

تقييم الأثر البيئي لمشروعات الطاقة المتجددة في ليبيا ودورها في تحقيق أهداف التنمية المستدامة ٢٠٣٠ د. تهاني محمد بن شتوان

مديرة مكتب المشروعات الدولية بمكتب التعاون الدولي جامعة طبرق

المخلص:

يهدف هذا البحث إلى دراسة واقع قطاع الطاقة في ليبيا، مع التركيز على
الإمكانات الواعدة لمصادر الطاقة المتجددة وخاصة الطاقة الشمسية، طاقة الرياح،
وطاقة الكتلة الحيوية، باعتبارها بدائل استراتيجية للحد من الاعتماد على الوقود
الأحفوري. فقد أوضحت الدراسة أن ليبيا تتمتع بمعدل إشعاع شمسي من الأعلى
عالمياً (يزيد عن ٣٠٠٠ ساعة سطوع سنوياً)، إضافة إلى مواقع ساحلية وجبلية
ملائمة لطاقة الرياح، فضلاً عن وفرة المخلفات الزراعية والحيوانية التي يمكن
استغلالها لإنتاج الطاقة الحيوية. كما بينت النتائج أن الاعتماد شبه الكلي على النفط
والغاز يعرض الاقتصاد الوطني لمخاطر بيئية ومالية، ويزيد من هشاشته أمام تقلبات
الأسواق العالمية. ومن ثم خلص البحث إلى أن دمج الطاقة المتجددة في مزيج
الطاقة الوطني يمثل ركيزة أساسية لتحقيق التنمية المستدامة ٢٠٣٠، سواء من خلال
ضمان أمن الطاقة، أو تنويع مصادر الدخل، أو الحد من الانبعاثات الكربونية
والتلوث البيئي.

الكلمات المفتاحية: الطاقة المتجددة، الطاقة الشمسية، الإشعاع الشمسي، طاقة

الرياح، الكتلة الحيوية

Abstract:

This study investigates the status of the energy sector in Libya and explores the country's potential for renewable energy resources, particularly solar, wind, and biomass. The findings reveal that Libya possesses one of the world's highest levels of solar radiation (over 3,000 sunshine hours annually), in addition to favorable coastal and mountainous sites for wind energy, as

well as abundant agricultural and animal waste suitable for biomass utilization. The research highlights that the heavy reliance on oil and gas exposes the national economy to environmental and financial risks, while increasing its vulnerability to global energy market fluctuations. Therefore, integrating renewable energy into Libya's national energy mix is a strategic necessity for achieving the Sustainable Development Goals 2030. This integration would ensure energy security, diversify income sources, and reduce carbon emissions and environmental pollution.

المقدمة:

ان الطلب العالمي على النفط يؤدي الي زيادة استهلاك الطاقة التي تحتاج الى ما يقارب من ٢٢% من النفط المنتج لعملية الإنتاج والنقل والتكرير، حيث تمثل كلفة انتاج برميل واحد من النفط الثقيل ربع برميل، ففي صناعة النفط والغاز يتم استخدام تكنولوجيا الطاقة المتجددة لحل مشاكل توفير الكهرباء حيث تستخدم الطاقة المتجددة لغرض تزويد بعض المعدات في الحقول النفطية بالكهرباء والتقليل من الانبعاث الكربوني الملوث للبيئة^(١). وتُعدّ قضايا الطاقة والبيئة من أبرز التحديات العالمية في القرن الحادي والعشرين، حيث يسعى المجتمع الدولي إلى إيجاد حلول بديلة لمصادر الطاقة التقليدية التي ارتبط استخدامها بتفاقم الانبعاثات الكربونية والتدهور البيئي. وفي هذا السياق، أصبحت مشروعات الطاقة المتجددة خيارًا استراتيجيًا ينسجم مع أهداف التنمية المستدامة، خصوصًا في الدول الغنية بالموارد الطبيعية مثل ليبيا^(٢). تتميز ليبيا بموقع جغرافي استثنائي يجعلها من أكثر الدول العربية امتلاكًا لموارد الطاقة المتجددة، حيث تحظى بإشعاع شمسي عالٍ يزيد عن ٢,٠٠٠ كيلوواط/ ساعة

^(١) مركز البحث والتطوير النفطي، الجدوى الاقتصادية من استخدام الطاقة المتجددة في الحقول النفطية العراقية، ١٩٩٢.

^(٢) Owusu, P. A., & Asumadu-Sarkodie, S. (2016). A review of renewable energy sources, sustainability issues and climate change mitigation. Cogent Engineering, 3(1), 1167990.

للمتر المربع سنوياً، إضافة إلى امتداد صحراوي واسع يوفر فرصاً ضخمة لإقامة محطات شمسية، فضلاً عن إمكانات معتبرة للطاقة الريحية في المناطق الساحلية والجبليّة، وإمكانات للطاقة الحيوية في استغلال المخلفات الزراعية والحيوانية^(٣)، إن هذه الخصائص تجعل من ليبيا بيئة واعدة للاستثمار في الطاقة النظيفة، شريطة تقييم آثارها البيئية بدقة لضمان توافقها مع الاعتبارات البيئية والاجتماعية.

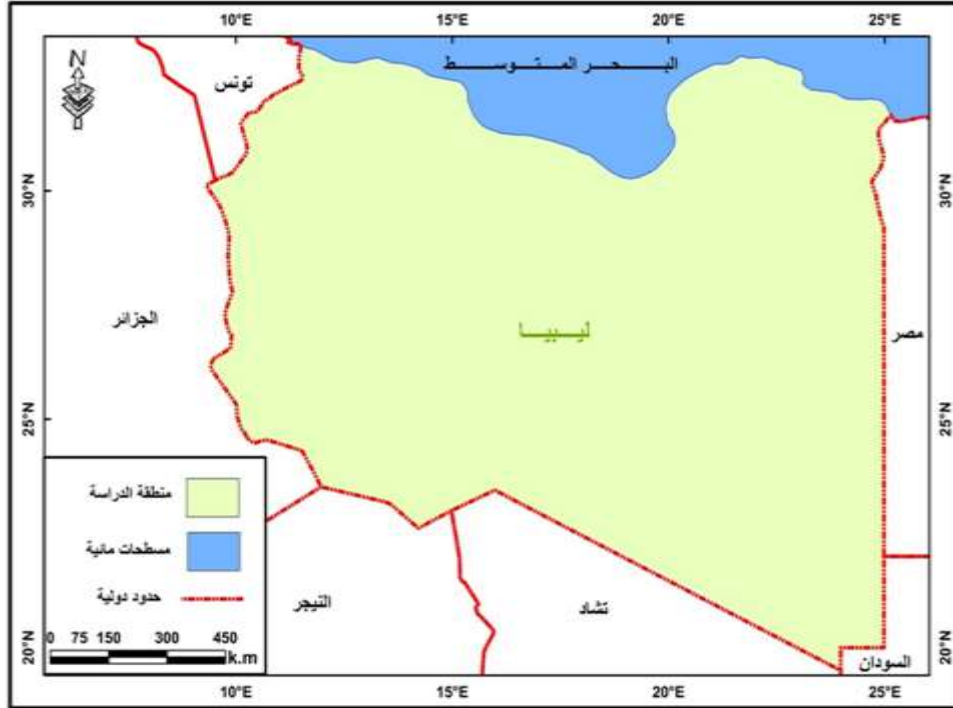
وعليه، يهدف البحث إلى دراسة الوضع الحالي لقطاع الطاقة في ليبيا، وتحليل إمكانات الطاقة الشمسية والرياح والطاقة الحيوية، مع تسليط الضوء على الدور المحوري الذي يمكن أن تلعبه الطاقة المتجددة في تعزيز مسار التنمية المستدامة. وسيتم ذلك من خلال تقييم بيئي متكامل يأخذ بعين الاعتبار الخصوصيات الاقتصادية والاجتماعية والبيئية للسياق الليبي.

موقع منطقة الدراسة:

تمثل جمهورية ليبيا الإطار المكاني لموضوع الدراسة، حيث تقع في النصف الشمالي الشرقي من الكرة الأرضية، تقع ليبيا على البحر المتوسط، وتمتد رقعتها الشاسعة حتى مرتفعات شمال وسط القارة الأفريقية، يحدها من الشرق جمهورية مصر العربية، ومن الجنوب السودان وتشاد والنيجر، ومن الغرب الجزائر وتونس، وتمتد فلكياً بين دائرتي عرض ١٨° شمالاً إلى ٣٣° شمالاً تقريباً، وبين خطي طول ٩° شرقاً إلى ٢٥° شرقاً تقريباً شكل (١).

تقع ليبيا ضمن المناطق المدارية وشبه المدارية، ما يفسر ارتفاع درجات الحرارة والسطوع الشمسي العالي، خاصة في المناطق الجنوبية، كما يؤثر هذا الموقع أيضاً في نمط المناخ الصحراوي السائد، وتوزيع الموارد المائية، والغطاء النباتي، مما يجعلها من الدول المؤهلة للاستفادة من الطاقة الشمسية على مدار العام، بفضل طول مدة الإشعاع الشمسي اليومي والسنوي.

