تقييم إنتاج الطاقة الكهربائية من محطات الرياح في محافظة البحر الأحمر
"دراسة فى جغرافية الطاقة باستخدام نظم المعلومات الجغرافية"

د. ياسر محمد عبد الموجود*

الملخص:

يتناول البحث موضوع تقييم إنتاج الطاقة الكهربائية من الرياح في محافظة البحر الأحمر، وذلك من خلال دراسة مقومات إنشاء محطات الرياح في المحافظة، التي تتمثل في: الموقع والعلاقات المكانية، والرياح من حيث سرعتها واتجاهها، والمساحة، والمقومات الاقتصادية، والاعتبارات البيئية، بالإضافة إلى التعرف على تطور القدرات الاسمية المُركَّبة بمحطات الرياح بالمحافظة وتأثيرها في حجم الكهرباء المولَّدة من هذه المحطات، وكذلك التعرف على مشكلات طاقة الرياح بالمحافظة، بالإضافة إلى دراسة مستقبل طاقة الرياح بالمحافظة من حيث المحطات المخطط إنشاؤها خلال الفترات القادمة، وكذا استخدام نظم المعلومات الجغرافية في تحديد أنسب المناطق لإنشاء محطات الرياح بالمحافظة؛ وذلك وفقًا لمجموعةٍ من المعايير التي تمثل عوامل توطن تلك المحطات، وينتهي البحث إلى مجموعةٍ من النتائج والتوصيات التي تؤكد على الإمكانات المميزة لإنتاج الطاقة الكهربائية من الرياح بالمحافظة.

الكلمات المفتاحية: الطاقة المتجددة، طاقة الرياح، القدرة الاسمية المركبة، الكهرباء المولدة، الكهرباء المرسلة، طن مازوت معادل، محطات الرياح، نظم المعلومات الجغرافية.

المقدمة :

تُعَدُّ الطاقةُ بمثابة الركيزة الأساسية للتنميةِ الاقتصاديةِ والاجتماعيةِ؛ فقد أصبحتْ مؤشرًا لقياسِ مستوياتِ التنميةِ الاقتصاديةِ والاجتماعيةِ بالدولةِ وفقًا لمعدلات الزيادة السنوية في حجم الكهرباء المستهلَكة، كما يُعَدُّ متوسط نصيب الفرد من الكهرباء المستهلكة مؤشرًا على مستوى معيشة السكان(١)، وتمثل طاقة الرياح أهم مصادر الطاقة المتجددة وأكثرها فاعلية من حيث انخفاض تكلفة

* مدرس الجغرافيا الاقتصادية، كلية الآداب – جامعة الوادي الجديد.

(١) محمد عزت محمد الشيخ: الربط الكهربي بين جمهورية مصر العربية والمملكة العربية السعودية – دراسة في جغرافية الطاقة، باستخدام نظم المعلومات الجغرافية، الجمعية الجغرافية الكويتية، رسائل جغرافية، العدد (٤١٤)، الكويت، ٢٠١٤، ص ٣.

الإنتاج؛ وقد ترتَّب على ذلك زيادة القدرات الاسمية المُركَّبة منها على مستوى العالم مقارنةً بباقي مصادر الطاقة المتجددة[١]، ومما يزيد من أهمية طاقة الرياح أنَّها طاقة متجددة لا تنضب كما أنَّها طاقةٌ نظيفةٌ لا يترتَّب على إنتاج الكهرباء منها حدوث تلوث للبيئة[٢].

تُعَدُّ محافظة البحر الأحمر من أنسب محافظات الجمهورية في إنتاج الطاقة الكهربائية من الرياح؛ ويُعزى ذلك بصفةٍ أساسيةٍ إلى زيادة المتوسط السنوي لسرعة الرياح بها البالغ ٦,٣ م/ث خلال الفترة (١٩٩١-٢٠١٦)، ويبلغ حجم الطاقة المتوقع إنتاجها ١٦١,٣ وات/م٢، وهي بذلك تفوق المتوسط العام للجمهورية البالغ ٥,٧ م/ث ويبلغ حجم الطاقة المتوقعة ١١٩,٤ وات/ م٢ خلال الفترة نفسها[٣]؛ ويتضح من ذلك زيادة الإمكانات الفعلية لإنتاج الطاقة الكهربائية من الرياح بالمحافظة.

أهمية البحث :

تُعَدُّ دراسة إنتاج الطاقة الكهربائية من الرياح على قدرٍ كبيرٍ من الأهمية؛ وذلك لأنَّها تمثل أهم مصادر الطاقة المتجددة التي يمكن استخدامها بصورةٍ مستمرةٍ مقارنةً بالطاقة الشمسية التي يقتصر استخدامها خلال فترات سطوع الشمس الفعلية، وكذلك بالنسبة للطاقة الكهرومائية التي ترتبط بالمجاري المائية دائمة الجريان، بالإضافة إلى ضرورة وجود فارق منسوب بتلك المجاري المائية.

ومما يزيد من أهمية البحث عدم قدرة المحطات التقليدية التي تعتمد على الوقود الأحفوري على تلبية الزيادة المُطَّردة في حجم الطلب على الكهرباء؛ وذلك بسبب ارتفاع أسعار الوقود بصورةٍ مستمرةٍ، بالإضافة إلى زيادة حجم الانبعاثات الغازية الناتجة عنه التي تؤثر تأثيرًا سلبيًا في البيئة؛ لذلك تزايد الاتجاه نحو استخدام طاقة الرياح لوجود ضرورة مُلِحة لتحويل الطاقة المُلوِّثة (Polluted Energy) إلى طاقةٍ نظيفةٍ (Clean Energy)؛ لمجابهة مشكلة تغير المناخ العالمي وأخطاره البيئية[٤].

---

(١) ارتفعت القدرات الاسمية المركَّبة بمحطات الرياح على مستوى العالم من ٩٤ جيجا وات عام ٢٠٠٧ إلى ٥٣٩ جيجا وات عام ٢٠١٧ بمعدل تغير بلغ ٤٧٣,٤% خلال الفترة (٢٠٠٧-٢٠١٧) أي بمعدل نمو سنوي بلغ ٤٣%، يراجع في ذلك:

Renewable Energy Policy Network (REN), Annual Report, Paris, 2017, P. 109.

(2) Gaddada, S & Kodicherla Shiva: Wind Energy Potential and Cost Estimation of Wind Energy Conversion systems (WECSs) for Electricity Generation in the eight selected locations of Tigray Region (Ethiopia), springer, 2016, P. 1

(٣) الهيئة العامة للأرصاد الجوية، سرعة الرياح، بيانات غير منشورة، القاهرة، خلال الفترة (١٩٩١-٢٠١٦).

(٤) إيملي محمد حلمي: طاقة الرياح في مصر – دراسة في المناخ التطبيقي، المجلة الجغرافية العربية، الجمعية الجغرافية المصرية، السنة الأربعون، العدد (٥٢)، ج٢، ٢٠٠٨، ص ٨٨.

الدراسات السابقة :

تنقسم الدراسات ذات الصلة بموضوع البحث إلى قسمين هما:

أ- دراسات باللغة العربية :

- **دراسة محمد السيد حافظ**(١): وموضوعها الرياح وإنتاج الطاقة الكهربائية في صحراء مصر الشرقية وانتهت الدراسة إلى العوامل الطبيعية المؤثرة في الرياح في صحراء مصر الشرقية، وكذلك الضوابط المتحكمة في إنتاج الطاقة الكهربائية من الرياح، بالإضافة إلى دراسة الوضع الراهن لاستخدام الطاقة الكهربائية من الرياح بالصحراء الشرقية، وكذا اقتصاديات طاقة الرياح بالصحراء الشرقية.
- **دراسة إيملي محمد حلمي**(٢): وموضوعها طاقة الرياح في مصر تناولت الدراسة التوزيع الفصلي والشهري والسنوي للسرعة اليومية للرياح، بالإضافة إلى محصلة الرياح سرعةً واتجاهًا، وكذلك خصائص السرعة الساعية للرياح، وكذا إمكانات طاقة الرياح الكامنة ليلاً ونهارًا.
- **دراسة أحمد موسى محمود خليل**(٣): وموضوعها الطاقة الجديدة والمتجددة في مصر، وأبرزت الدراسة إمكانات الطاقة الشمسية في مصر، وإمكانات طاقة الرياح في مصر، بالإضافة إلى دراسة الطاقة المائية في مصر، وكذا دراسة إمكانات طاقة الكتلة الحيوية، وإمكانات الطاقة النووية في مصر.

ب- دراسات باللغة الإنجليزية :

- **دراسة أحمد شحاتة أحمد** : وموضوعها إمكانات توليد الكهرباء على الساحل الشرقي للبحر الأحمر في مصر، وتناولت الدراسة تحديد خصائص سرعة الرياح في سبع محطات أرصاد بمنطقة الدراسة، بالإضافة إلى تحديد أنسب أنواع تربينات الرياح المستخدمة في إنتاج الكهرباء بمنطقة الدراسة، وكذلك تحديد حجم الكهرباء المولَّدة من طاقة الرياح(٤).

---

(١) محمد السيد حافظ: الرياح وإنتاج الطاقة الكهربائية في صحراء مصر الشرقية محطة الزعفرانة نموذجًا، ندوة صحاري مصر أمل المستقبل، كلية الآداب، جامعة الإسكندرية، ٢٠٠٧.

(٢) إيملي محمد حلمي: طاقة الرياح في مصر، مرجع سبق ذكره.

(٣) أحمد موسى محمود خليل: الطاقة الجديدة والمتجددة في مصر، دراسة في جغرافية الطاقة، المجلة الجغرافية العربية، الجمعية الجغرافية المصرية، سلسلة بحوث جغرافية، العدد الثامن والثمانون، ٢٠١٥.

(4) Ahmed Shata and Hanitsch, R: The potential of Electricity Generation on the East Coast of Red Sea in Egypt, Elsevier, Renewable Energy, Volume (31), Issue (10), August 2006.

- **دراسة خالد صديق محمد عيسى** : وموضوعها دراسة جدوى توليد الكهرباء من طاقة الرياح على ساحل البحر الأحمر في مصر، تضمنت الدراسة تحديد المتوسط السنوي لسرعات الرياح بست محطات على ساحل البحر الأحمر، بالإضافة إلى تحديد حجم الكهرباء المولَّدة من الرياح بتلك المحطات، وكذلك تحديد تكلفة إنتاج الكهرباء من طاقة الرياح بمنطقة الدراسة(١).
- **دراسة هالة عادل عفت** : وموضوعها النمذجة المكانية للمناطق المُثلى لمزارع الرياح مع التطبيق على البحر الأحمر في مصر، وتوصلت الدراسة إلى خصائص طاقة الرياح في مصر، وكذا وصف عام لمحافظة البحر الأحمر، بالإضافة إلى دراسة المعايير الخاصة بتقييم مزارع الرياح، وكذلك استخدام نظم المعلومات الجغرافية في تحديد أنسب المناطق لإنشاء مزارع الرياح(٢).

أهداف البحث :

ويهدف هذا البحث إلى تحقيق عدة أهداف أهمها:

- دراسة مقومات إنشاء محطات الرياح في محافظة البحر الأحمر، وتحديد أهمية كل عامل على حده؛ وذلك للتعرف على أهميتها في إنشاء تلك المحطات، بالإضافة إلى رفع كفاءة إنتاج الطاقة الكهربائية المولَّدة من المحطات المخطط إنشاؤها خلال الفترات المستقبلية القادمة.
- التعرف على حجم القدرات الاسمية المُركَّبة بمحطات الرياح بالمحافظة، وتحديد تأثيرها في حجم الكهرباء المولَّدة، بالإضافة إلى الوقوف على حجم الطاقة الكهربائية المولَّدة من محطات الرياح وتحديد نسبتها إلى جملة الكهرباء المولَّدة بالمحافظة.
- تحديد أهم الآثار الاقتصادية الناتجة عن توليد الكهرباء من محطات الرياح بالمحافظة، من خلال مقارنة تكلفة إنتاج الكيلووات بمحطات الرياح بالمحافظة بمحطات الكهرباء على مستوى الجمهورية، بالإضافة إلى تحديد كميات الوفر في الوقود المستهلك.
- الاعتماد على نظم المعلومات الجغرافية في تحديد أنسب المناطق الملائمة لإنشاء محطات الرياح بالمحافظة من خلال مجموعةٍ من المعايير التي تمثل مقومات إنشاء محطات الرياح بالمحافظة.

---

(1) Khaled S.M. Essa and Others: Feasibility Study of Electrical Generation by Wind Energy on the Red-Sea Coast in Egypt, (SAGE) Journals, Wind Engineering, Volume (31), Issue (4), May 2007.

(2) Hala A. Effat: 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, Volume (6), Number (4), August 2014.

أولاً – مقومات إنشاء محطات الرياح في محافظة البحر الأحمر :

يخضع إنشاء محطات الرياح في محافظة البحر الأحمر لمجموعةٍ من المقومات تختلف فيما بينها من حيث الأهمية، ويمكن دراسة أهم هذه المقومات على النحو التالي:

١) الموقع والعلاقات المكانية :

تُعَدُّ محافظة البحر الأحمر شكل (١) من المحافظات الحدودية، حيث يحدُّها من الجنوب الحدود الدولية بين مصر والسودان، وشمالًا محافظة السويس، ومن الشرق البحر الأحمر، ومن الغرب محافظات بني سويف، والمنيا، وأسيوط، وسوهاج، وقنا، والأقصر، وأسوان، وتقع المحافظة بين دائرتي عرض ٢٢° – ١٠' ٢٩° شمالاً، وتتحصرُ بين خطي طول ٢٨' ٣٣° – ٥٠' ٣٦° شرقًا، وتبلغُ مساحتها الكلية ١١٩,١ ألف كم٢، تمثل ١١,٨% من إجماليِّ مساحةِ مصر البالغةِ ١٠١٠,٤ ألف كم٢[١].

وقد ترتَّب على موقع محافظة البحر الأحمر بالنسبة لدوائر العرض شكل (٢) زيادة المتوسط السنوي لسرعة الرياح والذي بلغ ٦,٣ م/ث وهو بذلك يفوق المعدل السنوي لسرعة الرياح في مصر البالغ ٥,٧ م/ث خلال الفترة (١٩٩٠–٢٠١٦)، وقد انعكس على ذلك توفر العديد من المواضع التي تحظى بمعدلات مثالية من حيث المتوسط السنوي لسرعة الرياح بمحافظة البحر الأحمر.

ونظرًا لأهمية سرعة الرياح في تحديد حجم الكهرباء المولَّدة من محطات الرياح فقد توطنت محطة الغردقة عند تقاطع خط طول ٢٦" ٤٢' ٣٣° شرقًا بدائرة عرض ٤٥" ١٨' ٢٧° شمالًا، وكان لموقع المحطة أثره في زيادة المتوسط السنوي لسرعة الرياح البالغ ٦,٣ متر/ ثانية ويبلغ حجم الطاقة المتوقعة ١٦١,٣ واط/ ث خلال الفترة (١٩٩٠–٢٠١٦).

تقع محطة الزعفرانة عند تقاطع خط طول ٣٣" ٣٦' ٣٢° شرقًا مع دائرة عرض ٤٩" ٠٦' ٢٩° شمالًا، وقد انعكس على موقع المحطة زيادة المتوسط السنوي لسرعة الرياح البالغ ٩,٢ متر/ث ويبلغ حجم الكهرباء المتوقع إنتاجها ٤٨٦,٢ وات/م٢ خلال الفترة (١٩٩٠–٢٠١٦).

بينما تقع محطة خليج الزيت عند تقاطع خط طول ٢٢" ٢٧' ٣٣° شرقًا بدائرة عرض ٤٥" ٤٨' ٢٧° شمالًا[٢]؛ وقد ترتَّب على ذلك زيادة المتوسط السنوي لسرعة الرياح بموضع المحطة الذي بلغ ١٠ متر/ ث، وقد انعكس ذلك على زيادة حجم الطاقة المتوقع إنتاجها والتي بلغت ٦٤٥ وات/م٢ خلال الفترة (١٩٩٠–٢٠١٦)، وعند اختيار الموقع الأنسب لمحطات الرياح سالفة الذكر في المحافظة تَمَّ مراعاة عدة اعتبارات ترتَّب عليها خفض التكلفة الإجمالية لإنشاء تلك المحطات التي من أهمها:

---

(١)وزارة الإسكان والمرافق الاجتماعية، الهيئة العامة للتخطيط العمراني، الرؤية المستقبلية والمشروعات الداعمة لمحافظة البحر الأحمر، مايو ٢٠١٧، ص ٦.

(٢) تَمَّ تحديد موقع محطات الرياح بالمحافظة اعتمادًا على برنامج Google Earth2018.

شكل (١) : التقسيم الإداري لمحافظة البحر الأحمر عام ٢٠١٦.

المصدر: محافظة البحر الأحمر، السكان وأهم الأنشطة السكانية، إدارة الإحصاء، التقرير السنوي، ٢٠١٦، ص ١٠.

شكل (٢) : سرعة الرياح في محافظة البحر الأحمر.

المصدر: هيئة الطاقة المتجددة، التقرير الإحصائي السنوي، القاهرة، إبريل ٢٠١٥، ص ١٧.

أ- إمكانية ربط المحطة بالشبكة الكهربائية الموحدة :

يؤدي قرب موضع المحطة من الشبكة الكهربائية القائمة دورًا مهمًا في إنشاء محطات الرياح؛ وذلك لعدة أسباب أهمها: توفير التكلفة الإجمالية اللازمة لإنشاء المحطة، بالإضافة إلى سرعة ربط المحطة بالشبكة الكهربائية الموحدة، وكذا تقليل الفقد في الكهرباء المنقولة؛ وذلك نظرًا لقصر مسافة نقل الكهرباء المولَّدة من المحطة، وعلى الرغم من أهمية القرب من الشبكة الكهربائية الموحدة فإنَّه في حالة توفر كافة المقومات اللازمة لإنشاء محطات الرياح يمكن إنشاء خطوط نقل الكهرباء كما هو الحال في محطة الزعفرانة، التي تَمَّ ربطها بالشبكة الكهربائية من خلال إنشاء خط الزعفرانة- محطة محولات العين السخنة جهد ٦٦/ ٢٢٠ ك.ف[١]، أمَّا محطة رياح خليج الزيت فقد توطنت في موقعها الحالي نظرًا لقربها من خط الزعفرانة- العين السخنة (شكل ٣).

ب- القرب من شبكة الطرق :

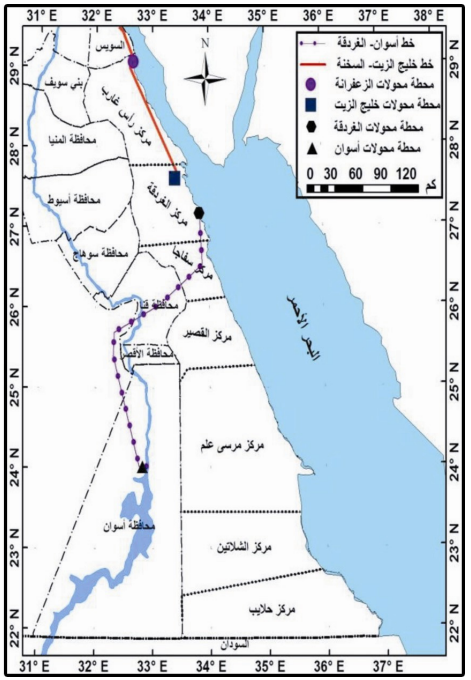
يُمثل القرب من شبكة الطرق أمرًا ضروريًا في تحديد أنسب المواقع لإنشاء محطات الرياح؛ ويرجع ذلك إلى دورها في تسهيل نقل المواد المطلوبة لإنشاء المحطة، بالإضافة إلى سهولة تركيب المعدات التي تتمثل في التربينات والأبراج الحاملة لها، بالإضافة إلى محطات المحولات بأنواعها المختلفة، وكذلك إمكانية الوصول لإجراء عمليات الصيانة الدورية للمحطة بعد دخولها للتشغيل؛ لذلك يُعَدُّ قرب موقع المحطة من شبكة الطرق القائمة على قدرٍ كبيرٍ من الأهمية؛ وذلك لتوفير النفقات اللازمة لإنشاء الطرق، وخفض التكلفة الإجمالية لإنشاء محطات الرياح.

لذلك تَمَّ إنشاء محطتي رياح الغردقة وخليج الزيت في مواقعها الحالية (شكل ٤)؛ نظرًا لقربها من طريق الغردقة السويس بمسافةٍ لا تزيد عن مائة متر، كما توطنت محطة رياح الزعفرانة في موقعها الحالي لقربها من طريق العين السخنة- الزعفرانة بمسافةٍ بلغت ٥٧٠ مترًا؛ وقد كان لذلك أكبر الأثر في خفض حجم النفقات اللازمة لإنشاء محطات الرياح في محافظة البحر الأحمر.

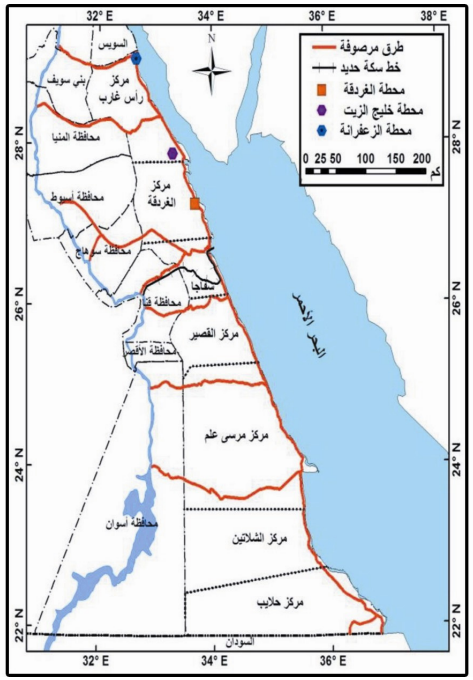
ج- الصدوع :

تُعَدُّ محافظة البحر الأحمر من أكثر محافظات الجمهورية من حيث مساحة المناطق التي تشغلها الصدوع شكل (٥)، والتي تأخذ اتجاهاتٍ طوليةٍ وعرضيةٍ باستثناء بعض أجزاء السهل الساحلي للبحر الأحمر، وتتمثل خطورة الصدوع في تأثيرها على درجة ثبات الأبراج الحاملة لتربينات

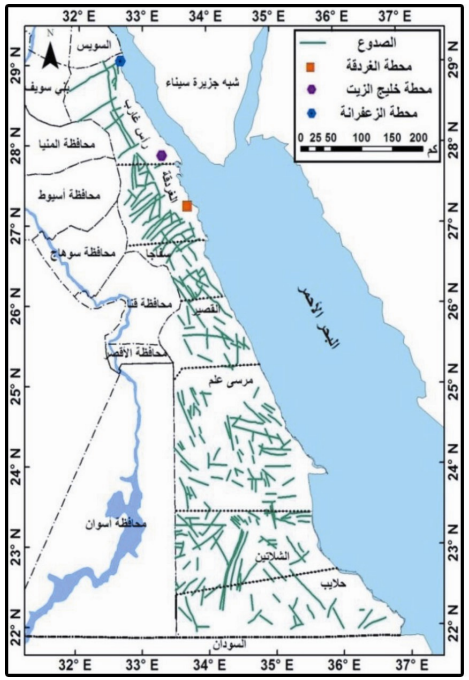
(١) محمد ربيع فرج محمد: الطاقة في محافظة السويس – دراسة في الجغرافيا الاقتصادية، رسالة ماجستير، غير منشورة، كلية الآداب – جامعة القاهرة، ٢٠١٣، ص ١١٤.



شكل (٣) : الشبكة الكهربائية في محافظة البحر الأحمر عام ٢٠١٦.



شكل (٤) : شبكة الطرق في محافظة البحر الأحمر عام ٢٠١٦.



شكل (٥) : الصدوع في محافظة البحر الأحمر عام ٢٠١٦.

المصدر: وزارة الكهرباء والطاقة، مركز المعلومات الجغرافي، القاهرة، خريطة الشبكة الكهربائية الموحدة، عام ٢٠١٦.

المصدر: الهيئة المصرية العامة للمساحة، الإدارة العامة للخرائط الطبوغرافية، خريطة مصر الطبوغرافية، مقياس رسم ١: ٢٠٠٠٠٠٠، عام ٢٠١٦.

الرياح، بالإضافة إلى تعرض الطرق داخل المحطة للتشقق والانهيار؛ الأمر الذي ينعكس على صعوبة الوصول إلى التربينات لإجراء عمليات الصيانة الدورية(١)، يضاف إلى ذلك تأثير زيادة وزن الأبراج وسرعة دوران التربينات في تحريك الصدوع؛ ويترتَّب على ذلك انهيار الأبراج الحاملة للتربينات.

ولذلك توطنت محطات الرياح بالمحافظة (الغردقة، والزعفرانة، وخليج الزيت) في الأجزاء الشمالية من المحافظة وبخاصةً المناطق المطلة على خليج السويس نظرًا لخلوها من الصدوع.

