المجلة الجغرافية العربية

تصدر عن الجمعية الجغرافية المصرية

الملاءمة المكانية بالاعتماد على أسلوب نموذج بولين (Boolean Model) لإختيار أفضل المواقع لمزارع طاقة الرياح

وفاء عبيد المطيري

ماجستير نظم المعلومات الجغرافية

د/ فهد عبدالعزيز المطلق

أستاذ علم ونظم المعلومات الجغرافية المشارك

كلية العلوم الانسانية والاجتماعية – جامعة الملك سعود

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

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

الترقيم الدولي الموحد للطباعة: ١١١٠ – ١٩١١

الترقيم الدولي الموحد الإلكتروني: ٢٦٨٢ – ٤٧٩٥

الموقع على شبكة الانترنت: www.egyptiangs.com

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

قواعد النشر

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

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

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

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

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

هيئة تحرير المجلة

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

مجلس إدارة الجمعية الجغرافية المصرية

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

الهيئة الاستشارية

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

فهرس المحتويات

م	العنوان	ص
	المُلخص	١
	المقدمة	٢
١	**مشكلة الدراسة**	٣
٢	**أهداف الدراسة**	٣
٣	**منطقة الدراسة**	٤
٤	**الدراسات السابقة**	٥
٥	**منهجية الدراسة**	٦
	أ. المرحلة الأولى (جمع البيانات)	٧
	ب. المرحلة الثانية (تحديد المعايير)	٨
	ج. المرحلة الثالثة (معالجة المعايير)	٩
	د. المرحلة الرابعة (تحديد المناطق الملاءمة)	١٤
	النتائج	١٥
	الخاتمة	١٩
	المصادر والمراجع	٢١
	الملخص باللغة الإنجليزية	٢٤

فهرس الأشكال

م	العنوان	ص
١	منطقة الدراسة	٥
٢	خريطة (١) توزيع المتوسط السنوي لسرعة الرياح للمملكة العربية السعودية وخريطة (٢) نموذج بولين بعد تحويل البيانات، ويتضح أن المملكة العربية السعودية غالبية أراضيها ملائمة ما عدا أجزاء من المناطق الجنوبية والغربية وأجزاء من المناطق الشمالي.	٩
٣	خريطة رقم (١) تصنيف درجة الانحدار حسب طبيعة منطقة الدراسة، وخريطة (٢) نموذج بولين بعد تحويل البيانات	١٠
٤	خريطة (١) المسافات بمقدار ١٠٠٠٠م، وخريطة (٢) البيانات بعد تحويلها الى نظام بولين	١١
٥	خريطة (١) تحديد المسافة المكانية بمقدار ١٠٠٠٠م، وخريطة (٢) البيانات بعد تحويلها الى نظام بولين	١١

٦	الخريطة (١) عملية تحديد المســـافة المكانية، والخريطة (٢) نموذج بولين بعد تحويل البيانات	١٢
٧	خريطة (١) عملية تحديد المســافة المكانية، وخريطة (٢) نموذج بولين بعد تحويل البيانات	١٢
٨	خريطة (١) تحديد المســافة لمعيار المدن الرئيســية، وخريطة (٢) نموذج بولين بعد تحويل البيانات	١٣
٩	خريطة (١) تحديد المسـافة لمعيار المطارات، وخريطة (٢) توضـح نموذج بولين بعد تحويل البيانات	١٣
١٠	جميع الأماكن المناسبة لإقامة مشروعات طاقة الرياح	١٧
١١	إجمالي المســاحة الملاءمة لإقامة مشـروعات طاقة الرياح بالمملكة العربية السعودية	١٨

فهرس الجداول

م	العنوان	ص
١	البيانات ومصادرها	٧
٢	معايير الدراسة (إضافة مرجع للمعايير)	٨
٣	المساحة الملاءمة وغير الملاءمة للمعايير	١٧
٤	إجمالي المساحات الملاءمة لإقامة مشروعات طاقة الرياح لكل منطقة	١٨

مُلخص:

يُركز هذا البحث إلى اختيار أفضل المواقع لإنشاء مزارع طاقة الرياح في المملكة العربية السعودية وفقاً لنموذج بولين (Boolean Model)، واعتمدت الدراسة على مصادر متعددة للحصول على البيانات من: الجهات الرسمية، والمواقع العالمية مفتوحة المصدر، وتم اختيار مجموعة من المعايير، وتقسيمها إلى: معايير مناخية، وطبوغرافية، واقتصادية؛ وتشتمل على: سرعة الرياح، ودرجة الانحدار، والطرق الرئيسية، وخطوط الطاقة، والمواقع التاريخية، والمحميات الطبيعية، والمدن الرئيسية، والمطارات.

وتوصلت الدراسة إلى أن غالبية مساحة المملكة العربية السعودية تستقبل مقدار مناسب من سرعة الرياح، ويختلف المقدار من منطقة إلى أخرى، وتبين تأثر بعض المناطق بالعامل الطبوغرافي المتمثل في الانحدار، والعامل الاقتصادي المتمثل في: الطرق الرئيسية، وخطوط الطاقة، والمحميات الطبيعية؛ مما أدى إلى فقدان مساحات شاسعة من المناطق التي قد تكون ملائمة، كما بلغ إجمالي المساحة المُلائمة بالمملكة العربية السعودية حوالي (٢٣١٩٩٩,٩ كم^{٢}).

واتضح من المساحة أن أفضل المناطق المناسبة تمثلت في المنطقة الشرقية، ثم منطقة الرياض، ثم منطقة حائل، ويليها منطقة القصيم، ومن المناطق الواعدة في استغلال مشاريع طاقة الرياح مستقبلاً هي المناطق الشمالية، مثل: منطقة الجوف، والحدود الشمالية، ومنطقة تبوك؛ لأن معظم المعايير مناسبة، ماعدا معياري الطرق الرئيسية وخطوط الطاقة، ولذلك تحتاج هذه المناطق الزيادة في كثافة الطرق الرئيسية وتوزيع خطوط نقل الطاقة. وخلَصت الدراسة الى إمكانية استغلال طاقة الرياح داخل المملكة العربية السعودية.

الكلمات المفتاحية: طاقة الرياح – نموذج بولين – المملكة العربية السعودية – تحليل الملاءمة.

(المجلة الجغرافية العربية، المجلد (٥٤) عدد خاص، العدد (١٨٠)، أغسطس ٢٠٢٣، ص ص ١ – ٢٤)

المقدمة:

أصبحت مصادر الطاقة المتجددة ذات أهمية وواقعاً مفروضاً وضرورة ملحة، ولا يقتصر ذلك على دول معينة بل يمتد على مستوى العالم، ومن جانب آخر تزايد الطلب على الطاقة والخدمات المرتبطة بها مما أدى الى البحث عن مصادر بديلة والتنوع في مصادر الطاقة خاصة المصادر المتجددة المتمثلة في (الرياح، الشمس، المصادر المائية)، وذلك لتقليل الاعتماد على مصادر الطاقة الناتجة عن الوقود الاحفوري (النفط الغاز) المهددة بالزوال ومواجهة التحديات البيئية الناجمة عن غازات الاحتباس الحراري والانبعاثات الكربونية التي تساهم في التغيرات المناخية والتي يتزايد خطرها يوما بعد يوم (العتيبي والفيلكاوي، ٢٠٢٠م). وتعتبر مصادر الطاقة المتجددة من الطاقة النظيفة والاقل تلوثاً من الطرق التقليدية لإنتاج الطاقة ولا ينشأ عنها أي اضرار كزيادة الاحتباس الحراري عند احتراق الوقود الأحفوري وغازات ثاني أكسيد الكربون أو مخلفات المفاعلات النووية (Cristea & Jocea, 2015).

ومن هذا المنطلق سعت المملكة العربية السعودية في تحقيق أهداف التنمية ضمن رؤية ٢٠٣٠ التي نصت على تحقيق التوزان في مصادر الطاقة المحلية والالتزام تجاه تخفيض انبعاثات ثاني أكسيد الكربون، كما تتمتع المملكة العربية السعودية بموقع جغرافي ومناخي متميز يؤهلها ويجعل الاستفادة من مصادر الطاقة المتجددة أمراً هاماً في مجال تنويع مصادر الطاقة من خلال تحقيق التنوع الأمثل والأكثر كفاءة، وبحلول عام ٢٠٣٠ سوف تشكل مصادر الطاقة المتجددة ما يقارب ٥٠٪ من الطاقة لإنتاج الكهرباء، كما تهدف إلى جعل الطاقة المتجددة عنصراً أساسيًا وفعالاً من خلال إدخال ٣٤٥٠ ميجاواط من الطاقة المتجددة، أو ما يعادل ٤٪ تقريبا من الطاقة المنتجة حالياً (الهيئة العامة، للمساحة والمعلومات الجيومكانية، ٢٠١٧).

