

## Spatial Suitability Analysis for Identification of Best Sites for Collecting Photovoltaic Energy in the Kingdom of Saudi Arabia using Boolean Model

Fahad Almutlaq\*

Department of Geography, College of Arts, King Saud University, Riyadh, Saudi Arabia.

<https://doi.org/10.35516/hum.v49i4.2042>

Received: 14/12/2020

Revised: 23/2/2021

Accepted: 26/5/2021

Published: 30/7/2022

### Abstract

Solar energy is one of the renewable energy sources that can be tapped and is an inexhaustible source. The aim of study to identify suitable locations for collecting photovoltaic energy in the Kingdom of Saudi Arabia base on Boolean models. The study used several data sources from official authorities and open-source websites which divided to three criteria: topographic, climatic, and economic. The data are Photovoltaic energy, temperature, slope, sand dune locations, distance from major cities, road network, and power network. The results showed that the amount of Photovoltaic energy is suitable in Saudi Arabia, but the levels of the amount are difference from area to another. The topographical criteria had a negative impact, especially with sand dune areas and slope degree on the western and middle regions of Saudi Arabia. Moreover, the economic factor had a negative impact on the northern and southern regions of Saudi Arabia, because the density of the road network and the power network. In addition, the result showed the total area suitable of Photovoltaic energy about (285,560 km<sup>2</sup>), and the best areas are: Hail, Makkah, Madinah, Al Jawf, Tabuk, Riyadh, Qassim and Asir regions, with a total area around (202,534 km<sup>2</sup>). Finally, the study found that the northern regions of Saudi Arabia are considered promising areas in generating solar energy, but needs to increase the road network and power lines network.

**Keywords:** Geographic information systems; spatial suitability analysis; solar energy; boolean models; Saudi Arabia.

\* Corresponding author:  
[Falmutlaq@ksu.edu.sa](mailto:Falmutlaq@ksu.edu.sa)

### تصور الملاءمة المكانية لتحديد أنسب المواقع لتجميع الطاقة الكهروضوئية في المملكة العربية السعودية وفق نموذج بولين (Boolean model)

فهد المطلق\*

قسم الجغرافيا، كلية الآداب، جامعة الملك سعود، الرياض، المملكة العربية السعودية.

### ملخص

تعد الطاقة الشمسية أحد مصادر الطاقة المتجددة التي يمكن استغلالها وتشكل مصدراً لا ينضب. تهدف هذه الدراسة في تحديد الأماكن الملائمة لجمع الطاقة الكهروضوئية بتطبيق نماذج بولين (Boolean model) في المملكة العربية السعودية. وأُعيدت الدراسة على مصادر متعددة للحصول على البيانات من الجهات الرسمية ومن خلال بعض المواقع العالمية مفتوحة المصدر. وتم تحديد معايير عامة هي: طبوغرافية، ومناخية، واقتصادية، وهي الأشعة الكهروضوئية، ودرجة الحرارة، ودرجة الانحدار، والكثبان الرملية، والبعد عن المدن الرئيسية، وشبكة الطرق، وشبكة خطوط الكهرباء. وأظهرت النتائج أن كمية الأشعة الكهروضوئية في السعودية مناسبة ولكن هناك اختلاف بمستوى الكمية من منطقة إلى أخرى. كما أن العامل الطبوغرافي المتمثل في الكثبان الرملية ودرجة الانحدار كان له أثر سلبي في حرمان مناطق شاسعة في السعودية أن تكون مناطق ملائمة لجمع الأشعة الكهروضوئية. كذلك العامل الاقتصادي المتمثل في كثافة شبكة الطرق وشبكة خطوط توزيع الكهرباء كان له أثر سلبي على المناطق الشمالية والجنوبية من السعودية. كما بلغ مجمل المساحة الملائمة لإنشاء محطات طاقة كهروضوئية وفق نماذج بولين حوالي (285,560 كم<sup>2</sup>)، وأفضل هذه المناطق وفقاً لجودة كمية الأشعة الكهروضوئية الساقطة والمساحة هي: منطقة حائل ومكة المكرمة والمدينة المنورة والجوف وتبوك ومنطقة الرياض والقصيم وعسير بمساحة إجمالية حوالي (202,534 كم<sup>2</sup>). أثبتت الدراسة إمكانية استغلال مساحات الشاسعة في توليد الطاقة الشمسية داخل المملكة العربية السعودية، وتعتبر المناطق الشمالية من السعودية مناطق واعدة في توليد الطاقة الشمسية فمعظم المعايير الطبيعية مناسبة، ماعدا المعيار الاقتصادي، ولهذا تحتاج هذه المناطق إلى زيادة شبكة طرق وشبكة خطوط كهرباء. الكلمات الدالة: نظم المعلومات الجغرافية، تحليل الملاءمة المكانية، الطاقة الشمسية، نماذج بولين، السعودية

## المقدمة:

تحرص كثير من دول العالم في السنوات الأخيرة على استغلال أنظمة الطاقة الشمسية، وذلك لكونها أحد أكثر مصادر الطاقة المتجددة الواعدة بمستقبل مستدام (Montoya et al., 2014). ولتأثيرها الإيجابي على الجوانب البيئية مقارنة بمصادر الطاقة الكربونية كالنفط والغاز والفحم، والتي تعد من المصادر الغير متجددة (Deo and sahin, 2017). كما أن استخدامها على نطاق واسع يؤدي إلى زيادة انبعاث غازات الاحتباس الحراري وإلحاق الضرر بالبيئة (Gherboudj and Deo, 2016).

تعد الطاقة الشمسية أحد مصادر الطاقة الواعدة في المملكة العربية السعودية؛ وذلك بسبب وفرة الأراضي الصحراوية المشمسة أغلب أيام السنة، مما يسمح بمد كل متر مربع بنحو 7000 واط من الطاقة وذلك لمدة 12 ساعة من اليوم (مركز الدراسات والبحوث، 2010). كما تشير بعض الدراسات إلى أن الطاقة الشمسية التي تملكها المملكة أكبر من الطاقة الناتجة من النفط؛ وذلك بسبب اتساع مساحات أراضيها حيث تبلغ ما يقارب 2.000.000 كم<sup>2</sup> (الهيئة العامة للمساحة والمعلومات الجيومكانية). وكذلك تعرضها لكميات عالية من موجات الإشعاع الضوئي والكهرومغناطيسي الصادرة من الشمس، حيث أن متوسط وحدات الطاقة الضوئية الساقطة على المملكة يساوي 2200 وحدة كيلو واط لكل متر مربع في السنة (مركز الدراسات والبحوث-غرفة الشرقية، 2010).

والجدير بالذكر، يوجد نوعين من الطاقة الشمسية هما: الطاقة الكهروضوئية المستندة على الإشعاع الأفقي العالمي (Global Horizontal Irradiation - GHI) التي تعتبر أساساً في توليد الطاقة الكهروضوئية (Photovoltaic - PV) التي تعتمد في عملها على امتصاص الإشعاع الشمسي من خلال ألواح الخلايا الشمسية المرتبطة بطاريات تخزين للطاقة حيث يقتصر عملها على التخزين والاستخدام اللحظي للطاقة. أما الطاقة الشمسية المركزة التي تعتمد على الإشعاع الطبيعي المباشر (Direct Normal Irradiance - DNI) لتطبيق الطاقة الشمسية المركزة (Concentrating Solar Power - CSP) التي تستخدم الطاقة الشمسية المركزة لتوليد الحرارة بشكل غير مباشر عن طريق عدد كبير من المرايا لتحويل الإشعاع الشمسي إلى طاقة حرارية تساعد على توليد الكهرباء (Gherboudj and Deo, 2016).

وفي هذا الجانب، فقد شرعت المملكة العربية السعودية ومن خلال رؤية 2030 في استغلال الطاقة المتجددة والنظيفة وتقليل الاعتماد على الطاقة الكربونية، وذلك إيماناً بما تملكه المملكة العربية السعودية من موقع جغرافي يحوي على مقومات قوية في مجال الطاقة المتجددة (رؤية المملكة العربية السعودية، 2030). وتتميز المملكة العربية السعودية بوفرة مصادر الطاقة الشمسية حيث تعتبر أحد أكثر المناطق ارتفاعاً في معدلات الإشعاع الشمسي في العالم (مدينة الملك عبدالله للطاقة الذرية والمتجددة، 2019). ويعتبر صفاء سماء المملكة أغلب أيام السنة، وكذلك وقوعها ضمن منطقة الحزام الشمسي المعروف (منطقة جغرافية تقع بين 35 درجة شمالاً و35 درجة جنوباً). ومن ناحية أخرى، تعتبر المملكة العربية السعودية من الدول ذات النمو السكاني السريع حيث بلغ عدد السكان حوالي 33.413.660 مليون نسمة الذي تبعه تطور في الحياة الاقتصادية للمجتمع (هيئة الإحصاء، 2018). لذا حرصت السعودية على الاستفادة من الطاقة البديلة، بما تملك من إمكانيات طبيعية تتمثل بمساحتها الشاسعة وزيادة في نسبة الإشعاع الشمسي الوارد لها، في إنشاء العديد من مشاريع الطاقة الشمسية التي تلبي الاحتياج الوطني (مدينة الملك عبدالله للطاقة الذرية والمتجددة، 2019). ويهدف هذا البحث في تطبيق تحليل الملاءمة المكانية (spatial suitability analysis) بنماذج بولين (Boolean model) في نظم المعلومات الجغرافية من خلال عدة معايير، لتحديد أنسب المواقع المكانية لتجميع الطاقة الكهروضوئية (PV) في المملكة العربية السعودية.