د- التكوينات الرملية :

تُعَدُّ محافظة البحر الأحمر جزءًا من الصحراء الشرقية التي تتميز بانخفاض مساحة الكثبان الرملية كبيرة الحجم بها، التي تبلغ مساحتها ٠,٥ ألف كم٢ تمثل ٠,٤% من إجمالي مساحة الكثبان الرملية في مصر البالغة ١٢٧,٢ ألف كم٢(٢)، وتتركز في الأجزاء الشمالية من الصحراء الشرقية؛ لذلك تخلو المحافظة من الكثبان الرملية كبيرة الحجم، ويقتصر الأمر على بعض التكوينات الرملية الرقيقة شكل (٦) التي تغطي الأراضي الصخرية وبخاصةٍ في المناطق الجنوبية من المحافظة.

وتؤثر التكوينات الرملية على محطات الرياح من حيث تراكم الرمال على ريش التربينة، ويترتَّب على ذلك انخفاض كفاءتها في إنتاج الكهرباء، بالإضافة إلى تراكم الرمال والأتربة على الأجزاء الميكانيكية الدوارة داخل التربينة، وينعكس ذلك على ضرورة تكثيف عمليات الصيانة الدورية لرفع كفاءة التربينة في إنتاج الكهرباء؛ لذلك تَمَّ إنشاء محطات الرياح بالمحافظة في الأجزاء الشمالية منها، والتي تقل فيها التكوينات الرملية بشكلٍ واضحٍ؛ وذلك لتجنب الأضرار الناتجة عنها.

---

(١) ياسمين محمد عادل فؤاد: الطاقة المتجددة في مصر- دراسة في الجغرافيا الاقتصادية، رسالة دكتوراه، غير منشورة، كلية الآداب، جامعة الزقازيق، ٢٠١٣، ص ٥٣.

(٢) من حساب الباحث باستخدام Arc Map 10.3 اعتمادًا على: هيئة المساحة المصرية، خريطة مصر الجيولوجية.

هـ- الأودية الجافة :

تُشَكِلُ الأودية الجافة المنحدرة من جبال الأحمر تهديدًا كبيرًا لمحطات الرياح بالمحافظة؛ وذلك بسبب تعرضها للسيول المفاجئة التي يترتَّب عليها حدوث أضرار بالغة لمكونات المحطة وخاصةً الأبراج الحاملة لتربينات الرياح؛ ولذلك فقد توطنت محطات الرياح بالمحافظة في الأجزاء الشمالية منها؛ وذلك لتفادي الأودية التي تتميز بكثافة التصريف المائي وتجنب الأخطار الناتجة عنها على معدات المحطة.

تنقسم الأودية الجافة في المحافظة شكل (٧) إلى نوعين هما: أودية تنحدر نحو البحر الأحمر، وأودية تنحدر نحو نهر النيل، وتزداد هذه الأودية من حيث مساحة الحوض، وعدد الروافد، وكثافة التصريف المائي في الأجزاء الجنوبية من المحافظة، وتقل بالاتجاه شمالًا؛ لذلك توطنت محطات الرياح في الأجزاء الشمالية من المحافظة تجنبًا لتأثيرها السلبي على أبراج الرياح ومحطات المحولات.

٢) الرياح :

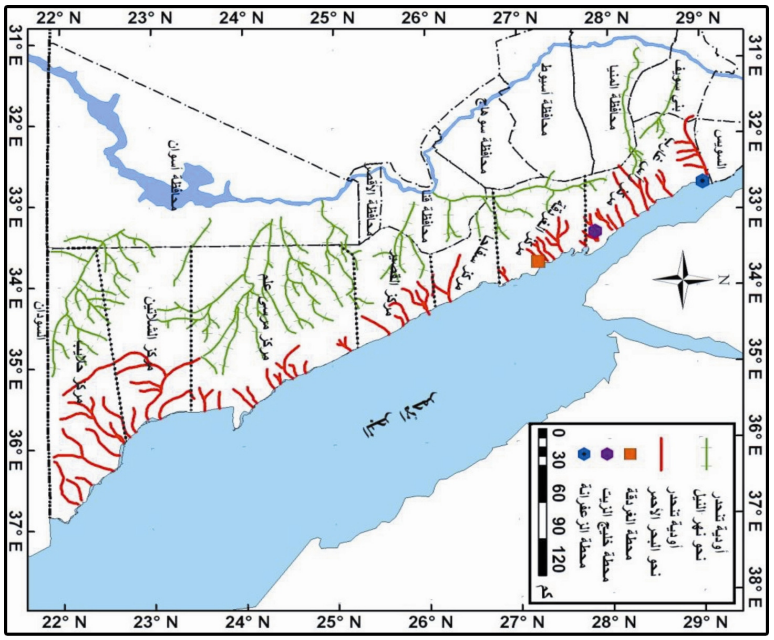
تُمثل الرياح أهم مقومات إنشاء محطات الرياح، ولتوضيح ذلك يمكن دراسة الرياح من جانبين هما:

أ- سرعة الرياح :

تؤدي سرعة الرياح دورًا مهمًا في تحديد حجم الكهرباء المولَّدة من محطات الرياح، ويمكن إنتاج الطاقة الكهربائية من محطات الرياح إذا تراوحت سرعة الرياح ما بين ٣-٤ أمتار/ث[١]، إلاَّ أنَّ إنتاج الكهرباء من محطات الرياح لا يكون اقتصاديًا إلاَّ إذا زادت سرعة الرياح عن ٥,٤ أمتار/ث أي بمعدل ١٩,٤ كم/ساعة[٢]؛ ويرجع السبب في ذلك إلى زيادة حجم الكهرباء المولَّدة من محطات الرياح كُلَّما زادت سرعة الرياح، والعكس صحيح، ويترتَّب على زيادة حجم الكهرباء المولَّدة انخفاض تكلفة إنتاج الكيلووات بمحطات الرياح، ويوضح الجدول التالي المتوسط الشهري لسرعة الرياح وحجم الطاقة المتوقع إنتاجها بمحطات الأرصاد في محافظة البحر الأحمر خلال الفترة (١٩٩١-٢٠١٦).

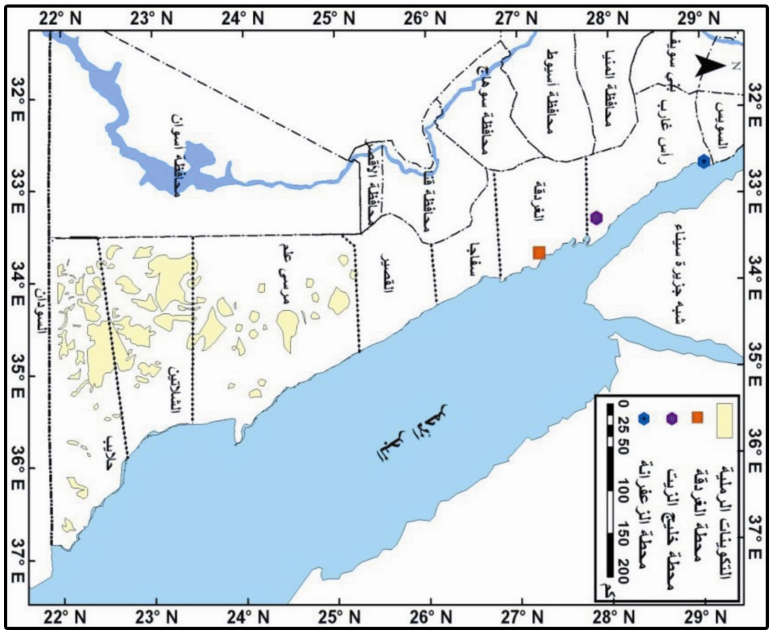
(1) Stiebler, M., Wind Energy System for Electric Power Generation, Springer, Berlin, 2008, P. 23.

(٢) محمد محمود إبراهيم الديب: قضايا الطاقة في مصر، المجلة الجغرافية العربية، الجمعية الجغرافية المصرية، سلسلة بحوث جغرافية، العدد (٢٥)، ٢٠٠٩، ص ٨٦.



شكل (٧) : شبكة الأودية الجافة في محافظة البحر الأحمر عام ٢٠١٦.

المصدر: الهيئة المصرية العامة للمساحة، الإدارة العامة للخرائط الطبوغرافية، خريطة مصر الطبوغرافية، مرجع سبق ذكره.



شكل (٦) : التكوينات الرملية في محافظة البحر الأحمر.

المصدر: هيئة التخطيط العمراني، المنظور البيئي لاستراتيجية التنمية العمرانية لإقليم جنوب الصعيد، القاهرة، ٢٠٠٩، ص ١١.

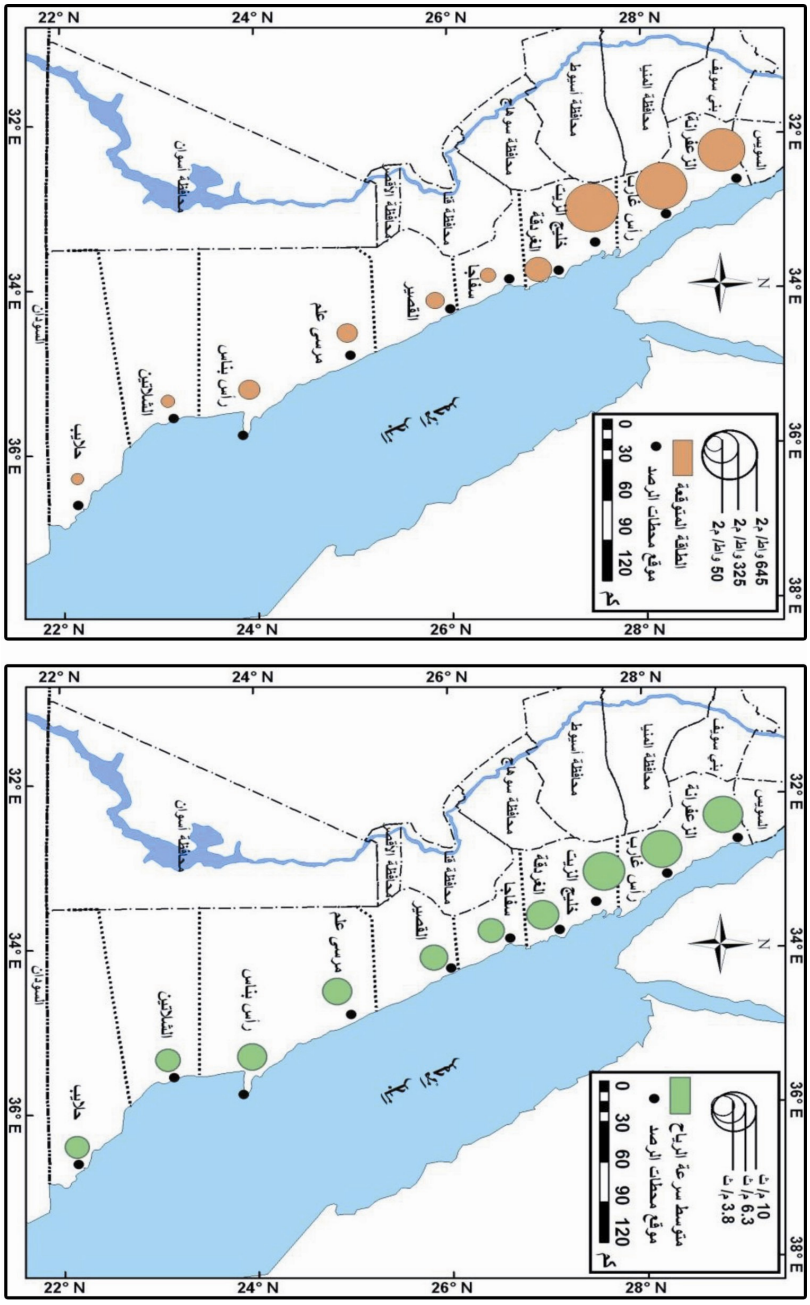
جدول (١) : المتوسط الشهري لسرعة الرياح (م/ ث) وحجم الطاقة المتوقع إنتاجها (واط/ م٢) بمحطات الأرصاد في محافظة البحر الأحمر خلال الفترة (١٩٩١-٢٠١٦).

المحطة / الشهر	خليج الزيت		رأس غارب		الزعفرانة		الغردقة		رأس بناس		مرسى علم		القصير		سفاجا		الشلاتين		حلايب		المتوسط العام	
	سرعة الرياح	الطاقة المتوقعة	سرعة الرياح	الطاقة المتوقعة	سرعة الرياح	الطاقة المتوقعة	سرعة الرياح	الطاقة المتوقعة	سرعة الرياح	الطاقة المتوقعة	سرعة الرياح	الطاقة المتوقعة	سرعة الرياح	الطاقة المتوقعة	سرعة الرياح	الطاقة المتوقعة	سرعة الرياح	الطاقة المتوقعة	سرعة الرياح	الطاقة المتوقعة	سرعة الرياح	الطاقة المتوقعة
ديسمبر	٧,٤	٢٦١,٤	٧,٧	٢٩٤,٥	٧,٣	٢٥٠,٩	٦	١٣٩,٣	٥	٨٠,٦	٤,٩	٧٥,٩	٣,٩	٣٨,٣	٤,١	٤٤,٥	٤,١	٤٤,٥	٣,٩	٣٨,٣	٥,٤	١٠١,٦
يناير	٧,٧	٢٩٤,٥	٧,٥	٢٧٢,١	٧,١	٢٣٠,٩	٦,٢	١٥٣,٧	٤,٦	٦٢,٨	٤,٨	٧١,٣	٤	٤١,٣	٤,٣	٥١,٣	٤,٤	٥٤,٩	٤,٣	٥١,٣	٥,٥	١٠٧,٣
فبراير	٧,٩	٣١٨	٧,٨	٣٠٦,١	٧,٨	٣٠٦,١	٦,٢	١٥٣,٧	٤,٧	٦٧	٥,١	٨٥,٦	٤,٤	٥٤,٩	٤,٢	٤٧,٨	٤,٦	٦٢,٨	٤,٢	٤٧,٨	٥,٧	١١٩,٤
الشتاء	٧,٧	٢٩٤,٥	٧,٧	٢٩٤,٥	٧,٤	٢٦١,٤	٦,١	١٤٦,٤	٤,٨	٧١,٣	٤,٩	٧٥,٩	٤,١	٤٤,٥	٤,٢	٤٧,٨	٤,٤	٥٤,٩	٤,١	٤٤,٥	٥,٦	١٣٩,٣
مارس	٩,٥	٥٥٣	٩,٣	٥١٨,٨	٨,٩	٤٥٤,٧	٦,٣	١٦١,٣	٤,٨	٧١,٣	٥,٢	٩٠,٧	٥,٤	١٠١,	٤,٥	٥٨,٨	٤,٦	٦٢,٨	٤,٢	٤٧,٨	٦,٣	١٦١,٣
إبريل	٩,٥	٥٥٣	٩,٧	٥٨٨,٧	٩,٣	٥١٨,٨	٦,٢	١٥٣,٧	٥,٣	٩٦	٥,٣	٩٦	٥,٥	١٠٧,	٤,٦	٦٢,٨	٤,٧	٦٧	٤,١	٤٤,٥	٦,٤	١٦٩,١
مايو	١٠,٦	٧٦٨,٢	١٠,٣	٧٠٤,٨	١٠,٣	٧٠٤,٨	٦,٤	١٦٩,١	٥,٥	١٠٧,	٥,٧	١١٩,٤	٥,١	٨٥,٦	٤,٧	٦٧	٤,٧	٦٧	٣,٧	٣٢,٧	٦,٧	١٩٤
الربيع	٩,٩	٦٢٥,٨	٩,٨	٦٠٧,١	٩,٥	٥٥٣	٦,٣	١٦١,٣	٥,٢	٩٠,٧	٥,٤	١٠١,٦	٥,٣	٩٦	٤,٦	٦٢,٨	٤,٧	٦٧	٤	٤١,٣	٦,٥	١٧٧,١
يونيو	١٢,٥	١٢٥٩,٨	١٢	١١١٤,	١١,٢	٩٠٦,٢	٧	٢٢١,٢	٦,٢	١٥٣,٧	٥,٩	١٣٢,٥	٥,٥	١٠٧,	٥	٨٠,٦	٣,٧	٣٢,٧	٣,٧	٣٢,٧	٧,٣	٢٥٠,٩
يوليو	١١,٩	١٠٨٦,٩	١١	٨٥٨,٥	١٠,٣	٧٠٤,٨	٦,٤	١٦٩,١	٧	٢٢١,٢	٥,٢	٩٠,٧	٥,٥	١٠٧,	٤,٥	٥٨,٨	٣,٨	٣٥,٤	٣,٧	٣٢,٧	٦,٩	٢١١,٩
أغسطس	١٢,٦	١٢٩٠,٢	١٢	١١١٤,	١٠,٥	٧٤٦,٧	٦,٧	١٩٤	٥,٢	٩٠,٧	٥,٢	٩٠,٧	٥,٣	٩٦	٤,٤	٥٤,٩	٢,٣	٧,٨	٣,٧	٣٢,٧	٦,٨	٢٠٢,٨
الصيف	١٢,٣	١٢٠٠,٣	١١,٧	١٠٣٣	١٠,٧	٧٩٠,٢	٦,٧	١٩٤	٦,١	١٤٦,	٥,٤	١٠١,٦	٥,٤	١٠١,	٥	٨٠,٦	٣,٢	٢١,١	٣,٧	٣٢,٧	٧	٢٢١,٢
سبتمبر	١٢,١	١١٤٢,٧	١١	٨٥٨,٥	١٠,٤	٧٢٥,٥	٧,١	٢٣٠,٩	٥,٤	١٠١,٦	٥,٦	١١٣,٣	٥,٢	٩٠,٧	٤,٥	٥٨,٨	٣,٨	٣٥,٤	٣,٥	٢٧,٧	٦,٩	٢١١,٩
أكتوبر	١٠,٢	٦٨٤,٥	١٠	٦٤٥	٩,٨	٦٠٧,١	٦,٢	١٥٣,٧	٦,٣	١٦١,٣	٥,٢	٩٠,٧	٥,١	٨٥,٦	٤,٣	٥١,٣	٣,٥	٢٧,٧	٣,٣	٢٣,٢	٦,٤	١٦٩,١
نوفمبر	٨,١	٣٤٢,٨	٧,٨	٣٠٦,١	٧,٨	٣٠٦,١	٥,٧	١١٩,٤	٤,٨	٧١,٣	٥,١	٨٥,٦	٤,٣	٥١,٣	٣,٩	٣٨,٣	٣,٩	٣٨,٣	٣,٤	٢٥,٤	٥,٥	١٠٧,٣
الخريف	١٠,١	٦٦٤,٥	٩,٦	٥٧٠,٧	٩,٣	٥١٨,٨	٦,٣	١٦١,٣	٥,٥	١٠٧,٣	٥,٣	٩٦	٤,٩	٧٥,٩	٤,٢	٤٧,٨	٣,٧	٣٢,٧	٣,٤	٢٥,٤	٦,٢	١٥٣,٧
المتوسط	**١٠**	**٦٤٥**	**٩,٧**	**٥٨٨,٧**	**٩,٢**	**٥٠٢,٣**	**٦,٣**	**١٦١,٣**	**٥,٤**	**١٠١,٦**	**٥,٣**	**٩٦**	**٤,٩**	**٧٥,٩**	**٤,٤**	**٥٤,٩**	**٤**	**٤١,٣**	**٣,٨**	**٣٥,٤**	**٦,٣**	**١٦١,٣**

المصدر: الجدول من إعداد الباحث اعتمادًا على:

- NASA, Surface Meteorology, Meteorology and Solar Energy, Wind speed, (1990-2012).
- Renewable Energy Authority, Wind Atlas for Egypt (1991-2005), Cairo, December,2005.

- الهيئة العامة للأرصاد الجوية، سرعة الرياح بالمحطات المذكورة، بيانات غير منشورة، القاهرة، خلال الفترة (٢٠٠٦-٢٠١٦).
- تمَّ حساب الطاقة المتوقعة من خلال المعادلة الآتية: $E = 1/2\ p\ (v)^3$ حيث إنَّ (طاقة الرياح وات/م٢ = E)، (كثافة الهواء بقيمة ثابتة تبلغ ١,٢٩ كجم/ م٣ = P)، (سرعة الرياح م/ ث = V).
- يراجع في ذلك: حسن يونس عبد الرحمن، الإشعاع الشمسي والرياح كمصادر للطاقة الجديدة والمتجددة في مصر – دراسة في المناخ التطبيقي، رسالة ماجستير، كلية الآداب، جامعة طنطا، ٢٠٠٩، ص ١٧٠.



شكل (٨) : المتوسط السنوي لسرعة الرياح في محافظة البحر الأحمر حسب محطات الرصد خلال الفترة (١٩٩١-٢٠١٦).

شكل (٩) : المتوسط السنوي للطاقة المتوقع إنتاجها من الرياح في محافظة البحر الأحمر حسب محطات الرصد خلال الفترة (١٩٩١-٢٠١٦).

من تحليل بيانات الجدول السابق والشكلين (٨)، (٩) يتضح الآتي:

- بلغ المتوسط السنوي لسرعة الرياح في المحافظة ٦,٣ م/ث خلال الفترة (١٩٩١-٢٠١٦) ويبلغ حجم الطاقة المتوقع إنتاجها ١٦١,٣ واط/م٢؛ وبذلك يفوق المتوسط السنوي لسرعة الرياح والطاقة المتوقع إنتاجها بالمحافظة نظيريهما على مستوى الجمهورية البالغ ٥,٧ م/ث ويبلغ حجم الطاقة المتوقع إنتاجها ١١٩,٤ واط/م٢ خلال الفترة نفسها.
- يزيد متوسط سرعة الرياح في المحافظة عن المتوسط السنوي في سبعة أشهر خلال الفترة (إبريل- أكتوبر)، مما يُشِير إلى التباين الواضح في متوسط سرعة الرياح في المحافظة من فصل إلى آخر خلال العام؛ حيث بلغ متوسط سرعة الرياح في المحافظة أقصاه ٧ م/ث في فصل الصيف؛ وذلك لتعامد أشعة الشمس على مدار السرطان في هذا الفصل؛ وتَرتَّبَ على ذلك ارتفاع درجات الحرارة ومن ثَمَّ انخفاض الضغط الجوي وقلة حالات سكون الهواء، بينما بلغ متوسط سرعة الرياح في المحافظة أدناه ٥,٦ م/ث خلال فصل الشتاء؛ ويرجع ذلك إلى تعامد أشعة الشمس خلال هذا الفصل على مدار الجدي؛ وتَرتَّبَ على ذلك ارتفاع الضغط الجوي، وزيادة نسب سكون الهواء الناتج عن انخفاض درجات الحرارة في هذا الفصل.
- تتفاوت محطات الرصد في محافظة البحر الأحمر من حيث ملائمتها لإنتاج الطاقة الكهربائية حسب سرعة الرياح، حيث تأتي محطة خليج الزيت في الترتيب الأول بين محطات الرصد في المحافظة وعلى مستوى الجمهورية من حيث المتوسط السنوي لسرعة الرياح البالغ ١٠ م/ث ويبلغ حجم الطاقة المتوقع إنتاجها ٦٤٥ واط/م٢؛ ولذلك أنشأت هيئة الطاقة الجديدة والمتجددة محطة رياح خليج الزيت في هذا الموضع للاستفادة من إمكاناته في توليد الكهرباء، بالإضافة إلى تخصيص ٧٠٠ كم٢ بمنطقة خليج الزيت لإنشاء محطات الرياح في المحافظة خلال الفترات القادمة.
- تستحوذ محطة رأس غارب على المكانة الثانية بين محطات الرصد بالمحافظة وعلى مستوى الجمهورية من حيث المتوسط السنوي لسرعة الرياح البالغ ٩,٧ م/ث ويبلغ حجم الطاقة المتوقع إنتاجها ٥٨٨,٧ واط/م٢؛ ونظرًا لأهمية تلك المنطقة في إنتاج الكهرباء من الرياح فقد أُنشئت بها محطة رأس غارب التي تُعَدُّ أول محطة رياح تجريبية في مصر.
- تشغل محطة الزعفرانة الترتيب الثالث بالمحافظة وعلى مستوى الجمهورية من حيث المتوسط السنوي لسرعة الرياح البالغ ٩,٢ م/ث، ويُقدَّر حجم الطاقة المتوقع إنتاجها ٥٠٢,٣ واط/م٢؛ ونظرًا لما تتمتع به منطقة الزعفرانة من إمكانات مرتفعة في إنتاج الكهرباء من الرياح فقد تَمَّ إنشاء محطة رياح الزعفرانة في هذا الموضع بمساحةٍ إجماليةٍ بلغت ١٢٠ كم٢.
- تأتي محطة الغردقة في الترتيب الرابع بين محطات الرصد في المحافظة وعلى مستوى الجمهورية من حيث المتوسط السنوي لسرعة الرياح البالغ ٦,٣ م/ث ويبلغ حجم الطاقة المتوقع إنتاجها ١٦١,٣ واط/م٢؛ ونظرًا لزيادة المتوسط السنوي لسرعة الرياح بهذا الموضع فقد أُنْشِئَت محطة الغردقة التجريبية بقدرةٍ مركبةٍ بلغت ٥ ميجا وات.

