https://jsras.rcc.edu.ly/
Vol.3 No.0 (2026), 119-136
Article history:
Received: 00Aug .2026
Accepted: 0.Sep . 2026
Published: 0 Oct .2026

Journal of Sustainable Research in Applied Sciences

Green Economy as a Strategic Pathway for Transitioning from an Oil-Based Economy in Libya: An Analytical Study of Opportunities and Challenges

Nabil Mousa Algharbi[1],*; Zaynab Aboubaker Bashir Ahrir[2]
College of Engineering, Department of Aeronautical Mechanics, Power and Production, University of Sirte, Libya.
Email: n.algharbi@su.edu.ly , ORCID: 0000-0001-5543-6344
[2] College of Engineering, Department of Renewable Energy Engineering, University of Misrata, Sirte, Libya.
Email: zienap91@su.edu.ly, ORCID: 0009-0003-1720-7438
* Corresponding author: n.algharbi@su.edu.ly

keywords
Energy transition, renewable integration, solar photovoltaics, energy efficiency, decarbonization, sustainability governance.

Abstract
This study analyses the green economy as a strategic pathway for reducing Libya's vulnerability to oil dependence, focusing on renewable-energy integration into the oil and gas sector as a gradual transition mechanism. A descriptive-analytical design was combined with a structured desk review of peer-reviewed studies and official/international reports published or updated during 2011–2026. Sources were screened for direct relevance, recency, traceability of data, and analytical usefulness; quantitative indicators were then extracted, cross-checked, compared, and synthesized with Libyan case evidence. The analysis shows that hydrocarbons accounted for about 65% of GDP, 93% of exports, and 72% of public revenues in 2024, confirming persistent structural concentration. At the same time, Libya's national strategy reports solar-resource levels of roughly 7.1–8.1 kWh/m²/day and targets 4,000 MW of cumulative renewable capacity and a 20% contribution to electricity demand by 2035. Libyan technical studies indicate that solar and hybrid solutions can be expanded for auxiliary loads and desert oil-field applications, while storage needs, dust, high temperatures, financing conditions, and regulatory and institutional readiness remain binding constraints. The study contributes a staged application matrix that links petroleum-load type to technical risk, storage requirements, and implementation priority, turning the green-economy concept into a measurable pathway for Libya's energy sector

الاقتصاد الأخضر كمسار استراتيجي للانتقال من اقتصاد قائم على النفط في ليبيا: دراسة تحليلية للفرص والتحديات

نبيل موسى الغربي[1]*. زينب أبوبكر بشير احرير[2]
نبيل موسى الغربي، كلية الهندسة – قسم ميكانيكا الطيران والقوى والإنتاج – جامعة سرت – ليبيا.[1]
زينب أبوبكر بشير احرير، كلية الهندسة – قسم هندسة الطاقات المتجددة – جامعة مصراتة، سرت – ليبيا[2]
Email: n.algharbi@su.edu.ly , ORCID: 0000-0001-5543-6344
Email: zienap91@su.edu.ly | ORCID: 0009-0003-1720-7438

الكلمات المفتاحية
التحول الطاقي، تكامل الطاقة المتجددة، الخلايا الكهروضوئية، كفاءة الطاقة، خفض الكربون، حوكمة الاستدامة.

الملخص
تهدف هذه الدراسة إلى تحليل الاقتصاد الأخضر بوصفه مدخلاً استراتيجياً لتقليل هشاشة الاقتصاد الليبي المرتبطة بالاعتماد على النفط، مع التركيز على تكامل الطاقة المتجددة مع قطاع النفط والغاز كمسار تدريجي للتحول. اعتمدت الدراسة منهجاً وصفياً تحليلياً مدعوماً بمراجعة مكتبية منظمة لمصادر علمية محكمة وتقارير رسمية ودولية خلال الفترة 2011–2026، وفق معايير صلة المصدر بالموضوع، وحداثته، وقابلية التحقق من بياناته، ثم جرى استخلاص المؤشرات ومقارنتها وتحليل فجوة التطبيق ودراسات الحالة. أظهر التحليل أن الهيدروكربونات مثلت في 2024 نحو 65% من الناتج المحلي الإجمالي و93% من الصادرات و72% من الإيرادات العامة، بما يؤكد استمرار التركّز الاقتصادي. وفي المقابل، تتراوح مؤشرات الإشعاع الشمسي الواردة في الاستراتيجية الوطنية تقريباً بين 7.1 و8.1 كيلووات ساعة/م²/يوم، بينما تستهدف ليبيا قدرة متجددة تراكمية قدرها 4000 ميجاوات ومساهمة 20% من الطلب الكهربائي بحلول 2035. وتبين دراسات الحالة الليبية أن التطبيقات الشمسية والهجينة قابلة فنياً للتوسع في الأحمال المساندة والحقول الصحراوية، لكن التنفيذ يتأثر بالتخزين، والغبار والحرارة، والتمويل، والجاهزية التنظيمية والمؤسسية. وتتمثل الإضافة العلمية للدراسة في تقديم مصفوفة تطبيق مرحلية تربط نوع الحمل النفطي بدرجة المخاطر التقنية، واحتياج التخزين، وأولوية التنفيذ، بما يحول مفهوم الاقتصاد الأخضر من إطار عام إلى مسار قابل للقياس والمتابعة في قطاع الطاقة الليبي.

1. المقدمة

يشهد العالم في العقود الأخيرة تحولات متسارعة في قطاع الطاقة نتيجة التزايد المستمر في الطلب العالمي على الطاقة من جهة، والتحديات البيئية الناتجة عن الاعتماد المفرط على الوقود الأحفوري من جهة أخرى. وقد أدى ذلك إلى توجه العديد من الدول نحو تبني استراتيجيات جديدة تهدف إلى تحقيق التوازن بين تلبية الاحتياجات التنموية والحفاظ على البيئة، وذلك من خلال التوسع في استخدام مصادر الطاقة المتجددة ودمجها ضمن المنظومات الطاقية التقليدية (IRENA، 2024).

ويُعد النفط والغاز من أهم مصادر الطاقة التقليدية التي أسهمت في دعم التنمية الاقتصادية والصناعية على مستوى العالم، ولا تزال تمثل النسبة الأكبر من مزيج الطاقة العالمي. وتُعد ليبيا من الدول التي يعتمد اقتصادها بصورة كبيرة على قطاع النفط والغاز، حيث يشكل هذا القطاع المصدر الرئيسي للإيرادات العامة والصادرات، الأمر الذي جعله محوراً أساسياً للتنمية الاقتصادية والاجتماعية في البلاد (المؤسسة الوطنية للنفط، 2024).

وعلى الرغم من الأهمية الاستراتيجية لقطاع النفط والغاز، فإن العمليات النفطية تتطلب استهلاكاً كبيراً للطاقة الكهربائية والوقود في مختلف مراحل الإنتاج والنقل والمعالجة، مما يؤدي إلى ارتفاع التكاليف التشغيلية وزيادة الانبعاثات الكربونية. وفي ظل التوجهات العالمية نحو الاستدامة وخفض الانبعاثات، أصبح من الضروري البحث عن حلول مبتكرة تساهم في تحسين كفاءة استخدام الطاقة داخل القطاع النفطي (International Energy Agency, 2024).

ومن بين الحلول الواعدة التي حظيت باهتمام متزايد خلال السنوات الأخيرة توظيف الطاقات المتجددة، وخاصة الطاقة الشمسية، في تشغيل المرافق النفطية والحقول البعيدة عن الشبكات الكهربائية. وقد أثبتت العديد من التجارب الدولية نجاح استخدام الأنظمة الشمسية في تشغيل المضخات، ومحطات المراقبة، وأنظمة الاتصالات، والمرافق الخدمية في الحقول النفطية، مما ساهم في تقليل استهلاك الوقود التقليدي وخفض تكاليف التشغيل وتحسين الأداء البيئي (World Bank, 2023).

وتتمتع ليبيا بمقومات طبيعية متميزة تؤهلها للاستفادة من الطاقات المتجددة، حيث تقع ضمن الحزام الشمسي العالمي وتتميز بمعدلات مرتفعة من الإشعاع الشمسي وساعات سطوع طويلة على مدار العام، وهو ما يوفر فرصاً كبيرة لتطبيق مشاريع الطاقة الشمسية على نطاق واسع، سواء في المناطق السكنية أو الصناعية أو النفطية (هيئة أبحاث العلوم الطبيعية والتكنولوجيا، 2023).

وفي هذا السياق، يبرز مفهوم التكامل بين الطاقات المتجددة وقطاع النفط والغاز بوصفه أحد التوجهات الحديثة التي تسعى إلى تحقيق الاستفادة المثلى من الموارد الطبيعية المتاحة، من خلال توظيف مصادر الطاقة النظيفة لدعم العمليات النفطية وتحسين كفاءتها، بما يحقق أهداف التنمية المستدامة ويعزز أمن الطاقة ويخفض الآثار البيئية المرتبطة بالصناعة النفطية.

ومن هنا تأتي أهمية هذه الدراسة التي تسعى إلى استكشاف إمكانات تكامل الطاقات المتجددة مع قطاع النفط والغاز في ليبيا، وتحليل الفوائد الاقتصادية والبيئية المترتبة على هذا التكامل، فضلاً عن التعرف على أبرز التحديات التي قد تواجه تطبيقه، وصولاً إلى تقديم مجموعة من المقترحات والتوصيات التي يمكن أن تسهم في دعم جهود التحول نحو منظومة طاقة أكثر استدامة وكفاءة في ليبيا

2. الدراسات السابقة والفجوة البحثية

تناولت الأدبيات الليبية إمكانات الطاقة المتجددة من زوايا فنية واقتصادية متعددة. فقد قدّمت دراسة Aldali, Henderson, and Muneer (2011) تحليلاً لمحطة كهروضوئية افتراضية بقدرة 50 MW في الكفرة، وقدّرت إنتاجها السنوي بنحو 114 GWh مع إمكانية خفض انبعاثات ثاني أكسيد الكربون بنحو 76 ألف طن سنوياً؛ وهو ما يدعم الجدوى الفنية والبيئية لاستغلال المورد الشمسي في جنوب ليبيا. وناقش Almaktar and Shaaban (2021) آفاق الطاقة المتجددة في ليبيا بوصفها مساراً مكملاً لمصادر الطاقة التقليدية، بينما ركز Maka, Salem, and Mehmood (2021) على تطبيقات الخلايا الكهروضوئية والتحديات المرتبطة بالمناخ والبنية المؤسسية والسوقية.

على مستوى جودة البيانات، استخدم Lagili et al. (2023) بيانات مقاسة وبيانات أقمار صناعية لتقييم موارد الشمس والرياح في ليبيا، بما يبرز أهمية الاعتماد على القياسات المحلية عند اتخاذ قرارات الاستثمار. وفي دراسة أكثر اتصالاً بالبيئة الصناعية والنفطية في جنوب ليبيا، حلل Ehtiwesh, Gabbasa, and Ehtiwesh (2023) دمج الطاقة الشمسية المركزة مع توربينات الغاز، وأظهر النموذج إمكانية خفض استهلاك الوقود من خلال التسخين الشمسي المسبق، مع كفاءة حرارية للدورة بلغت 32.6% وتصميم لحقل شمسي بقدرة حرارية 532 MW في ظروف الإشعاع المفترضة بالدراسة. كما خلص Badi, Stević, and Bouraima (2023) إلى أن ضعف البنية التحتية والاعتماد على الوقود الأحفوري والبيئة الاستثمارية والتنظيمية تمثل عوائق رئيسة أمام تطوير الطاقة المتجددة في ليبيا.

تكشف هذه الدراسات عن فجوة بحثية تتمثل في أن معظم الأعمال السابقة تناولت المورد الشمسي أو تقنية بعينها أو معوقات الانتشار على مستوى قطاع الكهرباء، بينما تقل الدراسات التي تربط بصورة مباشرة بين مؤشرات الاعتماد الاقتصادي على النفط، وإمكانات الطاقة المتجددة، وطبيعة الأحمال داخل المنشآت النفطية، وترتيب أولويات التطبيق بحسب المخاطر والاعتمادية. لذلك تضيف الدراسة الحالية إطاراً تحليلياً يربط مفهوم الاقتصاد الأخضر بالتطبيق داخل قطاع النفط والغاز، ويستخدم مؤشرات كمية حديثة ودراسات حالة لتحديد مسار مرحلي يبدأ بالأحمال المساندة منخفضة المخاطر، ثم الأنظمة الهجينة، ثم التطبيقات الأعلى تعقيداً.

3. مشكلة البحث

يمثل قطاع النفط والغاز الركيزة الأساسية للاقتصاد الليبي، إلا أن العمليات النفطية تعتمد بصورة كبيرة على مصادر الطاقة التقليدية التي ترتبط بارتفاع تكاليف التشغيل وزيادة الانبعاثات البيئية. وفي المقابل، تمتلك ليبيا إمكانات كبيرة في مجال الطاقات المتجددة، وخاصة الطاقة الشمسية، نتيجة موقعها الجغرافي وما تتمتع به من معدلات مرتفعة للإشعاع الشمسي. ورغم هذه الإمكانات، لا يزال توظيف الطاقات المتجددة داخل القطاع النفطي محدوداً، الأمر الذي يحرم هذا القطاع من العديد من المزايا الاقتصادية والبيئية التي يمكن تحقيقها من خلال التكامل بينهما.

ومن هنا تتمثل مشكلة البحث في محاولة التعرف على مدى إمكانية تكامل الطاقات المتجددة مع قطاع النفط والغاز في ليبيا، ودور هذا التكامل في تحسين كفاءة استخدام الطاقة وخفض التكاليف التشغيلية وتقليل الآثار البيئية، بما يسهم في تحقيق أهداف التنمية المستدامة.

4. تساؤلات البحث

4.1 التساؤل الرئيس

ما مدى إمكانية تكامل الطاقات المتجددة مع قطاع النفط والغاز في ليبيا لتحقيق كفاءة الطاقة والتنمية المستدامة؟

4.2 التساؤلات الفرعية

ما واقع استخدام الطاقة في قطاع النفط والغاز الليبي؟

ما الإمكانات المتاحة للطاقات المتجددة في ليبيا؟

ما أهم تطبيقات الطاقات المتجددة التي يمكن استخدامها في العمليات النفطية؟
ما الفوائد الاقتصادية والبيئية المتوقعة من تكامل الطاقات المتجددة مع القطاع النفطي؟
ما أبرز التحديات التي تواجه تطبيق مشاريع الطاقات المتجددة في قطاع النفط والغاز الليبي؟
ما الآليات المقترحة لتعزيز الاستفادة من الطاقات المتجددة داخل القطاع النفطي؟

5. أهداف البحث

5.1 الهدف العام

دراسة إمكانية تكامل الطاقات المتجددة مع قطاع النفط والغاز في ليبيا ودوره في تعزيز كفاءة الطاقة وتحقيق التنمية المستدامة.

5.2 الأهداف الفرعية

التعرف على واقع استهلاك الطاقة في قطاع النفط والغاز الليبي.
دراسة الإمكانات المتاحة للطاقات المتجددة في ليبيا.
توضيح مجالات وتطبيقات استخدام الطاقات المتجددة في العمليات النفطية.
تحليل الآثار الاقتصادية والبيئية الناتجة عن دمج الطاقات المتجددة في القطاع النفطي.
تحديد أبرز التحديات التي تعيق تطبيق مشاريع الطاقة المتجددة في القطاع النفطي.
تقديم مجموعة من التوصيات والمقترحات التي تدعم التوسع في استخدام الطاقات المتجددة داخل قطاع النفط والغاز.

6. أهمية البحث

6.1 الأهمية العلمية

إثراء الأدبيات العلمية المتعلقة بتكامل الطاقات المتجددة مع قطاع النفط والغاز.
المساهمة في توضيح الجوانب النظرية والتطبيقية لاستخدام الطاقات المتجددة في الصناعة النفطية.
توفير مرجع علمي للباحثين والمهتمين بمجالات الطاقة والتنمية المستدامة.

6.2 الأهمية التطبيقية

دعم متخذي القرار في قطاع الطاقة عند وضع الخطط والاستراتيجيات المستقبلية.
المساهمة في تحسين كفاءة استخدام الطاقة داخل القطاع النفطي.
المساعدة في خفض التكاليف التشغيلية والانبعاثات الكربونية.
تعزيز الاستفادة من الموارد الطبيعية المتاحة في ليبيا.
دعم توجه الدولة نحو تحقيق أهداف التنمية المستدامة وتنويع مصادر الطاقة.

