مجلة كلية الآداب بقنا (دورية أكاديمية علمية محكمة)

إنتاج الكهرباء الخضراء بمزرعة رياح جبل الزيت غرب خليج السويس: دراسة في الجغرافية الاقتصادية- باستخدام نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد

د. طلعت عبدالحميد أحمد

أستاذ الجغرافيا الاقتصادية المساعد بقسم الجغرافيا ونظم المعلومات الجغرافية
كلية التربية، جامعة عين شمس

د. كامل مصطفى كامل سيد

أستاذ الجغرافيا الاقتصادية ونظم المعلومات الجغرافية المساعد، قسم الجغرافيا ونظم المعلومات الجغرافية، كلية التربية، جامعة عين شمس

د. أيمن عطية عبد الحكيم

مُدرس الجغرافيا الطبيعية بقسم الجغرافيا ونظم المعلومات الجغرافية
كلية التربية جامعة عبن شمس

DOI: 10.21608/QARTS.2023.218345.1700

مجلة كلية الآداب بقنا – جامعة جنوب الوادي – المجلد (٣٢) العدد (٦٠) يوليو ٢٠٢٣
الترقيم الدولي الموحد للنسخة المطبوعة ISSN: 1110-614X
الترقيم الدولي الموحد للنسخة الإلكترونية ISSN: 1110-709X
موقع المجلة الإلكتروني: https://qarts.journals.ekb.eg

إنتاج الكهرباء الخضراء بمزرعة رياح جبل الزيت غرب خليج السويس: دراسة في الجغرافية الاقتصادية باستخدام نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد(*)

المُلخّص:

عالج البحث موضوع إنتاج الكهرباء الخضراء بمزرعة رياح جبل الزيت غرب خليج السويس، وقد بدأ بمقدمة أبرزت أهمية إنتاج الطاقة في مصر، وتحديد منطقة الدراسة وأهميتها كمصدر لإنتاج الكهرباء باستخدام طاقة الرياح، كما استعرض عددًا من الدراسات السابقة، الجغرافية وغير الجغرافية، وكذلك المناهج والأساليب المستخدمة.

وقد انقسم البحث إلى أربعة محاور، تناول المحور الأول الملاءمة المكانية الطبيعية والبشرية لمنطقة الدراسة، حيث أوضح دور الموقع، والبنية الجيولوجية، ومظاهر السطح، والظروف المناخية، ومسارات هجرة الطيور، في اختيار موقع مزرعة رياح جبل الزيت، غرب خليج السويس، إضافة إلى دور السكان، واستخدام الأرض، والبيئة الأثرية وغيرها في الملاءمة البشرية لمنطقة الدراسة، وأثر ذلك في التكلفة الاقتصادية للمشروع، وناقش المحور الثاني تطور الإنتاج بمزرعة رياح جبل الزيت، حيث استعرض تطور الإنتاج من الكهرباء على المستويين السنوي، والشهري، كذلك أوضح المحور الثالث اقتصاديات إنتاج الكهرباء بالمزرعة من خلال دراسة حجم رأس المال المستثمر، وكمية الكهرباء المنتجة، وأوضاع العمالة. أما المحور الرابع فقد أشار إلى مستقبل إنتاج طاقة الكهرباء الخضراء للرياح بمنطقة الدراسة، ويتمثل في خفض تكلفة إنتاج الكهرباء المولدة باستخدام طاقة الرياح إلى أقصى مدى ممكن، إضافة إلى استخدام طاقة الرياح في إنتاج الهيدروجين الأخضر، مع التوجيه نحو الاهتمام بالتعاون الدولي في مجال إنتاج الطاقة المتجددة، وانتهى البحث إلى عدد من النتائج والتوصيات، جاء في مقدمتها التأكيد على أهمية استخدام مصادر الطاقة المتجددة، وتعزيز التعاون الدولي في هذا المجال، واعتبار طاقة الهيدروجين الأخضر هي مستقبل الطاقة في مصر.

الكلمات المفتاحية: الكهرباء الخضراء، الطاقة المتجددة، طاقة الرياح، مزرعة الرياح.

(*) – تم تقسيم محاور وعناصر الدراسة بين الباحثين بالتساوي.

المقدمة

يرتبط التقدم الاقتصادي، لأية دولة، بمدى توافر الطاقة وتنوع مصادرها، وتُعد الطاقة الكهربائية ركيزة أساسية للتنمية الاقتصادية والاجتماعية في الدول المختلفة. وهي أيضًا شريان التنمية في شتى مجالات الحياة، كما تعتبر أداة حاسمة لاستدامة الاستقرار الاقتصادي، وتعزيز احتياطيات النقد الأجنبي **(المركز الإقليمي للطاقة المتجددة وكفاءة الطاقة،٢٠٢١م، ص٩ بتصرف)**. ويعتمد إنتاج الكهرباء حديثًا، على مصادر الطاقة الطبيعية المتجددة مع تجنب استخدام الوقود الأحفوري، الذي كان ولا يزال يُسيطر على النسبة الأكبر من إنتاج الطاقة واستهلاكها على مستوى العالم **(محمد محمود إبراهيم الديب،٢٠١٠م، ص ٧٨٥)** وينتج عنه ما تبلغ نسبته (٧٥٪) من الغازات الدفيئة ونحو (٩٠٪) من جميع أشكال انبعاثات ثاني أكسيد الكربون **(هيئة الأمم المتحدة، برنامج العمل المناخي،٢٠٢٣م)**، ومن المعروف أن توليد الكهرباء بالطرق التقليدية هو السبب الرئيسي للتلوث الصناعي للهواء في العالم **(سحر أحمد حسن يوسف: ٢٠٢٠م، ص ٢٤٣)** وقد ترتب على ذلك العديد من المشكلات التي تمثلت في "زيادة الانبعاثات الكربونية واستنزاف الموارد الاقتصادية **(خالد هاشم عبد الحميد: ٢٠٢٢م، ٣٩٩)**.

وتعتمد مصر بشكل رئيس على إنتاج الكهرباء من المحطات الحرارية التي بلغ إنتاجها ١٦٨,٥ ألف (جيجا و. س) عام ٢٠٢١م، بنسبة قدرها ٨٢,٣٪ من جملة إنتاج الكهرباء، ولكن في ظل نقص إمدادات الوقود وارتفاع أسعاره عالميًا وبخاصة في فترات الأزمات الاقتصادية، وأضراره البيئية المتعددة، والسعي إلى تقليل الواردات منه؛ تزايد الاهتمام بالطاقة المتجددة وإنتاج الكهرباء الخضراء(*) وهو ما أقرته مصر في قمة المناخ

(*) هي الكهرباء المنتجة باستخدام مصادر نظيفة للطاقة، لا يتسبب عنها انبعاثات كربونية، كالطاقة الشمسية وطاقة الرياح، وطاقة الهيدروجين الأخضر، وقد أشار تقرير الوكالة الدولية للطاقة المتجددة

المعروفة باسم **COP 27**، وذلك من خلال وضع خطة طموحة لتصل نسبة مساهمة الطاقة المتجددة إلى٤٢ % من جملة الطاقة المُنتجة عام٢٠٣٥م **(وزارة الكهرباء والطاقة المتجددة، هيئة الطاقة الجديدة والمتجددة، ٢٠٢٢، ص ٢)**.

وتُعدُّ مصر البلد الأكبر من حيث السكان في شمال أفريقيا والمنطقة العربية؛ ويبلغ سكانها في يونية ٢٠٢٣م نحو (١٠٥,١) ملايين نسمة **(www.capmas.gov.eg)** وذلك بمعدلات نمو سكاني بلغت ١.٧٪ عام ٢٠٢١م **(تقرير البنك الدولي: ٢٠٢١م)**، وهي بذلك تدخل ضمن أعلى معدلات النمو السكاني عالميًا. وقد أدّى هذا التضخّم المطرد في عدد السكان إلى زيادة سريعة في الطلب على الطاقة، مما ألقى بثقله على موارد الطاقة في مصر، وذلك على الرغم من اكتشافات الغاز الطبيعي، ومع تصاعد أزمة الوقود، لم تتمكن القدرات المتوفرة محلياً لتوليد الكهرباء في مصر من مواكبة الطلب المتزايد على الطاقة **(الوكالة الدولية للطاقة المتجددة، ٢٠١٨، ص١)** وشكّل ذلك تحديًا كبيراً أمام جهود التنمية الاقتصادية، وأثار اهتمام متخذي القرار، إذ يعتبر الاهتمام بالطاقة جزء أساسي من أمن مصر القومي **(سعيد أحمد عبده، ٢٠١٢م، ص ١٣)**.

وقد اتجهت مصر لإنتاج الكهرباء الخضراء باستخدام مصادر متجددة كالطاقة الشمسية وطاقة الرياح، ويُمثل إنتاج الكهرباء الخضراء من الرياح أحد أهم مصادر الطاقة الكهربائية التي يمكن الاستفادة منها على مدار العام؛ وبخاصة في المواقع المُثلى التي تتسم فيها الرياح باستمراريتها وسرعتها المناسبة، مما يجعل الإنتاج اقتصاديًا، وتأتي طاقة الرياح في المرتبة الأولى لإنتاج الكهرباء الخضراء في مصر من بين مصادر الطاقة المتجددة؛ إذ تسهم بنسبة ١٢٪ من جملة مصادرها المتجددة عام ٢٠٢٢م، يليها

IRENA إلى انخفاض تكاليف تكنولوجيا إنتاج الكهرباء من الرياح بنسبة ٥٦٪ خلال الفترة ٢٠١٠-٢٠٢٠م. للمزيد مراجعة (International Renewable Energy, 2022).

الطاقة المائية بنسبة (٦٪) ثم الطاقة الشمسية بنسبة (٢٪) **(www.sis.gov.eg)**. وقد بلغت القدرة الاسمية لمحطات إنتاج الكهرباء الخضراء من الرياح ١٦٣٧,٥ ميجا وات/ ساعة، بنسبة تجاوزت رُبع جملة إنتاج الكهرباء بمحطات الطاقة المتجددة المرتبطة بالشبكة القومية عام ٢٠٢١م، حيث قدرت بنحو ٢٦,٤٪ **(وزارة الكهرباء والطاقة المتجددة، الشركة القابضة لكهرباء مصر، ٢٠٢١، ص ٢٢)**.

وتُشكّل منطقة غرب خليج السويس، وبخاصة منطقة الدراسة التي تُعرف باسم مزرعة رياح جبل الزيت، أحد أمثل المواقع لاستخدام طاقة الرياح في إنتاج الكهرباء؛ بسبب استقرار حركة الرياح، وسرعتها التي تتراوح ما بين(٨– ١٠,٥) مترًا / ث في المتوسط، وذلك على ارتفاع قدره (٥٠) مترًا، بالإضافة إلى وجود مناطق واسعة غير مأهولة بالسكان أسهمت في تمكين توطن مزارع الرياح بالمنطقة، وتحقيق الجدوى الاقتصادية من تلك المشروعات التي تستهدف إنتاج الطاقة، وتعد طاقة الرياح أكثر أنواع الطاقة المتجددة منافسة للطاقة التقليدية من الناحية الاقتصادية **(سعيد أحمد عبده، ٢٠١٢م، ص ٢٨)**.

وتتميز مزرعة رياح جبل الزيت، غرب خليج السويس، بأنها أكبر مشروعات إنتاج الكهرباء الخضراء في مصر؛ حيث بلغت قدرتها الإسمية (٥٨٠ ميجا وات/ ساعة) بنسبة ٣٥,٤٪ من إجمالي القدرة الإسمية المُركبة لمشروعات طاقة الرياح المرتبطة بالشبكة المُوحدة [*] والمُنفذة حتى عام ٢٠٢٢م والتي بلغ مجموع قدرتها الإسمية المُركبة (١٦٣٧,٥ميجا وات) في القطاعين الحكومي والخاص **(www. nrea.gov.eg)**.

(*) ينظم قانون ٢٠٣ لسنة ٢٠١٤م سُبل التعاون بين الحكومة المصرية والقطاع الخاص لتنمية الطاقة المتجددة من خلال: نظام الـ EBC الخاص بتقديم هيئة الطاقة الجديدة والمتجددة مناقصات توريد وتشغيل مشروعات الطاقة المتجددة، ونظام البناء والتملك والتشغيل (BOO)، بجانب شراء الطاقة المُنتجة من القطاع الخاص بأسعار مناسبة (Feed Tariff)، ونظام المزايدات Auction، وأخيراً نظام مُنتجي الطاقة

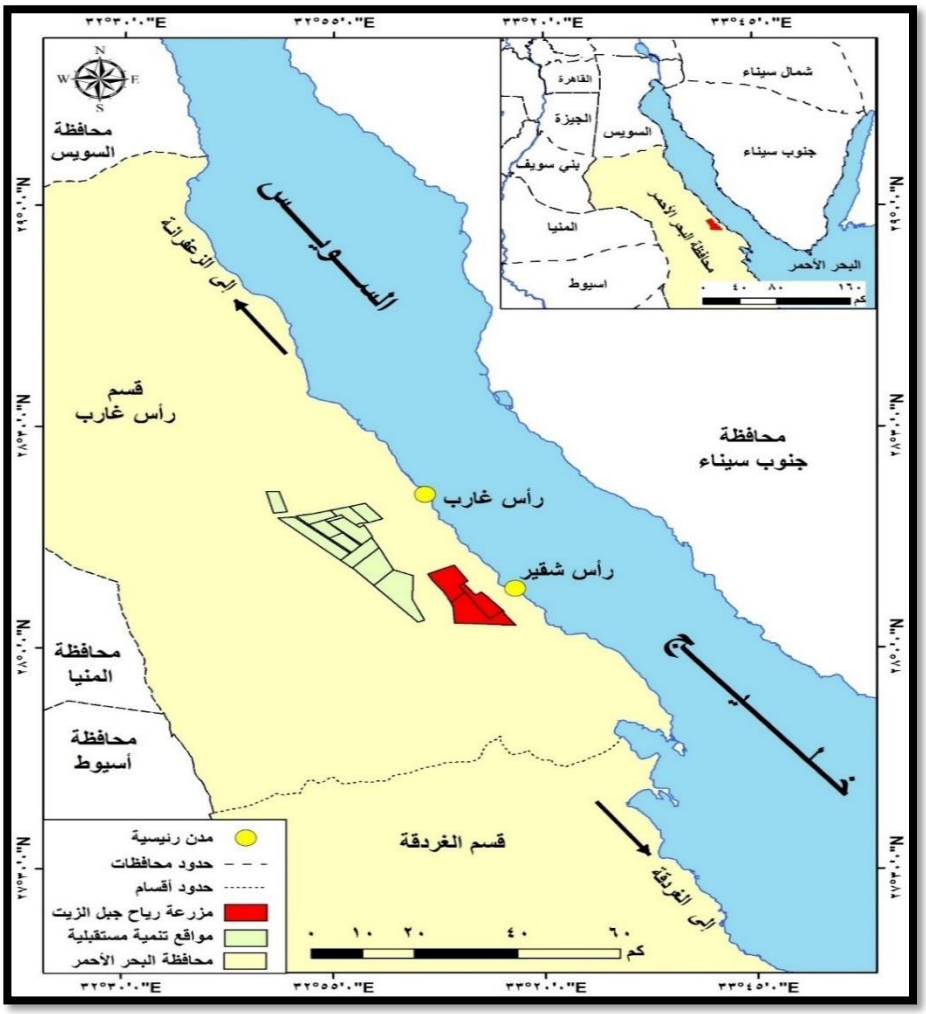
وتتكون المزرعة من ٢٩٠ تربينة رياح وتضم (٣) محطات رئيسة هي: (جبل الزيت١) بقدرة ٢٤٠ ميجاوات، و(جبل الزيت ٢) بقدرة ٢٤٠ ميجاوات، و(جبل الزيت ٣) بقدرة ١٢٠ ميجاوات، وقد تم إنشاء هذه المحطات بالتعاون مع عدة جهات عالمية منها: بنك التعمير الألماني **KFW**، وبنك الاستثمار الأوروبي **EIB**، والمفوضية الأوروبية، والوكالة اليابانية للتعاون الدولي **JICA** والحكومة الاسبانية، كما بدأت الربط على الشبكة القومية على مراحل خلال الفترة ٢٠١٥-٢٠١٨م.

وتجدر الإشارة إلى إضافة محطة جديدة داخل المزرعة وهي **(محطة جبل الزيت٤)** والمقرر افتتاحها وتشغيلها بنهاية ٢٠٢٣م، بإنشاء (٧٠) تربينة رياح وبقدرة إنتاجية تصل ٣.٦ ميجاوات / ساعة لكل تربينة، وبذلك يصل مجموع إنتاجها إلى ٢٥٢ ميجاوات/ ساعة، **(مقابلة ميدانية للباحثين بمدير إدارة التشغيل بهيئة الطاقة الجديدة والمتجددة، ٢٧ مارس ٢٠٢٣م).**

*** منطقة الدراسة**

تقع مزرعة رياح جبل الزيت، منطقة الدراسة **شكل (١)**، في موقع استراتيجي غرب خليج السويس، داخل حدود قسم رأس غارب بمحافظة البحر الأحمر **صورة (١)**. وتمتد فلكيًا بين دائرتي عرض ٢َ ٢٨° و١١َ ٢٨° شمالاً، وبين خطي طول ٥٩َ ٣٢° و١٦َ ٣٣° شرقاً.

المستقلين IPP. للمزيد مراجعة (وزارة الكهرباء والطاقة المتجددة، هيئة الطاقة الجديدة والمتجددة، ٢٠٢٢)



المصدر: من إعداد الباحثين اعتمادًا على: – هيئة الطاقة الجديدة والمتجددة، إدارة التشغيل، ٢٠٢٣م.

– الجهاز المركزي للتعبئة العامة والإحصاء، وحدة نظم المعلومات الجغرافية، حدود المحافظات المصرية ٢٠٢٣م.

– الدراسة الميدانية للباحثين، وباستخدام برامج Arc G.I.S. V:10.8.3 & Google Earth Pro.

شكل (١) موقع منطقة الدراسة، مزرعة رياح جبل الزيت عام ٢٠٢٣م

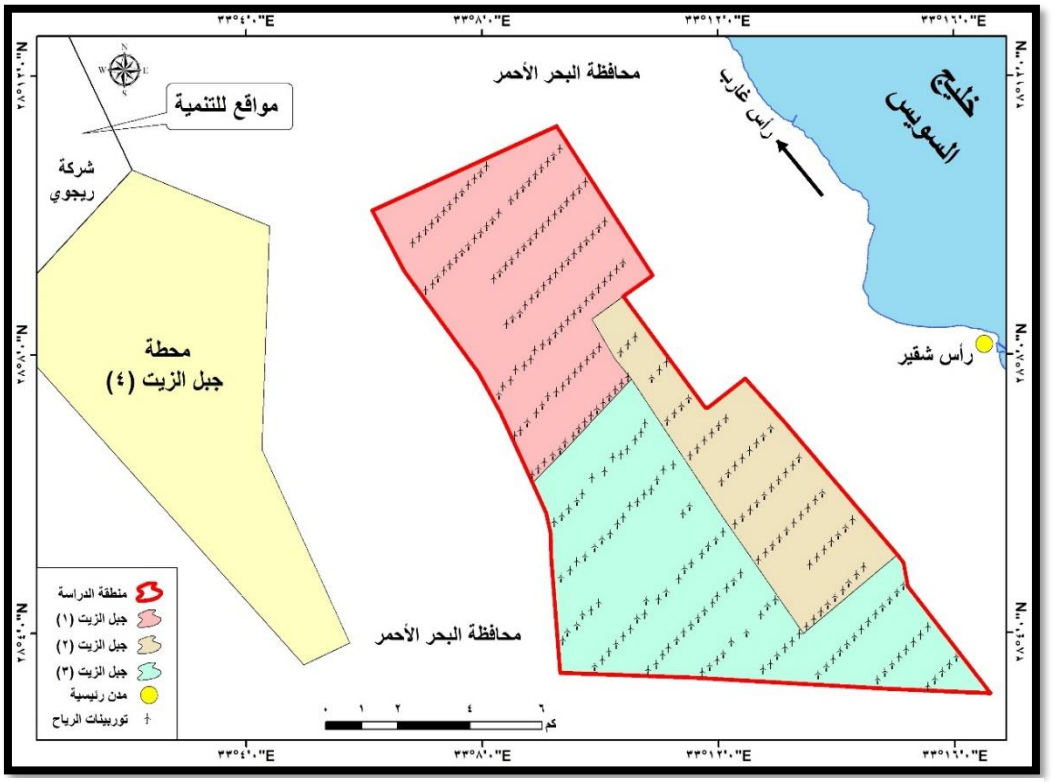
المصدر: التقطت بواسطة الباحثين، ظهر يوم ١٢ /٣ /٢٠٢٣م بموقع منطقة الدراسة.

صورة (١) مدخل وتوربينات الرياح بمزرعة جبل الزيت، غرب خليج السويس عام ٢٠٢٣م

وتمتد المزرعة جنوب مدينة رأس غارب بنحو (٢٢) كم في مواجهة رأس شقير مباشرة، كما تبعد عن مدينة الغردقة بنحو (١٠٠) كم. وترتبط المنطقة بشبكة الطرق الرئيسية؛ مثل الطريق الساحلي (القاهرة/ الغردقة)، كما ترتبط بوادي النيل عبر طريقي (المنيا/ رأس غارب) و(الشيخ فضل/ رأس عارب) وكلاهما يتصل بطريق القاهرة/ أسيوط الصحراوي. وتبلغ مساحة المزرعة بمحطاتها الثلاث العاملة (١٠٨,٣ كم٢) تضم ٢٩٠ تربينة (**) **(شكل ٢)**.

(**) **تطورت المواصفات الفنية لتوربينات الرياح في مصر بشكل ملحوظ؛ حيث تستخدم توربينات G80 في محطات جبل الزيت (١-٢-٣) بقدرة (٢ ميجاوات) وهي من تصنيع شركة GAMESA، ويبلغ ارتفاع حافتها نحو ١٠٠م. في حين ستشهد محطة جبل الزيت (٤) استخدام توربينات بقدرة ٣.٦ ميجاوات. (مقابلة ميدانية للباحثين مع مهندسي التشغيل بالموقع، مايو ٢٠٢٣م).**

وتُقدر متوسط المسافة بين التوربينات في الصف الواحد بنحو (٢٤٠) مترًا، ويصل متوسط المسافة بين صفوف التوربينات إلى ١١٥٠م. في حين تبلغ مساحة **المحطة المستقبلية (جبل الزيت ٤)** والمقرر افتتاحها بنهاية عام ٢٠٢٣م نحو ٥٦ كم٢، وتُقدر قدرتها الإسمية بنحو ٢٥٢ ميجاوات وتضم ٧٠ توربينة، كما ذُكر آنفًا. **(الدراسة الميدانية، ١٢ مارس ٢٠٢٣م)**، وبذلك ستصبح المساحة الإجمالية للمزرعة – بعد التوسعة– ١٦٤ كم٢ كما سترتفع قدرتها الإسمية المُركبة إلى (٨٣٢) ميجاوات/ ساعة؛ لتكون أكبر مزرعة رياح في قارة إفريقيا ومنطقة الشرق الأوسط من حيث، المساحة والقدرة الإنتاجية.



المصدر: من إعداد الباحثين اعتمادًا على: – هيئة الطاقة الجديدة والمتجددة، إدارة التشغيل، ٢٠٢٣م.
– الدراسة الميدانية للباحثين، وباستخدام برامج Arc G.I.S.,V:10.8.3 & Google Earth Pro.

شكل (٢) التقسيم الداخلي لمحطات مزرعة رياح جبل الزيت عام ٢٠٢٣م

* المشكلة البحثية

تكمن مشكلة البحث في زيادة في الطلب على الطاقة داخل جمهورية مصر العربية؛ بسبب النمو السكاني والعمراني من ناحية، ونقص مصادر إنتاج الوقود مع ارتفاع أسعاره من الناحية الأخرى، الأمر الذي يشكّل تحديًا كبيراً أمام تحقيق أهداف التنمية الاقتصادية؛ وقد نجم عن ذلك التفكير في إنشاء مزارع الرياح(*) كمصدر لإنتاج الكهرباء الخضراء. حيث إن زيادة العرض من الطاقة المتجددة يمكن أن يقلل من مخاطر تذبذب أسعار الوقود الأحفوري المرتفعة أصلاً **(محمد معن ديوب، ٢٠١٨م، ص ٧٣)**، وذلك كأحد الحلول لمواجهة مشكلة نقص الطاقة، وتجنب المشكلات البيئية الناجمة عن استخدام الوقود الحفري في إنتاج الطاقة، وهنا تظهر بعض المشكلات الاقتصادية، والمكانية المتعلقة بمزارع إنتاج الرياح، ويهدف هذا البحث إلى دراسة مزرعة رياح جبل الزيت، غرب خليج السويس، دراسة جغرافية اقتصادية.

***أهمية البحث وأسباب اختياره** تنبثق أهمية هذا البحث من خلال ما يلي:

– يتطرق البحث الى موضوع على قدر كبير من الأهمية، ألا وهو أحد أهم مصادر الطاقة الكهربائية المتجددة، والممثلة في طاقة الرياح.

– تزايد أهمية طاقة الرياح كمصدر آمن ومتوفر من مصادر الطاقة النظيفة والمتجددة؛ وذلك في ظل القيود التي تفرضها محدودية مصادر الطاقة التقليدية من جهة، ومشكلات استيرادها وارتفاع أسعارها من جهة أخرى.

(*) هي عبارة عن مجموعة التوربينات موزعة في مجموعة واحدة أو عدة مجموعات، متواجدة في مكان واحد يتم توصيلها سويًا لتوليد الطاقة الكهربائية، وقد يصل عددها إلى عدة مئات، منها ما يقام على اليابسة، وتسمى مزارع الرياح البرية On–Shore Wind Farms، ومنها ما يقام داخل المياه في البحر قريبة من الشواطئ، يطلق عليها المزارع البحرية Off–Shore Wind Farms . للمزيد مراجعة: وزارة الكهرباء والطاقة المتجددة، هيئة الطاقة الجديدة والمتجددة.

– تفاقم التحديات البيئية العالمية والتغير المناخي **Global Warming**، وخصوصاً ظاهرة الاحتباس الحراري **(هبة الله فتحي محمد، ٢٠١٨م، ص ٢٢٥)** وما ينجم عن ذلك من ضرورة استخدام مصادر الطاقة المتجددة كبديل لا غنى عنه للوقود الأحفوري، حيث يمكن القول إن استخدام الطاقة المتجددة ضرورة وليست خيارًا.

– دعم الرؤية الاستراتيجية للطاقة بحلول عام ٢٠٣٠ "بحيث يُصبح قطاع الطاقة قادر على تلبية كافة متطلبات التنمية الوطنية المستدامة من موارد الطاقة وتعظيم الاستفادة من مصادرها المتنوعة **(تقليدية ومتجدّدة)**.

– توقيع مصر على الاتفاقيات الدولية الخاصة بخفض انبعاثات ثاني أكسيد الكربون؛ مثل اتفاق باريس ٢٠١٧م، وتأكيد القيادة السياسية على هذا الأمر في مؤتمر المناخ COP 27 الذي عقد بشرم الشيخ عام ٢٠٢٢م، والتزامها بتطبيق سياسات تنمية مستدامه لقطاع الطاقة، ومنه إنتاج الكهرباء. ومن أهم هذه السياسات التوسع في إنتاج الكهرباء من الطاقة المتجددة ومنها طاقة الرياح لما تمثله هذه التكنولوجيات من خفض في الانبعاثات وتوفير في استخدام الوقود. ويتطلب إنتاج الكهرباء من طاقة الرياح توافر سرعات رياح عالية وتتوفر في منطقة جبل الزيت أعلى سرعات رياح في مصر **(نهال محمد فتحي الشحات، ٢٠٢١، ص ٦)**.

– مواجهة العالم أزمة غير مسبوقة في مجال استخراج وتعدين، وتجارة النفط والغاز الطبيعي، بسبب الحرب الروسية، الأوكرانية، والتي يمكن وصفها بأنها نقطة تحول فارقة في خريطة الطاقة العالمية.