- تستحوذ محطة رأس بناس على الترتيب الخامس بين محطات الرصد بمحافظة البحر الأحمر من حيث المتوسط السنوي لسرعات الرياح البالغة ٥,٤ م/ ث، وبمعدل ١٩,٤ كم/ساعة ويبلغ حجم الطاقة المتوقع إنتاجها ١٠١,٦ واط/ م٢، وتمثل سرعة الرياح بمحطة رأس بناس الحد الأدنى اللازم لإنتاج الكهرباء من الرياح كما سبقت الإشارة.
- بلغت سرعة الرياح بمحطتي مرسى علم، والقصير (٥,٣، ٤,٩) م/ث على الترتيب، ويبلغ حجم الطاقة المتوقع إنتاجها من هاتين المحطتين (٩٦، ٧٥,٩) واط/م٢؛ وعلى الرغم من انخفاض سرعة الرياح بتلك المحطات عن الحد الأدنى اللازم لتوليد الكهرباء من الرياح البالغ ٥,٤ م/ث، فإنَّه لا يعوق إنتاج الكهرباء؛ نظرًا لأنَّه يُعَدُّ انخفاضًا طفيفًا.

وتجدر الإشارة إلى أنَّ المتوسط السنوي لسرعة الرياح بمحطات سفاجا، والشلاتين، وحلايب بلغ (٤,٤، ٤، ٣,٨) متر/ث على الترتيب، ويبلغ حجم الطاقة المتوقع إنتاجها من هذه المحطات (٥٤,٩، ٤١,٣، ٣٥,٤) واط/م٢ على الترتيب، وتتميز المحطات الأربع سالفة الذكر بانخفاض ملائمتها لإنتاج الطاقة الكهربائية؛ ويُعزى ذلك إلى انخفاض المتوسط السنوي لسرعة الرياح بهذه المحطات عن الحد الأدنى اللازم لإنتاج الكهرباء.

ويتضح مما سبق أنَّ الأجزاء الشمالية من محافظة البحر الأحمر وبخاصةٍ السواحل المطلة على خليج السويس تتميز بزيادة المتوسط السنوي لسرعة الرياح مقارنةً بالأجزاء الجنوبية منها؛ ولذلك توطنت محطتا الزعفرانة وخليج الزيت على ساحل خليج السويس، وكذلك أُنْشِئَت محطة الغردقة في الأجزاء الشمالية من المحافظة للاستفادة من السرعات العالية للرياح.

ب- اتجاه الرياح :

يُعَدُّ ثبات اتجاه الرياح على قدرٍ كبيرٍ من الأهمية؛ وذلك لأنَّ التغير المستمر في اتجاه الرياح يترتَّب عليه تذبذب حجم الكهرباء المولَّدة من محطات الرياح، وكذلك حدوث أضرار بالغة لتربينات الرياح التي تتكون من ريش حساسة توجد على ارتفاعات عالية من سطح الأرض، بالإضافة إلى تأثير تغير اتجاه الرياح في تقليل العمر الافتراضي لتربينات الرياح(١)، لذلك تتميز المناطق التي تنتظم فيها اتجاهات الرياح بارتفاع ملائمتها لإنتاج الكهرباء؛ نظرًا لعدم الحاجة إلى أنظمة التوجيه الآلية التي تعمل على توجيه ريش التربينة نحو اتجاه الرياح حال تغيرها؛ ويترتَّب على ذلك انخفاض تكلفة إنشاء محطات الرياح وبالتالي انخفاض تكلفة إنتاج الكيلووات من الكهرباء المولَّدة، ويوضح الجدول التالي النسب المئوية لتكرار هبوب الرياح السطحية وسرعتها بمحطات الرصد في محافظة البحر الأحمر خلال الفترة (١٩٩١-٢٠١٦).

(١) ياسمين محمد عادل فؤاد، مرجع سبق ذكره، ص ٥٩.

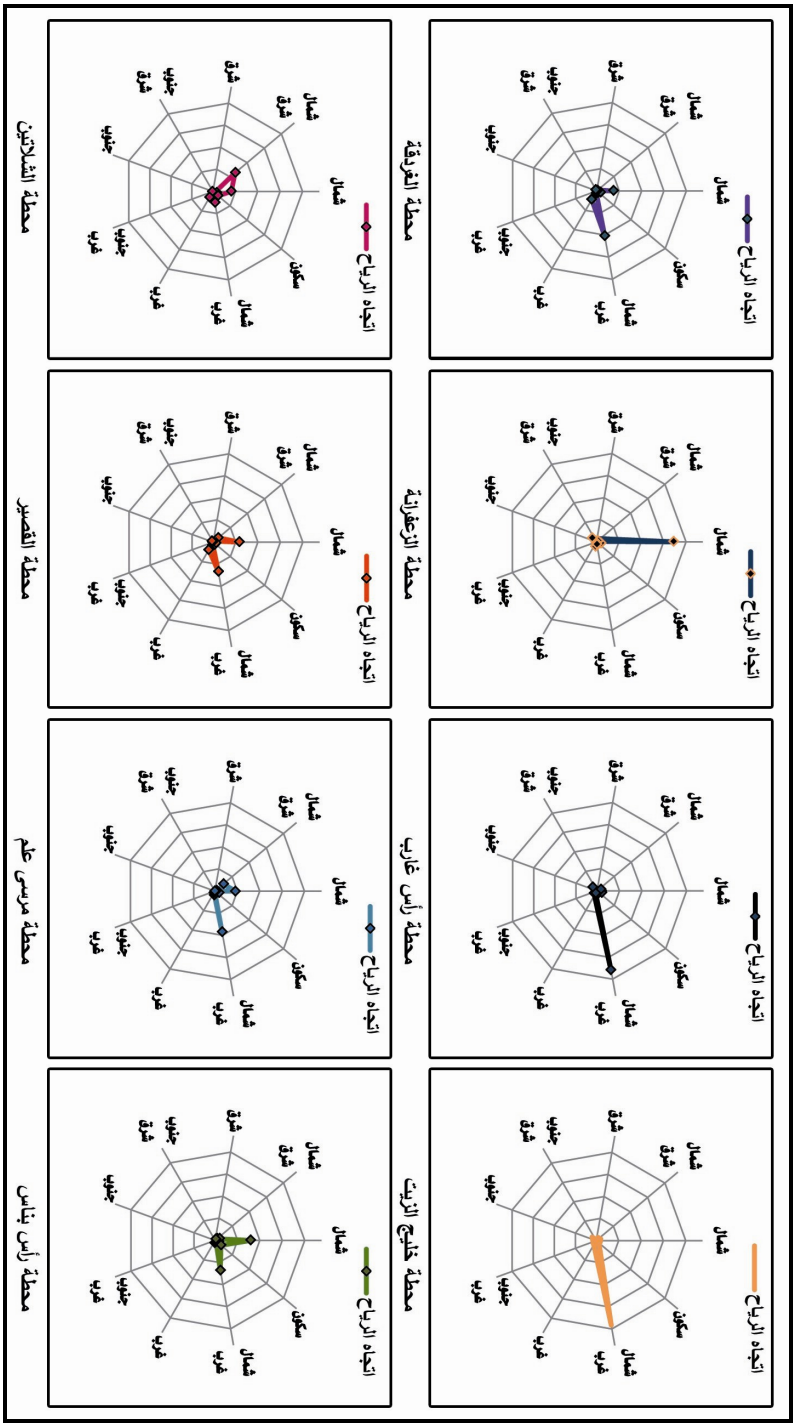
جدول (٢) : النسب المئوية لتكرار هبوب الرياح السطحية وسرعتها بمحطات الرصد في محافظة البحر الأحمر خلال الفترة (١٩٩١-٢٠١٦).

المحطة	شمال		شمال شرق		شرق		جنوب شرق		جنوب		جنوب غرب		غرب		شمال غرب		سكون
	النسبة (%)	السرعة (م/ث)	النسبة (%)	السرعة (م/ث)	النسبة (%)	السرعة (م/ ث)	النسبة (%)	السرعة (م/ث)	النسبة (%)	السرعة (م/ث)	النسبة (%)	السرعة (م/ث)	النسبة (%)	السرعة (م/ث)	النسبة (%)	السرعة (م/ث)	النسبة (%)
خليج الزيت	٧,٥	١٠,٤	١,٣	٧,٥	١,٨	٥,١	٤,٢	٥,٨	١,١	٤,٢	٠,٧	٤,٨	١,٨	٧,٢	٨١,٦	١٢,١	٠
رأس غارب	٩	٨,٨	١,٧	٤,٧	١,١	٦,٥	٢,٥	٨,٨	٠,٤	٥,٥	١,٣	٤,٨	٧,٤	٧,٩	٧٦,٦	١١,٣	٠
الزعفرانة	٧٤	١١,٣	٥,٨	٧,٥	٠,٥	٣,٨	٢,٤	٦,٨	٠,٧	٦,٤	٣,٤	٧	٥,٧	٧,٦	٧,٥	٦	٠
الغردقة	٢٠,١	٨,٢	٥,٣	٧	٢,٩	٤,٥	٢,٧	٤,٨	١,٢	٤,٦	٤,٢	٥,٩	١٤	٦,٦	٤٥,٩	٧,٩	٣,٧
رأس بناس	٣٦,٨	٥,٢	٧,٤	٣,٦	٢,٥	٢,٩	٣,٣	٢,٧	١,٤	٢,٥	٠,٧	٢,٥	٣,٨	٢,٩	٣٢,٣	٣,٩	١١,٨
مرسى علم	٢٣,٣	٧,٢	١٥	٦,٩	١,٣	٢,٦	٢,٨	٤,٤	١,١	٢,٦	٣,٣	٢,٦	٦,٦	٤,٥	٤١,٨	٦,٩	٤,٨
القصير	٢٨,٤	٦,٥	١١	٥,٧	٢	٣,٦	٢,٣	٤	٢,٢	٣	٥,٧	٣	١٣	٤,٣	٣١,٨	٥,٩	٣,٦
الشلاتين	٢١,٣	٤,٤	٣١	٤,٥	٢	١,٣	١,٤	٢,٦	١,٥	٢,٧	٥,٦	٢,٧	١١	٢,٧	١٥,٢	٢,٦	١١
المتوسط	**٢٧,٦**	**٧,٨**	**٩,٨**	**٥,٩**	**١,٨**	**٣,٨**	**٢,٧**	**٥**	**١,٢**	**٣,٩**	**٣,١**	**٤,٢**	**٧,٩**	**٥,٥**	**٤١,٦**	**٧,١**	**٤,٣**

المصدر: الجدول من إعداد الباحث اعتمادًا على:

- New and Renewable Energy Authority & Egyptian Meteorological Authority, Wind Atlas for Egypt, Measurements (1991–2005), Cairo, December 2005.

– الهيئة العامة للأرصاد الجوية، بيانات سرعة الرياح واتجاهها، بيانات غير منشورة، القاهرة، (٢٠٠٦– ٢٠١٦). - المتوسطات من حساب الباحث.



شكل (١٠) : النسب المئوية لتكرار هبوب الرياح السطحية وسرعتها بمحطات الرصد في محافظة البحر الأحمر خلال الفترة (١٩٩١-٢٠١٦).

من تحليل بيانات الجدول السابق والشكل (١٠) تتضح الحقائق الآتية:

- تختلف النسب المئوية لاتجاهات الرياح ومتوسط سرعتها بمحطات الرصد في محافظة البحر الأحمر، حيث تأتي الرياح الشمالية الغربية في الترتيب الأول من حيث النسب المئوية لاتجاه الرياح البالغة ٤١,٦% من جملة اتجاهات الرياح السطحية بمحطات الدراسة، بينما تأتي في الترتيب الثاني من حيث المتوسط السنوي لسرعة الرياح البالغ ٧,١ م/ث، كما يلاحظ تفاوت النسبة المئوية للرياح الشمالية الغربية وسرعتها من محطة إلى أخرى، والتي بلغت أقصاها ٨١,٦% من إجمالي نسب هبوب الرياح السطحية بمحطة خليج الزيت وبمتوسط سرعة بلغ ١٢,١ م/ث، بينما بلغت النسبة أدناها ٧,٥% من إجمالي نسب هبوب الرياح بمحطة الزعفرانة وبمتوسط سرعة بلغ ٦ م/ث.
- تشغل الرياح الشمالية الترتيب الثاني من حيث النسب المئوية لاتجاهات الرياح، والتي بلغت ٢٧,٦% من جملة اتجاهات الرياح السطحية بمحطات الدراسة، وفي المقابل تأتي الرياح الشمالية في المكانة الأولى من حيث المتوسط السنوي لسرعة الرياح البالغ ٧,٨ م/ث، كما يتبيَّن اختلاف النسبة المئوية للرياح الشمالية وسرعتها من محطة إلى أخرى، حيث بلغت أقصاها ٧٤% من جملة نسب هبوب الرياح السطحية بمحطة الزعفرانة وبمتوسط سرعة بلغ ١١,٣ م/ث، وأدناها ٧,٥% من إجمالي نسب هبوب الرياح السطحية بمحطة خليج الزيت وبمتوسط سرعة بلغ ١٠,٤ م/ث.
- تستحوذ الرياح الشمالية الشرقية على المكانة الثالثة من حيث النسب المئوية لاتجاهات الرياح، حيث بلغت ٩,٨% من جملة اتجاهات هبوب الرياح السطحية بمحطات الدراسة، وكذلك تأتي سرعة الرياح بهذا الاتجاه في الترتيب الثالث بمتوسط سرعة بلغ ٥,٩ م/ث.

ويتضح مما سبق أنَّ الاتجاهات الثلاثة سالفة الذكر (الشمالية الغربية، الشمالية، والشمالية الشرقية) تُعَدُّ الرياح السائدة بمحافظة البحر الأحمر، حيث بلغت نسبتها مجتمعة ٨٠% من إجمالي نسب هبوب الرياح السطحية بمحطات الرصد في المحافظة؛ لذلك تُعَدُّ محافظة البحر الأحمر من أنسب محافظات الجمهورية من حيث إنتاج الطاقة الكهربائية من محطات الرياح؛ ويُعزى ذلك إلى انتظام اتجاه الرياح بالمحافظة مع اقترانها بالسرعة المرتفعة؛ الأمر الذي ينعكس على زيادة حجم الكهرباء المولَّدة من محطات الرياح، بالإضافة إلى حماية ريش التربينات من الأضرار الناتجة عن التغير المستمر في اتجاهات الرياح، ويترتَّب على ذلك خفض تكلفة إنتاج الكيلو وات المولَّد من محطات الرياح بالمحافظة.

- ومما يزيد من إمكانات إنتاج الكهرباء من الرياح بالمحافظة انخفاض المتوسط السنوي لنسبة سكون الرياح بها البالغ ٤,٣% من إجمالي نسب هبوب الرياح السطحية بالمحافظة، وتتباين

نسبة سكون الرياح من محطة إلى أخرى، حيث ينعدم سكون الرياح بمحطات (خليج الزيت، والزعفرانة، ورأس غارب)؛ ويترتَّب على ذلك ارتفاع ملائمة موضع هذه المحطات لإنتاج الكهرباء من طاقة الرياح؛ وذلك نظرًا لارتفاع معامل الإتاحية الناتج عن انخفاض توقف تربينات الرياح، وبالتالي زيادة حجم الكهرباء المولَّدة، بينما بلغت نسبة سكون الرياح أقصاها في محطة رأس بناس بمتوسط بلغ ١١,٨% من إجمالي نسب هبوب الرياح السطحية بالمحافظة؛ الأمر الذي يتضح من خلاله مدى ملائمة الأجزاء الشمالية من المحافظة لإنتاج الكهرباء من محطات الرياح لزيادة سرعات الرياح وانتظام اتجاهها، بالإضافة إلى انعدام نسب سكون الرياح بها.

٣) المساحة :

تتمثل أهمية هذا العامل في توفر مساحاتٍ كبيرةٍ من الأراضي غير المأهولة التي تتميز بانخفاض أسعارها؛ وذلك لإمكانية إقامة منشآت المحطة بمختلف أنواعها من جهةٍ، وإمكانية التوسع المستقبلي بإضافة قدراتٍ اسميةٍ جديدةٍ للمحطة من جهةٍ أخرى، حيث تُقدر المساحة اللازمة لإنشاء محطة رياح قدرتها ٣٠٠ م.و بحوالي ٢٣٧ ألف م٢ أي ما يعادل ٥٦,٤ فدان، وهذه المساحة تكفي لإنشاء محطة حرارية تقليدية قدرتها الاسمية ٨١٣ م.و؛ الأمر الذي يتضح من خلاله زيادة المساحات اللازمة لإنشاء محطات الرياح مقارنةً بالمحطات التقليدية التي تعتمد على الوقود الأحفوري[١].

تتميز محافظة البحر الأحمر بانخفاض مساحات الأراضي المأهولة، والتي بلغت ٧١,٣ كم٢ عام ٢٠١٦ تمثل ٠,٠٥٩% من إجمالي مساحة المحافظة الكلية البالغة ١١٩٠٩٩ كم٢؛ الأمر الذي يتضح من خلاله مدى توَّفر المساحات اللازمة لإنشاء محطات الرياح بالمحافظة؛ ولذلك أُنشئت محطة الغردقة على مساحةٍ قدرها ٢٣,٣ كم٢، بينما بلغت المساحة المخصصة لمحطة رياح الزعفرانة ١٢٠ كم٢، في حين بلغت مساحة محطة خليج الزيت ٣٨,٦ كم٢[٢]، وقد ترتَّب على زيادة مساحة الأراضي المخصصة لمحطات الرياح بالمحافظة إمكانية التوسع المستقبلي من خلال إضافة قدرات اسمية جديدة لتلك المحطات.

---

(١) وهيب عيسى الناصر: مستقبل الطاقة المتجددة، مؤتمر الطاقة العربي السابع، المنعقد خلال الفترة (١١-١٤ مارس)، القاهرة، ٢٠٠٢، ص ٧٠.

(٢) هيئة الطاقة الجديدة والمتجددة، دراسة تقييم الأثر البيئي والاجتماعي لمشروع رياح جبل الزيت، المرحلة الثالثة، ٢٠١٧، ص ٢.

وتجدر الإشارة إلى أنَّ اختيار الموقع الأنسب لإنشاء محطات الرياح لا يتوقف على الأراضي غير المأهولة فحسب بل من الضروري أن تكون الأرض مستوية؛ وذلك لأنَّ سرعة الرياح تزداد في المناطق المستوية؛ وينعكس على ذلك زيادة حجم الكهرباء المولَّدة من محطات الرياح بالمناطق المستوية، بالإضافة إلى سهولة تركيب الأبراج الحاملة للتربينات، حيث يتطلب تركيب الأبراج وضعها في صفوف منتظمة حتى لا تحجب الأبراج سرعات الرياح عن بعضها البعض.

ساعد استواء السطح بمواضع محطات الرياح في محافظة البحر الأحمر على إمكانية وضع الأبراج في صفوف منتظمة تتوافق مع بعضها البعض من حيث الفراغات اللازمة لمرور الرياح للتربينات.

دون التأثير على سرعتها فعلى سبيل المثال بلغ عدد صفوف تربينات الرياح بمحطة الزعفرانة ٢٦ صفًا؛ وتَرتَّبَ على ذلك زيادة حجم الكهرباء المولَّدة من محطة رياح الزعفرانة، وكذلك الحال بالنسبة لمحطة خليج الزيت التي بلغ عدد صفوف تربينات الرياح بها ٧ صفوف، تبلغ المسافة بين كل صف ١,٦ كم، وتبلغ المسافة بين كل تربينه ٤٠٠ متر[١]، وقد ترتَّب على ذلك تحقيق الاستفادة القصوى من سرعة الرياح في إنتاج الطاقة الكهربائية بالمحطة.

وقد كان لمظاهر السطح في محافظة البحر الأحمر أكبر الأثر في ملائمة أجزاء كبيرة منها لإنشاء محطات الرياح؛ نظرًا لاستواء السطح وزيادة سرعات الرياح، فعلى الرغم من ارتفاع سلاسل جبال البحر الأحمر فإنَّها لم تؤثر في إنشاء محطات الرياح بالمحافظة؛ وذلك لامتداها باتجاه عام من الشمال الغربي إلى الجنوب الشرقي؛ وقد انعكس ذلك على عدم تأثيرها في سرعات الرياح لأنَّ أغلب الرياح السائدة تهب موازية لها وليست عمودية عليها، بالإضافة إلى أنَّها تترك سهولاً ساحلية أمامها تصلح لإقامة محطات الرياح من حيث استواء السطح، وزيادة المتوسط السنوي لسرعة الرياح؛ ولذلك أُنشئت بها محطات رياح الغردقة، والزعفرانة، وخليج الزيت.

٤) المقومات الاقتصادية :

ترتفع التكلفة الاستثمارية اللازمة لإنشاء محطات لرياح؛ وذلك نظرًا لزيادة مساحة الأراضي اللازمة لإنشائها، بالإضافة إلى ارتفاع أسعار معداتها، واعتمادها على عددٍ كبيرٍ من الأبراج العالية التي يزيد ارتفاعها عن ٤٥ مترًا؛ ويُعزى ذلك بصفةٍ أساسيةٍ إلى زيادة سرعات الرياح بالارتفاع عن سطح الأرض لعدم اصطدامها بالمباني والمنشآت ومظاهر السطح المختلفة، يضاف إلى ذلك ارتفاع تكلفة تربينات الرياح نظرًا لزيادة وزنها الذي يبلغ ٣٠ طن وزيادة أطوال أجنحتها التي تبلغ ٣٠ مترًا، وكذلك ترتفع تكلفة البطاريات اللازمة لعملية تخزين الطاقة الكهربائية، وكذا امتداد محطات الرياح

(١) محطتا الزعفرانة وخليج الزيت، أثناء الدراسة الميدانية للباحث خلال الفترة (٧-٨) أغسطس ٢٠١٨.

على مساحاتٍ كبيرةٍ من الأرض؛ الأمر الذي يترتَّب عليه تعرضها لعوامل التعرية المختلفة[١]، وبذلك ترتفع التكلفة اللازمة لإجراء عمليات الصيانة لرفع كفاءتها في إنتاج الطاقة الكهربائية.

بلغت تكلفة إنشاء محطة خليج الزيت ١٨٨٤ دولار/ كيلووات من القدرة الاسمية المُركَّبة[٢]؛ وهي بذلك تفوق متوسط تكلفة إنشاء محطات الرياح على مستوى العالم البالغة ١٥٩٠ دولار/ كيلووات عام ٢٠١٦، وعلى الرغم من ارتفاع تكلفة إنشاء محطات الرياح بالمقارنة بالمحطات التقليدية فإنَّها تنخفض بالمقارنة بالمحطات الشمسية الفوتوفلطية (P.V) البالغة ٢٣٥٠ دولار/ كيلووات والمحطات الشمسية الحرارية (CSP) البالغة ٤٧٢٠ دولار/ كيلووات من القدرة المُركَّبة عام ٢٠١٦[٣].

٥) الاعتبارات البيئية :

يُعَدُّ تقييم الآثار البيئية (Environmental Impact Assessment) من أهم المعايير التي يجب مراعاتها عن إنشاء محطات الرياح؛ وذلك لتجنب الأضرار البيئية الناتجة عن محطات الرياح بالمناطق المحيطة بها[٤]، فعلى الرغم من أنَّ محطات الرياح لا ينتج عنها أي انبعاثات غازية طول عمرها الافتراضي البالغ ٢٠ سنة، بالإضافة إلى ذلك لا ينتج عنها أي مخلفات سامة تتمثل في العمليات الصناعية الناتجة عن محطات توليد الكهرباء التقليدية التي تعتمد على الوقود الأحفوري إلاَّ أنَّ هناك عدة اعتبارات بيئية يجب مراعاتها عند إنشاء محطات الرياح يمكن دراسة أهمها على النحو التالي:

أ- الضوضاء الناتجة عن تربينات الرياح :

يترتَّب على إنتاج الطاقة الكهربائية من محطات الرياح صدور أصوات مرتفعة؛ نظرًا لاحتكاك الرياح بريش التربينة، ووفقًا للمعايير الصادرة عن البنك الدولي يجب ألاَّ تزيد القراءات المسجلة لشدة الضوضاء بمحطات الرياح عن ٦٥ ديسيبل؛ وذلك نظرًا للأضرار الناتجة عن التعرض للضوضاء لفتراتٍ زمنيةٍ طويلةٍ التي تتمثل في ضعف القدرات السمعية، وارتفاع ضغط الدم، وأمراض القلب، وسرعة الإجهاد، كما تؤثر على كفاءة التركيز للأعمال الذهنية والعقلية والقدرة على اتخاذ القرارات واستقبالها[٥].