7. الماقشة منهجية البحث وإجراءات التحليل

اعتمدت الدراسة تصميماً وصفياً تحليلياً مدعوماً بمراجعة مكتبية منظمة ومقارنة تطبيقية. ويُستخدم الوصف لتحديد بنية الاقتصاد النفطي وخصائص الأحمال والموارد المتجددة، بينما يُستخدم التحليل لربط المؤشرات الاقتصادية والطاقية بالتطبيقات الممكنة داخل قطاع النفط والغاز، ومقارنة المنافع المتوقعة بقيود التنفيذ. ولا تقدم الدراسة تجربة ميدانية أو نموذج جدوى لموقع واحد؛ بل تبني استنتاجاتها من تجميع الأدلة القابلة للتحقق ومقارنتها ضمن إطار موحد.
شملت قاعدة المصادر دراسات علمية محكمة وتقارير ووثائق صادرة عن جهات رسمية أو دولية خلال الفترة 2011–2026. واعتمدت معايير إدراج تتمثل في: الصلة المباشرة بليبيا أو بتكامل الطاقة المتجددة مع العمليات النفطية؛ وجود بيانات أو منهج واضح؛ إمكانية التعرف على المؤلف والجهة وسنة النشر؛ وحداثة المصدر عند تناول المؤشرات الاقتصادية والسياسات. واستبعدت المواد الترويجية غير الموثقة، والبيانات المكررة، والمعلومات التي لا يمكن تتبع مصدرها الأصلي عندما يتوافر مصدر رسمي أو علمي بديل.
تم تنفيذ التحليل في خمس خطوات: (1) حصر المصادر وتصنيفها إلى اقتصاد كلي، وموارد متجددة، وتطبيقات نفطية، وتجارب مقارنة؛ (2) استخراج المؤشرات بوحداتها وسنواتها ومصادرها؛ (3) التحقق بالمقارنة بين المصادر عند تكرار المؤشر؛ (4) بناء مصفوفة تربط نوع الحمل النفطي بدرجة الأهمية التشغيلية والحاجة إلى التخزين والتعقيد الفني؛ (5) تحليل الفجوة بين الإمكانات والأهداف المعلنة من جهة، ومتطلبات التمويل والتنظيم والمهارات والبنية التحتية من جهة أخرى. وبذلك تصبح عملية الوصول إلى النتائج قابلة للتتبع وإعادة التطبيق على بيانات أحدث.
ولتعزيز الجانب الكمي، استخدمت الدراسة مؤشرات الاعتماد الهيدروكربوني في الناتج والصادرات والإيرادات العامة، ومؤشرات المورد الشمسي، وأهداف القدرة المتجددة والاستثمارات المعلنة في الاستراتيجية الوطنية، إضافة إلى نتائج كمية من دراسات حالة ليبية منشورة. وتم تجنب تحويل هذه المؤشرات إلى تقديرات وفر مالي لمشروع نفطي محدد في غياب بيانات حمل ووقود وأسعار وتشغيل ميدانية، حتى لا تُعرض النتائج الوصفية على أنها دراسة جدوى تنفيذية.

8. حدود البحث

8.1 الحدود المكانية

تقتصر الدراسة على دولة ليبيا، مع التركيز على قطاع النفط والغاز والفرص المتاحة لتوظيف الطاقات المتجددة في الحقول والمنشآت النفطية الليبية.

8.2 الحدود الزمنية

تتناول الدراسة واقع قطاع النفط والغاز والطاقات المتجددة في ليبيا خلال الفترة حتى عام 2026م، مع الاستفادة من أحدث البيانات والتقارير المتاحة.

8.3 الحدود الموضوعية

تركز الدراسة على بحث إمكانية تكامل الطاقات المتجددة، وخاصة الطاقة الشمسية، مع قطاع النفط والغاز في ليبيا، وبيان أثر ذلك في تحسين كفاءة الطاقة، وخفض التكاليف التشغيلية، وتقليل الانبعاثات البيئية، وتحقيق التنمية المستدامة.

9. أدوات البحث

اعتمدت الدراسة على مصفوفة لاستخراج البيانات، وتحليل الوثائق والسياسات، والمقارنة بين الدراسات المحكمة، وتحليل الفجوة، ودراسات الحالة. وتضمنت مصفوفة الاستخراج: المؤشر، السنة، الوحدة، المصدر، المجال الذي يخدمه، ومستوى قابلية نقله إلى القطاع النفطي الليبي. كما استُخدمت المقارنة النوعية لتحديد نقاط الاتفاق والاختلاف بين الدراسات، والمقارنة الكمية عندما كانت الوحدات والسنوات قابلة للمقارنة.

9.1 الإطار النظري لقطاع النفط والغاز والطاقات المتجددة

يُعد قطاع النفط والغاز من أهم القطاعات الاقتصادية في العالم، إذ يعتمد عليه عدد كبير من الدول في تلبية احتياجاتها من الطاقة وتحقيق التنمية الاقتصادية. وفي المقابل، برزت الطاقات المتجددة كخيار استراتيجي لمواجهة التحديات البيئية والاقتصادية المرتبطة بالاستخدام المكثف للوقود الأحفوري. ومن هذا المنطلق يتناول هذا الفصل الأسس النظرية المتعلقة

بقطاع النفط والغاز والطاقات المتجددة، باعتبارها الإطار المعرفي الذي تستند إليه الدراسة.

9.1.1 مفهوم النفط والغاز

يُعد النفط والغاز الطبيعي من أهم مصادر الطاقة التقليدية التي يعتمد عليها الاقتصاد العالمي منذ أكثر من قرن، حيث أسهما بصورة مباشرة في دعم التنمية الصناعية والاقتصادية وتلبية الاحتياجات المتزايدة من الطاقة في مختلف دول العالم. وقد أدى التطور التكنولوجي والصناعي إلى زيادة الطلب على النفط والغاز باعتبارهما مصدرين رئيسيين للطاقة والمواد الخام المستخدمة في العديد من الصناعات الحيوية، مثل الصناعات البتروكيميائية وصناعة الأسمدة والبلاستيك ووسائل النقل وتوليد الكهرباء (عبد الحميد، 2019، ص 34).

ويُعرف النفط بأنه سائل طبيعي يتكون من خليط معقد من المركبات الهيدروكربونية، ويوجد في باطن الأرض داخل الصخور الرسوبية نتيجة تحلل المواد العضوية النباتية والحيوانية عبر ملايين السنين تحت تأثير الضغط والحرارة. ويتميز النفط بقابليته للاستخراج والتكرير وتحويله إلى مشتقات متعددة تشمل البنزين والديزل ووقود الطائرات وزيوت التشحيم وغيرها من المنتجات التي تدخل في مختلف الأنشطة الاقتصادية (الشريف، 2020، ص 57).

أما الغاز الطبيعي فهو خليط من الغازات الهيدروكربونية يتكون بشكل أساسي من غاز الميثان، إضافة إلى نسب متفاوتة من الإيثان والبروبان والبيوتان وبعض الغازات الأخرى. ويوجد الغاز الطبيعي منفرداً في بعض المكامن أو مصاحباً للنفط الخام داخل الحقول النفطية. ويُعد من أكثر مصادر الطاقة نظافة مقارنة بالفحم والنفط، نظراً لانخفاض انبعاثاته الكربونية عند الاحتراق (العيساوي، 2018، ص 88).

وقد شهدت العقود الأخيرة تزايداً ملحوظاً في الاعتماد على الغاز الطبيعي نتيجة تزايد الاهتمام العالمي بالقضايا البيئية والسعي إلى خفض انبعاثات الغازات الدفيئة. وأصبح الغاز الطبيعي يمثل عنصراً أساسياً في مزيج الطاقة العالمي، خاصة في مجالات توليد الكهرباء والصناعات الثقيلة والتدفئة المنزلية (IEA، 2024).

ويتميز النفط والغاز بمجموعة من الخصائص التي جعلتهما يحتلان مكانة محورية في الاقتصاد العالمي، من أبرزها الكثافة الطاقية المرتفعة وسهولة النقل والتخزين نسبياً، إضافة إلى إمكانية استخدامهما في العديد من القطاعات الاقتصادية. كما أن البنية التحتية العالمية الخاصة بإنتاجهما ونقلهما وتكريرهما قد ساهمت في تعزيز الاعتماد عليهما لعقود طويلة (السيد، 2021، ص 112).

وتكمن أهمية النفط والغاز في كونهما مصدرين رئيسيين للطاقة الأولية في العالم، حيث تعتمد عليهما قطاعات النقل والصناعة وإنتاج الكهرباء بصورة واسعة. كما يمثلان مورداً اقتصادياً استراتيجياً للعديد من الدول المنتجة، التي تعتمد على عائداتهما في تمويل الموازنات العامة وتنفيذ برامج التنمية الاقتصادية والاجتماعية (أبو القاسم، 2022، ص 71).

وفي الحالة الليبية، يحتل النفط والغاز مكانة استثنائية داخل الاقتصاد الوطني، حيث تمتلك ليبيا احتياطيات كبيرة من النفط الخام والغاز الطبيعي مقارنة بعدد السكان، الأمر الذي جعل قطاع النفط يشكل المصدر الرئيس للإيرادات العامة والعملات الأجنبية. وقد ساهم هذا القطاع منذ اكتشاف النفط في ليبيا خلال خمسينيات القرن الماضي في إحداث تحولات اقتصادية واجتماعية واسعة النطاق، انعكست على مختلف القطاعات التنموية (المؤسسة الوطنية للنفط، 2024).

ومن منظور اقتصادي، يُنظر إلى النفط والغاز بوصفهما موردين طبيعيين ناضبين، أي أن احتياطياتهما محدودة وقابلة للاستنزاف مع مرور الزمن. ولذلك تزايدت الدعوات إلى ضرورة الاستخدام الرشيد لهذه الموارد والاستثمار في مصادر الطاقة البديلة والمتجددة لضمان استدامة التنمية وتلبية احتياجات الأجيال القادمة (محمد، 2021، ص 95).

كما أن التطورات الحديثة في قطاع الطاقة أظهرت أهمية التكامل بين النفط والغاز والطاقات المتجددة بدلاً من النظر إليهما كبدائل متنافسة. فالكثير من الشركات النفطية العالمية بدأت في توظيف الطاقة الشمسية وطاقة الرياح داخل عملياتها التشغيلية بهدف تحسين كفاءة الطاقة وتقليل الانبعاثات وتحقيق أهداف الاستدامة البيئية، وهو ما يعكس التحول التدريجي نحو أنظمة طاقة أكثر تنوعاً وكفاءة (International Energy Agency, 2024).

وبناءً على ما سبق، يمكن القول إن النفط والغاز لا يزالان يشكلان العمود الفقري لمنظومة الطاقة العالمية، إلا أن التحديات البيئية والاقتصادية الراهنة تفرض ضرورة تطوير أساليب إنتاجهما واستهلاكهما بما يتوافق مع متطلبات التنمية المستدامة والتحول الطاقي العالمي.

9.1.2 نشأة وتطور صناعة النفط والغاز

ترتبط نشأة صناعة النفط الحديثة بالتحولات الصناعية الكبرى التي شهدها العالم خلال القرن التاسع عشر، حيث تزايدت الحاجة إلى مصادر طاقة فعالة تدعم التوسع الصناعي والنمو الاقتصادي. ورغم معرفة الإنسان بالنفط منذ العصور القديمة واستخدامه في أغراض محدودة، فإن الانطلاقة الحقيقية لصناعة النفط بدأت مع حفر أول بئر نفطي تجاري في ولاية بنسلفانيا الأمريكية سنة 1859 على يد إدوين دريك، وهو الحدث الذي يعد نقطة البداية الفعلية لصناعة النفط الحديثة (ياسين، 2019، ص 41).

وقد ساهم هذا الاكتشاف في جذب الاستثمارات إلى قطاع النفط وظهور شركات متخصصة في عمليات الاستكشاف والإنتاج والتكرير، الأمر الذي أدى إلى تحول النفط تدريجياً إلى مصدر رئيس للطاقة في العالم. ومع انتشار استخدام المحركات البخارية ثم محركات الاحتراق الداخلي، ازدادت أهمية النفط بصورة كبيرة، خاصة بعد التوسع في صناعة السيارات ووسائل النقل المختلفة (الحاج، 2020، ص 66).

وخلال القرن العشرين شهدت صناعة النفط تطوراً متسارعاً نتيجة التقدم التكنولوجي في مجالات الحفر والاستكشاف والنقل والتكرير. كما أدى اكتشاف حقول نفطية ضخمة في مناطق متعددة من العالم، وخاصة في الشرق الأوسط وشمال أفريقيا، إلى تعزيز مكانة النفط كمصدر استراتيجي للطاقة العالمية (العاني، 2021، ص 53).

أما صناعة الغاز الطبيعي فقد تطورت بصورة ملحوظة خلال النصف الثاني من القرن العشرين، حيث ساهمت التطورات التقنية في إنشاء شبكات نقل الغاز ومحطات التسييل وإعادة التغويز في توسيع استخداماته التجارية والصناعية. وأصبح الغاز الطبيعي أحد أهم مصادر الطاقة في العديد من الدول نتيجة كفاءته العالية وانخفاض تأثيراته البيئية مقارنة بمصادر الوقود الأحفوري الأخرى (IEA، 2024).

وفي ليبيا بدأت مرحلة الاستكشاف النفطي بصورة منظمة خلال خمسينيات القرن الماضي، حيث تم منح امتيازات لعدد من الشركات الأجنبية للقيام بأعمال البحث والاستكشاف. وفي عام 1959 تم اكتشاف أول حقل نفطي تجاري بكميات كبيرة، الأمر الذي مثل نقطة تحول تاريخية في الاقتصاد الليبي (المنتصر، 2018، ص 102).

ومع بداية تصدير النفط الليبي في ستينيات القرن الماضي شهد الاقتصاد الوطني نمواً سريعاً، وأصبح النفط المصدر الرئيس للدخل القومي. كما توسعت عمليات الاستكشاف والإنتاج في مختلف المناطق النفطية، وتم إنشاء موانئ وخطوط نقل ومنشآت تخزين وتكرير لدعم تطور الصناعة النفطية الليبية (المؤسسة الوطنية للنفط، 2024).

وخلال العقود اللاحقة تطورت صناعة النفط والغاز في ليبيا من حيث حجم الإنتاج والبنية التحتية والخبرات الفنية، وأصبحت ليبيا من أبرز الدول المنتجة للنفط في أفريقيا، مستفيدة من جودة خامها وقربها النسبي من الأسواق الأوروبية. كما شهد قطاع الغاز الطبيعي توسعاً ملحوظاً من خلال تطوير الحقول الغازية وإنشاء مشروعات تصدير الغاز إلى الخارج (بن خليفة، 2022، ص 84).

ورغم ما حققته الصناعة النفطية الليبية من تطور، فإنها واجهت العديد من التحديات المرتبطة بالأوضاع السياسية والأمنية والتقلبات الاقتصادية العالمية، الأمر الذي أثر في بعض الفترات على مستويات الإنتاج والاستثمار. ومع ذلك لا يزال قطاع النفط والغاز يمثل الركيزة الأساسية للاقتصاد الليبي والمحرك الرئيس لخطط التنمية المستقبلية.

9.2 أهمية قطاع النفط والغاز

9.2.1 الأهمية الاقتصادية لقطاع النفط والغاز

يُعد قطاع النفط والغاز من أهم القطاعات الاقتصادية على المستوى العالمي، نظراً لدوره المحوري في دعم النشاط الاقتصادي وتحقيق التنمية في العديد من الدول المنتجة والمستهلكة للطاقة. وقد اكتسب هذا القطاع أهمية خاصة منذ بدايات الثورة الصناعية، حيث أصبح النفط المصدر الرئيس للطاقة اللازمة لتشغيل المصانع ووسائل النقل ومختلف الأنشطة الاقتصادية، الأمر الذي جعله عنصراً أساسياً في عملية النمو الاقتصادي العالمي (الحاج، 2020، ص 85).

وتتمثل الأهمية الاقتصادية لقطاع النفط والغاز في كونه أحد أهم مصادر الدخل القومي في العديد من الدول، حيث تعتمد الاقتصادات النفطية بشكل كبير على العائدات المتأتية من تصدير النفط الخام والغاز الطبيعي ومشتقاتهما المختلفة. وتستخدم هذه العائدات في تمويل الموازنات العامة للدولة، وتنفيذ مشاريع البنية التحتية، وتوفير الخدمات الأساسية للمواطنين، ودعم برامج التنمية الاقتصادية والاجتماعية (العاني، 2021، ص 92).

ويؤدي قطاع النفط والغاز دوراً بارزاً في زيادة الناتج المحلي الإجمالي للدول المنتجة، إذ يمثل نسبة كبيرة من مساهمة القطاعات الاقتصادية المختلفة في الاقتصاد الوطني. وتزداد هذه المساهمة في الدول التي تمتلك احتياطيات كبيرة من النفط والغاز، حيث يصبح القطاع المحرك الأساسي للنشاط الاقتصادي ومصدراً رئيساً للنقد الأجنبي (أبو القاسم، 2022، ص 104).

وفي الحالة الليبية، يمثل قطاع النفط والغاز العمود الفقري للاقتصاد الوطني، حيث تعتمد الدولة بصورة كبيرة على الإيرادات النفطية في تمويل الإنفاق العام. وتشير التقارير الاقتصادية إلى أن عائدات النفط والغاز تمثل النسبة الأكبر من الصادرات الليبية ومصادر العملة الأجنبية، الأمر الذي يعكس الأهمية الاستراتيجية لهذا القطاع في دعم الاستقرار الاقتصادي للدولة (المؤسسة الوطنية للنفط، 2024).

كما يسهم قطاع النفط والغاز في تعزيز الميزان التجاري للدول المنتجة من خلال زيادة قيمة الصادرات وتقليل العجز التجاري. فالصادرات النفطية تمثل مورداً مهماً للعملات الأجنبية، وتساعد على تمويل الواردات من السلع والخدمات والتقنيات الحديثة اللازمة لدعم عملية التنمية الاقتصادية (محمد، 2021، ص 118).

وتبرز أهمية القطاع كذلك في دوره في جذب الاستثمارات المحلية والأجنبية، حيث تتطلب عمليات الاستكشاف والإنتاج والتكرير والنقل استثمارات مالية ضخمة وتقنيات متقدمة. وتؤدي هذه الاستثمارات إلى تنشيط الاقتصاد الوطني وتوفير فرص جديدة للنمو الاقتصادي، فضلاً عن نقل الخبرات والتقنيات الحديثة إلى الدول المنتجة (السيد، 2021، ص 135).