(3) Ben-Mansour, R., et al. (2018). Potential of solar and wind energy in Libya. Renewable Energy, 118, 169–178.



المصدر : إعداد الطالبة باستخدام برنامج Arc gis 10.8

شكل (١) الموقع الجغرافي لليبيا

مشكلة البحث:

تكمن مشكلة البحث في زيادة الطلب علي الطاقة داخل ليبيا ، نتيجة الاعتماد شبه الكامل على مصادر الطاقة التقليدية، الأمر الذي يمثل تحدياً كبيراً أمام تحقيق أهداف التنمية الاقتصادية، علي الرغم من أنها تزخر بموارد طبيعية هائلة وغير مستغلة من الطاقات المتجددة، ولا سيما الطاقة الشمسية وطاقة الرياح، نظراً لموقعها الجغرافي المميز، واتساع رقعتها الصحراوية؛ إلا أن الاستفادة الفعلية منها لا تزال محدودة، سواء على مستوى السياسات الوطنية، أو البنية التحتية، أو الوعي المجتمعي، ما يشير تساؤلات حول مدى القدرة على توظيف هذه الموارد في تحقيق التنمية المستدامة، والحد من الاعتماد الأحادي على الطاقة التقليدية.

أهمية البحث وأسباب اختياره:

يتطرق البحث إلى موضوع على قدر كبير من الأهمية، ألا وهي مصادر الطاقة المتجددة، حيث تعد كمصدر آمن ومتوافر، وذلك في ظل محدودية مصادر الطاقة التقليدية من جهة، ومشكلات استيرادها وارتفاع سعرها من جهة أخرى، بالإضافة إلى التغيرات المناخية لا سيما ظاهرة الاحتباس الحراري، وما ينجم عن ذلك من استخدام مصادر الطاقة المتجددة كبديل لا غني عنه للوقود الأحفوري، فضلاً عن دعم الرؤية الاستراتيجية للطاقة بحلول عام ٢٠٣٠، بحيث يصبح قطاع الطاقة قادراً على تلبية كافة متطلبات التنمية المستدامة من موارد الطاقة وتعظيم الاستفادة من مصادرها المتنوعة.

دراسات سابقة:

- دراسة (أحمد وآخرون ٢٠١٦)، ركزت على الخيارات المستقبلية لقطاع الطاقة في ليبيا بهدف رفع مساهمة الطاقات المتجددة إلى ٣٠% بحلول ٢٠٣٠ عبر الرياح، والطاقة الشمسية، وتسخين المياه المنزلي. اعتمد الباحثون على مراجعة الدراسات السابقة، والزيارات الميدانية، ومقابلات مع خبراء ومؤسسات مختصة. وأبرزت النتائج أن التعاون الإقليمي مع دول الجوار يعد شرطاً أساسياً للنهوض بالقطاع وتعزيز دوره في خفض التلوث وتحقيق التنمية المستدامة.
- دراسة نوري أحمد الكشيرو وحמיד حميدة الشروالي (٢٠١٧)، بعنوان: دراسة فنية اقتصادية لمشروع توليد الكهرباء بطاقة الرياح بسعة ٢٦ ميغاوات بمسلاتة، تناولت جدوى مشروع توليد الكهرباء بطاقة الرياح بسعة ٢٦ ميغاوات في مدينة مسلاتة. اعتمد الباحثان على تحليل بيانات الرياح لمدة عام كامل باستخدام برنامج SAM لاحتساب مؤشرات مثل متوسط السرعة، الاتجاه، وكثافة الطاقة. وتوصلت النتائج إلى أن أقصى إنتاجية للمزرعة بلغت حوالي ٧٤ جيجاوات ساعة سنوياً بنسبة استخدام ٣٢.١%، مع اختلاف لا يتجاوز ١% بين النماذج المحسوبة، مما يؤكد الجدوى الفنية والاقتصادية للمشروع.
- دراسة هبة الشريف وآخرون (٢٠١٩)، بعنوان: تقييم مصدر الرياح في الجنوب الليبي، دراسة حالة مدينة هون، تناولت الدراسة تقييم مصدر الرياح في

مدينة هون، وتم تحليل معلومات الرياح باستخدام نماذج إحصائية حيث تم حساب كثافة القدرة والطاقة المتوقعة في موقع منطقة الدراسة، كما تم حساب الطاقة المتوقع انتاجها في من توربينات الرياح بأحجام مختلفة وفقاً لخصائص ومواصفات هذه التوربينات، بالإضافة إلى استخدام برنامج الإكسيل والنماذج الرياضية؛ بهدف الحصول على تحاليل تفصيلية لمعلومات الرياح للموقع المقترح خلال العام (٢٠١١-٢٠١٢)، وأظهرت النتائج بأن المتوسط السنوي لسرعة الرياح في الموقع قد بلغت ٥.٦٩ م/ث وأن كثافة القدرة في الموقع بلغت ١٩٠ وات/م^٢، وذلك علي ارتفاع ٦١ متراً فوق سطح الأرض.

- **دراسة فاطمة وآخرون (٢٠٢٢م)** في دراسة عن الكفرة، حيث توصلت إلى أن الإقليم يمتلك مقومات ممتازة؛ حيث يتراوح عدد ساعات سطوع الشمس من ١٢ إلى ١٤ ساعة يومياً، ومتوسط سرعة الرياح ٩.٢ عقدة، ورغم ما تمتلكه من ثروات عظيمة من المصادر المتجددة، فإنه لم يتم استغلالها إلى الآن.

مناهج وأساليب الدراسة:

اعتمدت الطالبة في دراسة الموضوع على **المنهج الإقليمي**، حيث اتبع في تحديد منطقة الدراسة (ليبيا)، واتخاذها كإطار عام للدراسة، كما استخدمت الطالبة **المنهج الموضوعي** الذي استعرض من خلاله منهج من مناهج الجغرافيا الاقتصادية وهي جغرافية الطاقة المتجددة، والتي تمثل أحد معايير التنمية، كما استعانت بعدة مداخل منها **مدخل نظم الطاقة**، والذي يعالج أي مصدر من مصادر الطاقة على أنه نظام متكامل؛ أي أنه لا يمكن فهم أي عنصر بمعزل عن باقي العناصر الأخرى^(٤)، ووظف في دراسة منظومة الطاقة الشمسية وطاقة الرياح، بالإضافة إلى أنه تم استخدام **الأسلوب الكمي الإحصائي والأسلوب الكارتوجرافي**، والذي استخدم علي نمطين: الأشكال البيانية والخرائط والاعتماد علي تقنية نظم المعلومات الجغرافية للربط بين البيانات الوصفية وعلاقتها بالمكان.

(٤) سعيد عبده، جغرافية الطاقة: مفهوماها، ومجالها، ومناهجها، المجلة الجغرافية العربية، الجزء الثاني، العدد الرابع والثلاثون، القاهرة، ١٩٩٩، ص ٢١.

أولاً: وضع الطاقة الحالي في ليبيا

تعد ليبيا واحدة من الدول الغنية بالموارد النفطية في العالم، حيث تعتمد بشكل كبير على صناعة النفط والغاز كمصدر رئيسي للدخل الوطني. ومع ذلك، فإن الاعتماد المستمر على الوقود الأحفوري يشكل تحديات بيئية واقتصادية واجتماعية. يتطلب تحقيق الاستدامة البيئية والتنويع الاقتصادي البحث عن بديل مستدام للوقود الأحفوري في ليبيا.

كما تواجه ليبيا أزمة حادة في قطاع الكهرباء نتيجة مجموعة من العوامل؛ إذ تعرّض تنفيذ العديد من المشروعات، لا سيما تلك المتعلقة بمضاعفة القدرة الإنتاجية، كما أن التغيرات السياسية والأمنية التي شهدتها البلاد منذ عام ٢٠١١ انعكست سلباً على قدرة الشركة العامة للكهرباء على تلبية الطلب المتزايد، خصوصاً في فصل الصيف الذي يرتفع فيه الاستهلاك بشكل ملحوظ. ويضاف إلى ذلك مشكلات إدارية وهيكلية مثل الاعتماد شبه الكامل على القطاع العام في إنتاج ونقل الكهرباء، وضعف مشاركة القطاع الخاص في دعم مشروعات التوليد، إلى جانب غياب الشركات المتخصصة في أعمال الصيانة، وتعرّض الشبكات وأبراج التوزيع لعمليات التخريب والسرقة بعد عام ٢٠١١.

وفي ظل هذا الوضع، اضطرت الشركة العامة للكهرباء إلى تبني سياسة **طرح الأحمال (Load Shedding)** للحيلولة دون انهيار الشبكة الكهربائية نتيجة العجز المستمر بين الإنتاج والطلب، وتعتمد ليبيا في مزيجها الطاقوي على محطات الدورة المركبة بنسبة تقارب (٤٩%)، ومحطات الغاز بنسبة (٤٠%)، فيما تشكّل المحطات البخارية العاملة بالوقود نحو (١١%) من إجمالي التوليد، وقد بلغ الطلب على الكهرباء عام ٢٠٢١ نحو ٨١٠٠ ميجاوات وهو الأعلى في تاريخ البلاد، في حين لم يتجاوز الإنتاج المتاح ٥٢٠٠ ميجاوات، مما أدى إلى استمرار الأزمة حتى عام ٢٠٢٢. وضمن محاولات المعالجة، لجأت الدولة إلى استيراد الكهرباء من دول الجوار مثل الجزائر ومصر لتغطية جانب من العجز القائم (World Bank, 2022; IEA, 2022).