## أهمية البحث:

تعد الطاقة الشمسية أحد مصادر الطاقة المتجددة التي يمكن استغلالها فهي تشكل مصدراً لا ينضب، وتعتبر طاقة آمنة لا ينتج عنها أي ضرر أو تلوث بيئي بخلاف أنواع الطاقة الكربونية. وتحاول هذه الدراسة الاستفادة من إمكانيات نظم المعلومات الجغرافية وإجراء تحليل الملاءمة المكانية لتحديد أفضل الأماكن لإنشاء محطات طاقة الكهروضوئية في المملكة العربية السعودية.

## مشكلة البحث:

أدى التزايد السكاني السريع في المملكة العربية السعودية حيث بلغ 33.413.660 مليون نسمة (هيئة الإحصاء، 2018) ورافقه تطور في الحياة الاقتصادية للمجتمع، وتبعه زيادة الطلب على الطاقة الكهربائية. حيث وصلت نسبة الزيادة على الطلب حوالي 10%، وتعد من أعلى النسب في العالم، حيث بلغ عدد المشتركين في شركة السعودية للكهرباء حوالي 9.6 ملايين مشترك، ومن المتوقع أن يصل عدد المشتركين بحلول العام 2021 إلى 11 مليون مشترك مع زيادة سنوية حوالي نصف مليون مشترك (الشركة السعودية للكهرباء، 2019). مما جعل التحدي الأكبر هو توفير الكهرباء للمدن الكبيرة والضخمة مستقبلاً. وتحرص المملكة العربية السعودية على توفير الطاقة الكهربائية لكافة مناطق المملكة واستغلال الطاقة البديلة واستغلال ثرواتها الطبيعية لسد حاجات المواطن من الطاقة، ولذلك جاءت هذه الدراسة لتحديد أفضل الأماكن الملاءمة لجني الطاقة الشمسية المتجددة.

#### أهداف البحث:

1. البحث على استخدام الطاقة المتجددة في المملكة العربية السعودية بدلا من الطاقة الكربونية.
2. تحديد أفضل الأماكن الملائمة لتجميع الطاقة الكهروضوئية بطريقة نموذج بولين (Boolean model).

#### منطقة الدراسة:

تقع المملكة العربية السعودية في الجزء الجنوبي الغربي من قارة آسيا، بين دائرتي عرض (46°، 22'، 16" و 32°، 14'، 00") شمالاً، وبين خطي طول (30°، 29'، 34" و 55°، 40'، 00") شرقاً (النافع، 2019). يحدها غرباً البحر الاحمر، وشرقاً الخليج العربي والإمارات العربية المتحدة وقطر. وشمالاً دولة الكويت والعراق والأردن، ومن جنوب اليمن وسلطنة عمان. كما تشغل المملكة العربية السعودية أربعة أخماس شبه جزيرة العرب بمساحة تقدر بنحو 2,000,000 كيلومتر مربع وتنقسم إلى (13) منطقة إدارية، ومن (114) محافظة (الهيئة العامة للمساحة والمعلومات الجيومكانية). كما يبلغ عدد سكان المملكة 33,413,660 مليون نسمة (هيئة الإحصاء، 2018) (شكل:1). تتنوع تضاريس المملكة نظراً لاتساع مساحتها ما بين سهول ساحلية وجبال وأودية وهضاب وصحاري، كما يختلف مناخها من منطقة لأخرى تبعاً لاختلاف تضاريسها وبشكل عام فإن مناخ المملكة قاري حار صيفاً بارد شتاءً وأمطارها شتوية ويعتدل المناخ على المرتفعات الغربية والجنوبية الغربية، اما المناطق الوسطى فصيفها حار وجاف وشتاؤها بارد وجاف (الوليبي، 2008م).



شكل رقم (1) منطقة الدراسة وتشمل جميع مساحة المملكة العربية السعودية.

#### الدراسات السابقة:

يوجد العديد من الدراسات السابقة التي تناولت أفضل المواقع لجني الطاقة الشمسية باستخدام نظم المعلومات الجغرافية سواء كانت عالمية أو محلية، وذلك لكونها أحد أكثر مصادر الطاقة المتجددة والواعدة بمستقبل مستدام وأقلها ضرراً على الجانب البيئي، وسيتم ذكر بعضاً منها: دراسة قام بها هزيمة وزملاءه (Hazaymeh, et al., 2018) حول تحديد المناطق المناسبة لإنشاء المزارع الكهروضوئية (PV) في الأردن باستخدام التقنيات الجيومكانية. أعتمدت الدراسة على منهج متعدد المعايير (MCDM) وفقاً لطريقة التحليل الهرمية الضبابي (Fuzzy-AHP) لتحديد أنسب المواقع لاختيار موقع الخلايا الكهروضوئية. أظهرت النتائج أن أكثر المعايير الرئيسية لها تأثير في تحديد المواقع الكهروضوئية المناسبة هي معيار

الإشعاع الشمسي، والبعد عن شبكة الكهرباء. كما أوضحت النتائج أن نسبة المناطق المناسبة لجني الكهروضوئية في الأردن حوالي 68.4٪ من المساحة الكلية للدولة. كما أظهرت النتائج الإحصائية على مستوى الوحدة الإدارية (المحافظة) أن محافظة معان الواقعة في الجزء الجنوبي من البلاد مناسبة للغاية بنسبة تصل 11.2٪. وقد أوصت الدراسة على استغلال هذه المساحة التي سوف تسد حاجة الطلب الحالي من الطاقة الكهربائية. وهنا يتضح يمكن من مساحة صغيرة تكون مناسبة لجمع الطاقة الكهربائية، يمكن تغذية دولة كاملة مثل الأردن.

وفي دراسة مشابهة قام بها علي وآخرين (Ali, et al., 2019) لتقييم الموقع ملائم باستخدام نظم المعلومات الجغرافية لمزارع الرياح والطاقة الشمسية في سوننجكها (Songkhla)، تايلاند. تم استخدام نظام المعلومات الجغرافية (GIS) وعملية التسلسل الهرمي التحليلي (AHP) لتقييم مختلف معايير تحديد المواقع الجغرافية والبيئية والاقتصادية. أشارت نتائج الدراسة إلى أن سوننجكها لديها مناطق برية محتملة تصل إلى 66.113 كم<sup>2</sup> و 844.93 كم<sup>2</sup> متاحة لإنشاء مزارع الرياح والطاقة الشمسية.

كذلك تناول فيروزجي وآخرون (Firozjaei, et al., 2019) تحليل متكامل مرجح قائم على نظم المعلومات الجغرافية لتقييم الطاقة الشمسية في إيران باستخدام منهج متوسط مرجح (OWA) من خلال استخدام نظم المعلومات الجغرافية لتحديد المناطق المثلى لتركيبة محطات الطاقة الشمسية. أظهرت النتائج أن محافظات كرمان ويزد وفارس وخوزستان وسيستان وبلوشستان وجنوب خراسان وأصفهان مناسبة للاستثمار في مشاريع الطاقة الشمسية.

كما قام ماروني وآخرون (Merrouni, et al., 2016) لاختيار مواقع إنتاج الطاقة الكهروضوئية على نطاق واسع من خلال الجمع بين نظم المعلومات الجغرافية وعملية التسلسل الهرمي التحليلي (AHP) دراسة حالة لشرق المغرب. تميزت باستخدام مرئية فضائية عالية الجودة تصل إلى دقة مكانية 1 كم / بكسل، ولفترة زمنية ممتدة حوالي 20 سنة. أظهرت النتائج أن المواقع المناسبة للغاية لوضع المزارع الكهروضوئية تشكل 19٪، بينما تمثل المواقع غير المناسبة نسبة 15٪. وحثت الدراسة لفتح الاستثمار في هذا المجال لتنمية الاقتصادي وتقليل الاعتماد على البترول. وهناك عمل لداود وآخرون (2017) في دراسة لتحديد أفضل المواقع لتجميع الطاقة الشمسية في منطقة مكة المكرمة الإدارية باستخدام نظم المعلومات الجغرافية متعددة المعايير. هدف الدراسة كان تطبيق أسلوب متعددة المعايير في نظم المعلومات الجغرافية لتحديد أنسب المواقع المكانية لتجميع الطاقة الشمسية في منطقة مكة المكرمة. اعتماداً على مجموعة من المعايير الجغرافية والفنية والبيئية والاقتصادية للحصول على نموذج ملائمة رقي يوضح أفضل مواقع إنشاء محطات الطاقة الشمسية. أوضحت نتائج الدراسة إلى أن كل منطقة مكة المكرمة مناسبة لتجميع الطاقة الشمسية، حيث بلغت مساحة الأراضي الملاءمة حوالي 7 آلاف كيلومتر مربع بنسبة 5% من إجمالي الأراضي المناسبة.