ومن الجوانب الاقتصادية المهمة أيضاً ارتباط قطاع النفط والغاز بعدد كبير من الصناعات والأنشطة الاقتصادية الأخرى، مثل الصناعات البتروكيميائية وصناعة الأسمدة والبلاستيك والنقل البحري والبري والخدمات اللوجستية. ويسهم هذا الترابط في خلق قيمة مضافة للاقتصاد الوطني وتعزيز التنوع الاقتصادي من خلال إقامة صناعات تحويلية تعتمد على المواد الخام النفطية (العيساوي، 2018، ص 121).

كما يوفر قطاع النفط والغاز مورداً مهماً لتمويل مشاريع التنمية المستدامة، إذ يمكن توجيه جزء من العائدات النفطية للاستثمار في البنية التحتية وقطاعي التعليم والصحة، إضافة إلى تمويل مشاريع الطاقة المتجددة التي تهدف إلى تنويع مصادر الطاقة وتحقيق الاستدامة الاقتصادية على المدى الطويل (International Energy Agency, 2024).

ومن ناحية أخرى، فإن استقرار إنتاج النفط والغاز وأسعارهما ينعكس بصورة مباشرة على الاستقرار الاقتصادي للدول المنتجة، في حين أن تقلبات الأسعار العالمية قد تؤدي إلى تحديات اقتصادية ومالية تؤثر في مستويات الإنفاق والاستثمار. ولذلك تسعى العديد من الدول النفطية إلى تبني استراتيجيات اقتصادية تهدف إلى تنويع مصادر الدخل وتقليل الاعتماد المفرط على الإيرادات النفطية (بن خليفة، 2022، ص 97).

وفي ظل التحولات العالمية نحو الطاقة النظيفة، أصبح من الضروري تعزيز كفاءة قطاع النفط والغاز وتطويره بما يتوافق مع متطلبات التنمية المستدامة، وذلك من خلال تبني التقنيات الحديثة وخفض الانبعاثات والاستفادة من الطاقات المتجددة في العمليات التشغيلية، بما يضمن استمرار مساهمة القطاع في دعم الاقتصاد الوطني وتحقيق التنمية الشاملة.

9.2.2 الأهمية الاجتماعية والتنموية لقطاع النفط والغاز

لا تقتصر أهمية قطاع النفط والغاز على الجوانب الاقتصادية فحسب، بل تمتد لتشمل أبعاداً اجتماعية وتنموية واسعة تؤثر بصورة مباشرة في حياة الأفراد والمجتمعات. فقد ساهمت العائدات النفطية في العديد من الدول في تحسين مستويات المعيشة، وتطوير الخدمات العامة، ودعم برامج التنمية البشرية، الأمر الذي جعل هذا القطاع أحد أهم الأدوات المستخدمة لتحقيق التنمية الاجتماعية والاقتصادية (عبد الحميد، 2019، ص 76).

ويُعد توفير فرص العمل من أبرز الآثار الاجتماعية الإيجابية لقطاع النفط والغاز، حيث يوفر القطاع فرصاً وظيفية مباشرة في مجالات الاستكشاف والإنتاج والنقل والتكرير والصيانة والإدارة، بالإضافة إلى فرص العمل غير المباشرة التي تنشأ في القطاعات المساندة مثل النقل والخدمات والمقاولات والتوريد. ويسهم ذلك في خفض معدلات البطالة وتحسين مستويات الدخل للأفراد والأسر (الشريف، 2020، ص 109).

كما يؤدي قطاع النفط والغاز دوراً مهماً في تنمية الموارد البشرية من خلال برامج التدريب والتأهيل التي تنفذها الشركات النفطية للعاملين فيها. وتساعد هذه البرامج على رفع مستوى الكفاءات الفنية والإدارية وتطوير المهارات المهنية، مما ينعكس إيجاباً على جودة الأداء والإنتاجية في مختلف القطاعات الاقتصادية (السيد، 2021، ص 147).

ومن الجوانب التنموية المهمة مساهمة الإيرادات النفطية في تمويل مشاريع البنية التحتية، مثل إنشاء الطرق والموانئ والمطارات وشبكات الكهرباء والمياه والاتصالات. وتُعد هذه المشاريع أساساً لتحقيق التنمية الاقتصادية والاجتماعية، حيث تسهم في تحسين جودة الحياة وتوفير بيئة مناسبة للاستثمار والنمو الاقتصادي (محمد، 2021، ص 126).

وفي ليبيا، ساهمت العائدات النفطية منذ اكتشاف النفط في تمويل العديد من المشاريع التنموية التي شملت قطاعات التعليم والصحة والإسكان والمواصلات. وقد انعكس ذلك على تحسين مستوى الخدمات العامة وتطوير البنية التحتية في مختلف مناطق البلاد، مما عزز من دور القطاع النفطي في تحقيق التنمية الوطنية (المنتصر، 2018، ص 134).

كما يسهم قطاع النفط والغاز في دعم الخدمات الصحية والتعليمية من خلال توفير الموارد المالية اللازمة لبناء المدارس والجامعات والمستشفيات والمراكز الصحية وتجهيزها بالمعدات الحديثة. ويؤدي ذلك إلى تحسين مؤشرات التنمية البشرية ورفع مستوى الرفاه الاجتماعي للمواطنين (العاني، 2021، ص 118).

ومن الناحية المجتمعية، تعمل العديد من الشركات النفطية على تنفيذ برامج المسؤولية الاجتماعية التي تهدف إلى دعم المجتمعات المحلية المحيطة بالمشروعات النفطية. وتشمل هذه البرامج المساهمة في إنشاء المرافق العامة، ودعم الأنشطة التعليمية والثقافية، وتقديم المساعدات الإنسانية والخدمات الاجتماعية للسكان المحليين (بن خليفة، 2022، ص 113).

كما يلعب قطاع النفط والغاز دوراً مهماً في تعزيز الاستقرار الاجتماعي من خلال توفير الموارد المالية اللازمة للحكومة لتنفيذ برامج الدعم

الاجتماعي وتحسين الخدمات العامة. فكلما ارتفعت الإيرادات النفطية زادت قدرة الدولة على تلبية احتياجات المواطنين وتطوير الخدمات الأساسية التي تسهم في تحقيق الاستقرار والتنمية (أبو القاسم، 2022، ص 128).

ورغم هذه الآثار الإيجابية، فإن الاعتماد المفرط على القطاع النفطي قد يخلق بعض التحديات الاجتماعية والتنموية، خاصة في حالة انخفاض أسعار النفط أو تراجع الإنتاج. ولذلك تؤكد الأدبيات الاقتصادية الحديثة أهمية استثمار العائدات النفطية في بناء اقتصاد متنوع ومستدام قادر على مواجهة التقلبات الاقتصادية المستقبلية (World Bank, 2023).

وفي ضوء التوجهات العالمية الحالية نحو التحول الطاقي، تبرز أهمية توظيف العائدات النفطية في دعم مشاريع الطاقات المتجددة وتطوير التقنيات النظيفة، بما يسهم في تحقيق تنمية مستدامة ومتوازنة تجمع بين الاستفادة من الموارد النفطية الحالية وضمان أمن الطاقة للأجيال القادمة. ومن ثم فإن قطاع النفط والغاز لا يمثل مجرد مصدر للدخل، بل يُعد أداة استراتيجية لتحقيق التنمية الاقتصادية والاجتماعية الشاملة إذا ما أُحسن استغلال موارده وإدارتها بصورة رشيدة.

9.3 استهلاك الطاقة في العمليات النفطية

9.3.1 مراحل العمليات النفطية

تُعد الصناعة النفطية من أكثر الصناعات استهلاكاً للطاقة على مستوى العالم، نظراً لتعدد المراحل التي يمر بها النفط والغاز منذ عمليات الاستكشاف وحتى وصول المنتجات النهائية إلى المستهلك. وتتطلب هذه المراحل استخدام كميات كبيرة من الطاقة الكهربائية والحرارية لتشغيل المعدات والآلات والمنشآت المختلفة، الأمر الذي يجعل تحسين كفاءة الطاقة من القضايا المهمة في إدارة القطاع النفطي وتحقيق الاستدامة الاقتصادية والبيئية (العيساوي، 2018، ص 145).

وتبدأ الصناعة النفطية بمرحلة الاستكشاف التي تهدف إلى البحث عن المكامن النفطية والغازية المحتملة. وتشمل هذه المرحلة إجراء الدراسات الجيولوجية والجيوفيزيائية والمسوح الزلزالية وتحليل البيانات المتعلقة بالتركيب الجيولوجي للمناطق المستهدفة. وتتطلب هذه الأنشطة استخدام معدات متخصصة وأجهزة استشعار متطورة تحتاج إلى مصادر طاقة لتشغيلها، سواء في المناطق البرية أو البحرية (الحاج، 2020، ص 121).

وتأتي بعد ذلك مرحلة الحفر التي تُعد من أكثر مراحل الصناعة النفطية تعقيداً من الناحية الفنية. ففي هذه المرحلة يتم استخدام أجهزة حفر ضخمة تعمل بالطاقة الكهربائية أو الوقود لتجهيز الآبار والوصول إلى المكامن النفطية. وتستهلك عمليات الحفر كميات كبيرة من الطاقة نتيجة تشغيل المضخات وأجهزة الرفع وأنظمة تدوير سوائل الحفر وغيرها من المعدات المساندة (السيد، 2021، ص 162).

أما مرحلة الإنتاج فتشمل استخراج النفط والغاز من المكامن ونقلهما إلى منشآت المعالجة الأولية. وفي بعض الحقول يتدفق النفط بصورة طبيعية نتيجة الضغط الموجود داخل المكمن، بينما تحتاج حقول أخرى إلى استخدام تقنيات الرفع الاصطناعي مثل المضخات الغاطسة أو مضخات القضبان، وهي أنظمة تعتمد بشكل كبير على الطاقة الكهربائية لتشغيلها (محمد، 2021، ص 138).

وتُعد مرحلة معالجة النفط والغاز من المراحل المهمة داخل الصناعة النفطية، حيث يتم فصل النفط الخام عن الماء والغاز والشوائب الأخرى قبل نقله إلى المصافي أو موانئ التصدير. وتتطلب هذه العمليات تشغيل معدات الفصل والضغط والتسخين والتبريد، مما يؤدي إلى استهلاك كميات كبيرة من الطاقة الكهربائية والحرارية (عبد الحميد، 2019، ص 124).

وبعد المعالجة تأتي مرحلة النقل والتخزين التي يتم خلالها نقل النفط والغاز عبر خطوط الأنابيب أو الناقلات البحرية أو الشاحنات إلى مواقع التكرير أو التصدير. وتعتمد هذه المرحلة على محطات الضخ والضغط التي تستهلك كميات معتبرة من الطاقة لضمان استمرار تدفق النفط والغاز عبر شبكات النقل المختلفة (الشريف، 2020، ص 132).

أما مرحلة التكرير فتُعد من أكثر المراحل استهلاكاً للطاقة، حيث يتم تحويل النفط الخام إلى منتجات متنوعة مثل البنزين والديزل ووقود الطائرات والزيوت الصناعية. وتتطلب عمليات التكرير درجات حرارة وضغوطاً مرتفعة وتشغيل وحدات صناعية معقدة، مما يجعلها من أكبر المستهلكين للطاقة داخل سلسلة القيمة النفطية (العاني، 2021، ص 143).

كما تشمل الصناعة النفطية العديد من الأنشطة المساندة مثل أنظمة الاتصالات والمراقبة والتحكم والمباني الإدارية والمرافق الخدمية، وهي جميعها تحتاج إلى مصادر مستمرة للطاقة لضمان استقرار العمليات التشغيلية والمحافظة على مستويات الإنتاج المطلوبة (أبو القاسم، 2022، ص 151).

ويُلاحظ أن استهلاك الطاقة يختلف من حقل إلى آخر بحسب طبيعة المكمن النفطي، وحجم الإنتاج، ومستوى التكنولوجيا المستخدمة، والظروف البيئية المحيطة. فبعض الحقول الواقعة في المناطق الصحراوية البعيدة تحتاج إلى إنشاء أنظمة مستقلة لتوليد الطاقة، مما يزيد من أهمية البحث عن بدائل مستدامة وفعالة لتلبية احتياجاتها الطاقية (World Bank, 2023).

ومن هنا تبرز أهمية تطوير تقنيات حديثة تسهم في خفض استهلاك الطاقة وتحسين كفاءة العمليات النفطية، خاصة في ظل التحديات البيئية والاقتصادية المرتبطة بارتفاع تكاليف الوقود والانبعاثات الكربونية. وقد اتجهت العديد من الشركات النفطية العالمية خلال السنوات الأخيرة إلى دمج مصادر الطاقة المتجددة ضمن عملياتها التشغيلية بهدف تعزيز الاستدامة وتحقيق وفورات اقتصادية على المدى الطويل (International Energy Agency, 2024).

9.3.2 متطلبات الطاقة في القطاع النفطي

تتطلب العمليات النفطية بمختلف مراحلها توفير كميات كبيرة من الطاقة لضمان استمرار الإنتاج وتحقيق الكفاءة التشغيلية المطلوبة. وتُستخدم الطاقة في تشغيل المعدات والآلات والأنظمة المختلفة التي تعتمد عليها الصناعة النفطية، مما يجعلها أحد أهم عناصر التكلفة التشغيلية داخل هذا القطاع الحيوي (محمد، 2021، ص 145).

وتُعد الطاقة الكهربائية من أهم أشكال الطاقة المستخدمة في القطاع النفطي، حيث تدخل في تشغيل المضخات والمحركات وأجهزة التحكم والاتصالات وأنظمة الإضاءة والتبريد والتكييف. كما تعتمد العديد من الحقول النفطية الحديثة على الأنظمة الرقمية وتقنيات الأتمتة التي تتطلب إمدادات كهربائية مستقرة وموثوقة لضمان استمرارية العمل بكفاءة عالية (السيد، 2021، ص 170).

ومن المتطلبات الأساسية للطاقة في القطاع النفطي تشغيل أنظمة الرفع الاصطناعي المستخدمة في استخراج النفط من الآبار التي لا تمتلك ضغطاً طبيعياً كافياً. وتحتاج هذه الأنظمة إلى كميات كبيرة من الكهرباء لتشغيل المضخات والمحركات المرتبطة بها، مما يجعلها من أكثر التطبيقات استهلاكاً للطاقة داخل الحقول النفطية (العيساوي، 2018، ص 154).

كما تتطلب عمليات ضغط الغاز الطبيعي ونقله عبر خطوط الأنابيب استخدام ضواغط ذات قدرات عالية تعمل بالطاقة الكهربائية أو الوقود. وتُعد هذه العمليات ضرورية للحفاظ على تدفق الغاز وضمان وصوله إلى مراكز المعالجة أو التصدير وفق المعدلات المطلوبة (الحاج، 2020، ص 136).

وتحتاج منشآت المعالجة والتكرير إلى كميات كبيرة من الطاقة الحرارية المستخدمة في عمليات التسخين والتقطير والتكسير الحراري. وتُنتج هذه الطاقة غالباً من حرق الوقود الأحفوري، الأمر الذي يؤدي إلى انبعاث كميات كبيرة من ثاني أكسيد الكربون والغازات الأخرى المرتبطة بالتغير المناخي (العاني، 2021، ص 151).

ومن المتطلبات المهمة أيضاً توفير الطاقة اللازمة لتشغيل أنظمة المراقبة والتحكم والاتصالات التي تُستخدم لمتابعة أداء المعدات وضمان سلامة

العمليات النفطية. وتكتسب هذه الأنظمة أهمية خاصة في الحقول النائية التي يصعب الوصول إليها بصورة مستمرة، حيث تعتمد على أجهزة استشعار ومحطات اتصالات تحتاج إلى مصدر طاقة دائم وموثوق (أبو القاسم، 2022، ص 163).

وفي ليبيا، تواجه بعض الحقول النفطية الواقعة في المناطق الصحراوية تحديات تتعلق بتوفير الكهرباء بصورة مستمرة، خاصة في المواقع البعيدة عن الشبكات العامة. ويؤدي ذلك إلى الاعتماد على مولدات الديزل لتلبية الاحتياجات الطاقية، وهو ما يرفع من تكاليف التشغيل والصيانة ويزيد من الانبعاثات البيئية (المؤسسة الوطنية للنفط، 2024).

وقد دفعت هذه التحديات العديد من الشركات النفطية العالمية إلى البحث عن حلول بديلة تعتمد على مصادر الطاقة المتجددة، وخاصة الطاقة الشمسية، لتشغيل بعض المرافق النفطية وتقليل الاعتماد على الوقود التقليدي. وتُظهر التجارب الحديثة أن دمج الطاقة الشمسية في تشغيل المضخات ومحطات الاتصالات وأنظمة المراقبة يمكن أن يحقق وفورات اقتصادية ملموسة ويسهم في خفض الانبعاثات الكربونية (IRENA, 2024).

كما أن الاعتماد على مصادر الطاقة المتجددة داخل القطاع النفطي يساعد في تعزيز أمن الطاقة وتحسين استدامة العمليات التشغيلية، خاصة في المناطق النائية التي يصعب تزويدها بالطاقة من الشبكات التقليدية. وتزداد أهمية هذا التوجه في الدول التي تمتلك إمكانات كبيرة للطاقة الشمسية مثل ليبيا، حيث يمكن استغلال الظروف المناخية المناسبة لتوفير جزء من احتياجات القطاع النفطي من الطاقة النظيفة (هيئة أبحاث العلوم الطبيعية والتكنولوجيا، 2023).