والمملكة العربية السعودية تتميز بوجود إمكانات تتمثل في مصدر جيد للرياح ومساحات شاسعة من الأراضي الفضاء وهي مناسبة لاستغلال طاقة الرياح، وذلك من خلال اختيار المواقع المناسبة لإقامة هذه المزارع أو محطات طاقة الرياح ويعتبر اختيار الموقع المناسب هو التحدي الأول في انشاءها وتطويرها، فيجب أن

يلبي الموقع جميع المعايير المطلوبة، ومن هنا تأتي أهمية استخدام نظم المعلومات الجغرافية والاستفادة منها في تنمية التطبيقات الجديدة والمتجددة فهي أداة فعالة لتحليل المواقع المناسبة وذلك عن طريق اختيار مجموعة من المعايير ومعالجتها رقمياً، وتمتد فائدتها للجوانب التخطيطية والتطويرية المرتبطة بهذه المشاريع وامداد متخذي القرار بالمعلومات الدقيقة، ومن هنا جاء غرض الدراسة وهو إيجاد افضل المواقع المناسبة لاستغلال طاقة الرياح في المملكة العربية السعودية.

١. مشكلة الدراسة:

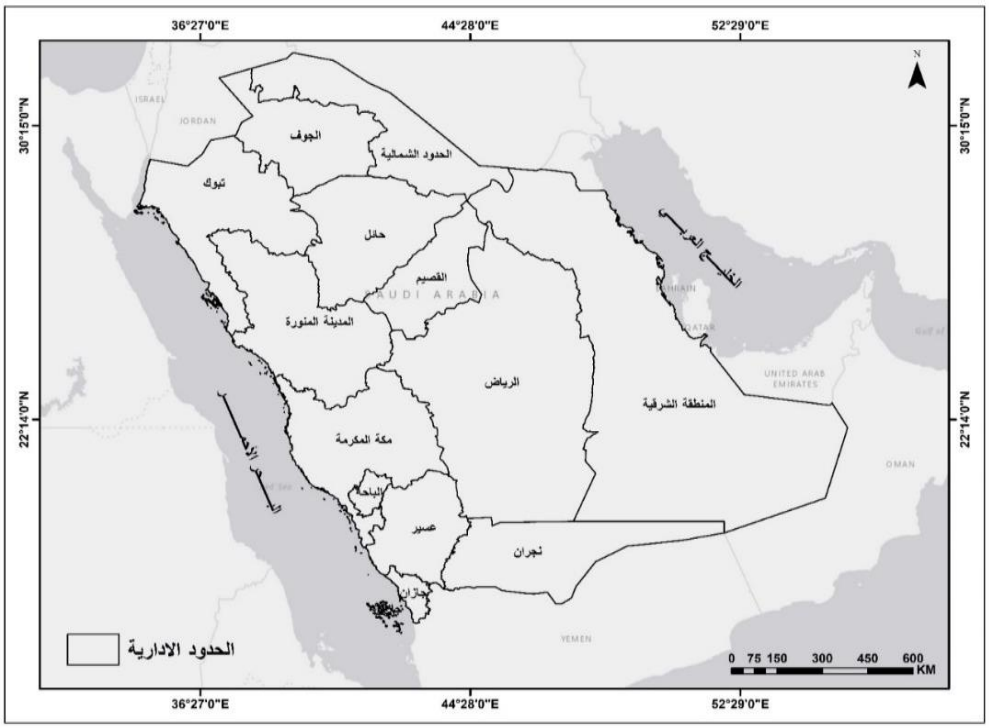
في ظل تزايد الطلب على الطاقة والارتفاع المتسارع في معدلات النمو السكاني والتوسع العمراني وتزايد الطلب على الكهرباء والمياه المحلاة بدأت المملكة العربية السعودية في البحث عن مصادر جديدة للطاقة وتأمين مستقبلها بدلاً من الاعتماد على النفط وعلى مصادر الوقود الاحفوري، والتي تعرف بأنها مصادر غير ناضبة ومحدودة، وفي ضوء ذلك سجلت الإحصاءات زيادة في إجمالي إنتاج الطاقة الكهربائية بنسبة ٠.٧٧٪ في عام ٢٠٢٠ بكمية إنتاج بلغت (٣٣٨.٠٣١ جيجا واط/ ساعة)، كما ارتفع استهلاك الطاقة الكهربائية ليصل إلى (٢٨٩,٣٣٣ جيجا واط / ساعة) بنسبة ارتفاع تصل ٠,٢١٪، ومن هنا تأتي أهمية طرح البدائل في مجال الطاقة ودراسة تطبيقها في مواجهة التحديات المتمثلة في زيادة الطلب على الطاقة والآثار البيئة السلبية لمصادر الطاقة التقليدية، وذلك من خلال استخدام تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية في إجراء التحليلات وفق معايير محددة لمنطقة الدراسة لاختيار الأماكن المناسبة لإقامة مشاريع طاقة الرياح ووضع المعايير المكانية لدعم القرار في مجال هذه المشروعات في المستقبل.

٢. أهداف الدراسة:

- تطبيق معايير الملاءمة المكانية باستخدام أسلوب نموذج بولين (Boolean model) للوصول إلى أفضل المواقع ملاءمة لطاقة الرياح.
- اختيار أفضل وانسب المواقع لإقامة مشاريع طاقة الرياح في المملكة العربية السعودية.

٣. منطقة الدراسة:

تغطي هذه الدراسة المملكة العربية السعودية والتي تقع في أقصى الجنوب الغربي من قارة أسيا ويحدها غرباً البحر الأحمر وشرقاً الخليج العربي ومملكة البحرين ودولة الإمارات العربية المتحدة ودولة قطر، ويحدها شمالاً دولة الكويت والأردن وجمهورية العراق، وجنوباً اليمن وسلطنة عمان، بين دائرتي عرض (٠″ ١٣′ ١٤°) و(٠″ ١٥′ ٣٠°) شمال دائرة الاستواء وبين خطي طول (٠″ ٢٧′ ٣٦°) و(٠″ ٢٩′ ٥٢°) شرق خط جرينتش، كما في الشكل (١) تشغل المملكة العربية السعودية أربعة أخماس شبه جزيرة العرب بمساحة تقدر بنحو ٢,٠٠٠,٠٠٠ كيلومتر مربع، وبلغ عدد سكانها في منتصف عام ٢٠٢٠م نحو ٣٥٠١٣٤١٤ نسمة (الهيئة العامة للإحصاء، ٢٠١٧)، كما تتنوع تضاريس المملكة نظراً لاتساع مساحتها، فعلى امتداد البحر الأحمر سهل تهامة الساحلي الذي يبلغ طوله حوالى ١١٠٠ كيلومتر ويتسع عرضه ليبلغ ٦٠كيلو متراً في الجنوب ويضيق تدريجياً في شمالاً نحو خليج العقبة، وترتفع إلى الشرق من هذا السهل سلسلة جبال السروات والتي يتراوح ارتفاعها ما بين ٩٠٠٠ قدم في الجنوب، ويقل الارتفاع تدريجياً كلما اتجهنا شمالاً لتصل إلى ٣٠٠٠ قدم، وتنحدر منها أودية كبيرة تتجه شرقاً وغرباً مثل وادي جازان ووادي نجران ووادي تثليث ووادي بيشة ووادي الحمض ووادي الرمة ووادي ينبع ووادي فاطمة، ويلي هذه السلسلة من جهة الشرق هضبة نجد ومرتفعاتها التي تنتهي شرقاً بكثبان الدهناء وصحراء الصمان وجنوبا يتخللها وادي الدواسر وتحاذى صحراء الربع الخالي، ومن الشمال تمتد سهول نجد إلى منطقة حائل حتى تتصل بصحراء النفود الكبرى، كما يوجد بها بعض المرتفعات الجبلية مثل جبال طويق والعارض وأجا وسلمى، أما صحراء الربع الخالي فهي تشكل الجزء الجنوبي الشرقي من المملكة وهي منطقة صحراوية كبيرة تقدر مساحتها بـ ٦٤٠٠٠٠ كيلو متر مربع تتكون من كثبان رملية وسبخات، أما السهل الساحلي الشرقي والذي يبلغ طوله حوالي ٦١٠ كيلو متر وتتخلله مساحات كبيرة من السبخات الملحية والمناطق الرملية.



