كيلو واط ساعة/م^2/ يوم)، أما في المناطق الوسطى ومناطق السهول الصحراوية المنبسطة؛ فإن معدلات الإشعاع الشمسي تكون متقاربة، وذلك لتشابه الظروف المناخية من حيث عدد ساعات سطوع الشمس ومتوسط الرطوبة النسبية.

3 - تناسب متوسط درجات الحرارة في محافظة معان ومتطلبات عمل الخلايا الشمسية المولدة للطاقة الكهربائية؛ فلا يوجد تفاوت كبير في درجات الحرارة في المحافظة على مدار العام؛، مما يجعل منطقة الدراسة منطقة جاذبة لمشروعات الطاقة الشمسية. وبالمثل أوضحت النتائج المتعلقة بالرطوبة النسبية في محافظة معان، أن نطاق الرطوبة النسبية في المحافظة يتفق إلى حد كبير مع متطلبات عمل الخلايا الشمسية المولدة للطاقة الكهربائية؛ مما يؤهل المحافظة لإقامة مشروعات توليد الكهرباء من الإشعاع الشمسي.

4 - بناءً على نتائج الدراسة المعتمدة على نتائج عملية التحليل والنمذجة في بيئة نظم المعلومات الجغرافية، واستناداً إلى المعايير المعتمدة لاختيار الموقع

الأمثل لمشروعات توليد الكهرباء من الإشعاع الشمسي، وهي تتضمن: (عامل الإشعاع الشمسي، ودرجات الحرارة، والارتفاع عن سطح البحر، والرطوبة النسبية، وسرعة الرياح، والقرب من الخدمات)؛ فقد اشتقت خريطة تبين المناطق الملائمة لإقامة مشروعات الطاقة الشمسية في محافظة معان، وكشفت النتائج أن المنطقة الجنوبية الشرقية من المحافظة، تعدُّ من أكثر المناطق التي تتلقى الإشعاع الشمسي؛ حيث تراوح قيم الإشعاع الشمسي فيها بين (5.736 و5.939 كيلو واط ساعة/ م^2/ يومياً)، وهي تتميز باعتدال درجات الحرارة فيها؛ حيث تبلغ معدلات الحرارة السنوية نحو (19.2م)، وتتميز أيضاً باعتدال الرطوبة النسبية؛ إذ تبلغ نحو 40%، وكذلك هي ملائمة من حيث سرعة الرياح والقرب من خدمات الطرق (طريق معان المدورة)، وقد بلغت مساحتها نحو 7283 كم^2، وتمثل ما نسبته 22.18% من مساحة منطقة الدراسة.

6 - 2 - التوصيات:

بناء على النتائج السابقة توصي الدراسة بما يأتي:

1 – تحديث إستراتيجيات استثمار الطاقة المتجدِّدة في الأردن، ووضعها ضمن أهم أولويات الإستراتيجية الوطنية.

2 – استخدام أفضل ما توصَّلت إليه التكنولوجيا العالمية في مجال الطاقة الشمسية؛ ممَّا يوفر الوقت والجهد.

3 – التوسُّع في استخدام توليد الكهرباء من الإشعاع الشمسي ضمن المشروعات الصغيرة التي تخدم أماكن تقديم الخدمات؛ كالجامعات، ودور العبادة، والمدارس، والإسكانات الوظيفية وغيرها.

4 – استخدام نتائج هذه الدراسة من قِبَل وزارة الطاقة الأردنية، والشركات المختصة في اختيار مواقع مشروعات توليد الكهرباء من الإشعاع الشمسي في محافظة معان.

5 – إجراء المزيد من الدِّراسات العملية عن الطاقة المتجدِّدة في الأردن، وإدراج المخصَّصات المالية لهذه الدراسة ضمن موازنات دعم الأبحاث العلمية في وزارة التعليم العالي، والجامعات الأردنية.

المراجع:

حدة، فروحات. (2012). «الطاقات المتجدِّدة كمدخل لتحقيق التنمية المستدامة في الجزائر: دراسة لواقع مشروع تطبيق الطاقة الشمسية في الجنوب الكبير بالجزائر»، *مجلة الباحث*، (11)، 149–156.

حموري، أنس وفيق. (2017). *التوزيع المكاني للإشعاع الشمسي ودوره في التنمية الإقليمية المستدامة في الضفة الغربية باستخدام نظم المعلومات الجغرافية GIS*.

الخياط، محمد؛ والشيتي، إيناس. (2010). «*استخدام نظم المعلومات الجغرافية في تنمية مشروعات الطاقة المتجدِّدة: دراسة حالة مصر*»، المؤتمر العلمي السابع عشر لنظم المعلومات وتكنولوجيا الحاسبات، هيئة الطاقة المتجددة، وشركة القاهرة لإنتاج الكهرباء، القاهرة، كانون الثاني، مصر.

دائرة الإحصاءات العامة. (2016). التعداد العام للسكان لعام 2015، عمَّان، الأردن.

دائرة الأرصاد الجوية. (2009). قسم المناخ، عمَّان، الأردن.

داوود، جمعة محمد؛ والغامدي، خالد بن عبد الرحمن؛ ومندور، مسعد سلامة. (2017). *تحديد أفضل المواقع لتجميع الطاقة الشمسية في منطقة مكة المكرمة الإدارية باستخدام نظم المعلومات الجغرافية متعددة المعايير*، الملتقى الوطني الحادي عشر لتطبيقات نظم المعلومات الجغرافية في المملكة العربية السعودية، جامعة الإمام عبد الرحمن بن فيصل، 11 – 13 أبريل 2017م.

المحسن، بشاير، وآخرون. (2013). «*دراسة تطبيقية للإشعاع الشمسي في مدينة ينبع باستخدام نظم المعلومات الجغرافية*»، جامعة الدمَّام، المملكة العربية السعودية.

المركز الوطني للبحوث الطاقة (2012). *التقرير السنوي*، عمان، الأردن.

وزارة الطاقة والثروة المعدنية. (2011، 2015). *التقرير السنوي*، عمَّان، الأردن.

Etier et., (2010), "Analysis of solar radiation in Jordan", *Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering*, 4, Edi. 6, pp. 733-738.

Khan, G., & Shekha, R. (2014). "Optimal site selection for solar PV power plant in an Indian State using geographical information system (GIS)", International *Journal of Emerging Engineering Research & Technology*, *2*(7), October 2014, 260-266, ISSN 2349-4395 (Print) & ISSN 2349-4409.

قدم في: فبراير 2020

أجيز في: يناير 2021