وبناءً على ما سبق، يتضح أن متطلبات الطاقة في القطاع النفطي تمثل تحدياً رئيسياً يتطلب تبني حلول مبتكرة تضمن استمرارية العمليات وخفض التكاليف وتقليل التأثيرات البيئية. ومن هنا تبرز أهمية دراسة إمكانات الطاقات المتجددة ودورها في دعم القطاع النفطي، وهو ما سيتم تناوله الأن

10. الطاقات المتجددة

شهد العالم خلال العقود الأخيرة اهتماماً متزايداً بالطاقات المتجددة نتيجة التحديات المتصاعدة المرتبطة بالنمو السكاني والتوسع الصناعي وارتفاع الطلب على الطاقة من جهة، وتزايد المخاوف البيئية الناتجة عن الاعتماد المكثف على الوقود الأحفوري من جهة أخرى. وقد دفعت هذه التحديات العديد من الدول إلى تبني سياسات واستراتيجيات تهدف إلى تنويع مصادر الطاقة وتعزيز الاعتماد على الموارد المتجددة باعتبارها أحد الحلول الفعالة لتحقيق التنمية المستدامة وتقليل الانبعاثات الضارة بالبيئة (IRENA، 2024).

وتُعرف الطاقات المتجددة بأنها مصادر الطاقة التي تتجدد بصورة طبيعية ومستمرة ولا تتعرض للنضوب في المدى المنظور، مثل الطاقة الشمسية وطاقة الرياح والطاقة المائية والطاقة الحيوية والطاقة الحرارية الأرضية. وتمتاز هذه المصادر بكونها أقل تأثيراً على البيئة مقارنة بمصادر الطاقة التقليدية، كما تسهم في تعزيز أمن الطاقة وتقليل الاعتماد على الوقود الأحفوري (السيد، 2021، ص 201).

وتكتسب الطاقات المتجددة أهمية خاصة في الدول التي تمتلك موارد طبيعية ملائمة لتطوير هذا القطاع، ومن بينها ليبيا التي تتمتع بمعدلات مرتفعة من الإشعاع الشمسي ومساحات واسعة من الأراضي المفتوحة، مما يجعلها من الدول الواعدة في مجال استغلال الطاقة الشمسية. ومن هذا المنطلق يتناول هذا المبحث مفهوم الطاقات المتجددة وأنواعها، مع التركيز على الطاقة الشمسية وتطبيقاتها المختلفة، إضافة إلى استعراض واقع الطاقات المتجددة في ليبيا وآفاق تطويرها مستقبلاً.

10.1 مفهوم الطاقات المتجددة وأنواعها

10.1.1 مفهوم الطاقات المتجددة

تُعد الطاقة من أهم الركائز الأساسية التي تقوم عليها حياة الإنسان والأنشطة الاقتصادية والاجتماعية المختلفة، إذ ترتبط ارتباطاً وثيقاً بعمليات التنمية والإنتاج وتحسين مستوى المعيشة. ومع تزايد الطلب العالمي على الطاقة نتيجة النمو السكاني والتوسع الصناعي والتكنولوجي، برزت الحاجة إلى البحث عن مصادر بديلة ومستدامة للطاقة تكون قادرة على تلبية الاحتياجات المتزايدة دون التسبب في أضرار بيئية جسيمة أو استنزاف الموارد الطبيعية المحدودة (عبد الحميد، 2019، ص 182).

وفي هذا الإطار ظهر مفهوم الطاقات المتجددة باعتباره أحد أهم المفاهيم المرتبطة بمستقبل الطاقة والتنمية المستدامة. ويُقصد بالطاقات المتجددة تلك المصادر الطبيعية للطاقة التي تتجدد بصورة مستمرة بفعل الظواهر الطبيعية، بحيث لا تنضب نتيجة الاستخدام البشري خلال الفترات الزمنية المعتادة، بخلاف مصادر الطاقة التقليدية كالنفط والغاز والفحم التي تُعد موارد ناضبة تتطلب ملايين السنين لتكوينها من جديد (العيساوي، 2018، ص 171).

وتعرف الوكالة الدولية للطاقة المتجددة الطاقات المتجددة بأنها الطاقة المستمدة من العمليات الطبيعية التي تتجدد باستمرار، مثل أشعة الشمس والرياح والمياه والكتلة الحيوية والطاقة الحرارية الأرضية، والتي يمكن استغلالها لإنتاج الكهرباء أو الحرارة أو الوقود بصورة مستدامة وصديقة للبيئة (IRENA، 2024).

وقد اكتسبت الطاقات المتجددة أهمية متزايدة خلال العقود الأخيرة نتيجة مجموعة من العوامل الاقتصادية والبيئية والاستراتيجية. فمن الناحية البيئية، ساهمت المخاوف المرتبطة بالتغير المناخي والاحتباس الحراري في تعزيز التوجه العالمي نحو الطاقة النظيفة، حيث تُعد الطاقات المتجددة من أقل مصادر الطاقة المسببة لانبعاثات الغازات الدفيئة مقارنة بالوقود الأحفوري (World Bank, 2023).

أما من الناحية الاقتصادية، فإن الطاقات المتجددة تسهم في تنويع مصادر الطاقة وتقليل الاعتماد على الواردات النفطية، كما تساعد في تحقيق الاستقرار الطاقي وتقليل المخاطر الناتجة عن تقلبات أسعار الوقود التقليدي في الأسواق العالمية. وقد أدت التطورات التكنولوجية الحديثة إلى انخفاض تكاليف إنتاج الكهرباء من مصادر متجددة، الأمر الذي عزز من قدرتها التنافسية مقارنة بمصادر الطاقة التقليدية (International Energy Agency, 2024).

وتتمثل إحدى أهم مزايا الطاقات المتجددة في كونها موارد محلية متاحة في العديد من الدول، مما يتيح إمكانية استغلالها لتحقيق الاكتفاء الذاتي من الطاقة وتعزيز أمن الطاقة الوطني. كما تسهم مشاريع الطاقة المتجددة في خلق فرص عمل جديدة ودعم الابتكار التكنولوجي وتحفيز الاستثمار في القطاعات المرتبطة بالطاقة النظيفة (السيد، 2021، ص 208).

وتبرز أهمية الطاقات المتجددة أيضاً في دعم أهداف التنمية المستدامة التي أقرتها الأمم المتحدة، وخاصة الأهداف المتعلقة بالطاقة النظيفة والعمل المناخي والنمو الاقتصادي المستدام. وقد أصبحت الطاقات المتجددة أحد المحاور الرئيسة في الخطط والاستراتيجيات الوطنية للطاقة في العديد من دول العالم، سواء المتقدمة أو النامية (الأمم المتحدة، 2023).

وفي الدول المنتجة للنفط والغاز، لا يُنظر إلى الطاقات المتجددة باعتبارها بديلاً كاملاً للموارد الهيدروكربونية، وإنما باعتبارها شريكاً استراتيجياً يمكن أن يسهم في تحسين كفاءة الطاقة وتقليل استهلاك الوقود الأحفوري داخل القطاعات المختلفة. ولذلك بدأت العديد من الشركات النفطية الكبرى في الاستثمار في مشاريع الطاقة المتجددة ودمجها ضمن عملياتها التشغيلية بهدف تحقيق أهداف الاستدامة البيئية وخفض الانبعاثات الكربونية (International Energy Agency, 2024).

وفي ليبيا، تزداد أهمية الطاقات المتجددة نتيجة ما تتمتع به البلاد من إمكانات طبيعية كبيرة، وخاصة في مجال الطاقة الشمسية، حيث تُعد من أعلى دول العالم من حيث معدلات الإشعاع الشمسي وساعات السطوع السنوية. وتمثل هذه الموارد فرصة مهمة لدعم قطاع الطاقة والمساهمة في

تنويع الاقتصاد الوطني وتحقيق التنمية المستدامة على المدى الطويل (هيئة أبحاث العلوم الطبيعية والتكنولوجيا، 2023).

ومن خلال ما سبق يمكن القول إن الطاقات المتجددة أصبحت تمثل أحد أهم الخيارات الاستراتيجية لمواجهة التحديات المستقبلية المرتبطة بالطاقة والبيئة، وأن دورها في الاقتصاد العالمي يتزايد بصورة مستمرة مع التقدم التكنولوجي وتنامي الاهتمام الدولي بقضايا الاستدامة والتحول الطاقي.

10.1.2 أنواع الطاقات المتجددة

تتعدد مصادر الطاقات المتجددة وتتنوع وفقاً للموارد الطبيعية المتاحة في البيئة المحيطة، وقد أسهم التطور العلمي والتكنولوجي في توسيع نطاق الاستفادة من هذه المصادر وتحويلها إلى أشكال مختلفة من الطاقة القابلة للاستخدام في إنتاج الكهرباء والتدفئة والتبريد وتشغيل المنشآت الصناعية والخدمية. وتختلف أهمية كل مصدر من مصادر الطاقة المتجددة بحسب الظروف الطبيعية والجغرافية والاقتصادية لكل دولة (محمد، 2021، ص 174).

أولاً: الطاقة الشمسية

تُعد الطاقة الشمسية من أكثر مصادر الطاقة المتجددة انتشاراً وأسرعها نمواً على المستوى العالمي، نظراً لتوافر أشعة الشمس في معظم مناطق العالم وإمكانية استغلالها بوسائل تقنية متعددة. ويتم استخدام الطاقة الشمسية في إنتاج الكهرباء من خلال الخلايا الكهروضوئية أو من خلال الأنظمة الشمسية الحرارية التي تعتمد على تركيز أشعة الشمس لإنتاج الحرارة والطاقة الكهربائية (عبد الحميد، 2019، ص 196).

وتتميز الطاقة الشمسية بانخفاض تكاليف التشغيل والصيانة بعد التركيب، إضافة إلى عدم إصدارها ملوثات بيئية أثناء التشغيل. كما تُعد من أكثر مصادر الطاقة ملاءمة للدول الصحراوية ذات الإشعاع الشمسي المرتفع مثل ليبيا (IRENA، 2024).

ثانياً: طاقة الرياح

تعتمد طاقة الرياح على تحويل الطاقة الحركية للهواء إلى طاقة كهربائية باستخدام توربينات الرياح. وقد شهد هذا القطاع نمواً كبيراً خلال العقود الأخيرة نتيجة التقدم في تقنيات تصنيع التوربينات وتحسين كفاءتها التشغيلية (السيد، 2021، ص 215).

وتُستخدم طاقة الرياح في العديد من الدول لتوليد الكهرباء على نطاق واسع، خاصة في المناطق الساحلية والمفتوحة التي تتميز بسرعة رياح مناسبة. وتتميز هذه الطاقة بانخفاض تأثيرها البيئي وعدم حاجتها إلى وقود أثناء التشغيل (العيساوي، 2018، ص 184).

ثالثاً: الطاقة الكهرومائية

تُعد الطاقة الكهرومائية من أقدم مصادر الطاقة المتجددة المستخدمة في إنتاج الكهرباء، حيث تعتمد على استغلال حركة المياه في الأنهار والسدود لتشغيل التوربينات الكهربائية. وتتميز هذه الطاقة بقدرتها على إنتاج كميات كبيرة من الكهرباء بكفاءة عالية، إلا أن تطبيقها يعتمد على توفر الموارد المائية المناسبة (الحاج، 2020، ص 176).

وقد أسهمت محطات الطاقة الكهرومائية في تلبية جزء كبير من احتياجات الطاقة في العديد من الدول، كما تمتاز بانخفاض انبعاثاتها الكربونية مقارنة بمحطات الوقود الأحفوري (World Bank, 2023).

رابعاً: طاقة الكتلة الحيوية

يقصد بالكتلة الحيوية المواد العضوية ذات الأصل النباتي أو الحيواني التي يمكن استخدامها لإنتاج الطاقة. وتشمل المخلفات الزراعية والحيوانية والنفايات العضوية، حيث يتم تحويلها إلى وقود حيوي أو طاقة حرارية أو كهربائية من خلال عمليات مختلفة مثل الاحتراق أو التخمر أو التحلل الحيوي (محمد، 2021، ص 188).

وتُعد طاقة الكتلة الحيوية من المصادر المهمة للطاقة المتجددة في العديد من الدول الزراعية، كما تسهم في تقليل النفايات وتحقيق الاستفادة الاقتصادية منها (الشريف، 2020، ص 171).

خامساً: الطاقة الحرارية الأرضية

تعتمد الطاقة الحرارية الأرضية على استغلال الحرارة المخزنة داخل باطن الأرض لإنتاج الكهرباء أو توفير التدفئة. ويتم استخدام هذه الطاقة في المناطق التي تحتوي على نشاط حراري أرضي مرتفع، مثل المناطق البركانية والينابيع الحارة (العاني، 2021، ص 183).

ورغم محدودية انتشارها مقارنة بالطاقة الشمسية والرياح، فإنها تُعد من المصادر المستقرة للطاقة المتجددة، حيث يمكن إنتاج الطاقة منها بصورة مستمرة على مدار العام (International Energy Agency, 2024).

ومن خلال استعراض أنواع الطاقات المتجددة يتضح أن الطاقة الشمسية تُعد المصدر الأكثر ملاءمة للبيئة الليبية نظراً لتوافر مقوماتها الطبيعية بشكل كبير، وهو ما يبرر التركيز عليها في هذه الدراسة باعتبارها الخيار الأكثر قابلية للتطبيق داخل قطاع النفط والغاز الليبي.

10.2 الطاقة الشمسية وتطبيقاتها

10.2.1 مفهوم الطاقة الشمسية وخصائصها

تُعد الطاقة الشمسية من أهم مصادر الطاقة المتجددة وأكثرها انتشاراً على مستوى العالم، نظراً لتوافر أشعة الشمس بصورة مستمرة في معظم مناطق الأرض وإمكانية استغلالها بوسائل وتقنيات متعددة. وقد ازداد الاهتمام بالطاقة الشمسية خلال العقود الأخيرة نتيجة التحديات البيئية المرتبطة بالاعتماد على الوقود الأحفوري، إضافة إلى التطور التكنولوجي الذي أسهم في تحسين كفاءة الأنظمة الشمسية وخفض تكاليف إنتاج الطاقة منها (عبد الحميد، 2019، ص 214).

وتُعرف الطاقة الشمسية بأنها الطاقة الناتجة عن الإشعاع الشمسي الذي يصل إلى سطح الأرض، والذي يمكن تحويله إلى طاقة حرارية أو كهربائية من خلال تقنيات مختلفة. وتُعد الشمس المصدر الأساسي لمعظم أشكال الطاقة الموجودة على سطح الأرض، حيث توفر كميات هائلة من الطاقة تفوق احتياجات البشرية الحالية بأضعاف كثيرة (العيساوي، 2018، ص 196).

وتستمد الطاقة الشمسية أهميتها من كونها مصدراً متجدداً ونظيفاً للطاقة، إذ لا ينتج عن استغلالها انبعاثات ضارة بالبيئة أثناء التشغيل. كما أنها متاحة بصورة مجانية بعد تركيب الأنظمة اللازمة للاستفادة منها، الأمر الذي يجعلها من أكثر الخيارات جاذبية في ظل التوجه العالمي نحو التحول الطاقي وتحقيق الاستدامة البيئية (IRENA, 2024).

وتوجد طريقتان رئيسيتان للاستفادة من الطاقة الشمسية، تتمثل الأولى في الأنظمة الكهروضوئية (Photovoltaic Systems) التي تعتمد على تحويل أشعة الشمس مباشرة إلى كهرباء بواسطة الخلايا الشمسية، بينما تتمثل الثانية في الأنظمة الشمسية الحرارية التي تستخدم الإشعاع الشمسي لإنتاج الحرارة أو توليد الكهرباء من خلال تسخين الموائع وتشغيل التوربينات (السيد، 2021، ص 231).

وتتميز الطاقة الشمسية بمجموعة من الخصائص التي جعلتها تحظى باهتمام متزايد في مختلف دول العالم. ومن أبرز هذه الخصائص أنها مصدر متجدد لا ينضب عملياً، إذ تستمر الشمس في إرسال الطاقة إلى الأرض بصورة يومية. كما أنها طاقة نظيفة لا ينتج عنها تلوث بيئي أثناء التشغيل، الأمر الذي يسهم في الحد من الانبعاثات الكربونية ومواجهة ظاهرة التغير المناخي (محمد، 2021، ص 203).

ومن الخصائص المهمة للطاقة الشمسية إمكانية استخدامها في المناطق النائية والبعيدة عن شبكات الكهرباء التقليدية، حيث يمكن تركيب أنظمة مستقلة لتوفير احتياجات الطاقة دون الحاجة إلى بنية تحتية معقدة. وتكتسب هذه الميزة أهمية خاصة في المناطق الصحراوية والحقول النفطية البعيدة التي يصعب ربطها بالشبكات الكهربائية العامة (الحاج، 2020، ص 194).

كما تتميز الأنظمة الشمسية بانخفاض تكاليف التشغيل والصيانة مقارنة بالعديد من تقنيات إنتاج الطاقة الأخرى، وذلك بسبب قلة الأجزاء المتحركة واعتمادها على مصدر طاقة مجاني يتمثل في أشعة الشمس. وقد أسهم

التطور التقني المستمر في زيادة كفاءة الخلايا الشمسية وتحسين أدائها في الظروف البيئية المختلفة (الشريف، 2020، ص 189).