كما أجرا القرني والعواستي (Al Garni and Awasthi, 2017) دراسة تطبيقية على المملكة العربية السعودية على اختيار موقع محطة الطاقة الشمسية الكهروضوئية باستخدام منهج (GIS-AHP). وكان الهدف اختيار أفضل موقع لجمع الطاقة الشمسية الكهروضوئية على استخدام نظم المعلومات الجغرافية (GIS) واستخدام منهج متعددة المعايير (MCDM) على عدة عوامل في بناء النموذج، مثل العوامل الاقتصادية والتقنية. وتوصلت الدراسة إلى العديد من النتائج منها أن 16% أي ما يعادل (300,000 كيلومتر مربع) من منطقة الدراسة مناسبة لتوليد الطاقة الكهروضوئية. وخاصة بين الشمال الغرب من المملكة العربية السعودية. كما أوصت الدراسة إدراج معايير إضافية مثل النمو السكاني والمواقع التراثية وتوزيع النباتات والعواصف الرملية، التي لها تأثير كبير على جودة أداء جمع الطاقة الكهروضوئية.

وكذلك ذكر قريوج وغديرا (Gherboudj and Ghedira, 2016) من خلال إجراء دراسة لإنشاء نماذج مقترحة لخرائط مبتكرة لوصف مؤشرات الملاءمة النسبية للأرض لتنفيذ أنظمة الطاقة الشمسية (PV) في دولة الإمارات العربية المتحدة. والهدف تطوير خرائط توضح توزيع الإشعاعات الشمسية (الإشعاع الأفقي العالمي والإشعاع الطبيعي المباشر) في منطقة الدراسة، من خلال العوامل التضاريسية والعوامل المناخية. أشارت النتائج أن أكثر من محطات توليد الطاقة الكهروضوئية، تقع أنسب المناطق في الجانب الشرقي من البلاد، حيث تمثل 9.7٪ من إجمالي مساحة دولة الإمارات.

من خلال استعراض الدراسات السابقة معظمها ركزت على تحليل الملاءمة المكانية لإنشاء محطات طاقة شمسية (كهروضوئية) على عدة معايير طبيعية واقتصادية واجتماعية حيث أتبع كل دراسة معايير وأوزان مختلفة على حسب نوع كل دراسة. وفي هذا البحث سيتم دراسة التحليل المكاني للإشعاع الشمسي وتحديد أفضل الأماكن لملاءمة لإنشاء محطات طاقة شمسية في المملكة العربية السعودية بالاعتماد على نموذج بولين (Boolean model)، الذي يعتبر من الأساليب الحازمة التي تستوجب توفر جميع المعايير في الموقع المناسب.

#### المنهجية:

يعتمد أسلوب المعايير المتعدد على دراسة مدى توافر مجموعة من الشروط أو المعايير في منطقة مكانية محددة مع توفير عدة خيارات وبدائل أمام متخذي القرار (داود والغامدي، 2017). ونظم المعلومات الجغرافية تمتلك أدوات تحليلية متعددة تساعد على إتخاذ القرار السليم، وهناك

أسلوبين في التعامل مع البيانات المكانية عند إجراء عمليات التحليل المكاني متعدد المعايير داخل بيئة برنامج نظم المعلومات الجغرافية، وعليه يجب على الباحث تحديد أحدهما، وهما البيانات الخطية (Vector) والبيانات الخلوية (Raster). وستعتمد هذه الدراسة على البيانات الخطية (Vector) في تحديد الأماكن الملاءمة للاستفادة من الطاقة الشمسية على نظام نماذج بولين (Boolean model). وهو مصطلح حاسوبي، ينسب إلى عالم الرياضيات الإنجليزي (George Boole) في عام 1854، يعتمد على تحويل البيانات إلى قيمتين هما: قيمة "صحيحة" true أو قيمة "خاطئة" false (Ohser, et al., 2009). حيث إن العبارة الصحيحة تأخذ قيمة (1) والعبارة الخاطئة تأخذ قيمة (0)، بمعنى تكون القيمة الصحيحة (قيمة مقبولة) والقيمة الخاطئة (قيمة غير مقبولة). وهذا النوع من التحاليل المكانية يختلف عن التحليل المكاني التطابق المرجح (الموزون) المسى باللغة الإنجليزية (Weighted overlay) حيث يكون متدرجة من ملاءم جداً حتى غير ملاءم جداً. أما نماذج بولين (Boolean model) المتبع في هذا الدراسة نموذج صارم بحيث لو أختل معيار واحد من المعايير يعتبر المكان غير مناسب ويستبعد تماماً دون النظر لبقية المعايير الأخرى. تعتمد هذه الدراسة على بيانات الفكتور (Vector) وهي البيانات الخطية، والسبب أن معظم البيانات المتوفرة من هذا النوع، وأن الأسلوب المستخدم في عمليات تطبيق الطبقات (Overlay) ووضعها بطريقة تساعد في إيجاد مناطق التداخل (Intersect)، بين القيم الصحيحة (1) والعبارة (قيمة مقبولة). بهدف الوصول إلى تحديد أنسب المواقع لتجميع الطاقة الكهروضوئية (PV)، ولهذا ستمر الدراسة بعدة مراحل:

#### المرحلة الأولى: مرحلة جمع البيانات:

اعتمدت الدراسة على عدة مصادر للحصول على البيانات الأولية سواء من الجهات الرسمية كالوزارة والهيئات أو من خلال المواقع الإلكترونية العالمية مفتوحة المصدر كنموذج الإرتفاع الرقمي، (أنظر جدول:1).

جدول رقم (1) مصادر البيانات

البيانات	المصدر
المدن الرئيسية	وزارة الشؤون البلدية والقروية
شبكة الطرق	وزارة الشؤون البلدية والقروية
شبكة خطوط الطاقة	الشركة السعودية للكهرباء
الارتفاعات الرقمية	<a href="https://cgiaarsi.community/data/srtm-90m-digital-elevation-database-v4-1/">https://cgiaarsi.community/data/srtm-90m-digital-elevation-database-v4-1/</a>
بيانات الإشعاع الضوئي	<a href="https://solargis.com/maps-and-gis-data/download/saudi-arabia">https://solargis.com/maps-and-gis-data/download/saudi-arabia</a>
بيانات متوسط درجة الحرارة	مدينة الملك عبدالله للطاقة الذرية والمتجددة، 2019

وتمثلت البيانات الأولية: نموذج الارتفاعات الرقمية، وبيانات الأشعة الكهروضوئية، والمرئيات الفضائية، بالإضافة إلى بيانات درجة الحرارة، وبيانات الطرق والمدن الرئيسية، وأخيراً شبكة خطوط توزيع الكهرباء.

#### المرحلة الثانية: تحديد المعايير

تم تحديد معايير الدراسة المطلوب توفرها في اختيار أنسب المواقع المكانية لمشروعات تجميع الطاقة الشمسية، بالاعتماد على معايير هيئة المواصفات السعودية للقياس والجودة وكذلك مدينة الملك عبدالله للطاقة الذرية والمتجددة، والاستناد على بعض الدراسات السابقة. من أجل تحديد أفضل المعايير المناسبة لإقامة مشروعات لجني الطاقة الكهروضوئية. فلقد تم تقسيم المعايير إلى ثلاث معايير عامة وكل معيار يضم معايير فرعية، ومعايير العامة هي: طبوغرافية، ومناخية، واقتصادية. وكذلك المعايير الفرعية هي: الأشعة الكهروضوئية، درجة الحرارة، ودرجة الانحدار، والكثبان الرملية، والبعد عن المدن الرئيسية، وشبكة الطرق، وشبكة خطوط توزيع الكهرباء، وكما هي موضحة في الجدول رقم (2).