---

(١) أحمد موسى محمود خليل: الطاقة الجديدة والمتجددة في مصر، دراسة في جغرافية الطاقة، المجلة الجغرافية العربية، الجمعية الجغرافية المصرية، سلسلة بحوث جغرافية، العدد الثامن والثمانون، ٢٠١٥، ص ٣٨.

(٢) من حساب الباحث من خلال قسمة تكلفة إنشاء المحطة الكلية / إجمالي القدرة الاسمية.

(3) International Renewable Energy Agency, Renewable Power Generation Costs, 2017.

(٤) أحمد موسى محمود خليل: مرجع سبق ذكره، ص ٣٩.

(٥) إيهاب محمود عقبة: المخطط العمراني والحماية من الضوضاء، مجلة المهندسين، العدد ٥٤٤، يوليو ٢٠٠١، ص ١٨.

وتجدر الإشارة إلى أنَّ القراءات المسجلة لشدة الضوضاء بمحطات الرياح في المحافظة لا تتجاوز المعدلات العالمية المسموح بها، حيث تتراوح ما بين ٥٠-٥٥ ديسيبل بمحطة الزعفرانة، ومما يقلل من تأثير الضوضاء بمحطات الرياح في المحافظة وجودها في مناطق غير مأهولة بالسكان(١).

ب- تأثير الضوء والظل :

وتتمثل هذه الظاهرة بمحطات الرياح في دور التربينات في عكس الإشعاع الشمسي الساقط عليها أو امتصاصه، ويتوقف ذلك على طبيعة المواد التي تصنع منها تربينات الرياح، ويمكن التغلب على هذه المشكلة من خلال طلاء التربينة بمواد لا تمتص أشعة الشمس مباشرةً، ولا تُشكل تلك الظاهرة تأثيرًا مهمًا بالنسبة لمحطات الرياح بالمحافظة؛ وذلك نظرًا لبعدها عن المناطق السكنية باستثناء محطة الغردقة التي تقترب من بعض التجمعات السكنية للبدو بمسافةٍ تبلغ ٣٠٠ مترًا(٢).

ج- التداخل الكهرومغناطيسي :

يترتَّب على دوران تربينات الرياح حدوث إشارات كهرومغناطيسية تؤثر على موجات الراديو، والبث التليفزيوني، بالإضافة إلى تأثيرها في حدوث تشويش على محطات الرادار، وتتوقف درجة تأثيرها على نوع المواد التي تصنع منها التربينة، حيث يزداد التأثير في الريش المصنعة من الفيبر، في حين يقل بصورةٍ واضحةٍ في الريش المصنعة من الحديد(٣).

د- تأثير محطات الرياح على الطيور المهاجرة :

يؤدي ارتفاع الأبراج الحاملة لتربينات الرياح وزيادة طول ريش التربينة إلى اصطدام الطيور المهاجرة بها؛ ويترتَّب على ذلك تعرضها للهلاك، ويصعب التغلب على هذه المشكلة لأنَّ زيادة طول ريش التربينة يترتَّب عليه زيادة حجم الكهرباء المولَّدة بالتوافق مع سرعة الرياح بالمنطقة، ويُقدر المعدل العالمي لاحتمالات هلاك الطيور المهاجرة التي تَمُر بمزارع الرياح بنحو ٨% منها(٤).

ومما يزيد من صعوبة المشكلة أنَّ أكثر مناطق المحافظة من حيث سرعة الرياح تتمثل في المناطق المطلة على خليج السويس أكثرها تعرضًا لمسارات الطيور المهاجرة، والتي تتعدى ٢٥٠ نوعًا بمعدل مرتين في العام خلال فصلي الشتاء والخريف.

---

(١) محطة رياح الزعفرانة، الشئون الفنية، بيانات غير منشورة، أغسطس ٢٠١٨.

(٢) حسام ثابت صدقي قابيل: الإشعاع الشمسي والرياح ودورهما في إنتاج الطاقة في صحراء مصر الشرقية، رسالة ماجستير، غير منشورة، كلية الآداب – جامعة القاهرة، ٢٠١٧، ص ١٥٣.

(٣) هبه محمود عبد الرازق: طاقة الشمس والرياح في شبه جزيرة سيناء، دراسة في المناخ التطبيقي، رسالة ماجستير، غير منشورة، كلية الآداب – جامعة القاهرة، ٢٠١٧، ص ١٤١.

(٤) ياسمين محمد عادل فؤاد، مرجع سبق ذكره، ص ٥٦.

وعلى الرغم من ذلك أكدت الدراسات المتخصصة التي تمَّ إجراؤها بمحطة خليج الزيت في محافظة البحر الأحمر أنَّ عدد حالات اصطدام الطيور بتربينات الرياح كان منخفضًا جدًا، وكذلك أثبتت الدراسات التي تَمَّت بمزرعة الرياح التابعة لبنك الاستثمار الألماني بخليج الزيت عام ٢٠١٦ أنَّ ٩٩% من الطيور المهاجرة التي تَمُر بموضع المحطة قادرة على تجنب الاصطدام بريش التربينات(١).

ويمكن القول بأنَّ محطات الرياح بمحافظة البحر الأحمر لا تؤثر على الطيور المحلية؛ وذلك لأنَّ معظمها من الأنواع غير المهددة بالانقراض، بالإضافة إلى وقوع محطات الرياح بالمحافظة في مناطق صحراوية غير مأهولة تتصف بالجفاف، وزيادة سرعات الرياح؛ وقد انعكس ذلك على عدم صلاحية تلك المناطق لجذب الطيور المحلية.

ثانيًا – إنتاج الطاقة الكهربائية من الرياح في محافظة البحر الأحمر :

تُعَدُّ محافظة البحر الأحمر من أقدم محافظات الجمهورية من حيث إنتاج الكهرباء من طاقة الرياح، حيث أُنشئت بها محطة أبو غصون عام ١٩٨٠، وبذلك تُعَدُّ أول محطة تجريبية لإنتاج الكهرباء من طاقة الرياح في مصر بقدرةٍ اسميةٍ بلغت ٢٠٠ كيلووات، ويهدف إنتاج الكهرباء من هذه المحطة إلى تصنيع الثلج المجروش بطاقةٍ إجماليةٍ بلغت ٣ طن/يوم؛ لاستخدامها في عمليات حفظ الأسماك(٢)، بالإضافة إلى ذلك تَمَّ إنشاء محطة رأس غارب في أغسطس عام ١٩٨٨، بعدد أربع تربينات قدرة التربينة ١٠٠ كيلووات بإجمالي قدرةٍ مركبةٍ بلغت ٤٠٠ كليو وات، وبلغت كمية الكهرباء المولَّدة من هذه المحطة مليون ك.و.س سنويًا؛ وتَمَّ ربطها بشبكة الكهرباء المحلية بمدينة رأس غارب؛ وذلك لتوفير كميات الكهرباء لإحدى شركات البترول لاستخدامها في عمليات الإنارة(٣)، ويمكن دراسة إنتاج الكهرباء من محطات الرياح في محافظة البحر الأحمر على النحو التالي:

١) تطور القدرة الاسمية المُركَّبة بمحطات الرياح في محافظة البحر الأحمر:

يقصد بالقدرة الاسمية القدرات التصميمية لمحطات توليد الكهرباء مقاسة بالميجاوات، وتتمثل أهمية القدرة الاسمية في تحديد حجم الكهرباء المولَّدة من محطات الرياح بصورةٍ أساسيةٍ، حيث ترتَّب على ارتفاع السعات التصميمية لمحطات الرياح في المحافظة زيادة حجم الكهرباء المولَّدة منها،

(١) هيئة الطاقة المتجددة، دراسة تقييم الأثر البيئي والاجتماعي لمشروع محطة جبل الزيت، المرحلة الثالثة، مايو ٢٠١٧، ص ١٢.

(٢) أحمد محمد علي عجوة: جغرافية مزارع الرياح في مصر، مجلة المجمع العلمي المصرى، المجلد (٨٥)، القاهرة، ٢٠١٠، ص ٤٩.

(٣) محمد السيد حافظ: الرياح وإنتاج الطاقة الكهربائية في صحراء مصر الشرقية محطة الزعفرانة نموذجًا، ندوة صحاري مصر أمل المستقبل، كلية الآداب – جامعة الإسكندرية، ٢٠٠٧، ص ١٥٧.

وتتسم محافظة البحر الأحمر بزيادة حجم القدرات الاسمية المُركَّبة بمحطات الرياح مقارنةً بالمحطات الحرارية التقليدية[١]، ويوضح الجدول التالي تطور القدرات الاسمية المُركَّبة بمحطات الرياح في محافظة البحر الأحمر خلال الفترة (٢٠٠٣-٢٠١٦).

جدول (٣) : تطور القدرات الاسمية المُركَّبة بمحطات الرياح في محافظة البحر الأحمر خلال الفترة (٢٠٠٣-٢٠١٦).

السنة	الغردقة (م.و)	الزعفرانة (م.و)	خليج الزيت (م.و)*	الإجمالي	نسبة التغير (%)
٢٠٠٣	٥	٦٣	--	٦٨	--
٢٠٠٤	٥	١٤٠	--	١٤٥	١١٣,٢
٢٠٠٥	٥	١٤٠	--	١٤٥	١١٣,٢
٢٠٠٦	٥	٢٢٥	--	٢٣٠	٢٣٨,٢
٢٠٠٧	٥	٢٢٥	--	٢٣٠	٢٣٨,٢
٢٠٠٨	٥	٣٠٥	--	٣١٠	٣٥٥,٩
٢٠٠٩	٥	٤٢٥	--	٤٣٠	٥٣٢,٤
٢٠١٠	٥	٤٢٥	--	٤٣٠	٥٣٢,٤
٢٠١١	٥	٥٤٥	--	٥٥٠	٧٠٨,٨
٢٠١٢	٥	٥٤٥	--	٥٥٠	٧٠٨,٨
٢٠١٣	٥	٥٤٥	--	٥٥٠	٧٠٨,٨
٢٠١٤	٥	٥٤٥	--	٥٥٠	٧٠٨,٨
٢٠١٥	٥	٥٤٥	--	٥٥٠	٧٠٨,٨
٢٠١٦	٥	٥٤٥	٢٠٠	٧٥٠	٧٠٨,٨

المصدر: الجدول من إعداد الباحث اعتمادًا على: وزارة الكهرباء والطاقة، هيئة الطاقة الجديدة والمتجددة، التقارير السنوية للأعوام المذكورة.

* تَمَّ دخول محطة خليج الزيت للتشغيل التجاري في ٣٠ سبتمبر ٢٠١٥؛ وبذلك تُعَدُّ أحدث محطات الرياح في محافظة البحر الأحمر، وأكثرها من حيث التطور التقني، وتتكون المحطة من ١٠٠ تربينة بواقع ٢ ميجاوات للتربينة الواحدة؛ وبذلك تبلغ قدرتها الاسمية الإجمالية ٢٠٠ ميجاوات، وتَمَّ إنشاء المحطة من خلال التعاون المشترك بين هيئة الطاقة المتجددة والحكومة الألمانية وبنك الاستثمار الأوربي، والمفوضية الأوربية بتكلفةٍ إجماليةٍ بلغت ٣٤٠ مليون يورو (وزارة الكهرباء والطاقة، هيئة الطاقة الجديدة والمتجددة، التقرير السنوي، القاهرة، إبريل ٢٠١٥، ص ٢٧).

(١) بلغ عدد المحطات الحرارية التقليدية بمحافظة البحر الأحمر تسع محطات وهي: محطة الغردقة الغازية بقدرةٍ اسميةٍ ١٤٣ ميجاوات، محطة سفاجا بقدرةٍ اسميةٍ ٤,٥ ميجاوات، محطة القصير ألمان بقدرةٍ اسميةٍ ٣,٧ ميجاوات، محطة القصير ديزل بقدرةٍ اسميةٍ ميجاوات، محطة القصير الغازية بقدرةٍ اسميةٍ ٦ ميجاوات، =

ويتبيَّن من الجدول السابق والشكل (١١) أنَّ إجمالي القدرات الاسمية بمحطات الرياح بمحافظة البحر الأحمر بلغت ٧٥٠ ميجا وات عام ٢٠١٦ تمثل ٨١,٤% من إجمالي القدرات الاسمية المُركَّبة بالمحافظة البالغة ٩٢١,٥ ميجاوات خلال العام نفسه، وبنسبة ٢٠,٣% من إجمالي القدرات الاسمية المُركَّبة بمحطات الطاقة المتجددة على مستوى الجمهورية البالغة ٣٦٩٠ ميجاوات عام ٢٠١٦.

ارتفعت القدرة الاسمية بمحطات الرياح بالمحافظة من ٦٨ ميجاوات عام ٢٠٠٣ إلى ٥٤٥ ميجاوات عام ٢٠١٦ بمعدل تغير بلغ ٧٠١,٥%، وبمعدل نمو سنوي بلغ ٥٠,١% خلال فترة الدراسة؛ الأمر الذي يتضح من خلاله النمو السريع في السعات التصميمية بمحطات الرياح في المحافظة.

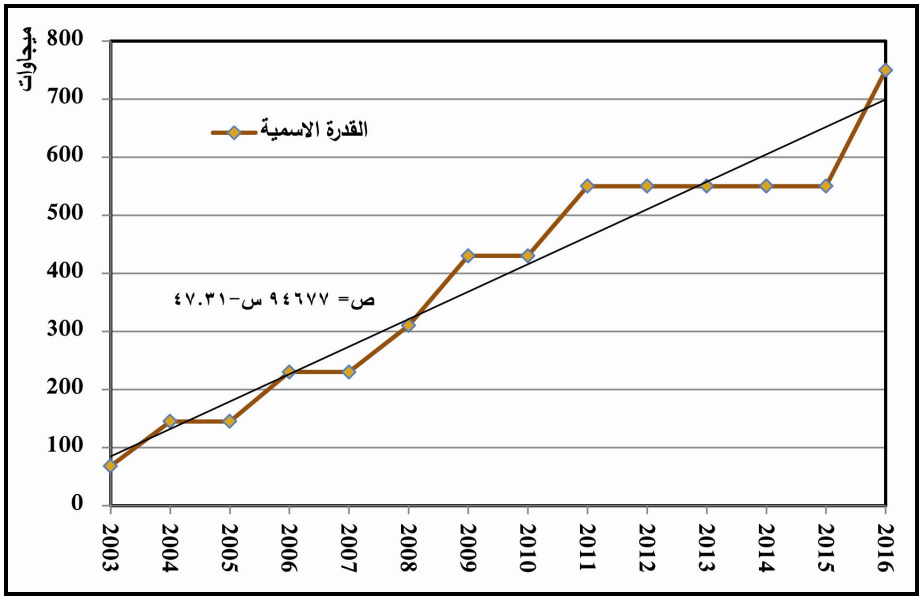
ويتضح ثبات القدرة الاسمية بمحطة الغردقة البالغة ٥ ميجاوات خلال الفترة (٢٠٠٣-٢٠١٦)؛ ويرجع السبب في ذلك إلى كونها محطة تجريبية بغرض التعرف على إمكانية إنتاج الكهرباء من الرياح بالمحافظة، وتحديد مدى جدواها من الناحية الاقتصادية مقارنةً بباقي أنواع محطات الكهرباء في مصر، بالإضافة إلى اكتساب الخبرات الفنية اللازمة لإنشاء محطات الرياح بالمحافظة.

وفي المقابل تطوَّرت القدرات الاسمية المُركَّبة بمحطة رياح الزعفرانة[1] من ٦٣ ميجاوات عام ٢٠٠٣ إلى ٥٤٥ ميجاوات عام ٢٠١٦ بمعدل تغير بلغ ٧٦٥,١% خلال فترة الدراسة؛ ويرجع ذلك

= محطة مرسى علم بقدرةٍ اسميةٍ ٤,٣٥ ميجاوات، محطة الشلاتين بقدرةٍ اسميةٍ ٤,٦ ميجاوات، محطة حلايب بقدرةٍ اسميةٍ ١,٦٥ ميجاوات، محطة أبو رماد بقدرةٍ اسميةٍ ٢,٧ ميجاوات؛ وبذلك يبلغ إجمالي القدرة الاسمية بالمحطات الحرارية بمحافظة البحر الأحمر ١٧١,٥ ميجاوات، يراجع في ذلك: محافظة البحر الأحمر، السكان وأهم الأنشطة السكانية، مرجع سبق ذكره، ص ١٠٤.

(١) تَمَّ إنشاء محطة رياح الزعفرانة من خلال التعاون المشترك بين هيئة الطاقة الجديدة والمتجددة وأربع دول هي: (الدنمارك، ألمانيا، اليابان، وإسبانيا) تختلف هذه الدول فيما بينها من حيث نسبة المشاركة في إنشاء المحطة، حيث تأتي الدنمارك في الترتيب الأول من حيث عدد التربينات المركَّبة والتي بلغت ٢٣٨ تربينة بإجمالي قدرةٍ مركبةٍ بلغت ١٨٠ ميجاوات تمثل ٣٣% من إجمالي القدرة الاسمية للمحطة البالغة ٥٤٥ ميجاوات، وبتكلفةٍ إجماليةٍ بلغت ١٠٤٥ مليون جنيه مصري بنسبة ٢٧,٤% من إجمالي تكلفة إنشاء المحطة البالغة ٣٨١٨,٨ مليون جنيه مصري، وفي المقابل بلغ عدد التربينات المركَّبة بالمشروع الألماني ٢٢٠ تربينة بقدرةٍ مركبةٍ بلغت ١٦٠ ميجاوات تعادل ٢٩,٤% من إجمالي القدرة الاسمية للمحطة، وقد بلغت تكلفة الجزء الألماني ١٥٨١,٢ مليون جنيه مصري تمثل ٤١,٤% من إجمالي تكلفة المحطة الكلية، بينما بلغ عدد التربينات المركَّبة بالمشروع الياباني ١٤٢ تربينة بلغ إجمالي قدرتها الاسمية ١٢٠ ميجاوات تمثل ٢٢% من إجمالي قدرة المحطة الاسمية وبتكلفةٍ إجماليةٍ بلغت ٥٠٦,٤ مليون جنيه مصري تعادل ١٣,٣% من إجمالي تكلفة المحطة، في حين بلغ عدد التربينات المركَّبة بالمشروع الإسباني ١٠٠ تربينة =

إلى أنَّ زيادة القدرات الاسمية بالمحطة تَمَّ تنفيذها على خمس مراحل هي: المرحلة الأولى التي تَمَّت خلال عامي (٢٠٠٣، ٢٠٠٤) بإضافة ٧٧ تربينة رياح بواقع ٦٦٠ كيلووات للتربينة الواحدة، بإجمالي قدرةٍ مركبةٍ بلغت ٧٧ ميجاوات، المرحلة الثانية عام ٢٠٠٦ وتَمَّ في هذه المرحلة إنشاء ١٠٠ تربينة تبلغ قدرة كلٍ منها ٨٥٠ ك.و بجملة قدراتٍ مركبةٍ بلغت ٨٥ ميجاوات، المرحلة الثالثة عام ٢٠٠٨ وفي تلك المرحلة تَمَّ تشغيل ٩٤ تربينة رياح بإجمالي قدرةٍ بلغتٍ ٨٠ ميجاوات، المرحلة الرابعة خلال عام ٢٠٠٩، حيث بلغ عدد التربينات التي تَمَّت إضافتها في هذه المرحلة ١٤٢ تربينة بلغت قدرة التربينة الواحدة ٨٥٠ ك.و بقدرةٍ اسميةٍ بلغت ١٢٠ ميجاوات، المرحلة الخامسة وتمثل هذه المرحلة آخر مراحل تطور القدرات الاسمية المُركَّبة بمحطة رياح الزعفرانة، حيث تَمَّ الانتهاء منها عام ٢٠١٠ بإضافة ١٤٢ تربينة تبلغ قدرة الواحدة منها ٨٥٠ ك.و بإجمالي قدرةٍ اسميةٍ بلغت ١٢٠ ميجاوات.



شكل (١١) : تطور القدرات الاسمية المُركَّبة بمحطات الرياح في محافظة البحر الأحمر خلال الفترة (٢٠٠٣-٢٠١٦).

= بقدرةٍ مركبةٍ بلغت ٨٥ ميجاوات تمثل ١٥,٦% من إجمالي القدرة الاسمية للمحطة، وبلغت تكلفة الجزء الإسباني ٦٨٦,١ مليون جنيه مصري تمثل ١٨% من إجمالي تكلفة المحطة الكلية.

- وزارة الكهرباء والطاقة، هيئة الطاقة الجديدة والمتجددة، التقارير السنوية، خلال الفترة (٢٠٠١-٢٠١٠).

بلغ إجمالي القدرات الاسمية المُركَّبة بمحطة خليج الزيت ٢٠٠ ميجاوات عام ٢٠١٦، حيث تتكون المحطة من ١٠٠ تربينة تبلغ قدرة التربينة ٢ ميجاوات، تمثل ٢٦,٧% من إجمالي القدرات الاسمية المُركَّبة بمحافظة البحر الأحمر البالغة ٧٥٠ ميجاوات خلال العام نفسه.

٢) حجم الكهرباء المولَّدة من محطات الرياح في محافظة البحر الأحمر :

يعتمد إنتاج الطاقة الكهربائية من الرياح في المحافظة على ثلاث محطات تتباين فيما بينها من حيث حجم الكهرباء المولَّدة، وتُعَدُّ كمية الطاقة الكهربائية المولَّدة من محطات الرياح في محافظة البحر الأحمر انعكاسًا مباشرًا لحجم للقدرات الاسمية المُركَّبة بتلك المحطات، بالإضافة إلى كفاءة تشغيلها، وحجم الطلب على الكهرباء الذي يؤثر بدوره على أحمال التشغيل، وتكمن أهمية مقارنة الطاقة الكهربائية المولَّدة من الرياح بالطاقة الكهربائية المرسلة في التعرف على نسبة الفقد الكهربائي المتمثل في الاستهلاك الذاتي للمحطة، بالإضافة إلى الكهرباء المفقودة في الشبكة الكهربائية، ويوضح الجدول التالي الطاقة الكهربائية المولَّدة والمرسلة من محطات الرياح بمحافظة البحر الأحمر خلال الفترة (٢٠٠٣-٢٠١٦).

من بيانات الجدول التالى والشكل (١٢) تتضح الحقائق الآتية :

بلغ حجم الكهرباء المولَّدة من محطات الرياح بمحافظة البحر الأحمر ٢٠٥٧ مليون ك.و.س عام ٢٠١٦ تمثل ٥٣,٦% من إجمالي حجم الطاقة الكهربائية المولَّدة بالمحافظة البالغة ٣٨٤٠,٤ مليون ك.و.س خلال العام نفسه[١]، وبنسبة ١٣% من إجمالي الطاقة الكهربائية المولَّدة من المصادر المتجددة على مستوى الجمهورية البالغة ١٥٧٦٩,٤ مليون ك.و.س عام ٢٠١٦[٢].

---

(١) بلغ عدد محطات توليد الكهرباء التقليدية التي تعتمد على الوقود الأحفوري تسع محطات كما سبقت الإشارة، حيث بلغت جملة الكهرباء المولَّدة منها ١٧٨٣,٤ مليون ك.و.س تمثل ٤٦,٤% من إجمالي الكهرباء المولَّدة بالمحافظة، يراجع في ذلك: محافظة البحر الأحمر، السكان وأهم الأنشطة السكانية، إدارة الإحصاءات المركزية، التقرير السنوي، ٢٠١٧، ص ١٠٥.