ورغم المزايا العديدة للطاقة الشمسية، فإنها تواجه بعض التحديات المرتبطة بتغير شدة الإشعاع الشمسي خلال اليوم واختلافها بين الفصول، إضافة إلى الحاجة إلى أنظمة تخزين للطاقة لضمان استمرارية الإمداد الكهربائي في فترات الليل أو عند انخفاض الإشعاع الشمسي. كما أن كفاءة الأنظمة الشمسية قد تتأثر بعوامل بيئية مثل الغبار وارتفاع درجات الحرارة (World Bank, 2023).

وفي ليبيا، تتمتع الطاقة الشمسية بأهمية خاصة نتيجة الموقع الجغرافي المتميز للبلاد، حيث تقع ضمن الحزام الشمسي العالمي وتتميز بمعدلات مرتفعة من الإشعاع الشمسي وساعات سطوع طويلة تصل في بعض المناطق إلى أكثر من 3000 ساعة سنوياً. ويجعل ذلك من ليبيا إحدى الدول الأكثر ملاءمة للاستثمار في مشاريع الطاقة الشمسية على المستويين المحلي والإقليمي (هيئة أبحاث العلوم الطبيعية والتكنولوجيا، 2023).

وتشير العديد من الدراسات إلى أن الطاقة الشمسية يمكن أن تلعب دوراً محورياً في دعم قطاع الطاقة الليبي مستقبلاً، سواء من خلال تلبية الطلب المحلي على الكهرباء أو من خلال توظيفها في القطاعات الصناعية والنفطية المختلفة، الأمر الذي يعزز من فرص تحقيق التنمية المستدامة وتنويع مصادر الطاقة الوطنية (IRENA، 2024).

10.3 تطبيقات الطاقة الشمسية في القطاعات المختلفة والقطاع النفطي

شهدت تطبيقات الطاقة الشمسية توسعاً ملحوظاً خلال العقود الأخيرة نتيجة التطورات التكنولوجية التي أسهمت في تحسين كفاءة الأنظمة الشمسية وتقليل تكاليفها. وقد أصبحت الطاقة الشمسية تُستخدم في العديد من المجالات السكنية والصناعية والزراعية والخدمية، فضلاً عن استخدامها المتزايد داخل قطاع النفط والغاز (السيد، 2021، ص 242).

فعلى المستوى السكني، تُستخدم الطاقة الشمسية في إنتاج الكهرباء للمنازل والمباني السكنية، إضافة إلى تسخين المياه وتشغيل بعض الأجهزة الكهربائية. وقد ساهم انتشار أنظمة الخلايا الشمسية المنزلية في تقليل الاعتماد على الشبكات التقليدية وخفض فواتير الكهرباء في العديد من الدول (عبد الحميد، 2019، ص 228).

أما في القطاع الزراعي، فتُستخدم الطاقة الشمسية في تشغيل مضخات المياه وأنظمة الري الحديثة، خاصة في المناطق الريفية والصحراوية التي تفتقر إلى شبكات الكهرباء. كما تُستخدم في تشغيل البيوت المحمية وتجفيف المنتجات الزراعية وتحسين كفاءة الأنشطة الزراعية المختلفة (العيساوي، 2018، ص 213).

وفي القطاع الصناعي، تدخل الطاقة الشمسية في تشغيل بعض العمليات الإنتاجية وتوفير الكهرباء للمصانع والمنشآت الصناعية، إضافة إلى استخدامها في الأنظمة الحرارية اللازمة لبعض الصناعات. وقد أسهم ذلك في خفض تكاليف الطاقة وتقليل الانبعاثات البيئية المرتبطة بالأنشطة الصناعية (محمد، 2021، ص 217).

كما تُستخدم الطاقة الشمسية في قطاع الاتصالات لتشغيل محطات البث وأبراج الاتصالات في المناطق النائية، وكذلك في تشغيل أنظمة الإضاءة العامة وإشارات المرور ومحطات تحلية المياه وغيرها من التطبيقات الخدمية التي تتطلب مصدراً موثوقاً للطاقة (الحاج، 2020، ص 208).

أما فيما يتعلق بالقطاع النفطي، فقد أصبح استخدام الطاقة الشمسية أحد الاتجاهات الحديثة التي تتبناها العديد من الشركات النفطية العالمية في إطار جهودها الرامية إلى تحسين كفاءة الطاقة وتقليل الانبعاثات الكربونية. وقد أثبتت التجارب الدولية نجاح استخدام الطاقة الشمسية في العديد من التطبيقات النفطية المختلفة (International Energy Agency, 2024).

ومن أبرز تطبيقات الطاقة الشمسية في القطاع النفطي تشغيل المضخات المستخدمة في استخراج النفط، حيث يمكن تزويد المضخات بالطاقة الكهربائية المنتجة من الأنظمة الشمسية بدلاً من الاعتماد الكامل على مولدات الديزل أو الشبكات التقليدية. ويساعد ذلك في خفض استهلاك الوقود وتقليل تكاليف التشغيل والصيانة (World Bank, 2023).

كما تُستخدم الطاقة الشمسية في تشغيل أنظمة المراقبة والتحكم وأجهزة الاستشعار المنتشرة في الحقول النفطية، خاصة في المواقع النائية التي يصعب ربطها بمصادر الطاقة التقليدية. وتُعد هذه التطبيقات من أكثر المجالات نجاحاً في توظيف الطاقة الشمسية داخل الصناعة النفطية (الشريف، 2020، ص 201).

ومن التطبيقات المهمة أيضاً استخدام الطاقة الشمسية في تشغيل محطات الاتصالات ومراكز البيانات والمرافق الخدمية داخل الحقول النفطية، بما في ذلك المباني الإدارية وورش الصيانة ومرافق الإقامة. ويسهم ذلك في تقليل الأحمال الكهربائية وتحسين كفاءة استخدام الطاقة داخل المنشآت النفطية (العاني، 2021، ص 206).

كما اتجهت بعض الشركات العالمية إلى استخدام الطاقة الشمسية الحرارية في توفير الحرارة اللازمة لبعض العمليات الصناعية المرتبطة بإنتاج النفط والغاز، وهو ما يعزز من فرص دمج الطاقات المتجددة في مختلف مراحل الصناعة النفطية (IRENA, 2024).

وفي ليبيا، تمثل الطاقة الشمسية خياراً واعداً لتلبية جزء من احتياجات الحقول النفطية الواقعة في المناطق الصحراوية البعيدة، حيث تتوافر الظروف المناخية المناسبة لإنتاج الطاقة الشمسية بكفاءة عالية. ويمكن أن يسهم ذلك في تقليل الاعتماد على مولدات الوقود التقليدية وخفض التكاليف التشغيلية وتحسين الأداء البيئي للقطاع النفطي (هيئة أبحاث العلوم الطبيعية والتكنولوجيا، 2023).

ومن ثم يتضح أن الطاقة الشمسية لا تقتصر أهميتها على إنتاج الكهرباء فحسب، بل تمتد لتشمل مجموعة واسعة من التطبيقات الاقتصادية والصناعية، وفي مقدمتها القطاع النفطي الذي يمكن أن يستفيد بصورة كبيرة من إمكانات هذه التكنولوجيا في دعم الاستدامة وتحسين كفاءة الطاقة.

10.4 واقع الطاقات المتجددة في ليبيا

10.4.1 مقومات وإمكانات الطاقات المتجددة في ليبيا

تتمتع ليبيا بمقومات طبيعية وجغرافية تجعلها من الدول الواعدة في مجال الطاقات المتجددة، خاصة الطاقة الشمسية التي تُعد من أكثر مصادر الطاقة المتجددة ملاءمة للبيئة الليبية. ويرجع ذلك إلى الموقع الجغرافي المتميز للبلاد ضمن الحزام الشمسي العالمي، حيث تمتد ليبيا على مساحة واسعة تقدر بنحو 1.76 مليون كيلومتر مربع، وتغطي المناطق الصحراوية الجزء الأكبر من أراضيها، الأمر الذي يهيئ ظروفاً مثالية لاستقبال كميات كبيرة من الإشعاع الشمسي على مدار العام (هيئة أبحاث العلوم الطبيعية والتكنولوجيا، 2023).

وتشير الدراسات إلى أن ليبيا تُعد من بين الدول ذات المعدلات المرتفعة للإشعاع الشمسي، حيث يتراوح متوسط الإشعاع الشمسي اليومي بين 5 و7 كيلوواط ساعة لكل متر مربع في معظم المناطق، كما تتجاوز ساعات سطوع الشمس 3000 ساعة سنوياً في العديد من المناطق الصحراوية، وهي معدلات تفوق ما هو متاح في العديد من الدول التي حققت نجاحاً كبيراً في استثمار الطاقة الشمسية (عبد الحميد، 2019، ص 251).

وتوفر هذه الظروف الطبيعية فرصاً واسعة لإنشاء مشاريع الطاقة الشمسية بمختلف أنواعها، سواء أنظمة الخلايا الكهروضوئية أو محطات الطاقة الشمسية الحرارية. كما أن المساحات الشاسعة غير المستغلة في المناطق الصحراوية تمثل ميزة إضافية تسمح بإقامة مشروعات كبيرة الحجم دون التأثير على الأنشطة الاقتصادية الأخرى أو التجمعات السكانية (محمد، 2021، ص 236).

إلى جانب الطاقة الشمسية، تمتلك ليبيا إمكانات واعدة في مجال طاقة الرياح، خاصة في المناطق الساحلية وبعض المناطق المرتفعة التي تتميز بسرعات رياح مناسبة لتشغيل التوربينات الهوائية. وقد أظهرت الدراسات

التي أجريت في عدد من المناطق الليبية إمكانية الاستفادة من طاقة الرياح في إنتاج الكهرباء ودعم الشبكة العامة للطاقة (العيساوي، 2018، ص 228).

كما تمتلك ليبيا إمكانات محدودة في بعض مصادر الطاقة المتجددة الأخرى، مثل الطاقة الحيوية الناتجة عن المخلفات الزراعية والحيوانية والنفايات الصلبة، إلا أن الاستفادة منها لا تزال في مراحلها الأولى مقارنة بالطاقة الشمسية التي تحظى بالأولوية نظراً لتوافر مواردها الطبيعية بشكل أكبر (السيد، 2021، ص 259).

وقد بدأت الدولة الليبية خلال السنوات الماضية في إظهار اهتمام متزايد بقطاع الطاقات المتجددة من خلال إعداد عدد من الخطط والاستراتيجيات الهادفة إلى تنويع مصادر الطاقة وتقليل الاعتماد على الوقود الأحفوري. كما تم إنشاء عدد من المؤسسات والهيئات المعنية بتطوير مشاريع الطاقة المتجددة ودراسة إمكانات توظيفها في دعم التنمية الوطنية (الهيئة العامة للكهرباء والطاقات المتجددة، 2023).

وتبرز أهمية الطاقات المتجددة في ليبيا بصورة خاصة في ظل النمو المتزايد في الطلب على الكهرباء وما تواجهه الشبكة الكهربائية من تحديات تتعلق بالإنتاج والتوزيع. ويمكن لمشاريع الطاقة المتجددة أن تسهم في تخفيف الضغط على الشبكة العامة وتحسين مستوى الخدمات الكهربائية في مختلف المناطق، خاصة في المناطق النائية والبعيدة عن مراكز الإنتاج الرئيسية (World Bank, 2023).

كما يمكن أن تلعب الطاقات المتجددة دوراً مهماً في دعم القطاع النفطي الليبي، من خلال استخدام الطاقة الشمسية في تشغيل بعض المرافق النفطية الواقعة في المناطق الصحراوية، وهو ما يساهم في تقليل استهلاك الوقود التقليدي وخفض تكاليف التشغيل وتحسين الأداء البيئي للقطاع (IRENA, 2024).

وعلى المستوى الاقتصادي، تتيح مشاريع الطاقات المتجددة فرصاً مهمة لجذب الاستثمارات المحلية والأجنبية، ونقل التكنولوجيا الحديثة، وتوفير فرص عمل جديدة في مجالات التصميم والتركيب والتشغيل والصيانة. كما تسهم في تعزيز أمن الطاقة الوطني وتحقيق قدر أكبر من الاستقلالية في توفير احتياجات الطاقة مستقبلاً (الحاج، 2020، ص 227).

وبناءً على ما سبق، يتضح أن ليبيا تمتلك مقومات طبيعية واقتصادية تجعلها من الدول المؤهلة للاستفادة من الطاقات المتجددة بصورة واسعة، الأمر الذي يوفر قاعدة قوية لدعم التحول نحو منظومة طاقة أكثر استدامة وتوازناً خلال السنوات القادمة

10.4.2 التحديات والآفاق المستقبلية للطاقات المتجددة في ليبيا

على الرغم من الإمكانات الكبيرة التي تمتلكها ليبيا في مجال الطاقات المتجددة، فإن تطوير هذا القطاع لا يزال يواجه مجموعة من التحديات التي تحد من سرعة انتشاره واستثماره بالشكل المطلوب. وتتنوع هذه التحديات بين الجوانب الفنية والاقتصادية والتشريعية والمؤسسية، مما يتطلب جهوداً متكاملة لمعالجتها والاستفادة من الفرص المتاحة (محمد، 2021، ص 242).

ومن أبرز التحديات التي تواجه قطاع الطاقات المتجددة في ليبيا محدودية الاستثمارات الموجهة إلى هذا المجال مقارنة بالاستثمارات المخصصة لقطاع النفط والغاز. ويرجع ذلك إلى ارتفاع التكاليف الأولية لإنشاء المشاريع المتجددة، إضافة إلى الحاجة إلى بنية تحتية داعمة وآليات تمويل مناسبة تشجع المستثمرين على الدخول في هذا القطاع (السيد، 2021، ص 266).

كما تمثل الجوانب التشريعية والتنظيمية أحد التحديات المهمة، حيث يتطلب تطوير مشاريع الطاقات المتجددة وجود إطار قانوني واضح ينظم عمليات الاستثمار والإنتاج والتوزيع وربط المشاريع بالشبكة الكهربائية. ويُعد استقرار البيئة التشريعية عاملاً أساسياً لجذب الاستثمارات وتعزيز الثقة في هذا القطاع (العاني، 2021، ص 218).

وتواجه ليبيا أيضاً تحديات فنية تتعلق بالحاجة إلى تطوير الكفاءات الوطنية المتخصصة في مجالات الطاقة المتجددة، إذ يتطلب تصميم وتشغيل وصيانة الأنظمة المتجددة خبرات ومهارات تقنية متقدمة. ومن ثم تبرز أهمية دعم برامج التعليم والتدريب والبحث العلمي لتأهيل الكوادر الوطنية القادرة على قيادة هذا القطاع مستقبلاً (عبد الحميد، 2019، ص 263).

ومن التحديات الأخرى محدودية مشاريع البحث والتطوير في مجال الطاقات المتجددة مقارنة بالدول المتقدمة، الأمر الذي قد يؤثر في سرعة تبني التقنيات الحديثة والاستفادة من الابتكارات الجديدة. ولذلك يُعد تعزيز التعاون بين الجامعات ومراكز البحث والمؤسسات الصناعية خطوة مهمة لدعم التطور العلمي والتقني في هذا المجال (الشريف، 2020، ص 216).

ورغم هذه التحديات، فإن الآفاق المستقبلية للطاقات المتجددة في ليبيا تبدو واعدة في ظل توافر الموارد الطبيعية الملائمة والاهتمام المتزايد عالمياً بالطاقة النظيفة. وتشير العديد من الدراسات إلى أن الطاقة الشمسية يمكن أن تسهم بشكل كبير في تلبية جزء مهم من احتياجات ليبيا المستقبلية من الكهرباء، خاصة مع الانخفاض المستمر في تكاليف تقنيات الخلايا الشمسية وتحسن كفاءتها التشغيلية (International Energy Agency, 2024).

كما يُتوقع أن يشهد القطاع النفطي الليبي توسعاً في استخدام الطاقة الشمسية خلال السنوات المقبلة، خصوصاً في الحقول الصحراوية التي تعتمد على مولدات الوقود التقليدي. ويمكن أن يسهم هذا التوجه في تحقيق وفورات اقتصادية وتقليل الانبعاثات الكربونية وتعزيز استدامة العمليات النفطية (World Bank, 2023).

وتتزايد كذلك فرص الاستثمار في مشاريع الطاقة المتجددة نتيجة اهتمام المؤسسات الدولية بتمويل المبادرات المرتبطة بالطاقة النظيفة ومواجهة التغير المناخي. ويمكن لليبيا الاستفادة من هذه الفرص من خلال تطوير استراتيجيات وطنية واضحة تدعم التحول نحو الاقتصاد الأخضر وتعزز الشراكات مع القطاع الخاص والمؤسسات الدولية (IRENA، 2024).

وفي ضوء ما سبق، يمكن القول إن مستقبل الطاقات المتجددة في ليبيا يرتبط بمدى قدرة الدولة على استثمار مواردها الطبيعية وتطوير بيئتها التشريعية والمؤسسية ودعم البحث العلمي والاستثمار في التكنولوجيا الحديثة. ومن شأن تحقيق هذه المتطلبات أن يسهم في بناء منظومة طاقة مستدامة تدعم التنمية الاقتصادية وتكمل الدور الاستراتيجي الذي يؤديه قطاع النفط والغاز في الاقتصاد الوطني.

10.5 تكامل الطاقات المتجددة مع قطاع النفط والغاز في ليبيا

يشهد قطاع الطاقة العالمي خلال السنوات الأخيرة تحولات متسارعة نتيجة التوجه نحو خفض الانبعاثات الكربونية وتحقيق أهداف التنمية المستدامة، الأمر الذي دفع العديد من الدول والشركات النفطية إلى البحث عن حلول مبتكرة لتحسين كفاءة استخدام الطاقة وتقليل الاعتماد على الوقود الأحفوري في العمليات التشغيلية. وفي هذا السياق برز مفهوم تكامل الطاقات المتجددة مع قطاع النفط والغاز باعتباره أحد الاتجاهات الحديثة التي تسعى إلى تحقيق التوازن بين استمرارية إنتاج الموارد الهيدروكربونية والمحافظة على البيئة وتعزيز الاستدامة الاقتصادية.