لذا أسس الجهاز التنفيذي للطاقات المتجددة القرار رقم (٤٢٦) لعام ٢٠٠٧ الصادر عن اللجنة الشعبية سابقاً، القيام بعدد من المهام الهامة أبرزها إجراء حصر شامل لمصادر الطاقة المتجددة، واعداد دراسات للسوق الحالية والمستقبلية، والعمل على التوسع في انشاء مشاريع الطاقة المتجددة، حيث تبرز الحاجة الملحة إلى إعادة النظر في الاستراتيجية الوطنية للطاقة، من خلال تطوير سياسات تنموية شاملة، تعزز من كفاءة استغلال الموارد الأحفورية، وتدعم التوجه نحو الطاقات المتجددة، بما يضمن تحقيق الأمن الطاقوي والاستدامة البيئية والعدالة الاقتصادية للأجيال القادمة في ليبيا.

ثانياً: الطاقات المتجددة في ليبيا

تتميز ليبيا بموقعها الجغرافي بين دول أفريقيا وجنوب أوروبا، وبتنوع تضاريسها وأجوائها المدارية الصحراوية، ومساحتها الكبيرة والتي تبلغ نحو ١.٧ مليون كم^٢، ويمتد شريطها المناسب لإقامة مشاريع الطاقة المتجددة المناسبة الحالية والمستقبلية، وقد بلغ إجمالي الطاقة الكهربائية المنتجة من الطاقة المتجددة (الطاقة الشمسية، وطاقة الرياح، وطاقة الكتلة الحيوية) في ليبيا نحو ٣ ميجا وات في عام ٢٠٢١، وارتفعت إلى ٤ ميجا وات في عام ٢٠٢٣، ثم إلى نحو ٥ ميجا وات في نهاية عام ٢٠٢٤^(٥).

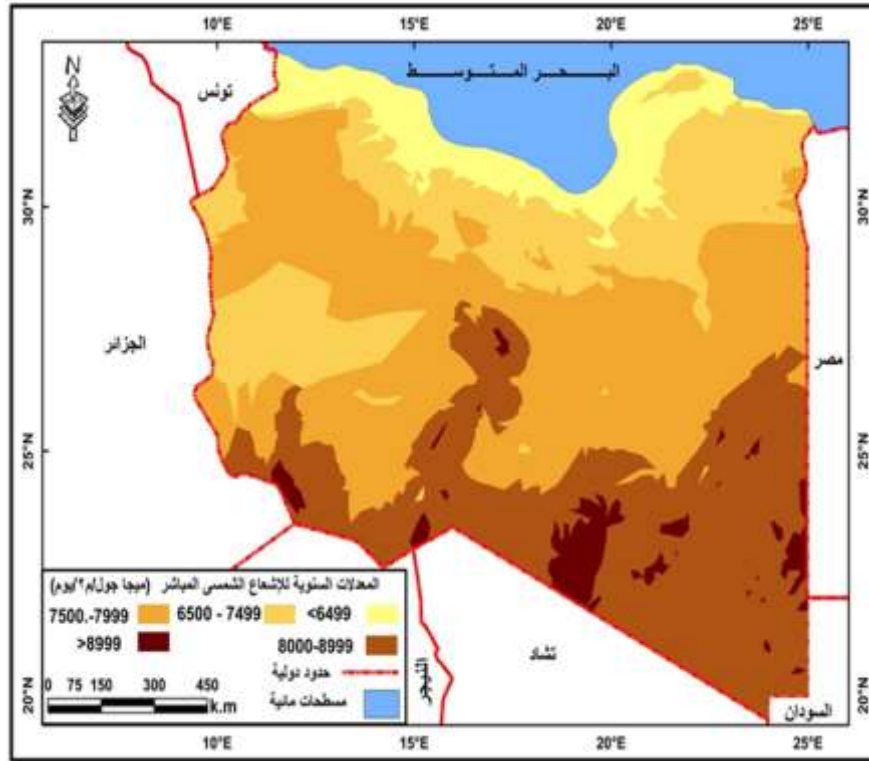
١- الطاقة الشمسية:

تعد الطاقة الشمسية من المصادر المتجددة التي لا تنفذ إلا بانتهاء المجموعة الشمسية، وهي أصل معظم مصادر الطاقة الأخرى على سطح الأرض، وتتميز ليبيا بثراء كبير في هذا المورد، إذ تقع جغرافياً بين دائرتي عرض (١٨°-٣٣° شمالاً) في قلب الحزام الشمسي العالمي، مما يجعلها من أغنى دول العالم بالإشعاع الشمسي. ويبلغ متوسط ساعات السطوع السنوي ما بين (٣٠٠٠ - ٣٥٠٠ ساعة/سنة)، مع

^(٥) عمر علي إبراهيم الصيد، دراسة وتقييم وضع الطاقات المتجددة في البلاد العربية، ليبيا حالة للدراسة، (دراسة قياسية، ماجستير اقتصاد، معهد البحوث والدراسات العربية، ص ١٠.

مستويات مرتفعة من شدة الإشعاع تصل في بعض المناطق إلى نحو (٦ ك.و/م² يوميا).

تشير البيانات المناخية إلى أن الإشعاع الشمسي يتدرج من نحو (١٨٠٠ ك.و.س/م² سنوياً) على الساحل الشمالي المطل على البحر المتوسط، ليرتفع إلى أكثر من (٢٤٠٠ ك.و.س/م² سنوياً) في عمق الصحراء الليبية. وهذا يعني أن تكلفة إنتاج الطاقة الكهربائية تقل مع ازدياد شدة الإشعاع، مما يجعل الاستثمار في الطاقة الشمسية خياراً استراتيجياً للبيبا، ويوضح شكل (٢) المعدل السنوي للإشعاع الشمسي المباشر في ليبيا حتى عام ٢٠٢٢.



المصدر: إعداد الطالبة باستخدام أداة Reclassify ببرنامج Arc gis بالاعتماد على <http://globalsolaratlas.info>.

شكل (٢) المعدل السنوي للإشعاع الشمسي المباشر في ليبيا.

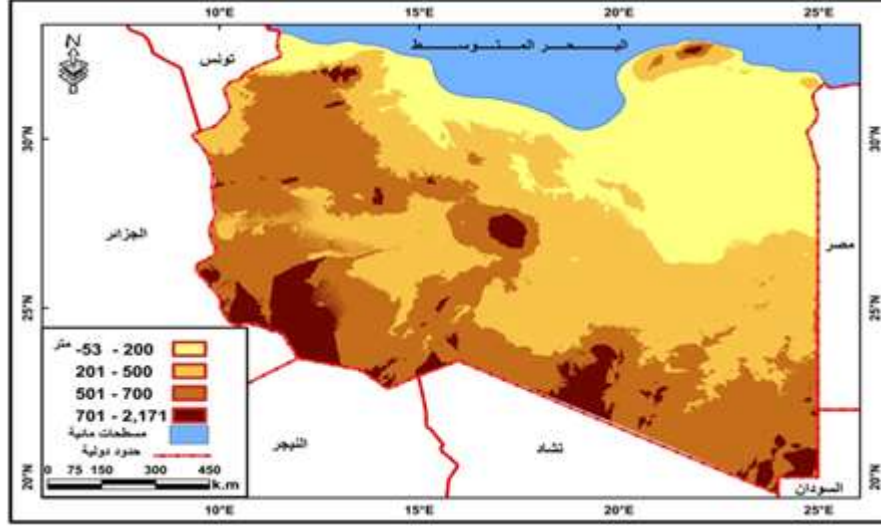
كما توضح البيانات المتاحة من مركز بحوث ودراسات الطاقة الشمسية (تاجوراء - طرابلس) فروقًا مكانية بين المدن الليبية، حيث سجلت مدينة الكفرة أعلى معدل يومي للإشعاع (6.05 ك.و.م²)، بينما جاءت مدينة شحات في أدنى مستوى (4.41 ك.و.م²) بسبب موقعها الساحلي وكثرة السحب. بوجه عام، فإن المناطق الداخلية والجنوبية مثل سبها وجالو وغات تُعد الأكثر ملائمة لإقامة مشاريع الطاقة الشمسية، وهو ما يعزز تنافسية ليبيا عالميًا، حيث تشير التقديرات إلى أن متوسط الإشعاع فيها يفوق نظيره في دول أوروبية عديدة مثل بريطانيا التي لا يتجاوز فيها 2500 ك.و.س/م² سنويًا.