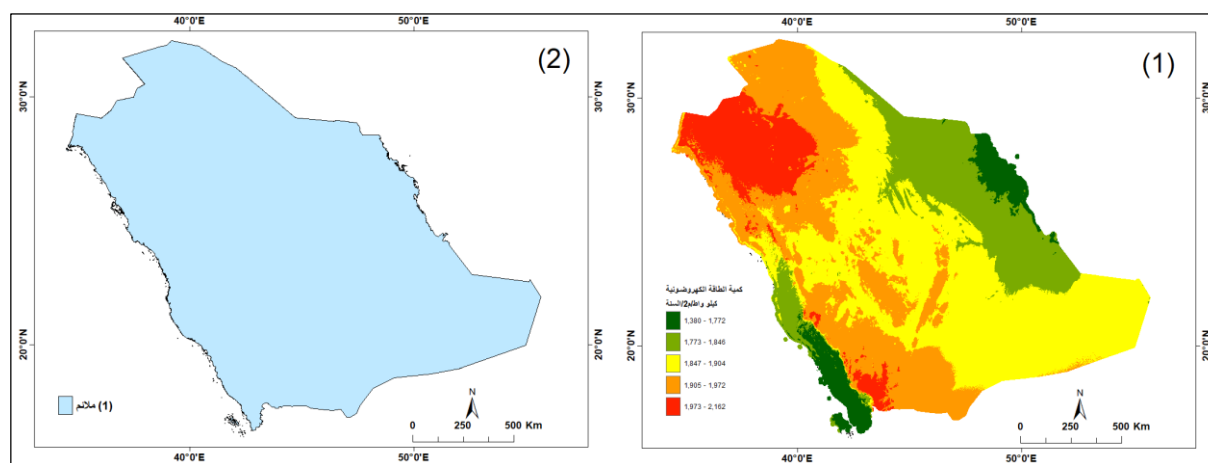
الجدول رقم (2) معايير الدراسة

نوع المعيار	المعيار	حدود المعيار	السبب
مناخي	1. الطاقة الكهروضوئية	أعلى من 1100 واط / م <sup>2</sup>	أوصت بعض الدراسات يمكن جمع الأشعة الكهروضوئية في المناطق التي تكون فيها الكمية أعلى من 1100 واط / م <sup>2</sup> مثل دراسة يوجين وبريز (Nguyen, & Pearce, 2010)
	2. متوسط درجة الحرارة	أقل من 30°	تعتبر درجة الحرارة العالية تؤثر على كفاءة الألواح الشمسية Montoya, et al., 2014
طبوغرافي	3. درجة الانحدار	أقل من 5%	يؤثر في توزيع الأجهزة ومتابعتها فسطح الغير المتساوي يزيد التكلفة Watson, et al., 2015
	4. مناطق الكثبان الرملية	البعد عن مناطق الرمال	مصدر للغبار يؤثر على جودة الألواح الشمسية وصعوب وضع الأجهزة عليها Charabi, et al., 2011
اقتصادي	5. البعد عن المدن الرئيسية	50 كم	التطور السريع لمدن المملكة مثل مدينة الرياض فلا بد الأخذ بالإعتبار التطور المستقبلي للمدن
	6. البعد عن شبكة الطرق	5 كم	معيار مهم يؤثر متابعة الأجهزة (Al Garni, et al., 2017)
	7. شبكة خطوط نقل الطاقة	5 كم	دراسات كثير اعتمد على هذا المعيار مثل دراسة القرني (Al Garni, et al., 2017)

## المرحلة الثالثة: معالجة المعايير

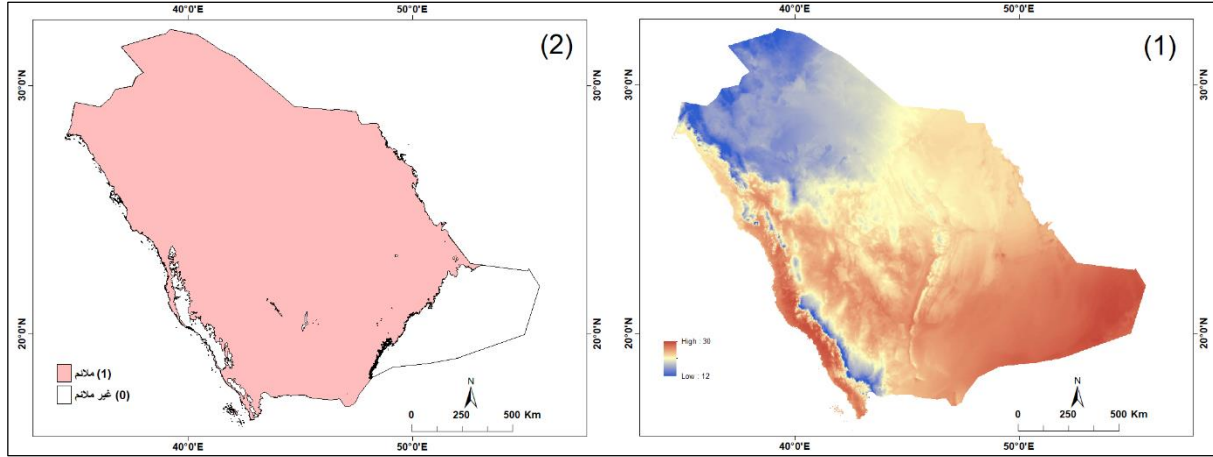
## أ- المعايير المناخية.

• الأشعة الكهروضوئية: نسبة كمية الطاقة الناتجة من الطاقة الشمسية الساقطة، ويستدل منها على كفاءة الطاقة الكهروضوئية (Photovoltaic - PV)، وتقوم الخلايا الشمسية بمتصاصها وتحويلها إلى طاقة كهربائية (Zell, et al., 2015). ولهذا تعد نسبة الإضاءة القادمة من الشمس هي العامل المهم في توليد الطاقة التي تصل لسطح الأرض، وهي من أهم المعايير المناخية التي يتحدد عليه إنشاء مشروع محطات طاقة شمسية. هناك اختلاف واضح بين الدراسات في تحديد كمية الطاقة الكهروضوئية المناسبة، والسبب يعود لنوعية الألواح الشمسية والأجهزة المشغلة وجودتها وقدرتها على الإستفادة من أكبر قدر ممكن من الطاقة الكهروضوئية. وستعتمد الدراسة على الكمية الأعلى من 1100 كيلوواط، وهذا ما أوصى به يوجين وبريز (Nguyen, & Pearce, 2010). أن الكمية المناسبة تتراوح كمية متوسط الطاقة الكهروضوئية ما بين 1100 و 1300 كيلوواط. وهذه الكمية الإشعاعية تعتبر جميع أراضي المملكة العربية السعودية مناسبة لان معيار نسبة الإشعاع الشمسي هي أعلى من 1100 كيلو واط/السنة (شكل:2).



شكل رقم (2): خريطة رقم (1) توضح توزيع كمية الإشعاع الشمسي السنوي داخل المملكة العربية السعودية وخريطة (2) بعد تحويل البيانات نموذج بولين وتوضح أن جميع مناطق السعودية مناسبة من ناحية كمية الإشعاع الشمسي.

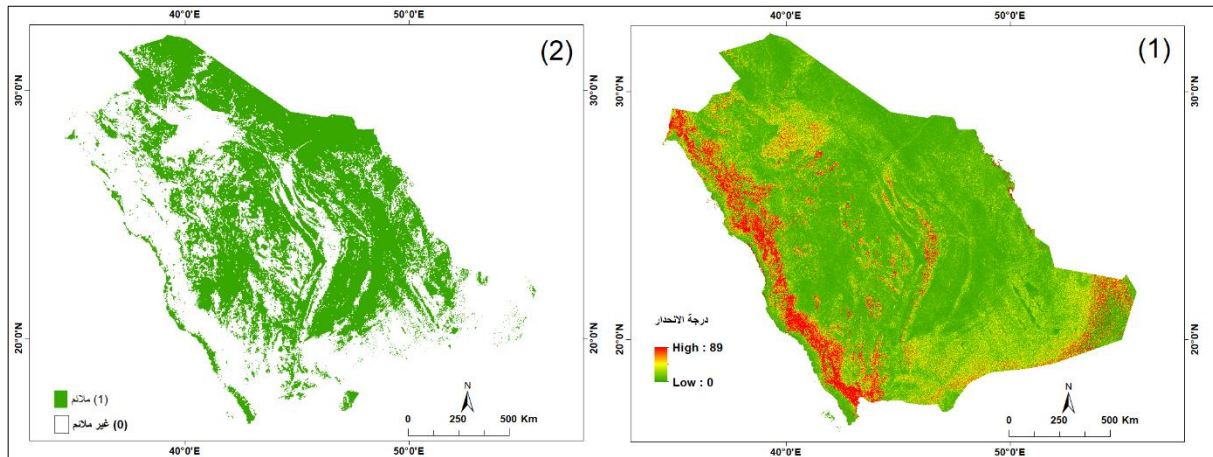
- متوسط درجة الحرارة: تعد درجة الحرارة من العوامل المهمة التي تؤثر على جودة إنتاج محطات الطاقة الشمسية كهروضوئية أي كلما ارتفعت درجات الحرارة كلما انخفض إنتاج الألواح كهروضوئية. في الشكل رقم (3) تم تحديد درجات الحرارة الملائمة لإنشاء محطات جمع طاقة كهروضوئية، متوسط درجة حرارة 30° فأقل (مدينة الملك عبدالله للطاقة الذرية والمتجددة، 2019).



شكل رقم (3): خريطة رقم (1) توضح توزيع المتوسط السنوي لدرجة الحرارة وخريطة (2) بعد تحويل البيانات إلى نموذج بولين الذي توضح المكان الملائم بقيمة 1 وغير الملائم بقيمة 0 في هذا المعيار.