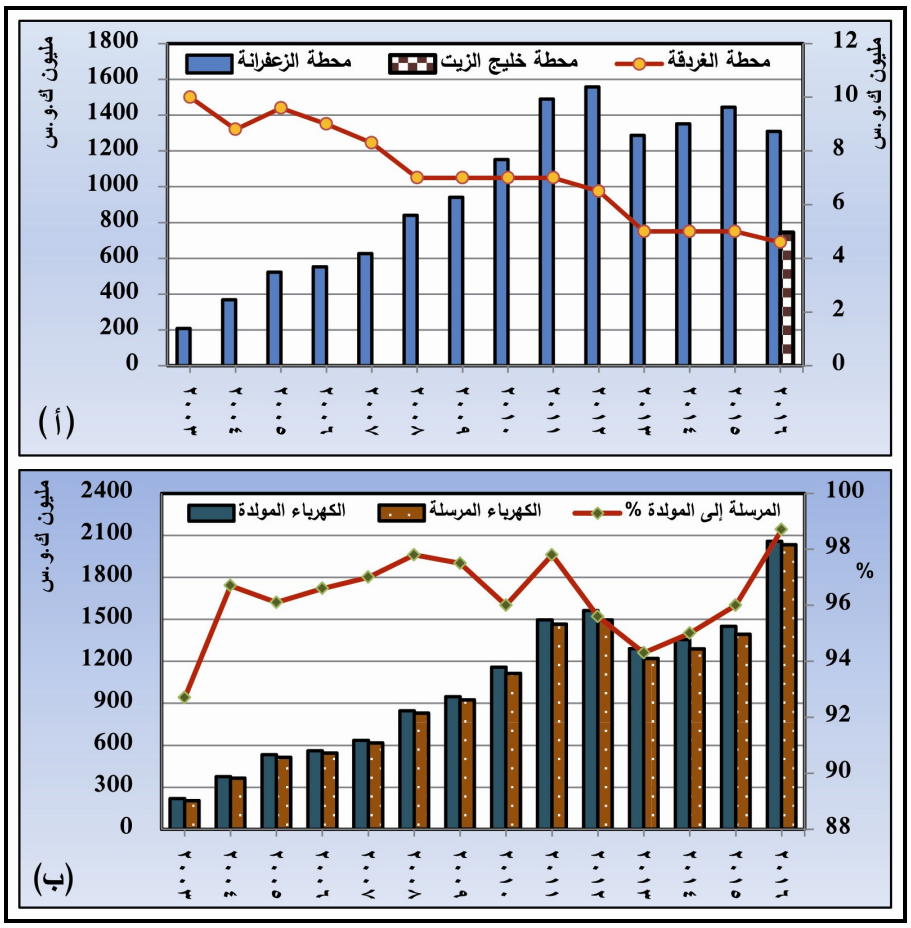
(٢) يعتمد إنتاج الكهرباء من الطاقة المتجددة في مصر على ثلاثة مصادر تختلف فيما بينها من حيث الأهمية وهي: المحطات المائية بجملة إنتاج بلغت ١٣٥٤٤,٨ مليون ك.و.س بنسبة ٨٥,٩% من حجم الكهرباء المولَّدة من المصادر المتجددة، ومحطات الرياح البالغ إنتاجها ٢٠٥٧ مليون ك.و.س تعادل ١٣% من إجمالي الكهرباء المولَّدة من المصادر المتجددة، ومحطة الكريمات الشمسية والتي بلغ إنتاجها ١٦٧,٦ مليون ك.و.س تمثل ١,١ من جملة الكهرباء المولَّدة من المصادر المتجددة في مصر، يراجع في ذلك: وزارة الكهرباء والطاقة، الشركة القابضة لكهرباء مصر، التقرير السنوي، القاهرة، ٢٠١٦، ص ٢٣.

جدول (٤) : الطاقة الكهربائية المولَّدة والمرسلة من محطات الرياح بمحافظة البحر الأحمر خلال الفترة (٢٠٠٣-٢٠١٦).

السنة	الكهرباء المولَّدة (مليون ك.و.س)				الكهرباء المرسلة (مليون ك.و.س)			
	الغردقة*	الزعفرانة	خليج الزيت	الإجمالي	الزعفرانة	خليج الزيت	الإجمالي	المرسلة إلى المولَّدة (%)
٢٠٠٣	١٠	٢٠٩	–	٢١٩	٢٠٣	–	٢٠٣	٩٢,٧
٢٠٠٤	٨,٨	٣٦٨	–	٣٧٦,٨	٣٦٥	–	٣٦٥	٩٦,٧
٢٠٠٥	٩,٦	٥٢٣	–	٥٣٢,٦	٥١٢	–	٥١٢	٩٦,١
٢٠٠٦	٩	٥٥٢	–	٥٦١	٥٤٢	–	٥٤٢	٩٦,٦
٢٠٠٧	٨,٣	٦٢٧	–	٦٣٥,٣	٦١٦	–	٦١٦	٩٧
٢٠٠٨	٧	٨٤٠	–	٨٤٧	٨٢٨	–	٨٢٨	٩٧,٨
٢٠٠٩	٧	٩٤١	–	٩٤٨	٩٢٤	–	٩٢٤	٩٧,٥
٢٠١٠	٧	١١٥٢	–	١١٥٩	١١١٣	–	١١١٣	٩٦
٢٠١١	٧	١٤٨٩	–	١٤٩٦	١٤٦٣,٤	–	١٤٦٣,٤	٩٧,٨
٢٠١٢	٦,٥	١٥٥٧	–	١٥٦٣,٥	١٤٩٥	–	١٤٩٥	٩٥,٦
٢٠١٣	٥	١٢٨٧	–	١٢٩٢	١٢١٩	–	١٢١٩	٩٤,٣
٢٠١٤	٥	١٣٥١	–	١٣٥٦	١٢٨٨	–	١٢٨٨	٩٥
٢٠١٥	٥	١٤٤٤	–	١٤٤٩	١٣٩١	–	١٣٩١	٩٦
٢٠١٦	٤,٦	١٣٠٨	٧٤٤,٤	٢٠٥٧	١٢٩٤,٢	٧٣٦,٨	٢٠٣١	٩٨,٧

المصدر: الجدول من إعداد الباحث اعتمادًا على: وزارة الكهرباء والطاقة، هيئة الطاقة الجديدة والمتجددة، التقارير السنوية للأعوام المذكورة.

* تُعَدُّ محطة رياح الغردقة محطة تجريبية غير مرتبطة بالشبكة الكهربائية الموحدة وإنَّما ترتبط بالشبكة المحلية بمدينة الغردقة، ويهدف إنتاج الطاقة الكهربائية منها إلى التعرف على مدى كفاءة محطات الرياح في إنتاج الكهرباء بالمحافظة؛ وترتَّب على ذلك عدم القدرة على تحديد حجم الكهرباء الفعلية المرسلة منها.



شكل (١٢) : الطاقة الكهربائية المولَّدة والمرسلة من محطات الرياح بمحافظة البحر الأحمر خلال الفترة (٢٠٠٣– ٢٠١٦). أ– محطات الرياح. **ب**– الطاقة الكهربائية المولَّدة والمرسلة.

ارتفع حجم الطاقة الكهربائية المولَّدة من محطات الرياح بمحافظة البحر الأحمر من ٢١٩ مليون ك. و. س عام ٢٠٠٣ إلى ٢٠٥٧ مليون ك. و. س عام ٢٠١٦ بمعدل تغير بلغ ٨٣٩,٣% خلال فترة الدراسة؛ ويُعزى ذلك بصفةٍ أساسيةٍ إلى زيادة حجم القدرات الاسمية المُركَّبة بمحطات الرياح في المحافظة؛ وذلك نظرًا للارتباط الواضح بين زيادة القدرات الاسمية المُركَّبة وزيادة حجم الكهرباء المولَّدة، وبحساب معامل الارتباط بين زيادة حجم الكهرباء المولَّدة وزيادة القدرة الاسمية بمحطات الرياح بالمحافظة تبين وجود علاقة ارتباط إيجابية قوية بلغ مقدارها (٠,٩٨) فكلَّما زادت القدرات الاسمية المُركَّبة زادت الكهرباء المولَّدة، والعكس صحيح.

بلغ حجم الطاقة الكهربائية المولَّدة بمحطة رياح الغردقة ١٠ مليون ك.و.س عام ٢٠٠٣ انخفض إلى ٤,٦ مليون ك. و. س عام ٢٠١٦ بمعدل انخفاض بلغ (– ٥٤%) خلال فترة الدراسة؛ ويرجع السبب في ذلك إلى قِدم التربينات المستخدمة في إنتاج الكهرباء بالمحطة، حيث تَمَّ تكهين ١٣ تربينة بقدرةٍ اسميةٍ بلغت ١٣٠٠ كيلووات؛ نظرًا لانتهاء عمرها الافتراضي؛ وبذلك انخفضت قدرة المحطة الاسمية إلى ٣,٧ ميجاوات عام ٢٠١٦[(١)]، بالإضافة إلى عدم ارتباط المحطة بالشبكة الكهربائية الموحدة؛ وتَرتَّبَ على ذلك تشغيل المحطة بالحمل الجزئي حيث بلغ معامل الحمل بالمحطة ١٠,٥% عام ٢٠١٦؛ الأمر الذي انعكس على انخفاض حجم الطاقة الكهربائية المولَّدة منها.

زادت الكهرباء المولَّدة بمحطة الزعفرانة من ٢١٩ مليون ك. و. س عام ٢٠٠٣ إلى ١٣٠٨ مليون ك. و. س عام ٢٠١٦ بمعدل تغير بلغ ٤٩٧,٣% خلال فترة الدراسة؛ ويرجع ذلك إلى زيادة القدرات الاسمية بمحطة رياح الزعفرانة من ٦٣ م. و إلى ٥٤٥ م. و بمعدل تغير بلغ ٧٦٥,١% خلال الفترة (٢٠٠٣–٢٠١٦) كما سبقت الإشارة، بالإضافة إلى ارتفاع متوسط معامل الإتاحية بمحطة الزعفرانة البالغ ٩٧,٣% خلال الفترة نفسها، وتَرتَّبَ على ذلك زيادة حجم الكهرباء المولَّدة بالمحطة.

بلغ حجم الطاقة الكهربائية المولَّدة بمحطة رياح خليج الزيت ٧٤٤,٤ مليون ك. و. س عام ٢٠١٦ تمثل ٣٦,٢% من إجمالي حجم الكهرباء المولَّدة من محطات الرياح بمحافظة البحر الأحمر البالغة ٢٠٥٧ مليون ك. و. س خلال العام نفسه.

وتجدر الإشارة إلى أنَّ الطاقة الكهربائية المرسلة من محطات الرياح بمحافظة البحر الأحمر إلى الشبكة الكهربائية الموحدة اقتصرت على محطة رياح الزعفرانة خلال الفترة (٢٠٠٣–٢٠١٥)؛ وذلك نظرًا لعدم ارتباط محطة رياح الغردقة بالشبكة الكهربائية الموحدة، بالإضافة إلى دخول محطة رياح خليج الزيت للتشغيل التجاري وارتباطها بالشبكة الكهربائية الموحدة عام ٢٠١٦.

ارتفعت الكهرباء المرسلة من محطة رياح الزعفرانة من ٢٠٣ مليون ك.و.س عام ٢٠٠٣ إلى ١٢٩٤,٢ مليون ك.و.س عام ٢٠١٦ بمعدل تغير بلغ ٥٣٧,٥% خلال فترة الدراسة، كما يلاحظ تذبذب نسبة الكهرباء المرسلة إلى جملة الكهرباء المولَّدة بمحطة رياح الزعفرانة خلال الفترة (٢٠٠٣–٢٠١٦)، حيث بلغت النسبة أدناها ٩٢,٧% عام ٢٠٠٣، وأقصاها ٩٨,٩% عام ٢٠١٦.

---

(١) اتضح للباحث من خلال الدراسة الميدانية لمحطة رياح الغردقة يوم ٦ أغسطس ٢٠١٨ خروج المحطة من الخدمة، نظرًا لتكهين باقي تربينات المحطة لتدني كفاءتها في إنتاج الكهرباء، وذلك لانتهاء عمرها الافتراضي.

أما بالنسبة لحجم الكهرباء المرسلة من محطة خليج الزيت فقد بلغت ٧٣٦,٨ مليون ك.و.س عام ٢٠١٦ تمثل ٩٩% من إجمالي الكهرباء المولَّدة من المحطة البالغة ٧٤٤,٤ مليون ك.و.س خلال العام نفسه، وبذلك تفوق نسبة الكهرباء المرسلة إلى جملة الكهرباء المولَّدة بمحطة خليج الزيت نظيرتها بمحطة الزعفرانة البالغة ٩٨,٩%، وكذلك تفوق المتوسط العام لمحطات الجمهورية البالغ ٩٦,٨ عام ٢٠١٦[١]؛ وذلك لحداثة تربينات المحطة، يضاف إلى ذلك ارتفاع تقنيات المحطة في إنتاج الكهرباء؛ وقد انعكس ذلك على تقليل نسبة الفقد في الكهرباء المرسل للشبكة الكهربائية الموحدة.

٣) الآثار الاقتصادية الناتجة عن توليد الكهرباء من محطات الرياح بمحافظة البحر الأحمر:

يُعَدُّ التعرف على الآثار الاقتصادية الناتجة عن توليد الكهرباء من محطات الرياح في المحافظة على قدرٍ كبيرٍ من الأهمية؛ وذلك لإمكانية مقارنةً هذا النوع من المحطات بباقي أنواع محطات الكهرباء في مصر، ويمكن دراسة الآثار الاقتصادية لمحطات الرياح بمحافظة البحر الأحمر على النحو التالي:

أ- تكلفة إنتاج الكليووات/ساعة بمحطات الرياح في محافظة البحر الأحمر مقارنةً بمحطات توليد الكهرباء في مصر:

يُمثل حساب تكلفة إنتاج الكيلووات/ساعة القاعدة الأساسية التي يَتِمُّ من خلالها المقارنة بين محطات توليد الكهرباء بمختلف أنواعها، وبالتالي تحديد أنسب هذه المحطات في دعم الشبكة الكهربائية الموحدة بكميات الكهرباء اللازمة، يضاف إلى ذلك تحديد القيمة الفعلية لإنتاج الكيلووات/ساعة حسب حالة العرض والطلب الناتجة عن التغيرات اليومية والذبذبة المصاحبة للتغير في عناصر المناخ[٢]، وبصفةٍ عامةٍ تختلف محطات الرياح من حيث تكلفة إنتاج الكهرباء حسب نوع المحطة، التي تقل بشكل واضح في محطات الرياح التي يتمُّ إنشاؤها على اليابس (On Shore Wind Technology) مقارنةً بمحطات الرياح البحرية (Off Shore Wind Technology)، ويوضح الجدول التالي تطور تكلفة إنتاج الكيلووات/ساعة بمحطات الرياح في محافظة البحر الأحمر مقارنةً بمحطات توليد الكهرباء في مصر خلال الفترة (٢٠٠٦-٢٠١٦).

---

(١) وزارة الكهرباء والطاقة، الشركة القابضة لكهرباء مصر، التقرير السنوي للإحصاءات الكهربائية، القاهرة، ٢٠١٦، ص ٢٥.

(2) Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems, Electricity cost from Renewable Energy Technologies in Egypt, Germany, December 2016, P. 5.

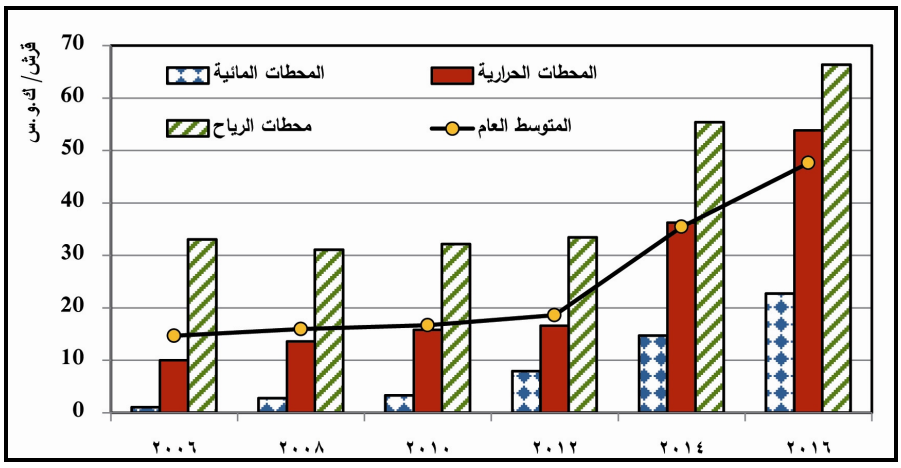
جدول (٥) : تطور تكلفة إنتاج الكيلووات/ساعة بمحطات الرياح في محافظة البحر الأحمر مقارنةً بمحطات توليد الكهرباء في مصر خلال الفترة (٢٠٠٦-٢٠١٦).

(تكلفة الإنتاج قرش/ ك.و.س)

السنة	المحطات المائية		المحطات الحرارية		محطات الرياح		المتوسط العام	
	تكلفة إنتاج ك.و.س	نسبة التغير %	تكلفة إنتاج ك.و.س	نسبة التغير %	تكلفة إنتاج ك.و.س	نسبة التغير %	تكلفة إنتاج ك.و.س	نسبة التغير %
٢٠٠٦	١,٠٣	–	١٠	–	٣٣	–	١٤,٦٧	–
٢٠٠٨	٢,٧٤	١٦٦	١٣,٦	٣٦	٣١,٠٦	-٥,٩	١٥,٩٦	٨,٨
٢٠١٠	٣,٣	٢٢٠,٤	١٥,٨	٥٨	٣٢,١١	-٢,٧	١٦,٧	١٣,٨
٢٠١٢	٧,٩	٦٦٧	١٦,٦	٦٦	٣٣,٤	١,٢	١٨,٦	٢٦,٨
٢٠١٤	١٤,٧	١٣٢٧,٢	٣٦,٢٥	٢٦٢,٥	٥٥,٣٨	٦٧,٨	٣٥,٤٤	١٤١,٦
٢٠١٦	٢٢,٦٨	٢١٠١,٩	٥٣,٨٥	٤٣٨,٥	٦٦,٣	١٠٠,٩	٤٧,٦١	٢٢٤,٥

المصدر: الجدول من إعداد الباحث اعتمادًا على:

- وزارة الكهرباء والطاقة، مركز المعلومات، القاهرة، بيانات غير منشورة، خلال الفترة (٢٠٠٦-٢٠٠٨).
- جهاز تنظيم مرفق الكهرباء وحماية المستهلك، تكلفة إنتاج ونقل وتوزيع الطاقة الكهربائية في مصر، التقرير السنوي، القاهرة، خلال الفترة (٢٠١٠-٢٠١٢).
- الجهاز المركزي للتعبئة العامة والإحصاء، النشرة السنوية لإحصاء الكهرباء والطاقة، القاهرة، خلال الفترة (٢٠١٤-٢٠١٦).



شكل (١٣) : تطور تكلفة إنتاج الكيلو وات بمحطات الرياح في محافظة البحر الأحمر مقارنةً بمحطات الكهرباء في مصر خلال الفترة (٢٠٠٦- ٢٠١٦).

من بيانات الجدول السابق والشكل (١٣) يتضح أنَّ متوسط تكلفة إنتاج الكيلووات/ساعة بمحطات توليد الكهرباء في مصر بلغ ١٤,٦٧ قرش/ك.و.س عام ٢٠٠٦ ارتفع إلى ٤٧,٦١ قرش/ك.و.س عام ٢٠١٦ بنسبة تغير بلغت ٢٢٤,٥% خلال فترة الدراسة، ويلاحظ تباين محطات توليد الكهرباء في مصر من حيث تكلفة الإنتاج حسب المصدر، التي بلغت أدناها بالمحطات المائية ١,٠٣ قرش/ك.و.س عام ٢٠٠٦ ارتفعت إلى ٢٢,٦٨ قرش/ك.و.س عام ٢٠١٦ بنسبة تغير بلغت ٢١٠١,٩% خلال فترة الدراسة؛ وعلى الرغم من انخفاض تكلفة إنتاج الكيلووات بالمحطات المائية، بالإضافة لكونها مصدر متجدد فإنَّه لا يمكن التوسع في انشائها في مصر خلال الفترات المستقبلية القادمة نظرًا لاستغلال مصر لكل نقاط فارق المنسوب على طول مجرى نهر النيل في إنشاء المحطات المائية، التي كان أخرها محطة أسيوط المائية بقدرةٍ اسميةٍ بلغت ٣٢ ميجاوات.

ارتفعت تكلفة إنتاج الكيلووات/ساعة بالمحطات الحرارية من ١٠ قروش/ك.و.س عام ٢٠٠٦ إلى ٥٣,٨٥ قرشًا/ك.و.س عام ٢٠١٦ بنسبة تغير بلغت ٤٣٨,٥% خلال فترة الدراسة، وعلى الرغم من انخفاض تكلفة إنتاج الكيلووات بالمحطات الحرارية إلاَّ أنَّ الاعتماد عليها في إنتاج الكهرباء يقل بصورةٍ واضحةٍ نظرًا لزيادة حجم الانبعاثات الغازية الناتجة عنها لاعتمادها على الوقود الأحفوري، بالإضافة إلى ذلك تتزايد أسعار الوقود بصفةٍ مستمرة في مصر؛ ويرجع السبب في ذلك إلى تحرير سعر الصرف للعملات الأجنبية وتبني الدولة سياسة رفع الدعم عن الوقود والوصول به إلى الأسعار العالمية.

بلغت تكلفة إنتاج الكيلووات/ساعة أقصاها بمحطات الرياح، والتي ارتفعت من ٣٣ قرشًا عام ٢٠٠٦ إلى ٦٦,٣ قرشًا عام ٢٠١٦ بنسبة تغير بلغت ١٠٠,٩% خلال فترة الدراسة، وعلى الرغم من

ارتفاع تكلفة الإنتاج بمحطات الرياح فإنَّها تُعَدُّ أهم المصادر المستقبلية لإنتاج الكهرباء في مصر؛ وذلك بسبب تناقص كميات الاحتياطي من الوقود الحفري لزيادة الطلب عليه في توليد الكهرباء؛ وذلك لمواجهة متطلبات النمو السكاني وارتفاع مستويات المعيشة، حيث بلغ إجمالي القدرات الاسمية المخطط ربطها بالشبكة الكهربائية من محطات الرياح في مصر ٧٢٠٠ ميجاوات عام ٢٠٢٠.

ب- الوفر في الوقود المستهلك :

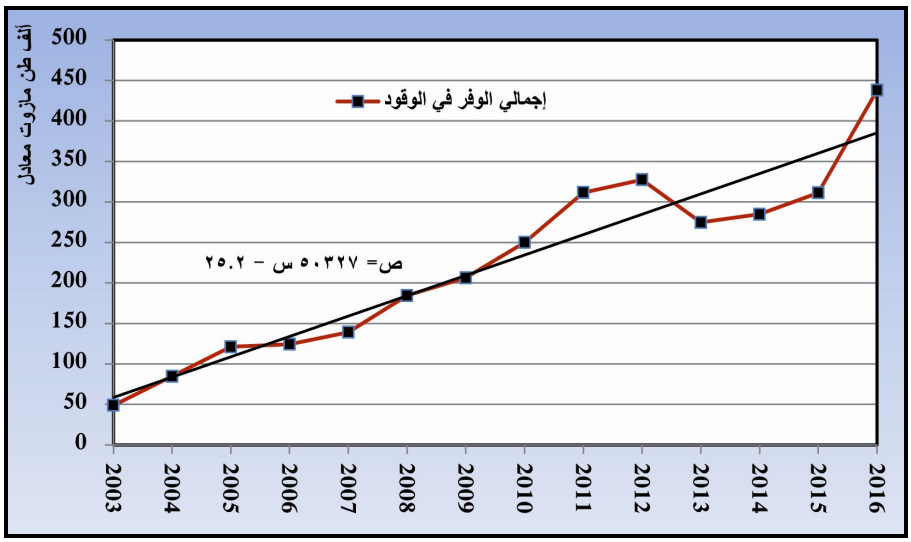
يُمثل تحقيق الوفر في الوقود المستهلك أهم الآثار الاقتصادية الناتجة عن توليد الكهرباء من محطات الرياح بمحافظة البحر الأحمر؛ وذلك لأنَّها تعتمد على مصدرٍ متجددٍ يتمثل في سرعة الرياح، ويوضح الجدول التالي الوفر في الوقود الناتج عن توليد الكهرباء من محطات الرياح بمحافظة البحر الأحمر خلال الفترة (٢٠٠٣-٢٠١٦).

جدول (٦) : الوفر في الوقود الناتج عن توليد الكهرباء من محطات الرياح بمحافظة البحر الأحمر خلال الفترة (٢٠٠٣- ٢٠١٦).

(ألف طن مازوت معادل)

السنة	محطة الغردقة	محطة الزعفرانة	محطة خليج الزيت	الإجمالي	نسبة التغير %
٢٠٠٣	٢,٢	٤٦,٧	–	٤٨,٩	–
٢٠٠٤	٢	٨٢,٧	–	٨٤,٧	٧٣,٢
٢٠٠٥	٢,٢	١١٨,٩	–	١٢١,١	١٤٧,٦
٢٠٠٦	٢	١٢٢,٣	–	١٢٤,٣	١٥٤,٢
٢٠٠٧	١,٨	١٣٧,٣	–	١٣٩,١	١٨٤,٥
٢٠٠٨	١,٥	١٨٢,٩	–	١٨٤,٤	٢٧٧,١
٢٠٠٩	١,٥	٢٠٤,٨	–	٢٠٦,٣	٣٢١,٩
٢٠١٠	١,٥	٢٤٨,٤	–	٢٤٩,٩	٤١١
٢٠١١	١,٤	٣١٠,٣	–	٣١١,٧	٥٣٧,٤
٢٠١٢	١,٤	٣٢٦	–	٣٢٧,٤	٥٦٩,٥
٢٠١٣	١,١	٢٧٣,٧	–	٢٧٤,٨	٤٦٢
٢٠١٤	١,١	٢٨٣,٨	–	٢٨٤,٩	٤٨٢,٦
٢٠١٥	١,١	٣١٠,٢	–	٣١١,٣	٥٣٦,٦
٢٠١٦	١	٢٧٨,٥	١٥٨,٥	٤٣٨	٧٩٥,٧

المصدر: الجدول من إعداد الباحث اعتمادًا على: وزارة الكهرباء والطاقة، هيئة الطاقة الجديدة والمتجددة، التقارير السنوية للأعوام المذكورة.