وتُظهر القياسات الشهرية للإشعاع الشمسي أن ذروة القيم تُسجل خلال شهور الصيف (يونيو - أغسطس) نتيجة صفاء الجو وانخفاض معدلات الغيوم، حيث تصل إلى أكثر من (7 ك.و.س/م² يوميًا) في بعض المناطق مثل سبها والكفرة. أما القيم الدنيا فتُسجل في ديسمبر ويناير خاصة في الشمال، إذ تنخفض إلى نحو (2 - 3 ك.و.س/م² يوميًا). وبذلك تتمتع ليبيا بتوزيع موسمي متوازن نسبيًا يتيح الاستفادة من الطاقة الشمسية طوال العام، وإن كان بمستويات متفاوتة.

من حيث التوزيع الجغرافي، يتضح أن التضاريس لا تُشكّل عائقًا كبيرًا أمام الاستفادة ليبيا من الإشعاع الشمسي، نظرًا لأن أغلب أراضيها تقع على ارتفاعات معتدلة لا تتجاوز 400 متر، باستثناء الجبل الأخضر في الشمال الشرقي وجبال تبستي في الجنوب. وعليه، فإن تأثير التضاريس يظل محدودًا مقارنةً بآثار الموقع الجغرافي والمناخ الصحراوي السائد الذي يمنح ليبيا سماءً صافية معظم العام، كما يوضحه شكل (٣).

تقييم الأثر البيئي لمشروعات الطاقة المتجددة في ليبيا ودورها في تحقيق أهداف التنمية المستدامة ٢٠٣٠
د. تهاني محمد بن شتوان

مجلة وادى النيل للدراسات والبحوث الإنسانية والاجتماعية وال تربوية



المصدر: إعداد الطالبة باستخدام أداة Reclassify لطبقة DEM ببرنامج Arc gis بالاعتماد على Aster G Dem

شكل (٣) معلات الارتفاع فى ليبيا

وعند تقسيم ليبيا إلى خمس نطاقات جغرافية تبعاً لدوائر العرض، يظهر أن شدة الإشعاع تتراوح بين (٤.٢٩ ك.و.س/م²) في ديسمبر و(٨.٨٣ ك.و.س/م²) في أغسطس، مما يؤكد ثبات نسبي في المعدلات المرتفعة مقارنة بمناطق أخرى في العالم. وقد سجلت مدينة الكفرة معدلات من بين الأعلى عالمياً، إذ تجاوزت ٢٤٠٠ ك.و.س/م² سنوياً، وهو ما جعلها محوراً مقترحاً لمشاريع أوروبية لنقل الكهرباء المتولدة من الطاقة الشمسية إلى القارة الأوروبية.

بناءً على ما سبق، يمكن القول إن ليبيا تُعد من أكثر دول العالم تميزاً في إمكانات استغلال الطاقة الشمسية. فهي تجمع بين الموقع الجغرافي المثالي في قلب الحزام الشمسي، والظروف المناخية الصحراوية ذات السماء الصافية معظم أيام السنة، والتضاريس الملائمة، إضافة إلى اتساع رقعة أراضيها غير المستغلة. كل ذلك يجعلها مؤهلة لأن تكون مركزاً إقليمياً ودولياً لإنتاج الطاقة الشمسية وتصديرها، مما يسهم في تنويع مصادر الطاقة لديها، وتقليل الاعتماد على النفط والغاز، ودعم مسار التنمية المستدامة محلياً وإقليمياً.

٢- طاقة الرياح:

تُعد طاقة الرياح مصدرًا متجددًا ونظيفًا يساهم في تقليل الاعتماد على الوقود الأحفوري ودعم التنمية المستدامة. تمتلك ليبيا مقومات طبيعية مميزة، إذ يمتد ساحلها على البحر المتوسط لأكثر من ١٩٠٠ كم، إضافة إلى مناطق داخلية ملائمة مثل الجبل الغربي، سهول سرت، الخمس، ومزدة، حيث تتراوح سرعة الرياح بين ٥-٧ م/ث، وهي مناسبة لتشغيل التوربينات، ويوضح شكل (٤) سرعات الرياح على الساحل.

ورغم هذه الإمكانيات، ما زال استغلال طاقة الرياح محدودًا ويقتصر على مشاريع تجريبية مثل مزارع درنة والخمس، بسبب تحديات مؤسسية وتشريعية ومالية وضعف الرؤية الاستراتيجية. بالمجمل، تمثل طاقة الرياح فرصة استراتيجية لتعزيز الأمن الطاقى، تنويع مصادر الدخل، تقليل الأضرار البيئية، ودعم الاقتصاد الأخضر، ما يتطلب دمجها في إطار تنموي شامل يواكب أهداف الاستدامة.



المصدر:

Moria, H., & Elmnifi, M. (2020). Feasibility study into possibility potentials and challenges of renewable energy in Libya. International Journal of Advanced Science and Technology, 29(3), 12546–12560.

تقييم الأثر البيئي لمشروعات الطاقة المتجددة في ليبيا ودورها في تحقيق أهداف التنمية المستدامة ٢٠٣٠
د. تهاني محمد بن شتوان

مجلة وادى النيل للدراسات والبحوث الإنسانية والاجتماعية والتربوية

شكل (٤): سرعات الرياح على الساحل في ليبيا.

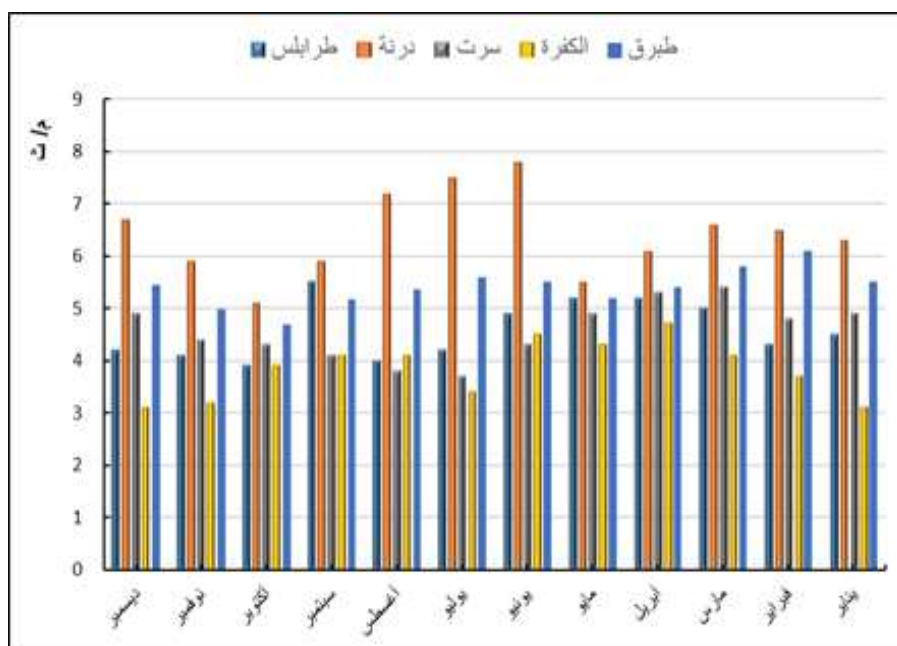
ويوضح جدول (١) وشكل (٥) سرعات الرياح في بعض محطات منطقة الدراسة.

جدول (١) سرعات الرياح في بعض محطات منطقة الدراسة حتى عام ٢٠٢٠.

اسم المحطة	يناير	فبراير	مارس	أبريل	مايو	يونيو	يوليو	أغسطس	سبتمبر	أكتوبر	نوفمبر	ديسمبر	متوسط
سرت	٤.٩	٤.٨	٥.٤	٥.٣	٤.٩	٤.٣	٣.٧	٣.٨	٤.١	٤.٣	٤.٤	٤.٩	٤.٥
طرابلس	٤.٥	٤.٣	٥	٥.٢	٥.٢	٤.٩	٤.٢	٤	٥.٥	٣.٩	٤.١	٤.٢	٤.٦
درنة	٦.٣	٦.٥	٦.٦	٦.١	٥.٥	٧.٨	٧.٥	٧.٢	٥.٩	٥.١	٥.٩	٦.٧	٦.٤
الكفرة	٣.١	٣.٧	٤.١	٤.٧	٤.٣	٤.٥	٣.٤	٤.١	٤.١	٣.٩	٣.٢	٣.١	٤
طبرق	٥.٥	٦.١	٥.٨	٥.٤	٥.٢	٥.٥	٥.٦	٥.٣٦	٥.١٧	٤.٦٩	٤.٩٨	٥.٤٤	٥.٣٨

المصدر: عمل الطالبة بالاعتماد على بيانات مركز بحوث ودراسات الطاقة

الشمسية تاجوراء (طرابلس).



شكل (٥) سرعات الرياح في بعض محطات منطقة الدراسة حتى عام ٢٠٢٠.