#### ب- المعايير الطبوغرافية.

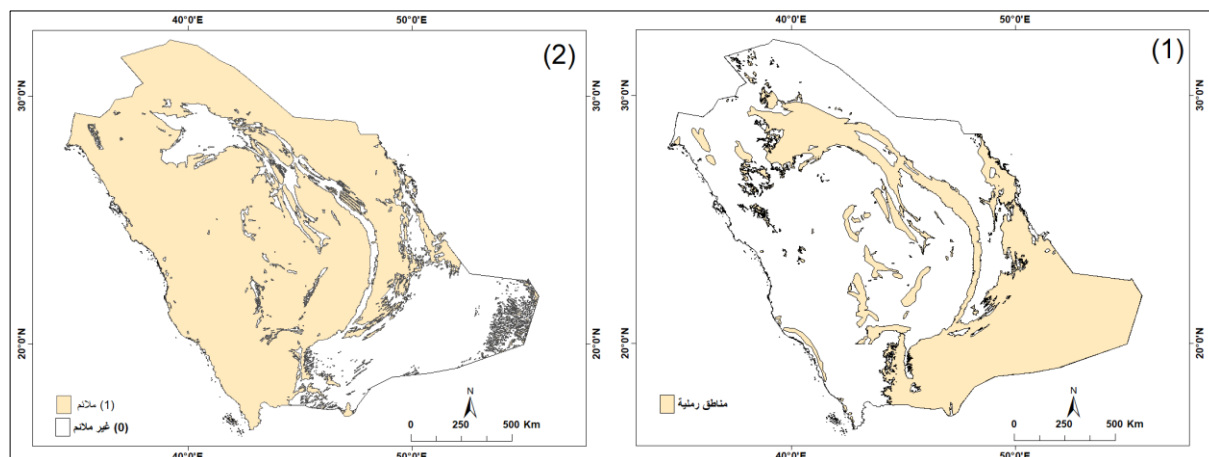
- الانحدار: تعد درجة الانحدار من العوامل المهمة التي تؤثر في تحديد موقع محطات طاقة شمسية كهروضوئية. حيث يعد عامل شدة الانحدار وميول الأرض من العوامل الطبوغرافية الغير ملائمة، وذلك بسبب الصعوبة التي تواجه مراحل تجهيزات تركيب ونشر اللوائح الشمسية. بالإضافة لمراحل صيانة للأجهزة (Watson, et al., 2015). وبناءً على ذلك فقد تم تحديد الانحدار (Slope) في هذه الدراسة بأقل من 5% كما في الشكل رقم (4).



شكل رقم (4): خريطة رقم (1) تصنف درجة الانحدار وخريطة (2) بعد تحويل البيانات إلى نموذج بولين الذي توضح المكان الملائم بقيمة 1 وغير الملائم بقيمة 0 في هذا المعيار.

- الكثبان الرملية: تعد مناطق تواجد الكثبان الرملية مناطق غير ملائمة لإنشاء محطات جني الطاقة كهروضوئية، حيث تنخفض جودة إنتاج ألواح الطاقة بسبب تراكم ذرات الغبار والأتربة على سطحها وكذلك من ناحية صعوبة التنقل، ناهيك عن ظاهرة زحف الرمال (Charabi, et al., 2011). وفي الشكل رقم (5) يوضح مناطق تواجد الكثبان الرملية.

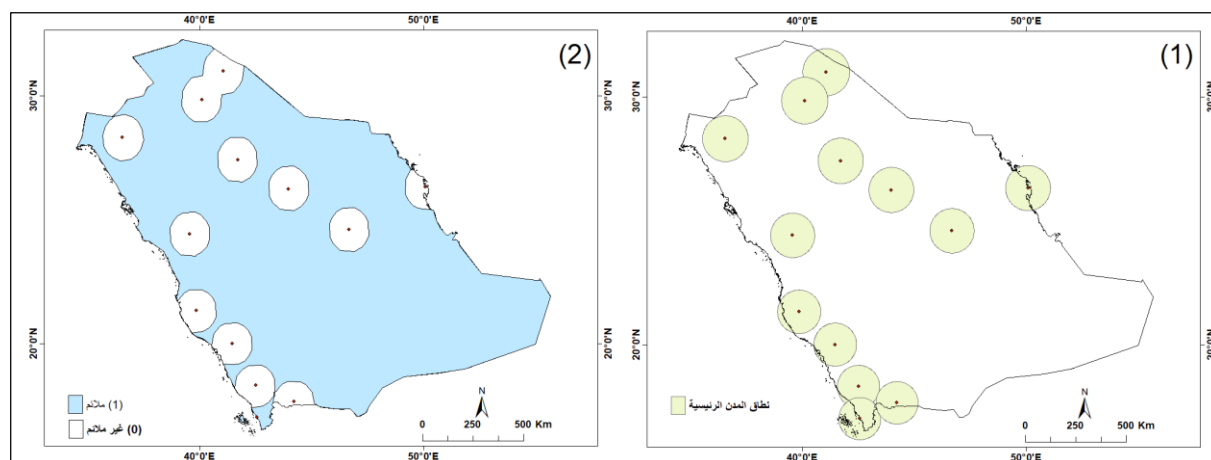




شكل رقم (5): خريطة رقم (1) توضح توزيع الكثبان الرملية داخل منطقة الدراسة وخريطة (2) بعد تحويل البيانات إلى نموذج بولين الذي توضح المكان الملاءم بقيمة 1 وغير الملاءم بقيمة 0 في هذا المعيار.

#### ت- المعايير الاقتصادية.

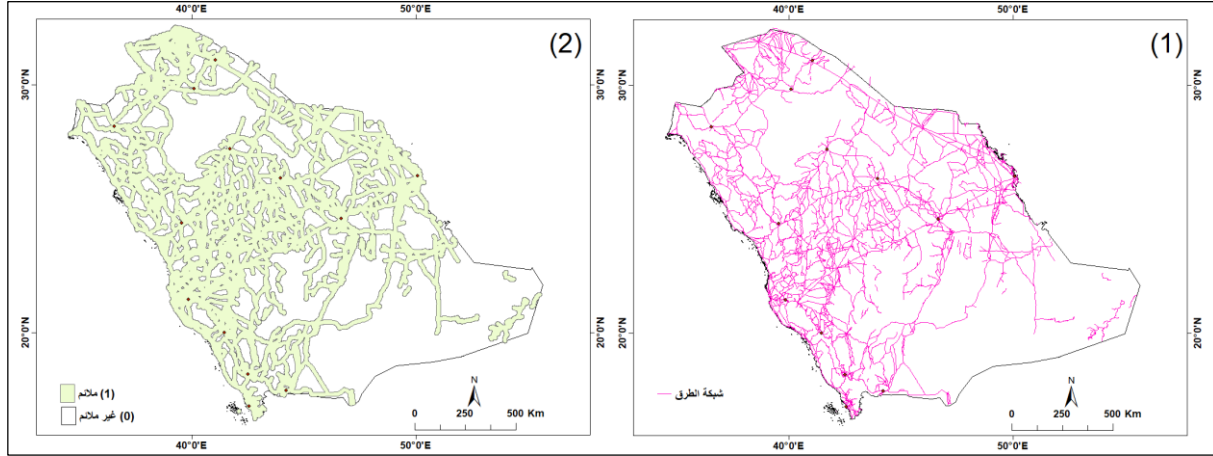
- البعد عن المدن الرئيسية: يعد معيار البعد عن المدن الرئيسية من المعايير المهمة حيث يصعب إنشاء محطة جمع طاقة كهروضوئية بأعداد كبيرة من الألواح الكهروضوئية داخل النطاق الحضري للمدن، وذلك بسبب زيادة تلوث الهواء في المدن الذي يؤثر على صفاء الجو وكذلك تأثير المباني الكبيرة في حجب أشعة الشمس. وبما أن المملكة تتمتع بمساحات شاسعة، فقد تم عمل نطاق مكانية باستخدام أداة (Buffer) بمقدار 50 كم حول المدن الرئيسية. وشمل النطاق المدن الرئيسية فقط وهي العواصم الإدارية للمحافظات الثلاثة عشرة، والشكل رقم (6) يوضح ذلك.



شكل رقم (6): خريطة رقم (1) توضح نطاق 50 كم عن المدن الرئيسية وخريطة (2) بعد تحويل البيانات إلى نموذج بولين الذي توضح المكان الملاءم بقيمة 1 وغير الملاءم بقيمة 0 في هذا المعيار.