شكل (١٤) : الوفر في الوقود الناتج عن توليد الكهرباء من محطات الرياح بمحافظة البحر الأحمر خلال الفترة (٢٠٠٣-٢٠١٦).

من تحليل الجدول السابق والشكل (١٤) تتضح الحقائق الآتية:

١- بلغت كميات الوفر في الوقود الناتج عن توليد الكهرباء من محطات الرياح بمحافظة البحر الأحمر ٤٣٨ ألف طن مازوت معادل عام ٢٠١٦ بنسبة ١,٢% من جملة الوقود المستهلك بالمحطات الحرارية في مصر البالغ ٣٦١٨٨,٦ ألف طن مازوت معادل خلال العام نفسه.

٢- ارتفعت كميات الوفر في الوقود الناتج عن توليد الكهرباء من محطات الرياح في محافظة البحر الأحمر من ٤٨,٩ ألف طن مازوت معادل عام ٢٠٠٣ إلى ٤٣٨ ألف طن عام ٢٠١٦ بمعدل تغير بلغ ٧٩٥,٧ خلال فترة الدراسة أي بمعدل نمو سنوي بلغ ٥٦,٨%؛ ويُعزى ذلك إلى زيادة الكهرباء المولَّدة من محطات الرياح بالمحافظة بمعدل ٨٣٩,٣% خلال الفترة (٢٠٠٣-٢٠١٦).

٣- كما يلاحظ تباين محطات الرياح بالمحافظة من حيث الوفر في كميات الوقود، حيث بلغ الوفر في الوقود المستهلك بمحطة رياح الغردقة ٢,٢ ألف طن عام ٢٠٠٣ انخفض إلى ألف طن عام ٢٠١٦ بمعدل تغير بلغ (- ١٢٠%)؛ ويرجع السبب في ذلك إلى تناقص حجم الكهرباء المولَّدة من المحطة نظرًا لتقادم معداتها بمعدل انخفاض بلغ (-٥٤%) خلال الفترة (٢٠٠٣-٢٠١٦).

٤- وفي المقابل بلغ حجم الوفر في الوقود بمحطة رياح الزعفرانة ٤٦,٧ ألف طن مازوت عام ٢٠٠٣ ارتفع إلى ٢٧٨,٥ ألف طن عام ٢٠١٦ بنسبة تغير بلغت ٤٩٦,٤% خلال فترة الدراسة؛ ويرجع ذلك إلى زيادة حجم الكهرباء المولَّدة بالمحطة بمعدل ٤٩٧,٣% خلال الفترة (٢٠٠٣-٢٠١٦).

٥- بلغ الوفر في الوقود المستهلك بمحطة خليج الزيت ١٥٨,٥ ألف طن مازوت تمثل ٣٦,٢% من إجمالي الوفر في الوقود بمحطات الرياح في المحافظة البالغ ٤٣٨ ألف طن مازوت عام ٢٠١٦.

ويتضح مما سبق توافق كميات الوفر في الوقود مع زيادة أو نقص الكهرباء المولَّدة بمحطات الرياح في محافظة البحر الأحمر، وبحساب معامل الارتباط بين كميات الوفر في الوقود المستهلك وحجم الكهرباء المولَّدة بمحطات الرياح في المحافظة تبيَّن وجود علاقة ارتباط طرديَّة قويَّة موجبة بلغ مقدارها (٠,٩٩)؛ أي أنَّه كلَّما زادت كمية الكهرباء المولَّدة كلَّما زاد الوفر في الوقود المستهلك، والعكس.

ج- الآثار البيئية الناتجة عن توليد الكهرباء من محطات الرياح بمحافظة البحر الأحمر :

يُعَدُّ الاعتماد على محطات الرياح في إنتاج الكهرباء من الأهمية بمكانٍ؛ وذلك لأنَّها لا تُحمِّل الغلاف الجوي بالمواد الكيميائية السامة كما هو الحال بالمحطات التقليدية التي تعتمد على الوقود الأحفوري، ومما يزيد من أهمية الاعتماد على محطات الرياح في إنتاج الكهرباء عدم القدرة على ضبط كمية الانبعاثات الغازية الناتجة عن المحطات التقليدية، فعلى الرغم من إزالة ٩٠% من ثاني أكسيد الكبريت من مداخن المحطات التقليدية فإنَّها لا تزال أعلى من الحد المطلوب[(١)]، بالإضافة إلى زيادة تَركُّز غاز ثاني أكسيد الكربون في الجو، الذي يُعَدُّ مسئولاً عن ٥٠% من أسباب ظاهرة الاحتباس الحراري[(٢)]، ويوضح الجدول التالي تطور الانبعاثات الغازية التي تَمَّ الحد منها لإنتاج الكهرباء من محطات الرياح بمحافظة البحر الأحمر خلال الفترة (٢٠٠٣-٢٠١٦).

(1) Sathyajith Mathew, Wind Energy Fundamentals, Resource Analysis and Economics, Springer, Berlin, 2006, P. 180

(٢) حسين عبد الله: اقتصاديات الطاقة في مصر، أكاديمية البحث العلمي والتكنولوجيا، القاهرة، ١٩٩٢، ص ٩.

جدول (٧) : تطور الانبعاثات الغازية التي تَمَّ الحد منها لإنتاج الكهرباء من محطات الرياح بمحافظة البحر الأحمر خلال الفترة (٢٠٠٣-٢٠١٦).

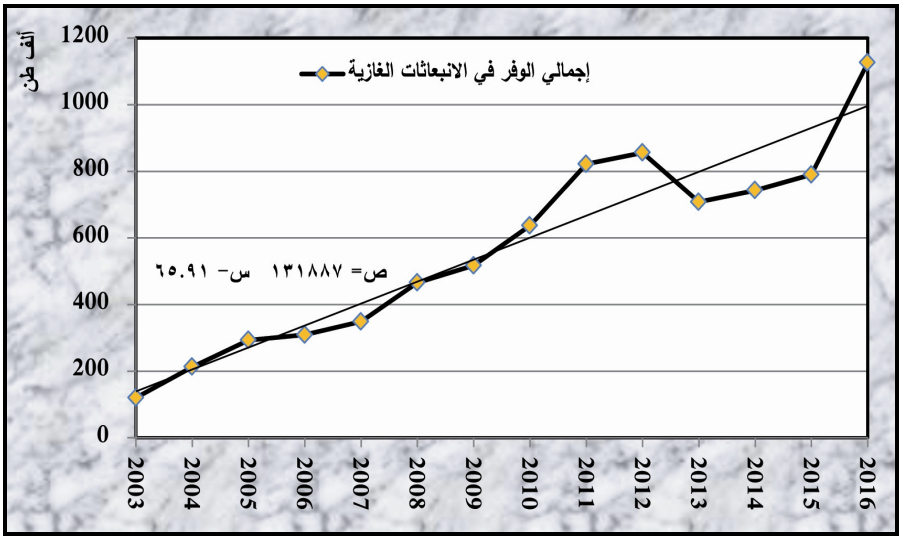
(ألف طن)

السنة	محطة الغردقة	محطة الزعفرانة	محطة خليج الزيت	الإجمالي	نسبة التغير %
٢٠٠٣	٥,٤	١١٤,٦	–	١٢٠	–
٢٠٠٤	٥	٢٠٨	–	٢١٣	٧٧,٥
٢٠٠٥	٥,٤	٢٨٧,٦	–	٢٩٣	١٤٤,٢
٢٠٠٦	٥	٣٠٤	–	٣٠٩	١٥٧,٥
٢٠٠٧	٤,٥	٣٤٤,٥	–	٣٤٩	١٩٠,٨
٢٠٠٨	٣,٨	٤٦٢,٢	–	٤٦٦	٢٨٨,٣
٢٠٠٩	٣,٨	٥١٣,٢	–	٥١٧	٣٣٠,٨
٢٠١٠	٣,٨	٦٣٣,٢	–	٦٣٧	٤٣٠,٨
٢٠١١	٣,٧	٨١٨,٣	–	٨٢٢	٥٨٥
٢٠١٢	٣,٧	٨٥٢,٣	–	٨٥٦	٦١٣,٣
٢٠١٣	٢,٨	٧٠٥,٢	–	٧٠٨	٤٩٠
٢٠١٤	٢,٨	٧٤٠,٢	–	٧٤٣	٥١٩,٢
٢٠١٥	٢,٨	٧٨٧,٢	–	٧٩٠	٥٥٨,٣
٢٠١٦	٢,٦	٧١٦,١	٤٠٧,٣	١١٢٦	٨٣٨,٣

المصدر: الجدول من إعداد الباحث اعتمادًا على: وزارة الكهرباء والطاقة، هيئة الطاقة الجديدة والمتجددة، التقارير السنوية للأعوام المذكورة.

من بيانات الجدول السابق والشكل (١٥) يتضح أنَّ إجمالي كميات الوفر في الانبعاثات الغازية بلغ ١٢٠ ألف طن عام ٢٠٠٣ ارتفعت إلى ١١٢٦ ألف طن عام ٢٠١٦ بنسبة تغير بلغت ٨٣٨,٣% خلال فترة الدراسة؛ ويرجع السبب في ذلك إلى زيادة كميات الوفر في الوقود الناتج عن زيادة حجم الكهرباء المولَّدة من محطات الرياح بمحافظة البحر الأحمر.

بلغ الوفر في الانبعاثات الغازية بمحطة الغردقة ٥,٤ ألف طن عام ٢٠٠٣ انخفض إلى ٢,٦ ألف طن عام ٢٠١٦ بنسبة تغير بلغت (-٥١,٩%) خلال فترة الدراسة؛ وذلك بسبب انخفاض الوفر في الوقود الناتج عن انخفاض حجم الكهرباء المولَّدة من المحطة خلال الفترة (٢٠٠٣-٢٠١٦).



شكل (١٥) : تطور الانبعاثات الغازية التي تَمَّ الحد منها لإنتاج الكهرباء من محطات الرياح بمحافظة البحر الأحمر خلال الفترة (٢٠٠٣-٢٠١٦).

على الرغم من ارتفاع كمية الوفر في الانبعاثات الغازية بمحطة رياح الزعفرانة من ١١٤,٦ ألف طن عام ٢٠٠٣ إلى ٧١٦,١ ألف طن عام ٢٠١٦ بنسبة تغير بلغت ٥٢٤,٩% خلال فترة الدراسة فإنَّها اتسمت بالتذبذب الواضح من عام إلى آخر، حيث بلغت كمية الوفر في الانبعاثات الغازية بمحطة رياح الزعفرانة أقصاها ٨٥٢,٣ ألف طن عام ٢٠١٢؛ ويُعزى ذلك إلى زيادة حجم الكهرباء المولَّدة والتي بلغت أقصاها ١٥٥٧ مليون ك.و.س خلال العام نفسه؛ وقد انعكس ذلك على زيادة كمية الوفر في الوقود المستهلك وبالتالي زيادة الوفر في الانبعاثات الغازية.

وتجدر الإشارة إلى إنَّه يوجد توافق كبير بين الوفر في الانبعاثات الغازية وحجم الكهرباء المولَّدة، والوفر في الوقود، وبحساب معامل الارتباط بين الحد من الانبعاثات الغازية وحجم الكهرباء المولَّدة، والوفر في الوقود، تبين وجود علاقة ارتباط طرديَّة قويَّة موجبة بلغ مقدارها (٠,٩٩) لكلٍ منهم؛ أي أنَّه كلَّما زادت الكهرباء المولَّدة كلَّما زاد الوفر في الوقود، وزاد الحد من الانبعاثات الغازية، والعكس.

ثالثًا – مشكلات إنتاج الكهرباء من محطات الرياح في محافظة البحر الأحمر :

يمكن دراسة المشكلات التي تواجه محطات الرياح بالمحافظة من جانبين هما:

١) مشكلات تتعلق بمحطات الرياح القائمة في المحافظة :

تتعرض محطات الرياح بالمحافظة لمجموعةٍ من المشكلات أهمها:

أ- انخفاض معاملات التشغيل بمحطات الرياح بالمحافظة مقارنةً بباقي محطات توليد الكهرباء على مستوى الجمهورية، حيث بلغ معامل الحمل بمحطات الرياح ٣٧%، في حين بلغ معامل الحمل بالمحطات الحرارية، والمحطات المائية على مستوى الجمهورية (٦٨%، ٥٣,٤%) لكلٍ منهما على الترتيب، كما بلغ معامل السعة بمحطات الرياح بالمحافظة ٣٤%، وفي المقابل بلغ معامل السعة بالمحطات المائية والمحطات الحرارية على مستوى الجمهورية (٥٢,٤%، ٤٣%) لكلٍ منهما على الترتيب؛ وقد ترتَّب على تدني معاملات التشغيل بمحطات الرياح بالمحافظة انخفاض حجم الطاقة الكهربائية المولدة منها مقارنةً بنظيرها من المحطات على مستوى الجمهورية.

وللتغلب على هذه المشكلة يُوصى بضرورة العمل على تكثيف عمليات الصيانة المبرمجة، بالإضافة إلى المراقبة الدقيقة لتربينات الرياح، والتقييم المستمر لكفاءتها في تحويل الطاقة الكهربائية؛ وذلك لاكتشاف الأعطال فور حدوثها ومعالجتها، ويترتَّب على ذلك رفع معاملات التشغيل بمحطات الرياح وزيادة حجم الكهرباء المولَّدة منها.

ب- نظرًا لاختلاف سرعة الرياح من شهر إلى آخر خلال العام، بل واختلافها من ساعة إلى أخرى خلال اليوم الواحد فقد كان لذلك أكبر الأثر في تذبذب حجم الطاقة الكهربائية المولَّدة من تلك المحطات؛ وقد ترتَّب على ذلك عدم صلاحية محطات الرياح لمجابهة أحمال الذروة.

ولحل هذه المشكلة يمكن الاعتماد على محطات الرياح في إنتاج الطاقة الكهربائية بالتكامل مع المحطات الحرارية، والمحطات المائية من خلال الاعتماد على محطات الرياح في الأوقات التي تتميز بزيادة سرعات الرياح، ورفع معاملات التشغيل بها لتحقيق الاستفادة القصوى منها في إنتاج الكهرباء.

ج- ترتَّب على وقوع محطات الرياح في المناطق الصحراوية غير المأهولة تعرضها لتراكم الأتربة والرمال على أجنحة التربينات، ويترتَّب على ذلك اعاقة حركة التربينة أثناء عمليات التشغيل، بالإضافة إلى ترسب الأتربة الدقيقة داخل صندوق التروس، وينعكس على ذلك انخفاض كفاءة التربينة في إنتاج الكهرباء.

وللتغلب على هذه المشكلة يُوصى بضرورة الاهتمام بتكثيف عمليات الصيانة الدورية والصيانة المبرمجة؛ الأمر الذي يترتَّب عليه رفع كفاءة تربينات الرياح في إنتاج الطاقة الكهربائية.

٢) مشكلات تتعلق بالتوسع في إنشاء محطات الرياح بالمحافظة :

توجد مجموعة من المشكلات التي تتعلق بالتوسع في إنشاء محطات الرياح بالمحافظة وأهمها:

أ- تمتد محافظة البحر الأحمر بوجه عام من الشمال الغربي إلى الجنوب الشرقي، وتأخذ المحافظة شكلاً طوليًا، حيث يبلغ طولها ٥٨٥ كم، وقد ترتَّب على ذلك انخفاض ملائمة الأجزاء الوسطى والجنوبية من المحافظة لإنشاء محطات الرياح؛ نظرًا لاعتمادها على محطات الديزل المتنقلة وخلوها من شبكة نقل الكهرباء، ومما يزيد من صعوبة المشكلة ارتفاع التكلفة اللازمة لإنشاء شبكات نقل الكهرباء لربط المحافظة بالشبكة الكهربائية الموحدة، بالإضافة إلى زيادة نسب الفقد وعمليات صيانة الشبكة التي تزيد بزيادة طول مسافة نقل الكهرباء.

وللتغلب على هذه المشكلة يُوصى بإنشاء محطات الرياح ذات السعة التصميمية الصغيرة بالأجزاء الجنوبية من المحافظة؛ لتكفي حاجة الاستهلاك بتلك المناطق، في حين يراعى إنشاء المحطات المركزية التي تتميز بزيادة سعاتها التصميمية بالأجزاء الشمالية من المحافظة، والتي تتميز بقربها من الشبكة الكهربائية القائمة؛ وذلك لتوفير النفقات اللازمة لربط المحطة بالشبكة الكهربائية الموحدة، بالإضافة إلى تقليل نسب الفقد في الكهرباء المنقولة.

ب- تشغل المحميات الطبيعية مساحات كبيرة بمحافظة البحر الأحمر وبخاصةٍ الأجزاء الجنوبية منها، حيث بلغ إجمالي مساحتها ٦١٨٠٠ كم٢ تمثل ٥١,٩% من إجمالي مساحة المحافظة الكلية البالغة ١١٩٠٩٩ كم٢[(١)]؛ ويؤثر ذلك بشكلٍ واضحٍ في إنشاء محطات الرياح بالمحافظة؛ وذلك نظرًا لطبيعة المحميات الطبيعية التي تتطلب إجراءات خاصة في عملية إقامة منشآت محطات الرياح ومد الشبكات الكهربائية؛ وذلك للحفاظ على الأحياء النباتية والحيوانية الموجودة بداخلها.

ولحل هذه المشكلة يوصي بضرورة العمل على إنشاء محطات الرياح بالمحافظة بعيدًا عن المناطق الحيوية التي تضم الكائنات الحية والنباتات المهددة بالانقراض داخل المحميات الطبيعية؛ وبذلك يتمُّ تحقيق الاستفادة القصوى من هذه المساحات الكبيرة داخل المحميات الطبيعية.

---

(١) تضم المحافظة ثلاث محميات طبيعية هي: محمية جبل علبة: أعلنت كمحمية طبيعية عام ١٩٨٦ وتبلغ مساحتها ٣٥٦٠٠ كم٢، ومحمية وادي العلاقي: أعلنت كمحمية طبيعية عام ١٩٨٩ تبلغ مساحتها الكلية ٣٠٠٠٠ كم٢، وتبلغ مساحتها الواقعة ضمن حدود المحافظة ١٨٧٥٠ كم٢، محمية وادي الجمال: اعلنت كمحمية طبيعية عام ٢٠٠٣، وتبلغ مساحتها ٧٤٥٠ كم٢، يراجع في ذلك: وزارة شئون البيئة، جهاز شئون البيئة، قطاع حماية الطبيعة، المحميات الطبيعية، ٢٠١٨.

ج- تتعرض محافظة البحر الأحمر للأخطار الطبيعية المتمثلة في الزلازل، والتي تختلف في قوتها والآثار المترتبة عليها من منطقةٍ إلى أخرى، والتي بلغت أدناها ٣ درجات بمقياس ريختر في الأجزاء الجنوبية من المحافظة، وأقصاها ٧ درجات بمركز الغردقة والأجزاء الجنوبية من مركز رأس غارب(١)؛ ومما يزيد من صعوبة المشكلة زيادة قوة الزلازل في الأجزاء الشمالية من المحافظة التي تتوطن بها محطات الرياح القائمة بالمحافظة؛ وقد ينعكس على ذلك الحاق الضرر بأبراج الرياح حال تعرضها للزلازل القوية.

وللتغلب على هذه المشكلة يجب دراسة تأثير قوة الزلازل على الأبراج الحاملة للتربينات والأخذ في الاعتبار زيادة مساحة القاعدة الخراسانية التي ترتكز عليها تلك الأبراج بشكلٍ يمكنها من مواجهة الزلازل المحتمل حدوثها بموضع المحطة، وتَمَّ أخذ ذلك في الاعتبار عند إنشاء محطة خليج الزيت، حيث بلغ سمك القاعدة الخراسانية التي ترتكز عليها أبراج الرياح ٢,٥ متر وبمساحة تبلغ ٤٠٠ متر مربع؛ وقد انعكس ذلك على حمايتها من الأخطار الناتجة عن الزلازل بموضع المحطة.

د- زيادة تكلفة إنشاء محطات الرياح مقارنةً بالمحطات التقليدية، حيث بلغت تكلفة إنشاء محطات الرياح ١٨٨٤ دولار/كيلووات من القدرة الاسمية المُركَّبة عام ٢٠١٦ كما سبقت الإشارة، بينما بلغ متوسط تكلفة المحطات التقليدية (الغازية، والبخارية، والدورة المُركَّبة) ١٠٦٠ دولار/كيلووات من القدرة الاسمية المُركَّبة(٢)؛ ولذلك يُعَدُّ ارتفاع تكلفة إنشاء محطات الرياح من أهم المشكلات التي تعوق عملية التوسع في إنشاء محطات الرياح بالمحافظة.

ولمواجهة هذه المشكلة يُوصى بضرورة العمل على طرح إنشاء محطات الرياح بالمحافظة كمناقصات للمستثمرين المحليين والأجانب، بما يسمح للقطاع الخاص إنشاء هذه المحطات وتشغيلها مع الالتزام بضخ الكهرباء المولَّدة منها في الشبكة الكهربائية الموحدة.

---

(١) الهيئة العامة للتخطيط العمراني، المنظور البيئي لاستراتيجية التنمية العمرانية لإقليم جنوب الصعيد، مرجع سبق ذكره، ص ١٠٨.

(2) National Renewable Energy Laboratory, Cost and Performance Data for Power Generation Technologies, Cost Report, Washington, U.S.A, 2016.

رابعًا – مستقبل طاقة الرياح في محافظة البحر الأحمر :

يمكن التعرف على مستقبل طاقة الرياح بالمحافظة على النحو التالي:

بلغت مساحة الأراضي المخصصة لإنشاء محطات الرياح بمنطقة خليج السويس في محافظة البحر الأحمر ١٢٢٠ كم٢ تمثل ٢١,٤% من إجمالي مساحة الأراضي المخصصة لإنشاء محطات الرياح على مستوى الجهورية البالغة ٥٦٩٧ كم٢، ويبلغ حجم القدرات الاسمية المخطط إنشاؤها بالمحافظة ٣٥٥٠ ميجاوات تمثل ١٠,٩% من إجمالي القدرات الاسمية المخطط إنشاؤها على مستوى الجمهورية البالغة ٣٢٧٠٠ ميجاوات، وتنقسم محطات الرياح التي سيتم إنشاؤها في المحافظة إلى نوعين هما:

١) المحطات الحكومية :

بلغ عدد المحطات الحكومية المخطط دخولها للإنتاج بمحافظة البحر الأحمر خلال الفترة (٢٠١٧-٢٠٢٢) خمس محطات تبلغ إجمالي قدرتها الاسمية ٩٤٠ ميجاوات تمثل ٢٦,٥% من إجمالي القدرات الاسمية المخطط إنشاؤها بالمحافظة خلال الفترات المستقبلية القادمة البالغة ٣٥٥٠ ميجاوات، ويمكن تناول هذه المحطات كما يلي:

أ- **محطة جبل الزيت المرحلة الثانية :** تتكون المحطة من ١١٠ تربينة تبلغ قدرة التربينة الواحدة ٢ ميجاوات، وبذلك تبلغ القدرة الاسمية الإجمالية للمحطة ٢٢٠ ميجاوات، وسيتم إنشاء المحطة من خلال التعاون المشترك بين هيئة الطاقة الجديدة والمتجددة واليابان، وتبلغ التكلفة الإجمالية للمحطة ٣٠٨ مليون يورو.

ب- **محطة جبل الزيت المرحلة الثالثة :** تضم المحطة ٦٠ تربينة تبلغ إجمالي قدرتها الاسمية ١٢٠ ميجاوات، وسيتم إنشاء المحطة من خلال التعاون المشترك بين هيئة الطاقة الجديدة والمتجددة والحكومة الإسبانية بتكلفةٍ إجماليةٍ بلغت ١٢٠ مليون يورو.

ج- **محطات رياح خليج السويس :** يتكون المشروع من ثلاث محطات تبلغ قدرة المحطة ٢٠٠ ميجاوات؛ وبذلك تبلغ القدرة الاسمية الإجمالية لهذه المحطات ٦٠٠ ميجاوات، ويمكن تناول هذه المحطات كما يلي:

- **محطة خليج السويس (١):** وسيتم إنشاء المحطة من خلال التعاون المشترك بين هيئة الطاقة الجديدة والمتجددة وشركة مصدر الإمارتية، وبلغت التكلفة الإجمالية للمحطة ٤٤٠ مليون دولار.
- **محطة خليج السويس(٢):** من المخطط إنشاؤها من خلال التعاون بين هيئة الطاقة الجديدة والمتجددة والشركاء الأوربيون (بنك التعمير الألماني، وبنك الاستثمار الأوربي، والوكالة الفرنسية، والاتحاد الأوربي)، بتكلفةٍ إجماليةٍ بلغت ٢٨٠ مليون يورو.