وتُعد الطاقات المتجددة، وخاصة الطاقة الشمسية، من الخيارات الواعدة التي يمكن توظيفها في مختلف الأنشطة النفطية، ولا سيما في الحقول الواقعة بالمناطق النائية والصحراوية. ونظراً لما تمتلكه ليبيا من احتياطيات نفطية كبيرة وإمكانات مرتفعة في مجال الطاقة الشمسية، فإن التكامل بين القطاعين يمثل فرصة استراتيجية يمكن أن تسهم في خفض تكاليف التشغيل وتحسين كفاءة الطاقة وتقليل الانبعاثات البيئية.

ومن هذا المنطلق يتناول هذا الفصل تطبيقات الطاقات المتجددة في الصناعة النفطية، والفوائد الاقتصادية والبيئية المترتبة على هذا التكامل، إضافة إلى التحديات التي تواجهه وآفاق تطويره مستقبلاً في ليبيا.

10.5.1 تطبيقات الطاقات المتجددة في الصناعة النفطية

أولاً : مفهوم تكامل الطاقات المتجددة مع قطاع النفط والغاز

1. مفهوم التكامل بين الطاقات المتجددة والصناعة النفطية

شهد قطاع الطاقة العالمي خلال العقود الأخيرة تغيرات جوهرية فرضتها التحديات البيئية والاقتصادية المرتبطة بالاعتماد المتزايد على الوقود الأحفوري. وقد أدى ذلك إلى ظهور توجهات جديدة تهدف إلى تحقيق التوازن بين استمرارية إنتاج النفط والغاز من جهة، والحد من الآثار البيئية الناجمة عن العمليات النفطية من جهة أخرى. ومن أبرز هذه التوجهات مفهوم تكامل الطاقات المتجددة مع قطاع النفط والغاز الذي أصبح يحظى باهتمام متزايد على المستويين الأكاديمي والتطبيقي (International Energy Agency, 2024).

ويقصد بتكامل الطاقات المتجددة مع الصناعة النفطية توظيف مصادر الطاقة المتجددة، وخاصة الطاقة الشمسية وطاقة الرياح، في دعم وتشغيل العمليات المرتبطة بإنتاج النفط والغاز ونقلهما ومعالجتهما، بهدف تقليل استهلاك الوقود التقليدي وتحسين كفاءة استخدام الطاقة داخل المنشآت النفطية (IRENA، 2024).

ويقوم هذا المفهوم على مبدأ الاستفادة من المزايا التي توفرها الطاقات المتجددة دون الاستغناء الكامل عن النفط والغاز، حيث يتم استخدام الأنظمة المتجددة كمصادر مساندة أو مكملة للأنظمة التقليدية. ويُعد هذا التوجه أكثر واقعية في الوقت الراهن، نظراً لاستمرار الاعتماد العالمي على النفط والغاز كمصدرين رئيسيين للطاقة، مع السعي في الوقت نفسه إلى خفض الانبعاثات الكربونية وتحقيق أهداف الاستدامة (World Bank, 2023).

وقد تطور مفهوم التكامل بصورة ملحوظة مع التقدم التكنولوجي في مجالات الطاقة المتجددة، حيث أصبحت الأنظمة الشمسية أكثر كفاءة وأقل تكلفة مقارنة بما كانت عليه في العقود السابقة. كما ساهمت أنظمة التخزين الحديثة وتقنيات التحكم الذكية في تعزيز إمكانية دمج الطاقات المتجددة ضمن العمليات الصناعية المختلفة، بما في ذلك العمليات النفطية (السيد، 2021، ص 287).

وتتعدد صور التكامل بين الطاقات المتجددة والصناعة النفطية، فقد يتمثل في استخدام الطاقة الشمسية لتشغيل المضخات والمعدات النفطية، أو في تشغيل أنظمة المراقبة والتحكم والاتصالات داخل الحقول النفطية، أو في توفير الكهرباء للمباني والمنشآت الخدمية التابعة للشركات النفطية. كما يمكن استخدام الطاقة الشمسية الحرارية في بعض العمليات الصناعية التي تتطلب درجات حرارة مرتفعة (محمد، 2021، ص 268).

ويُنظر إلى هذا التكامل باعتباره أحد الحلول الفعالة لمواجهة التحديات المرتبطة بتوفير الطاقة في الحقول النفطية الواقعة في المناطق النائية. ففي كثير من الحالات تعتمد هذه الحقول على مولدات تعمل بالديزل أو الغاز لتوفير احتياجاتها من الكهرباء، الأمر الذي يؤدي إلى ارتفاع التكاليف التشغيلية وزيادة الانبعاثات البيئية. ومن هنا تبرز أهمية الطاقات المتجددة بوصفها خياراً اقتصادياً وبيئياً يمكن أن يساهم في تحسين أداء القطاع النفطي (العيساوي، 2018، ص 247).

كما أن مفهوم التكامل لا يقتصر على الجانب التشغيلي فقط، بل يمتد ليشمل الجوانب الاستراتيجية المرتبطة بإدارة الطاقة داخل المؤسسات النفطية. فقد بدأت العديد من الشركات العالمية في تضمين مشاريع الطاقة المتجددة ضمن خططها الاستثمارية طويلة الأجل، بهدف تعزيز قدرتها التنافسية وتحقيق التزاماتها البيئية المتعلقة بخفض الانبعاثات الكربونية (IRENA, 2024).

وفي ليبيا، يكتسب هذا المفهوم أهمية خاصة نتيجة وجود قطاع نفطي واسع الانتشار في المناطق الصحراوية التي تتمتع بمعدلات مرتفعة من الإشعاع الشمسي. ويمكن أن يسهم استغلال هذه الموارد الطبيعية في توفير جزء من احتياجات الطاقة داخل الحقول النفطية، وتقليل الاعتماد على الوقود التقليدي، وتحسين كفاءة العمليات التشغيلية (هيئة أبحاث العلوم الطبيعية والتكنولوجيا، 2023).

ومن ثم يمكن القول إن التكامل بين الطاقات المتجددة والصناعة النفطية يمثل نموذجاً حديثاً لإدارة الطاقة يقوم على الاستفادة من مزايا المصادر التقليدية والمتجددة معاً، بما يحقق التوازن بين متطلبات الإنتاج النفطي وأهداف الاستدامة البيئية والاقتصادية.

2. أهمية التكامل في تحقيق كفاءة الطاقة والاستدامة

أصبح تحقيق كفاءة الطاقة والاستدامة من الأهداف الرئيسية التي تسعى إليها الحكومات والشركات العاملة في قطاع الطاقة، وذلك في ظل التحديات المتزايدة المرتبطة بارتفاع الطلب العالمي على الطاقة وتفاقم المشكلات البيئية الناتجة عن استخدام الوقود الأحفوري. وفي هذا السياق يبرز تكامل الطاقات المتجددة مع قطاع النفط والغاز باعتباره أحد الأدوات المهمة التي يمكن أن تسهم في تحقيق هذه الأهداف (World Bank, 2023).

وتتمثل أهمية هذا التكامل في قدرته على تحسين كفاءة استخدام الطاقة داخل العمليات النفطية. فبدلاً من الاعتماد الكامل على الوقود التقليدي لتوفير الكهرباء وتشغيل المعدات، يمكن استخدام الطاقة الشمسية أو غيرها من مصادر الطاقة المتجددة لتغطية جزء من الاحتياجات الطاقية للمنشآت النفطية، الأمر الذي يؤدي إلى خفض استهلاك الوقود وتحسين كفاءة التشغيل (International Energy Agency, 2024).

كما يسهم التكامل في تقليل التكاليف التشغيلية على المدى الطويل، إذ إن الأنظمة الشمسية تتطلب تكاليف تشغيل وصيانة منخفضة نسبياً بعد مرحلة التركيب. ومع الارتفاع المستمر في أسعار الوقود والتكاليف المرتبطة بنقله إلى المواقع النائية، تزداد الجدوى الاقتصادية لمشاريع الطاقة المتجددة داخل القطاع النفطي (محمد، 2021، ص 274).

ومن الجوانب المهمة أيضاً مساهمة هذا التكامل في الحد من الانبعاثات الكربونية والملوثات البيئية الناتجة عن تشغيل المولدات التقليدية. ويُعد خفض الانبعاثات أحد المؤشرات الأساسية لقياس استدامة الأنشطة الاقتصادية، كما أنه يمثل التزاماً دولياً تسعى العديد من الدول والشركات إلى تحقيقه في إطار الجهود العالمية لمواجهة التغير المناخي (IRENA، 2024).

وتتجلى أهمية التكامل كذلك في تعزيز أمن الطاقة داخل الحقول النفطية، حيث توفر الأنظمة المتجددة مصدراً إضافياً للطاقة يمكن الاعتماد عليه في حالات الطوارئ أو عند حدوث مشكلات في إمدادات الوقود أو الشبكات الكهربائية. ويسهم ذلك في رفع مستوى الاعتمادية التشغيلية وتقليل مخاطر توقف الإنتاج (السيد، 2021، ص 295).

كما يساعد استخدام الطاقات المتجددة في تحسين الصورة المؤسسية للشركات النفطية وتعزيز التزامها بمبادئ المسؤولية البيئية والاجتماعية. وأصبحت مؤشرات الاستدامة من المعايير المهمة التي تؤثر في تقييم الشركات وجاذبيتها الاستثمارية، خاصة في ظل تنامي اهتمام المستثمرين بالقضايا البيئية والمناخية (العاني، 2021، ص 241).

ومن الناحية التنموية، يسهم التكامل بين الطاقات المتجددة وقطاع النفط في دعم خطط التنمية المستدامة من خلال تحقيق الاستخدام الأمثل للموارد الطبيعية، وتقليل الآثار البيئية السلبية، وتشجيع الابتكار والتطوير التكنولوجي في مجال الطاقة. كما يساعد على بناء اقتصاد أكثر مرونة وقدرة على التكيف مع التحولات المستقبلية في أسواق الطاقة العالمية (الأمم المتحدة، 2023).

وفي الحالة الليبية، تبرز أهمية هذا التكامل بصورة أكبر نظراً لاعتماد الاقتصاد الوطني بشكل كبير على قطاع النفط والغاز. ويمكن أن يؤدي توظيف الطاقة الشمسية داخل الحقول النفطية إلى تحقيق وفورات اقتصادية مهمة، وتقليل استهلاك الوقود المستخدم محلياً، وزيادة الكميات المتاحة للتصدير، مما ينعكس إيجاباً على الإيرادات العامة للدولة (المؤسسة الوطنية للنفط، 2024).

كما أن نجاح مشاريع التكامل بين الطاقات المتجددة والقطاع النفطي يمكن أن يشكل نموذجاً عملياً يدعم التوسع في استخدام الطاقة النظيفة في قطاعات أخرى، ويساهم في بناء خبرات وطنية متخصصة في مجال الطاقة المتجددة، الأمر الذي يعزز من فرص التحول نحو اقتصاد أكثر استدامة وتنوعاً.

وعليه، فإن أهمية التكامل بين الطاقات المتجددة وقطاع النفط والغاز لا تقتصر على تحقيق وفورات اقتصادية أو تحسين الأداء التشغيلي فحسب، بل تمتد لتشمل أبعاداً بيئية وتنموية واستراتيجية تجعل منه أحد المسارات الواعدة لمستقبل الطاقة في ليبيا والعالم.

ثانيا : *تطبيقات الطاقات المتجددة في العمليات النفطية*

1. استخدام الطاقة الشمسية في الحقول النفطية

أصبحت الطاقة الشمسية خلال السنوات الأخيرة من أكثر مصادر الطاقة المتجددة استخداماً داخل القطاع النفطي، وذلك نتيجة التطور الكبير في تقنيات الخلايا الكهروضوئية وانخفاض تكاليفها التشغيلية، إضافة إلى قدرتها على توفير مصدر طاقة موثوق في المناطق النائية والصحراوية التي يصعب ربطها بالشبكات الكهربائية التقليدية. وقد ساهمت هذه المزايا في توسيع نطاق استخدامها في العديد من العمليات النفطية حول العالم (IRENA, 2024).

وتُعد الحقول النفطية من أكثر المواقع ملاءمة لتطبيق أنظمة الطاقة الشمسية، خاصة في الدول التي تتمتع بمعدلات مرتفعة من الإشعاع الشمسي مثل ليبيا. فمعظم الحقول النفطية الليبية تقع في مناطق صحراوية مفتوحة تتميز بساعات سطوع طويلة وإشعاع شمسي مرتفع، مما يوفر ظروفاً مناسبة لإنتاج الطاقة الكهربائية من الأنظمة الشمسية بكفاءة عالية (هيئة أبحاث العلوم الطبيعية والتكنولوجيا، 2023).

ومن أهم تطبيقات الطاقة الشمسية في الحقول النفطية تشغيل أنظمة الرفع الاصطناعي المستخدمة في استخراج النفط. ففي العديد من الآبار النفطية يتم استخدام مضخات كهربائية تحتاج إلى مصدر مستمر للطاقة، ويمكن للأنظمة الشمسية أن توفر جزءاً أو كامل الاحتياجات الكهربائية لهذه المضخات، الأمر الذي يقلل من الاعتماد على مولدات الديزل التقليدية ويخفض تكاليف الوقود والصيانة (محمد، 2021، ص 296).

كما تُستخدم الطاقة الشمسية في تشغيل وحدات الحقن المستخدمة في بعض الحقول النفطية لتعزيز الإنتاج. وتتطلب هذه الوحدات كميات كبيرة من الطاقة لتشغيل المضخات وأنظمة التحكم المرتبطة بها، ويمكن للأنظمة الشمسية أن تسهم في تلبية جزء من هذه المتطلبات، خاصة في المواقع البعيدة عن مصادر الكهرباء التقليدية (العيساوي، 2018، ص 271).

وتدخل الطاقة الشمسية أيضاً في تشغيل أنظمة الإضاءة داخل الحقول النفطية، حيث يتم تركيب وحدات إنارة تعمل بالطاقة الشمسية في الطرق الداخلية ومواقع العمل المختلفة. وتساعد هذه الأنظمة في تقليل استهلاك الكهرباء وتحسين كفاءة الطاقة داخل المنشآت النفطية (الشريف، 2020، ص 239).

ومن التطبيقات المهمة كذلك استخدام الطاقة الشمسية في توفير الكهرباء للمباني الإدارية ومرافق الإقامة التابعة للعاملين في الحقول النفطية. فالكثير من الشركات النفطية العالمية بدأت في إنشاء محطات شمسية صغيرة ومتوسطة لتغطية جزء من احتياجات هذه المرافق، مما يساهم في تقليل تكاليف التشغيل وتحسين الأداء البيئي للمؤسسة (World Bank, 2023).

وقد أثبتت التجارب الدولية أن استخدام الطاقة الشمسية في الحقول النفطية يمكن أن يحقق وفورات اقتصادية كبيرة على المدى الطويل، خاصة في المناطق التي ترتفع فيها تكاليف نقل الوقود وتشغيل المولدات التقليدية. كما يسهم في تقليل الانبعاثات الكربونية وتحسين مؤشرات الاستدامة البيئية للشركات النفطية (International Energy Agency, 2024).

وفي ليبيا، تمثل الطاقة الشمسية فرصة استراتيجية لدعم القطاع النفطي، نظراً لتوافر الموارد الشمسية بشكل كبير ووجود عدد كبير من الحقول النفطية في المناطق الصحراوية. ويمكن أن يؤدي التوسع في استخدام الأنظمة الشمسية داخل هذه الحقول إلى خفض استهلاك الوقود التقليدي وتحقيق وفورات مالية مهمة، فضلاً عن تعزيز التوجه نحو الطاقة النظيفة والتنمية المستدامة (المؤسسة الوطنية للنفط، 2024).

ومن ثم يمكن القول إن الطاقة الشمسية أصبحت أحد أهم الحلول التقنية القادرة على دعم العمليات النفطية وتحسين كفاءة الطاقة داخل الحقول، الأمر الذي يجعلها عنصراً أساسياً في استراتيجيات التطوير المستقبلي لقطاع النفط والغاز.

2. تشغيل أنظمة المراقبة والاتصالات والمرافق الخدمية بالطاقة المتجددة

تُعد أنظمة المراقبة والاتصالات والتحكم من المكونات الأساسية للعمليات النفطية الحديثة، حيث تعتمد عليها الشركات في متابعة الإنتاج وضمان سلامة المعدات ومراقبة الأداء التشغيلي للمنشآت المختلفة. وتتطلب هذه الأنظمة مصادر طاقة موثوقة ومستقرة لضمان استمرارية عملها بكفاءة عالية، خاصة في المواقع البعيدة والنائية (السيد، 2021، ص 308).

وقد ساهمت الطاقات المتجددة، وعلى رأسها الطاقة الشمسية، في توفير حلول فعالة لتشغيل هذه الأنظمة دون الحاجة إلى الاعتماد الكامل على الشبكات الكهربائية أو مولدات الوقود التقليدية. وتُستخدم الأنظمة الشمسية حالياً في تشغيل أجهزة الاستشعار ومحطات القياس وأنظمة جمع البيانات المنتشرة على امتداد الحقول النفطية وخطوط الأنابيب (العاني، 2021، ص 258).