من خلال تحليل بيانات الجدول (١) والشكل (٥) يتضح ما يلي:

وجود تباين ملحوظ في سرعات الرياح على امتداد العام في محطات منطقة الدراسة، ففي فصل الشتاء (ديسمبر – يناير – فبراير) تسود سرعات متوسطة تتراوح غالباً بين (٣ – ٥ م/ث)، باستثناء درنة التي تظهر فيها معدلات مرتفعة نسبياً تصل إلى نحو (٦.٧ م/ث في ديسمبر)، أما فصل الربيع (مارس – أبريل – مايو)، فيتضح حدوث ارتفاع تدريجي في معدلات الرياح، لاسيما في درنة وطبرق، نتيجة تأثير المنطقة بالمنخفضات الجوية القادمة من البحر المتوسط، حيث تتجاوز القيم (٦ م/ث).

ويُعد فصل الصيف (يونيو – يوليو – أغسطس) ذروة نشاط الرياح، إذ تسجل درنة أعلى المعدلات السنوية (٧ – ٧.٨ م/ث في يونيو ويوليو)، بينما تبقى طرابلس وطبرق ضمن نطاق (٥ – ٦ م/ث)، وتنخفض المعدلات في سرت والكفرة إلى حدود (٣ – ٤.٥ م/ث). وفي فصل الخريف (سبتمبر – أكتوبر – نوفمبر) تتراجع القيم تدريجياً لتستقر في معظم المدن بين (٤ – ٦ م/ث)، مع بقاء درنة متميزة بالسرعة الأعلى مقارنة ببقية المواقع.

كما يتضح من المقارنة بين المدن أن درنة تمثل الموقع الأعلى من حيث معدلات الرياح على مدار السنة، وهو ما يعزى إلى طبيعتها التضاريسية المرتبطة بجبل الأخضر، حيث تعمل السفوح الشمالية على تعزيز سرعة الرياح عبر ظاهرة الانحدار الهوائي. أما طرابلس وطبرق، فتظهران سرعات متوسطة تتراوح بين (٥ – ٦ م/ث) تعكس تأثرهما بالخصائص الساحلية والبحرية للبحر المتوسط. في المقابل، تسجل سرت والكفرة أقل المعدلات (٣ – ٤.٥ م/ث)، ويرتبط ذلك بوقوعهما ضمن بيئة داخلية شبه صحراوية، محدودة التأثير بالأنظمة الجوية الفعالة، ويمكن تفسير هذا التباين في ضوء مجموعة من العوامل:

١. **التضاريس:** تمثل الجبال والسفوح في منطقة درنة عاملاً محفزاً لتسارع الرياح، بخلاف المواقع السهلية أو الداخلية.

٢. **التأثير الساحلي:** يسهم البحر المتوسط في تعزيز حركة الرياح عبر الفوارق الحرارية والضغطية اليومية والفصلية، وهو ما ينعكس بوضوح في طرابلس وطبرق.

٣. **الموقع الصحراوي:** انخفاض معدلات الرياح في الكفرة يرجع إلى بعدها عن المؤثرات البحرية وقلة التباينات الحرارية بين اليابس والجو المحيط.

٤. **النظم الجوية السائدة:** في الصيف، يؤدي تأثير المنخفض الهندي الموسمي إلى تدفق الرياح الشمالية الشرقية عبر شمال أفريقيا، وهو ما يفسر القيم العليا في درنة وطبرق تحديداً.

وخلص ما سبق

تمثل درنة، وبدرجة أقل طبرق، مواقع واعدة لإقامة مشاريع طاقة الرياح نظراً لارتفاع المعدلات واستمراريتها، كما تقتضي المدن الشرقية ذات الرياح القوية مراعاة معايير إنشائية خاصة لمقاومة آثار الرياح، على عكس الكفرة وسرت حيث التأثير محدودة، فضلاً عن أنه قد تسهم الرياح الصيفية القوية في تعرية التربة أو التأثير على المحاصيل الزراعية، مما يستدعي تطبيق وسائل حماية مثل مصدات الرياح.

٣- طاقة الكتلة الحيوية:

تُعد الكتلة الحيوية أحد المصادر المتجددة الواعدة لتوليد الطاقة، وهي تشمل المخلفات الزراعية والحيوانية والغذائية والنفايات العضوية، إضافة إلى النباتات والأشجار سريعة النمو. ورغم توافر هذه الموارد بكثرة في ليبيا، خصوصاً في مناطق الجبل الغربي وفزان والهلال الزراعي، فإن استغلالها ما يزال محدوداً للغاية.

تنتج ليبيا كميات كبيرة من المخلفات الزراعية مثل سيقان القمح والشعير، بقايا الزيتون والنخيل، فضلاً عن روث الحيوانات والمخلفات البلدية. هذه المواد يمكن تحويلها إلى طاقة عبر تقنيات متعددة مثل التحلل اللاهوائي لإنتاج الغاز الحيوي، الحرق المباشر لتوليد الكهرباء والحرارة، أو إنتاج الوقود الحيوي من الزيوت النباتية. هذه التطبيقات تتيح حلولاً عملية لإدارة النفايات، تخفيف التلوث، وتحقيق منافع اقتصادية واجتماعية، بما في ذلك خلق فرص عمل في المناطق الريفية وتعزيز الاستقلال الطاقى المحلي.

مع ذلك، يواجه هذا القطاع تحديات كبيرة، أبرزها غياب السياسات الداعمة، نقص البيانات والدراسات التطبيقية، ضعف البنية التحتية، وقلة الوعي المجتمعي بجدوى هذا المورد. لذلك فإن دمج طاقة الكتلة الحيوية في الاستراتيجية الوطنية للطاقة يتطلب إرادة سياسية، وتخطيطاً متكاملًا يربط بين قطاعات الزراعة والطاقة والبيئة، إضافة إلى شراكات فعالة بين القطاعين العام والخاص، وعليه، تمثل الكتلة الحيوية فرصة حقيقية لليبيا لتقليل الاعتماد على الوقود الأحفوري، وتحقيق إدارة متكاملة للنفايات، وتوفير طاقة نظيفة ومستدامة، مما يجعلها ركيزة أساسية لدعم التنمية المستدامة والاقتصاد الأخضر.

ثالثاً: دور الطاقة المتجددة في تحقيق أهداف التنمية المستدامة ٢٠٣٠ في ليبيا:

تُعدّ الطاقات المتجددة عنصراً حيوياً في تحقيق التنمية المستدامة، لما لها من قدرة على تلبية الطلب المتزايد على الطاقة دون الإضرار بالبيئة أو استنزاف الموارد الطبيعية، وتُساهم هذه المصادر لا سيما طاقتي الشمس والرياح في تخفيف الاعتماد على الوقود الأحفوري، مما يؤدي إلى تقليل الانبعاثات الغازية الضارة، وإطالة عمر الموارد غير المتجددة من خلال تقليل استهلاكها، بالإضافة إلى تعزيز الأمن البيئي والاقتصادي والاجتماعي^(٦).

ويتم ذلك وفقاً لعدة استراتيجيات أهمها **ضمان أمن الطاقة** واستدامتها حيث إن مصادر الطاقة تُعد ذات أهمية استراتيجية وضمانها يعد محور اهتمام السياسة العالمية ومثلث السيطرة على مصادر الطاقة أحد الأسباب الدافعة للحروب والصراعات، ومع زيادة الطلب على الطاقة التقليدية وخاصة البترول مع تركيز منابع الإنتاج في الشرق الأوسط والذي مملوء بالصراعات مما يهدد أمن الطاقة العالمي، وهذا ما أكدته الحرب الروسية الأوكرانية من تهديد أمن الطاقة؛ لذا فإن تحقق الاكتفاء الذاتي من مصادر الطاقة المتجددة سيحد من الصراعات المتعلقة بالطاقة بين الدول نظراً لكثرة انتشارها جغرافياً مقارنة بالمصادر التقليدية، بالإضافة إلى زيادة

⁽⁶⁾ Arnold, U. (2015). Economic risk analysis of decentralized renewable energy infrastructures: A Monte Carlo simulation approach. Renewable Energy, 77, 227–239.

مساهمة الطاقة المتجددة في الناتج المحلي، والحد من الأثر البيئي للانبعاثات؛ حيث تسهم في تأمين احتياجات الطاقة في ظل تغير المناخ.

١ - العلاقة بين الطاقات المتجددة والتنمية المستدامة.

تُعَدُّ الطاقة أحد أهم القطاعات الصناعية على مستوى العالم، إذ تسهم بما يقارب ٧٠% من إجمالي الناتج المحلي العالمي، وتمثل عاملاً مؤثراً في مختلف مجالات الإنتاج. ومن ثم ارتبط مفهوم التنمية المستدامة بمصطلح الوصول إلى طاقة متجددة ومستدامة، حيث لا يمكن تحقيق التنمية المستدامة دون توافر مصادر طاقة نظيفة ومتجددة. ويستدعي ذلك الإسراع في الاعتماد على هذه المصادر على نطاق واسع من أجل بلوغ أهداف التنمية المستدامة، وضمان انتقال طاقتي ينسجم مع الأهداف المناخية ويكفل وصولاً شاملاً إلى الكهرباء، مع مراعاة الاعتبارات البيئية وتعزيز أمن الطاقة. وفي هذا السياق، اعتمدت الجمعية العامة للأمم المتحدة عام ٢٠١٥ خطة التنمية المستدامة ٢٠٣٠، التي تضمنت سبعة عشر هدفاً عالمياً تشمل مكافحة الفقر، تحقيق الأمن الغذائي، الصحة، التعليم، المساواة، المياه، الطاقة، الاقتصاد، المناخ وغيرها.