شكل (١) منطقة الدراسة

٤. الدراسات السابقة:

تنوعت الدراسات التي تناولت موضوع اختيار أفضل المواقع ملاءمة لإنشاء مزارع طاقة الرياح على المستويات المحلية والعالمية، ومن بين هذه الدراسات:

- دراسة بابان وباري (Baban, Parry,2001)، وقد تناولت الدراسة تطبيق نظم المعلومات الجغرافية لتحديد المواقع المناسبة لمزارع الرياح في الولايات المتحدة في منطقة لانكشاير، واستخدم في تحليل البيانات طريقتين مختلفتين: المجموعة الأولى أعتبر جميع الطبقات متساوية ومهمة وأعطاها وزنًا متساويًا، أما المجموعة الثانية فقد صنف الطبقات حسب الأهمية، وتوصلت الدراسة إلى مخرجات من فئات صفر إلى ١٠، حيث صفر تمثل مواقع مثالية و١٠ تمثل مواقع غير مناسبة، وباستخدام الطريقة الثانية أدى إلى زيادة في النطاق الجغرافي للمواقع الأكثر ملاءمة.
- قدمت عفت (Effat,2014) دراسة النمذجة المكانية للمناطق المثلى لمزارع طاقة الرياح باستخدام الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية في الخط الساحلي للبحر الأحمر في مصر، وتوصلت الدراسة الى نموذج تقييم متعدد المعايير قائم على نظم المعلومات الجغرافية لتحديد خريطة المناطق المناسبة لمزارع طاقة الرياح مصنفة من الأفضل ملاءمة

إلى الأقل ملاءمة، وتبين أن أفضل المواقع تبلغ مساحتها المثالية ٧٠٦ كم٢ مع قيم ملاءمة تتراوح من ٨٣٪ إلى ١٠٠٪ ومناطق مناسبة جدا تصل إلى ٣٧٨١كم٢ لها قيم ملائمة تتراوح من ٦٦٪ إلى ٨٣٪.

- ركزت دراسة الريحاني وآخرون (Raihani,Et al, 2020) بوضع خريطة لإمكانات طاقة الرياح في المغرب لاختيار الموقع المناسب باستخدام نظم المعلومات الجغرافية، وتوصلت الدراسة إلى تحديد المناطق التي تتميز بالرياح العالية جداً، ومن ثم اختيار أفضل المواقع لإنشاء مزارع طاقة الرياح باستخدام الأكثر ملاءمة والأقل ملاءمة.
- درس بدوي (٢٠٢١م) تحديد المواقع المُثلى لحصاد طاقة الرياح في مصر اعتماداً على أسلوب المعايير المتعددة ونظم المعلومات الجغرافية، وتوصلت الدراسة إلى تحديد المناطق الملائمة لإقامة مشروعات حصاد طاقة الرياح في مصر وتبلغ مساحتها ١٨٥٤٤,٩٤ بما يمثل ١,٨٢٪ من مساحة مصر، وتتوزع بشكل أساسي على الساحل الغربي لخليج السويس، والغردقة وسفاجا والاجزاء الوسطى من الساحل الشرقي لخليج السويس، ومنطقة توشكي وغرب أسوان والأقصر.
- ناقش فلورا (Flora Et al, 2021) تحديد مواقع مزارع الرياح على أساس نظم المعلومات الجغرافية باستخدام طريقة (Boolean Method) في الكاميرون، وتوصلت الدراسة الى أفضل المواقع المناسبة لطاقة الرياح وأن المساحة الإجمالية للمواقع المناسبة مزارع الرياح ما يقارب ١٠,٣٤٤كم٢ وأن المناطق الواقعة في أقصى الشمال هي الأفضل لإنشاء مزراع الرياح كما توصلت الدراسة إلى أن طريقة (Boolea model) هي طريقة صارمة مقارنة بطرق التحليل الأخرى.

٥. منهجية الدراسة

ستعتمد هذه الدراسة على المنهج الاستقرائي الذي ينطلق من العام إلى الخاص في إجراء التجارب حتى الوصول لإصدار الحكم، وبناءً على هذا المنهج ولتحقيق هدف تحليل الملاءمة المكانية في اختيار مجموعة من المعايير ذات الأهمية لتحديد موقع مكاني لأداء وظيفة معينة، في إعطاء كل معيار قيمة تدل على قوة تأثيره في تحديد الموقع الملائم (الكبيسي،

٢٠١٩م). وتعد عملية تحديد المعايير المتعدد من أهم الخطوات التحليلية في بيئة نظم المعلومات الجغرافية لمساهمتها في اتخاذ القرار، وهنا يجب التنويه أن الدراسة اعتمدت على

أسلوب نموذج بولين (Boolean Model)؛ حيث يتم من خلاله استخدام التعبيرات الجبرية المنطقية، لاتخاذ القرارات بناءً على شروط مُحددة سلفاً؛ حيث يتم ضبط شروط معايير المُلائمة كمُدخلات للنموذج، مما يجعل عملية التقييم أكثر ذكاءً واستجابةً. ووفقاً لهذا الأسلوب يقوم البرنامج بتحويل البيانات إلى قيمتين قيم صفرية وغير صفرية، حيث أن القيم الصفرية هي قيم خاطئة وغير مقبولة وتأخذ القيمة صفر (٠)، أما القيم غير الصفرية هي قيم صحيحة ومقبولة وتأخذ القيمة (١)، وهذا الأسلوب يختلف عن أسلوب التطابق المرجح (الموزون) (Weighted overlay) والمعروف بأنه يتدرج من ملاءم جداً إلى ضعيف الملاءمة جداً (المطلق، ٢٠٢٢).

وفي هذه الدراسة تم الاعتماد على نموذج بولين في تحديد المواقع الملائمة لإقامة مشروعات طاقة الرياح في المملكة العربية السعودية، ولتحقيق أهداف الدراسة تم إتباع عدد من المراحل:

أ. المرحلة الأولى (جمع البيانات):

لعل من أهم المراحل هي مرحلة جمع البيانات اللازمة لتحقيق أهداف الدراسة، وتم الاعتماد على عدة مصادر للحصول على البيانات الأولية، جدول (١).

جدول (١) البيانات ومصادرها

البيانات	المصدر
الحدود الإدارية للمملكة العربية السعودية	الهيئة العامة للمساحة والمعلومات الجيومكانية
سرعة الرياح على ارتفاع ١٠٠ متر	Global Wind Atlas
الطرق الرئيسية	وزارة الشؤون البلدية والقروية
خطوط الطاقة	الشركة السعودية للكهرباء
المواقع التاريخية	هيئة التراث
المحميات الطبيعية	المركز الوطني لتنمية الحياة الفطرية
المطارات	هيئة الطيران المدني
المدن الرئيسية	المركز الوطني لتنمية للحياة الفطرية
نماذج الارتفاعات الرقمية (DEM)	STRM (90)

ب. المرحلة الثانية (تحديد المعايير):

عند القيام بأي مشروع تنموي يتطلب وجود عدداً من الاشتراطات تؤخذ بعين الاعتبار ليتم الاستفادة القصوى من المشروع وتفادي الآثار السلبية الناتجة، لذلك فإن التخطيط عند إقامة مشروعات طاقة الرياح يتطلب مجموعة من الاشتراطات لتحقيق نجاحها والفائدة المرجوة منها، ، تم تحديد معايير الدراسة التي يتم اعتمادها في تحديد الأماكن المناسبة لإقامة مشروعات طاقة الرياح، بالاعتماد على المركز الإقليمي للطاقة المتجددة ومدينة الملك عبدالله للطاقة الذرية والمتجددة، والدراسات السابقة وطبيعة منطقة الدراسة، ويمكن تصنيف المعايير بناءً على معايير مناخية ومعايير طبوغرافية ومعايير اقتصادية وكل معيار يضم معايير فرعية، كما هي موضحه في الجدول رقم (٢).

جدول (٢) معايير الدراسة (إضافة مرجع للمعايير)

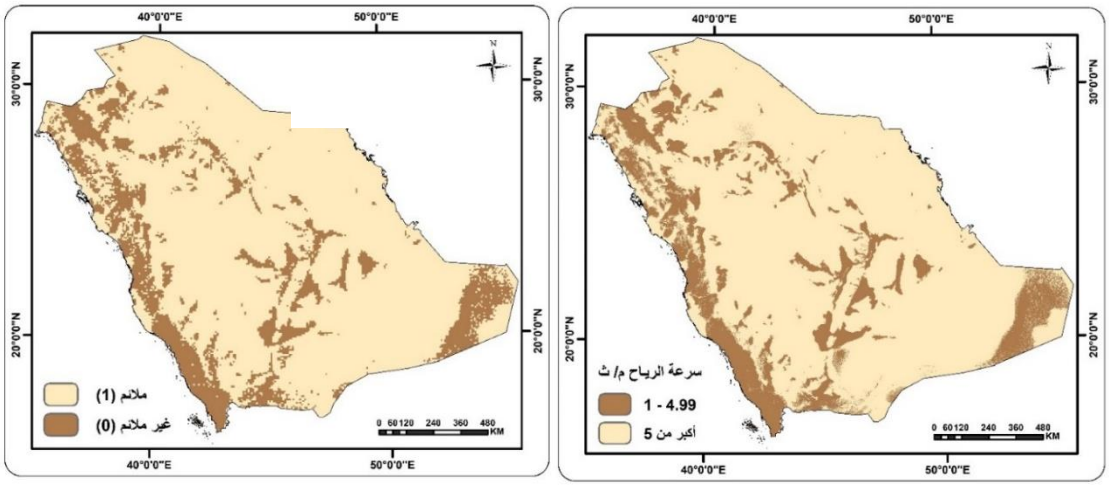
نوع المعيار	المعيار	حدود المعيار	السبب
مناخي	١.سرعة الرياح	أعلى من ٥ م/ث	أوصى المركز الإقليمي للطاقة المتجددة ان محطات الرياح تكون مناسبة لإنتاج الطاقة إذا كانت أعلى من ٥م/ث.
طبوغرافي	٢. درجة الانحدار	أقل من ١٠٪	أوصت بعض الدراسات ان المناطق التي يزيد ميلها عن ١٠٪ تكون غير مناسبة لإنشاء توربينات الرياح مثل دراسة(Effat,.2014).
اقتصادي	٣. القرب من الطرق الرئيسية	١٠٠٠٠م	في معظم مشروعات طاقة الرياح يتم النظر للمناطق القريبة من الطرق أكثر ملاءمة مثل دراسة (AbdulBaser,.2020).
	٤. القرب من خطوط الطاقة	١٠٠٠٠م	يعتبر توزيع نقل خطوط الطاقة وانتشارها من المعايير الهامة كلما أقترب موقع المشروع من خطوط الطاقة لنقل الكهرباء كان ذلك أكثر ملاءمة مثل دراسة (AbdulBaser,.2020).
	٥. البعد عن المحميات الطبيعية والمواقع التاريخية	١٠٠٠م	توربينات الرياح قد يكون لها تأثير على القيمة البيئية لهذه المناطق لذلك يجب ان الا تكون موجودة على ضمن ١٠٠٠ متر منها مثل دراسة (Baban, et al.,2001).
	٦. البعد عن المدن الرئيسية والمطارات	٢٠٠٠٠م	في مشروعات طاقة الرياح يتم النظر للمناطق البعيدة من المدن المأهولة بالسكان والمطارات أكثر ملاءمة مثل دراسة بدوي badawy (,.2021).