- **محطة خليج السويس (٣):** سيتم إنشاء المحطة من خلال التعاقد بين هيئة الطاقة الجديدة والمتجددة والوكالة الفرنسية للتنمية، وبنك التعمير الألماني، وبلغت تكلفة إنشاء المحطة ٢٨٠ مليون يورو.

٢) محطات القطاع الخاص :

بلغ عدد محطات الرياح التي سيتم إنشاؤها من خلال تمويل القطاع الخاص بنظام (BOOT) محطتين بمنطقة خليج السويس بمحافظة البحر الأحمر بقدراتٍ اسميةٍ بلغت ٧٥٠ ميجاوات، وتعتمد هذه المحطات على إنشاء القطاع الخاص لتلك المحطات وتملكها مع الالتزام ببيع الطاقة الكهربائية المولَّدة منها إلى الشركة المصرية لنقل الكهرباء لمدة ٢٥ عام.

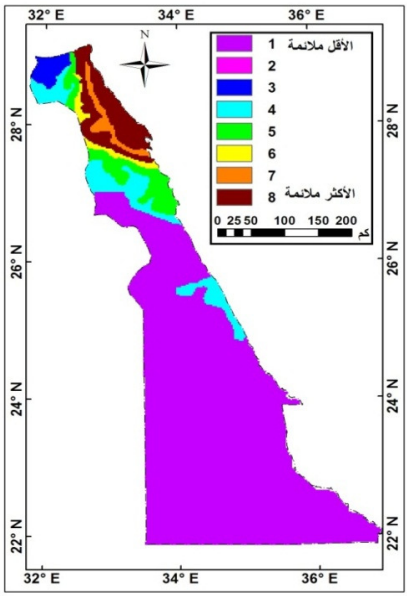
خامسًا – تحديد أنسب المناطق الملائمة لإنشاء محطات الرياح بمحافظة البحر الأحمر :

تهدف هذه المرحلة إلى تحديد أنسب المناطق لإنشاء محطات الرياح في محافظة البحر الأحمر من خلال تصميم (GIS Model)؛ وذلك وفقًا لمجموعةٍ من المعايير التي تمثل المقومات الجغرافية لإنشاء محطات الرياح بمنطقة الدراسة، وتَمَّ إجراء هذا النموذج من خلال عدة مراحل هي:

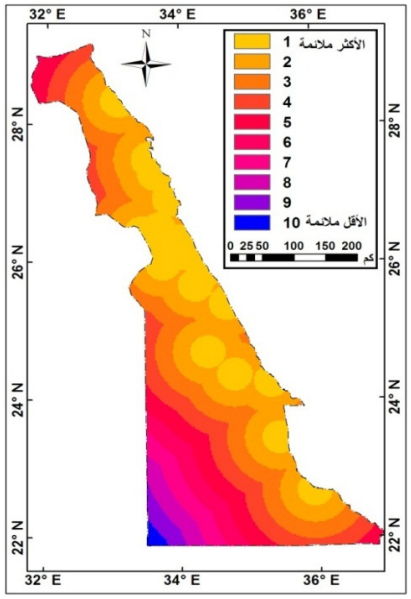
١) مرحلة بناء قاعدة البيانات الجغرافية :

تتمثل هذه المرحلة في تحديد الطبقات اللازمة لإنشاء النموذج الرقمي، ويمكن تقسيم مقومات إنشاء محطات الرياح في المحافظة حسب تأثيرها في تحديد البيانات التي تَمَّ إدخالها في قاعدة البيانات الجغرافية على النحو التالي:

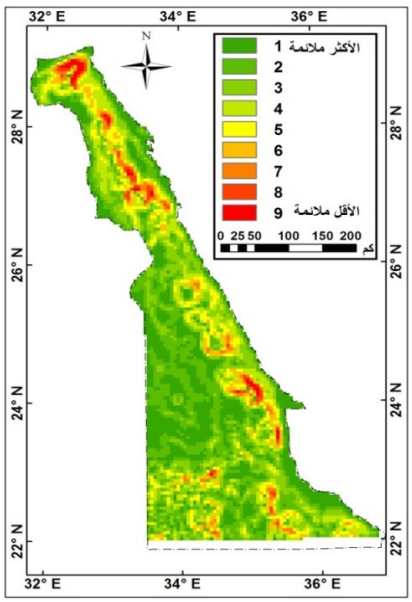
- **المقومات الطبيعية :** وتتمثل في ضرورة اختيار المناطق التي تتميز بزيادة المتوسط السنوي لسرعة الرياح، والتي تَمَّ تحديدها من خلال خريطة سرعة الرياح بالمحافظة (شكل ٢)، بالإضافة إلى تحديد المناطق المستوية لسهولة تركيب تربينات الرياح من خلال نموذج الارتفاعات الرقمية.
- **المقومات الاقتصادية :** وتهدف إلى تحديد المناطق التي تتميز بقربها من الشبكة الكهربائية الموحدة (شكل ٣)، وكذلك القرب من شبكة الطرق (شكل ٤)؛ وذلك للاستفادة منها في خفض التكلفة الإجمالية لإنشاء محطات الرياح بالمحافظة.
- **الأخطار الطبيعية :** وتكمن أهميتها في اختيار المناطق التي تتميز ببعدها عن الأخطار الطبيعية التي يصعب السيطرة عليها، وتمثل تهديدًا كبيرًا لمكونات محطات الرياح وبخاصةٍ الأبراج الحاملة للتربينات مثل: الصدوع (شكل ٥)، والتكوينات الرملية (شكل ٦)، والأودية الجافة (شكل ٧).



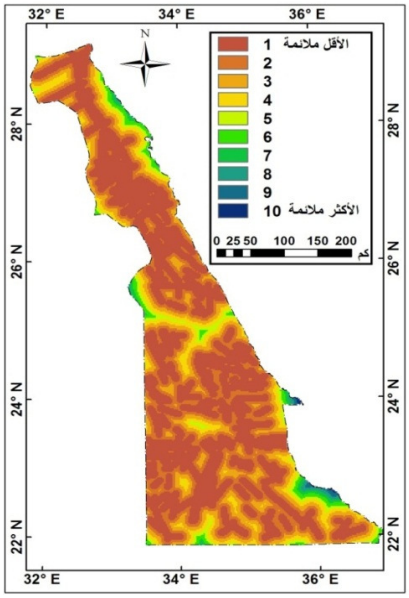
شكل (١٦) : المتوسط السنوي لسرعة الرياح.



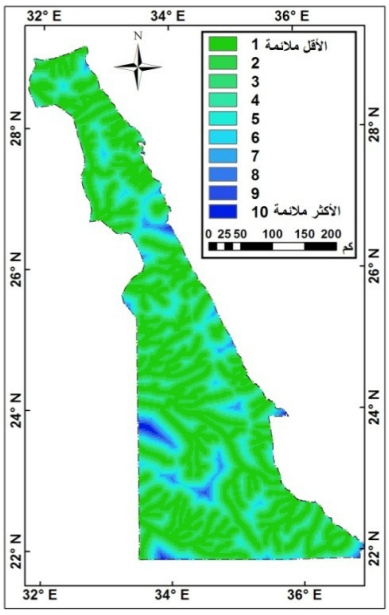
شكل (١٧) : نطاقات التباعد حول المناطق المأهولة.



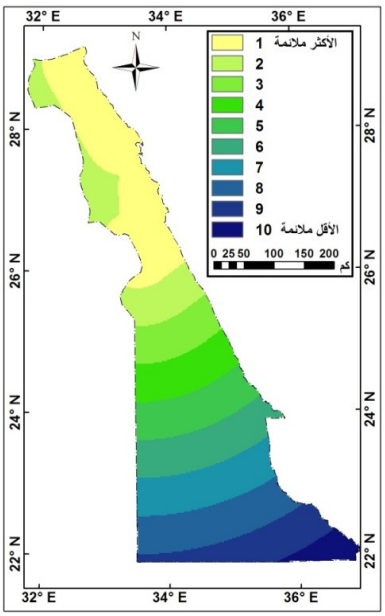
شكل (١٨) : نموذج الارتفاعات الرقمية.



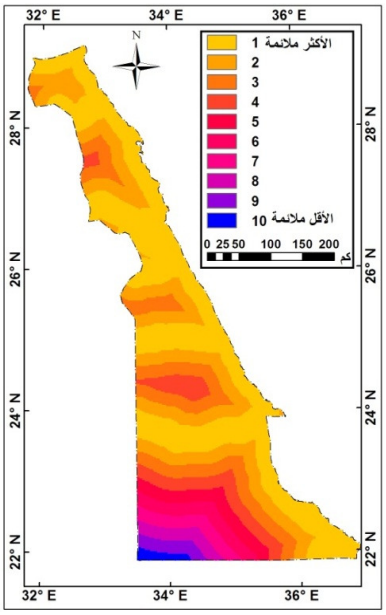
شكل (١٩) : نطاقات التباعد حول الصدوع.



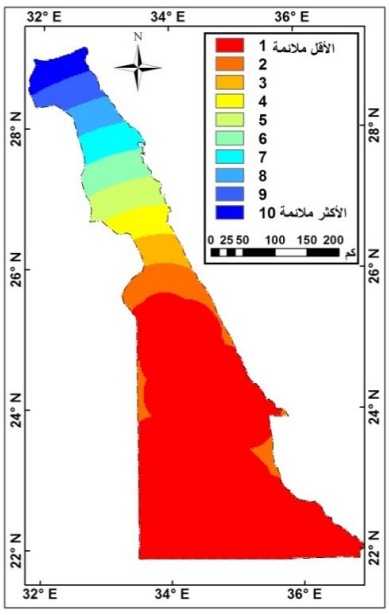
شكل (٢٠) : نطاقات التباعد حول الأودية الجافة.



شكل (٢١) : نطاقات التباعد حول الشبكة الكهربائية.



شكل (٢٢) : نطاقات التباعد حول شبكة الطرق.



شكل (٢٣) : نطاقات التباعد حول الكثبان الرملية.

٢) مرحلة قياس المسافات :

وتختص هذه المرحلة بإنتاج الخرائط الوسيطة التي سيتم الاعتماد عليها في إعداد النموذج الرقمي؛ وذلك من خلال عدة إجراءات يمكن توضيحها على النحو التالي:

- تحويل خريطة المتوسط السنوي لسرعة الرياح بالمحافظة من النوع الخطي (Vector) إلى النوع الرقمي (Raster)، وذلك من خلال أداة (Feature to Raster)، وذلك لتوحيد نوع الطبقات التي يَتِمُّ استخدامها في النموذج الرقمي.
- تصميم خريطة انحدار سطح الأرض في المحافظة (slop)، من خلال تحويل الخريطة الكنتورية للمحافظة إلى (Tin)، وذلك باختيار أداة (Create Tin)، ثم تحويلها إلى (Raster) من خلال اختيار (Tin to Raster)، ثم تحويلها إلى (Slop) من خلال (Surface).
- إنشاء خريطة نطاقات التباعد حول المناطق المأهولة، والصدوع، وشبكة الأودية الجافة، والشبكة الكهربائية، وشبكة الطرق، والتكوينات الرملية، في محافظة البحر الأحمر، وذلك بعمل تحليل مكاني (Spatial Analysis) من خلال اختيار (Euclidean Distance).

٣) مرحلة إعادة التصنيف :

خصصت هذه المرحلة لإعادة تصنيف القيم داخل طبقات (Raster)؛ وذلك لأنَّ القيم المصنفة تكون أكثر دلالة من القيم غير المصنفة؛ لذلك تَمَّ عمل إعادة تصنيف لجميع الطبقات المستخدمة، وذلك لتوحيد عدد التصنيفات (Classes) بالطبقات المستخدمة في إعداد النموذج، وتَمَّ ذلك باستخدام (Reclass) واختيار أداة (Reclassify).

مرحلة التطابق الموزون:

وتهدف هذه المرحلة إلى ترتيب الطبقات المستخدمة في إعداد النموذج الرقمي، وتحديد مدى أهميتها في إعداد هذا النموذج؛ لذلك تَمَّ تحديد أهمية كل طبقة على حدة بحيث يكون مجموع درجة الأهمية النسبية لتلك الطبقات مجتمعة ١٠٠%، وهذا ما يوضحه الجدول التالي:

يتضح من الجدول التالى أنَّ إجمالي عدد الطبقات المستخدمة في النموذج ثماني طبقات تختلف فيما بينها من حيث الأهمية، حيث بلغت أقصاها بطبقة المتوسط السنوي لسرعة الرياح في المحافظة؛ وذلك نظرًا لتحكمها في تحديد حجم الكهرباء المولَّدة، وأدناها بطبقة التكوينات الرملية؛

وذلك لأنَّها تمثل غطاء رقيق فوق الأراضي الصخرية، ولا ترقى في تأثيرها على تربينات الرياح إلى الكثبان الرملية كبيرة الحجم التي تعوق إنتاج الكهرباء من خلال تراكم الرمال على تربينات الرياح، بالإضافة إلى ترسبها داخل التربينة في الأجزاء الميكانيكية الدوارة؛ الأمر الذي يترتَّب عليه انخفاض كفاءتها.

جدول (٨) : الأهمية النسبية للطبقات المستخدمة في إعداد النموذج الرقمي لتحديد أنسب المناطق الملائمة لإنشاء محطات الرياح في محافظة البحر الأحمر.

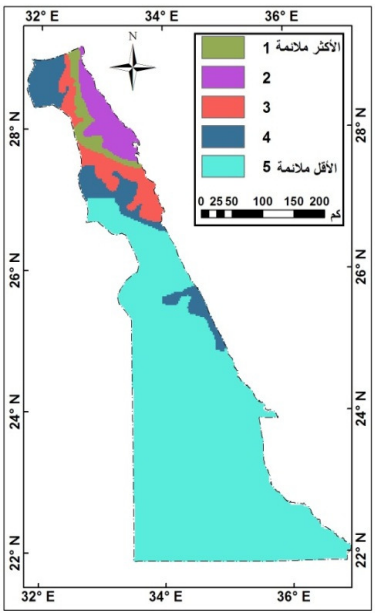
م	الطبقة	أهمية الطبقة	وزن الطبقة*	درجة الأهمية النسبية %**
١	المتوسط السنوي لسرعة الرياح	١	٨	٢١
٢	المناطق المأهولة	٢	٧	١٨,٤
٣	نموذج الارتفاعات الرقمية	٣	٦	١٥,٧
٤	الصدوع	٤	٥	١٣,٢
٥	الأودية الجافة	٤	٥	١٣,٢
٦	الشبكة الكهربائية	٦	٣	٧,٩
٧	شبكة الطرق	٧	٢	٥,٣
٨	التكوينات الرملية	٧	٢	٥,٣
الإجمالي		–	**٣٨**	**%١٠٠**

* تَمَّ حساب وزن الطبقة بالمعادلة الآتية: وزن الطبقة = عدد الطبقات – أهمية الطبقة + ١.

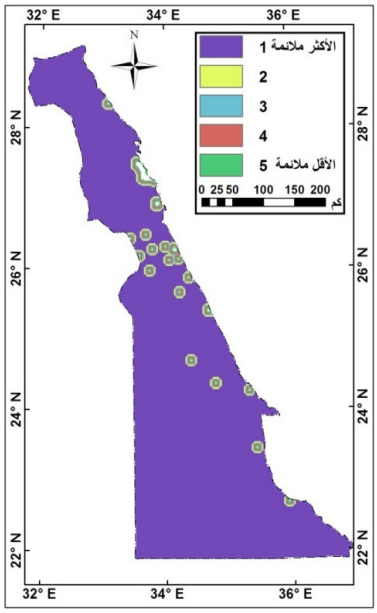
** تَمَّ حساب درجة الأهمية النسبية للطبقة بالمعادلة الآتية:

درجة الأهمية النسبية % = وزن الطبقة ÷ إجمالي الوزن الكلي للطبقات × ١٠٠،

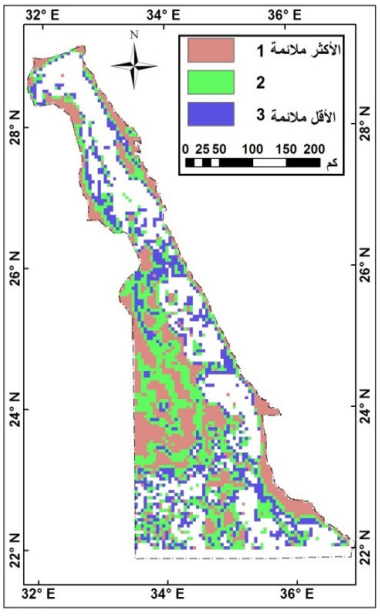
يراجع في ذلك: أيمن محمد محمد السيد: التغيرات العمرانية في سهل كوم أمبو، رسالة ماجستير، غير منشورة، كلية الآداب – جامعة عين شمس، ٢٠١٢، ص ٢٠٢.



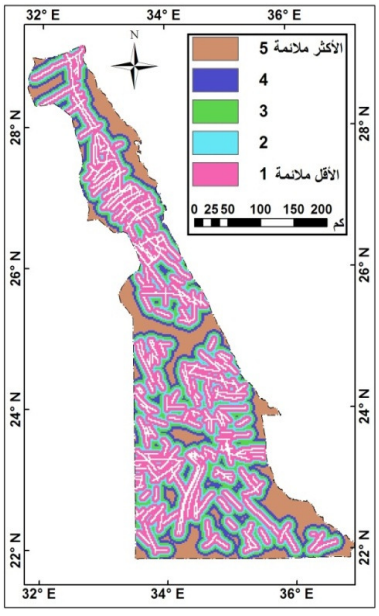
شكل (٢٤) : إعادة تصنيف خريطة سرعة الرياح.



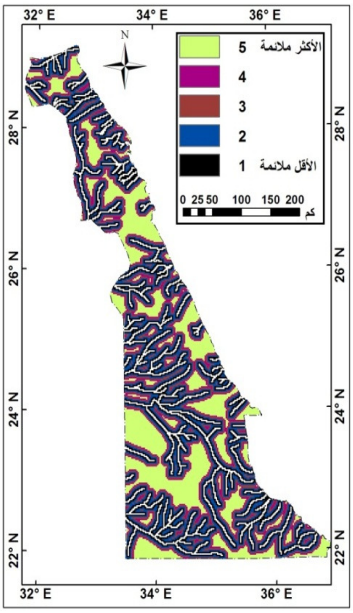
شكل (٢٥) : اعادة تصنيف التباعد حول المناطق المأهولة.



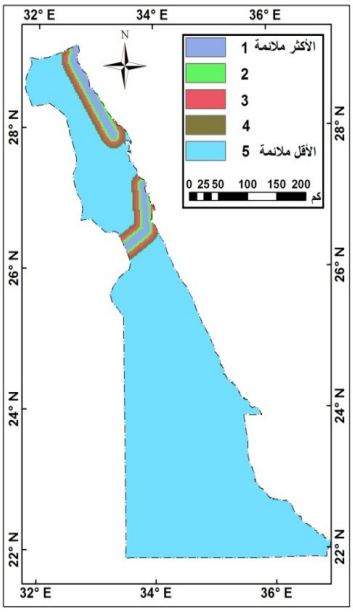
شكل (٢٦) : إعادة تصنيف انحدار السطح.



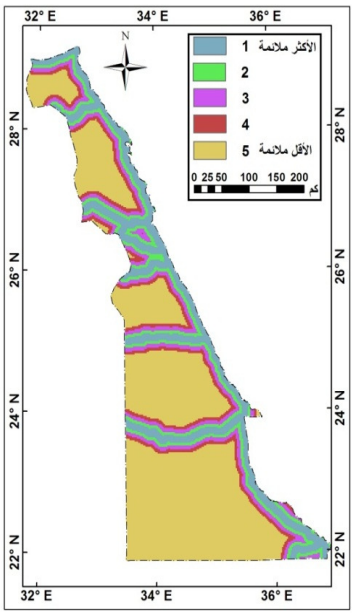
شكل (٢٧) : اعادة تصنيف التباعد حول الصدوع.



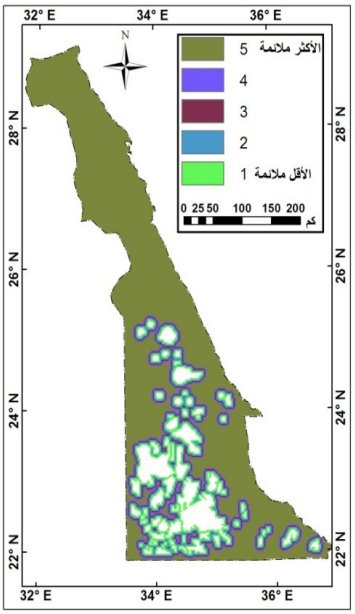
شكل (٢٨) : اعادة تصنيف التباعد حول الأودية الجافة.



شكل (٢٩) : اعادة تصنيف التباعد حول شبكة الكهرباء.



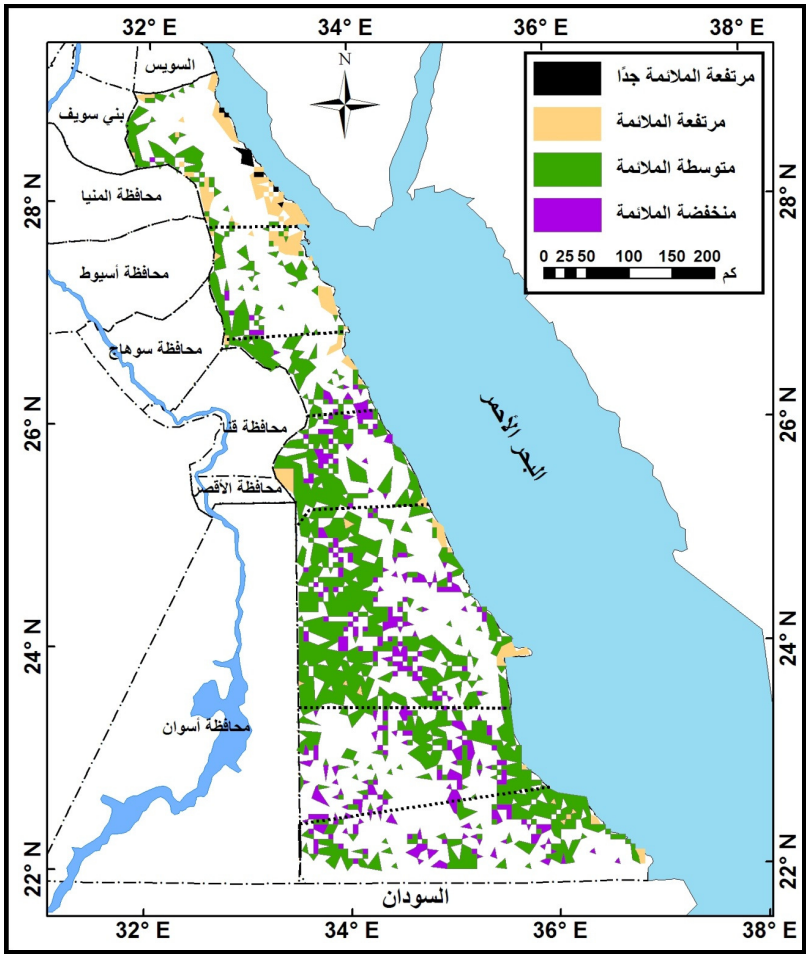
شكل (٣٠) : اعادة تصنيف التباعد حول شبكة الطرق.



شكل (٣١) : اعادة تصنيف التباعد حول الكثبان الرملية.

٤) النتائج النهائية :

تُعَدُّ هذه المرحلة أخر خطوات إعداد النموذج الرقمي لتحديد أنسب المناطق لإنشاء محطات الرياح في محافظة البحر الأحمر، التي تَمَّ من خلالها التوصل إلى النتيجة النهائية للنموذج الرقمي (GIS Model)، التي تتمثل في إنتاج خريطة شكل (٣٢)، توضح أنسب المناطق لإنشاء محطات الرياح في المحافظة، حيث تتدرج من مناطق مرتفعة الملائمة جدًا إلى مناطق ذات درجة ملائمة منخفضة.



شكل (٣٢) : أنسب المناطق الملائمة لإنشاء محطات الرياح في محافظة البحر الأحمر وفقًا لنتائج النموذج الرقمي (GIS Model).

يتضح من الشكل (٣٢) أنَّ المناطق الملائمة لإنشاء محطات الرياح بالمحافظة تنقسم إلى أربع فئات تختلف فيما بينها من حيث الأهمية وهي: مناطق مرتفعة الملائمة جدًا، ومناطق مرتفعة الملائمة، ومناطق متوسطة الملائمة، ومناطق منخفضة الملائمة؛ ويرجع السبب في اختلاف هذه المناطق من حيث درجة ملائمتها لإنشاء محطات الرياح إلى مدى توفر المعايير اللازمة لإنشاء محطات الرياح بالمحافظة، ويوضح الجدول التالي توزيع مساحة المناطق الملائمة لإنشاء محطات الرياح بمحافظة البحر الأحمر حسب المراكز.

جدول (٩) : توزيع مساحة المناطق الملائمة لإنشاء محطات الرياح في محافظة البحر الأحمر حسب المراكز.