وترتبط الطاقات المتجددة بأهداف مباشرة وغير مباشرة ضمن هذه الخطة؛ إذ يظهر الارتباط المباشر بوضوح من خلال الهدف السابع والهدف الثالث عشر، اللذين يركزان على ضمان حصول الجميع على طاقة نظيفة وبأسعار معقولة ومستدامة، وزيادة حصة الطاقة المتجددة في المزيج الطاقوي العالمي، إلى جانب اتخاذ إجراءات عاجلة لمواجهة تغير المناخ. ومن غير الممكن بلوغ هذين الهدفين دون الاعتماد على مصادر الطاقة المتجددة بشكل رئيسي.

أما الأهداف غير المباشرة، فتتجلى في الهدف الأول والثاني والثالث والخامس عشر. إذ يسهم التوسع في استخدام الطاقة المتجددة في تخفيف العبء عن الفئات الفقيرة التي تتحمل أعباء مالية مرتفعة للحصول على الطاقة نتيجة الاعتماد على الموارد الأحفورية مرتفعة التكلفة، الأمر الذي يحدّ من الدخول ويزيد معدلات الفقر، بينما تتيح الطاقات المتجددة بديلاً اقتصادياً متاحاً يُحسّن مستويات المعيشة ويخفض معدلات الفقر. كما يظهر الارتباط بالهدفين الثاني والثالث من خلال دورها في تعزيز الإنتاج الزراعي المستدام، والحفاظ على النظم البيئية، ودعم إنتاج الوقود الحيوي،

إضافة إلى كونها بديلاً نظيفاً للوقود الأحفوري يسهم في الحد من تلوث المياه والهواء والتربة، وبالتالي تقليص الوفيات المرتبطة بالتلوث، وهو ما ينسجم مع الهدف الثالث. وبذلك يتضح أن العلاقة بين الطاقات المتجددة والتنمية المستدامة تتداخل ضمن أبعادها الثلاثة: البيئي، الاقتصادي، والاجتماعي، مما يجعلها محورا أساسيا لتحقيق أجندة ٢٠٣٠.

٢- الأبعاد التنموية للطاقات المتجددة في ليبيا.

للتنمية المستدامة ثلاثة أبعاد رئيسية كما حددها مؤتمر القمة العالمية للتنمية المستدامة، وتتمثل في البعد الاقتصادي والبعد الاجتماعي والبعد البيئي. وهذه الأبعاد متكاملة ومتراصة فيما بينها ولها نفس القدر من الأهمية فلا يمكن إعطاء الأولوية لبعد على حساب بعد آخر.

أ- دور الطاقة المتجددة في تحقيق البعد الاقتصادي للتنمية المستدامة:

يمثل البعد الاقتصادي أحد الجوانب الأكثر عمقا لفهم التنمية المستدامة في ليبيا، حيث يعتمد النمو الاقتصادي بشكل كبير على الاستخدام الأمثل للموارد الطبيعية، وبخاصة النفط والغاز اللذين يشكلان أكثر من ٩٠% من عائدات الدولة وقرابة ٦٠% من الناتج المحلي الإجمالي (Elkatiri, 2020; IMF, 2022) هذا الاعتماد المفرط يجعل الاقتصاد الليبي هشاً أمام تقلبات أسعار الطاقة العالمية، كما يؤدي إلى اختلالات هيكلية تهدد الاستدامة الاقتصادية على المدى الطويل، ويتمثل دورها في الآتي:

تنويع الاقتصاد عبر الطاقات المتجددة:

تشير الدراسات الحديثة إلى أن ليبيا تمتلك واحداً من أعلى معدلات الإشعاع الشمسي عالمياً ٦-٧ ك.و.س/م^٢ يومياً وموارد رياح واعدة على طول الساحل الشمالي (Gheriani et al., 2021) لذا فإن استغلال هذه الموارد يمكن أن يقلل الاعتماد على النفط الخام في توليد الكهرباء، ويسهم في خلق قيمة مضافة للاقتصاد الوطني عبر الاستثمار في تقنيات الطاقة المتجددة.

خلق فرص عمل وتحسين مستوى المعيشة:

أحد التحديات الرئيسية في ليبيا يتمثل في البطالة المرتفعة، وخاصة بين الشباب، وتشير تقديرات الوكالة الدولية للطاقة المتجددة إلى أن مشاريع الطاقة المتجددة قادرة

على استحداث "وظائف خضراء" في مجالات التركيب والتشغيل والصيانة، ما يسهم في تخفيف الضغوط الاجتماعية والاقتصادية ويعزز من التنمية المحلية.

تخفيف الأعباء المالية وتقليص الديون:

تعتمد ليبيا على استيراد جزء من المشتقات النفطية بسبب تراجع القدرة التكريرية المحلية، وهو ما يتقل كاهل الموازنة العامة وميزان المدفوعات كما إن إدماج الطاقات المتجددة في مزيج الطاقة سيسهم في تقليل هذه الأعباء، ويوجه الموارد المالية نحو الاستثمار في البنية التحتية والتنمية بدلاً من الاعتماد على الاستيراد. كما يُنظر إلى الطاقة في ليبيا على أنها المشغل الأساسي للإنتاج والأنشطة الاقتصادية، سواء في الزراعة أو الصناعة أو النقل. من دون الوصول إلى خدمات طاقة حديثة ومستدامة، تظل عمليات التنمية محدودة، وتشير تقارير البنك الدولي (World Bank, 2021) إلى أن تحسين كفاءة الطاقة وإدخال مصادر متجددة في الشبكة سيساعد في زيادة الإنتاجية الزراعية والصناعية وتوفير فرص عمل خارج القطاع النفطي التقليدي.

دورها كبديل استراتيجي:

لا يقتصر دور الطاقات المتجددة على كونها بديلاً بيئياً، بل تمثل أيضاً خياراً استراتيجياً للتخفيف من مخاطر الاعتماد على النفط كمورد رئيسي، ولتحقيق توازن اقتصادي يراعي العدالة الاجتماعية والاستدامة البيئية على المدى البعيد.

ب- دور الطاقة المتجددة في تحقيق البعد الاجتماعي للتنمية المستدامة:

يركز هذا البعد على الإنسان وعلاقته بالبيئة والمجتمع، من خلال تحسين مستوى المعيشة، تخفيف حدة الفقر، وتوسيع فرص العمل بما يحقق العدالة الاجتماعية. ويُعد الوصول إلى خدمات الطاقة ركيزة أساسية في هذا الجانب، إذ ما تزال شريحة واسعة من سكان ليبيا، خصوصاً في المناطق النائية والجنوبية، تعاني من فقر الطاقة نتيجة البعد عن الشبكة العامة وانقطاعات الكهرباء المزمنة التي تجاوزت في بعض الفترات أكثر من ١٢ ساعة يومياً (World Bank, 2021) ويتمثل دورها في الآتي:

دورها كحل لفقر الطاقة:

يمكن أن تسهم تطبيقات الطاقة المتجددة مثل السخانات الشمسية، الخلايا الكهروضوئية، وتدوير المخلفات الزراعية لإنتاج الغاز الحيوي والسماد العضوي، في

تلبية احتياجات المجتمعات المحلية وتقليل اعتمادها على الوقود الأحفوري، وتشير الدراسات إلى أن الاعتماد على الطاقة الشمسية الحرارية في المناطق النائية الليبية يساعد على التدفئة، وتجفيف المحاصيل، وتوليد الكهرباء الصغيرة النطاق، مما يساهم في فك عزلة هذه المجتمعات وتعزيز التنمية المحلية.

تعزيز الخدمات الأساسية في المناطق النائية:

تحتاج عدة مرافق في الجنوب الليبي والصحراء الكبرى إلى بنية تحتية طاقوية موثوقة لذا فإن الاعتماد على أنظمة الطاقة المتجددة مثل محطات شمسية صغيرة أو توربينات رياح مجتمعية يقلل من تكاليف الربط بالشبكة الوطنية ويغني عن الاستثمارات الضخمة في محطات تقليدية، هذه النظم لا تحسن فقط من جودة الخدمات الصحية والتعليمية، بل تشجع أيضًا على استثمارات محلية وخارجية في قطاع الطاقة.

خلق فرص عمل وتحقيق العدالة الاجتماعية:

تتميز مشاريع الطاقة المتجددة بقدرتها على خلق وظائف جديدة في مجالات التركيب، التشغيل، والصيانة، وهي وظائف لامركزية مرتبطة غالبًا بالمجتمعات المحلية نفسها، مما يعزز من الملكية الجماعية ويقوي الترابط الاجتماعي. وفي ليبيا، التي تعاني من معدلات بطالة مرتفعة، توفر مشاريع الطاقات المتجددة فرصًا سريعة نسبيًا لإيجاد وظائف عالية الجودة مقارنة بقطاع الطاقة التقليدي كثيف رأس المال.