ج. المرحلة الثالثة (معالجة المعايير):

في هذه المرحلة بعد جمع البيانات المطلوبة تم ضبط إعداد بيئة العمل داخل برنامج (ArcMap) وذلك من خلال توحيد نظام الإسقاط والإحداثيات لكافة الطبقات إلى النظام المتري UTM-WGS 1984 حتى يُمكن ضبط المسافات تحقيقاً لشروط المعايير، وضبط حدود بيئة العمل (نطاق المعالجة) وضبط حجم الخلية للصورة الشبكية.

- المعايير المناخية:

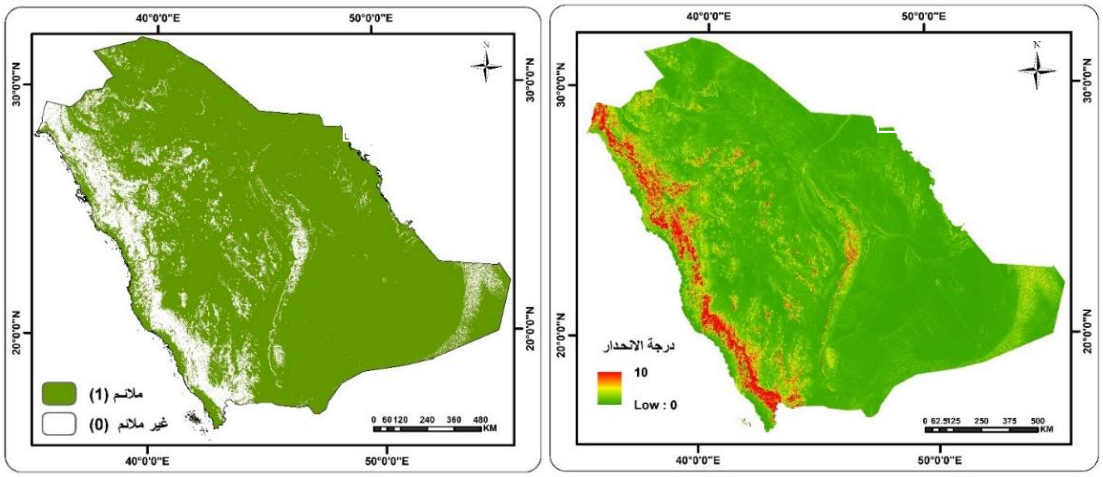
أهمها معيار سرعة الرياح؛ حيث يعد أهم عنصر في هذه الدراسة بسبب أهميته في تحديد الطاقة التي يمكن إنتاجها في المنطقة، وسرعة الرياح من المعايير المناخية الأكثر أهمية عند اختيار أفضل المواقع لمشروعات طاقة الرياح، حيث تكون محطات الرياح مناسبة لإنتاج الطاقة إذا تراوح المتوسط السنوي لسرعة الرياح ما بين ٦: ١٠ م/ث وبمعدلات لا تقل عن ٤,٥ م/ث (العتيبي والفيلكاوي، ٢٠٢٠م)، وبشكل عام للاستفادة من الطاقة يجب أن تكون سرعة الرياح أعلى من ٥ م/ث، وستعتمد الدراسة على الكمية الأعلى لسرعة الرياح، وهناك عدة اشتراطات فنية يجب الأخذ بها ومنها مستوى ارتفاع التوربينات فوق مستوى سطح البحر، وعادة تقاس سرعة الرياح على ارتفاع ١٠: ١٠٠متر (بدوي، ٢٠٢١م)، وتعتبر أراضي المملكة العربية السعودية ملائمة لأن معيار سرعة الرياح أعلى من ٥ م/ث، كما في شكل (٢).



شكل (٢) خريطة (١) توزيع المتوسط السنوي لسرعة الرياح للمملكة العربية السعودية وخريطة (٢) نموذج بولين بعد تحويل البيانات، ويتضح أن المملكة العربية السعودية غالبية أراضيها ملائمة ما عدا أجزاء من المناطق الجنوبية والغربية وأجزاء من المناطق الشمالي.

➢ المعايير الطبوغرافية:

يعد الانحدار من المعايير الطبوغرافية الهامة عند إنشاء توربينات الرياح، ومن الممكن أن تؤثر المنحدرات الشديدة على الرياح، فالتغيرات الحادة في المنحدرات تؤدي إلى زيادة مستوى إجهاد التوربينات، مما يُحدث اضطرابات في استقرارها، كما يؤدي البناء على المنحدرات العالية الزيادة في التكاليف والصيانة (Effat,2014)، فكلما زاد انحدار الموقع تقل أهميته بالنسبة لإنشاء التوربينات، ومن الناحية المثالية تُعد التضاريس المسطحة أو المستوية هي الأكثر عرضة لسرعات الرياح العالية (Alhammad&Et al.,2022)، وبشكل عام تعتبر المناطق المسطحة أكثر ملاءمة لإنشاء التوربينات مقارنة مع المناطق شديدة، وفي هذه الدراسة تم تحديد درجة الانحدار ١٠٪ حسب طبيعة منطقة الدراسة.

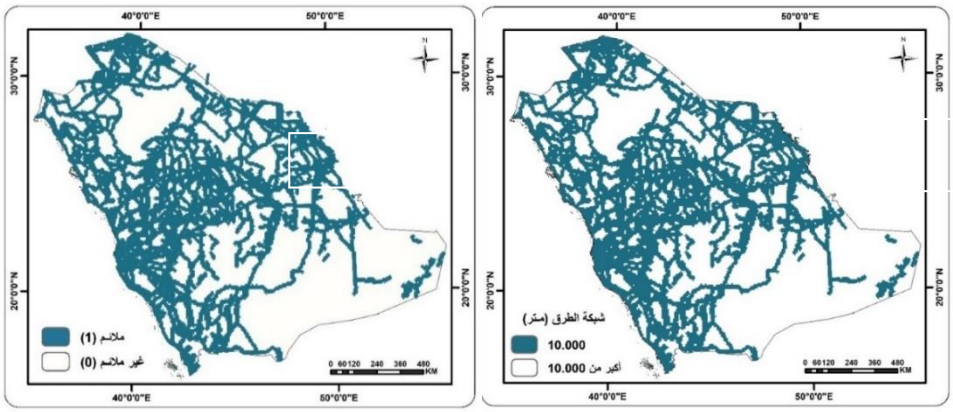


شكل (٣) خريطة رقم (١) تصنيف درجة الانحدار حسب طبيعة منطقة الدراسة، وخريطة (٢) نموذج بولين بعد تحويل البيانات

➢ المعايير الاقتصادية:

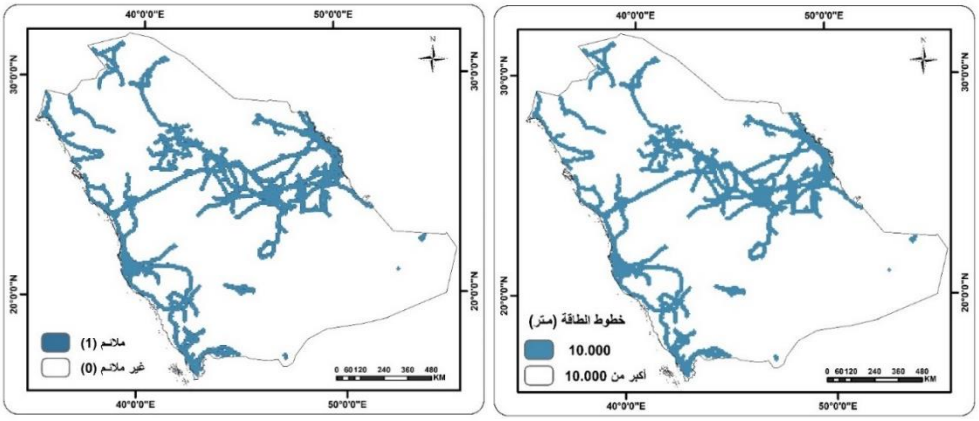
- القرب من الطرق الرئيسية: من المهم عند أنشاء مشروعات طاقة الرياح ان تكون الطرق الرئيسية قريبة منها، وذلك لتقليل التكلفة المادية ولتسهيل عمليات الصيانة ونقل المعدات، كلما ابتعد المشروع عن الطرق الحالية كلما زادت تكاليف البناء(Bartnicki, 2012)، وفي معظم مشروعات طاقة الرياح يتم النظر للمناطق القريبة من الطرق أكثر ملاءمة، وتعتبر الطرق ذات أهمية في تحديد أفضل المواقع لمشروعات طاقة الرياح، ومع تلك الأهمية من الضروري الحفاظ على مسافة آمنة لتجنب المخاطر المحتملة التي قد تحدث

عند وضع التوربينات جانب الطرق، وتم تحديد المسافات بمقدار ١٠٠٠٠ م باستخدام أداة (Distance Euclidean)، والتي تقوم بإنتاج طبقة مُتعددة الحلقات من النوع Raster، يتم إعادة تصنيفها باستخدام الأداة Reclassify، لتتلائم شرط المسافات لهذا المعيار، ثم يتم إعطاء المسافة المطلوبة القيمة ١ وباقي المسافات القيمة صفر تبعاً لـ Boolean Model كما في شكل (٤).



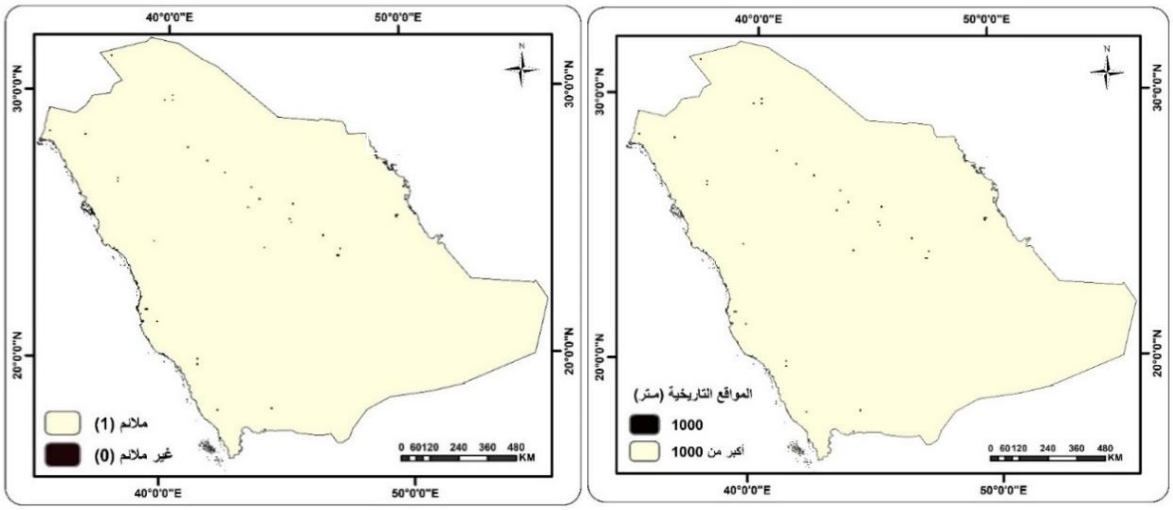
شكل (٤) خريطة (١) المسافات بمقدار ١٠٠٠٠م، وخريطة (٢) البيانات بعد تحويلها الى نظام بولين

- القرب من خطوط الطاقة: تبرز أهمية هذا المعيار في قربه من مشروعات طاقة الرياح، حيث إنه يقلل من تكاليف نقل الطاقة الكهربائية المولدة للمشروع (بدوي، ٢٠٢١م)، وتم تحديد المسافات بمقدار ١٠٠٠٠م، عن طريق نفس الخطوات التي تمت بالمعيار السابق، وهو ماسيتم تطبيقه أيضاً في المعايير التالية، حيث تعد المنطقة ملائمة ما لم تبعد عن ١٠٠٠٠م، وتقل الملائمة المكانية بزيادة المسافة، كما في شكل (٥)، وتقترح (Effat, 2014) بأنه يجب الاحتفاظ بمسافة ٢٥٠ متراً على الأقل من خطوط الضغط العالي.

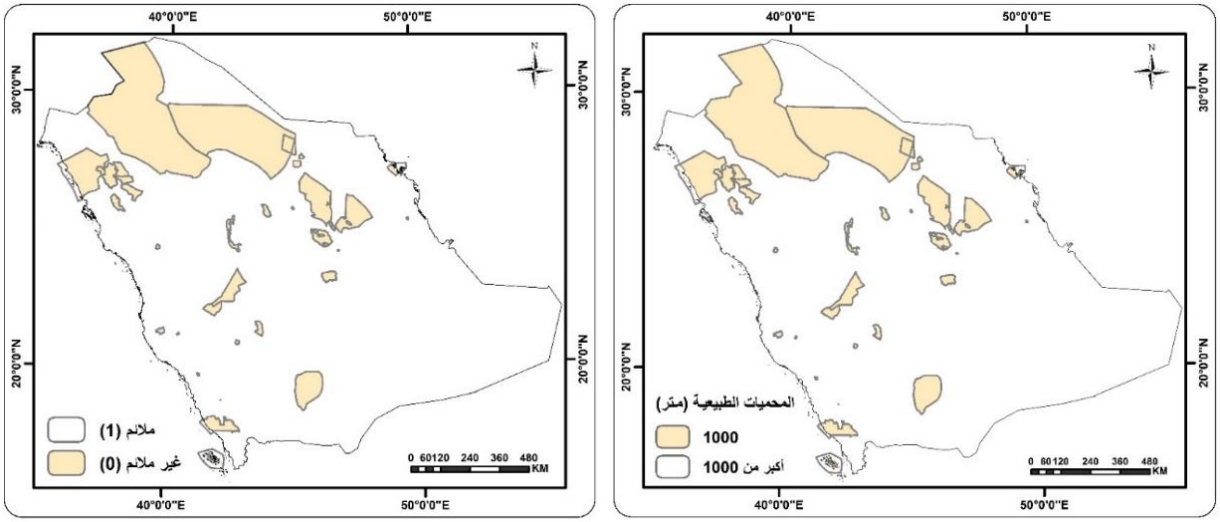


شكل (٥) خريطة (١) تحديد المسافة المكانية بمقدار ١٠٠٠٠م، وخريطة (٢) البيانات بعد تحويلها الى نظام بولين

- البعد عن المواقع التاريخية والمحميات الطبيعية: لحماية المواقع التاريخية والمحميات الطبيعية يجب أن تكون بعيدة عن مشروعات طاقة الرياح للحفاظ على طابعها، كما أنها تعتبر مواقع حساسة لأنها قد تشتمل على مواقع ذات قيمة ثقافية وسياحية، وباستخدام (Euclidean Distance) تم وتم تحديد المسافات لكل من المواقع التاريخية والمحميات الطبيعية وإعطاء كل معيار قيمته المعتمدة كما في شكل (٦) وشكل (٧).



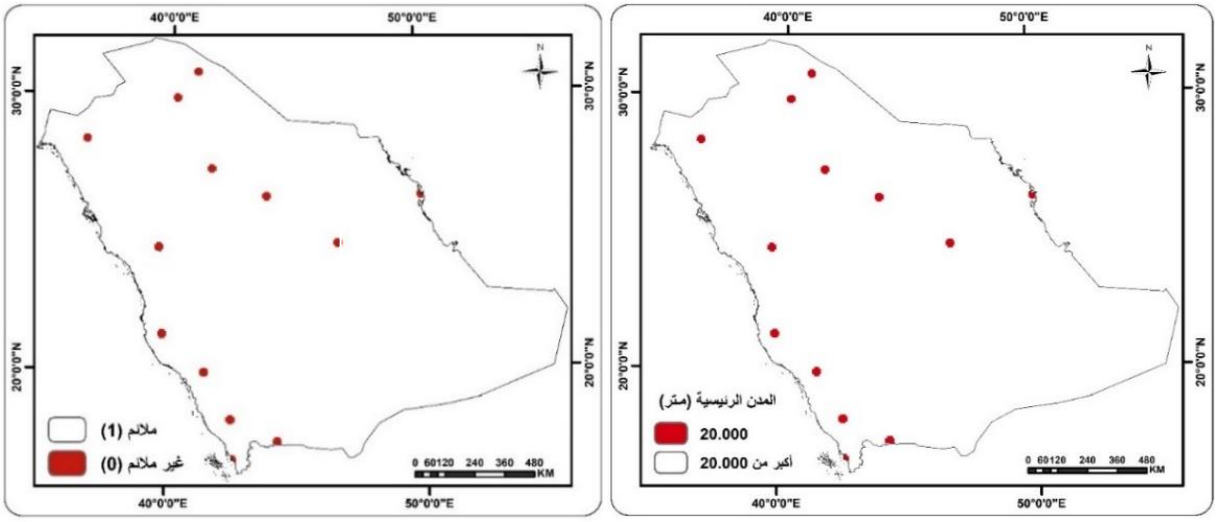
شكل (٦) الخريطة (١) عملية تحديد المسافة المكانية، والخريطة (٢) نموذج بولين بعد تحويل البيانات