*** الدراسات السابقة**

تعدّدت الدراسات حول موضوع إنتاج الكهرباء باستخدام طاقة الرياح، وتعد هذه الدراسة هي الدراسة الاقتصادية الأولى التي عالجت موضوع إنتاج الكهرباء الخضراء

بمزرعة رياح جبل الزيت، غرب خليج السويس، والتي تُعد أكبر مزرعة لإنتاج طاقة الكهرباء الخضراء باستخدام طاقة الرياح في مصر، وإفريقيا والشرق الأوسط. **وتنقسم الدراسات السابقة كالتالي:**

أولاً: الدراسات الجغرافية

- **دراسة محمد السيد حافظ (٢٠٠٧):** وعنوانها "الرياح وإنتاج الطاقة الكهربائية في صحراء مصر الشرقية، محطة الزعفرانة نموذجًا" وركزت على العوامل الطبيعية المؤثرة في إنتاج الرياح للكهرباء بالمنطقة، مع تقييم تطور إنتاج الطاقة من محطة الزعفرانة في السنوات المختلفة.
- **دراسة إيملي محمد حلمي حمادة (٢٠٠٨):** وهي عن طاقة الرياح في مصر، دراسة في المناخ التطبيقي، وعرضت الدراسة للتوزيع الفصلي والشهري والسنوي للسرعة اليومية للرياح، وإمكانيات طاقة الرياح الكامنة موزعة على فصول السنة، وأوضحت الدراسة أنه في حالة تشغيل توربين للرياح بقدرة ٢٠٠٠ كيلو وات/ ساعة، يلزم له سرعة رياح تبلغ نحو ١٣.٥ مترًا / ثانية.
- **دراسة حسن يونس حسن (٢٠٠٩):** بعنوان "الإشعاع الشمسي والرياح كمصادر للطاقة الجديدة والمتجددة في مصر– دراسة في المناخ التطبيقي" وقد اهتمت بدراسة عدداً من محطات الرصد المناخي في مصر وتقدير كميات الطاقة المتوقع إنتاجها في ضوء بيانات المحطات، مع التطرق إلى مشاريع الطاقة المتجددة في مصر.
- **دراسة أحمد محمد علي عجوة (٢٠١١):** حول جغرافية مزارع الرياح وإنتاجها من الكهرباء في مصر، وتناول تطور توزيع محطات توليد الكهرباء من الرياح في مصر، وتطور الطاقة المولدة من محطات الرياح، والتطور التقني لقدرات تربينات الرياح، والتوزيع الجغرافي لمحطات توليد الكهرباء من طاقة الرياح وأهم خصائصها الجغرافية

وعوامل توطنها، مع عرض اقتصاديات الإنتاج ومستقبل إنتاج الكهرباء من طاقة الرياح في مصر، ومشكلاتها.

- **دراسة ياسمين محمد عادل (٢٠١٣):** وتناولت "الطاقة المتجددة في مصر – دراسة في الجغرافيا الاقتصادية باستخدام نظم المعلومات الجغرافية" قامت بإعداد نموذج لإنتاج طاقة الرياح اعتماداً على المتغيرات المؤثرة في إقامة محطات طاقة الرياح في مصر، كما تناولت الابعاد الاقتصادية للطاقة المتجددة.
- **دراسة سعيد أحمد عبده، ومروة محمد العزب علي عيسى (٢٠١٦):** بعنوان "توطن محطات إنتاج الكهرباء من الرياح في مصر، دراسة في جغرافية الطاقة المتجددة" ودرست عوامل توطن مزارع الرياح في مصر وأنسب المواقع لإقامتها، كما تناولت منظومة إنتاج الكهرباء من الرياح بداية من عملية الإنتاج وحتى الربط بالشبكة الموحدة.
- **دراسة حسام ثابت صدقي وآخرون (٢٠١٩):** بعنوان "محاكاة الواقع الجغرافي لاستغلال طاقة الرياح في صحراء مصر الشرقية باستخدام الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية" وتناولت الدراسة دور نظم المعلومات الجغرافية في تحديد أنسب المواقع المقترحة لإقامة وإنشاء محطات طاقة الرياح.
- **دراسة هاجر سعد محمد عكاشة (٢٠١٩):** بعنوان "إنتاج الكهرباء من الرياح بالزعفرانة دراسة في الجغرافيا الاقتصادية" وقد درست عوامل توطن تلك المحطة، وتناولت تطور حجم إنتاجها، مع التعرف على اقتصاديات إنتاج الكهرباء من الرياح بالتطبيق على محطة الزعفرانة.
- **دراسة ياسر محمد عبد الموجود (٢٠١٩):** حول "تقييم إنتاج الطاقة الكهربائية من محطات الرياح في محافظة البحر الأحمر، دراسة في جغرافية الطاقة، باستخدام نظم المعلومات الجغرافية، وتناولت مقومات إنشاء محطات الرياح في المنطقة وتطور قدرتها الإسمية، والآثار الاقتصادية الناجمة عنها، مع التركيز على محطتي الغردقة والزعفرانة.

ثانيًا: الدراسات غير الجغرافية

– **دراسة خلود سامي حسنين (٢٠٠٤):** بعنوان "اقتصاديات الطاقة الجديدة والمتجددة وإمكانية استثمارها في مصر، وركزت على تناول كافة مصادر الطاقة المتجددة وكيفية إنتاج الكهرباء وتحلية المياه من خلالها، والتطرق إلى بعض مشروعات الطاقة الشمسية في مصر وأهم الجوانب الاقتصادية لها.

– **دراسة نيفين كمال (٢٠١٥م):** بعنوان:" إطار لرؤية مستقبلية لاستخدام مصادر الطاقة الجديدة والمتجددة، معهد التخطيط القومي، سلسلة قضايا التخطيط والتنمية رقم (٢٦١)، وقد استعرضت الدراسة وضع الطاقة في مصر وقابليته للاستدامة، كما عددت محددات استخدام الطاقة المتجددة في مصر، مع الإشارة إلى تكلفة وحدة الطاقة من المصادر المختلفة، وسياسات تحفيز إنتاج الطاقة الجديدة والمتجددة.

– **دراسة شركة أمونت لطاقة الرياح (مايو ٢٠٢١م):** بعنوان" دراسة تقييم الأثر البيئي، مشروع أمونت لطاقة الرياح ٥٠٠ ميجاوات، في خليج السويس، وقد تناولت التأثيرات البيئية والاجتماعية لمشروع إنشاء مزرعة رياح غرب خليج السويس، كما عرضت لمتطلبات تمويل المشروع.

*** منهج الدارسة ومداخلها وأساليبها**

اعتمدت الدراسة في تحليل بياناتها على المنهج الوصفي التحليلي، بالإضافة لعدد من المداخل؛ أهمها: المدخل التاريخي، والمدخل الموضوعي. **وشملت أساليب الدراسة الآتي:**

١- الأساليب الإحصائية Statistical Methods

تمثلت في التحليل الكمي للبيانات وبخاصة البيانات المناخية ومعدلات الإنتاج الكهربائي والقدرات الإسمية لمزرعة جبل الزيت خلال سنوات الدراسة. مع تنفيذ بعض المعادلات الرياضية وإنتاج الأشكال والرسوم البيانية عن طريق برنامج الحاسب الآلي

MS. Excel 365 تمهيدًا لحساب النسب والمعدلات والمتوسطات التي تخدم هدف الدراسة.

٢- الاساليب الكارتوجرافية Cartographic Methods

اعتمدت الدراسة على مزج برمجيات نظم المعلومات الجغرافية GIS والاستشعار عن بعد، كالتالي:

- تم استخدام برامج **Google Earth Pro & TerraIncognita** للحصول على المرئيات الفضائية عالية الدقة لمنطقة الدراسة واستخدم البرنامج الأول في تحميل صورة فضائية عالية الدقة (٠,٥ م / الخلية)، كما ساعد البرنامج الثاني في التعرف على بعض استخدامات الأراضي بمنطقة الدراسة من خلال بالتكامل مع الخرائط الطبوغرافية. كما استُخدم برنامج **Open Street Map** من أجل رسم شبكة الطرق وتحديثها داخل موقع المشروع، والمواقع المجاورة له.

- كذلك استُخدم برنامج Arc Map Version 10.8.3 بشكل رئيس؛ بداية من التصحيح الهندسي للخرائط الطبوغرافية، والجيولوجية، التي تغطى منطقة الدراسة، وبواسطة برنامج **Arc Catalog** تم إنشاء قاعدة بيانات تضم مختلف طبقات العمل على هيئة **Feature Classes**، مروراً بتحرير الطبقات المطلوبة وقياس المسافات، وانتهاءً بإخراج الخرائط، إضافة إلى استخدام بعض أدوات التحليل المكاني للأسطح مثل(**DEM & Aspect & Slope**) وعمل تصنيف فئوي لها يتناسب مع طبيعة المنطقة وخصائص توربينات الرياح.

٣- الدراسة الميدانية Field Work

اعتمدت الدراسة بشكل رئيسي على العمل الميداني؛ لتعويض نقص البيانات والمعلومات عن إنتاج الكهرباء الخضراء بشكل عام، ومزرعة رياح جبل الزيت **WIND**

FARM GEZ بشكل خاص، وأجريت الدراسة الميدانية خلال الفترة الزمنية (مارس – يونيو ٢٠٢٣م) **وشملت الدراسة الجوانب التالية:**

– **المقابلات الميدانية:** مهدت المقابلات التي أجراها الباحثون لجمع المعلومات التفصيلية عن مزرعة رياح جبل الزيت وتاريخ تطورها، وطبيعة التكنولوجيا المستخدمة، وحجم الإنتاج وعدد العاملين وخصائصهم، بجانب التعرف على بعض المحطات الخاصة مثل **ليكيلا LEKELA ورجوي RGWE (صورة ٢)**، بهدف المقارنة المكانية، وشملت مقابلة العديد من العاملين بمحطات الرياح؛ والاداريين والمهندسين ومديري التشغيل.

– **الملاحظة الميدانية:** كشفت عن طبيعة مزارع الرياح ومدي تباينها في القطاعين الحكومي والخاص، وساهمت في التعرف على طبيعة عمل التوربينات، وطريقة تشغيلها، وتوزيعها، وحجم الإنتاج ومستقبلة.

المصدر: الدراسة الميدانية، تم التقاطها داخل محطة ليكيلا الخاصة لإنتاج الكهرباء باستخدام طاقة الرياح

صورة (٢) نموذج للتوربينات بمحطة ليكيلا، والفريق البحثي مع مدير المحطة وأحد المهندسين العاملين بها عام ٢٠٢٣م

– **الصور الفوتوغرافية:** رصدت كاميرا الدراسة الميدانية العديد من الصور المُهمة؛ داخل مزرعة رياح جبل الزيت وغيرها من المحطات الخاصة، كما رصدت توربينات الرياح، وناقلات حملها العملاقة، وتم توظيفها داخل البحث بشكل يخدم الدراسة وعناصرها المختلفة.

– **تطبيق الاستبانة:** حيث تم تطبيق نموذج استبيان **(ملحق١)** على (٣٠) فردًا من المهندسين والفنيين والعاملين بمزرعة رياح جبل الزيت، يشكلون تقريبًا (٥٠٪) من جملة عدد العاملين بمنطقة الدراسة البالغ ٦١ فردًا، وبلغت نسبة الاستجابات الصحيحة للاستبانات المُطبقة (١٠٠٪)، وشمل الاستبيان (١٠) أسئلة جاء في مقدمتها، التركيب النوعي للعاملين في المحطة، وطبيعة عملهم، ومحل إقامتهم، وعدد سنوات العمل بالمحطة، ومتوسط الأجور، وغيرها من الأسئلة التي تعالج نقص البيانات والمعلومات وتخدم أهداف البحث.

أولًا: الملاءمة المكانية لمنطقة الدراسة

ثمة علاقة تبادلية قوية بين الاقتصاد والمكان، فالنشاط الاقتصادي يقوم بالدرجة الأولى على استغلال الموارد المتاحة، ويمثل المكان مصدر هذه الموارد، وتتحقق الملاءمة المكانية لمنطقة الدراسة، بمدى توافر مجموعة من المحددات الطبيعية والبشرية والتي تمثل في جوهرها العوامل المحفزة على إنتاج الكهرباء بشكل اقتصادي من عدمه.

وتتمثل المحددات الطبيعية في: خصائص الموقع والموضع، والتكوينات الجيولوجية، ومظاهر السطح، وسرعة الرياح، بالإضافة إلى النبات الطبيعي والحيوانات البرية بالمنطقة. بينما تتمثل المحددات البشرية في: السكان، ومستوى الضوضاء، واستخدامات الأرض، والمواقع الأثرية، **وهو ما سنتعرف عليه من خلال ما يلي:**

(أ) الملاءمة الطبيعية

يتأثر إنتاج الكهرباء الخضراء من محطات طاقة الرياح بعدة عناصر تُمثل الملاءمة الطبيعية، وفيما يلي دراسة تلك العناصر التي تؤثر في اقتصاديات إنتاج الكهرباء الخضراء بمنطقة الدراسة؛ كالتالي:

١ – خصائص الموقع والموضع

يُشكّل الموقع حجر الزاوية، ونقطة الحسم، التي يتوقف عليها نجاح أي مشروع، وبخاصة المشروعات ذات البعد الاقتصادي، والموقع الملائم، هو الذي يحقق أدنى كلفة ممكنة بأكبر عائد اقتصادي بأبعاده الاجتماعية والمادية **(كاظم كامل بشير، ٢٠٠٩ م، ص٤)**، وهو أيضًا، الموقع الملائم، يتم تحديده من خلال إدراك عميق لكافة العلاقات والروابط المكانية التي تحكم المكان. وتقع منطقة الدراسة، مزرعة جبل الزيت، **(شكل١)** في القسم الشمالي من محافظة البحر الأحمر، على الساحل الغربي لخليج السويس، وتبعد عن مدينة القاهرة بنحو ٣٤٥ كم، كما تبعد عن مدينة غارب – أقرب المدن إليها بنحو ٢٢ كم وبنحو ١٠٠ كم شمال مدينة الغردقة.

وهي تمتد فلكياً بين خطى طول ٤٢ً ٥٩َ ٣٢ْ – ٣٨ً ١٦َ ٣٢ْ شرقاً ، وبين دائرتي عرض ١٠ً ٠٣َ ٢٨ْ – ٤٤ً ١٠َ ٢٨ْ شمالاً، (حدود منطقة الدراسة بمواضع الملاءمة الطبيعية والبشرية تختلف عن حدود محطة جبل الزيت ؛ حيث تم دراسة المنطقة التي تتأثر بالأودية الجافة التي تنتهى مصباتها عند المحطة)، وهي بذلك تقع ضمن إقليم الصحراء الشرقية بمصر بمنطقة السهل الساحلي الغربي لخليج السويس، وقد توافر لهذا الموقع العديد من المقومات الطبيعية التي كان لها دوراً فعَّالاً في تميز موقع منطقة الدراسة كأمثل مواقع إنتاج الكهرباء الخضراء؛ إذ تقع ضمن أفضل المواقع التي حددها أطلس الرياح في مصر، وتحديدًا في المنطقة المصنفة كأعلى معدلات سنوية لسرعات للرياح المنتظمة بمصر والتي تتراوح بين ٨ – ١٠,٥ م / ث، ويمكن القول أن منطقة

خليج السويس تعد من أفضل المناطق الجغرافية في مصر لإقامة هذا النوع من محطات التوليد **(سعيد أحمد عبده، ٢٠١٢م، ص ٤٨)**.

كذلك فإن منطقة الدراسة لها خصائص موضعية مميزة، كاستواء الأرض وعدم تضرسها، **(صورة ٣)** وطبيعة تكويناتها الصخرية، وبعدها عن مراكز التكدس العمراني، وخلوها من الآثار، وما يترتب على ذلك من خفض التكلفة الاقتصادية لإقامة المشروع، هذه العوامل مجتمعة، دعمت فكرة اتخاذ قرار أن تكون منطقة جبل الزيت مقرًا لإنشاء أكبر محطة لتوليد الكهرباء باستخدام طاقة الرياح.

المصدر: الدراسة الميدانية للباحثين بين صفوف التوربينات، ١٢ مارس ٢٠٢٣م

صورة (٣) استواء السطح بمنطقة الدراسة

وتأخذ محطة جبل الزيت شكل مستطيلين كبيرين؛ **الأول:** يقع شرقاً ويشمل: المراحل الثلاث الأولى من مراحل إنشاء محطة جبل الزيت (جبل الزيت١-٢-٣)، وتبلغ مساحتها ١٠٨,٤ كم^{٢}، **والثاني:** يقع جهة الغرب، ويضم توربينات، المرحلة الرابعة **(جبل الزيت ٤)**، والتي من المتوقع الانتهاء من تنفيذها، وبداية تشغيلها خلال شهر ديسمبر للعام الحالي ٢٠٢٣ م، وتبلغ مساحتها ٥٥,٨ كم^{٢} **(مقابلة ميدانية للباحثين مع السيد/ مدير التشغيل، وأحد المهندسين العاملين بهيئة الطاقة الجديدة والمتجددة، ٣ إبريل ٢٠٢٣م)**.

٢ – التكوينات الجيولوجية

تهدف دراســـة التكوينات الجيولوجية، إلى تحديد تأثير تلك التكوينات في التكلفة الإجمالية للمشـروعات الاسـتثمارية المُزمع إنشـائها، وتختلف تلك التأثيرات وفقًا لطبيعة هذه المشـروعات، وفي مزارع إنتاج الكهرباء يبرز أثر التكوينات الجيولوجية في جوانب ثلاثة: وهي إنشـاء التوربينات، تعبيد الطرق، إقامة المباني الإدارية، والخدمية، ويتطلب إنشاء التوربينات إلى عمل قواعد خرسانية على هيئة حُفر دائرية **(صورة ٤)**، وهي ذات أبعاد كبيرة نسبيًا (بأقطار تبلغ حوالي ٢٠ مترًا، وأعماق تقارب ٤ أمتار) من أجل تثبيت التوربينات **(المركز الإقليمي للطاقة المتجددة وكفاءة الطاقة ، ٢٠٢١ ، ص ٧٧)**. وبالتالي فإن تكلفة إنشـاء هذه الحفرة تصـل إلى أدنى مسـتوياتها في حالة التكوينات الجيولوجية المفككة كمناطق الغطاءات الرملية أو المراوح الفيضـية وترتفع بشـكل أكبر في حالة صـخور الحجر الجيري، بينما تصـل إلى أقصـى تكلفة لها في حالة الصـخور النارية، والتي يتطلب تحطيمها والتعمق بها استخدام آلات ضخمة، وذلك لشدة صلابتها **(Sean Dessureault, 2006, pp 15-17)**.

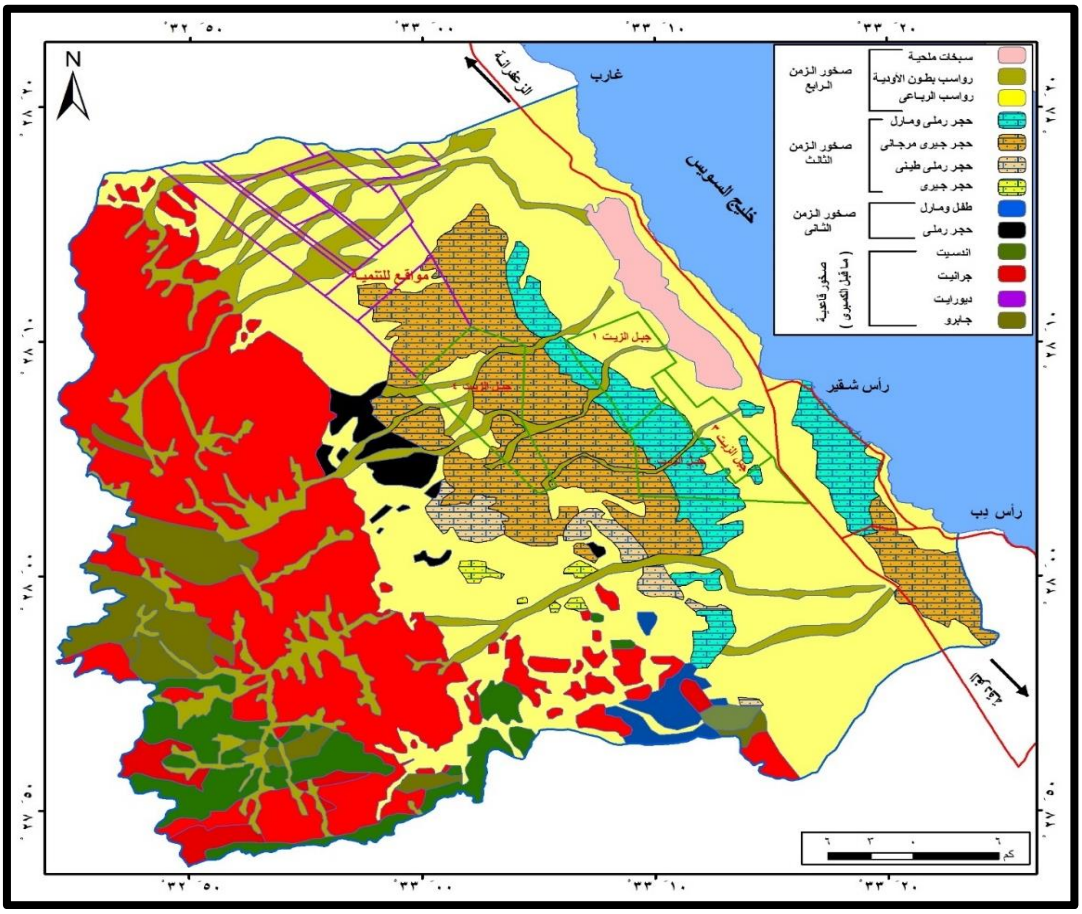
المصدر: (شركة "ليكيلا: تقرير مايو ٢٠١٩م، ص١١)

صورة (٤) قاعدة خرسانية لتوربين رياح

وقد تم تحديد التكوينات الجيولوجية الرئيسية بمنطقة الدراسة اعتمادًا على الخرائط الجيولوجية **شكل (٣) وجدول (١)** لوحات (شمال سيناء، بنى سويف، القصير، أسيوط) الصادرة عن الهيئة المصرية العامة للبترول عام ١٩٨٧ م، بمقياس ١:٥٠٠,٠٠٠، **وهو ما نستنتج منه ما يلي:**

- **تباينت** التكوينات الجيولوجية بالمنطقة لتضم عصورًا زمنية مختلفة؛ فمنها صخور تنتمي لعصر ما قبل الكمبري والصخور القاعدية، ورواسب تعود إلى الأزمنة الثاني، والثالث، والرابع، وهى الأحدث والأهم بالنسبة لموضوع الدراسة، لأنها تُشكّل الطبقات السطحية التي تتم بها عمليات الحفر، وتعبيد الطرق، وبالنظر إلى تتابع التكوينات الجيولوجية نجد أن صخور القاعدة تنتمي إلى عصر ما قبل الكمبري، وهي صخور قديمة وصلبة، وتمثلها صخور الجرانيت والنيس والديوريت والجابرو والمتجمعات البركانية **(EL-khadragy, A.A. ,1987, p. 33)**. وصخور الزمن الثاني وتتمثل في تكوينات الكريتاسي الأدنى (تكوين مالحة) والأعلى (تكوين الطارف)، وتتألف طبقاته من وحدتين: الوحدة السفلى حجر رملي، وحجر رملي نوبي مع تتابعات من الرمل والمارل والجبس**(EL Nakkady, S.E., 1958, P. 33)** والوحدة العليا طفل ومارل وحجر رملي كلسي وجبس **(IED, I.M., 2000, P. 122)**.

كما تتمثل صخور الزمن الثالث في صخور مجموعة طيبة: وتنتمى إلى الأيوسين الأسفل وتتألف طبقاتها من الحجر الجيري الطباشيري، ويتداخل مع طبقات رقيقة من الصوان، ويتراوح سمك الرواسب بين٤٠ – ٧٠، وصخور الميوسين: وتشمل تكويني أم محارة وأم غيج، وتتألف بشكل رئيسي من تتابعات سميكة من الرمل والكنجلوميرات ويصل سمكها إلى نحو ٥٢ م إضافة إلى طبقات من المارل المتدرج اللون **(Abdel Khalik , A.M., 1990, P.16)**.



المصدر: من إعداد الباحثين اعتمادًا على: الهيئة المصرية العامة للبترول، الخرائط الجيولوجية مقياس ١:٥٠٠٠٠٠، لوحات (شمال سيناء، بنى سويف، القصير، أسيوط) ١٩٨٧م. وباستخدام Arc G.I.S.,V:10.8.3 & Google Earth Pro.

شكل (٣) التكوينات الجيولوجية بمنطقة الدراسة

– كما توجد في شـــكل طبقات من الطفل المتداخل مع الحجر الجيري الطيني والمارل ويتراوح ســمكها بين ٥٠٠–١١٠٠م جنوب غارب **(Gabr, A.H,1997, P.13)**.

أما صـخور البلايوسين فتتألف من الحجر الرملي الكلسي الخالي من الحفريات البحرية فيما عدا بقايا جذوع الأشـجار وتتكون من حصـى ورمل خشـن متداخل مع راقات رفيعة من الأنهيدريت **(Said,R., 1990,P.485)**.

جدول (١) مساحات ونسب التكوينات الجيولوجية بمنطقة الدراسة

م	الزمن الجيولوجي	العصر الجيولوجي	التكوين	وصف التكوين	المساحة كم٢	%
١	الرابع	بلايستوسين	رواسب بطون الأودية	رمال وحصى وطين	٢٧٠,٨	١٠,٤
٢			رواسب السبخات	ملح، طين، متبخرات	٤٣,٣	١,٧
٣			تكوين الرباعي	شواطئ مرفوعة، مراوح فيضيه، رواسب أودية، رمال وحصى	٩٤٣,١	٣٦,٣
٤	الثالث	بليوسين	تكوين شجرة	حجر رملي ومارل	١٢٧,٣	٤,٩
٥		ميوسين	تكوين أم غيج	حجر جيري مرجاني	٢٨١,٧	١٠,٨
٦			تكوين أم محارة	حجر رملي وحجر طيني	٣٣,٥	١,٣
٧		إيوسين أسفل	تكوين طيبة	حجر جيري طباشيري غنى بالعقد الصوانية	٧,٤	٠,٣
٨	الثاني	كريتاسي أعلى	تكوين الطارف	طبقات من الحجر الرملي المتعاقب مع الطفل والمارل	٢٣,٨	٠,٩
٩			تكوين مالحة	حجر رملي وكنجلوميرات	٣١,٧	١,٢
١٠	الأركي	ما قبل الكمبري		جابرو، ديورايت، جرانيت، اندسيت	٨٣٦,٥	٣٢,٢
الإجمالي					٢٥٩٩,١	١٠٠

المصدر: من إعداد الباحثين اعتمادًا على: القياسات الآلية من الشكل (٣) باستخدام برنامج Arc G.I.S.,V:10.8.3

– تظهر على السطح رواسب الزمن الرابع (البليستوسين والهولوسين)، وتتألف من رواسب سطحية تغطى معظم أجزاء السهل الساحلي الغربي لخليج السويس بمنطقة الدراسة، بالإضافة إلى بطون وجوانب الأودية ومصباتها ويمكن تقسيمها إلى الأنواع التالية: رواسب هوائية، وهى رواسب رملية مفككة تأخذ شكل تلال، كثبان، نباك، وفرشات رملية منتشرة حول المستنقعات الملحية، رواسب السبخات: وهى رواسب غنية بالأملاح والصلصال نتيجة تبخر المياه الجوفية عن طريق الخاصة الشعرية وبقاء الأملاح على الطبقة السطحية من التربة (**الهيئة المصرية العامة للبترول ، ١٩٨٧ م ، الخرائط الجيولوجية مقياس ١:٥٠٠,٠٠٠).**

يتبين من العرض السابق أن صخور منطقة الدراسة تتفاوت في مقدار صلابتها، مما ينعكس على تكاليف إنشاء توربينات الرياح واقتصاديات إنتاج الكهرباء الخضراء بالمنطقة؛ حيث تبين أن ٦٧,٦٪ من إجمالي المنطقة (١٧٦٠ كم٢ تقريبا) تتألف من صخور الحجر الجيري والرملي والرواسب المفككة؛ وهي الأقل في تكاليف الحفر والإنشاء، في حين تصل مساحة التكوينات شديدة الصلابة ٣٢,٢ % من إجمالي المنطقة (٨٣٦,٥ كم٢) وتتمثل في صخور القاعدية الصلبة التي تنتمي لعصور ما قبل الكمبري، وبالتالي هي الأقل صلاحية والأعلى تكلفة بالنسبة لإنشاء مزارع الرياح.

٣- خصائص السطح

تتأثر تكلفة إنشاء توربينات إنتاج الكهرباء باستخدام طاقة الرياح بمظاهر السطح؛ وذلك لما تحتاج إليه عمليات الإنشاء من مدً وتمهيدً للطرق لوصول معدات الحفر وأوناش الرفع الضخمة لأجزاء التوربينات والتي يصل مجموع أوزانها إلى ١١٤ طنًا (يبلغ وزن الريشة Blade ٧,٢٥ طن – ووزن المحور Rotor الذى تثبت به الريش يقدر بنحو ٢٢ طنًا – أما التوربين أو الناسيل Nacelle & Hub فيقدر وزنه بنحو ٧٣ طنًا بخلاف البرج الحامل لتلك الأجزاء Tower) **صورة (٥)**.