تقليل الفقر والهدر المالي:

يعد إدماج الطاقات المتجددة في حياة المجتمعات النائية يساهم في خفض تكاليف الطاقة على الأسر، وبالتالي يرفع مستوى المعيشة ويقلل من الفقر. كما يقلل من الهدر المالي الناتج عن الدعم الحكومي الكبير للمحروقات، إذ تشير بيانات صندوق النقد الدولي (IMF, 2022) إلى أن ليبيا تتفق مليارات الدولارات سنويًا على دعم الطاقة التقليدية، بينما يمكن توجيه هذه الموارد نحو استثمارات مستدامة في البنية التحتية.

ج- دور الطاقة المتجددة في تحقيق البعد البيئي للتنمية المستدامة:

تلعب الطاقة المتجددة دورًا محوريًا في تلبية الاحتياجات المحلية والخدمات الأساسية دون التسبب في انبعاثات ملوثة أو زيادة ظاهرة الاحتباس الحراري الناتجة عن تراكم غاز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي. إذ يُعد نظام الطاقة التقليدي

القائم على الوقود الأحفوري المصدر الرئيس للتغير المناخي، حيث يسهم قطاع الطاقة عالمياً في أكثر من ثلث انبعاثات غازات الدفيئة، وتشير التقديرات إلى أن تكلفة التكيف مع آثار تغير المناخ قد تتراوح بين ٥٠ و ١٧٠ مليار دولار سنوياً بحلول عام ٢٠٣٠، تتحمل الدول النامية النسبة الأكبر منها، ويتمثل دورها في الآتي:

حماية الغلاف الجوي من التلوث:

يتطلب تحقيق البعد البيئي للتنمية المستدامة العمل على الحد من التلوث الجوي الناجم عن استخدام الطاقة في القطاعات الاقتصادية المختلفة، خاصة الصناعة والنقل، عبر تطوير سياسات طاقة مستدامة تعتمد على مصادر نظيفة مثل الطاقة الشمسية، طاقة الرياح، والكتلة الحيوية، وتشمل هذه السياسات أيضاً تكامل قطاع الطاقة مع قطاعات النقل والصناعة، وتحفيز برامج البحوث لرفع كفاءة استخدام الطاقة وتطوير تقنيات أقل تلويثاً.

ليبيا وإمكاناتها البيئية:

من خلال التحليل الجغرافي والاقتصادي يتضح أن الطاقات المتجددة في ليبيا تمثل حجر الأساس لأي مشروع تنموي مستقبلي، خصوصاً في ظل التحديات المناخية والاقتصادية والضغط الديموغرافية، فالموقع الجغرافي لليبيا يجعلها ضمن أفضل النطاقات العالمية للإشعاع الشمسي، حيث يتجاوز متوسط السطوع الشمسي ٣,٥٠٠ ساعة سنوياً، ما يعادل ٧ كيلو واط/م² يومياً (Elhrari et al., 2022) كما تتميز مناطق الساحل والصحراء بوجود رياح دائمة وسريعة يمكن استغلالها لإنتاج الكهرباء.

دورها كمورد بديلة مرتبطة بالبيئة والتنمية:

إضافةً إلى الشمس والرياح، تمتلك ليبيا أراضي شاسعة يمكن استثمارها في زراعة نباتات اقتصادية ذات قيمة بيئية وتنموية مثل الجوجوبا، التي تُستخدم لإنتاج زيوت صناعية ووقود حيوي نظيف، ما يسهم في تقليل الاعتماد على النفط التقليدي ويحقق مزيجاً من الفوائد الاقتصادية والبيئية.

الاتجاه نحو مزيج طاقة نظيف:

يُمثل تبني مزيج من مصادر الطاقة الأقل تلوثاً في ليبيا خطوة ضرورية للحد من التأثيرات البيئية غير المرغوبة لقطاع الطاقة. ويتطلب ذلك:

- الاستثمار في محطات شمسية ورياح صغيرة وكبيرة النطاق.
- دعم البحوث التطبيقية لرفع كفاءة أنظمة الطاقة.
- تشجيع التكامل بين الطاقة النظيفة والصناعة والنقل.
- وضع سياسات تراعي العدالة في توزيع الطاقة خصوصاً للمناطق النائية التي تعاني من فقر الطاقة.

رابعاً: الأبعاد البيئية لمشروعات الطاقة المتجددة في ليبيا

تمثل مشروعات الطاقة المتجددة في ليبيا خياراً استراتيجياً لمواجهة التحديات البيئية المرتبطة بقطاع الطاقة التقليدي، الذي يُعد المصدر الرئيس للتلوث والانبعاثات الكربونية في البلاد. إذ تساهم تقنيات الطاقة المتجددة في تقليل الانبعاثات وتحسين جودة الهواء، فضلاً عن تخفيف الضغط على الموارد المائية، وهو ما ينعكس إيجاباً على الصحة العامة والتنمية المستدامة.

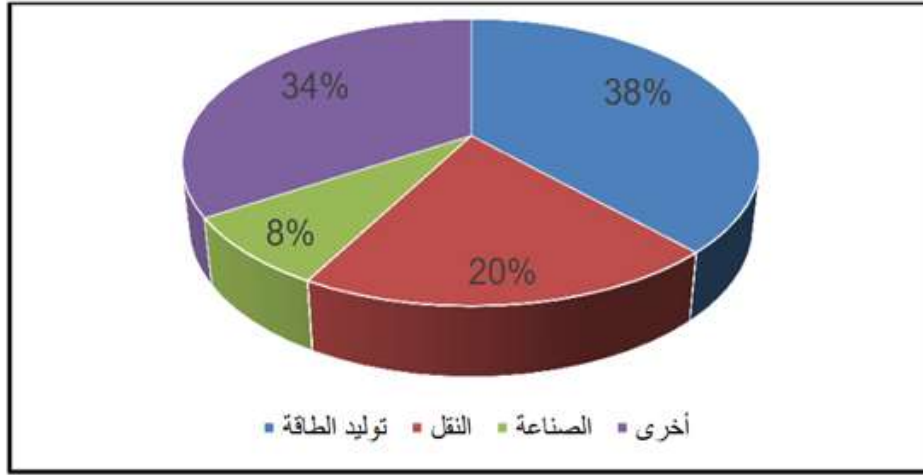
ورغم هذه الإيجابيات، فإنّ للطاقة المتجددة بعض الآثار البيئية المحتملة التي ينبغي إدارتها بكفاءة، مثل تأثير محطات الرياح على الطيور المهاجرة، واستهلاك مساحات واسعة من الأراضي للألواح الشمسية، بالإضافة إلى التحديات المستقبلية المتعلقة بالتخلص من النفايات الناتجة عن الخلايا الكهروضوئية بعد انتهاء عمرها الافتراضي.

وبالمقارنة مع الطاقات الأحفورية، يتضح أن البدائل المتجددة أقل ضرراً وأكثر توافقاً مع أهداف التنمية المستدامة ٢٠٣٠، شريطة وضع سياسات واضحة لإدارة مخاطرها البيئية وتبني استراتيجيات شاملة لتدوير المخلفات وتعزيز البحث العلمي المحلي. ومن ثم، فإنّ الاستثمار في الطاقة المتجددة لا يُعد خياراً بيئياً فحسب، بل ضرورة وطنية لضمان أمن الطاقة، وحماية البيئة، ودعم مسار التنمية المستدامة في ليبيا.

١- الآثار الإيجابية:

تمثل مشروعات الطاقة المتجددة في ليبيا، ولا سيما الطاقة الشمسية والرياح، خطوة استراتيجية نحو التخفيف من الأضرار البيئية الناتجة عن الاعتماد شبه الكلي على النفط والغاز.

أ- **تقليل الانبعاثات الكربونية:** يُعد قطاع الطاقة في ليبيا المسؤول الأول عن الانبعاثات الغازية، حيث يساهم بما يقارب ٨٠% من إجمالي انبعاثات غازات الاحتباس الحراري؛ لذا فإن إدماج الطاقة الشمسية وطاقة الرياح في مزيج الطاقة الوطني يُسهم في تقليل هذه الانبعاثات بشكل ملحوظ، ويوضح الشكل (٦) النسبة المئوية لانبعاثات ثاني أكسيد الكربون حسب القطاعات المختلفة في الفترة (١٩٩٥-٢٠٠٣)م.



المصدر:

Mohamed Ekhlata and others, Mediterranean and National Strategies for Sustainable Development, Energy Efficiency and Renewable Energy Libya -National study, Plan Bleu, Regional Activity Centre, Sophia Antipolis, September 2007, p6.

شكل (٦)

النسبة المئوية لانبعاثات ثاني أكسيد الكربون حسب القطاعات المختلفة في الفترة (١٩٩٥-٢٠٠٣)م.