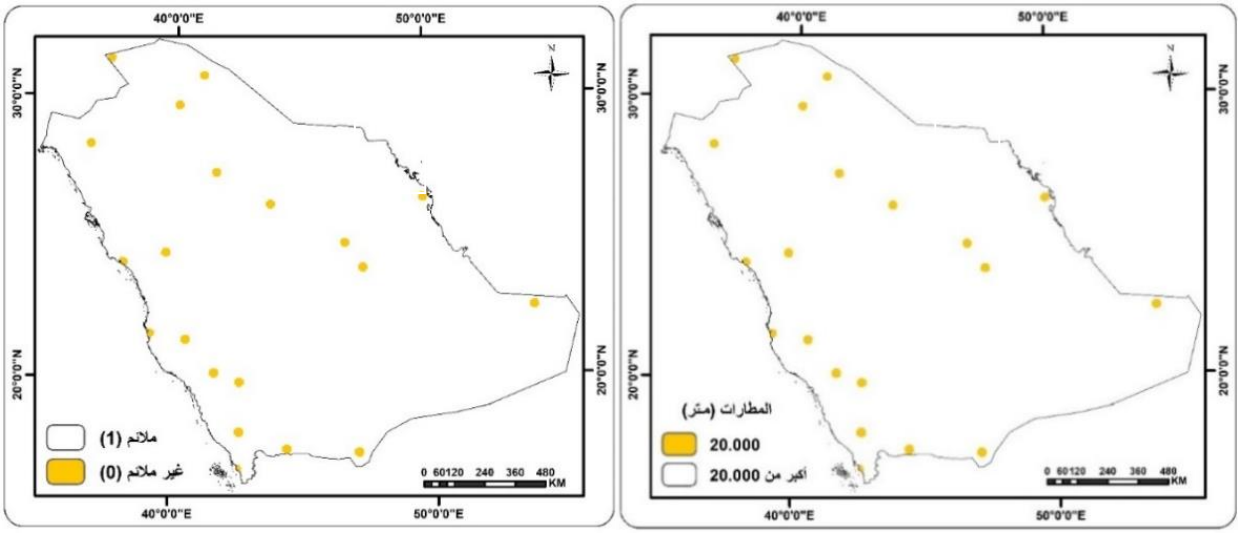
شكل (٧) خريطة (١) عملية تحديد المسافة المكانية، وخريطة (٢) نموذج بولين بعد تحويل البيانات

- البعد عن المدن الرئيسية والمطارات: يعد معيار المدن الرئيسية عاملاً هاماً في اختيار أفضل المناطق لإقامة مشروعات طاقة الرياح، لأن اقتراب التوربينات من المناطق السكنية يسبب الضوضاء كما أن عملية التشغيل

للتوربينات تحدث أصوات عالية ومزعجة للسكان، أما بالنسبة لمعيار المسافة من المطارات يجب أن تكون بعيدة لتجنب حدوث التداخل الكهرومغناطيسي بين أجهزة التوربينات والرادرات وهذا يشكل خطراً على الطائرات في عمليات الإقلاع والهبوط (Baseer, 2020)، وتم الاعتماد على الدراسات السابقة كمرجع في تحديد المسافات للمدن الرئيسية والمطارات، كما ذكر أنه يجب أن تبتعد مشروعات طاقة الرياح عن المدن الرئيسية والمطارات بمسافة تزيد عن ٢٠٠٠٠ متر، وتم تحديد المسافات لكل من المعيارين، ويوضحها شكل (٨) وشكل (٩).



شكل (٨) خريطة (١) تحديد المسافة لمعيار المدن الرئيسية، وخريطة (٢) نموذج بولين بعد تحويل البيانات



شكل (٩) خريطة (١) تحديد المسافة لمعيار المطارات، وخريطة (٢) توضح نموذج بولين بعد تحويل البيانات

د. المرحلة الرابعة (تحديد المناطق الملائمة):

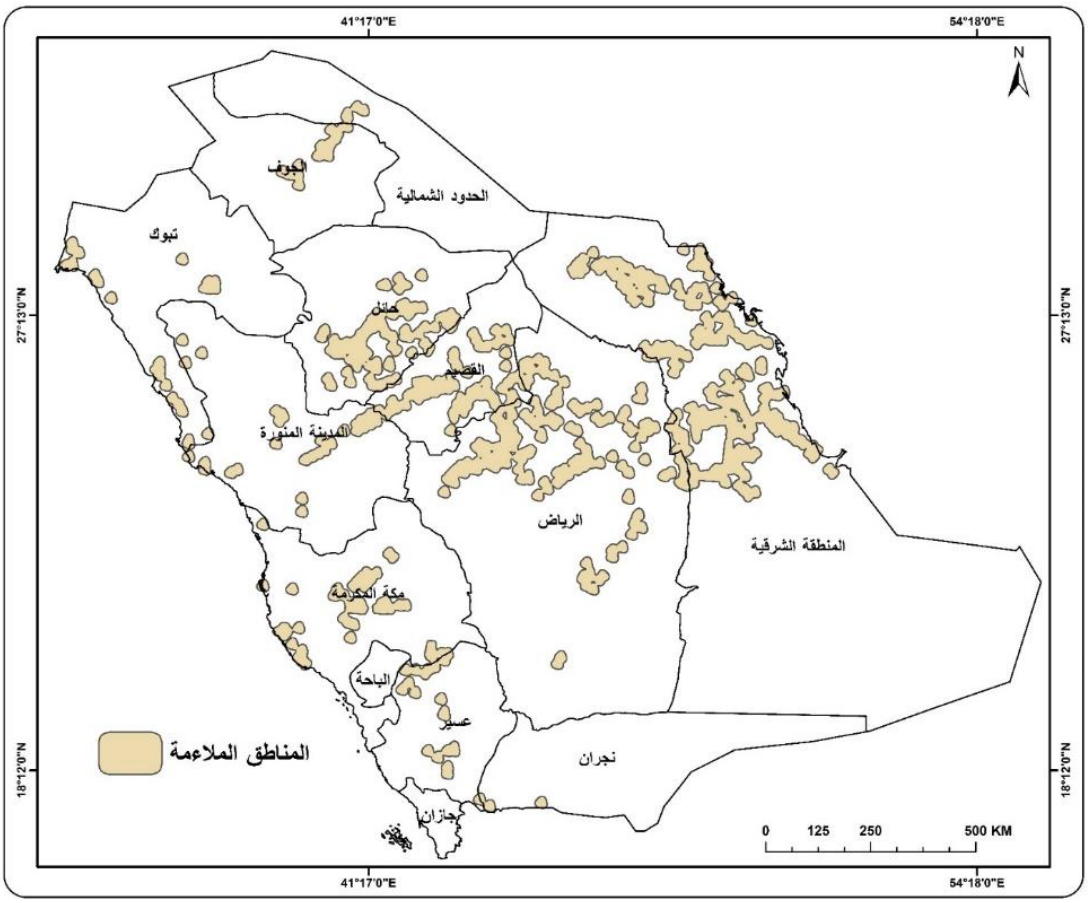
بعد جمع المعايير وتحديدها ومعالجتها وتقسيمها إلى ملائم وغير ملائم حسب نموذج بولين (Boolean Model) تم إجراء عملية الجمع بين المعايير، ثم تحويل الطبقات إلى بيانات مساحية (Vector)، ثم الوصول إلى المناطق التي تحققت فيها جميع المعايير من خلال تطبيق عملية التداخل (Intersect) وهذه العملية توضح المناطق الملائمة من خلال التداخل في جميع الطبقات، أما غير الملائمة لا تتداخل في جميع الطبقات فتعد غير مناسبة لإقامة مشروعات طاقة الرياح، وبعد ذلك تم تحديد المساحات التي تحققت فيها جميع المعايير، والوصول إلى حساب المساحات الملائمة.