المصدر: الدراسة الميدانية للباحثين في منطقة الدراسة ٢٠٢٣م.

صورة (٥) معدات الرفع العملاقة والريش الخاصة بالتوربينات

وتهدف دراسة الحالية إلى دراسة خصائص ودرجات واتجاهات انحدار السطح بالمنطقة، للتعرف على تأثيراتها على التكلفة الاقتصادية لإنشاء توربينات الكهرباء الخضراء **(هيئة الطاقة الجديدة والمتجددة، بيانات غير منشورة، ٢٠٢٣ م)**، وتتأثر طاقة الرياح بعامل الارتفاع إذ تبلغ طاقة الرياح على ارتفاع (٥٠) مترًا من سطح الأرض نحو ضعف طاقتها على ارتفاع (١٠) أمتار **(سعيد أحمد عبده، ٢٠١٢م، ص ٤٤)**، وهذا ما يعظم من أثر ارتفاع منسوب السطح على المردود الاقتصادي لطاقة التوربينات وإنتاجها، وتم تناول مظاهر السطح من خلال ما يلي:

أ – ارتفاعات السطح

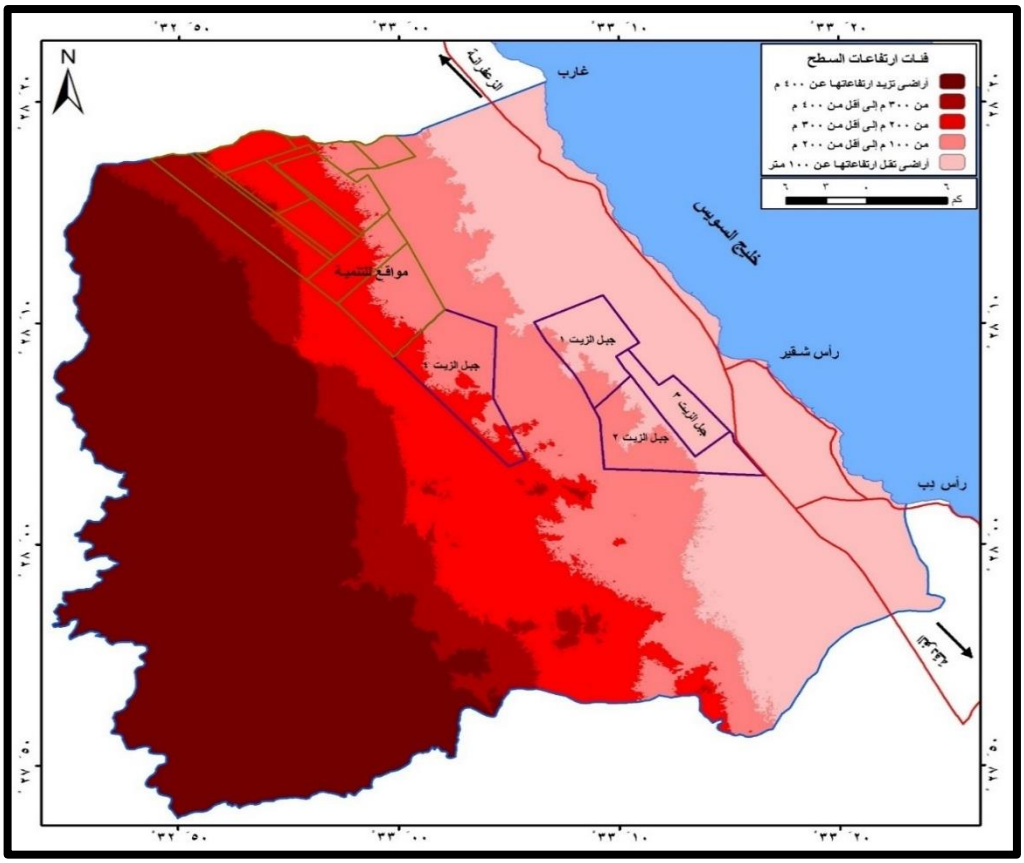
تتدرج منطقة الدراسة في ارتفاعاتها من الشرق إلى الغرب، **كما يتبين من جدول (٢)، وشكل (٤)** ويعد هذا نتيجة طبيعية للظروف الجيولوجية التي مرت بها منطقة الدراسة والتي تمثلت في حركات رفع لجبال البحر الأحمر في الغرب وطغيان البحر على الجهة الشرقية للمنطقة ثم انحساره عنها لتظهر منطقة السهل الساحلي الحالي، وتتراوح ارتفاعات السطح بالمنطقة بين منسوب سطح البحر (صفر) و١٦٨٧ متراً فوق مستوى سطح البحر، باستثناء مساحاتٍ ضئيلة بالسبخة الملحية شرق المنطقة ؛ إذ يصل منسوبها إلى نحو ٤ أمتار تحت مستوى سطح البحر، وتم تصنيف ارتفاعات سطح المنطقة إلى ٥ فئات وفقًا لطبيعة منطقة الدراسة **على النحو التالي:**

– **من صفر إلى أقل من ١٠٠ م:** وتشغل الأجزاء الشرقية من المنطقة، تصل مساحتها إلى ٦٠٩,٦ كم^{٢}، تمثل نحو ربع مساحة المنطقة (٢٣,٥ %)، وهي بذلك ثاني أكبر فئات الارتفاع مساحة، وتعد أنسب المواقع من حيث انخفاض تكلفة إنشاء التوربينات؛ حيث تتركز بها خطوط الطرق الرئيسية والقرب من الموانئ البحرية، علاوة عن استواء السطح النسبي، ولذا فقد تم تنفيذ المراحل الثلاث الأولى من محطة جبل الزيت في تلك المنطقة.

جدول (٢) مساحات ونسب فئات تضاريس السطح بمنطقة الدراسة

م	فئات الارتفاع	المساحة كم٢	%
١	من صفر إلى أقل من ١٠٠ م	٦٠٩,٦	٢٣,٥
٢	من ١٠٠ إلى أقل من ٢٠٠ م	٤١٦,٢	١٦
٣	من ٢٠٠ إلى أقل من ٣٠٠ م	٤٠٢,٩	١٥,٥
٤	من ٣٠٠ إلى أقل من ٤٠٠ م	٢٢٤,٩	٨,٧
٥	من ٤٠٠ م فأكثر	٩٤٥,٥	٣٦,٤
الإجمالي		٢٥٩٩,١	١٠٠

المصدر: من إعداد الباحثين اعتمادًا على: القياسات الآلية من الشكل (٤) باستخدام برنامج Arc G.I.S.,V:10.8.3.



المصدر: من إعداد الباحثين اعتمادًا على: نموذج الارتفاع الرقمي Aster GDEM V.2 , 2011 بدقة مكانية ٣٠ متر / خلية ، وباستخدام برنامج Arc G.I.S.,V:10.8.3.

شكل (٤) طبيعة السطح بمنطقة الدراسة

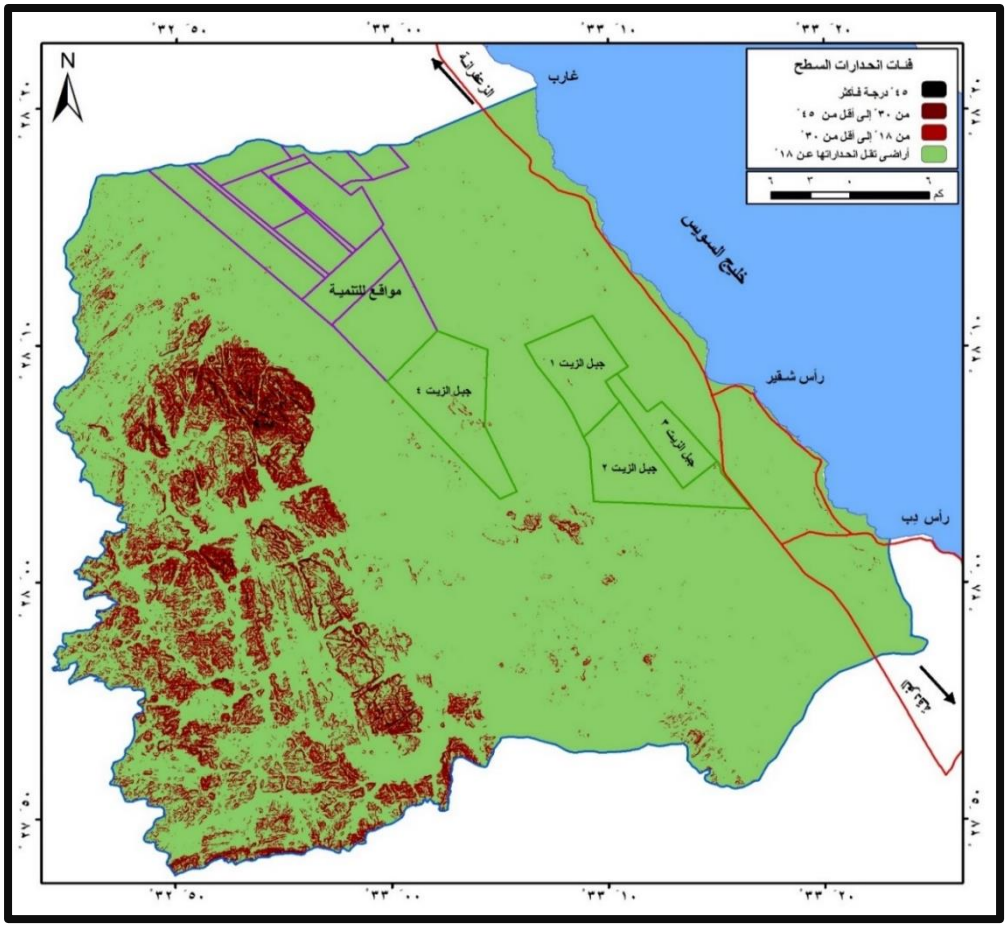
– **من ١٠٠ م إلى أقل من ٢٠٠ م:** وهي الفئة التالية للمنطقة الساحلية مباشرة، وتبلغ مساحتها ٤١٦,٢ كم٢ بنسبة تصل إلى ١٦٪ من إجمالي المنطقة، وتأخذ هذه الفئة شكل المستطيل المنتظم تقريباً – باستثناء الجزء الجنوبي حيث يضيق اتساعها – ممتداً من الشمال الغربي إلى الجنوب الشرقي. ثم **من ٢٠٠ م إلى أقل من ٣٠٠ م:** تبلغ مساحتها ٤٠٢,٩ كم٢ تمثل ١٥,٥ % من إجمالي مساحة المنطقة. ثم **من ٣٠٠ م إلى أقل من ٤٠٠ م:** وهي أعلى فئات الارتفاع بمنطقة السهل الساحلي وأبعدها عن خط الساحل جهة الغرب، ويتغير تضرس وارتفاع السطح بعدها بشكل مفاجئ بسبب الانتقال إلى منطقة جبال البحر الأحمر النارية، وتبلغ مساحة هذه الفئة ٢٢٤,٩ كم٢ بنسبة تصل إلى ٨,٧ % من إجمالي مساحة المنطقة، كما أنها تعد أصغر فئات ارتفاعات السطح مساحة. **وبذلك** تشغل الفئات الأربع السابقة نحو ٨٨,٢ % من إجمالي مساحة المنطقة، وهي تقع ضمن الأراضي متوسطة الانحدار والتي لا تزيد درجات انحدار سطحها عن ١٨ْ ، بينما تشغل الأراضي الشديدة الانحدار والجروف ٣٠٥ كم٢ تمثل ١١,٨ % من إجمالي المنطقة.

– **أكثر من ٤٠٠ م:** وتشغل هذه الفئة نطاق سلاسل جبال البحر الأحمر بالمنطقة، وهو ما أدى إلى التفاوت الكبير في ارتفاعاتها، إذ تبدأ بارتفاع ٤٠٠ م وتنتهي عند ١٦٨٧ متراً على امتداد نحو ٢٠ كم فقط (اتساع الفئة).

نستنتج من التحليل السابق أن نطاق السهل الساحلي (صفر – ٤٠٠ م) هو أنسب المواقع للتوسع المستقبلي لمحطات إنتاج الكهرباء الخضراء بالمنطقة، حيث إن ثلثي المنطقة تقريبًا (٦٣,٦ %) تتوافر فيها ميزة التضرس الخفيف والذى يقلل من تكاليف إنشاء مثل تلك المحطات ويُعظم من عوائدها الاقتصادية، مع الأخذ بعين الاعتبار أن تلك الميزة تقل وتتلاشى كلما انتقلنا من شرق المنطقة إلى غربها.

ب- انحدارات السطح

تتأثر درجات **انحدارات السطح** Slopes بشكل مباشر بدرجة تضرس السطح **(شكل ٥)**، فكلما كان السطح أكثر تضرساً كان أشد انحدارًا، ومما لا شك فيه أن إمكانية التنقل والإنشاء تسهل بالمناطق المستوية والخفيفة والمتوسطة الانحدار، وهو ما ينعكس إيجاباً على التكلفة الاقتصادية للإنشاء. وقد صنَّف ينج **(Young, A., 1972, P, 172)** **انحدارات السطح** إلى ٧ فئات تبدأ بالأراضي المستوية وشبه المستوية وانتهاءًا بالجروف أو الحافات الرأسية.



المصدر: من إعداد الباحثين اعتمادًا على: نموذج الارتفاع الرقمي Aster GDEM V.2 , 2011 بدقة مكانية ٣٠ متر / خلية ، وباستخدام برنامج Arc G.I.S.,V:10.8.3.

شكل (٥) انحدارات السطح بمنطقة الدراسة وفقاً لتصنيف Young

جدول (٣) مساحات ونسب فئات درجات انحدار السطح بمنطقة الدراسة.

م	درجات الانحدار	المساحة بالكم^{٢}	%
١	أقل من ٢ °	٥٦٩,٨	٢١,٩
٢	من ٢ ° إلى أقل من ٥ °	٨٦٣,٤	٣٣,٢
٣	من ٥ ° إلى أقل من ١٠ °	٥٧٢,٩	٢٢
٤	من ١٠ ° إلى أقل من ١٨ °	٢٨٧,٦	١١,١
٥	من ١٨ ° إلى أقل من ٣٠ °	٢١٦	٨,٣
٦	من ٣٠ ° إلى أقل من ٤٥ °	٨٢,٣	٣,٢
٧	٤٥ ° فأكثر	٧,١	٠,٣
	الإجمالي	٢٥٩٩,١	١٠٠

المصدر: من إعداد الباحثين اعتمادًا على: القياس من شكل (٥) وباستخدام برنامج Arc G.I.S.,V:10.8.3.

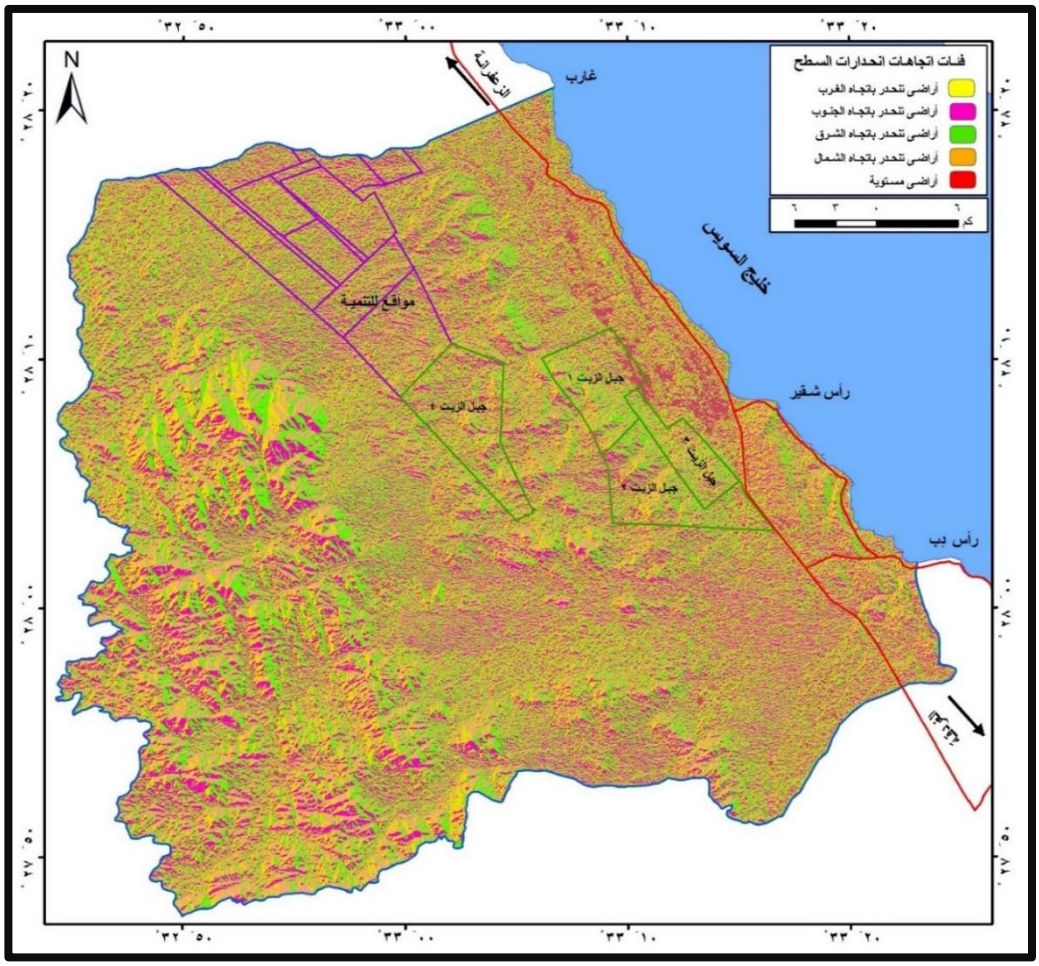
ويتضح من بيانات شكل (٥) وجدول (٣) أن السمة الغالبة على منطقة الدراسة هي انخفاض درجات انحدار السطح؛ إذ تشغل الفئات الأربع الأولى لدرجات الانحدار نحو ٨٨,٢ % من إجمالي المنطقة، أي أن تلك المساحة تقع ضمن الأراضي متوسطة الانحدار والتي لا تزيد درجات انحدار سطحها عن ١٨° مما ينعكس على اقتصاديات إنشاء مزارع الرياح وتشغيلها، بينما تشغل الأراضي الشديدة الانحدار وكذلك الجروف ٣٠٥ كم٢ وهي بذلك تمثل ١١,٨ % من إجمالي المنطقة.

جـ – اتجاهات انحدارات السطح

تؤثر ظاهرات السطح كالأودية والهضاب والتلال والمنخفضات في توجيه انحدارات السطح، وتنعكس اتجاهات الانحدارات بشكل غير مباشر على تكلفة صيانة توربينات إنتاج الكهرباء؛ لما تسببه من تركيز للجريان السطحي، حال سقوط أمطار غزيرة أو سيول، فكلما تباينت اتجاهات الانحدارات تشتتت معها كميات المياه المتدفقة وحالت دون

تركز الجريان السيلي، مما يضعف من قوة اندفاع المياه، وبالتالي انخفاض التكاليف والتجهيزات المطلوب إقامتها لدرء مخاطر السيول على التوربينات والمنشئات التابعة لها بالمنطقة. **ويتضح من بيانات شكل (٦) وجدول (٤) ما يلي:**

– تصل مساحة الأراضي المستوية بالمنطقة إلى ٧٤,٤ كم ^{٢} بنسبة تصل إلى ٢,٩ % من إجمالي مساحة المنطقة.



المصدر: من إعداد الباحثين اعتمادًا على: نموذج الارتفاع الرقمي Aster GDEM V.2 , 2011 بدقة مكانية ٣٠ متر / خلية ، وباستخدام برنامج Arc G.I.S.,V:10.8.3.

شكل (٦) اتجاهات انحدارات السطح بمنطقة الدراسة

جدول (٤) مساحات ونسب فئات اتجاهات انحدارات السطح بمنطقة الدراسة.

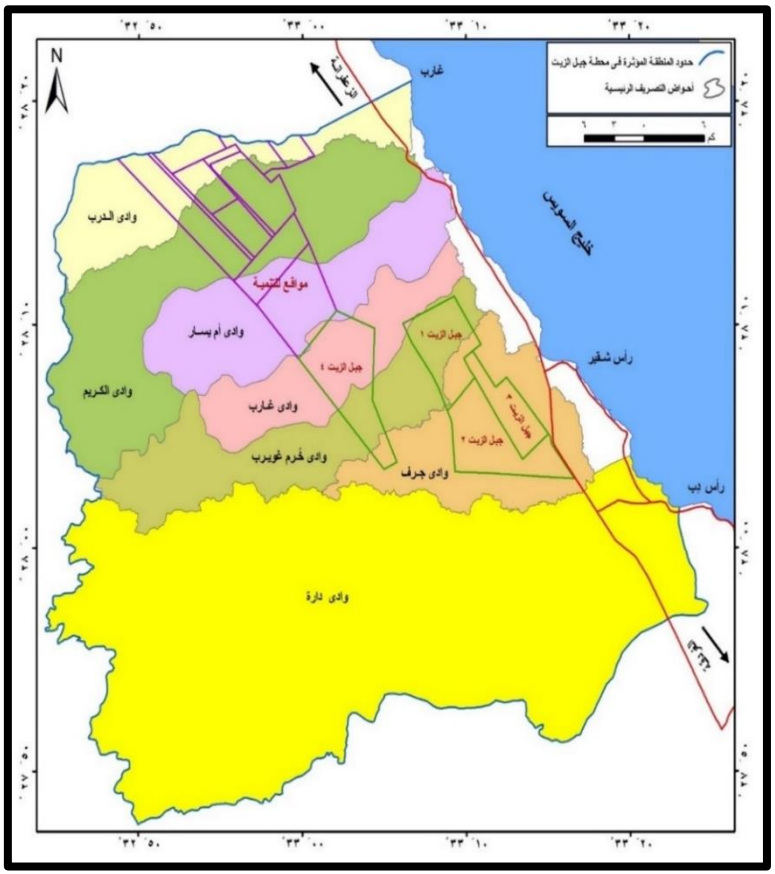
م	اتجاهات الانحدار	المساحة كم٢	%
١	أراضي مستوية	٧٤.٢	٢.٩
٢	أراضي تنحدر صوب الشمال	٧١٨.٣	٢٧.٦
٣	أراضي تنحدر صوب الشرق	٧٤٠.٧	٢٨.٥
٤	أراضي تنحدر صوب الجنوب	٥٨٣.٧	٢٢.٥
٥	أراضي تنحدر صوب الغرب	٤٨٢.٣	١٨.٦
٦	الإجمالي	٢٥٩٩.١	١٠٠

المصدر: من إعداد الباحثين اعتمادًا على: القياس من شكل (٦) وباستخدام برنامج Arc G.I.S.,V:10.8.3

– تتشتت اتجاهات الانحدار السطح بالمنطقة في جميع الاتجاهات وبنسب متقاربة بشكل كبير؛ إذ تصل نسبة ما تمثله الأراضي المنحدرة إلى ٢٧,٦ %، ٢٨,٥٪، ٢٢,٥٪، ١٨,٦٪ بالاتجاهات الرئيسية الأربعة: الشمال – الشرق – الجنوب – الغرب على الترتيب، ويرد ذلك التشتت إلى تقطع السطح بشبكة تصريف كثيفة نسبياً بمنطقة السهل الساحلي شرقاً والقمم الجبلية النارية غرباً.

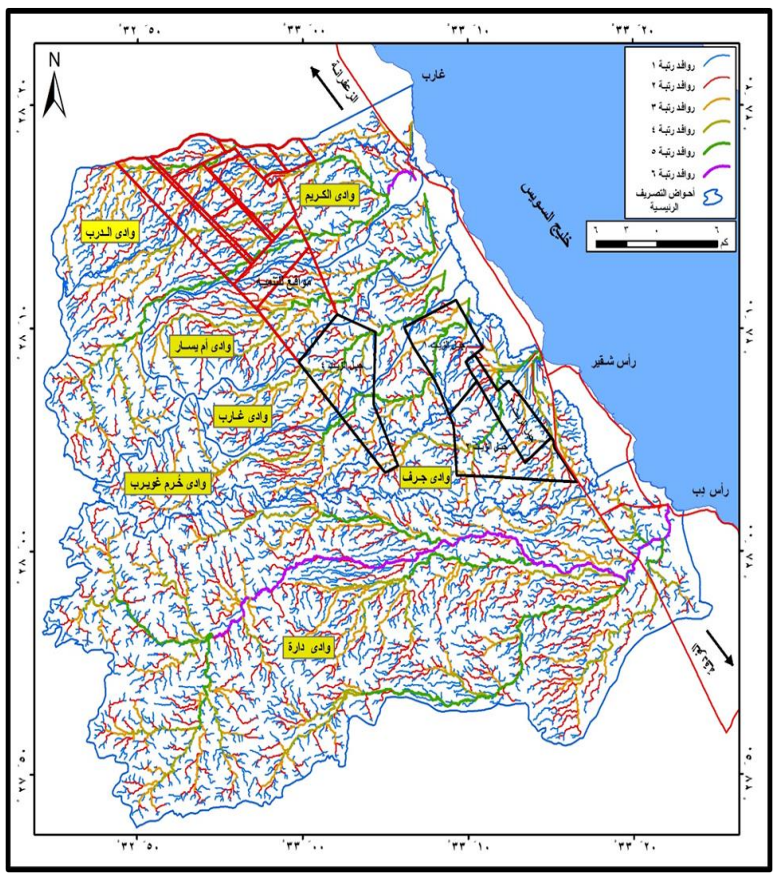
٤ – الأودية الجافة

تعد الأودية الجافة أكثر ظاهرات السطح انتشاراً بالأقاليم الجافة وشبه الجافة، وتضم منطقة الدراسة ٧ أحواض رئيسة من الشمال إلى الجنوب أودية هي: الدرب، الكريم، أم يسار، غارب، خرم غويرب، جرف، ودارة. تصل جملة مساحة أحواض التصريف بالمنطقة ٢٥١٩,٩ كم٢ بنسبة ٩٧ % من إجمالي المنطقة، يأتي حوض وادي دارة كأكبر أحواض التصريف مساحة (٤٧,٤ %) يليه حوض وادي الكريم (١٤,٢ %)، بينما يشغل حوض وادي الدرب المرتبة الأخيرة بين أحواض المنطقة بنسبة ٦,٥ % من إجمالي مساحة أحواض شبكة التصريف بمنطقة الدراسة.



المصدر: من إعداد الباحثين اعتمادًا على: نموذج الارتفاع الرقمي Aster GDEM V.2 , 2011 بدقة مكانية ٣٠ متر / خلية ، الخرائط الطبوغرافية مقياس ١:٥٠.٠٠٠ لعام ١٩٩٠ م وباستخدام برنامج Arc G.I.S.,V:10.8.3.

شكل (٧) أحواض التصريف الرئيسية بمنطقة الدراسة.



المصدر: من إعداد الباحثين اعتمادًا على: نموذج الارتفاع الرقمي Aster GDEM V.2 , 2011 بدقة مكانية ٣٠ متر / خلية ، الخرائط الطبوغرافية مقياس ١:٥٠.٠٠٠ لعام ١٩٩٠ م وباستخدام برنامج Arc G.I.S.,V:10.8.3.

شكل (٨) شبكات التصريف بمنطقة الدراسة.