يتضح من خلال الشكل السابق (٦) أن قطاع توليد الطاقة يمثل نسبة (٣٨%) حيث يُعد القطاع الأكثر استهلاكًا للطاقة، ما يعكس الاعتماد الكبير على مصادر أولية لإنتاج الكهرباء، هذا يبرز الحاجة إلى تطوير استراتيجيات كفاءة الطاقة في محطات التوليد، وكذلك التوسع في استخدام مصادر الطاقة المتجددة لتقليل الضغط

على الموارد التقليدية، بينما يمثل قطاع النقل (٢٠%)، ويحتل المرتبة الثانية، وهو مؤشر على الأهمية الاقتصادية للنقل في استهلاك الطاقة. الاعتماد الكبير على الوقود الأحفوري هنا يؤدي إلى زيادة الانبعاثات الكربونية، ما يجعل الاستثمار في النقل المستدام (الكهربائي أو الهجين) خيارًا استراتيجيًا، أما القطاع الصناعي فيمثل (٨%) من إجمالي الانبعاثات حيث إن استهلاكه أقل نسبيًا مقارنة ببقية القطاعات، مما قد يعكس ضعف النشاط الصناعي أو محدوديته في ليبيا. ومع ذلك، هذا القطاع يمثل فرصة مستقبلية لتبني حلول الطاقة النظيفة مع التوسع الصناعي المتوقع. بينما القطاعات الأخرى فتشكل نسبة معتبرة، وتشمل غالبًا الاستهلاك المنزلي والتجاري والزراعي هذا الحجم الكبير يشير إلى أهمية برامج الترشيد وكفاءة استخدام الطاقة في الاستخدامات اليومية.

ب- **تحسين جودة الهواء والصحة العامة:** حيث يُنتج عن احتراق الوقود الأحفوري ملوثات هوائية خطيرة مثل أكاسيد الكبريت والنيتروجين والجسيمات الدقيقة؛ لذا فإن الاعتماد على مصادر الطاقة النظيفة يقلل من هذه الانبعاثات، مما ينعكس إيجابيًا على الصحة العامة ويحد من انتشار الأمراض التنفسية.

ت- **تخفيف الضغط على الموارد المائية:** تستهلك محطات توليد الكهرباء المعتمدة على النفط والغاز كميات كبيرة من المياه لأغراض التبريد، في حين أن تقنيات الطاقة الشمسية والرياح شبه خالية من استهلاك المياه، ما يجعلها أكثر ملاءمة لبيئة ليبيا الجافة .

٢- الآثار السلبية (المحتملة)

على الرغم من المزايا البيئية الكبيرة لمصادر الطاقة المتجددة، إلا أن لها بعض التأثيرات التي تتطلب إدارة رشيدة:

أ- **تأثير محطات الرياح على الحياة البرية:** قد تُشكل التوربينات الهوائية خطرًا على الطيور المهاجرة والخفافيش، خاصة في المناطق الساحلية التي تُعد ممرات طبيعية للهجرة.

ب- **استخدام مساحات واسعة للألواح الشمسية:** تحتاج المشاريع الشمسية الكبرى إلى مساحات شاسعة من الأراضي الصحراوية، وهو ما قد يؤثر على النظم البيئية المحلية والتوازن الطبيعي.

ت- مشكلة المخلفات الكهروضوئية: بعد انتهاء العمر الافتراضي للألواح الشمسية (٢٠-٢٥ عامًا)، تظهر تحديات بيئية مرتبطة بالتخلص من مكوناتها، خصوصًا المعادن الثقيلة والزجاج، ما يستلزم تطوير برامج لإعادة التدوير والمعالجة.

الخاتمة

تبين من الدراسة السابقة عدة نتائج يمكن حصرها فيما يأتي:

- تتمتع ليبيا بموقع جغرافي مهم يساعدها على استقطاب أشعة شمسية بكميات كبيرة في أغلب أوقات العام.
- تمتلك ليبيا موارد متجددة استثنائية، خاصة الطاقة الشمسية والرياح، لكنها ما زالت في مرحلة الاستخدام المحدود.
- ضعف السياسات الوطنية، محدودية البنية التحتية، وانخفاض مستوى الوعي المجتمعي تُشكل عوائق أمام التوسع في الطاقة المتجددة.
- الاعتماد المستمر على النفط والغاز يعمق الأزمات البيئية والاقتصادية، ما يجعل التحول نحو مصادر نظيفة ضرورة وطنية.
- تسهم الطاقات المتجددة في تحقيق أبعاد التنمية الثلاثة (الاقتصادي، الاجتماعي، البيئي) بما يتماشى مع أهداف رؤية ٢٠٣٠.
- وفي ضوء النتائج السابقة توصي الدراسة بما يأتي:
- صياغة استراتيجية وطنية شاملة للطاقة المتجددة تتكامل مع سياسات الاقتصاد والبيئة.
- تشجيع الاستثمار المحلي والأجنبي في مشاريع الطاقة الشمسية والرياح، خاصة في الجنوب والمناطق الساحلية.
- تعزيز البحث العلمي والتقني في مجالات تقنيات التخزين وكفاءة الاستخدام.
- توسيع دور القطاع الخاص من خلال حوافز ضريبية وتشريعات داعمة.
- رفع الوعي المجتمعي بأهمية الطاقة النظيفة عبر حملات توعوية وإدماجها في المناهج التعليمية.
- إدارة الآثار البيئية المحتملة لمشاريع الطاقة المتجددة عبر التخطيط السليم وتبني حلول مبتكرة لإعادة التدوير وتقليل الأضرار.

قائمة المصادر والمراجع

أولاً: المصادر

- الهيئة الوطنية للأرصاد الجوية، ليبيا، ٢٠٢٣م.
- المركز الإقليمي للطاقة المتجددة وكفاءة الطاقة (CREE 2013) نبذة عن الطاقة المتجددة ليبيا ٢٠١٢.
- المنتدى العربي للبيئة والتنمية البيئة العربية- الاقتصاد الأخضر في عالم عربي متغير، تقرير المنتدى العربي للبيئة والتنمية ٢٠١١، بيروت- لبنان.
- مركز البحث والتطوير النفطي، الجدوى الاقتصادية من استخدام الطاقة المتجددة في الحقول النفطية العراقية، ١٩٩٢.
- مركز بحوث ودراسات الطاقة الشمسية الليبية <http://csers.ly/ar/lib>
- وكالة الطاقة الدولية www.iea.org

ثانياً: المراجع

١- المراجع العربية

- أبرار محمد الغريب، إمكانات الطاقات المتجددة ودورها في تحقيق التنمية المستدامة بمحافظة البحر الأحمر باستخدام الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية، دراسة في جغرافية الطاقة، رسالة ماجستير، كلية الدراسات الإنسانية، جامعة الأزهر، ٢٠٢٥.
- الشريف، هبة وآخرون، تقييم مصدر الرياح في الجنوب الليبي: دراسة حالة مدينة هون، مجلة الطاقة الشمسية والتنمية المستدامة، مركز البحوث ودراسات الطاقة الشمسية، تاجوراء، ليبيا، المجلد ٨، العدد ١، يناير، ٢٠١٩م.

- الهلالي، ع. م.، الطاقة المتجددة كخيار استراتيجي للتنمية المستدامة في الوطن العربي، المجلة العربية للتنمية المستدامة، ٢٠٢٠.
- سعيد عبده، جغرافية الطاقة: مفهوماتها، ومجالها، ومناهجها، المجلة الجغرافية العربية، الجزء الثاني، العدد الرابع والثلاثون، القاهرة، ١٩٩٩.
- طباطين، الحسن، وآخرون، تقييم إمكانات طاقة الرياح في زوارة - ليبيا، مجلة الطاقة الشمسية والتنمية المستدامة، مركز البحوث ودراسات الطاقة الشمسية، تاجوراء، ليبيا، المجلد ٨، العدد ٢، ديسمبر، ٢٠١٩ م.
- عاشور، أ. م.، الإمكانات المتجددة للطاقة في ليبيا ودورها في حماية البيئة، مجلة البحوث الاقتصادية والبيئية، ٥ (١)، ٢٠١٩.
- عمر علي إبراهيم الصيد، دراسة وتقييم وضع الطاقات المتجددة في البلاد العربية، ليبيا حالة للدراسة، (دراسة قياسية، ماجستير اقتصاد، معهد البحوث والدراسات العربية).

٢ - المراجع الأجنبية

- Arnold, U. (2015). Economic risk analysis of decentralized renewable energy infrastructures: A Monte Carlo simulation approach. Renewable Energy, 77, 227–239.
- Ben-Mansour, R., Hodroj, A., Al-Hinti, I., & Al-Soud, M. (2018). Potential of solar and wind energy in Libya. Renewable Energy, 118, 169–178.
- Ekhlal, M., Abdunnabi, M., El-Tantawi, A., & Ben-Mohamed, A. (2007). Mediterranean and National Strategies for Sustainable Development, Energy Efficiency and Renewable Energy: Libya National Study. Plan Bleu, Regional Activity Centre. Sophia Antipolis, France.

- Moria, H., & Elmnifi, M. (2020). Feasibility study into possibility potentials and challenges of renewable energy in Libya. International Journal of Advanced Science and Technology, 29(3), 12546–12560.
- Owusu, P. A., & Asumadu-Sarkodie, S. (2016). A review of renewable energy sources, sustainability issues and climate change mitigation. Cogent Engineering, 3(1), 1167990.