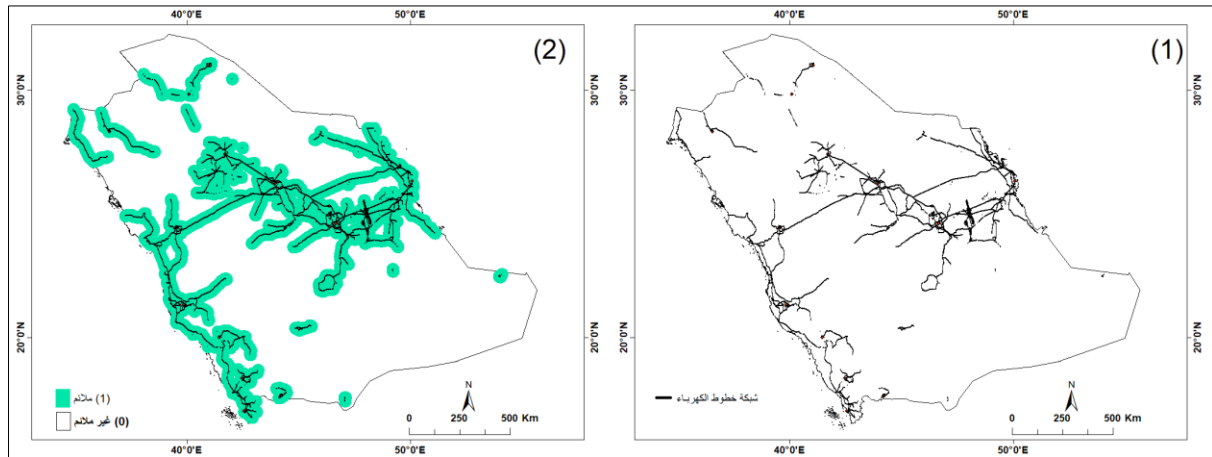
- البعد عن شبكة الطرق: يعتبر عامل شبكة الطرق مهم، وذلك لأثره في سهولة الوصول لمواقع محطات الطاقة الكهروضوئية. وكما أنه يصعب إنشاء محطة طاقة شمسية بعدد كبير من ألواح الطاقة كهروضوئية بالقرب الشديد من شبكة الطرق أو في مناطق نائية، (Al Garni, et al, 2017). ولهذا تم عمل نطاق مكانية (Buffer) بمقدار 5 كم حول شبكة خطوط الطرق الرئيسية ويوضح ذلك في الشكل رقم (7).





شكل رقم (7): خريطة رقم (1) توضح توزيع شبكة الطرق وخريطة (2) بعد تحويل البيانات إلى نموذج بولين الذي توضح المكان الملائم بقيمة 1 وغير الملائم بقيمة 0 في هذا المعيار.

● القرب عن شبكة خطوط نقل الطاقة: تعد شبكة خطوط نقل الطاقة عامل مهم في نقل وتوصيل الطاقة (Al Garni, et al., 2017). وتم تحديد النطاق مكانية (Buffer) بمقدار 5 كم حول شبكة خطوط نقل الطاقة، فهذا سيساعد على تقليل تكاليف نقل الطاقة، ويوضح ذلك في الشكل رقم (8).



شكل رقم (8): خريطة رقم (1) توضح توزيع شبكة الكهرباء وخريطة (2) بعد تحويل البيانات إلى نموذج بولين الذي توضح المكان الملائم بقيمة 1 وغير الملائم بقيمة 0 في هذا المعيار.

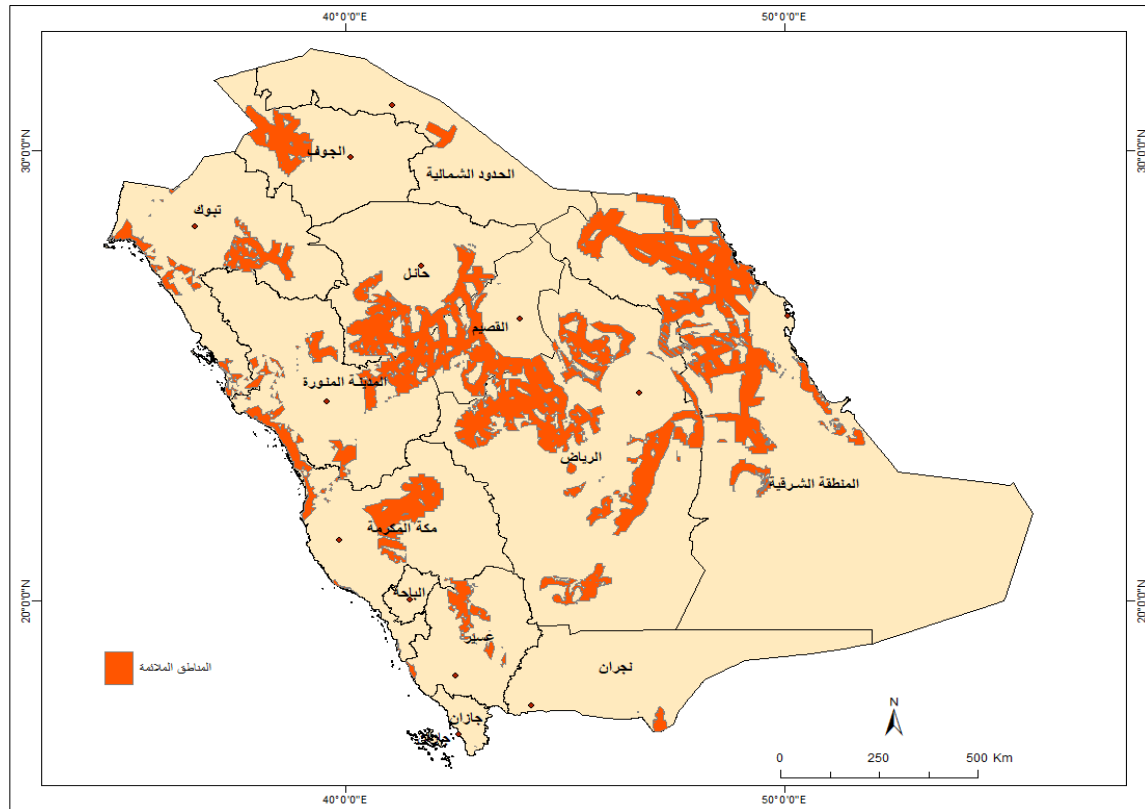
المرحل الرابعة: تحديد المناطق الملائمة بعد تحديد جميع المعايير وتحويل الطبقات بيانات الخطية (Vector) وتقسيمها إلى: ملائم وغير ملائم، حسب نموذج بولين (Boolean model). وبعد ذلك يتم إجراء عمليات التداخل (Intersect) فالمنطقة التي تتداخل فيها جميع الطبقات تعتبر منطقة مناسبة لتجميع الطاقة الكهروضوئية (PV)، والمنطقة التي لا تتداخل فيها الطبقات تعتبر غير مناسبة. وبعد ذلك يتم حصر المساحات التي تنطبق عليها جميع المعايير، وحساب المساحات الملائمة بعد اختيار مسقط (Albers Equal Area Conic) وتكييفه على منطقة الدراسة ومن أجل الحصول على قياسات صحيحة.

#### النتائج:

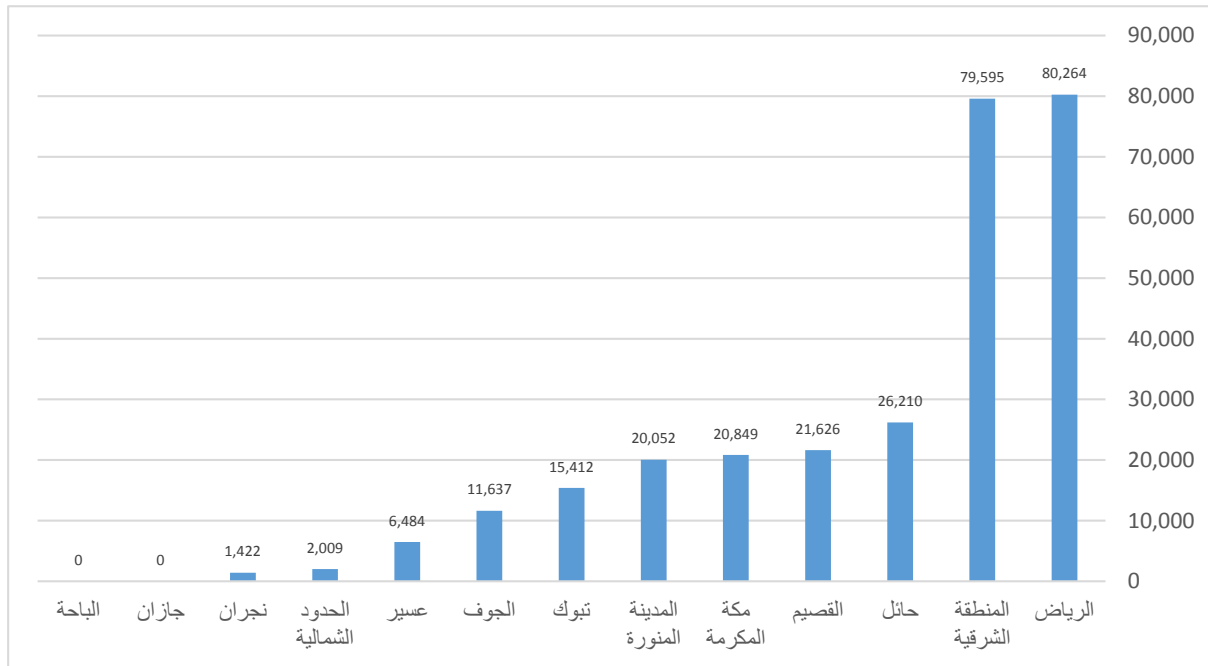
أظهرت النتائج بعد تطبيق باستخدام نظام بولين (Boolean model) في تحديد أفضل الأماكن ملائمة لتجميع الطاقة الكهروضوئية (PV)، اعتمادًا على مجموعة المعايير المناخية والطبوغرافية والاقتصادية. أتضح من نتائج الدراسة إن جميع مساحة المملكة العربية السعودية تستقبل كمية اشعاع شمسي مناسب لتوليد الطاقة الشمسية، ولكن هناك مناطق أخرى لا تتحقق فيها جميع المعايير. أما معيار درجة الحرارة وهو أقل من