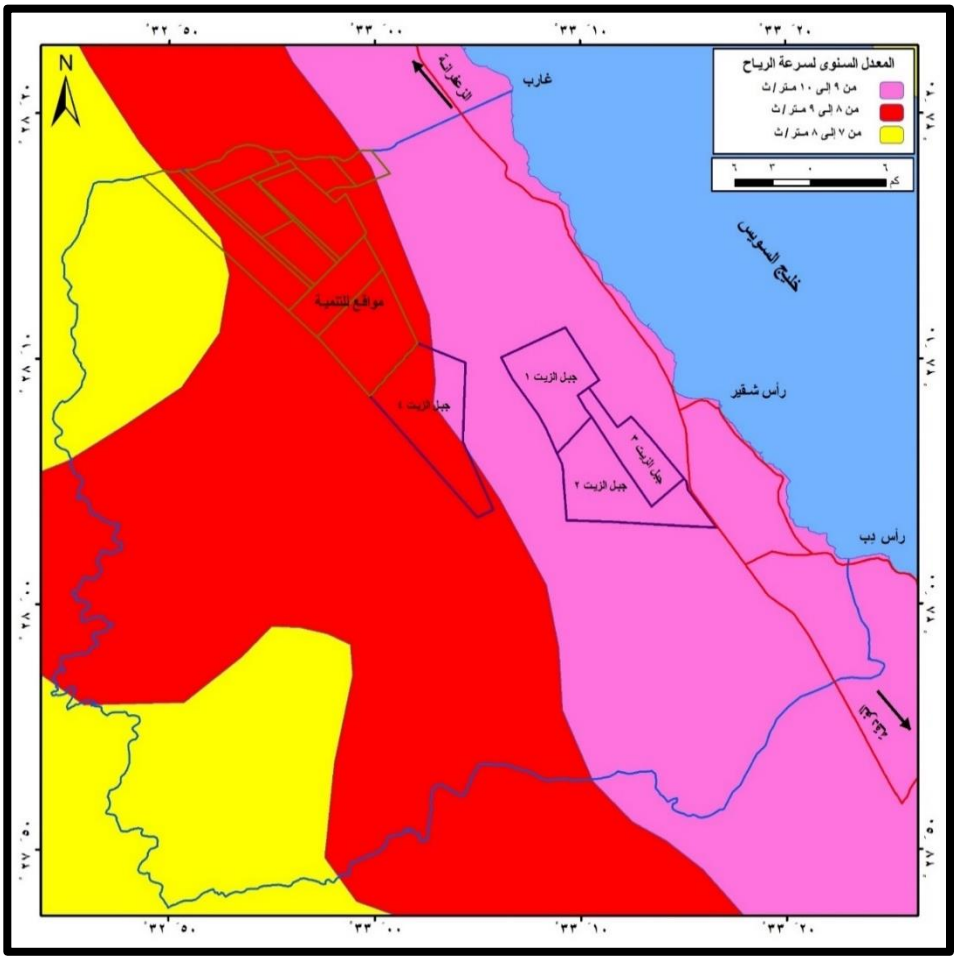
– بلغت جملة أعداد المجاري المائية (الروافد) بأحواض التصـــريف بالمنطقة ٧٦٤٦ رافداً، **شكل (٧)** بمجموع أطوال وصلت إلى ٥٢٧١,٦ كم، تنتهي مصبات هذه الأودية بمجاري مائية من الرتبة الخامسة والسادسة، وهو ما يشير إلى كثافة الشبكة. يشغل وادي دارة المركز الأول من حيث جملة أعداد المجاري المائية وجملة أطوالها أيضـــاً؛ حيث بلغت ٣٦٤٧ رافداً و٢٤٧٩,٩ كم وبنســـبة ٤٧,٧ % و٤٧ % لكل منهما، ومرد ذلك إلى كبر مساحة الحوض.

– بلغ المتوسط العام لكثافة شبكة التصريف بأحواض المنطقة ٣ كم / كم^{٢}، **شكل (٨)** وتراوحت قيمها بين ٢,٥ و٣,٤ كم / كم^{٢}، وقد شـــغل حوض وادي الجرف أعلى كثافة تصـريفية (٣,٤ كم / كم^{٢})، في حين سـجلت أقل القيم بحوض وادي الدرب (٢,٥ كم / كم^{٢})، ويرجع السبب في تقارب قيم كثافة شبكة التصريف بالمنطقة إلى التجانس الشديد في الظروف الطبيعية المؤثرة عليها بجميع أحواض التصـــريف وبنفس القدر تقريباً (التكوينات الجيولوجية، الانحدارات، التضـــاريس)؛ حيث تأخذ جميع الأحواض نفس الاتجاه والامتداد من الغرب إلى الشرق.

٤ – الظروف المُناخية

يُمثّل المُناخ أحد العوامل الطبيعية المهمة التي تؤثر في النشـاط البشـري، بعامة، والنشـاط الاقتصـادي بخاصـة، ومن المعروف أن بعض الصـناعات يلزم لقيامها نوع معين من المناخ (**عبد العزيز طريح شـــرف، ٢٠٠٠ م، ص ٢٢**) وفي مجال إنتاج الكهرباء باسـتخدام توربينات الرياح، يعد تأثير عنصـر الرياح هو العنصـر الأبعد أثرًا؛ والأشد حسمًا؛ فعلى الرغم من المستوى التقني والتكنولوجي الذى وصل إليه العالم اليوم، والذي ما زال يتســارع بوتيرة مضــطردة، مما مكَّن الإنســان من التغلب على معوقات طبيعية مثل: شدة التضـاريس، صـلابة التكوينات الجيولوجية، العزلة الجغرافية، إلا أنه

لم يصـــل إلى المرحلة التي تمكنه من التحكم في عنصـــر الرياح من حيث جبهات الهبوب، والســرعة، واســتمرارية التدفق. وقد أثمر التعاون المشــترك بين هيئة الطاقة الجـديـدة والمتجـددة **NREA** وهيئـة الأرصـــاد الجويـة **EMA** والمركز القومي **الدنماركي Riso** عن إنتاج أطلس الرياح الذى صـنف الأراضـي المصـرية إلى عدة أقسام وفقًا للمُعدّل السنوي لسرعات الرياح، وتعد منطقة الدراسة ضمن أفضل المواقع بمصر وفق هذا التصنيف **شكل (٩)**.



المصدر: من إعداد الباحثين اعتمادًا على: أطلس رياح مصر، هيئة الطاقة الجديدة والمتجددة، ٢٠٠٥م، ص٧، باستخدام برنامج Arc G.I.S.,V:10.8.3.

شكل (٩) المعدل السنوي لسرعة الرياح بمنطقة الدراسة

حيث إن منطقة غرب خليج السويس تتميز بأعلى معدلات سنوية لسرعات الرياح، إذ تزيد عن ١٠ م/ ث على ارتفاع ٥٠م من الأراضي المجاورة بالنطاق الممتد من أبو درج شمالاً حتى خليج الزيت جنوباً **(أطلس الرياح – ص ٣٢)**، كما أن أعلى سرعة رياح سُجلت لمدة ١٠ دقائق خلال فترة الدراسة في مصر (١٩٩١ – ٢٠٠٥ م) بلغت ٢٥، ٢٥,٦، ٢٤,٨ م/ ث، بمحطات أبو درج، الزعفرانة والغردقة على الترتيب. وقد أشارت دراسة **(أيميلى محمد حمادة، ٢٠٠٨، ص ١٠٠)** إلى أن المعدل العام لسرعات الرياح بمنطقة الدراسة، بلغ ٥,٣ م/ ث، وربما يرجع التفاوت الكبير بين النتيجتين، إلى أنها سجلت المعدل السنوي وفق ارتفاع عمود البارومتر، وليس معدلاً لارتفاع ٥٠ م فوق سطح الأراضي المجاورة كما هو بأطلس الرياح.

– تجدر الإشارة إلى أن سرعة الرياح تزداد بالارتفاع عن سطح الأرض والابتعاد عن طبقة الاحتكاك، إذ أنه مع زيادة ارتفاع التوربين تزيد سرعة الرياح بنسبة ١٠ % تقريباً ، مما يرفع من قدرة التوربين على توليد الطاقة بنسبة ٣٤ % (**David and Others, 2001, P,130)**، ويشير تيللر **(Tuller, 2007, p5)** إلى أن سرعة الرياح تقل بنسبة ٣ % على ارتفاع ٨ م، وبنسبة ٧ % على ارتفاع ٦ أمتار من سطح الأراضي المجاورة من إجمالي سرعتها على ارتفاع ١٠ أمتار، وقد دعم سرعة الرياح بمنطقة الدراسة أن هضبة الجلالة، شكلت مع السلاسل الجبلية بشبه جزيرة سيناء ما يشبه ممرًا ضيقًا (كوريدور Corridor) ساهم في ازدياد سرعة الرياح بها.

٥– الحيوانات البرية ومسارات الطيور المهاجرة

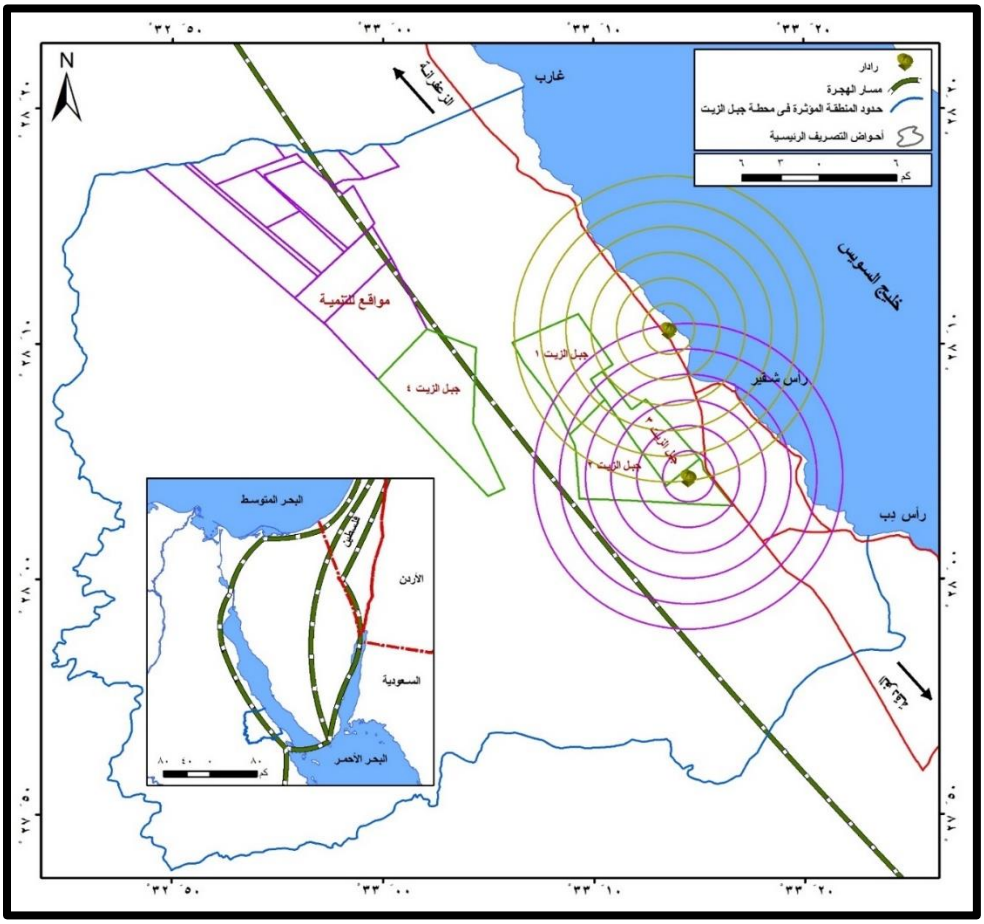
تعد مصر من أهم مسارات هجرة الطيور في العالم حيث تعبر مئات الملايين من الطيور خلالها كل ربيع وخريف مثل: الصقور (Falcon) والنسور (Cathartifformes) والبوميات والعقاب وطيور اللقالق والبجع. تعتبر المنطقة من أهم

مسارات هجرة الطيور التي تهاجر إلى سيناء ومنها إلى غرب آسيا؛ حيث تعد هذه المنطقة أضيق جهات جنوب خليج السويس (٢٥ كم تقريباً). وغالباً ما تهبط الطيور المهاجرة في المنطقة (السهول او التلال) للراحة قبل عبور خليج الزيت ومنطقة رأس الجمسة، ومنطقة جبل الزيت واحدة من ضمن ٣٤ موقعاً تم تحديدها كأهم المناطق للطيور **(نهال محمد فتحى وآخرون، ٢٠٢١ م، ص ٢٤١)**.

وقد كان لموقع مصر، أثره الواضح في جعلها ملتقى لأربعة أقاليم جغرافية بيولوجية مهمه هي: الإيراني الطوراني، البحر المتوسط، السنديانى الصحراوي، الأفريقي الاستوائي، ونتيجة للتباين الشديد في نطاقات البيئة فإنها (مصر) تعد موطناً للتنوع في الموائل البرية والحياة النباتية والحيوانية؛ حيث يبلغ مجموعها نحو ٢١,٣ ألف نوعاً، تمثل الحيوانات منها ١٦,٢ ألف نوع بنسبة ٧١ % كما تمثل النباتات ٥,١ ألف نوع بنسبة ٢٤٪. أما بالنسبة للطيور فهناك نوعان؛ الأول: طيور مقيمة ومتوالدة بعدد ١٥٠ نوعاً، والثاني: طيور مهاجرة ومشتيه وتضم ٣٢٠ نوعاً **(https://www.eeaa.gov.eg)**.

ويمر بهذا الموقع ٣٧ نوعاً من الطيور الحوامة يأتي في مقدمتها النسور، والصقور، واللقالق، والبوم، ويكاد يكون هو الممر الوحيد لهذه الأنواع **(نهال محمد فتحي، ٢٠٢١، ص ٢٧٩)**، وقد قامت هيئة الطاقة الجديدة والمتجددة بتحديد مساحة مقدارها ٢٠٠٠ كم^{٢} بمنطقة خليج الزيت لتحديد معدلات وأعداد تقريبية للطيور المهاجرة، وتوصلت إلى أن المنطقة يمر بها حوالى ٢,٥ إلى ٣,٥ مليون طائر/ سنة خلال فصلى الربيع والخريف، وتصل كثافة الطيور المهاجرة إلى أقصى ما يكون في فصل الخريف حيث سجل معدل المرور ٥٠٠ طائر / ساعة على ارتفاع أقل من ١٠٠ مترًا لبعض أنواع الطيور **(هيئة الطاقة الجديدة والمتجددة، التقرير السنوي ٢٠٠٥/ ٢٠٠٦)**.

وتعد المنطقة بمثابة عنق الزجاجة في مسار هجرة الطيور من وسط وجنوب أوربا إلى جنوب أفريقيا ذهاباً في الخريف، وإياباً خلال الربيع؛ لذلك يتم استخدام نظم المراقبة الراداريــة للطيور في المنطقــة **(RASB)** Radar Assisted Shutdown on Demand and Bird Monitoring System **(شكل ١٠)** لرصـد الطيور على بعد ١٢ كم قبل وصــولها إلى الموقع، وتحديد مسـارها وإيقاف التوربينات أثناء مرورها منعاً للاصـــطدام بالتوربينات منذ عام ٢٠١٦ م **(هيئة الطاقة الجديدة والمتجددة: التقرير السنوي ٢٠١٩، ص ٤٢)** وذلك تحقيقًا لأعلى معدلات السلامة البيئية.



المصدر: من إعداد الباحثين اعتمادًا على: هيئة الطاقة الجديدة والمتجددة، بيانات غير منشورة ٢٠٢٣م. باستخدام برنامج Arc G.I.S.,V:10.8.3.

شكل (١٠) مسارات هجرة الطيور ونطاق منظومة الرادار بمنطقة الدراسة

وبالنسبة للحيوانات البرية، يوجد بمنطقة الدراسة (٢٣) نوعاً من الثدييات، منها (٢٠) نوعاً أدرجت ضمن فئة الحيوانات الأقل أهمية بالقائمة الحمراء للأنواع المهددة بالانقراض، ونوعين (الوعل النوبي – غزال دوركاس) تم تصنيفهما باعتبارهما عرضة للخطر ويقتصر وجود هذه الأنواع داخل الأودية الجافة الواقعة غرب السهل الساحلي والتي تنتهي مصباتها أو قطاعاتها الدنيا به. إلى جانب تصنيف الضباع المخططة ضمن قريبة من خطر التهديد، وجدير بالذكر أن تواجد مثل تلك الأنواع قد ينحصر بعمق الأودية الجافة بما يتجاوز نحو ٦٠ كم من المناطق التي تقام بها طواحين الهواء. أشهر هذه الحيوانات (القنفد – أرنب الصحراء – اليربوع – النمس المصري – القط البري – ثعلب الصحراء) وكلها تصنف على أنها أقل أهمية فيما عدا الضبع المخطط (قريب من خطر التهديد) والوعل النوبي وغزال دور كاس عرضة للخطر. **(المركز الإقليمي للطاقة المتجددة: مايو ٢٠٢١م، ص١٠٥).**

٦ – النبات الطبيعي بمنطقة الدراسة

سُجل (٦٨) نوعاً نباتيا بمنطقة الدراسة، منها خمسة أنواع هي (العاندة – الفجلة الحمراء – الأثل النيلي – ثوم شائك – القيصوب الجنوبي) تم تصنيفها وفقاً للقائمة الحمراء للأنواع المهددة بالانقراض ضمن قائمة النباتات الأقل أهمية عالميًا **(ايكوكونسلت، ٢٠١٩م، ص ٩٥).** ويتميز الغطاء النباتي بمنطقة الدراسة بالتبعثر؛ حيث تتباعد النباتات وتقل كثافتها نظرًا لسقوط الأمطار غير المنتظم وتغير سمك التربة؛ حيث يتم ترطيب التربة أثناء موسم الأمطار والتي تجف سريعاً، **(David M. Olson, Others, 2001, p 938)** وبناءً عليه لم يمثل انشاء توربينات محطة جبل الزيت تهديدات بيئية على أنواع نباتية ذات حساسية بيئية عالية أو شديدة التعرض للانقراض.

ب – الملاءمة البشرية لمنطقة الدراسة

تهدف دراسة الملاءمة البشرية بمنطقة الدراسة إلى الوقوف على أثر كلاً من السكان، والضوضاء، واستخدامات الأرض، والمواقع الأثرية على تكاليف إنشاء توربينات الرياح بمنطقة الدراسة وتحقيق البعد الاقتصادي لإنتاج الكهرباء الخضراء، **وفيما يلي نستعرض تلك العناصر بمنطقة الدراسة كالتالي:**

١ – حالة السكان بمنطقة الدراسة

يعد السكان من المتغيرات الأساسية اللازم مراعاتها عند إنشاء مزارع الرياح وذلك لسببين؛ الأول: وهو أنهم الهدف الرئيسي من عملية إنتاج الكهرباء الخضراء، لأجل تزويد المنازل بالطاقة الكهربائية اللازمة، والثاني: وهو ضرورة وجود مسافة كافية بين مناطق التجمع السكاني ومزارع الرياح لتجنب الضوضاء الناتجة عن دوران التوربينات وتفادى تعرض بعض أجزاء التوربينات للتلف جراء تزايد معدلات حركة السكان بالقرب منها (وخاصةً الأجزاء السطحية منها مثل محولات الطاقة).

ولما كانت منطقة الدراسة ضمن الإقليم الصحراوي الجاف فإنها تتسم بالتخلخل السكاني الشديد، وعليه فان التجمعات السكانية بمنطقة الدراسة ما هي إلا تجمعات تخدم الأنشطة الاقتصادية بها وعلى رأسها المنشآت البترولية ولا يوجد داخل حدود منطقة الدراسة أية تجمعات سكنية (قرية أو مدينة)، وإنما توجد مدينة غارب على بعد أقل من ٣٠ كم شمال شرق منطقة الدراسة، كما يوجد إلى الشرق مباشرةً من المنطقة تجمع سكنى صغير للعاملين في شركة رأس شقير للبترول على بعد ٦ كم تقريباً وفيما عدا ذلك لا يوجد أي تجمعات سكنية بمنطقة الدراسة **(المرئيات الفضائية لبرنامج جوجل إيرث Google Earth، ٢٠٢٣م، بدقة ٠,٥ متر).**

٢ – مستويات الضوضاء بمنطقة الدراسة

حددت وزارة البيئة المصرية مستوى الضوضاء المسموح به وفقاً لنوع المنشأة وأقرب الاستخدامات السكنية لها، جدول (٥) وهي تتراوح بين ٤٠ إلى ٥٠ ديسيبل خلال فترات الليل والنهار كحد أقصى بالمناطق ذات الحساسية للتعرض للضوضاء (مدارس – مستشفيات – مكتبات – حدائق عامة – قرى ومنتجعات سياحية)، وتصل إلى ٧٠ ديسيبل بمناطق الصناعات الثقيلة (**https://www.eeaa.gov.eg**).

جدول (٥) مستوى الضوضاء المسموح به وفقاً لنوع المنشأة وأقرب الاستخدامات السكنية لها

نوع المنطقة	الحد المسموح به	
	نهارا من (٧ص الى ١٠م)	ليلا من (١٠م الى ٧ص)
مناطق ذات حساسية للتعرض للضوضاء مثل (المدارس، المستشفيات، المكتبات، الحدائق العامة، القرى والمنتجعات السياحية).	٥٠ ديسيبل	٤٠ ديسيبل
ضواحي سكنية مع وجود حركة ضعيفة وأنشطة خدمية محدودة.	٥٥ ديسيبل	٤٥ ديسيبل
مناطق سكنية في المدينة وبها أنشطة تجارية.	٦٠ ديسيبل	٥٠ ديسيبل
مناطق سكنية واقعة على طرق أقل من ١٢ متر، بها بعض الورش، أو الأنشطة التجارية، أو الأنشطة الإدارية، أو الأنشطة الترفيهية، أو الملاهي.	٦٥ ديسيبل	٥٥ ديسيبل
المناطق الواقعة على طرق عرضها ١٢ متر فأكثر، أو مناطق صناعية ذات صناعات خفيفة وبها بعض الأنشطة الأخرى...	٧٠ ديسيبل	٦٠ ديسيبل
منطقة صناعية ذات صناعات ثقيلة....	٧٠ ديسيبل	٧٠ ديسيبل

المصدر: من إعداد الباحثين اعتمادًا على: Source: https://www.eeaa.gov.eg

وفى دراسة لتقييم الأثر البيئي لمشروع محطة أمونت للطاقة الرياح (بالقرب من منطقة الدراسة) تم قياس مستويات الضوضاء بخمس نقاط موزعة على مساحة ٧٠ كم٢، وتراوحت قيم الضوضاء بين ٣٠,٢ – ٥٩,٦ ديسيبل أي انها دون المستوى المسموح به للأنشطة الصناعية الثقيلة والتي تدخل ضمنها مزارع الرياح (٧٠ ديسيبل) ويعد مصدر الضوضاء الوحيد الذى سجل مستويات عليا بمنطقة الرصد هو المركبات غير النظامية مثل: الأوناش وعربات النقل الثقيل المستخدمة في نقل وبناء المزارع والتي تستخدم الشبكة الداخلية لمزرعة الرياح، وعليه فان الضوضاء الناجمة عن تشغيل توربينات الرياح دون المستويات المصرح بها من وزارة البيئة.

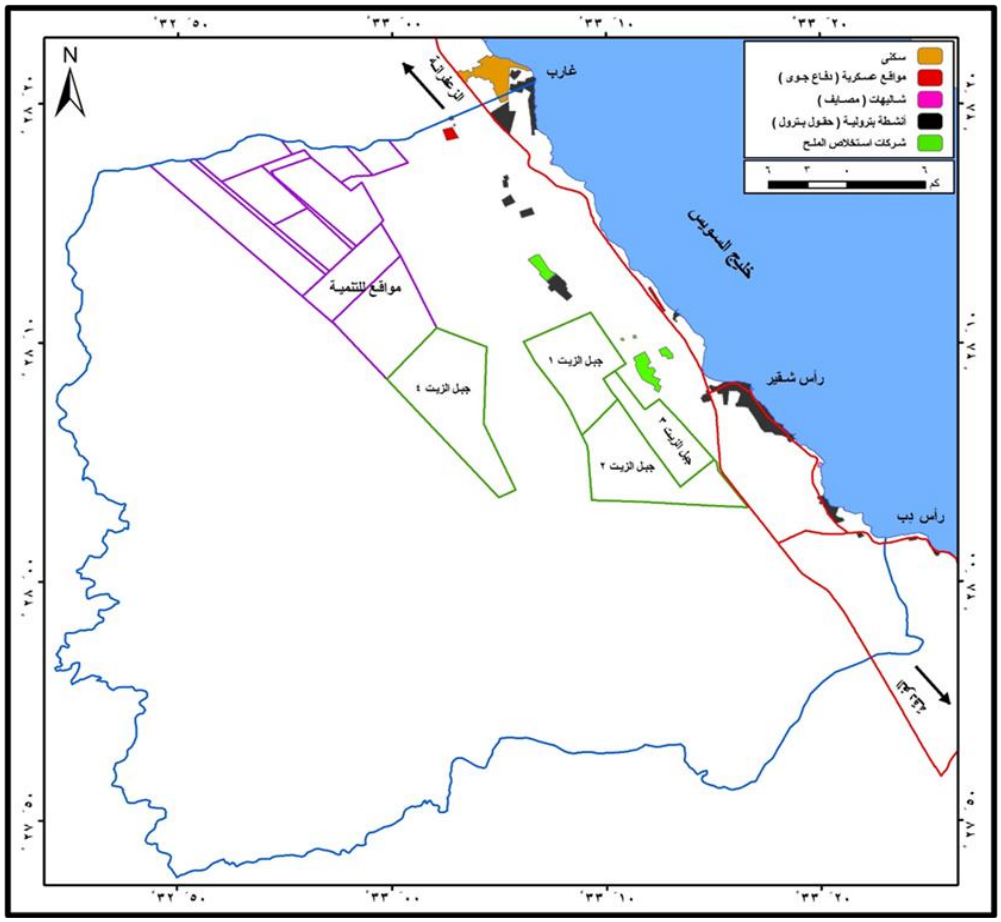
٣ – استخدامات الأرض بمنطقة الدراسة

تفيد دراسة استخدامات الأرض في تحديد جهة الولاية على الأراضي إن وجدت، وتحديد تعويضات مناسبة في حالة الحاجة إلى إزالة ممتلكات أو مباني ذات مملوكة للأفراد، كذلك تحديد مناطق التجمعات السكنية التي قد تتأثر نتيجة تشغيل طواحين الهواء وبالرجوع إلى الخرائط الطبوغرافية وصور الأقمار الصناعية لم يتبين وجود أية استخدامات ذات شأن بمنطقة الدراسة؛ وربما يرجع ذلك إلى جفاف المنطقة ومناخها الحار الذي لا يناسب التوطن البشري أو قيام أنشطة زراعية. وبالتالي فإن منطقة الدراسة هي أرض فضاء لا توجد عليها استخدامات بشرية كثيفة. كما أن هناك مساحات شاسعة من الأراضي المجاورة لمنطقة الدراسة تعتبر مناطق توسعات مستقبلية وتتوفر بها الشروط المثالية لتوليد طاقة الرياح ويمكن استخدامها في المشروعات الاستثمارية المختلفة لإنتاج الكهرباء الخضراء مستقبلاً.

بلغت جملة مساحة الأراضي المستغلة حالياً حول منطقة الدراسة نحو ٣٣ كم٢، تتوزع على خمس استخدامات تتمثل في استخدامات (سكنية، عسكرية، مصايف

للعاملين بشركات البترول، وهناك شركة وطنية تعمل في مجال استخلاص الملح من ملاحة غارب الواقعة بشرق المنطقة كما هو مبين **بجدول (٦) وشكل (١١) ومنهم يتضح:**

– يأتي النشاط البترولي في صدارة استخدامات الأرض بالمنطقة (١٩ كم^{٢} بنسبة ٥٧,٩ % من جملة المساحات المستغلة)، يليها الاستخدام السكنى بمدينة غارب (٧,٢ كم^{٢} بنسبة ٢١,٨ % من جملة المساحات المستغلة)، ثم شركة وطنية لاستخلاص الملح ثم المناطق العسكرية وأخيراً المصايف، ومن ثم فإن جملة الاستخدامات بمنطقة الدراسة لا تتعدى ١,٣ % من إجمالي مساحتها (٢٥٩٩,١ كم^{٢}).



المصدر: من إعداد الباحثين اعتمادًا على: **المرئيات الفضائية لجوجل إيرث، ٢٠٢٣ م، بدقة ٠,٥م**

شكل (١١) أنماط استخدام الأرض بمنطقة الدراسة عام ٢٠٢٣م.

جدول (٦) استخدامات الأرض بمنطقة الدراسة عام ٢٠٢٣م.

م	نوع الاستخدام	المساحة كم٢	%
١	شركات بترول	١٩,١	٥٧,٩
٢	مناطق عسكرية	١,٤	٤,٢
٣	مصايف	٠,٢	٠,٦
٤	سكنى	٧,٢	٢١,٨
٥	استخلاص الملح	٥,١	١٥,٥
الإجمالي		٣٣	١٠٠

المصدر: من إعداد الباحثين اعتماداً على القياسات الآلية من المرئيات الفضائية لجوجل إيرث بدقة ٥٠ سم / خلية، باستخدام برنامج Arc GIS 10.8.3 .

نستنتج مما سبق أن المنطقة تتميز بإمكانات ووفورات اقتصادية من ناحية التوسع المستقبلي في إنتاج طاقة الرياح، إذ لا توجد ضرورة أو حاجة إلى دفع تعويضات مقابل إخلاء الأراضي لإنشاء توربينات الرياح عليها.