النتائج

بعد تطبيق نظام بولين (Boolean Model) في تحديد أفضل المواقع ملاءمة لإقامة مشروعات طاقة الرياح، بالاعتماد على المعايير المناخية والطبوغرافية والاقتصادية،أظهرت نتائج الدراسة مايلي:

- غالبية مساحة المملكة العربية السعودية تستقبل مقدار مناسب من سرعة الرياح وتتركز بشكل عام في المناطق الوسطى والشرقية والشمالية، أما منطقة جازان والباحة فتستقبل مقدار قليل من سرعة الرياح.
- بالنسبة لمعيار درجة الانحدار وهي أقل من ١٠٪ نجد جبال طويق بالوسط والمرتفعات الغربية والجنوبية الغربية غير مناسبة لوعورة سطحها، وبعض الأجزاء المتفرقة من الوسط والشمال.
- بالنسبة لمعيار القرب من الطرق الرئيسية وخطوط الطاقة بنطاق ١٠٠٠٠م، نجد أن المملكة العربية السعودية مُغطاة بشبكة نقل جيدة وتمتاز بكثافتها بالوسط وفي الأجزاء الشرقية والغربية والجنوبية وبعض الأجزاء الشمالية، بينما خطوط الطاقة تتركز في الوسط والجزء الشرقي والجنوبي، أما المناطق الشمالية تفتقد كثافة خطوط الطاقة وقد يؤثر هذا سلباً لاعتبارها من المناطق التي تتميز بكثافة مورد سرعة الرياح والمساحات الشاسعة.
- بالنسب لمعيار البعد عن المحميات الطبيعية والمواقع التاريخية بنطاق ١٠٠٠م، تحتلان مساحة ضئيلة من مساحة المملكة لكن المناطق الشمالية قد تتأثر بمعيار المحميات الطبيعية.
- بالنسبة لمعيار المدن الرئيسية والمطارات بنطاق ٢٠٠٠٠ م، يحتلان مساحة صغيرة مقارنة ببقية المعايير، ويوضح جدول (٣) المساحة المناسبة وغير المناسبة لمعايير الدراسة.
- تبين أن المساحة الاجمالية المناسبة لإقامة مشروعات طاقة الرياح في المملكة العربية السعودية بلغت (٢٣١٩٩٩,٩ كم^{٢})، موزعة بمساحات متفاوتة بين مناطق المملكة العربية السعودية، شكل (٩).

- احتلت المنطقة الشرقية أكبر المساحات ملاءمة لإقامة مشروعات طاقة الرياح في المملكة العربية السعودية، وتركزت المساحات في الجزء الشرقي والغربي وجزء من الجنوب الغربي، ويليها منطقة الرياض وتركزت في مساحة شاسعة من الجزء الشمالي الشرقي وأجزاء متفرقة من الوسط والجنوب، ونظراً لكبر الحيز الجغرافي للمنطقتين وتضاريسها المنبسطة أدى ذلك الى وجود مساحات كبيرة مناسبة للمنطقتين، وجاءت بعد ذلك منطقة حائل ثم يل٠منمخهعغفيها منطقة القصيم، ونلاحظ أن هاتين المنطقتين (حائل والقصيم)انطبقت عليهما المعايير المناسبة في مساحة محددة منها في أجزاء متفرقة من الوسط والشمال والشرق والغرب، والجزء الجنوبي من منطقة حائل، وجاءت منطقتي مكة المكرمة والمدينة المنورة ، ونلاحظ تركز المساحة المناسبة في الوسط والأطراف الغربية، ثم جاءت منطقة تبوك ويليها منطقة عسير والجوف، ونجد أن منطقة تبوك تقل فيها المساحة المناسبة وذلك لتأثرها بمعيار الطرق وخطوط الطاقة والانحدار في جزئها الغربي ومعيار المحميات الطبيعية في جزها الشرقي، أما منطقة الجوف فقد احتلت مساحة ضئيلة لتأثرها الواضح في معيار المحميات الطبيعية في جزئها الشمالي والغربي وضعف خطوط الطاقة، أما منطقة عسير فنجد تأثرها الواضح بمعيار الانحدار، فمعظم المساحة المناسبة تركزت في الجزء الشمالي الشرقي منها، وجاءت منطقة الحدود الشمالية بمساحات صغيرة وذلك لتأثرها بمعيار المحميات الطبيعية في جزئها الجنوبي وضعف شبكة خطوط الطاقة، ويليها منطقة نجران ومنطقة الباحة ثم منطقة جازان التي تعتبر غير مناسبة لإقامة مشروعات طاقة الرياح في المملكة العربية السعودية، شكل (١٠) وجدول (٤).



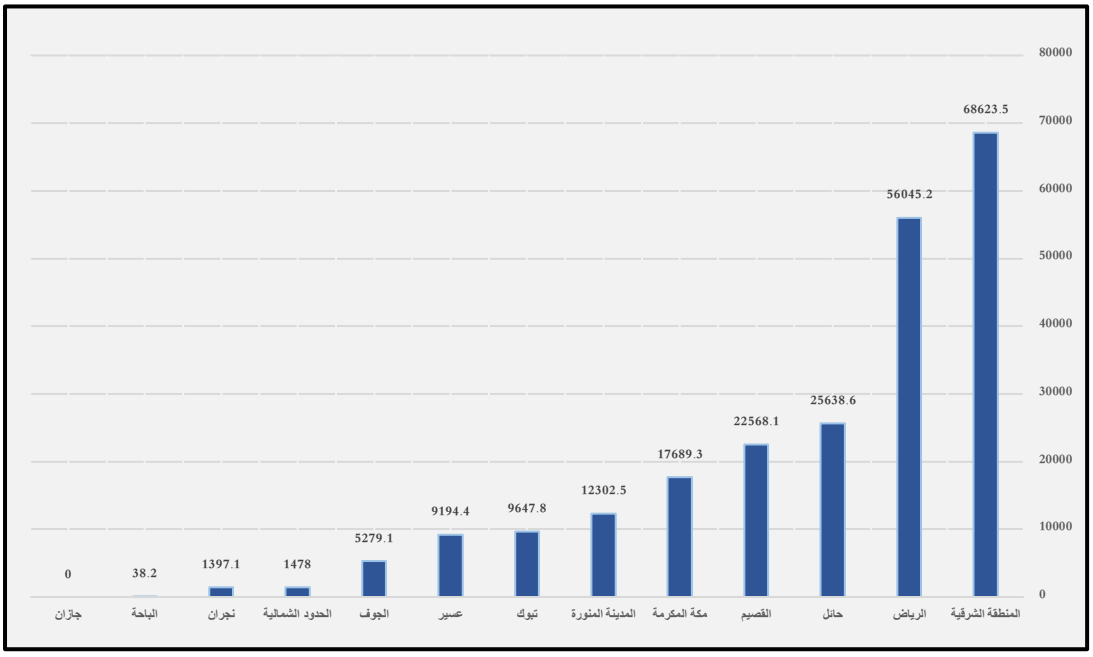
شكل (١٠) جميع الأماكن المناسبة لإقامة مشروعات طاقة الرياح

جدول (٣) المساحة الملائمة وغير الملائمة للمعايير

المعيار	المساحة الملائمة كم^2	المساحة غير الملائمة كم^2
سرعة الرياح	١٥٦٦٤٠٤,٧	٣٥٥٢٨٥,٦
درجة الانحدار	١٦٢٦٧٠٦,١	٢٨٩٧٣٤,٤
القرب من الطرق الرئيسية	٤٢٦٨٤٣,٨	١٤٩٦٦٩٩,٨
القرب من خطوط الطاقة	١٦٤٥٩٦,٢	١٧٥٨٩٩٠,٥
البعد عن المحميات الطبيعية	١٦٠١٣٤١,٢	٣٢٢٧٣٩,٨
البعد عن المواقع التاريخية	١٩٢٢٧٣١,٥	٢٠٤٨,١
البعد عن المدن الرئيسية	١٩١٢٥٢٥,٨	١١٨٥٥,٢
البعد عن المطارات	١٩٠٥١٤٧	١٩١٨٩.٦

جدول (٤) إجمالي المساحات الملائمة لإقامة مشروعات طاقة الرياح لكل منطقة

المنطقة	المساحة الملائمة
الشرقية	٦٨٦٢٣.٥ كم^{٢}
الرياض	٥٦٠٤٥.٢ كم^{٢}
حائل	٢٥٦٣٨.٦ كم^{٢}
القصيم	٢٢٥٦٨.١ كم^{٢}
مكة المكرمة	١٧٦٨٩.٣كم^{٢}
المدينة المنورة	١٢٣٠٢.٥ كم^{٢}
تبوك	٩٦٤٧.٨ كم^{٢}
عسير	٩١٩٤.٤ كم^{٢}
الجوف	٥٢٧٩.١ كم^{٢}
الحدود الشمالية	١٤٧٨ كم^{٢}
نجران	١٣٩٧.١ كم^{٢}
الباحة	٣٨.٢ كم^{٢}
جازان	٠



شكل (١١) إجمالي المساحة الملائمة لإقامة مشروعات طاقة الرياح بالمملكة العربية السعودية

خاتمة

اكتسبت الطاقة المتجددة في الآونة الأخيرة اهتماماً بالغاً لأهميتها في التنمية المستدامة، وتعد طاقة الرياح أحد مصادر الطاقة المتجددة التي يجب استغلالها نظراً لوفرتها وسهولة استعمالها، كما أنها أقل أنواع الطاقة تلويثاً للبيئة حيث أنها لا تستخدم سوى الهواء في توليد الطاقة.