وتتمثل أهمية هذه التطبيقات في قدرتها على توفير مصدر طاقة مستمر للأجهزة الإلكترونية الحساسة التي تعتمد عليها عمليات المراقبة والتحكم. كما أن الأنظمة الشمسية تتميز بانخفاض احتياجاتها للصيانة، مما يجعلها مناسبة للاستخدام في المواقع التي يصعب الوصول إليها بشكل متكرر (محمد، 2021، ص 304).

كما تُستخدم الطاقة الشمسية في تشغيل أبراج الاتصالات ومحطات البث الخاصة بالشركات النفطية. وتُعد شبكات الاتصالات من العناصر الحيوية التي تضمن التواصل بين مواقع الإنتاج والإدارات المركزية، فضلاً عن دورها في نقل البيانات التشغيلية واتخاذ القرارات في الوقت المناسب. ويساعد استخدام الطاقة الشمسية في تحسين موثوقية هذه الشبكات وتقليل تكاليف تشغيلها (World Bank, 2023).

ومن التطبيقات المهمة أيضاً تشغيل أنظمة المراقبة الأمنية وكاميرات المراقبة وأجهزة الإنذار بالطاقة الشمسية، حيث تساهم هذه الأنظمة في تعزيز أمن المنشآت النفطية وحماية الأصول والمعدات من المخاطر المختلفة. وقد أصبحت هذه التطبيقات منتشرة على نطاق واسع في العديد من الحقول النفطية العالمية بسبب كفاءتها التشغيلية العالية (IRENA, 2024).

وتُستخدم الطاقات المتجددة كذلك في تشغيل المرافق الخدمية داخل الحقول النفطية، بما في ذلك المباني الإدارية والمراكز الطبية وورش الصيانة ومرافق الإقامة الخاصة بالعاملين. ويمكن للأنظمة الشمسية أن توفر جزءاً كبيراً من احتياجات هذه المرافق من الكهرباء، مما يساهم في تخفيف الأحمال على مصادر الطاقة التقليدية وتقليل التكاليف التشغيلية (الشريف، 2020، ص 246).

وفي بعض المشروعات النفطية الحديثة يتم دمج الطاقة الشمسية مع أنظمة تخزين الطاقة بالبطاريات، بهدف ضمان استمرار الإمداد الكهربائي خلال ساعات الليل أو في حالات انخفاض الإشعاع الشمسي. وقد أثبتت هذه الأنظمة الهجينة كفاءتها في تحسين موثوقية الطاقة وتقليل الاعتماد على المولدات التقليدية (International Energy Agency, 2024).

وفي ليبيا، يمكن أن تلعب هذه التطبيقات دوراً مهماً في تحسين أداء الحقول النفطية المنتشرة في المناطق الصحراوية، حيث يمكن استغلال الإمكانات الكبيرة للطاقة الشمسية لتوفير الكهرباء اللازمة لأنظمة المراقبة والاتصالات والمرافق الخدمية. كما يمكن أن يسهم ذلك في تقليل تكاليف

التشغيل وتحسين مستوى الاعتمادية التشغيلية داخل المنشآت النفطية (هيئة أبحاث العلوم الطبيعية والتكنولوجيا، 2023).

ومن خلال ما سبق يتضح أن الطاقات المتجددة لا تقتصر على تشغيل المعدات الإنتاجية فقط، بل تمتد لتشمل مجموعة واسعة من الأنظمة والخدمات المساندة التي تُعد ضرورية لاستمرار العمليات النفطية بكفاءة وأمان. ويعكس ذلك أهمية توسيع نطاق استخدام هذه المصادر داخل القطاع النفطي باعتبارها جزءاً من استراتيجية شاملة لتحقيق كفاءة الطاقة والاستدامة البيئية.

ثالثا: التجارب الدولية في توظيف الطاقات المتجددة داخل القطاع النفطي

1. تجارب الشركات النفطية العالمية

شهدت السنوات الأخيرة توسعاً ملحوظاً في استخدام الطاقات المتجددة داخل القطاع النفطي العالمي، حيث اتجهت العديد من الشركات النفطية الكبرى إلى دمج مصادر الطاقة النظيفة ضمن عملياتها التشغيلية بهدف خفض التكاليف التشغيلية وتقليل الانبعاثات الكربونية وتحقيق أهداف الاستدامة البيئية. ويعكس هذا التوجه إدراكاً متزايداً لأهمية التحول الطاقي وضرورة التكيف مع المتغيرات العالمية المرتبطة بالمناخ والطاقة (International Energy Agency, 2024).

وتُعد شركة Saudi Aramco من أبرز الشركات التي تبنت استخدام الطاقة الشمسية في بعض منشآتها النفطية، حيث قامت بتنفيذ مشاريع تعتمد على الأنظمة الكهروضوئية لتوفير الكهرباء للمرافق التشغيلية والمباني الإدارية ومحطات المراقبة في عدد من المواقع النائية. وقد ساهمت هذه المشاريع في تقليل استهلاك الوقود التقليدي وتحسين كفاءة الطاقة داخل المنشآت النفطية (IRENA، 2024).

كما نفذت Shell العديد من المبادرات المتعلقة بالطاقة المتجددة، حيث استثمرت في مشاريع الطاقة الشمسية وطاقة الرياح، وسعت إلى دمج هذه المصادر في بعض عملياتها النفطية والغازية. وتأتي هذه الخطوات ضمن استراتيجية الشركة الرامية إلى خفض البصمة الكربونية وتحقيق أهداف الحياد الكربوني على المدى الطويل (World Bank, 2023).

أما TotalEnergies فقد اتجهت إلى تنفيذ مشاريع واسعة النطاق في مجال الطاقة الشمسية، سواء لتزويد منشآتها بالطاقة أو للمساهمة في إنتاج الكهرباء من مصادر نظيفة. كما قامت الشركة بتطوير مشروعات هجينة تجمع بين الطاقة الشمسية ومصادر الطاقة التقليدية بهدف تحسين كفاءة الإمدادات الكهربائية وتقليل الاعتماد على الوقود الأحفوري (IRENA, 2024).

وفي سلطنة عمان، تم تنفيذ عدد من المشروعات الرائدة التي استخدمت الطاقة الشمسية في العمليات النفطية، ومن أبرزها مشروع استخدام الطاقة الشمسية الحرارية في عمليات الاستخلاص المعزز للنفط. وقد ساهم هذا المشروع في تقليل استهلاك الغاز الطبيعي المستخدم لإنتاج البخار اللازم للعمليات الإنتاجية، مما أدى إلى تحقيق وفورات اقتصادية وتقليل الانبعاثات البيئية (الحاج، 2020، ص 244).

كما شهدت الولايات المتحدة الأمريكية وكندا استخداماً متزايداً للطاقة الشمسية وطاقة الرياح في تشغيل أنظمة المراقبة والاتصالات وخطوط الأنابيب والمنشآت النفطية البعيدة عن الشبكات الكهربائية. وقد أثبتت هذه التجارب نجاح الطاقات المتجددة في توفير إمدادات كهربائية مستقرة وموثوقة مع تقليل تكاليف التشغيل والصيانة (العاني، 2021، ص 279).

وفي بعض الدول الأفريقية، تم استخدام الأنظمة الشمسية لتوفير الكهرباء للحقول النفطية الصغيرة والمتوسطة الواقعة في المناطق النائية، حيث ساعدت هذه الأنظمة على تجاوز مشكلات ضعف البنية التحتية الكهربائية وارتفاع تكاليف نقل الوقود، كما أسهمت في تحسين كفاءة العمليات التشغيلية وتعزيز الاستدامة البيئية (محمد، 2021، ص 326).

وتشير هذه التجارب إلى أن نجاح دمج الطاقات المتجددة في القطاع النفطي لا يرتبط فقط بالتقدم التكنولوجي، بل يعتمد أيضاً على وجود سياسات داعمة واستراتيجيات واضحة للاستثمار في الطاقة النظيفة. كما تؤكد أن الطاقة الشمسية أصبحت خياراً عملياً واقتصادياً يمكن الاعتماد عليه في العديد من التطبيقات النفطية المختلفة (International Energy Agency, 2024).

ومن خلال استعراض هذه النماذج الدولية يتضح أن شركات النفط العالمية لم تعد تنظر إلى الطاقات المتجددة باعتبارها منافساً للنفط والغاز، بل باعتبارها أداة مهمة لتحسين الأداء التشغيلي وتحقيق أهداف الاستدامة وتعزيز القدرة التنافسية في سوق الطاقة العالمية.

2. الدروس المستفادة وإمكانية تطبيقها في ليبيا

توفر التجارب الدولية في مجال دمج الطاقات المتجددة داخل القطاع النفطي مجموعة مهمة من الدروس والخبرات التي يمكن الاستفادة منها عند التخطيط لتطوير هذا المجال في ليبيا. فقد أثبتت هذه التجارب أن الاستثمار في الطاقة المتجددة داخل الصناعة النفطية يمكن أن يحقق فوائد اقتصادية وبيئية ملموسة دون التأثير على استمرارية الإنتاج أو كفاءة العمليات التشغيلية (World Bank, 2023).

ومن أبرز الدروس المستفادة أهمية تبني رؤية استراتيجية واضحة تقوم على التكامل بين مصادر الطاقة التقليدية والمتجددة بدلاً من التعامل معهما كبدائل متنافسة. وقد أظهرت التجارب العالمية أن تحقيق التوازن بين النفط والطاقات المتجددة يمثل الخيار الأكثر واقعية وفعالية في المرحلة الحالية من التحول الطاقي العالمي (IRENA, 2024).

كما تؤكد هذه التجارب أهمية البدء بالمشروعات الصغيرة والمتوسطة قبل التوسع في المشروعات الكبرى، حيث يمكن تنفيذ مشاريع تجريبية في تشغيل أنظمة المراقبة والاتصالات والمرافق الخدمية بالطاقة الشمسية، ثم تقييم نتائجها والاستفادة من الخبرات المكتسبة قبل الانتقال إلى تطبيقات أكثر تعقيداً داخل العمليات الإنتاجية (السيد، 2021، ص 321).

ومن الدروس المهمة أيضاً ضرورة الاستثمار في بناء القدرات البشرية وتطوير الكفاءات الوطنية المتخصصة في مجالات الطاقة المتجددة. فنجاح المشاريع الحديثة يعتمد بدرجة كبيرة على توفر كوادر مؤهلة قادرة على تصميم الأنظمة وتشغيلها وصيانتها بكفاءة عالية (عبد الحميد، 2019، ص 287).

وتبرز أهمية الدعم التشريعي والمؤسسي كعامل أساسي في نجاح مشاريع الطاقة المتجددة، حيث أظهرت التجارب الدولية أن وجود سياسات واضحة وحوافز استثمارية وتشريعات داعمة يسهم في جذب الاستثمارات وتسريع وتيرة تنفيذ المشاريع. ولذلك فإن تطوير الإطار القانوني المنظم لقطاع الطاقة المتجددة في ليبيا يعد خطوة مهمة لتعزيز فرص نجاح هذه المشاريع (العيساوي، 2018، ص 291).

وفيما يتعلق بإمكانية تطبيق هذه التجارب في ليبيا، فإن البيئة الليبية تُعد من أكثر البيئات ملاءمة للاستفادة من الطاقة الشمسية بسبب ارتفاع معدلات الإشعاع الشمسي واتساع المناطق الصحراوية التي تضم معظم الحقول النفطية. كما أن الطبيعة الجغرافية للحقول النفطية الليبية تجعل استخدام الأنظمة الشمسية خياراً مناسباً لتوفير الطاقة في المواقع البعيدة عن الشبكات الكهربائية (هيئة أبحاث العلوم الطبيعية والتكنولوجيا، 2023).

ويمكن أن تبدأ ليبيا بتطبيق مشاريع الطاقة الشمسية في تشغيل أنظمة المراقبة والاتصالات والإضاءة داخل الحقول النفطية، ثم التوسع تدريجياً نحو تشغيل المضخات والمرافق الخدمية وبعض الوحدات التشغيلية الأخرى. كما يمكن الاستفادة من التجارب الدولية في تطوير مشروعات هجينة تجمع بين الطاقة الشمسية والمولدات التقليدية لضمان استمرارية الإمداد الكهربائي (محمد، 2021، ص 334).

ومن المتوقع أن يسهم تطبيق هذه المشروعات في تحقيق وفورات اقتصادية مهمة من خلال خفض استهلاك الوقود وتقليل تكاليف التشغيل والصيانة، فضلاً عن تحسين الأداء البيئي للقطاع النفطي الليبي. كما يمكن أن يعزز ذلك من مكانة ليبيا في مجال الطاقة المستدامة ويدعم جهودها نحو تحقيق أهداف التنمية المستدامة (المؤسسة الوطنية للنفط، 2024).

وبناءً على ما سبق، يتضح أن التجارب الدولية تقدم نماذج ناجحة يمكن الاستفادة منها في تطوير قطاع النفط الليبي، وأن توافر الموارد الطبيعية المناسبة يمنح ليبيا فرصة حقيقية لتبني مشاريع تكاملية تجمع بين الطاقات المتجددة والصناعة النفطية بما يحقق الكفاءة الاقتصادية والاستدامة البيئية.

10.5.2 الفوائد والتحديات والآفاق المستقبلية لتكامل الطاقات المتجددة مع قطاع النفط والغاز في ليبيا

أولا : الفوائد الاقتصادية والبيئية لتكامل الطاقات المتجددة مع القطاع النفطي

1. الفوائد الاقتصادية

يمثل تكامل الطاقات المتجددة مع قطاع النفط والغاز أحد التوجهات الحديثة التي تسعى إلى تحقيق الاستخدام الأمثل للموارد الطاقية وتعزيز الكفاءة الاقتصادية للعمليات التشغيلية. وقد أثبتت العديد من الدراسات والتجارب الدولية أن إدماج مصادر الطاقة المتجددة، وخاصة الطاقة الشمسية، داخل الصناعة النفطية يمكن أن يحقق فوائد اقتصادية كبيرة على المديين المتوسط والطويل (International Energy Agency, 2024).

ومن أهم الفوائد الاقتصادية التي يحققها هذا التكامل خفض تكاليف التشغيل المرتبطة بإنتاج الطاقة داخل الحقول النفطية. فالكثير من الحقول الواقعة في المناطق النائية تعتمد على مولدات الديزل أو الغاز لتوفير الكهرباء اللازمة لتشغيل المعدات والأنظمة المختلفة، وهو ما يترتب عليه تكاليف مرتفعة تتعلق بشراء الوقود ونقله وصيانة المولدات. وعند استخدام الأنظمة الشمسية يمكن تقليل هذه النفقات بشكل ملحوظ، خاصة بعد استرداد التكلفة الاستثمارية الأولية للمشروع (محمد، 2021، ص 348).

كما يسهم استخدام الطاقة الشمسية في تقليل استهلاك الوقود الأحفوري داخل المنشآت النفطية، مما يتيح توجيه كميات أكبر من النفط والغاز إلى التصدير أو الاستخدامات الاقتصادية ذات القيمة المضافة المرتفعة. ويؤدي ذلك إلى زيادة العوائد المالية وتحسين كفاءة استغلال الموارد الطبيعية المتاحة (العاني، 2021، ص 301).

ومن الجوانب الاقتصادية المهمة أيضاً تقليل تكاليف الصيانة والتشغيل، حيث تتميز الأنظمة الشمسية بقلة الأجزاء المتحركة مقارنة بالمولدات التقليدية، الأمر الذي ينعكس إيجاباً على معدلات الأعطال وتكاليف الإصلاح والصيانة الدورية (السيد، 2021، ص 338).

كما يساهم التكامل بين الطاقات المتجددة والقطاع النفطي في تعزيز أمن الطاقة داخل المنشآت النفطية، إذ يتيح وجود مصادر طاقة متعددة تقلل من مخاطر انقطاع الإمدادات الكهربائية أو تعطل العمليات الإنتاجية. ويؤدي ذلك إلى رفع كفاءة التشغيل وتحسين الإنتاجية وتقليل الخسائر الناتجة عن توقف المعدات أو تأخر العمليات (World Bank, 2023).

وتبرز أهمية هذا التكامل كذلك في جذب الاستثمارات المحلية والأجنبية، حيث أصبح المستثمرون يولون اهتماماً متزايداً بالمشروعات التي تراعي الجوانب البيئية وتتبنى تقنيات الطاقة النظيفة. وبالتالي فإن إدماج الطاقات المتجددة داخل القطاع النفطي قد يسهم في تحسين البيئة الاستثمارية وزيادة فرص الحصول على التمويل الدولي للمشروعات المستقبلية (IRENA, 2024).

وفي الحالة الليبية، يمكن أن يحقق توظيف الطاقة الشمسية في الحقول النفطية الصحراوية وفورات مالية كبيرة نتيجة انخفاض تكاليف إنتاج الكهرباء مقارنة بالاعتماد الكامل على الوقود التقليدي. كما يمكن أن يسهم في تحسين كفاءة استغلال الموارد النفطية وزيادة القدرة التنافسية للقطاع النفطي الليبي في الأسواق العالمية (المؤسسة الوطنية للنفط، 2024).

ومن ثم يتضح أن الفوائد الاقتصادية لتكامل الطاقات المتجددة مع القطاع النفطي لا تقتصر على خفض التكاليف التشغيلية فقط، بل تشمل أيضاً تعزيز كفاءة استخدام الموارد وتحسين الإنتاجية ودعم الاستثمارات وتحقيق عوائد اقتصادية مستدامة على المدى الطويل.