٤ – المواقع الأثرية بمنطقة الدراسة

يوجد بمحافظة البحر الأحمر، المحافظة التي تنتمي إليها منطقة الدراسة إدارياً نحو ١٦ موقعاً أثرياً منها (منطقة أم الفواخير جنوب مدينة الغردقة، أطلال رومانية بمنطقة جبل الدخان – أطلال قلعة رومانية بمنطقة أبو شعرة شمال الغردقة – حجر مونت كلوديانوس غرب سفاجا – ميناء وادي الجرف... إلخ. ورغم ذلك فإن أقرب المواقع الأثرية إلى منطقة الدراسة تبعد عنها بمسافة تزيد عن ١٠٠ كم، ومع ذلك فإنه من اشتراطات إنشاء مزارع الرياح أن يكون هناك إشرافاً من وزارة الآثار أثناء عمليات الحفر لأساسات وقواعد التوربينات. كما أن الإدارة المركزية لآثار مصر العليا التابعة للمجلس الأعلى للآثار قد صرحت بموافقتها على إقامة مشروعات لطاقة الرياح على مسافة

١٥٥٠ كم، تمتد من شمال جبل الزيت حتى شمال رأس غارب وذلك بناءً على المعاينة التي نُفذت بواسطة منطقة آثار البحر الأحمر، شريطة أن يتم تعيين أثنين من موظفي الأثار للمراقبة أثناء فترة حفر قواعد التوربينات **(المركز الإقليمي للطاقة المتجددة وكفاءة الطاقة، ٢٠٢١، ص ١٢١)**.

ثانيًا: تطور إنتاج الكهرباء الخضراء باستخدام طاقة الرياح بمزرعة جبل الزيت

يُعد إنتاج الكهرباء الخضراء من الرياح اقتصاديًا؛ إذا تراوحت سرعتها بين (٤: ٢٤ م/ث) حيث تتوقف التوربينات تلقائيًا إذا بلغت سرعة الرياح ٢٥ م/ث تفاديًا للتحطم. وقد تطور إنتاج الكهرباء الخضراء من الرياح بشكل ملحوظ؛ حيث بلغت القدرة الإسمية المُركبة لمحطات الرياح المرتبطة بالشبكة الموحدة ١٦٣٧,٥ ميجاوات عام ٢٠٢٢م **(وزارة الكهرباء والطاقة المتجددة، هيئة الطاقة الجديدة والمتجددة، أبريل ٢٠٢٣م)** منهم ٦٨,٧٪ لصالح المشروعات القومية (مزرعة جبل الزيت، ومزرعة الزعفرانة) في مقابل ٣١,٣٪ لصالح القطاع الخاص (محطة غرب بكر، ومحطة رأس غارب). **<u>وفيما يلي دراسة تطور إنتاج الكهرباء الخضراء باستخدام طاقة الرياح:</u>**

(١) تطور إنتاج الكهرباء الخضراء باستخدام طاقة الرياح في مصر

استخدمت طاقة الرياح Wind Energy في مصر منذ أقدم العصور، وقد بدأ الاهتمام بها كأحد مصادر الطاقة النظيفة منذ مطلع السبعينيات؛ عندما تعاونت وزارة الكهرباء المصرية مع جامعة اوكلاهوما الأمريكية في تركيب أجهزة دقيقة لقياس سرعة واتجاه الرياح في عدة مناطق لتحديد المواقع المُثلى لاستغلالها **(أحمد على عجوة، ٢٠١١، ص ٤٥)**. كما تم إعداد أطلسين للرياح مخصصين لمنطقة غرب خليج السويس؛ نظرًا لإمكاناتها وأهميتها في مجال طاقة الرياح، وتم نشرهم خلال عامي ١٩٩٩ و٢٠٠٣م

على التوالي، وذلك قبل أن يتم إعداد أطلس كامل للرياح في مصر عام ٢٠٠٥م بالتعاون مع الدنمرك وهيئة الأرصاد المصرية؛ لتحديد أفضل المواقع لاستغلال طاقة الرياح **(وزارة الكهرباء والطاقة المتجددة، هيئة الطاقة المتجددة، ٢٠١٥، ص ١٨)**.

وتُعد محافظة البحر الأحمر أولى محافظات الجمهورية في إنتاج الكهرباء الخضراء من الرياح؛ حيث أقيمت بها أول وحدة توليد بمنطقة أبو الغصون عام ١٩٨٧م بقدرة (٢٠٠ كيلو وات)؛ بغرض تحلية مياه البحر بطاقة (٨٠ م٣/ يوم) وتوفير المياه العذبة للتجمعات السكنية بالمنطقة **(أحمد على عجوة، ٢٠١١، ص ص ٤٧-٤٨)**. كما ظهرت محطة رأس غارب منذ ١٩٨٨م بقدرة (٤٠٠ كيلو وات) وتم ربطها بالشبكة المحلية لصالح احدى الشركات الوطنية العاملة في استخراج البترول؛ بغرض الإنارة **(محمد حافظ، ٢٠٠٧، ص ١٥)**.

كما افتتحت محطة الغردقة بقدرة (٥,٢ ميجاوات) منذ ١٩٩٣م بمنحة مُقدمة من بنك التعمير الألماني وضمت (٤٢) توربينة ذات تكنولوجيا مختلفة بجانب مشاركة التصنيع المحلي فيها، وتقع على الهضبة المواجهة لمحطة كهرباء الغردقة **(هيئة الطاقة الجديدة والمتجددة، ٢٠٠٦، ص ٩)**. كما أنشأت محطة الزعفرانة في بداية القرن الحادي والعشرين على عدة مراحل بطاقة بلغت ٥٤٥ ميجاوات من خلال (٧٠٠ تربينة) من طرازات مختلفة الصنع **(وزارة الكهرباء والطاقة المتجددة، هيئة الطاقة الجديدة والمتجددة، ٢٠١٥، ص١٩)**. وأخيراً افتتحت مزرعة جبل الزيت؛ والتي تعد أكبر محطة لإنتاج الكهرباء الخضراء من الرياح في مصر وافريقيا والشرق الأوسط، بل وواحدة من أكبر مزارع الرياح على مستوى العالم.

وقد سمحت الإدارة المصرية للقطاع الخاص بالاستثمار في مجال الطاقة المتجددة خلال العقود السابقة من أجل تصدير الإنتاج، أو بيعه محليًا؛ وقد بلغ إنتاجهم المرتبط

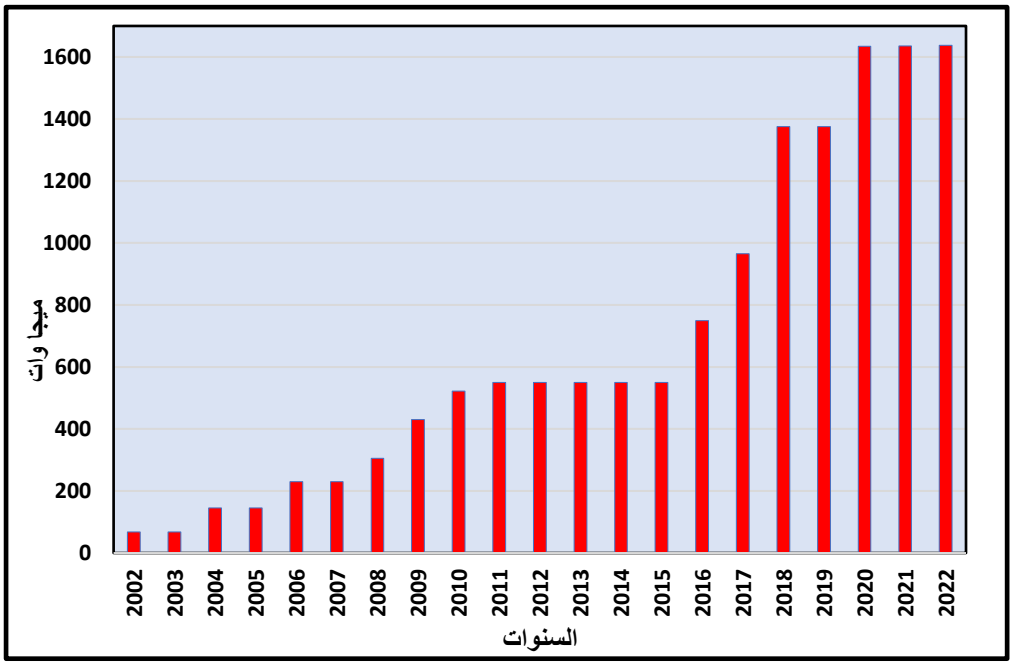
بالشبكة الموحدة ٥١٢,٥ ميجاوات عام ٢٠٢٢م، بجانب (٢٨٠٠ ميجاوات) تحت التنفيذ **(وزارة الكهرباء والطاقة المتجددة هيئة الطاقة الجديدة والمتجددة، مركز المعلومات، ٢٠٢٣م).**

جدول (٧) تطور القدرة الاسمية المركبة (م.و) لمحطات إنتاج الكهرباء الخضراء من طاقة الرياح والمرتبطة بالشبكة الموحدة في مصر ونسبة تغييرها خلال الفترة ٢٠٠٢-٢٠٢٢م

السنة	القدرة المركبة (م.و)	معدل التغيير		السنة	القدرة المركبة (م.و)	معدل التغيير	
		بالميجا وات	%			بالميجا وات	%
٢٠٠٢	٦٨	–	–	٢٠١٣	٥٥٠	صفر	صفر
٢٠٠٣	٦٨	صفر	صفر	٢٠١٤	٥٥٠	صفر	صفر
٢٠٠٤	١٤٥	٧٧	١١٣.٢	٢٠١٥	٥٥٠	صفر	صفر
٢٠٠٥	١٤٥	صفر	صفر	٢٠١٦	٧٥٠	٢٠٠	٣٦.٤
٢٠٠٦	٢٣٠	٨٥	٥٨.٦	٢٠١٧	٩٦٥	٢١٥	٢٨.٧
٢٠٠٧	٢٣٠	صفر	صفر	٢٠١٨	١٣٧٥	٤١٠	٤٢.٥
٢٠٠٨	٣٠٥	٧٥	٣٢.٦	٢٠١٩	١٣٧٥	صفر	صفر
٢٠٠٩	٤٣٠	١٢٥	٤١	٢٠٢٠	١٦٣٥	٢٦٠	١٨.٩
٢٠١٠	٥٢٢	٩٢	٢١.٤	٢٠٢١	١٦٣٥.٥	٠.٥	صفر
٢٠١١	٥٥٠	٢٨	٥.٤	٢٠٢٢	١٦٣٧.٥	٢	٠.١
٢٠١٢	٥٥٠	صفر	صفر	المتوسط		٧٨,٤٨	١٩,٩

المصدر: من إعداد الباحثين اعتمادًا على وزارة الكهرباء والطاقة المتجددة، هيئة الطاقة الجديدة والمتجددة، التقارير السنوية وبيانات إدارة التشغيل، سنوات مختلفة.

نستنتج من تحليل جدول (٧) وشكل (١٢) تطور القدرة المُركبة لمحطات إنتاج الكهرباء الخضراء المرتبطة بالشبكة الموحدة بمعدل نمو سنوي بلغ (٧٨) ميجاوات، وبنسبة زيادة بلغت ٢٤٠٨٪ خلال مدة الدراسة من (٢٠٠٢) حتى (٢٠٢٢م). ففي مطلع القرن الحادي والعشرين اعتمد الإنتاج على محطة الغردقة والمرحلة الأولى من محطة الزعفرانة، وما لبث أن زادت القدرة المُركبة بعد استكمال التوسعات في المحطة الأخيرة.



المصدر: من إعداد الباحثين اعتمادًا على جدول (٧)

شكل (١٢) تطور القدرة الاسمية المركبة (م.و) لمحطات إنتاج الكهرباء الخضراء من طاقة الرياح، والمرتبطة بالشبكة الموحدة في مصر خلال الفترة ٢٠٠٢-٢٠٢٢م

– وقد شهد عام ٢٠١٦م زيادة نحو (٢٠٠ ميجاوات) بنسبة ٣٦,٤٪ عن العام السابق له؛ ويعزى ذلك لافتتاح محطة جبل الزيت (١) لإنتاج الكهرباء الخضراء. كما شهد عام ٢٠١٨م طفرة أخرى في حجم القدرة الإسمية المُركبة؛ بسبب اكتمال مزرعة رياح جبل الزيت بكامل طاقتها عبر محطات (١-٢-٣)، بجانب بداية دخول محطات القطاع الخاص للشبكة الموحدة من خلال محطة خليج السويس (١) بقدرة (٢٥٠ ميجاوات)(*).

(*) تعتبر محطة خليج السويس (١) أول محطة مملوكة للقطاع الخاص ومرتبطة بالشبكة الموحدة لإنتاج الكهرباء الخضراء (الدراسة الميدانية، ٢٠٢٣م)، وقد تم بنائها بنظام التملك والبناء والتشييد المعروف باسم (BOO) من خلال شركة (رأس غارب) التي تضم تحالف كلاً من (انجي الفرنسية، أوراسكوم المصرية، تويوتا اليابانية).

(٢) تطور القدرة الإسمية المركبة لمزرعة رياح جبل الزيت

ترتبط القدرة الإسمية المُركبة لمحطات الرياح بعدة جوانب منها: تصميمها ومساحتها المُستغلة، وعدد التوربينات المستخدمة، وإمكاناتها التكنولوجية وقدراتها الفنية أيضًا بجانب عمرها الافتراضي وما يطرأ عليها من صيانة؛ الأمر الذي ينعكس بشكل واضح على حجم الطاقة الكهربائية المنتجة وتقليل نسبة الفقد (*) **وبدراسة جدول (٨) وشكل (١٣) يتضح** تطور القدرة الإسمية المُركبة لمزرعة رياح جبل الزيت خلال فترة الدراسة كما يلي:

جدول (٨) القدرة الإسمية المُركبة والمساحة وعدد التوربينات بمحطات مزرعة رياح جبل الزيت عام ٢٠٢٢م

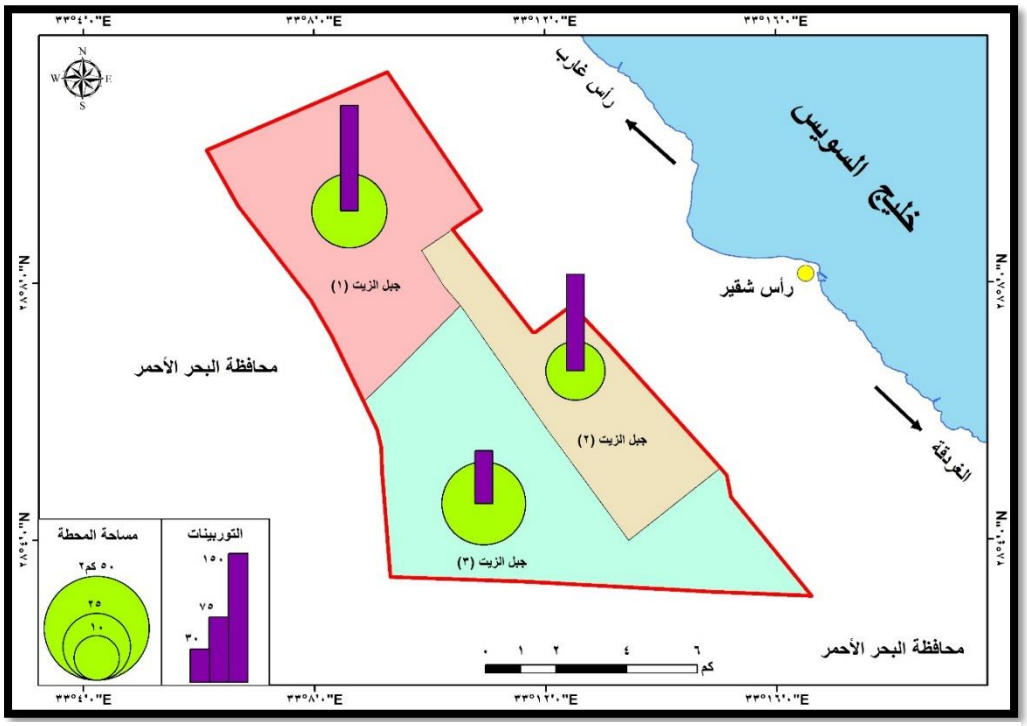
المحطة	المساحة		عدد التوربينات	القدرة المركبة		تاريخ التشغيل
	كم٢	%		ميجا وات	%	
جبل الزيت ١	٣٧,٧	٣٤,٧	١٢٠	٢٤٠	٤١,٤	أكتوبر ٢٠١٥م
جبل الزيت ٢	٢٣,٥	٢١,٧	١١٠	٢٢٠	٣٧,٩	يناير ٢٠١٨م
جبل الزيت ٣	٤٧,٢	٤٣,٦	٦٠	١٢٠	٢٠,٧	ديسمبر ٢٠١٨م
الإجمالي	١٠٨,٤	١٠٠	٢٩٠	٥٨٠	١٠٠	حتى ٢٠٢٢م

المصدر: من إعداد الباحثين اعتمادًا على وزارة الكهرباء والطاقة المتجددة، هيئة الطاقة الجديدة والمتجددة، بيانات غير منشورة، ٢٠٢٢م.

– حيث بدأ الإنتاج من محطة جبل الزيت (١) منذ أكتوبر ٢٠١٥م بالتعاون مع بنك التعمير الألماني **EFW**، وبنك الاستثمار الأوروبي **EIB**، والمفوضية الأوروبية، بطاقة (١٠٠) توربينة، قبل أن يتم إضافة (٢٠) توربينة جديدة في التوسعة التي شهدتها المحطة

(*) تطورت المواصفات الفنية لتوربينات الرياح في مصر بشكل ملحوظ؛ حيث تستخدم توربينات G80 في محطات جبل الزيت (١–٢–٣) بقدرة (٢ ميجاوات) وهي من تصنيع شركة GAMESA، ويبلغ ارتفاع حافتها نحو ١٠٠م. في حين ستشهد محطة جبل الزيت (٤) المزمع افتتاحها بنهاية ٢٠٢٣م، استخدام توربينات بقدرة ٣.٦ ميجاوات. (الدراسة الميدانية للباحثين بالمنطقة، ٢٠٢٣م).

منذ يونيو ٢٠١٨م لتبلغ قدرتها الإسمية النهائية ٢٤٠ ميجاوات بنسبة ٤١,٤٪ من إجمالي القدرة الإسمية للمزرعة؛ وتعتبر هذه المحطة أكبر محطات المزرعة من حيث القدرة المُركبة، في حين تأتي في المرتبة الثانية من حيث المساحة بنسبة ٣٤,٧٪ من إجمالي المساحة الحالية لمزرعة رياح جبل الزيت.



المصدر: من إعداد الباحثين اعتمادًا على بيانات جدول (٨)

شكل (١٣) توزيع المساحة وعدد التوربينات في محطات مزرعة رياح جبل الزيت عام ٢٠٢٢م

– شهدت مزرعة جبل الزيت تطورًا ملحوظًا في قدرتها الإسمية المُركبة منذ عام ٢٠١٨م؛ حيث دخلت محطة جبل الزيت (٢) الخدمة بالتعاون مع الوكالة اليابانية للتعاون الدولي JICA، من خلال (١١٠) توربين بقدرة ٢٢٠ ميجاوات تُمثل ٣٧,٩٪ من جملة القدرة الإسمية للمزرعة، على مساحة ٢٣,٥ كم٢ بنسبة ٢١,٧٪ من إجمالي المساحة الحالية للمشروع.

– بدأ الإنتاج من محطة جبل الزيت (٣) في ديسمبر ٢٠١٨م وهي المحطة التي أُقيمت بالتعاون مع الحكومة الإسبانية على مساحة ٤٧,٢ كم٢ بنسبة ٤٣,٥٪ من مساحة المزرعة الحالية، وتضم (٦٠) توربين بقدرة إسمية ١٢٠ ميجاوات تُمثل ٢٠,٧٪ وتجعلها في المرتبة الثالثة من إجمالي قدرة المزرعة الحالية.

– يجب الإشارة إلى أن مزرعة رياح جبل الزيت تشهد حاليا توسعًا آخر من خلال محطة **جبل الزيت (٤)** بالتعاون مع بنك التعمير الألماني KFW وسيبدأ العمل من خلال ٧٠ توربينة بقدرة ٣,٦ ميجاوات، أي ستبلغ قدرتها الإسمية المركبة عند افتتاحها– المقرر له بنهاية ٢٠٢٣م– نحو ٢٥٢ ميجاوات؛ وبذلك ستصبح إجمالي القدرة الإسمية للمزرعة بعد التوسعة نحو ٨٣٢ ميجاوات، لتصبح أكبر مزرعة رياح في مصر وافريقيا والشرق الأوسط، وأحد أضخم المزارع عالميًا.

(٣) تطور الإنتاج السنوي للكهرباء الخضراء في مزرعة رياح جبل الزيت

شهدت مزرعة رياح جبل الزيت تطورًا ملحوظًا في حجم الكهرباء الخضراء المنتجة؛ وبخاصة مع نمو قدراتها الإسمية المركبة، والتوسع في طاقتها. وبدراسة جدول (٩) والشكل (١٤) نستنتج ما يلي:

– ساهمت مزرعة رياح جبل الزيت خلال فترة الدراسة (٢٠١٥–٢٠٢٢م) بنحو ١٢٥٥٦ مليون ك.و.س من الكهرباء الخضراء، وهو ما يُمثل نسبة ٤١,٥٪ من جملة الإنتاج في محطات الرياح المرتبطة بالشبكة الموحدة على مستوى الدولة خلال الفترة نفسها، والذي يبلغ ٣٠٢٨٥ مليون ك.و.س.

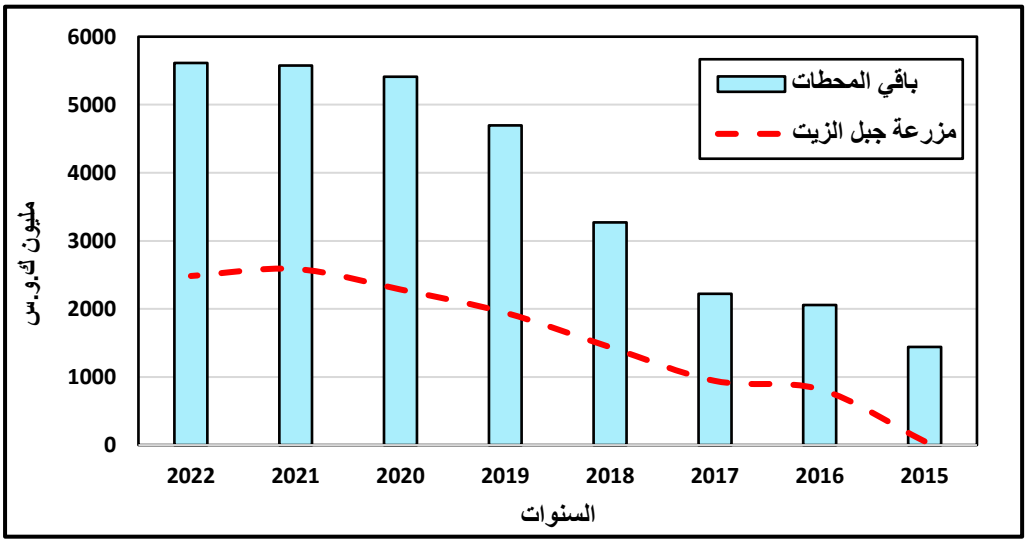
– ارتفع حجم إنتاج الكهرباء الخضراء على مستوى المزرعة من ٥٥ مليون ك.و.س إلى ٢٤٨٤ مليون ك.و.س خلال فترة الدراسة؛ وذلك بسبب تطور القدرة الإسمية المُركبة من ناحية، وتوسعة المزرعة، وافتتاح محطات جبل الزيت (٢–٣) من ناحية أخرى.

جدول (٩) تطور إنتاج الكهرباء الخضراء ونسبتها (%) من مزرعة رياح جبل الزيت مقارنة بباقي محطات الرياح المرتبطة بالشبكة القومية في مصر خلال الفترة ٢٠١٥-٢٠٢٢م

السنوات	إجمالي الإنتاج بالدولة	مزرعة جبل الزيت			% لإجمالي الإنتاج على مستوى الدولة
	مليون ك.و.س	مليون ك.و. س	مقدار التغيير		
			مليون ك.و.س	%	
٢٠١٥	١٤٤٠	٥٥	---	----	٣,٨
٢٠١٦	٢٠٥٨	٨١٩	٧٦٤	١٣٨١	٣٩,٨
٢٠١٧	٢٢٢٤	٩٤٣	١٢٣	١٥	٤٢,٤
٢٠١٨	٣٢٧٠	١٤٣٨	٤٩٦	٥٣	٤٤
٢٠١٩	٤٦٩٦	١٩٤٤	٥٠٥	٣٥	٤١,٤
٢٠٢٠	٥٤١٠	٢٢٨٦	٣٤٢	١٨	٤٢,٣
٢٠٢١	٥٥٧٤	٢٥٨٦	٣٠١	١٣	٤٦,٤
٢٠٢٢	٥٦١٣	٢٤٨٤	- ١٠٢	٤ -	٤٤,٣
الإجمالي	٣٠٢٨٥	١٢٥٥٦	----	----	٤١,٥

المصدر: من إعداد الباحثين اعتمادًا على:

- وزارة الكهرباء والطاقة المتجددة، هيئة الطاقة الجديدة والمتجددة، التقارير السنوية، خلال فترة الدراسة.
- وزارة الكهرباء والطاقة المتجددة، هيئة الطاقة الجديدة والمتجددة، بيانات غير منشورة، ٢٠٢٣م.



المصدر: من إعداد الباحثين اعتمادًا على جدول (٩).

شكل (١٤) تطور إنتاج الكهرباء الخضراء من مزرعة رياح جبل الزيت مقارنة بباقي المحطات المرتبطة بالشبكة القومية في مصر خلال الفترة ٢٠١٥-٢٠٢٢م

– بلغ جملة إنتاج الكهرباء الخضراء من مزرعة جبل الزيت عام ٢٠٢٢م نحو ٢٤٨٤ مليون ك.و.س وهو ما يُمثل ٤٤,٣٪ من إجمالي الإنتاج في محطات الرياح المرتبطة بالشكة الموحدة على مستوى الدولة والبالغ حجم إنتاجها ٥٦١٣ مليون ك.و.س خلال العام نفسه.

– شهدت جميع سنوات الدراسة زيادة إيجابية واضحة في إنتاج الكهرباء الخضراء بالمزرعة وبلغت أقصى نسبة عام ٢٠١٦م وبلغت ١٣٨١٪ مقارنة بعام ٢٠١٥م؛ ويرجع ذلك إلى أن تشغيل المحطة جاء بشكل تجريبي في البداية ثم بدأ الانتظام في الإنتاج من بداية عام ٢٠١٦م.

– حققت مزرعة جبل الزيت تراجع وحيد خلال فترة الدراسة في حجم الطاقة المنتجة وذلك عام ٢٠٢٢م، بلغ مقداره (–١٠٢ مليون ك.و.س) بنسبة ٤٪ مقارنة بالعام الماضي وذلك بسبب تراجع سرعات الرياح في المنطقة خلال بعض الشهور، بجانب عمليات الصيانة للتوربينات المعطلة **(الدراسة الميدانية للباحثين، ٢٠٢٣م)**.

(٤) تطور الإنتاج الشهري والفصلي للكهرباء الخضراء في مزرعة رياح جبل الزيت

اختلف مقدار الإنتاج الشهري من الكهرباء الخضراء المنتجة من مزرعة رياح جبل الزيت خلال سنوات الدراسة وهو ما يتضح من جدول (١٠) والأشكال (١٥– ١٦– ١٧)؛ تبعًا لعدة عوامل يأتي في مقدمتها سرعة الرياح، وكفاءة التوربينات والعمل بالطاقة القصوى لها داخل المزرعة، بجانب الانتهاء من أعمال الصيانة وعدم وجود أعطال، حيث بلغ المتوسط الشهري خلال عام ٢٠٢٠م نحو (٥,١٩٠ ألف ك.و.س)، ثم ارتفع إلى (٢١٠,٣ ألف ك.و.س) عام ٢٠٢١م، في حين عاود الانخفاض بنسبة ضئيلة عام ٢٠٢٢م وبلغ (٢٠٧ ألف ك.و.س).