30° نجد أن هناك مساحات غير مناسبة في منطقة الدراسة وتمثل بأجزاء من صحراء الربع الخالي ومناطق على الساحل الغربي على البحر الأحمر وتقدر بحوالي (155,000 كم<sup>2</sup>). والمساحة المتبقية والمناسبة لمعيار درجات الحرارة الملاءمة لإنشاء محطات طاقة شمسية كهروضوئية بحوالي (1,845,010 كم<sup>2</sup>). أما بالنسبة لمعيار درجة الانحدار وهي أقل من 5%، فنجد معظم المرتفعات الجنوبية الغربية والغربية غير مناسبة لشدة وعورة سطحها، مع مرتفعات جبال طويق بالوسط. كما يوجد مناطق متفرقة يزيد فيها درجة الانحدار أكثر من 5% في مناطق الكثبان الرملية وبعض المرتفعات في الوسط والشمال. وبالنظر إلى معيار الكثبان الرملية ذو التأثير سلبى على جودة إنتاج ألواح الطاقة الكهروضوئية، حيث بلغت مساحة المناطق الرملية المحسوبة حوالي (789,401 كم<sup>2</sup>) وتمثلت في صحراء الربع الخالي والنفود الكبير والدهناء مع بعض الكثبان الرملية الصغيرة المتناثرة داخل منطقة الدراسة. بينما معيار البعد عن المناطق الحضرية، في تحديد نطاق 50 كم حول المدن الرئيسية، فبلغت المساحة المستبعدة حوالي (497,026 كم<sup>2</sup>). أما معيار البعد عن الطرق الرئيسية بنطاق 5 كم فقد بلغت حوالي (80,904 كم<sup>2</sup>).

كما أوضح نتائج المناطق الملاءمة أن مساحة المناطق الملاءمة لإنشاء محطات طاقة شمسية كهروضوئية في المملكة العربية السعودية تبلغ (285,560 كم<sup>2</sup>) تتوزع بمساحات متفاوتة بين مناطق المملكة العربية السعودية (شكل:9). أحتلت منطقة منطقة الرياض بلغت حوالي (80,264 كم<sup>2</sup>) أكبر المساحات الملاءمة لإنشاء محطات طاقة شمسية، تليها المنطقة الشرقية (79,595 كم<sup>2</sup>)، ويعود هذا لكبر مساحة المنطقتين وقلة التضاريس الوعرة. والمرتبة الثالثة جاءت منطقة حائل بـ (26,210 كم<sup>2</sup>)، ثم تليها منطقة القصيم (21,626 كم<sup>2</sup>). ومن الملاحظ إن المنطقة الواقعة بين منطقتي حائل والقصيم صالحة لإنشاء محطات توليد الطاقة وهذا لتوافر جميع المعايير المناسبة. ومن ناحية أخرى هناك تقارب في المساحات بين منطقتي مكة المكرمة والمدينة المنورة بحوالي (20,849 كم<sup>2</sup>)، (20,052 كم<sup>2</sup>) على التوالي. كما بلغت المساحة الملاءمة في منطقة تبوك تقريبا (15,412 كم<sup>2</sup>)، تليها منطقة الجوف بحوالي (11,637 كم<sup>2</sup>)، كما نجد أن منطقة تبوك تأثرت سلبًا بمعيار كثافة شبكة الطرق وضعف شبكة الكهرباء مع معيار الانحدار في أجزاءها الغربية في قلة المساحة الملاءمة بمساحة حوالي (15,412 كم<sup>2</sup>). بينما وصلت المساحة الملاءمة لإنشاء محطات طاقة كهروضوئية في منطقة عسير بحوالي (6,484 كم<sup>2</sup>)، ومن الواضح أن عامل الانحدار كان له أثر بالغ على المساحات الملاءمة داخل المنطقة، فمعظم الأجزاء المناسبة تركزت في الركن الشمالي الشرقي من المنطقة. وجاءت منطقة الحدود الشمالية ومنطقة نجران بمساحات صغيرة، وهي (2,009 كم<sup>2</sup>) و (1,422 كم<sup>2</sup>) على التوالي. وبشكل عام يعتبر معيار كثافة شبكة الطرق وشبكة خطوط توزيع الكهرباء له تأثير واضح على الأجزاء الشمالية من المملكة العربية السعودية. في منطقة الباحة بسبب صغر مساحتها ووعورة سطحها لم تكن مناسبة لإنشاء محطات توليد طاقة كهروضوئية، ومثلها منطقة جازان (شكل:10).

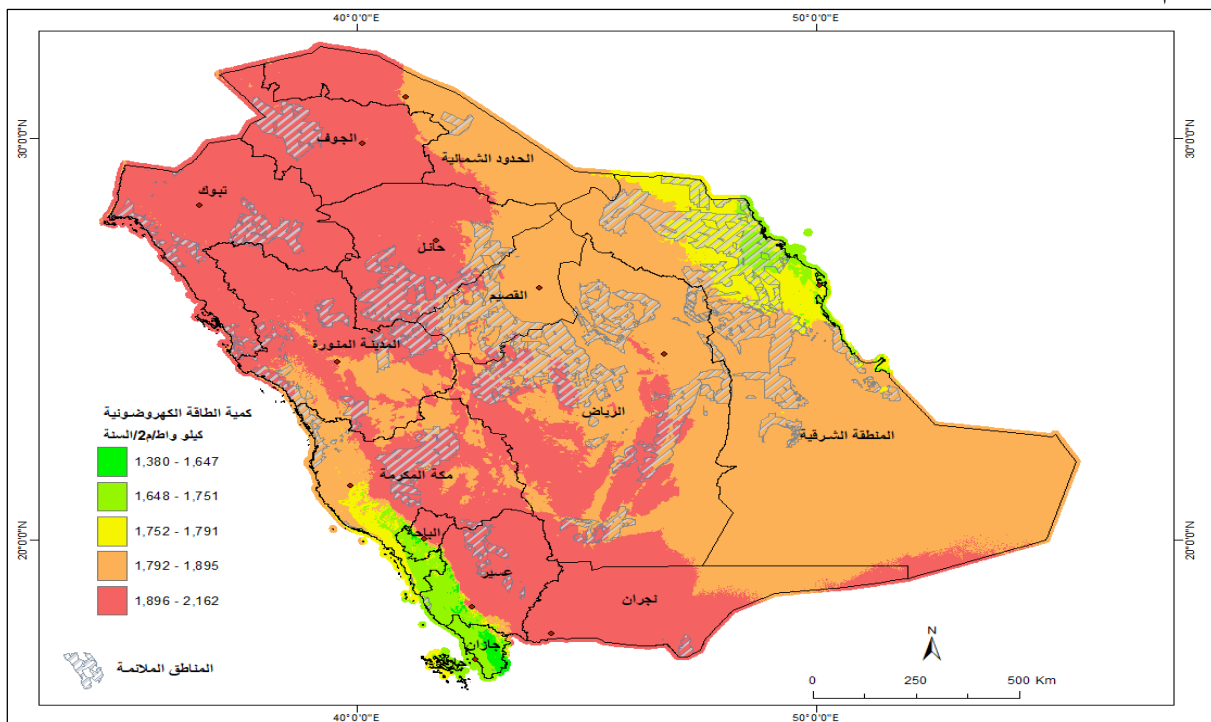


شكل رقم (9) جميع الأماكن الملاءمة لإنشاء محطات طاقة شمسية كهروضوئية



شكل رقم (10) أجمالي المساحات الملائمة لإقامة محطات توليد طاقة شمسية لكل منطقة.

رغم أن المملكة العربية السعودية ضمن نطاق الإشعاع الشمسي الملائم لإنشاء محطات الطاقة الشمسية كهروضوئية، إلا أن هناك تفاوت واضح في استقبال الكمية الاشعاع الشمسي بين أجزائها. حيث أظهرت نتائج خريطة الملاءمة النهائية السابقة شكل رقم (9)، أن منطقتي الرياض والشرقية أعلى مساحات ملاءمة لبناء محطات لجمع طاقة كهروضوئية. وعلى العكس هناك منطقتين غير صالحتين لإنشاء محطات لجمع طاقة كهروضوئية وهما: جازان والباحة. ولوقارنا كبر المساحة مع حجم الكمية الأشعة الكهروضوئية المرصودة في كل منطقة لوجدنا أن منطقة حائل ومكة المكرمة والمدينة المنورة ومنطقة الجوف وتبوك ثم تليها بالأفضلية الرياض والقصيم وأجزاء من منطقة عسير بمساحة إجمالية حوالي (202,534 كم²) (شكل:11).