المركز	مرتفعة الملائمة	مرتفعة الملائمة	متوسطة الملائمة	منخفضة الملائمة	الإجمالي	% من إجمالي
رأس غارب	٣٣٥,٤	٢١٧٠	١٩٧٤	٢٤,٢	٤٥٠٤	٨,٩
الغردقة	–	١٠٩٦	٢٢٧٤,٥	١٦٩,١	٣٥٤٠	٧
سفاجا	–	٣١٢,٣	٢١٥٣	٤٥١,٣	٢٩١٧	٥,٧
القصير	–	٤٠٥,٤	٤٨٥٨,٩	٨٧٥	٦١٣٩	١٢,١
مرسى علم	–	٧٠٥	١٤٤٧٣,٧	٢٧٠٢,٣	١٧٨٨١	٣٥,٢
الشلاتين	–	٢٤,٢	٥٢٧٧,٤	٢٤٤٤,٦	٧٧٤٦	١٥,٣
حلايب	–	١٩٠,٦	٦٣٣٠	١٥٠٨,٦	٨٠٢٩	١٥,٨
الإجمالي	**٣٣٥,٤**	**٤٩٠٣,٥**	**٣٧٣٤١,٥**	**٨١٧٥,١**	**٥٠٧٧٥,٥**	**%١٠٠**

المصدر: من حساب الباحث اعتمادًا على برنامج (Arc Map 10.3).

من تحليل بيانات الجدول السابق تتضح الحقائق الآتية :

بلغ إجمالي مساحة الأراضي الملائمة لإنشاء محطات الرياح بمحافظة البحر الأحمر ٥٠٧٧٥,٥ كم٢ تمثل ٤٢,٦% من مساحة المحافظة الكلية البالغة ١١٩٠٩٩ كم٢، وتكفي هذه المساحة لإنشاء محطات رياح تبلغ سعاتها التصميمية ٦٤٢٧٢,٨ ميجاوات على اعتبار أنَّ كل ميجاوات من محطات الرياح تتطلب مساحة قدرها ٠,٧٩ كم٢؛ ويشير ذلك إلى مدى إمكانية التوسع في إنشاء محطات الرياح بالمحافظة نظرًا لتوفر المقومات اللازمة لإنشائها.

بلغت مساحة المناطق مرتفعة الملائمة جدًا لإنشاء محطات الرياح بالمحافظة ٣٣٥,٤ كم٢ تمثل ٠,٧% من إجمالي المساحة الكلية للمناطق الملائمة لإنشاء محطات الرياح بالمحافظة البالغة

٥٠٧٧٥,٥ كم٢؛ ويرجع السبب في انخفاض مساحة هذه الفئة إلى أنَّها تتوفر بها كافة المعايير التي تَمَّ تحديدها لاختيار أنسب المناطق الملائمة لإنشاء محطات الرياح بالمحافظة، وتتميز المناطق مرتفعة الملائمة جدًا بأنَّها تمثل الموضع الذي تبلغ فيه تكلفة إنشاء محطات الرياح أدناها؛ ويرجع السبب في ذلك إلى عدة عوامل أهمها: زيادة المتوسط السنوي لسرعة الرياح مع انتظام اتجاهها، بالإضافة إلى قربها من شبكات نقل الكهرباء القائمة، وكذلك قربها من شبكات الطرق القائمة؛ الأمر الذي يترتَّب عليه خفض التكلفة الكلية اللازمة لإنشاء محطات الرياح؛ وبالتالي انخفاض تكلفة إنتاج الكيلووات/ساعة بعد دخول المحطة للتشغيل التجاري.

وتجدر الإشارة إلى أنَّ المناطق مرتفعة الملائمة جدًا يقتصر وجودها بمركز رأس غارب دون غيره من مراكز المحافظة، وتَرتَّبَ على ذلك زيادة أهمية تلك المناطق في إنشاء محطات الرياح نظرًا لقربها من مراكز الأحمال بمحافظات السويس وبورسعيد التي ترتبط بمحطات محولات شرق القاهرة؛ وينعكس ذلك على نقل الكهرباء الزائدة عن حاجة المحافظة من خلال الشبكة الكهربائية الموحدة، يضاف إلى ذلك تقليل نسب الفقد في الكهرباء المنقولة؛ نظرًا لقصر مسافة نقلها.

تبلغ مساحة المناطق مرتفعة الملائمة لإنشاء محطات الرياح بالمحافظة ٤٩٠٣,٥ كم٢ تعادل ٩,٧% من إجمالي المساحة الكلية للمناطق الملائمة لإنشاء محطات الرياح بالمحافظة، وتتميز هذه المناطق بتوفر أغلب المعايير اللازمة لإنشاء محطات الرياح في المحافظة؛ لذلك تزيد مساحة المناطق مرتفعة الملائمة في الأجزاء الشمالية من المحافظة، والتي بلغت أقصاها ٢١٧٠ كم٢ بمركز رأس غارب وتقل بالاتجاه جنوبًا، حيث بلغت أدناها ١٩٠,٦ كم٢ بمركز حلايب؛ وذلك نظرًا لزيادة المتوسط السنوي لسرعة الرياح في الأجزاء الشمالية من المحافظة مقارنةً بالأجزاء الجنوبية منها، يضاف إلى ذلك توفر الشبكة الكهربائية شمال المحافظة وعدم وجودها جنوب المحافظة، وكذلك زيادة المساحات التي تغطيها التكوينات الرملية كبيرة الحجم في المراكز الجنوبية من المحافظة (مرسى علم، والشلاتين، وحلايب) في حين يندر وجود التكوينات الرملية بالمراكز الشمالية في المحافظة.

بلغت مساحة المناطق متوسطة الملائمة لإنشاء محطات الرياح بالمحافظة ٣٧٣٤١,٥ كم٢ بنسبة ٧٣,٥% من إجمالي مساحة الأراضي الملائمة لإنشاء محطات الرياح بالمحافظة، وتختلف مساحة المناطق متوسطة الملائمة من مركز إلى أخر، حيث بلغت أقصاها ١٤٤٧٣,٧ كم٢ بمركز مرسى علم وأدناها ١٩٧٤ كم٢ بمركز رأس غارب.

بينما بلغت المساحة الإجمالية للمناطق منخفضة الملائمة لإنشاء محطات الرياح بالمحافظة ٨١٧٥,١ كم٢ تمثل ١٦,١% من إجمالي مساحة المناطق الملائمة لإنشاء محطات الرياح بالمحافظة، ويتضح تزايد مساحة تلك المناطق بالاتجاه جنوبًا، حيث بلغت مساحة المناطق منخفضة

الملائمة لإنشاء محطات الرياح بمركز رأس غارب ٢٤,٢ كم٢، بينما بلغت مساحة هذه المناطق أقصاها ٢٧٠٢,٣ كم٢ بمركز مرسى علم.

ويتضح مما سبق أنَّ مركز رأس غارب من أكثر مراكز المحافظة من حيث درجة الملائمة لإنشاء محطات الرياح بالمحافظة؛ وذلك نظرًا لزيادة مساحة الأراضي مرتفعة الملائمة لإنشاء محطات الرياح وقلة المساحات متوسطة ومنخفضة الملائمة به؛ ويُعزى ذلك بصفةٍ أساسيةٍ إلى توفر أغلب المقومات اللازمة لإنشاء محطات الرياح بهذا المركز.

سادسًا – النتائج والتوصيات :

١) النتائج :

انتهى البحث إلى مجموعةٍ من النتائج أهمها:

- تُعَدُّ محافظة البحر الأحمر من المحافظات المثالية في إنتاج الطاقة الكهربائية من محطات الرياح؛ وذلك لزيادة المتوسط السنوي لسرعة الرياح بها البالغ ٦,٣ م/ث خلال الفترة (١٩٩١–٢٠١٦)، ويبلغ حجم الكهرباء المتوقع إنتاجها ١٦١,٣ واط/ م٢، بالإضافة إلى انتظام اتجاه الرياح بالمحافظة، الأمر الذي ينعكس على زيادة حجم الكهرباء المولَّدة من محطات الرياح، وكذلك حماية ريش التربينات من الأضرار المصاحبة للتغير المستمر في اتجاهات الرياح.
- تختلف سرعة الرياح من منطقة إلى أخرى في محافظة البحر الأحمر، حيث تزيد سرعة الرياح في الأجزاء الشمالية من المحافظة وبخاصةٍ السواحل المطلة على خليج السويس مقارنةً بالأجزاء الجنوبية منها؛ ولذلك توطنت محطتا الزعفرانة وخليج الزيت على ساحل خليج السويس، وكذلك أُنشئت محطة الغردقة في الأجزاء الشمالية من المحافظة للاستفادة من السرعات العالية للرياح.
- على الرغم من تباين النسب المئوية لاتجاهات الرياح ومتوسط سرعتها بمحطات الرصد في محافظة البحر الأحمر، فإنَّ النصيب الأكبر من نسب تكرار هبوب الرياح السطحية تمثل في الرياح الشمالية الغربية، والشمالية، والشمالية الشرقية على الترتيب، والتي بلغت نسبتها مجتمعة ٧٩% من إجمالي نسب هبوب الرياح السطحية بمحطات الرصد في المحافظة.
- ارتفعت القدرة الاسمية بمحطات الرياح بالمحافظة من ٦٨ م. وعام ٢٠٠٣ إلى ٥٤٥ م. وعام ٢٠١٦ بمعدل تغير بلغ ٧٠١,٥%، خلال فترة الدراسة؛ وتَرتَّبَ على ذلك زيادة حجم الكهرباء المولَّدة من محطات الرياح بالمحافظة من ٢١٩ مليون ك.و.س عام ٢٠٠٣ إلى ٢٠٥٧ مليون ك.و.س عام ٢٠١٦ بمعدل تغير بلغ ٨٣٩,٣% خلال الفترة (٢٠٠٣–٢٠١٦).

- بلغت المساحة الإجمالية للمناطق الملائمة لإنشاء محطات الرياح بمحافظة البحر الأحمر ٥٠٧٧٥,٥ كم٢ تمثل ٤٢,٦% من مساحة المحافظة الكلية، تنقسم هذه المناطق إلى أربع فئات تتدرج من مناطق منخفضة الملائمة إلى مناطق مرتفعة الملائمة جدًا، ويلاحظ تباين مساحة المناطق الملائمة لإنشاء محطات الرياح من فئة إلى أخرى، والتي بلغت أقصاها ٣٧٣٤١,٥ كم٢ للمناطق متوسطة الملائمة، وأدناها ٣٣٥,٤ كم٢ بالمناطق مرتفعة الملائمة جدًا، وعلى الرغم من انخفاض مساحة المناطق مرتفعة الملائمة جدًا فإنَّها تُعَدُّ الأكثر من حيث الأهمية الاقتصادية؛ نظرًا لتوفر جميع مقومات إنشاء محطات الرياح بها، ويترتَّب على ذلك خفض التكلفة الكلية اللازمة لإنشاء هذه المحطات، وبالتالي انخفاض تكلفة إنتاج الكيلووات المولَّد بمحطات الرياح.

٢) التوصيات :

يمكن إيجاز أهم التوصيات التي توصل إليها البحث في النقاط التالية:

- تُعَدُّ محافظة البحر الأحمر من أفضل المحافظات المصرية في إنتاج الطاقة الكهربائية من الرياح؛ لذلك يُوصى بضرورة استغلال المناطق مرتفعة الملائمة بالمحافظة في إنشاء محطات الرياح بصفةٍ عامةٍ ومركز حلايب بصفة خاصة، لكونه من مراكز المحافظة الحدودية، التي تتطلب وضع الخطط لتطويره، ويُعَدُّ توفير الطاقة الكهربائية من العوامل المهمة في تنمية وتطوير هذه المناطق؛ نظرًا لكونها الركيزة الأساسية للتنمية الاقتصادية والاجتماعية، حيث تمثل الدعامة الرئيسية التي تقوم عليها مشروعات التنمية الصناعية, والزراعية, والإسكان, والخدمات، وغيرها.
- ضرورة العمل على رفع معاملات التشغيل بمحطات الرياح بالمحافظة؛ وذلك لزيادة حجم الكهرباء المولَّدة منها، بالإضافة إلى تجنب المشكلات البيئية الناتجة عن المحطات الحرارية التي تعتمد على الوقود الأحفوري، وكذلك تفادي الأخطار الناتجة عن التذبذب في أسعار الوقود الأحفوري وخاصةً بعد تبني الدولة سياسة رفع الدعم عن الوقود والوصول به إلى الأسعار العالمية.
- ضرورة العمل على تكثيف عمليات الصيانة المبرمجة، يضاف إلى ذلك ضرورة تتبع الأداء الخاص بتربينات الرياح بمحطات المحافظة، والتقييم المستمر لكفاءتها في تحويل الطاقة الكهربائية؛ وذلك لاكتشاف الأعطال فور حدوثها، وتحديد أنسب الحلول لإصلاحها؛ ويترتَّب على ذلك رفع كفاءة محطات الرياح بالمحافظة وزيادة حجم الكهرباء المولَّدة منها.

- يُوصى بضرورة تشجيع شركات القطاع الخاص على إنتاج الطاقة الكهربائية من محطات الرياح بدلاً من الاعتماد على المحطات الحرارية في إنتاج الطاقة الكهربائية، من خلال العمل على تصنيع مكونات محطات الرياح محليًا، وتخفيض الرسوم الجمركية على مهمات محطات الرياح التي يصعب تصنيعها محليًا، وينعكس على ذلك خفض التكلفة اللازمة لإنشاء محطات الرياح.
- العمل على إنشاء محطات الرياح التي تتميز بزيادة القدرات الاسمية في الأجزاء الشمالية من المحافظة وبخاصةٍ مركزي رأس غارب والغردقة؛ نظرًا لزيادة حجم الكهرباء المستهلكة بتلك المراكز، يضاف إلى ذلك قربها من الشبكة الكهربائية الموحدة، وكذا القرب من مراكز الأحمال المتمثلة في محافظة السويس، ويترتَّب على ذلك خفض التكلفة الكلية اللازمة لإنشاء محطات الرياح بالمحافظة.

ملحق (١) : الصور الفوتوغرافية

صورة (١) : نموذج لتربينات الرياح ذات الأبراج المربعة بمحطة رياح الغردقة.

صورة (٢) : نموذج لتربينات الرياح ذات الأبراج الاسطوانية بمحطة رياح الغردقة.

صورة (٣) : نموذج لمجموعة من تربينات الرياح بمحطة الزعفرانة.

صورة (٤) : نموذج لتربينات الرياح بمحطة خليج الزيت.

ملحق (٢) نموذج استبيان

تقييم إنتاج الطاقة الكهربائية من محطات الرياح في محافظة البحر الأحمر

بيانات هذه الاستمارة سرية ولا تستخدم إلا في أغراض البحث العلمي

- اسم المحطة: - سنة التشغيل:
- مساحة المحطة الكلية: - إجمالي مساحة منشآت المحطة
- عدد التربينات بالمحطة: - المسافة الفاصلة بين كل تربينة:
- عدد صفوف التربينات: - المسافة الفاصلة بين كل صف:
- قدرة المحطة الاسمية: - قدرة المحطة الفعلية:
- أقصى حمل عام ٢٠١٦: - أدنى حمل عام ٢٠١٦:
- أعلى كمية كهرباء مولدة خلال العام: - أقل كمية كهرباء مولدة خلال العام:
- أقصى معدل لسرعة الرياح بالمحطة م/ ث: - أدنى معدل لسرعة الرياح بالمحطة م/ث:
- هل تتجاوز سرعات الرياح بالمحطة الحدود القصوى السموح بها؟ نعم ( )، لا ( ).
- هل تتعرض المحطة للعواصف الرملية والترابية؟ نعم ( )، لا ( )
- في حالة الإجابة بنعم ماهي الاجراءات التي يتمُّ اتخاذها؟

١- ..... ٢- ..... ٣- .....

- ما هي درجة شدة الضوضاء بالمحطة:
- هل تؤثر شدة الضوضاء الناتجة عن التربينات على العاملين بالمحطة؟ نعم ( ) لا ( )
- إذا كانت الإجابة نعم ماهي الاحتياطات التي تتخذها المحطة للحد من تأثيرها؟

١- ..... ٢- ..... ٣- .....

- هل تتعرض المحطة لمسارات الطيور المهاجرة؟ نعم ( )، لا ( )
- إذا كانت الاجابة نعم كم تبلغ عدد حالات اصطدام الطيور بتربينات الرياح:
- ماهي عدد حالات خروج تربينات الرياح من الخدمة؟
- ما هو الوقت اللازم لإعادة التربينة إلى التشغيل؟
- ما هي المشكلات التي تواجه إنتاج الكهرباء من المحطة؟

١- ..... ٢- .....

٣- ..... ٤- .....

- ما هي الحلول المقترحة لهذه المشكلات من وجهة نظرك؟

١- ..... ٢- .....

٣- ..... ٤- .....

المراجع والمصادر

أولاً : المراجع باللغة العربية.

١. أحمد محمد علي: جغرافية مزارع الرياح في مصر، مجلة المجمع العلمي المصرى، المجلد (٨٥)، القاهرة، ٢٠١٠.

٢. أحمد موسى محمود خليل: الطاقة الجديدة والمتجددة في مصر، دراسة في جغرافية الطاقة، المجلة الجغرافية العربية، الجمعية الجغرافية المصرية، سلسلة بحوث جغرافية، العدد (٨٨)، ٢٠١٥.

٣. إيملي محمد حلمي: طاقة الرياح في مصر– دراسة في المناخ التطبيقي، المجلة الجغرافية العربية، الجمعية الجغرافية المصرية، السنة الأربعون، العدد (٥٢)، ج٢، ٢٠٠٨.

٤. أيمن محمد محمد السيد: التغيرات العمرانية في سهل كوم أمبو، رسالة ماجستير، غير منشورة، كلية الآداب – جامعة عين شمس، ٢٠١٢.

٥. إيهاب محمود عقبة: المخطط العمراني والحماية من الضوضاء، مجلة المهندسين، العدد (٥٤٤)، يوليو ٢٠٠١.

٦. حسام ثابت صدقي قابيل: الإشعاع الشمسي والرياح ودورهما في إنتاج الطاقة في صحراء مصر الشرقية، رسالة ماجستير، غير منشورة، كلية الآداب – جامعة القاهرة، ٢٠١٧.

٧. حسن يونس عبد الرحمن، الإشعاع الشمسي والرياح كمصادر للطاقة الجديدة والمتجددة في مصر – دراسة في المناخ التطبيقي، رسالة ماجستير، كلية الآداب – جامعة طنطا، ٢٠٠٩.

٨. حسين عبد الله: اقتصاديات الطاقة في مصر، أكاديمية البحث العلمي، القاهرة، ١٩٩٢.

٩. محمد السيد حافظ: الرياح وإنتاج الطاقة الكهربائية في صحراء مصر الشرقية محطة الزعفرانة نموذجًا، ندوة صحاري مصر أمل المستقبل، كلية الآداب – جامعة الإسكندرية، ٢٠٠٧.

١٠. محمد ربيع فرج محمد: الطاقة في محافظة السويس – دراسة في الجغرافيا الاقتصادية، رسالة ماجستير، غير منشورة، كلية الآداب – جامعة القاهرة، ٢٠١٣.

١١. محمد عزت محمد الشيخ: الربط الكهربي بين جمهورية مصر العربية والمملكة العربية السعودية– دراسة في جغرافية الطاقة، باستخدام نظم المعلومات الجغرافية، الجمعية الجغرافية الكويتية، رسائل جغرافية، العدد (٤١٤)، الكويت، ٢٠١٤.

١٢. محمد محمود إبراهيم الديب: قضايا الطاقة في مصر، المجلة الجغرافية العربية، الجمعية الجغرافية المصرية، سلسلة بحوث جغرافية، العدد (٢٥)، ٢٠٠٩.

١٣. هبه محمود عبد الرازق: طاقة الشمس والرياح في شبه جزيرة سيناء، دراسة في المناخ التطبيقي، رسالة ماجستير، غير منشورة، كلية الآداب – جامعة القاهرة، ٢٠١٧.

١٤. وهيب عيسى الناصر: مستقبل الطاقة المتجددة، مؤتمر الطاقة العربي السابع، المنعقد خلال الفترة (١١-١٤ مارس)، القاهرة، ٢٠٠٢.

١٥. ياسمين محمد عادل فؤاد: الطاقة المتجددة في مصر – دراسة في الجغرافيا الاقتصادية، رسالة دكتوراه، غير منشورة، كلية الآداب – جامعة الزقازيق، ٢٠١٣.

ثانياً : المراجع باللغة غير العربية.

1. Ahmed Shata and Hanitsch, R: The potential of Electricity Generation on the east coast of Red Sea in Egypt, Elsevier, Renewable Energy, Volume (31), Issue (10), August 2006.
2. Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems, Electricity cost from Renewable Energy Technologies in Egypt, Germany, December 2016, P. 5
3. Gaddada, S & Kodicherla Shiva: Wind Energy Potential and Cost Estimation of Wind Energy Conversion systems (WECSs) for Electricity Generation in the eight selected locations of Tigray Region (Ethiopia), springer, 2016.
4. Hala, A. Effat: 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, Volume (6), number (4) August 2014.
5. International Renewable Energy Agency, Renewable Power Generation Costs, 2017.
6. Khaled S. M. Essa and Others: Feasibility Study of Electrical Generation by Wind Energy on the Red-Sea Coast in Egypt, (SAGE) Journals, Wind Engineering, Volume (31), Issue (4), may 2007.
7. NASA, Surface Meteorology, Meteorology and Solar Energy, Wind speed, (1990-2012).
8. National Renewable Energy Laboratory, Cost and Performance Data for Power Generation Technologies, Cost Report, Washington, U.S.A, 2016.
9. New and Renewable Energy Authority& Egyptian Meteorological Authority, Wind Atlas for Egypt, Measurements (1991–2005), Cairo, December 2005.
10. Renewable Energy Policy Network (REN), Annual Report, Paris, 2017.
11. Stiebler, M., Wind Energy System for Electric Power Generation, Springer, Berlin, 2008.
12. Sathyajith Mathew, Wind Energy Fundamentals Resource Analysis and Economics, Springer, Berlin, 2006.

ثالثًا : المصادر.

١. الهيئة العامة للأرصاد الجوية، سرعة الرياح، بيانات غير منشورة، خلال الفترة (١٩٩١-٢٠١٦).

٢. الجهاز المركزي للتعبئة العامة والإحصاء، النشرة السنوية لإحصاء الكهرباء والطاقة، القاهرة، خلال الفترة (٢٠١٤-٢٠١٦).

٣. جهاز تنظيم مرفق الكهرباء وحماية المستهلك، تكلفة إنتاج ونقل وتوزيع الطاقة الكهربائية في مصر، التقرير السنوي، القاهرة، خلال الفترة (٢٠١٠-٢٠١٢).

٤. محافظة البحر الأحمر، السكان وأهم الأنشطة السكانية، إدارة الإحصاء، التقرير السنوي، ٢٠١٦.
٥. هيئة الطاقة الجديدة والمتجددة، دراسة تقييم الأثر البيئي والاجتماعي لمشروع رياح جبل الزيت، المرحلة الثالثة، ٢٠١٧.
٦. وزارة الكهرباء والطاقة، هيئة الطاقة المتجددة، التقارير السنوية، خلال الفترة (٢٠٠٣- ٢٠١٦).
٧. وزارة الكهرباء والطاقة، الشركة القابضة لكهرباء مصر، التقرير السنوي، القاهرة، ٢٠١٦.
٨. وزارة الكهرباء والطاقة، مركز المعلومات، القاهرة، بيانات غير منشورة، عام (٢٠٠٦-٢٠٠٨).
٩. وزارة الإسكان والمرافق الاجتماعية، الهيئة العامة للتخطيط العمراني، المنظور البيئي لاستراتيجية التنمية العمرانية لإقليم جنوب الصعيد، ٢٠٠٩.
١٠. وزارة الإسكان والمرافق الاجتماعية، الهيئة العامة للتخطيط العمراني، الرؤية المستقبلية والمشروعات الداعمة لمحافظة البحر الأحمر، مايو ٢٠١٧.

An Evaluation of the Production of Electricity from Wind Stations in Red Sea Governorate: A Study in Geography of Energy Using Geographical Information System (GIS)

ABSTRACT

The study investigates the evaluation of producing electricity from wind Stations in the Red Sea governorate by studying the potentiates of constructing wind Stations such as location and spatial relations, speed and direction of wind, Area, economic constituents, and environmental considerations. The Study also discusses the development of Installed Capacity of wind Stations and its influence on the produced electricity. Moreover, the study examines the problems that face the Wind Energy in the governorate. It also sheds light on the wind Energy in the governorate by considering the stations that will be constructed in the near future and using the geographic information systems for detecting the suitable areas in the governorate to construct wind stations. The study concludes with results and recommendations that demonstrate the distinguished potentialities for producing electric energy from wind in the governorate.

Key Words: Wind Energy, Wind speed, Clean Energy, Installed Capacity, GIS Model, Red Sea.