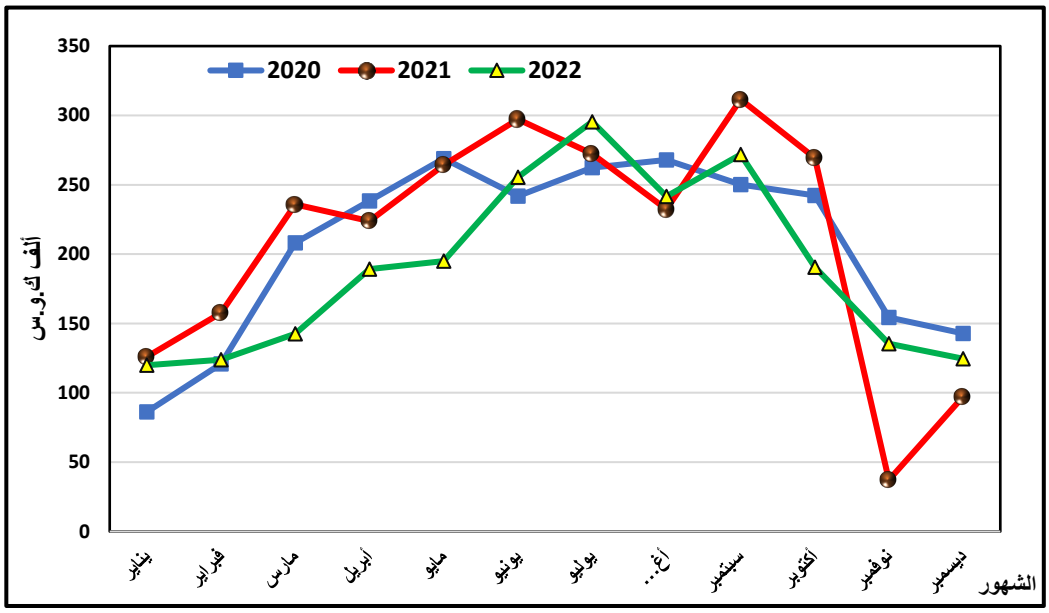
جدول (١٠) تطور الإنتاج الشهري والمتوسطات الشهرية والفصلية للكهرباء الخضراء (ك.و.س) من مزرعة رياح جبل الزيت خلال الفترة ٢٠٢٠-٢٠٢٢م

الفصول	الشهور	السنوات			المتوسط الشهري		المتوسط الفصلي	
		٢٠٢٠	٢٠٢١	٢٠٢٢	ألف ك.و.س	%	ألف ك.و.س	%
الشتاء	ديسمبر	١٢٤,٦٨٧	٩٧,٣٣٥	١٤٢,٧١٩	١٢١,٥٨٠	٥	٣٦٦,٤٣٩	١٥,١
	يناير	١١٩,٨٩٢	١٢٥,٨٨٩	٨٦,٢١٤	١١٠,٦٦٨	٤,٥٥		
	فبراير	١٢٣,٩٦٢	١٥٧,٦٥٨	١٢٠,٩٥١	١٣٤,٦٩٠	٥,٥٢		
الربيع	مارس	١٤٢,٥٥٧	٢٣٥,٨١٣	٢٠٨,١٤٨	١٩٥,٥٠٦	٨,٠٤	٦٥٥,٣٤٢	٢٧
	أبريل	١٨٩,٢٥١	٢٢٣,٨٦٧	٢٣٨,٢٨٦	٢١٧,١٣٥	٨,٩٣		
	مايو	١٩٤,٩٤١	٢٦٤,٢٠٢	٢٦٨,٩٦١	٢٤٢,٧٠١	٩,٩٨		
الصيف	يونيو	٢٥٥,٤٧٦	٢٩٧,٣٢٣	٢٤١,٨٨٠	٢٦٤,٨٩٣	١٠,٨٩	٧٨٨,٨٨٩	٣٢,٤
	يوليو	٢٩٥,٥٠٥	٢٧٢,٣٧٦	٢٦٢,٣٨٠	٢٧٦,٧٥٤	١١,٣٨		
	أغسطس	٢٤١,٥٦٠	٢٣٢,٢٦٠	٢٦٧,٩٠٨	٢٤٧,٢٤٣	١٠,١٧		
الخريف	سبتمبر	٢٧١,٨٦٩	٣١١,٥١٩	٢٥٠,١٦٨	٢٧٧,٨٥٢	١١,٤٣	٦٢٠,٨٨٤	٢٥,٥
	أكتوبر	١٩٠,٥١١	٢٦٩,٢٩٨	٢٤٢,٢٣٠	٢٣٤,٠١٣	٩,٦٢		
	نوفمبر	١٣٥,٥٢٠	٣٧,١١٩	١٥٤,٤١٧	١٠٩,٠١٩	٤,٤٨		
الإجمالي		٢,٢٨٥,٧٣١	٢,٥٢٤,٦٦٩	٢,٤٨٤,٢٦٢	٢,٤٣١,٥٥٤	١٠٠	٢,٤٣١,٥٥٤	١٠٠

المصدر: من إعداد الباحثين اعتمادًا على: وزارة الكهرباء والطاقة المتجددة، هيئة الطاقة الجديدة والمتجددة، بيانات غير منشورة، ٢٠٢٣م.

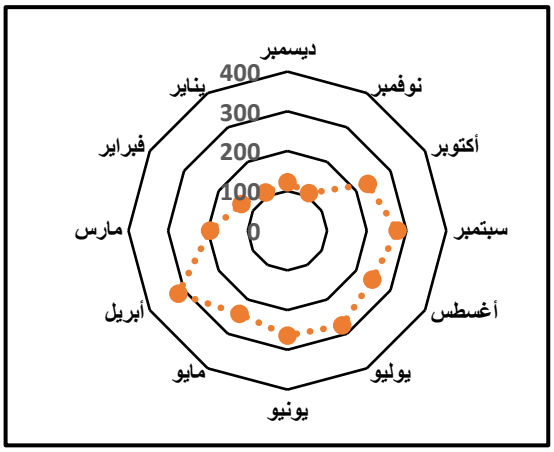
ملحوظة: حاول الباحثون الحصول على بيانات ما قبل عام ٢٠٢٠م، ولكن تعذر الحصول على تلك البيانات.

- تباينت الشهور التي حققت أكبر إنتاج من الكهرباء الخضراء خلال فترة الدراسة؛ وجاء شهر يوليو في المقدمة عام ٢٠٢٠م، وذلك بنحو (٢٥٥,٤٧٦ ألف ك.و.س) تمثل ما نسبته ١٢,٩٪ من إنتاج العام نفسه، في حين كان شهر سبتمبر في المقدمة في العام التالي بنحو (٣١١,٥١٩ ألف ك.و.س) وبنسبة ١٢,٣٪ من الإنتاج السنوي، وتحقق أقصى إنتاج في شهر مايو خلال عام ٢٠٢٢م بنحو (٢٦٨,٩٦١ ألف ك.و.س) وبنسبة ١٠,٨٪ من إنتاج العام ذاته، وذلك كما هو مبين بشكل (١٥).



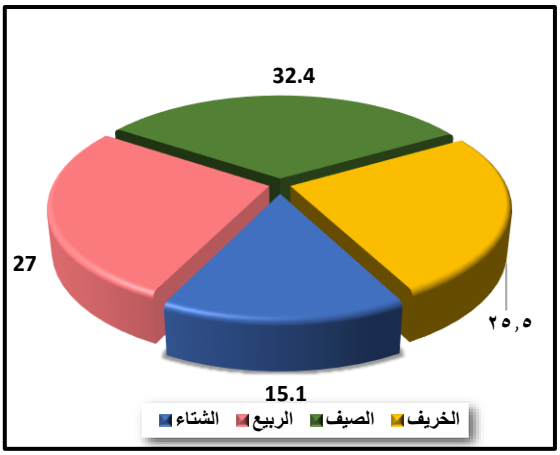
المصدر: من إعداد الباحثين اعتمادًا على جدول (١٠).

شكل (١٥) تطور الإنتاج الشهري من الكهرباء الخضراء بمزرعة رياح جبل الزيت خلال الفترة ٢٠٢٠-٢٠٢٢م



المصدر: من إعداد الباحثين اعتمادًا على جدول (١٠).

شكل (١٦) المتوسط الشهري لإنتاج من الكهرباء الخضراء (ألف ك.و.س) بمزرعة رياح جبل الزيت خلال الفترة ٢٠٢٠-٢٠٢٢م



المصدر: من إعداد الباحثين اعتمادًا على جدول (١٠).

شكل (١٧) نسبة المتوسط الفصلي لإنتاج من الكهرباء الخضراء بمزرعة رياح جبل الزيت خلال الفترة ٢٠٢٠-٢٠٢٢م

– سجلت شهور الشتاء أقل نسبة لإنتاج الكهرباء الخضراء داخل مزرعة رياح جبل الزيت خلال سنوات الدراسة؛ وبلغ أدني إنتاج في شهر يناير عام ٢٠٢٠م بنسبة ٥,٢٪، وشهر نوفمبر عام ٢٠٢١م بنسبة ١,٥٪، وشهر يناير أيضًا عام ٢٠٢٢م بنسبة ٣,٥٪ من حجم الإنتاج السنوي لكل منهم.

– تصدر شهر سبتمبر الإنتاج في مزرعة رياح جبل الزيت طوال فترة الدراسة، وبلغ متوسط الإنتاج فيه (٢٧٧,٩ ألف ك.و.س) بنسبة بلغت ١١,٤٪ من جملة متوسط الإنتاج على مستوى الشهور خلال الفترة ٢٠٢٠–٢٠٢٢م. في حين حقق شهر نوفمبر أدنى متوسط إنتاج بلغت نسبته ٤,٤٪ خلال نفس الفترة.

– شغل فصل الصيف المرتبة الأولى بين فصول السنة في حجم الإنتاج؛ حيث نشاط الرياح الواضح بالمنطقة وبلغ حجم الإنتاج فيه (٧٨٨,٩ ألف ك.و.س) بنسبة ٣٢,٤٪ من جملة المتوسط الفصلي للكهرباء المنتجة خلال فترة الدراسة. في حين تذيل فصل الشتاء الإنتاج بنسبة بلغت ١٥,١٪ من جملة الإنتاج خلال الفترة نفسها، ويمكن تقدير معدل الإنتاج اليومي، بنحو ٧٠٠٠ كيلووات/ ساعة.

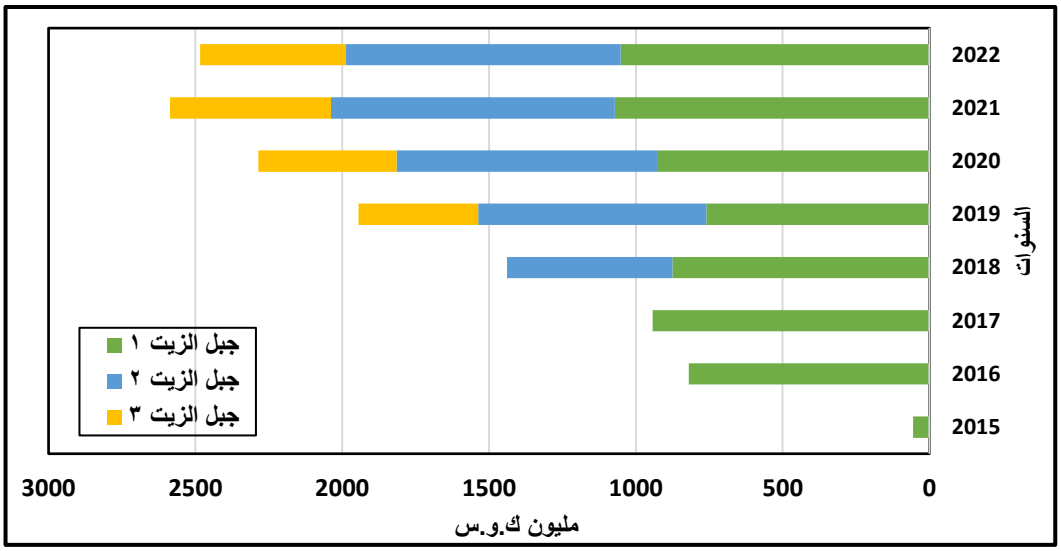
(٥) تطور توزيع الكهرباء الخضراء المنتجة في محطات مزرعة رياح جبل الزيت

تطور حجم إنتاج الكهرباء الخضراء المنتجة من محطات مزرعة رياح جبل الزيت خلال فترة الدراسة؛ ويعزى ذلك لزيادة مساحة المزرعة وفتح محطات جديدة من ناحية، بجانب توسعة محطة جبل الزيت (١) من ناحية أخرى، مما ترتب عليه زيادة القدرات الإسمية المركبة وبالتالي حجم الإنتاج، وهو ما يمكن التعرف عليه من دراسة جدول (١١) وشكل (١٨) ومنهم يتضح الآتي:

جدول (١١) تطور إنتاج الكهرباء الخضراء (مليون ك.و.س) من محطات مزرعة رياح جبل الزيت خلال الفترة ٢٠١٥-٢٠٢٢م

السنوات	المحطات						الإجمالي	
	جبل الزيت ١		جبل الزيت ٢		جبل الزيت ٣			
	مليون ك.و.س	%	مليون ك.و.س	%	مليون ك.و.س	%	مليون ك.و.س	%
٢٠١٥	٥٥	١٠٠	صفر	صفر	صفر	صفر	٥٥	١٠٠
٢٠١٦	٨١٩	١٠٠	صفر	صفر	صفر	صفر	٨١٩	١٠٠
٢٠١٧	٩٤٣	١٠٠	صفر	صفر	صفر	صفر	٩٤٣	١٠٠
٢٠١٨	٨٧٥	٦٠,٨	٥٦٣	٣٩,٢	صفر	صفر	١٤٣٨	١٠٠
٢٠١٩	٧٥٩	٣٩,١	٧٧٨	٤٠	٤٠٧	٢٠,٩	١٩٤٤	١٠٠
٢٠٢٠	٩٢٧	٤٠,٦	٨٨٨	٣٨,٨	٤٧١	٢٠,٦	٢٢٨٦	١٠٠
٢٠٢١	١٠٧١	٤١,٤	٩٦٧	٣٧,٤	٥٤٨	٢١,٢	٢٥٨٦	١٠٠
٢٠٢٢	١٠٥٢	٤٢,٣	٩٣٤	٣٧,٦	٤٩٨	٢٠	٢٤٨٤	١٠٠
المجموع	٦٥٠٢	٥١,٨	٤١٣٠	٣٢,٩	١٩٢٣	١٥,٣	١٢٥٥٦	١٠٠

المصدر: من إعداد الباحثين اعتمادًا على وزارة الكهرباء والطاقة المتجددة، هيئة الطاقة الجديدة والمتجددة، بيانات غير منشورة، ٢٠ ٢٣م.



المصدر: من إعداد الباحثين اعتمادًا على جدول (١١).

شكل (١٨) تطور الإنتاج السنوي للكهرباء الخضراء في محطات مزرعة رياح جبل الزيت خلال الفترة ٢٠١٥-٢٠٢٢م

– شكلت محطة جبل الزيت (١) حجر الأساس ونقطة الانطلاق في مزرعة رياح جبل الزيت؛ حيث اعتمد إنتاج المزرعة عليها وحدها، حتى آواخر عام ٢٠١٧م. وشغلت محطة جبل الزيت (١) المرتبة الأولى من حيث حجم إنتاج الكهرباء الخضراء بمزرعة رياح جبل الزيت بشكل عام طوال فترة الدراسة؛ حيث تجاوز جملة الإنتاج منها (نصف) جملة الطاقة المنتجة بالمزرعة، وبلغ ٦٥٠٢ مليون ك.و.س بنسبة بلغت ٥١,٨٪ من إجمالي الطاقة المنتجة. وقد تطور إنتاج هذه المحطة بشكل ملحوظ حيث ارتفع من (٥٥–١٠٥٢ مليون ك.و.س) بزيادة مقدارها ١٨٠٠٪ خلال فترة الدراسة؛ ويرجع ذلك إلى بداية الإنتاج الفعلي منها كان منذ يناير ٢٠١٦م في حين كان الإنتاج السابق في مرحلة التجريب للمحطة **(مقابلة شخصية مع مدير مزرعة جبل الزيت ١٢مارس ٢٠٢٣م)**، بالإضافة إلى توسعة المحطة منذ يونيو ٢٠١٨م من خلال تزويدها بـ (٢٠) توربين جديد.

– جاءت محطة جبل الزيت (٢) في المرتبة الثانية؛ حيث شكل انتاجها ٤١٣٠ مليون ك.و.س بنسبة بلغت ٣٢,٩٪ من جملة الكهرباء الخضراء المُنتجة من مزرعة رياح جبل الزيت، وهي المحطة التي بدأ عملها منذ ديسمبر ٢٠١٨م. في حين تُمثل محطة جبل الزيت (٣) المرتبة الثالثة حيث انتجت ١٩٢٣ مليون ك.و.س بنسبة ١٥,٣٪ من إجمالي إنتاج المزرعة من الكهرباء الخضراء خلال فترة الدراسة؛ ويرجع ذلك لحداثة نشأتها في آواخر عام ٢٠١٨م من ناحية، وقلة عدد التوربينات فيها مقارنة بباقي المحطات السابقة.

ثالثاً: اقتصاديات إنتاج الكهرباء الخضراء بمحطة رياح جبل الزيت

تُشكّل دراسات الجدوى الاقتصادية، (حساب التكلفة والعائد)، أحد أهم الدعائم التي يقوم عليها قرار الاستثمار الاقتصادي لأي مشروع، ومن ثم كان الاتجاه نحو استخدام طاقة الرياح في إنتاج الكهرباء مدفوعًا بعوامل اقتصادية في الأساس، وذلك إلى جانب

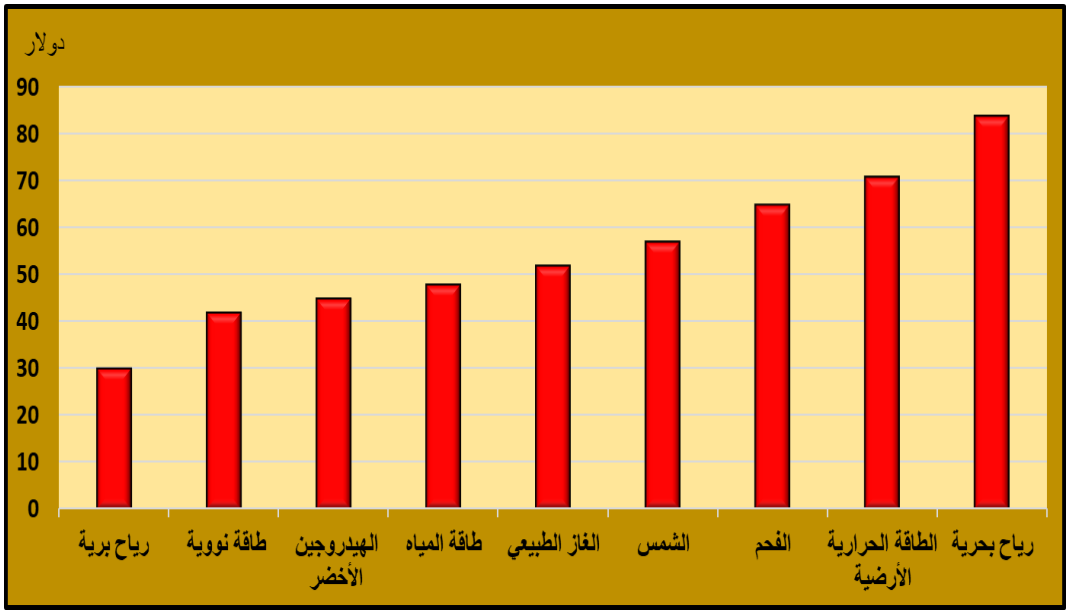
عوامل أخرى لها تأثيرها الاقتصادي غير المباشر، ومنها الأثر والمردود البيئي، والاجتماعي، والاعتبارات المتعلقة بالسياسة والأمن القومي. ولما كانت الطاقة المتجددة، طاقة نظيفة، وغير قابلة للنفاد، وذات جدوى اقتصادية عالية، حيث "بلغت الطاقة المتجددة خاصة طاقة الرياح من النضج التقني المستوى الذي يجعلها قابلة للمنافسة على نطاق تجاري" **(أحمد محمد عبد الحميد مهينة، وأخرين: سبتمبر ٢٠١٨م، ص ٥٢١)**، لذا شكلت بديلًا اقتصاديًا مهمًا لمصادر الطاقة الأحفورية التقليدية.

ويدلل على ذلك أن" المتوسط العالمي لتكلفة إنتاج الكهرباء بمشاريع طاقة الرياح البرية سجل في عام ٢٠٢١ م انخفاضاً بنسبة ١٥ % على أساس سنوي **(الوكالة الدولية للطاقة المتجددة، أبو ظبي: ٢٠٢٢م، ص٣)** ومع استمرار الاهتمام ببحوث الطاقة المتجددة، والسعي الدائم نحو خفض تكلفتها فإنه من المتوقع استمرار انخفاض أسعار الطاقة المتجددة وذلك بقيمة تتراوح " ما بين ٥٠ % –٦٥ % بحلول عام ٢٠٣٠م **(مركز المعلومات ودعم اتخاذ القرار: يونيو ٢٠٢٢م، ص ٣٢)**.

جدول (١٢) المتوسط العالمي لتكلفة إنتاج الكهرباء مقومًا بالدولار لكل ميجاوات ساعة، لعام ٢٠٢٢م

مصدر الطاقة	تكلفة الإنتاج بالدولار ميجاوات/ ساعة	مصدر الطاقة	تكلفة الإنتاج بالدولار ميجاوات/ ساعة
رياح برية	٣٠	الشمس	٥٧
نووية	٤٢	الفحم	٦٥
المياه	٤٨	الطاقة الحرارية الأرضية	٧١
الهيدروجين الأخضر	٤٥	رياح بحرية	٨٤
الغاز الطبيعي	٥٢		

المصدر: من إعداد الباحثين اعتمادًا على: الوكالة الدولية للطاقة المتجددة، أبو ظبي: ٢٠٢٢م، ص٧ تكلفة الهيدروجين الأخضر: المصدر (ماتيس، كورنيلوس، وأخرين: ٢٠٢٠م، ص١٢)



المصدر: تم الاعتماد على بيانات مصدرها جدول (١٢)

شكل (١٩) المتوسط العالمي لتكلفة إنتاج الكهرباء مقومًا بالدولار لكل ميجاوات ساعة لعام ٢٠٢٢م

ويبين جدول (١٢) وشكل (١٩) المتوسط العالمي لتكلفة إنتاج الكهرباء مقومًا بالدولار باستخدام طاقة الرياح، مقارنة باستخدام مصادر الطاقة الأخرى لكل ميجا وات/ ساعة.

ويتبين منهم ما يلي:

– يُمثل متوسط تكلفة إنتاج ميجا وات/ ساعة من الكهرباء عالميًا باستخدام طاقة الرياح البرية، التكلفة الأدنى من بين مصادر الإنتاج الأخرى، إذ بلغت (٣٠) دولارًا مما يزيد من قدرتها التنافسية ويؤكد على أهميتها كبديل اقتصادي لمصادر الطاقة الأخرى، وتليها الطاقة النووية، بتكلفة قدرها (٤٢) دولارًا، ولكن استخدام الطاقة النووية لا تحكمه معايير اقتصادية محضة، ولكن تدخل عوامل أخرى في استخدامها تتعلق بالتقدم التقني، والأمن القومي، وتبلغ تكلفة إنتاج ميجاوات من الكهرباء باستخدام الهيدروجين الأخضر (٤٥) دولارًا، وهي آخذة في التناقص، وسوف تكون منافسة لطاقة الرياح مما يجعل الهيدروجين

الأخضر، هو أهم مصادر الطاقة في المستقبل، وتأتي طاقة المياه في المرتبة الثالثة بتكلفة قدرها (٤٨) دولارًا، ثم الغاز الطبيعي، بتكلفة قدرها (٥٢) دولارًا، مما يجعل استخدام طاقة الرياح أفضل بكثير من استخدام طاقة الغاز الطبيعي في إنتاج الكهرباء من المنظور الاقتصادي، وتبلغ تكلفة استخدام الطاقة الشمسية ما يقرب من ضعف تكلفة استخدام طاقة الرياح، إذ تصل إلى (٥٧) دولارًا، وتتزايد التكلفة مع استخدام الوقود الحفري إذ تبلغ نحو (٦٥) دولارًا للفحم، وبالنسبة للطاقة الحرارية الأرضية تصل إلى (٧١) دولارًا.

– ويبلغ متوسط تكلفة إنتاج الكهرباء باستخدام طاقة الرياح في مصر بمنطقة الدراسة، مزرعة جبل الزيت)، نحو ٦٠٠ جنيهًا تقريبًا، لكل ميجا وات/ ساعة (١٩دولار تقريبًا وفقًا لمتوسط سعر الدولار مايو ٢٠٢٣م)، أي أقل من المتوسط العالمي بنحو ١١ دولارًا، وتزداد هذه التكلفة بمحطات القطاع الخاص، وتعتمد قيمة هذه التكلفة على عوامل متعددة منها الدعم المقدم للمحطات الحكومية، تباين الأجور وتنوع تقنيات الإنتاج **(الدراسة الميدانية للباحثين، مايو ٢٠٢٣م).**

١– حجم رأس المال المستثمر بمنطقة الدراسة

قُدّر حجم الاستثمارات الإجمالية لمحطة جبل الزيت، غرب خليج السويس بنحو ١٢ مليار جنيه، وذلك لإنشاء ٢٩٠ توربين رياح، بقدرة إنتاج بلغت ٢ ميجاوات/ ساعة لكل توربين، لتنتج ما قيمته ٥٨٠ ميجاوات/ ساعة **(المركز الإقليمي للطاقة المتجددة وكفاءة الطاقة: مايو ٢٠٢١م، ص ٣) وتضمنت تلك الاستثمارات ما يلي:**

– تكلفة التوربينات المستخدمة بالمشروع، وكانت على ثلاث مراحل. وضمت المرحلة الأولى من المحطة نحو ١٢٠ توربين، والثانية ١١٠ توربينات، والثالثة ٦٠ توربينًا، وتهدف الحكومة المصرية لرفع عدد التوربينات إلى ١١٠٠ خلال السنوات القليلة القادمة **(مقابلة ميدانية مع مدير محطة جبل الزيت، ٨ مارس ٢٠٢٣م).**

– نفقات الكابلات الكهربائية التي تربط التوربينات بمحطة المحولات.

– محطة المحولات التي تقوم برفع الجهد الكهربائي للقدرة المناسبة للربط مع الشبكة الكهربائية القومية.

– المنشآت الخدمية والتي تشمل المكاتب والمستودعات، ومساكن العاملين بالمحطة وعادة تتكون المنشآت الخدمية بالمحطة من ثلاث مبانٍ إدارية وأربعة مبان سكنية **(صورة ٥)** ومبنى إداري رئيسي به قاعة اجتماعات ومنطقة تخزين مفتوحة ومطعم، ومخازن لقطع الغيار والمستهلكات، وجراج سيارات، ويتم توفير المياه بالمحطة عن طريق شاحنة صهريج.

–شبكة الطرق المُعبّدة للوصول إلى الموقع وإلى التوربينات للتركيب أو إجراء الصيانة.

ويعني ذلك أن متوسط تكلفة التوربين الواحد، مضافًا إلية تكلفة المرافق، بلغ نحو ٤١,٣ مليون جنيه، أي نحو ١,٣٣ مليون دولار، وفقًا لمتوسط سعر الدولار (مارس ٢٠٢٣م). ولا تتأثر إلا مساحات محدودة من الأراضي بإقامة مزرعة الرياح وفي المتوسط فإن منطقة التشييد لكل ميجاوات تكون في حدود ٣٩٠٠ متر مربع وعادة يتأثر نحو ٢٪ من منطقة مزرعة الرياح مباشرة بأعمال التشييد.

المصدر: بواسطة الباحثين أثناء زيارتهم للمحطة الإثنين ١٢–٣–٢٠٢٣م

صورة (٦) سكن العاملين وجراج السيارات وأحد المباني الإدارية بمحطة جبل الزيت

وهنا يبرز تساؤل مهم، هل كانت مصر قادرة على تنفيذ مشروعات إنتاج طاقة الرياح بنفسها، أم كانت تحتاج حقًا إلى استثمارات أجنبية للمساهمة في تنفيذ هذه المشروعات، خاصة وأن عوائدها الاقتصادية، ودورة الربح بها سريعة، إذ يقدر حجم الأرباح السنوية لمزرعة رياح جبل الزيت بنحو ثلاثة مليارات جنيهًا مصريًا **(الدراسة الميدانية، مقابلة مع أحد مهندسي التشغيل بمحطة جبل الزيت، ١٢ مارس ٢٠٢٣م)** أي أن تكلفة المشروع يمكن تعويضها خلال أربع سنوات فقط، خاصة وأن الدولة تعود بعد ذلك، وتشتري كميات الطاقة المنتجة من أصحاب تلك المزارع بعد ربطها بالشبكة القومية للكهرباء، بأسعار متباينة تتراوح ما بين ٦٠ قرشًا – ١٣٠ قرشًا، وفقًا لبنود العقود الموقعة، والحقيقة أن هذا التساؤل لم يجد الباحثين له إجابة واضحة.