واعتمدت الدراسة على تحديد أفضل المناطق المناسبة لإقامة مشاريع طاقة الرياح باستخدام نماذج بولين (Boolean Model)، ويعتبر أسلوب نموذج بولين من الأساليب الحاسمة، بحيث لو تم استبعاد معيار واحد يعتبر الموقع غير مناسب دون النظر الى المعايير الأخرى، وتم استخدام برنامج نظم المعلومات الجغرافية في تحليل ومعالجة البيانات وصولاً الى النتائج وعرضها، وتم الاعتماد على عدد المعايير وتصنيفها إلى معايير مناخية ومعايير طبوغرافية ومعايير اقتصادية وكل معيار يضم معايير فرعية وهي: سرعة الرياح، ودرجة الانحدار، والطرق الرئيسية، وخطوط الطاقة، والمحميات الطبيعية، والمواقع التاريخية، والمدن الرئيسية، والمطارات.

وتوصلت الدراسة إلى أن جميع المعايير لابد توافرها بالموقع المراد استغلاله لمشاريع طاقة الرياح، وتبين أن المملكة العربية السعودية تستقبل مقدار مناسب من سرعة الرياح على مساحات واسعة ولكن يختلف المقدار من منطقة إلى أخرى، وبشكل عام تركزت في المناطق الوسطى والشرقية والشمالية، ونجد المناطق الغربية والمناطق الجنوبية الغربية تأثرت بشكل سلبي بمعيارالانحدار لوعورة سطحها ووجود جبال الحجاز والسروات، ووجود جبال طويق في أجزاء من الوسط.

ونجد أن المملكة العربية السعودية مُغطاة بشبكة نقل جيدة وتمتاز بكثافتها، بينما خطوط الطاقة تقل مساحتها في المناطق الشمالية وهذا العامل أثر عليها بالرغم من تميزها بكثافة مورد سرعة الرياح، كما تأثرت بمعيار المحميات الطبيعية وادي ذلك إلى استبعادها بالرغم من أنها من المناطق الواعدة في

مستقبل طاقة الرياح،أما بالنسبة لبقية المعايير فقد احتلت مساحة ضئيلة من مساحة المملكة العربية السعودية.

وأثبتت الدراسة إمكانية استغلال مشروعات طاقة الرياح داخل مناطق المملكة العربية السعودية وفق نموذج بولين (Boolean Model) الذي يؤكد توفر جميع المعايير في الموقع المناسب، وبلغت مساحة المناطق الملائمة لإقامة مشروعات طاقة الرياح في المملكة العربية السعودية حوالي (٢٣١٩٩٩,٩كم^{٢})، وأفضل هذه المناطق وفقا للمساحة المناسبة هي: المنطقة الشرقية ومنطقة الرياض ومنطقة حائل ومنطقة القصيم ومنطقتي مكة المكرمة والمدينة المنورة ويليها منطقة تبوك ثم عسير والجوف ثم الحدود الشمالية ثم نجران ويليها منطقة الباحة وجازان بحوالي (٢٢٩٩٠١كم^{٢}).

وتحث الدراسة على استغلال هذه المساحات الكبيرة داخل مناطق الملكة العربية السعودية في استغلال مشاريع طاقة الرياح، ويمكن زيادة عدد المناطق الملائمة من خلال التوسع في مشروعات الطرق الرئيسية وتوزيع خطوط نقل الطاقة التي تساهم في ضم مساحات كبيرة خاصة الأجزاء الشمالية من المملكة العربية السعودية.

المصادر والمراجع

المراجع العربية:

- الكبيسي، أمجد أحمد رحيم (٢٠١٩م)،الملائمة المكانية لتنمية المدن الصحراوية في محافظة الانبار، جامعة بغداد.
- العتيبي، سرور عبيد والفيلكاوي، سلمان يوسف (٢٠٢٠م)، تنمية مشروعات الطاقة في دولة الكويت باستخدام نظم المعلومات الجغرافية ،جامعة الكويت.
- المحمدي، صدام فيصل كوكز(٢٠١٧م)، الاستثمار في مشاريع الطاقة المتجددة، بيروت، لبنان.
- المطلق، فهد (٢٠٢٢)، تصور الملائمة المكانية لتحديد أنسب المواقع لتجميع الطاقة الكهروضوئية في المملكة العربية السعودية وفق نموذج بولين (BooleanModel)، دراسات العلوم الإنسانية والاجتماعية.
- بدوي، هشام داود صدقي (٢٠٢١)، تحديد المواقع المثلي لحصاد طاقة الرياح في مصر اعتماداً علي أسلوب المعايير المتعددة ونظم المعلومات الجغرافية، جامعة الفيوم.
- دواد، جمعة محمد (٢٠١٢م)، أسس التحليل المكاني في إطار نظم المعلومات الجغرافية، النسخة الأولى مكة المكرمة، المملكة العربية السعودية.
- زيتون، محمد عبدالكريم. (٢٠١٨م)، التحليل المكاني للرياح في الأردن لتحديد انسب المواقع لإنشاء محطات توليد الطاقة المتجددة،جامعة اليرجرش الأردن.
- هراط، اسماعيل عباس، وغائب، ياسمين فوزي. (٢٠١٨م)، تحديد أفضل المواقع في محافظة صلاح الدين لاستثمار طاقة الرياح (دراسة في جغرافية المناخ)،العراق، جامعة سامراء.
- الهيئة العامة للإحصاء (٢٠٢٠م)، الرياض المملكة العربية السعودية.

- الهيئة العامة للمساحة والمعلومات الجيومكانية (٢٠١٧م)، الخارطة الرسمية للمملكة العربية السعودية، الرياض، المملكة العربية السعودية.

المراجع الأجنبية:

- Alhammad, A., Sun, Q. C., & Tao, Y. (2022): Optimal Solar Plant Site Identification Using GIS and Remote Sensing: Framework and Case Study, Energies, 15(1), 312.

- Baban, S. M., & Parry, T. (2001): Developing and applying a GIS-assisted approach to locating wind farms in the UK, Renewable energy, 24(1), 59-71.

- Bartnicki, N., & Willamson, M. (2012): An Integrated GIS Approach to Wind Power Site Selection in Huron County, Ontario, Department of Geography, University of Guelph, Guelph.

- Cristea, C., & Jocea, A. F. (2016): GIS Application for wind energy, Energy Procedia, 85, 132-140.

- Effat, H. A. (2014): Spatial modeling of optimum zones for wind farms using remote sensing and geographic information system, application in the Red Sea, Egypt, Journal of Geographic information system, 2014.

- Elmahmoudi, F., Abra, O. E. K., Raihani, A., Serrar, O., & Bahatti, L. (2020): Elaboration of a wind energy potential map in morocco using gis and analytic hierarchy process, Engineering, Technology & Applied Science Research, 10(4), 6068-6075.

- Rehman, S., Baseer, M. A., & Alhems, L. M. (2020): GIS-based multi-criteria wind farm site selection methodology, FME Transactions, 48(4), 855-867.

- Willamson Bartnicki. (2012): An integrated GIS approach to wind power site selection in Huron County, Ontario, Department of Geography, University of Guelph, Guelph.

مواقع الإنترنت:

- https://www.researchgate.net/publication/345840674_GIS-Based_Multi-Criteria_Wind_Farm_Site_Selection_Methodology.
- https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/tools/spatial-analyst-toolbox/boolean-and.htm.

Spatial Suitability based on Boolean Model to Select the Best Suitable Sites for Wind Farms

Dr. Fahad Abdul Aziz Al Mutlaq(*) Wafaa Obaid Al-Mutairi(**)

Abstract

This research focuses on selecting the best sites for establishing wind energy farms in the Kingdom of Saudi Arabia, based on the Boolean Model. The study relied on multiple sources to obtain data from official agencies and open-source data. Sets of criteria were selected such as climatic, topographical, and economic criteria, which including wind speed, gradient, main roads, power lines, historical sites, natural reserves, major cities, and airports. The study concluded that the majority of the Saudi Arabia has an appropriate amount of wind speed. On the other hand, some areas were affected by the topographic and economic factors, which reduce of land areas to be suitable sites. The total suitable area of wind energy farms in Saudi Arabia was about (231999.9 km^2) where the best suitable areas were the eastern region, Riyadh, Hail, and Qassim region. Therefore, There is a suitable opportunity an increase the best sites for establishing wind energy farms in some regions such as Al-Jouf, the northern region when increasing the road network and power lines in these areas. The study concluded the promising areas for exploiting wind energy projects in the future of Saudi Arabia.

keywords: wind energy- Boolean Model - Saudi Arabia - Suitability analysis

(*) Associate Professor of science and geographic information systems, College of Humanities and Social Sciences, Department of Geography, King Saud University. Falmutlaq@ksu.edu.sa

(**) Master of Geographic Information Systems, College of Humanities and Social Sciences, Department of Geography, King Saud University. wafaa14417@gmail.com