شكل رقم (11) إجمالي المساحات الملائمة لإقامة محطات توليد طاقة شمسية ومقارنتها مع طبقة كمية الإشعاع الشمسي.

## الخاتمة:

تعد الطاقة الشمسية أحد مصادر الطاقة المتجددة التي يمكن استغلالها في أي مكان وتشكل مصدراً لا ينضب ويتميز هذا النوع من الطاقة بأنها طاقة آمنة لا ينتج عنها أي ضرر أو تلوث بيئي بخلاف أنواع الطاقة الأخرى، ومن خلال توجه المملكة العربية السعودية والتطلعات السامية نحو التشجيع على إنتاج الطاقة المتجددة. وأعتمدت هذه الدراسة في تحديد الأماكن الملاءمة لاستفادة من الطاقة الشمسية على نماذج بولين (Boolean model). يعتبر نماذج بولين أسلوب صارم بحيث لو أختل معيار واحد من المعايير يعتبر المكان غير مناسب ويستبعد تماماً دون النظر للمعايير الأخرى. تم استخدام برنامج نظم المعلومات الجغرافية لما توفره من إمكانيات تحليل ومعالجة البيانات بالإضافة لعرض النتائج. وتعد طريقة تطابق الطبقات (Overlay) وتقاطعها (Intersect) أحد أساليب تطبيق المعايير المتعددة. كما تم تحديد معايير عامة وهي: طبوغرافية، ومناخية، واقتصادية، وداخل كل معيار معايير فرعية هي: الأشعة الكهروضوئية، درجة الحرارة، ودرجة الانحدار، والكثبان الرملية، والبعد عن المدن الرئيسية، وشبكة الطرق، وشبكة خطوط توزيع الكهرباء.

أثبتت الدراسة أن اختيار الأسلوب المناسب في تحليل البيانات المكانية في بيئة نظم المعلومات الجغرافية أمر مهم، فكل أسلوب سوف يعطي نتائج مختلفة، وعليه تم اختيار نماذج بولين (Boolean model)، وهذا يعني أن جميع المعايير المختارة مهم توافرها بالمكان المراد إقامة فيه محطة توليد طاقة شمسية. فيعتبر معيار كمية الأشعة الكهروضوئية مناسب على كامل مساحة المملكة العربية السعودية، مع وجود بعض الاختلاف بمستويات الكمية بين منطقة وأخرى، ولهذا تعتبر المناطق الغربية هي أعلى بالمقارنة مع المناطق الشرقية والوسطى. ولكن عامل درجة الانحدار كان له أثر سلبي على المناطق الغربية بسبب وجود جبال الحجاز والسرور لشدة وعورة سطحها، وكذلك أجزاء من الوسط على حافات جبال طويق. وشكل عامل البعد عن مناطق الكثبان الرملية عامل رئيسي في حرمان كثير من المناطق، حيث تشكل ثلث مساحة السعودية وتمثلت في الربع الخالي والدنه والنفود الكبير. ويلاحظ أن الأجزاء الشمالية من السعودية مناسبة من ناحية كمية الأشعة الكهروضوئية، ولكن ضعف الخدمات المتمثلة بشبكة الطرق وشبكة خطوط توزيع الطاقة الكهربائية كان لها أثر بالغ أن تكون مساحات كبيرة فيها غير صالحة لإنشاء محطات توليد الطاقة الكهروضوئية.

خلصت الدراسة إلى إمكانية إنشاء محطات جمع الطاقة الشمسية في العديد من المناطق داخل المملكة العربية السعودية وفق نظام نماذج بولين (Boolean model) الذي يستوجد توفر جميع المعايير في المكان المناسب. وبلغ مساحة المناطق الملاءمة لإنشاء محطات طاقة شمسية كهروضوئية في المملكة العربية السعودية حوالي (285,560 كم<sup>2</sup>). وأفضل هذه المناطق وفقاً لجودة كمية الأشعة الكهروضوئية الساقطة والمساحة المناسبة هي: منطقة حائل ومكة المكرمة والمدينة المنورة ومنطقة الجوف وتبوك ثم الرياض والقصيم وأجزاء من منطقة عسير بمساحة إجمالية حوالي (202,534 كم<sup>2</sup>). وفي نهاية تحت الدراسة على استغلال هذه المساحات الكبيرة داخل المملكة في توليد الطاقة الشمسية، ويمكن زيادة مساحة المناطق الملاءمة، ومن خلال العمل على المعايير الاقتصادية في زيادة شبكة الطرق وشبكة الطاقة الكهربائية الذي سوف يسهم في إضافة مساحات أخرى خاصة في الأجزاء الشمالية من المملكة العربية السعودية.

## المصادر والمراجع

## المراجع باللغة العربية:

- النافع، ع. (2019م). *الجغرافيا الطبيعية للمملكة العربية السعودية*، الناشر المؤلف. الطبعة الأولى. الرياض.
- الوليبي، ع. (2008م). *جولوجية وجمورفولوجية المملكة العربية السعودية*. الناشر المؤلف. الطبعة الثالثة. الرياض.
- داود، ج. وآخرون (2017) تحديد أفضل المواقع لتجميع الطاقة الشمسية في منطقة مكة المكرمة باستخدام نظم المعلومات الجغرافية متعددة المعايير. <https://www.researchgate.net/publication/315891521>
- الشركة السعودية للكهرباء <https://www.se.com.sa/ar/sa/invshareholder/Pages/BackgroundOnBusinessSegment.aspx>
- الهيئة العامة للإحصاء <https://www.stats.gov.sa>
- الهيئة العامة للمساحة والمعلومات الجيومكانية <https://www.gasgi.gov.sa/Ar/Products/Pages/SaudiTideTablesBook.aspx>
- مدينة الملك عبدالله للطاقة الذرية والمتجددة.
- [https://www.stkfupm.com/forum/threads/مدينة-الملك-عبدالله-للطاقة-الذرية-والمتجددة-140609/k\\*a\\*care.140609](https://www.stkfupm.com/forum/threads/مدينة-الملك-عبدالله-للطاقة-الذرية-والمتجددة-140609/k*a*care.140609)
- مركز الدراسات والبحوث-غرفة الشرقية، 2010
- <https://www.chamber.org.sa/sites/Arabic/InformationsCenter/Pages/Studies.aspx>

## References

- 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*, 206, 1225-1240.
- Ali, S., Taweekun, J., Techato, K., Waewsak, J. & Gyawali, S. (2019). *GIS based site suitability assessment for wind and solar farms in Songkhla, Thailand. Renewable Energy*, 132, 1360-1372.
- Charabi, Y. & Gastli, A. (2011). *PV site suitability analysis using GIS-based spatial fuzzy multi-criteria evaluation. Renewable Energy*, 36(9), 2554-2561.
- Deo, R. C. & Şahin, M. (2017). *Forecasting long-term global solar radiation with an ANN algorithm coupled with satellite-derived (MODIS) land surface temperature (LST) for regional locations in Queensland. Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 72, 828-848.
- Firozjaei, M. K., Nematollahi, O., Mijani, N., Shorabeh, S. N., Firozjaei, H. K. & Toomanian, A. (2019). *An integrated GIS-based Ordered Weighted Averaging analysis for solar energy evaluation in Iran: Current conditions and future planning. Renewable Energy*, 136, 1130-1146.
- Gherboudj, I. & Ghedira, H. (2016). *Assessment of solar energy potential over the United Arab Emirates using remote sensing and weather forecast data. Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 55, 1210-1224.
- Hazaymeh, K., Zeitoun, M., Al-Rawabdeh, A. & Al-Sababhah, N. (2018). *A Regional Scale Photovoltaic Site Selection Based On Geospatial Techniques. Jordan Journal of Earth and Environmental Sciences*, 9(1).
- Merrouni, A. A., Mezrhah, A. & Mezrhah, A. (2016). *PV sites suitability analysis in the Eastern region of Morocco. Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 18, 6-15.
- Montoya, F. G., Aguilera, M. J. & Manzano-Agugliaro, F. (2014). *Renewable energy production in Spain: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 33, 509-531.
- 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*, 84(5), 831-843.
- Ohser, J., Nagel, W. & Schladitz, K. (2009). *Miles formulae for Boolean models observed on lattices. Image Analysis & Stereology*, 28(2), 77-92.
- Watson, J. J. & Hudson, M. D. (2015). *Regional Scale wind farm and solar farm suitability assessment using GIS-assisted multi-criteria evaluation. Landscape and Urban Planning*, 138, 20-31.
- Zell, E., Gasim, S., Wilcox, S., Katamoura, S., Stoffel, T., Shibli, H. & Al Subie, M. (2015). *Assessment of solar radiation resources in Saudi Arabia. Solar Energy*, 119, 422-438.