٢- حجم وقيمة الإنتاج السنوي للمحطة

بلغ متوسط حجم الإنتاج الإسمي السنوي ٥٨٠ ميجاوات/ ساعة بمحطة جبل الزيت، في حين يبلغ حجم الإنتاج الفعلي نحو ٣٠٢ ميجاوات ساعة، تشكل نحو ٥٢ % من الطاقة الإسمية، وذلك الفارق ينتج عن توقف بعض توربينات المحطة نتيجة للصيانة أو حدوث أعطال لبعض التوربينات، وتسهم محطة جبل الزيت بخفض الانبعاثات الكربونية بنحو ٤٩,٩٠٠ طن سنويًا، مقارنة بمحطات توليد الكهرباء من الوقود الحفري ذات القدرة الإنتاجية المماثلة، ويوفر المشروع ١٨٠ الف طن سنويا من المواد البترولية، ويقدر المتوسط السنوي لقيمة إنتاج المحطة بنحو ثلاث مليارات جنيه مصري، وفقًا لبيانات عام ٢٠٢٢م، وتتميز التوربينات الموجودة بالمحطة بأنها الأحدث في العالم، وهي الأولى من نوعها في مصر والشرق الأوسط، ويوجد بداخلها مصاعد كهربائية، لتيسير عملية الصيانة الدورية، علاوة على أن دورانها يصل إلى ١٦ دورة في الدقيقة **(مقابلة ميدانية مع أحد المهندسين العاملين بهيئة الطاقة الجديدة والمتجددة، الإثنين، ٨ مايو ٢٠٢٣م).**

٣- الخصائص الاقتصادية للعمالة بالمشروع

تعتمد دراسة الخصائص الاقتصادية للعمالة بأي مشروع على دراسة حجم العمالة اللازمة لتشغيل المشروع، ومدى كفاءتها، وكفايتها، ومستوى الخبرات المطلوبة، وما يرتبط بذلك من أجور، تستقطع من صافي الربح المحقق، وتتميز مشروعات طاقة الرياح بأنها لا تحتاج إلى عمالة كثيفة، وقد كان من ضمن أهداف المشروع استهداف المجتمع المحلي من خلال توفير فرص العمل للعمالة الماهرة وغير الماهرة واستخدام المقاولين المحليين خلال مرحلتي الإنشاء والتشغيل. **(المركز الإقليمي للطاقة المتجددة وكفاءة الطاقة: مايو ٢٠٢١م، ص ٨).**

وتحتاج كل مائة توربينة إلى نحو (١٥) عاملًا فنيًا، **(الدراسة الميدانية للباحثين، ١٢ مارس ٢٠٢٣م)**، ويبلغ حجم العمالة بمحطة جبل الزيت **(٦١)** فردًا، ووفقًا لعينة الدراسة البالغ عددها (٣٠) فردًا ممن طبق عليهم الاستبيان فقد تشكَّلت من (٢٣) ذكور،(٧) إناث، وتضم (١٣) مهندسًا ومهندسة، و(٩) من الفنيين، و(٨) عمال، ويعمل بالمحطة، وفقًا لنتائج عينة الدراسة (١٤) فردًا منذ أكثر من سبع سنوات، أي أنهم بدأوا العمل مع بداية تشغيل مزرعة الرياح، كما يعمل بها (١١) فردًا خلال مدة من (٥) إلى (٧) سنوات، وكذلك يعمل بها (٣) أفراد خلال مدة من (٣) إلى (٥) سنوات، وهناك فردين يعملون بها خلال مدة أقل من (٣) سنوات.

وتتراوح أجور العاملين بمزرعة رياح جبل الزيت ما بين (٥٠٠٠) – (٢٠٠٠٠) جنيهًا وفقا للحالة الوظيفية، وسنوات الخبرة، ويتم نقل جميع العاملين بالمحطة مجانًا عن طريق سيارات خاصة بمزرعة الرياح، ويقيم (٢١) فردًا منهم بمساكن العاملين بمقر عملهم داخل المحطة وجميعهم ذكور، وهي مساكن مجانية، أما الباقون فيأتون من محل إقامتهم بمدينة رأس غارب ويستغرق وصولهم للعمل أقل من ساعة، ويلتزم جميع العاملين

بالمحطة باستخدام أدوات الأمن الصناعي، وذلك تفاديًا للمخاطر التي قد يتعرضون لها، وقد أشار (١١) فردًا إلى إن حدوث مخاطر أو إصابات متعلقة بالعمل تعد مسألة نادرة الحدوث، بينما رأى (١٩) فردًا أن المخاطر منعدمة، وقد قدم أفراد عينة الدراسة عددًا من المقترحات لتحسين بيئة العمل تضمنت زيادة حوافز العمل، وضمان توفير قطع الغيار اللازمة للصيانة، ولم يذكر أيًا من العاملين مشكلات تواجهه أثناء العمل.

وتجدر الإشارة إلى أن مشروعات الطاقة المتجددة بعامة، وفرت ٦٠٠٠ وظيفة مباشرة وغير مباشرة في جمهورية مصر العربية، حيث وفرت الطاقة الشمسية الكهروضوئية وحدها نصف عدد الوظائف المُستحدثة. لذلك، على الحكومة أن تقوم بوضع خطة وطنية رئيسية لتطوير قدرات التصنيع المحلية، وخصوصا لتعزيز نقل المعارف والتكنولوجيا، مما يؤدي إلى خلق فرص عمل محلية **(الوكالة الدولية للطاقة المتجددة، ٢٠١٨، ص ٥).**

رابعًا: مستقبل إنتاج طاقة الكهرباء الخضراء للرياح بمنطقة الدراسة

يمكن القول إن العالم يقف الإن على أعتاب مرحلة فاصلة في مجال إنتاج الطاقة ليتبين لنا أن المستقبل هو للطاقة الخضراء، التي ستحدث تغييرات جوهرية في شكل خريطة الطاقة العالمية، إنتاجًا وتوزيعًا واستهلاكًا، ولفهم المسار الذي يتوقع أن تسلكه مصادر إنتاج طاقة الكهرباء الخضراء، يجب النظر إليه في سياق، الاتجاه نحو خفض تكلفة إنتاج الكهرباء المولدة باستخدام طاقة الرياح إلى أقصى مدى ممكن، مع الحفاظ على كفاءتها الإنتاجية، وملاءمتها البيئية، وكذلك استخدام طاقة الرياح في إنتاج الهيدروجين الأخضر باعتبار أنها مستقبل إنتاج الطاقة المتجددة، بالإضافة إلى التعاون الدولي في مجال مشروعات إنتاج الطاقة المتجددة. **ومن ثم فإن مستقبل إنتاج الطاقة المتجددة يتضمن ما يلي:**

أولًا – خفض تكلفة إنتاج الكهرباء المولدة باستخدام طاقة الرياح إلى أقصى مدى ممكن.

ثانيًا – استخدام طاقة الرياح في إنتاج الهيدروجين الأخضر.

ثالثًا – الاهتمام بالتعاون الدولي في مجال إنتاج الطاقة المتجددة.

أولًا – خفض تكلفة إنتاج الكهرباء المولدة باستخدام طاقة الرياح إلى أقصى مدى ممكن.

تُعد حل معضلة خفض تكلفة الإنتاج، أحد أهم أهداف السياسات الاقتصادية التي تتبعها جميع المشروعات الاستثمارية، ومما يجعلها معضلة أنها تتطلب في الوقت ذاته المحافظة على تحقيق مستويات أعلى من الإنتاج كمًا، وكيفًا، **وفي هذا الإطار تعمل محطات طاقة الرياح على وضع خطط لتطوير إنتاجها كالتالي:**

أ – استخدام توربينات ذات قدرات إنتاجية أعلى

بلغت القدرات الإنتاجية للتوربينات الحديثة ٨ ميجاوات/ساعة، بمعنى أن قدراتها الإنتاجية تعادل أربع أمثال القدرة الإنتاجية، للتوربينات الحالية القائمة بمحطة جبل الزيت والبالغة ٢ ميجاوات/ ساعة، وقد بدأت تلك التوربينات ذات القدرات الإنتاجية الأعلى في الانتشار على المستوى التجاري، وهناك خطة لاستخدام تلك التوربينات بمحطة جبل الزيت، وهناك توربينات أخرى ذات قدرات أعلى تبلغ ١٥ ميجاوات/ ساعة، ولكنها في طور التجريب والدراسة، ولم تستخدم على نطاق تجاري، وربما سيبدأ تجريبها في المناطق البحرية، قبل استخدامها على اليابس. وقد حفز مطورو مشاريع طاقة الرياح ما تم من تخفيضات لأسعار التوربينات من الشركات المصنعة في الصين لعام ٢٠٢١ م **(الوكالة الدولية للطاقة المتجددة، أبو ظبي: ٢٠٢٢م، ص٥).**

وفي هذا الشأن يجري الآن العمل على استخدام توربينات ذات قدرات إنتاجية أعلى بمنطقة الدراسة، إذ تبلغ قدرات التوربينات المستخدمة في محطة **جبل الزيت (٤)** المزمع تشغيلها في ديسمبر ٢٠٢٣م، ٣,٦ ميجاوات/ ساعة لكل توربين، ويبلغ عدد التوربينات ٧٠ توربينة، تبلغ طاقتها الإجمالية ٢٥٢ ميجا وات، وهو ما سوف يؤدي إلى زيادة حجم الطاقة المنتجة، لتبلغ ٨٣٢ ميجاوات/ ساعة، ويسعى القائمون على إدارة المحطة إلى الحصول على توربينات تصل طاقتها الإنتاجية إلى ١٥ ميجاوات/ ساعة، حال نجاح استخدامها اقتصاديًا.

ب – دراسة تخزين الطاقة الكهربية المولدة باستخدام طاقة الرياح

تعد إمكانية تخزين الطاقة واحدة من أهم الصعوبات التي تواجه استخدام طاقة الرياح في توليد الكهرباء، لذا تقوم الدراسات البحثية في هذا الشأن على إنتاج بطاريات لتخزين طاقة الرياح، إلا أنها حتى الآن ليست ذات جدوى اقتصادية لارتفاع تكاليف هذه البطاريات لكن يؤمل في أن يتحقق ذلك في غضون السنوات القليلة القادمة، وسيحدث ذلك نقلة نوعية في إمكانية نقل هذه الطاقة المخزنة إلى مناطق ربما تكون أكثر احتياجًا، وغير متصلة بالشبكة القومية، وكذلك تنظيم عملية استغلالها.

وسوف تستفيد مزرعة رياح جبل الزيت، منطقة الدراسة، من استخدام تلك البطاريات بشكل كبير وذلك لأنها ستمكن من نقل الطاقة بشكل أكثر كفاءة وانتظامًا، عما هو عليه الحال حاليًا، ولكن لا تزال حتى الآن تكلفة إنتاج هذه البطاريات مرتفعة للغاية وسيؤدي هذا إلى حل واحدة من أكثر المعضلات التي تواجه إنتاج الطاقة المتجددة، وهي كيفية تخزين كميات كبيرة من الكهرباء بتكلفة زهيدة وتزويدها بشبكات الطاقة عندما لا تهب الرياح للتوربينات.

ثانيًا – استخدام طاقة الرياح في إنتاج الهيدروجين الأخضر

عرف برنامج الأمم المتحدة للبيئة الاقتصاد الأخضر بأنه" ذلك الاقتصاد الذي ينتج عنه تحسن في رفاهية الإنسان والمساواة الاجتماعية في حين يقلل من المخاطر البيئية، ومن ندرة الموارد الاقتصادية **(حسن خلف راضي، ٢٠٢١م، ص ٦٥)**، ويمكن تعريف الاقتصاد الأخضر أيضًا بأنه "نموذج جديد من نماذج التنمية الاقتصادية السريعة النمو الذي يقوم على معرفة الاقتصاديات البيئية التي تهدف إلى معالجة العلاقة المتبادلة بين الاقتصاديات الإنسانية والنظم البيئية الطبيعية، والأثر العكسي للأنشطة الإنسانية على التغير المناخي، والاحتباس الحراري" **(محمد عبد القادر الفقي، ٢٠١٤م، ص ٥)**. غير إن التحول إلى الاقتصاد الأخضر يتطلب إعداد مجموعة من اللوائح والسياسات والدعائم المادية والهياكل القانونية التي تمهد بيئة المجتمع لمثل هذا التحول.

وتعتبر **طاقة الرياح أساسًا لإنتاج الهيدروجين الأخضر** (*) منخفض التكلفة، ويسعى الهدف السابع من أهداف التنمية المستدامة التي اعتمدتها جميع الدول الأعضاء في الأمم المتحدة عام ٢٠١٥م، إلى توفير طاقة نظيفة بأسعار معقولة للجميع. **(نهال محمد فتحي الشحات، ٢٠٢١م، ص ٢)**.

(*) " ٩٦٪ من الهيدروجين المُنتَج حاليًا يصنع من الوقود الأحفوري من خلال عملية تستهلك الكثير من الكربون إما عن طريق إعادة تشكيل الميثان بالبخار) SMR (من غير عزل الكربون الناتج واستغلاله أو تخزينه)الهيدروجين الرمادي)، أو من خلال عملية تحويل الفحم إلى غاز الهيدروجين الأسود، حيث إن طريقة إنتاجه والغازات الدفيئة الناتجة من العملية هي ما تعطيه لونه.والهيدروجين الأخضر: ينتج عن تحليل الكهربائي للماء في محلل كهربي، وتزود الكهرباء من مصادر الطاقة المتجددة مثل الطاقة المائية أو طاقة الرياح أو الطاقة الشمسية،) إذا كانت هنالك حاجة للمياه المحلاة تكون باقي العملية مدعومة بنسبة ١٠٠ % من الطاقة الشمسية وطاقة الرياح ولا ينتج عن هذه العملية أي من الغازات الدفيئة (ماتيس، كورنيليوس، وأخرين: نوفمبر ٢٠٢٠م، ص٦)

ويشير التوجه الرئيسي الآن في التحول العالمي للطاقة إلى الاستغلال المتسارع للتكنولوجيا الخالية من الانبعاثات الكربونية، إذ تكلف الأثار السلبية الناتجة عن الكربون نحو ٥٧,٥ دولار لإزالة الأثار السلبية المترتبة على انبعاث طن واحد منه **(عزة علي فرج: ٢٠٢٢م، ص ٧٧٩)** وتؤكد الدراسات العلمية أن منطقة الشرق الأوسط، وشمال أفريقيا، ومن بينها مصر، قادرة على أن تصبح مركزا لإنتاج الهيدروجين الأخضر، ملحق (٢) لكل من أسواقها الإقليمية والعالم **(ماتيس، كورنيلوس، وأخرين: ٢٠٢٠م، ص٣ بتصرف)**.

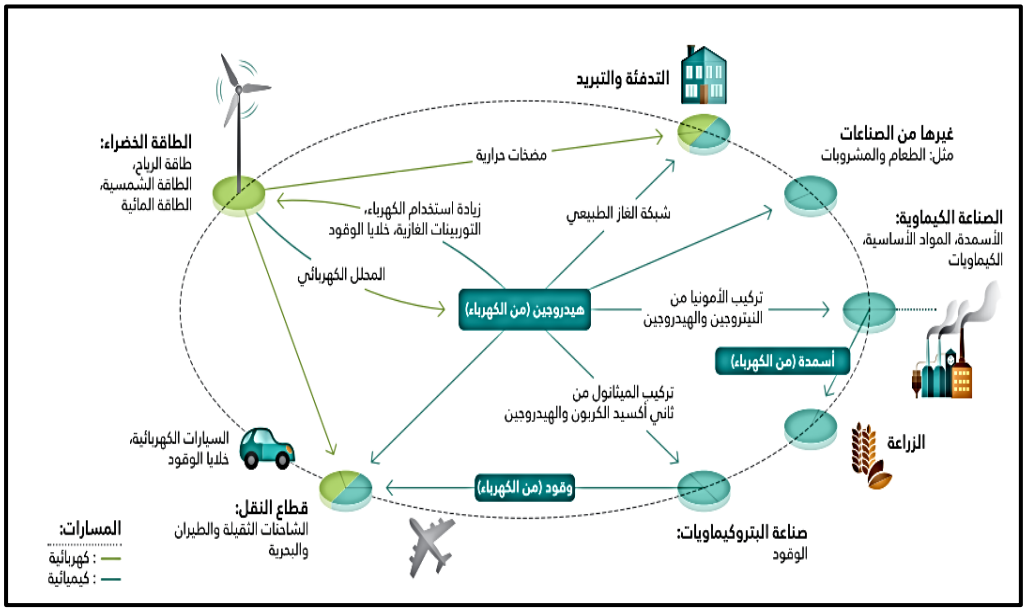
ومن ثم فإن مصر الآن، تجد نفسها أمام فرصة حقيقية ومسؤولية كبيرة للتحرك قُدُمًا لإنعاش اقتصادها من خلال وضع استراتيجيات مدروسة وأهداف ثابتة لخفض تكلفة مشروعات إنتاج الطاقة الخضراء، والهيدروجين هو أول وأخف عنصر كيميائي في الجدول الدوري وبصفته المادة الكيميائية الأكثر وفرة في الكون، يوصف بأنه الحلقة المفقودة لانتقال الطاقة، ويمكن للهيدروجين كناقل للطاقة أن يربط بين القطاعات المستهلكة للطاقة مع قطاعات صناعة الطاقة وتطويرها **(ماتيس، كورنيلوس، وأخرين: ٢٠٢٠م، ص ٥)** شكل (٢٠).

وتبلغ تكلفة الهيدروجين الأخضر للمشاريع الكبيرة ما بين ٢,٥ – ٤,٥ دولارًا أمريكيًا للكيلوجرام الواحد، بناءً على تكلفة الكهرباء المفترضة البالغة ٢ سنت دولار أمريكي لكل كيلوواط ساعة، لعام ٢٠٢٠م، ومن الممكن حدوث انخفاض كبير في التكلفة خلال السنوات القادمة **(ماتيس، كورنيلوس، وأخرين: ٢٠٢٠م، ص ١٣)**.

وسوف يستفيد من إنتاج طاقة الهيدروجين الأخضر كلا من الطرفين، فالدول المستوردة ستتمكن من تحقيق أهداف إزالة الكربون وتحسين المُناخ، ودعم أمن الطاقة والتكنولوجيا

المعتمدة عليها. أما الدول المُصدّرة، فستنمو اقتصاداتها، من خلال تعزيز الصادرات، ودعم الاستقرار الاجتماعي. ومن المؤكد أن الهيدروجين (النفط الأخضر) سيمثل نقطة تحول من وجهة النظر الجيوسياسية. و يوجد ارتباط ديناميكي بين رأس المال الطبيعي، والتنمية المستدامة، فعندما تكون المشروعات البيئية غير مستدامة يحدث التدهور البيئي ويتم استنزاف الموارد الاقتصادية وتتنامى تحديات تحقيق التنمية الاقتصادية.

و"تقاس إمكانات الطاقة المتجددة المنقولة في الهيدروجين في البلدان بالأخذ بالاعتبار ثلاثة معايير وتصنف بناءً على توفر الموارد الرياح، الشمس، الماء، والبنية التحتية للإنتاج والنقل وتوزيع الهيدروجين ويشير التقرير إلى إمكانية أن تصبح المغرب وأستراليا أحد أكبر المصدرين للهيدروجين الأخضر لوفرة موارد الطاقة المتجددة والقدرة على تجهيز البنية التحتية المطلوبة **(ماتيس، كورنيليوس، وأخرين: نوفمبر ٢٠٢٠م، ص٩)**.



المصدر: (ماتيس، كورنيلوس، وأخرين: نوفمبر ٢٠٢٠م، ص ٥)

شكل (٢٠) دور الهيدروجين فى الربط بين قطاعات الطاقة

"ومما لا شك فيه أن تأمين مصادر جديدة للطاقة بشكل آمن ونظيف من أكبر التحديات التي تواجه عالم اليوم، وذلك لتقليل الاعتماد على البترول الذي يتقلص إنتاجه بمرور الأيام، ومصادر الطاقة الجديدة والمتجددة، هي مصادر طبيعية دائمة وغير ناضبة ونظيفة لا ينتج عن استخداماتها المختلفة تلويث البيئة" **(رضا سليمان السيد حسانين، محمد صدقي علي الغماز: ٢٠١٥، ص ١٣٨)**. "وقد أشار، مؤتمر الأطراف السابع والعشرين المنعقد بمدينة شرم الشيخ في نوفمبر ٢٠٢١م، لأدوار جديدة يجب أن تضطلع بها الطاقة المتجددة وتساهم بها في تحقيق أهداف التنمية المستدامة، فبرغم تباطؤ الاقتصاد العالمي، حافظت أسواق الطاقة المتجددة على ديناميكيتها وحيويتها **(هيئة الطاقة الجديدة والمتجددة – التقرير السنوي٢٠٢٢م، ص٢)**

وبناء على ما سبق يمكن القول إن منطقة الدراسة قد تتحول مستقبلًا إلى إنتاج الهيدروجين الأخضر، بدلًا من الإنتاج المباشر للكهرباء، ثم استخدام الهيدروجين الأخضر بعد إنتاجه في إنتاج طاقة الكهرباء، وذلك لما يميز طاقة الهيدروجين الأخضر من رخص التكلفة، والاستدامة، إضافة إلى خفض الانبعاثات الكربونية.

ثالثًا – الاهتمام بالتعاون الدولي في مجال إنتاج الطاقة المتجددة.

"جاء مؤتمر المناخ COP-27 في مدينة السلام بشرم الشيخ، لتتوج الجهود المصرية المبذولة على مدار السنوات الماضية للتحول إلى الاقتصاد الأخضر، حيث ترأس مصر قمة المناخ في وقت مفصلي للغاية في مسيرة العالم، وسط اضطرابات عالمية تتعلق بالحرب الروسية الأوكرانية فضلاً عن التغيرات المناخية ومحاولة العالم للتعافي من تداعيات جائحة كورونا **(مركز الأهرام للدراسات السياسية والاستراتيجية: ٢٠٢٢م، ص ٨)**.

يعد التعاون بين مصر وغيرها من الدول والتكتلات الاقتصادية، في مجال إنتاج طاقة الرياح أمرًا حتميًا، **حيث تواجه الدولة المصرية عددًا من التحديات في هذا المجال والتي تتمثل في:**

– ضعف توافر التمويل اللازم لمشروعات توليد الطاقة المتجددة، وشبكات توزيعها، في ظل ارتفاع تكلفة إنشاء مزارع الرياح، مما يحد من التوسع في إنشائها، ويقصرها على الاستثمارات الأجنبية، وتمثل الاستثمارات الأجنبية أهمية استثنائية بالنسبة للدول النامية، خاصة في ظل تقلص مصادر التمويل **(محمد صديق نفادي، ٢٠١٧م، ص ٦٤٢)**.

– ارتفاع تكلفة تطبيق السياسات البيئية للحصول على الطاقة المتجددة مقارنة بالطاقة التقليدية **(شيماء السيد فاضل،٢٠٢٢م، ص ٢٣)**

– ضعف كفاءة استخدام الطاقة التقليدية في قطاعات الأنشطة الاقتصادية المختلفة مما يؤدي إلى الطلب المتزايد على الطاقة وتزايد مخاطر تلوث البيئة.

– نقص الحوافز الاقتصادية التي تشجع على توليد الطاقة من المصادر المتجددة.

– النمو السريع في حجم الطلب على الطاقة بسبب زيادة السكان.

– ظهور احتياجات جديدة متوقعة لاستخدامات الطاقة من أبرزها استخدام الطاقة لتحلية مياه البحر لمواجهة النقص المستقبلي المتوقع في المياه العذبة.

ولمجابهة هذه التحديات، أدركت الحكومة المصرية ضرورة صياغة السياسات القومية وتنفيذها على أساس التعاون المشترك مع شركاء إقليميين ودوليين في مجال إنتاج الطاقة المتجددة، وخاصة فيما يتعلق بتبادل البحوث والخبرات، والتمويل، والمساعدة التقنية، والتكنولوجية.

لكن يجب أن يتم ذلك التعاون في ضوء رؤية واستراتيجية تقوم على ضرورة تفهم ومراعاة عدد من الاعتبارات يأتي في مقدمتها، العمل على إنشاء محطات طاقة الرياح،

في ظل وجود قاعدة بيانات جغرافية شاملة ومتكاملة، حول مناطق تلك المحطات تتضمن الاعتبارات الاقتصادية، والاجتماعية، والبيئية، والجيوسياسية، والاستعانة بالخبراء في مجال الجغرافيا، لتكون الرؤية الجغرافية، حاضرة وفاعلة، في مثل هذا النوع من المشروعات، التوجه نحو توطين صناعة التقنيات والمعدات ذات الصلة بالطاقة، خاصة الطاقة المتجددة، والعمل على توسيع أسواقها، لتوفير فرص عمل إضافية.

وفي هذا الشأن يمكن أن تحصد مزرعة رياح جبل الزيت، غرب خليج السويس، منطقة الدراسة، وغيرها من مزارع الرياح الأخرى ثمار هذا التعاون المتمثلة في الاستفادة من ضخ رؤوس أموال في شكل استثمارات عربية وأجنبية لتعزيز القدرات الإنتاجية للمزرعة من خلال زيادة إمكانات التوسع، واستخدام توربينات ذات قدرات إنتاجية أعلى، وتوفير النقد الأجنبي اللازم لتوفير قطع الغيار المستوردة، وغيرها من حوافز الإنتاج الأخرى ودعائمه، بل يمكن الوصول إلى ما هو أبعد من ذلك، حيث يمكن إنشاء مصانع لإنتاج قطع الغيار محليًا، مع الاستفادة من الخبرات العربية والأجنبية في هذا المجال.

النتائج والتوصيات

شهد ملف الطاقة المتجددة في مصر تحولا جذريًا خلال السنوات الأخيرة بدعم واضح من القيادة السياسية، أدى إلى تغيير مشهد الطاقة في مصر بالكامل، لتصبح مركز إقليمي لإنتاج الطاقة المتجددة، بما يعزز من الاقتصاد المصري، من خلال خفض فاتورة تكلفة إنتاج الطاقة، نتيجة زيادة الاعتماد على الطاقة المتجددة، وهو ما يتطلب ديمومة الجهود الحكومية في دعم ملف الطاقة وفى ضوء ذلك تم وضع عدد من النتائج والتوصيات تتمثل أبرزها فيما يلى:

أ- النتائج

١ – أكد البحث أن منطقة الدراسة لها خصائص موضعية مميزة، كاستواء الأرض وعدم تضرسها، وطبيعة تكويناتها الصخرية، وبعدها عن مراكز التكدس العمراني، وخلوها من الآثار، وما يترتب على ذلك من خفض التكلفة الاقتصادية للمشروع.

٢ – بين البحث أن الصخور بمنطقة الدراسة تتفاوت في مقدار صلابة صخورها، وهو ما ينعكس بالضرورة على تكاليف إنشاء توربينات إنتاج الكهرباء الخضراء بمنطقة الدراسة، وعليه فإن المساحة الأكبر من منطقة غرب خليج السويس بمحيط منطقة الدراسة، وتبلغ نحو ١٧٦٠ كم٢ تقريبا تمثل ٦٧,٦ % من إجمالي مساحة المنطقة تتألف من صخور الحجر الجيري والرملي والرواسب المفككة.

٣ – أوضح البحث أن نطاق السهل الساحلي (صفر – ٤٠٠ م) هو أنسب المواقع للتوسع المستقبلي لمحطات إنتاج الكهرباء الخضراء بالمنطقة، حيث إن ثلثي (٦٣,٦ %) المنطقة تتوافر فيها ميزة التضرس الخفيف والذي يقلل من تكاليف إنشاء مثل تلك المحطات، مع الأخذ بعين الاعتبار أن تلك الميزة تقل وتتلاشى كلما انتقلنا من شرق المنطقة إلى غربها.

٤ – توصل البحث إلى أن النشاط البترولي يأتي في صدارة استخدامات الأرض بالمنطقة (١٩ كم^{٢} بنسبة ٥٧,٩ % من جملة المساحات المستغلة)، يليها الاستخدام السكنى بمدينة غارب (٧,٢ كم^{٢} بنسبة ٢١,٨ % من جملة المساحات المستغلة)، ثم شركة وطنية لاستخلاص الملح ثم المناطق العسكرية وأخيراً المصايف، وكلها استخدامات لا تستحوذ إلا على جزء يسير جداً تبلغ نسبته (١.٣ %) من إجمالي مساحة منطقة الدراسة البالغ ٢٥٩٩.١ كم٢.

٥– حدّد البحث أن مزرعة رياح جبل الزيت ساهمت خلال فترة الدراسة (٢٠١٥–٢٠٢٢م) بنحو ١٢٥٥٦ مليون ك.و.س من الكهرباء الخضراء، وهو ما يُمثل نسبة ٤١,٥٪ من جملة الإنتاج في محطات الرياح المرتبطة بالشبكة الموحدة على مستوى الدولة خلال الفترة نفسها، والذي يبلغ ٣٠٢٨٥ مليون ك.و.س.

٦– أشار البحث إلى أن حجم إنتاج الكهرباء الخضراء على مستوى المزرعة ارتفع من ٥٥ مليون ك.و.س إلى ٢٤٨٤ مليون ك.و.س خلال فترة الدراسة؛ وذلك بسبب تطور القدرة الإسمية المُركبة من ناحية، وتوسعة المزرعة، وافتتاح محطات جبل الزيت٢–٣ من ناحية أخرى.

٧– أبرز البحث أن جملة إنتاج الكهرباء الخضراء من مزرعة جبل الزيت عام ٢٠٢٢م نحو ٢٤٨٤ مليون ك.و.س وهو ما يُمثل ٤٤,٣٪ من إجمالي الإنتاج في محطات الرياح المرتبطة بالشكة الموحدة على مستوى الدولة والبالغ حجم إنتاجها ٥٦١٣ مليون ك.و.س خلال العام نفسه.

٨– رصد البحث اختلاف الشهور التي حققت أكبر إنتاج من الكهرباء الخضراء خلال فترة الدراسة؛ وجاء شهر يوليو في المقدمة عام ٢٠٢٠م بنحو (٢٥٥,٤٧٦ ألف ك.و.س) تمثل ١٢,٩٪ من إنتاج نفس العام، في حين كان شهر سبتمبر في المقدمة في العام التالي بنحو (٣١١,٥١٩ ألف ك.و.س) وبنسبة ١٢,٣٪ من الإنتاج السنوي، وتحقق

أقصى إنتاج في شهر مايو خلال عام ٢٠٢٢م بنحو (٢٦٨,٩٦١ ألف ك.و.س) وبنسبة ١٠,٨٪من إنتاج العام ذاته.

٩- أوضح البحث أن جملة الاستخدامات بمنطقة الدراسة لا تتعدى ١,٣ % من إجمالي مساحتها البالغة نحو (٢٥٩٩,١ كم^{٢})، ولذلك فإن المنطقة تتميز بإمكانات ووفورات اقتصادية من ناحية التوسع المستقبلي في إنتاج طاقة الرياح، إذ لا توجد ضرورة أو حاجة إلى دفع تعويضات مقابل إخلاء الأراضي لإنشاء توربينات الرياح.

١٠ – أثبت البحث أن اقتصاد الهيدروجين الأخضر يمكن أن يساعد على تطوير استغلال المزيد من الطاقة المتجددة وبدء التخزين الموسمي والمساهمة في النمو الأخضر وخلق فرص العمل المحلية.

١١ – أكد البحث أن إنتاج الكهرباء باستخدام طاقة الرياح يخضع لتأثير الظاهرات الطبيعية التي قد تؤدي إلى اضطراب إمدادات الكهرباء، ويساهم تخزين الطاقة تلك الطاقة في تعزيز كفاءتها عن طريق توفير إمدادات مستمرة من الطاقة.

١٢- أشار البحث إلى أن تكلفة إنتاج الهيدروجين الأخضر تتراوح ما بين ٢,٥ – ٤,٥ دولارًا أمريكيًا للكيلوجرام الواحد، بناءً على تكلفة الكهرباء المفترضة البالغة ٢ سنت دولار أمريكي لكل كيلوواط ساعة، لعام ٢٠٢٠م، ومن الممكن حدوث انخفاض كبير في التكلفة خلال السنوات القادمة مما يجعل من الهيدروجين الأخضر بمثابة مستقبل الطاقة العالمية خلال السنوات القريبة القادمة.

التوصيات

١ – ضرورة توجيه البحوث والدراسات الجغرافية في مجال الطاقة إلى دراسة اقتصاديات إنتاج الطاقة المتجددة، وبخاصة في مجال طاقات المستقبل ويأتي في صدارتها طاقة الرياح والهيدروجين الأخضر.

٢ – يجب أن تتخذ مصر إجراءات لوضع خارطة طريق لإنتاج الهيدروجين الأخضر، من خلال دعم إنتاج وتطوير طاقة الرياح، ويتم ذلك من خلال تشكيل هيئة وطنية متخصصة في أبحاث إنتاج طاقة الهيدروجين الأخضر، باعتبارها طاقة المستقبل، وتعد مصر مؤهلة بشكل كبير لأداء دور مهم في سوق الطاقة الخضراء.

٣ – العمل على رفع كفاءة توربينات الرياح وليس زيادة عدد محطات إنتاجها فقط.

٤ – ضرورة تشجيع القطاع الخاص على المساهمة بدور أساسي في تحقيق استراتيجية مساهمة الطاقة المتجددة من خلال إنشاء مزارع الرياح.

٥ – تقديم المساعدة المطلوبة لشركات القطاع الخاص الممثلة في تقديم المعاونة الفنية للمستثمرين في مجال مشروعات طاقة الرياح وتقييم مصادر طاقة الرياح بالمواقع المختلفة وإتاحة البيانات اللازمة لإجراء دراسات الجدوى.

٦ – توقيع اتفاقيات حق انتفاع لاستخدام الأراضي الخاصة بمشروعات طاقة الرياح مع المستثمرين في المجال بحيث تسهم في تحسين اقتصاديات مشروعات مزارع الرياح.

٧ – دعم إجراء دراسات بحثية تطبيقية في مجال تكنولوجيا إنتاج الهيدروجين الأخضر، والاستفادة من نتائج تلك الدراسات في تمكين مصر من أن تحظى بنصيب وافر في هذا المجال، من المتوقع أن يغطي إنتاج الهيدروجين الأخضر من الطاقة نحو ٢٤ % من الاحتياجات العالمية بحلول عام ٢٠٥٠ م.

٨ – إجراء دراسات بحثية متعمقة بشأن دور الهيدروجين الأخضر في مجالات: الصناعات الكيميائية، والزراعة، والنقل والمواصلات، "ويعد توطين مشروعات الهيدروجين الأخضر في مصر متسقا مع توجهات الدولة المصرية لتحقيق التنمية المستدامة في إطار رؤية مصر ٢٠٣٠، والتي تركز على الطاقة كعنصر اقتصادي لتحقيق الاستدامة" **(مركز المعلومات ودعم اتخاذ القرار: يونيو ٢٠٢٢م، ص ١١).**

٩ – إنشاء جهاز حكومي مستقل لمراقبة استهلاك الطاقة في قطاعات الصناعة والكهرباء والبترول والنقل والإسكان يقوم بمراقبة نمط استهلاك الطاقة، وله سلطة وضع تشريع ملزم لرفع كفاءة استخدام الطاقة الحرارية والكهربية.

١٠– إنشاء هيئة مالية للطاقة المتجددة تمثل الجانب الاستثماري لوزارة الكهرباء والطاقة المتجددة، للتوقيع على عقود الاستثمار مع الشركاء المحليين والأجانب في مشاريع الطاقة المتجددة. مع إمكانية تصدير الطاقة المولدة أو ضخها في الشبكة القومية. مما يسهم في توفير مزيد من العملات الأجنبية تضاف للاقتصاد الوطني.

١١ – إعفاء جميع معدات الطاقة المتجددة من الضرائب الجمركية لتشجيع الاستثمار في مثل هذا النوع من الطاقة، ولجعل مصر مركزًا رئيسًا للطاقة الخضراء في المنطقة.

١٢ – التركيز على القطاعات والتقنيات ذات التأثير الأعلى في خفض الانبعاثات الكربونية، خاصةً خفض استخدامات الفحم، ويتطلب ذلك تطوير سياسات قطاع الطاقة بما يعزز التوجه نحو استخدام الطاقة المتجددة.

١٣ – تشجيع القطاع الخاص على الاستثمار في محطات الرياح لإنتاج الكهرباء الخضراء

جامعة عين شمس
كلية التربية
قسم الجغرافيا ونظم المعلومات الجغرافية

(ملحق ١- نموذج استبيان)

لدراسة إنتاج الكهرباء الخضراء بمزرعة رياح جبل الزيت، غرب خليج السويس

ملحوظة مهمة البيانات والمعلومات المطلوبة هي بيانات سرية، ولا تستخدم إلا في أغراض البحث العلمي

١ - النوع: ☐ ذكر ☐ أنثى

٢ – الوظيفة: ☐ مهندس ☐ فني ☐ عامل

أخرى ☐ ، من فضلك حدد الوظيفة.....

٣ – عدد سنوات العمل بالمحطة

- ☐ أكثر من ٧ سنوات
- ☐ من ٥ إلى أقل من ٧ سنوات.
- ☐ من ٣ إلى أقل من ٥ سنوات
- ☐ أقل من ثلاث سنوات

٤ – من فضلك ضع علامة أمام فئة الدخل التي تنتمي إليها.

- ☐ أقل من خمسة آلاف جنيه.
- ☐ من خمسة آلاف إلى أقل من عشرة آلاف جنيه.
- ☐ عشرة آلاف جنيه فأكثر.

٥ – ما الوسيلة التي تستخدمها للوصول إلى مقر عملك؟

☐ سيارة خاصة ☐ سيارة تابعة للعمل ☐ نقل جماعي

☐ وسيلة أخرى من فضلك أذكرها.....

٦ – ما الوقت المستغرق للوصول إلى مقر عملك

- ☐ أقل من ساعة

- ☐ من ساعة إلى أقل من ساعتين.
- ☐ أكثر من ساعتين.
- ☐ أخرى، حدد المدة الزمنية من فضلك.

٧ – هل تستخدم أدوات الأمن الصناعي بالمزرعة؟

- ☐ نعم
- ☐ لا

٨ – ما تقييمك لمخاطر العمل بمزرعة الرياح، اختر التقييم المناسب.

- ☐ مرتفعة جدًا
- ☐ مرتفعة
- ☐ متوسطة
- ☐ نادرة
- ☐ نادرة جدًا
- ☐ لا توجد مخاطر إطلاقًا

٩ – ما هي أهم المشكلات التي تواجه سيادتكم أثناء العمل بمزرعة الرياح؟

.....

.....

١٠ – ما هي أهم المقترحات، التي ترى من وجهة نظر سيادتكم أنها يمكن أن تسهم في حل المشكلات التي تواجه سيادتكم أثناء العمل بمزرعة الرياح؟

.....

.....

.....

خالص الشكر والتقدير لحسن تعاونكم

الباحثين

ملحق (٢) ألوان الهيدروجين واستعمالاته

- **الهيدروجين الأخضر:** ينتج عن تحليل الكهربائي للماء في محلل كهربي، وتزود الكهرباء من مصادر الطاقة المتجددة مثل الطاقة المائية أو طاقة الرياح أو الطاقة الشمسية، إذا كانت هنالك حاجة للمياه المحلاة تكون باقي العملية مدعومة بنسبة ١٠٠ % من الطاقة الشمسية وطاقة الرياح ولا ينتج عن هذه العملية أي من الغازات الدفيئة، وعلى خلاف الأنواع الأخرى فإنه يلعب دوراً رئيسياً في نقل الطاقة والتخلص من الكربون في القطاعات التي يصعب فيها ذلك، من الأمثلة على ذلك: مجال صناعات الفولاذ، يمكن أن يحل الهيدروجين الأخضر محل فحم الكوك في عملية الاختزال المباشر.

- **الهيدروجين الرمادي:** ينتج باستخدام الغاز الطبيعي في حين يحتاج الهيدروجين الأسود للفحم كعنصر أساسي، وتكون عملية الإنتاج الرئيسية هي إعادة تشكيل الميثان بالبخار SMR التي تستهلك أوكسجين من بخار الماء في حجرة حرارية لفصل الميثان CH4 وإنتاج الهيدروجين. لكن هذه العملية تتسبب بقدر ٦ هائل من التلوث لأنها تنتج ما يعادل ٩ كغم من ثاني أكسيد الكربون CO_2 لكل ١كجم هيدروجين يتم إنتاجه.

- **الهيدروجين الأزرق:** يحتاج لنفس عملية صنع الهيدروجين الرمادي لكن الكربون الناتج عن العملية يتم جمعه باستخدام عملية CCUS للتقليل من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون. يشير الاتحاد الأوروبي لهذا النوع من الهيدروجين بأنه هيدروجين ناتج عن الوقود الأحفوري مع جمع الكربون.

- **الهيدروجين الأصفر** يتم صنعه عن طريق التحليل الكهربائي للطاقة الكهربائية ذات الأصل المختلط التي يمكن أن تكون ناتجة عن الطاقة النووية أو من النفايات إلى هيدروجين أو من تحويل النفايات إلى غاز.

– **الهيدروجين التركواز**: ينتج من الغاز الطبيعي أو الكتل الحيوية كمدخلات للطاقة عبر الانحلال الحراري لإنتاج الهيدروجين في عملية ماصة للحرارة بينما يتم الحصول على الكربون الصلب كمنتج ثانوي. في حين أن الانحلال الحراري للكتلة الحيوية هو عملية ضارة نسبيًا من وجهة نظر بيئية، إلا أنها يمكن أن تكون مثيرة للاهتمام، بشرط أن تأتي الطاقة من مصادر متجددة.

المصدر: ماتيس، كورنيليوس، وأخرين: نوفمبر ٢٠٢٠م، ص٦

المصادر والمراجع

أولًا – المصادر

١) محطة كهرباء جبل الزيت، إدارة التشغيل، بيانات غير منشورة، ٢٠٢٣م.

٢) مركز المعلومات ودعم اتخاذ القرار، توطين مشروعات إنتاج الهيدروجين الأخضر في مصر، الفرص والتحديات والتوصيات، يونيو ٢٠٢٢م.

٣) رئاسة مجلس الوزراء، رؤية مصر ٢٠٣٠م، المحور الثاني، الطاقة.

٤) الوكالة الدولية للطاقة المتجددة International Renewable Energy Agency، تقارير مختلفة

٥) الهيئة المصرية العامة للبترول، ١٩٨٧ م، الخرائط الجيولوجية مقياس ١:٥٠٠.٠٠٠)، لوحات (شمال سيناء، بنى سويف، القصير، أسيوط) .

٦) هيئة المساحة الجيولوجية الأمريكية، نموذج الارتفاع الرقمي Aster GDEM بدقة ٣٠ متر، ٢٠١١ م.

٧) وزارة الكهرباء والطاقة المتجددة، هيئة الطاقة الجديدة والمتجددة، التقرير السنوي، القاهرة، ٢٠٢٢م.

٨) وزارة الكهرباء والطاقة المتجددة، الشركة القابضة لكهرباء مصر، التقرير السنوي، القاهرة، ٢٠٢١م.

٩) وزارة الكهرباء والطاقة المتجددة، هيئة الطاقة الجديدة والمتجددة، التقرير السنوي، القاهرة، ٢٠٠٦م.

١٠) وزارة الكهرباء والطاقة المتجددة، هيئة الطاقة الجديدة والمتجددة، تقرير بأنشطة طاقة الرياح، بيانات غير منشورة، القاهرة، أبريل ٢٠١٥م.

١١) وزارة الكهرباء والطاقة المتجددة، هيئة الطاقة الجديدة والمتجددة، التقرير السنوي، القاهرة، ٢٠١٥.

١٢) وزارة الكهرباء والطاقة المتجددة، هيئة الطاقة الجديدة والمتجددة، التقرير الربع سنوي، الطاقة المتجددة من أجل الاستدامة، القاهرة، أبريل ٢٠٢٣م.

١٣) وزارة الكهرباء والطاقة المتجددة، هيئة الطاقة الجديدة والمتجددة، تقرير إنتاج الكهرباء لمحطات القطاع الخاص، بيانات غير منشورة، القاهرة، ٢٠٢٣.

١٤) وزارة الكهرباء والطاقة المتجددة، هيئة الطاقة الجديدة والمتجددة، إدارة التشغيل، بيانات غير منشورة، ٢٠٢٣م.

ثانيًا – المراجع العربية

١. أحمد محمد عبد الحميد، وآخرين:" مصادر الطاقة الكهربائية المتاحة في مصر والعالم"، مجلة العلوم البيئية، معهد الدراسات والبحوث البيئية – جامعة عين شمس المجلد الثالث والأربعون، الجزء الأول، سبتمبر ٢٠١٨م.

٢. أحمد محمد علي عجوة: "جغرافية مزارع الرياح وإنتاجها من الكهرباء في مصر، مجلة المجمع العلمي المصري، المجلد ٨٦، العدد ٨٦، ٢٠١١م.

٣. إيملي محمد حلمي حمادة، طاقة الرياح في مصر: دراسة في المناخ التطبيقي المجلة الجغرافية العربية، مجلة الجمعية الجغرافية المصرية العدد ٥٢، ٢٠٠٨ م.

٤. حسام ثابت صدفي وآخرون: " محاكاة الواقع الجغرافي لاستغلال طاقة الرياح في صحراء مصر الشرقية باستخدام الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية "، الجمعية الجغرافية المصرية العدد: ١٢٤، ٢٠١٩ م.

٥. خالد هاشم عبد الحميد، الاقتصاد الأخضر ودوره في تحقيق التنمية المستدامة"، المجلة العلمية للبحوث والدراسات التجارية المجلد ٦٣، العدد الثاني، ٢٠٢٢م.

٦. خلود حسام حسنين: (اقتصاديات الطاقة الجديدة والمتجددة وإمكانية استثمارها في مصر، رسالة ماجستير غير منشورة، كلية التجارة، جامعة عين شمس، ٢٠٠٤م.
٧. رضا سليمان السيد حسانين، محمد صدقي علي الغماز:" محطة الكريمات الشمسية: منظور جغرافي، مجلة المجمع العلمي المصري، المجلد ٩٠، العدد ٩٠، ٢٠١٥م.
٨. سحر أحمد حسن يوسف، الطاقة المتجددة بين الواقع والمأمول خارطة الطريق، المجلة العلمية للاقتصاد والتجارة، كلية التجارة ، جامعة عين شمس، العدد الأول ، ٢٠٢٠ م.
٩. سعيد أحمد عبدة، ومروة عيسى، توطن محطات إنتاج الكهرباء من الرياح في مصر دراسة في جغرافية الطاقة المتجددة، مجلة البحث العلمي في الآداب، ع ١٧، جزء ٤، ٢٠١٦م.
١٠. سعيد أحمد عبده:" مستقبل الطاقة المتجددة في مصر"، مجلة المجمع العلمي المصري، المجلد السابع والثمانون، ٢٠١٢م.
١١. شركة ليكيلا: " تقرير عن دراسة تقييم التأثيرات البيئية والاجتماعية التكميلية لمحطة الرياح التابعة لشركة "ليكيلا" بنظام BOO – بخليج السويس، مايو ٢٠١٩م.
١٢. شيماء السيد فاضل: "دور النمو الأخضر في دعم قطاع الطاقة في مصر التحديات والحلول"، المجلة الدولية للسياسات العامة في مصر، مركز المعلومات ودعم اتخاذ القرار التابع لمجلس الوزراء، المجلد ١، العدد ١، يناير ٢٠٢٢م.
١٣. عبد العزيز طريح شرف:" الجغرافيا المناخية والنباتية، مع التطبيق على مناخ إفريقيا، ومناخ العالم العربي، دار المعرفة الجامعية، عام ٢٠٠٠م.
١٤. عبد العزيز طريح شرف، الجغرافيا المناخية والنباتية، دار المعرفة الجامعية الطبعة: الحادية عشرة، ٢٠٠٠م.

١٥. عزة على فرج، اقتصاديات بدائل توليد الطاقة الكهربائية من المصادر المتجددة بمصر، المجلة العلمية للاقتصاد والتجارة، العدد الرابع، المجلد ٥٢، ٢٠٢٢ م.
١٦. كامل كاظم بشير الكناني:" دراسات في نظرية الموقع الصناعي، دار صفاء للنشر والتوزيع، الأردن، عمان، ٢٠٠٨م.
١٧. كورنيليوس، ماتيس، وآخرين، تحديات وفرص إنتاج الهيدروجين الأخضر وتصديره من منطقة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا إلى أوروبا، تقرير موجه إلى مؤسسة فريدريش إيبرت، المملكة الأردنية الهاشمية، نوفمبر ٢٠٢٠م.
١٨. محمد السيد حافظ، الرياح وإنتاج الطاقة الكهربائية في صحراء مصر الشرقية محطة الزعفرانة نموذجًا، ندوة صحاري مصر أمل المستقبل، كلية الآداب، جامعة الإسكندرية، ٢٠٠٧م.
١٩. محمد صديق نفادي، الاقتصاد الأخضر كأحد آليات التنمية المستدامة لجذب الاستثمار الأجنبي (دراسة ميدانية بالتطبيق على البيئة المصرية)، المجلة العلمية لقطاع كليات التجارة، جامعة الأزهر، العدد السابع عشر، يناير ٢٠١٧م.
٢٠. محمد عبد القادر الفقي، الاقتصاد الأخضر"، المنظمة الإقليمية لحماية البيئة البحرية، إصدار خاص بمناسبة الاحتفال بيوم البيئة الإقليمي ٢٤ أبريل ٢٠١٤م.
٢١. محمد محمود إبراهيم الديب، جغرافية الطاقة، منظور معاصر، مكتبة الأنجلو المصرية، القاهرة، ٢٠٠٨.
٢٢. محمد معن ديوب، الاقتصاد الأخضر وامكانية تطبيقه في سورية والاستفادة منه في مرحلة إعادة الإعمار، مجلة جامعة تشرين لمبحوث والدراسات العلمية، سلسلة العلوم الاقتصادية والقانونية، المجلد،٤٠، العدد٣، ٢٠١٨م.

٢٣. المركز الإقليمي للطاقة المتجددة وكفاءة الطاقة، تقرير دراسة تقييم الأثر البيئي (ج) مشروع محطة أمونت لطاقة الرياح ٥٠٠ ميجاوات في خليج السويس، شركة أمونت لطاقة الرياح، مايو ٢٠٢١م.

٢٤. المركز الإقليمي للطاقة المتجددة، "دراسة تقييم الأثر البيئي، مشروع محطة أمونت لطاقة الرياح، مايو ٢٠٢١م.

٢٥. مركز الأهرام للدراسات السياسية والاستراتيجية:" التحول نحو الاقتصاد الأخضر في مصر، التحديات والأليات، دورية شهرية إليكترونية تصدر من مركز الأهرام للدراسات السياسية والاستراتيجية، العدد ٩٦، أغسطس ٢٠٢٢م.

٢٦. نهال محمد فتحي، أثر تفعيل دور الإدارة البيئية على تقليل المخاطر التي تتعرض لها الطيور المهاجرة بمنطقة جبل الزيت بمصر، المجلة العلمية للدراسات التجارية والبيئية، جامعة قناة السويس، كلية التجارة، مجلد ١٢، عدد ٣، ٢٠٢١م.

٢٧. ـــــــــــ وآخرين، استراتيجية مقترحة لإدارة المخاطر البيئية لمشروعات طاقة الرياح في منطقة جبل الزيت، المجلة العربية للإدارة، ، عدد ٢، يونيو ٢٠٢٢م.

٢٨. نيفين كمال: " إطار لرؤية مستقبلية لاستخدام مصادر الطاقة الجديدة والمتجددة "، معهد التخطيط القومي، سلسلة قضايا التخطيط والتنمية رقم (٢٦١)، القاهرة.

٢٩. هاجر سعد عكاشة، إنتاج الكهرباء من الرياح في الزعفرانة دراسة في الجغرافيا الاقتصادية، مجلة البحوث الجغرافية والكارتوجرافية، كلية الآداب، جامعة المنوفية، ٢٠١٩م.

٣٠. هبة الله فتحي محمد، المردود البيئي لاستخدامات الطاقة الشمسية في مصر – دراسة باستخدام تقنيات نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد، مجلة العلوم البيئية، المجلد الثاني والاربعون، معهد البحوث والدراسات البيئية، جامعة عين شمس، الجزء الأول، يونيو ٢٠١٨م.

٣١. الوكالة الدولية للطاقة المتجددة، أبو ظبي، تقرير "آيرينا" ٢٠٢٢، "تكاليف توليد الطاقة المتجددة لعام ٢٠٢١ "، ملخص تنفيذي، ٢٠٢٢م.

٣٢. ياسر محمد عبد الموجود، تقييم إنتاج الطاقة الكهربائية من محطات الرياح في محافظة البحر الأحمر، دراسة في جغرافية الطاقة باستخدام نظم المعلومات الجغرافية، المجلة الجغرافية العربية، الجمعية الجغرافية المصرية، العدد ٧٤، ٢٠١٩م.

٣٣. ياسمين محمد عادل: " الطاقة المتجددة في مصر – دراسة في الجغرافيا الاقتصادية باستخدام نظم المعلومات الجغرافية "، رسالة دكتوراة – كلية الآداب – جامعة الزقازيق، ٢٠١٣ م.

ثالثًا – المراجع الأجنبية

1) Abdel Khalik, A.M, 1990: interpretation of Geophysical Anomalies in west baker area. GWF OF Suez, Egypt, M.sc Geology Zagazig Univ.
2) David M. Olson, Others 2001: "Terrestrial Ecoregions of the World: A New Map of Life on Earth, Bioscience, Volume 51.
3) EL Nakkady, S.E., 1958: the stratigraphy and petroleum, geology of Egypt. Univ. of Assiut.
4) EL-khadragy, A.A. ,1987, p. 33: geology and structure of the Gulf of Suez in between Ras Gharib and Hurghada. PhD geology zagazig Univ.
5) Gabr, A.H,1997 "Geophysical Studies on the western side of the Gulf of Suez, M.sc Geology"
6) IED, I.M., 2000: Biostratigraphy of the cretaceous Rocks in the Gulf of Suez area, M.sc., Department of geology, zagazig Univ.
7) Said, R., 1990: Geology of Egypt cretaceous paleogeographic maps, part 2, Nether land, USA.

8) Sean Dessureault, 2006: Rock Excavation, University of Arizona Mining and Geological Engineering.
9) Sherif, M., Bahaa El din, Important Bird Areas in Africa and associated islands – Egypt
10) Tuller, 2007: Techniques of Climatology, San Francisco, USA.
11) Young, A., (1972): Slopes, Oliver & Boyd, Edinburgh

رابعًا: مواقع على شبكة المعلومات الدولية (الإنترنت)

- www. nrea.gov.eg
- www.eeaa.gov.eg
- www.capmas.gov.eg
- www.sis.gov.eg
- earthexplorer.usgs.gov
- www.un.org

Green Electricity Production at Gebel Al-Zeit Wind Farm, West of the Suez Gulf A Study in Economic Geography

(Using Geographic Information Systems and Remote Sensing)

Talaat Abd El Hameed Ahmed Abd El atty
Assistant professor at Geography and Geographic information systems department, Faculty of Education, Ain Shams University

Kamel Mostafa Kamel Sayed
Assistant professor at Geography and Geographic information systems department, Faculty of Education, Ain Shams University

Ayman Atia Abd-Alhakeem Baiomy
Lecturer at Geography and Geographic information systems department, Faculty of Education, Ain Shams University

Abstract

The research is about the green electricity production at Jabal Al-Zeit wind farm, west of the Gulf of Suez. It started with an introduction that highlighted the importance of energy production in Egypt, defining the study area and its importance as a source of electricity production using wind energy. It also reviewed several previous geographical and non-geographical studies, as well as the methods and techniques used in the research. The research is divided into four axes.

The first axis dealt with the natural and human location suitability of the study area, where it clarified the role of the site, geological structure, surface features, climatic conditions, and bird migration paths in choosing the location of the Jabal Al-Zeit wind farm, west of the Gulf of Suez. In addition to the role of the

population, the use of land, the archaeological environment and others in the human suitability of the study area, and its impact on the economic cost of the project.

The second axis discussed the development of production at the Jabal Al-Zeit wind farm, where it reviewed the development of electricity production at the annual and monthly levels. The third axis clarified the economics of electricity production at the farm by studying the volume of invested capital, the amount of electricity produced, and the conditions of employment.

As for the fourth axis, it referred to the future of green wind energy production in the study area, and it is represented in reducing the cost of producing electricity generated using wind energy to the maximum extent possible, in addition to using wind energy in the production of green hydrogen, with directing towards interest in international cooperation in the field of energy production. The research concluded with several results and recommendations, foremost of which came the emphasis on the importance of using renewable energy sources, strengthening international cooperation in this field, and considering green hydrogen energy as the future of energy in Egypt.

Keywords: green electricity, renewable energy, wind energy, wind farm.