2. الفوائد البيئية والتنموية

إلى جانب المزايا الاقتصادية، يوفر تكامل الطاقات المتجددة مع القطاع النفطي مجموعة واسعة من الفوائد البيئية والتنموية التي تجعله أحد أهم التوجهات الحديثة لتحقيق التنمية المستدامة. فقد أصبحت القضايا البيئية المرتبطة بإنتاج واستهلاك الطاقة من أبرز التحديات التي تواجه العالم في الوقت الراهن، الأمر الذي دفع الحكومات والشركات إلى البحث عن حلول تقلل من التأثيرات السلبية للأنشطة الصناعية على البيئة (الأمم المتحدة، 2023).

وتتمثل إحدى أهم الفوائد البيئية لهذا التكامل في خفض انبعاثات الغازات الدفيئة الناتجة عن تشغيل المولدات التقليدية واستهلاك الوقود الأحفوري داخل الحقول النفطية. فكلما زادت مساهمة الطاقة المتجددة في تلبية احتياجات الطاقة التشغيلية، انخفضت كميات ثاني أكسيد الكربون والملوثات الأخرى المنبعثة إلى الغلاف الجوي (International Energy Agency, 2024).

كما يسهم استخدام الطاقة الشمسية في الحد من التلوث الناتج عن عمليات نقل الوقود وتخزينه، خاصة في المناطق الصحراوية البعيدة التي تتطلب عمليات لوجستية مستمرة لتوفير احتياجات الطاقة. ويؤدي ذلك إلى تقليل المخاطر البيئية المرتبطة بالتسربات النفطية أو الانبعاثات الناتجة عن وسائل النقل المختلفة (العيساوي، 2018، ص 314).

ومن الفوائد البيئية المهمة أيضاً المحافظة على الموارد الطبيعية من خلال ترشيد استهلاك الوقود الأحفوري والاستفادة من مصادر طاقة متجددة ومتوافرة بصورة مستمرة. ويُعد ذلك من المبادئ الأساسية للتنمية المستدامة التي تسعى إلى تحقيق التوازن بين تلبية احتياجات الحاضر والحفاظ على حقوق الأجيال القادمة في الموارد الطبيعية (عبد الحميد، 2019، ص 301).

أما من الناحية التنموية، فإن مشاريع الطاقة المتجددة تسهم في توفير فرص عمل جديدة في مجالات التصميم والتركيب والتشغيل والصيانة والبحث العلمي، مما ينعكس إيجاباً على التنمية الاقتصادية والاجتماعية. كما تساهم في تطوير القدرات الوطنية ونقل التكنولوجيا الحديثة وتعزيز الابتكار في قطاع الطاقة (World Bank, 2023).

وفي ليبيا، يمكن أن يؤدي التوسع في استخدام الطاقات المتجددة داخل القطاع النفطي إلى دعم خطط التنمية المستدامة وتنويع الاقتصاد الوطني، خاصة في ظل التحديات المرتبطة بالاعتماد المفرط على الإيرادات النفطية. كما يمكن أن يشكل هذا التوجه خطوة مهمة نحو بناء قطاع طاقة أكثر كفاءة واستدامة وقدرة على مواجهة التحولات العالمية في أسواق الطاقة (هيئة أبحاث العلوم الطبيعية والتكنولوجيا، 2023).

وعليه، فإن الفوائد البيئية والتنموية لتكامل الطاقات المتجددة مع القطاع النفطي تجعل منه خياراً استراتيجياً يسهم في تحسين الأداء البيئي وتعزيز التنمية المستدامة وتحقيق التوازن بين النمو الاقتصادي والحفاظ على البيئة.

ثانيا التحديات التي تواجه تطبيق الطاقات المتجددة في القطاع النفطي الليبي

1. التحديات الفنية والاقتصادية

على الرغم من المزايا العديدة التي يوفرها تكامل الطاقات المتجددة مع القطاع النفطي، فإن تطبيق هذا التوجه في ليبيا لا يزال يواجه مجموعة من التحديات الفنية والاقتصادية التي قد تؤثر في سرعة انتشاره ومدى الاستفادة منه. وتُعد معالجة هذه التحديات شرطاً أساسياً لضمان نجاح مشروعات الطاقة المتجددة وتحقيق أهدافها التنموية والاقتصادية (محمد، 2021، ص 361).

وتتمثل أبرز التحديات الفنية في الطبيعة المتغيرة لمصادر الطاقة المتجددة، وخاصة الطاقة الشمسية التي تعتمد على شدة الإشعاع الشمسي وعدد ساعات السطوع اليومية. فعلى الرغم من تمتع ليبيا بمعدلات مرتفعة من الإشعاع الشمسي، إلا أن إنتاج الكهرباء من الأنظمة الشمسية يتأثر بالعوامل المناخية مثل العواصف الرملية وتراكم الغبار وارتفاع درجات

الحرارة، مما قد يؤثر في كفاءة الألواح الشمسية وأدائها التشغيلي (هيئة أبحاث العلوم الطبيعية والتكنولوجيا، 2023).

كما تواجه الأنظمة الشمسية تحدياً يتمثل في الحاجة إلى حلول فعالة لتخزين الطاقة، خاصة في المواقع التي تتطلب إمداداً كهربائياً مستمراً على مدار الساعة. وتُعد البطاريات وأنظمة التخزين من العناصر المهمة لضمان استقرار الطاقة، إلا أن تكلفتها المرتفعة قد تمثل عائقاً أمام التوسع في استخدامها داخل القطاع النفطي (IRENA, 2024).

ومن التحديات الفنية الأخرى الحاجة إلى كوادر متخصصة قادرة على تصميم وتركيب وتشغيل وصيانة أنظمة الطاقة المتجددة. ورغم توافر عدد من المؤسسات التعليمية والبحثية في ليبيا، فإن الحاجة لا تزال قائمة إلى برامج تدريبية متخصصة تسهم في إعداد الكفاءات الوطنية القادرة على مواكبة التطورات التكنولوجية في هذا المجال (عبد الحميد، 2019، ص 318).

أما من الناحية الاقتصادية، فإن ارتفاع التكاليف الاستثمارية الأولية لمشروعات الطاقة المتجددة يُعد من أبرز التحديات التي تواجه تنفيذ هذه المشاريع، خاصة في المراحل الأولى. فعلى الرغم من انخفاض تكاليف التشغيل والصيانة مستقبلاً، إلا أن توفير التمويل اللازم لإنشاء الأنظمة الشمسية قد يشكل عائقاً أمام بعض الجهات الاستثمارية (العاني، 2021، ص 327).

كما أن تقلب أسعار النفط العالمية قد يؤثر في القرارات الاستثمارية المتعلقة بمشاريع الطاقة المتجددة، إذ قد يؤدي ارتفاع أسعار النفط إلى تراجع الاهتمام بالبدائل الطاقية في بعض الفترات، في حين يعزز انخفاض الأسعار الحاجة إلى البحث عن حلول أكثر كفاءة وأقل تكلفة (World Bank, 2023).

ويضاف إلى ذلك محدودية الاستثمارات المخصصة للبحث والتطوير في مجال الطاقة المتجددة، الأمر الذي قد يحد من قدرة القطاع النفطي على تبني أحدث التقنيات والاستفادة من الابتكارات العالمية في هذا المجال (السيد، 2021، ص 352).

ورغم هذه التحديات، فإن التطور المستمر في تكنولوجيا الطاقة المتجددة والانخفاض التدريجي في تكاليفها يوفران فرصاً واعدة لتجاوز العديد من العقبات الفنية والاقتصادية مستقبلاً، خاصة إذا ما تم تبني سياسات داعمة وتشجيع الاستثمار في هذا القطاع الحيوي.

2. التحديات التشريعية والمؤسسية

إلى جانب التحديات الفنية والاقتصادية، تواجه مشاريع الطاقات المتجددة في القطاع النفطي الليبي عدداً من التحديات التشريعية والمؤسسية التي تؤثر في سرعة تنفيذها وتوسعها. وتُعد البيئة التشريعية المناسبة من العوامل الأساسية لنجاح أي مشروع استثماري، خاصة في القطاعات المرتبطة بالتكنولوجيا والطاقة (العيساوي، 2018، ص 329).

وتتمثل إحدى أبرز هذه التحديات في الحاجة إلى تطوير إطار قانوني وتنظيمي متكامل ينظم استخدام الطاقات المتجددة داخل القطاع النفطي ويحدد آليات الاستثمار والتمويل والتشغيل. فوجود تشريعات واضحة ومستقرة يسهم في تعزيز ثقة المستثمرين ويشجع على تنفيذ المشاريع طويلة الأجل (International Energy Agency, 2024).

كما أن تعدد الجهات المعنية بقطاع الطاقة قد يؤدي أحياناً إلى تداخل الاختصاصات وصعوبة التنسيق بين المؤسسات المختلفة، مما قد ينعكس سلباً على سرعة اتخاذ القرارات المتعلقة بمشاريع الطاقة المتجددة. ولذلك تبرز الحاجة إلى تعزيز التعاون المؤسسي بين الجهات المختصة بالطاقة والكهرباء والنفط والبيئة لتحقيق التكامل المطلوب (محمد، 2021، ص 374).

ومن التحديات المؤسسية أيضاً محدودية برامج الدعم والحوافز الاستثمارية المخصصة لمشاريع الطاقة المتجددة، حيث تحتاج هذه المشاريع إلى تشجيع من خلال الإعفاءات الضريبية والتسهيلات التمويلية والحوافز الاقتصادية التي تزيد من جاذبيتها للمستثمرين المحليين والأجانب (World Bank, 2023).

كما يواجه القطاع تحدياً يتعلق بضعف الشراكات بين المؤسسات البحثية والجامعات والشركات النفطية، وهو ما قد يؤثر في مستوى البحث العلمي والابتكار في مجال تطبيقات الطاقة المتجددة داخل الصناعة النفطية. ويُعد تعزيز هذه الشراكات أمراً ضرورياً لدعم التطوير التقني ونقل المعرفة والخبرات الحديثة (عبد الحميد، 2019، ص 326).

ومن هنا يتضح أن معالجة التحديات التشريعية والمؤسسية تمثل خطوة أساسية لتهيئة البيئة المناسبة لتطوير مشاريع الطاقة المتجددة داخل القطاع النفطي الليبي وتحقيق أقصى استفادة ممكنة من الإمكانات الطبيعية المتاحة.

ثالثا : الرؤية المستقبلية لتطوير التكامل بين الطاقات المتجددة وقطاع النفط والغاز في ليبيا

1. متطلبات تطوير مشاريع الطاقة المتجددة في القطاع النفطي

يتطلب نجاح مشاريع تكامل الطاقات المتجددة مع القطاع النفطي في ليبيا توافر مجموعة من المقومات والمتطلبات التي تسهم في تعزيز فرص التطبيق وتحقيق النتائج المرجوة. ومن أهم هذه المتطلبات وضع استراتيجية وطنية واضحة تتضمن أهدافاً محددة لتطوير استخدام الطاقات المتجددة داخل المنشآت النفطية وربطها بخطط التنمية المستدامة للدولة (IRENA، 2024).

كما يتطلب الأمر تعزيز الاستثمارات في البنية التحتية للطاقة المتجددة وتوفير التمويل اللازم للمشاريع التجريبية والتطبيقية، مع تشجيع الشراكات بين القطاعين العام والخاص والمؤسسات الدولية المتخصصة في مجال الطاقة النظيفة (World Bank, 2023).

ويُعد تطوير الموارد البشرية أحد المتطلبات الأساسية، من خلال دعم برامج التعليم والتدريب والبحث العلمي في مجالات الطاقة المتجددة والهندسة النفطية، بما يضمن توفير كوادر وطنية مؤهلة قادرة على إدارة وتشغيل المشاريع المستقبلية بكفاءة عالية (السيد، 2021، ص 368).

كما ينبغي تعزيز دور الجامعات ومراكز البحوث في إجراء الدراسات التطبيقية المتعلقة بإمكانية استخدام الطاقة الشمسية في الحقول النفطية الليبية، والاستفادة من نتائج هذه الدراسات في تطوير السياسات والخطط التنفيذية (العاني، 2021، ص 341).

2. الاستراتيجيات المقترحة لتعزيز التكامل وتحقيق التنمية المستدامة

يمكن تعزيز التكامل بين الطاقات المتجددة وقطاع النفط والغاز في ليبيا من خلال تبني مجموعة من الاستراتيجيات العملية التي تراعي الخصائص الاقتصادية والجغرافية للبلاد. ومن أهم هذه الاستراتيجيات البدء بتنفيذ مشاريع تجريبية للطاقة الشمسية داخل الحقول النفطية بهدف تقييم الأداء الفني والاقتصادي قبل التوسع في التطبيق على نطاق أوسع (هيئة أبحاث العلوم الطبيعية والتكنولوجيا، 2023).

كما يمكن التوسع في استخدام الأنظمة الهجينة التي تجمع بين الطاقة الشمسية والمولدات التقليدية لضمان استمرارية الإمداد الكهربائي وتحقيق أقصى استفادة من الموارد المتاحة. وقد أثبتت هذه الأنظمة نجاحها في العديد من التجارب الدولية المتعلقة بالقطاع النفطي (IRENA, 2024).

ومن الاستراتيجيات المهمة أيضاً تطوير التشريعات والسياسات الداعمة للطاقة المتجددة، وتوفير الحوافز الاستثمارية التي تشجع الشركات النفطية على الاستثمار في مشاريع الطاقة النظيفة، بما يحقق التوازن بين الأهداف الاقتصادية والبيئية (World Bank, 2023).

كما ينبغي تعزيز التعاون الدولي والاستفادة من الخبرات والتجارب العالمية الناجحة في مجال دمج الطاقات المتجددة داخل الصناعة النفطية، مع العمل على نقل التكنولوجيا وتوطينها بما يتناسب مع الظروف المحلية في ليبيا (International Energy Agency, 2024).

وفي ضوء ما سبق، يمكن القول إن مستقبل التكامل بين الطاقات المتجددة وقطاع النفط والغاز في ليبيا يبدو واعداً إذا ما توفرت الإرادة المؤسسية

والاستثمارات المناسبة والدعم التشريعي اللازم، الأمر الذي من شأنه أن يسهم في تحقيق التنمية المستدامة وتعزيز أمن الطاقة وتحسين كفاءة القطاع النفطي.

11. التحليل الكمي والتطبيقي

يبين تجميع المؤشرات أن مشكلة التحول في ليبيا ليست نقص المورد الطبيعي بقدر ما هي فجوة بين إمكانات الطاقة النظيفة وبنية اقتصاد يعتمد بصورة مرتفعة على الهيدروكربونات. فبحسب البنك الدولي، مثلت الهيدروكربونات في عام 2024 نحو 65% من الناتج المحلي الإجمالي و93% من الصادرات و72% من الإيرادات العامة (World Bank, 2026). وهذه النسب تعني أن أي اضطراب في الإنتاج أو السعر ينتقل مباشرة إلى النمو والموازنة والنقد الأجنبي، ولذلك فإن الاقتصاد الأخضر في الحالة الليبية ينبغي أن يُقاس بقدرته على تقليل هذا الارتباط تدريجياً، لا بمجرد زيادة عدد الألواح الشمسية.

وفي جانب العرض الطاقي، تشير الاستراتيجية الوطنية للطاقات المتجددة وكفاءة الطاقة 2023–2035 إلى موارد شمسية مرتفعة وإلى هدف تراكمي يبلغ 4000 MW من القدرات المتجددة بحلول 2035، منها 3300 MW من الخلايا الشمسية و600 MW من الرياح و100 MW من المركزات الشمسية، مع مساهمة مستهدفة تقارب 20% من الطلب الكهربائي. وتقدر الاستراتيجية الاستثمارات المطلوبة لإنشاء هذه القدرات بنحو 4.977 مليارات دولار. ويمنح ذلك إطاراً كمياً للسوق المحتمل، لكنه لا يثبت بحد ذاته تحقق التنفيذ؛ إذ يلزم التمييز بين الهدف المخطط والقدرة المتعاقد عليها والمنفذة والمشغلة (وزارة التخطيط وجهاز الطاقات المتجددة، 2023).

جدول 1. مؤشرات كمية مرتبطة بالتحول نحو الاقتصاد الأخضر في ليبيا

الدلالة التحليلية	القيمة/الهدف	المؤشر
تركيز مرتفع يبرر التنويع وتقليل حساسية المالية العامة للصدمات	65% من الناتج؛ 93% من الصادرات؛ 72% من الإيرادات	الاعتماد الهيدروكربوني (2024)
ميزة طبيعية قوية خصوصاً للحقول الصحراوية والمواقع النائية	نحو 8.1–7.1 kWh/m²/day وفق المناطق الواردة بالاستراتيجية	المورد الشمسي
يوفر مساراً وطنياً يمكن ربطه ببرامج الشركات النفطية	4000 MW تراكمياً؛ 20% من الطلب الكهربائي	هدف القدرة المتجددة 2035
هيمنة PV تجعل الخبرة الشمسية أولوية للتدريب وسلاسل التوريد	3300 MW PV؛ 600 MW رياح؛ 100 MW CSP	التركيب المستهدف للقدرة
الحاجة إلى ترتيب المشاريع وتمويلها وفق الجاهزية والمخاطر	4.977 مليارات دولار لإنشاء 4000 MW	الاستثمار التقديري

المصدر: إعداد الباحثين بالاستناد إلى World Bank (2026) والاستراتيجية الوطنية للطاقات المتجددة وكفاءة الطاقة 2023–2035.

ومن منظور التطبيق داخل القطاع النفطي، لا تتساوى الأحمال في ملاءمتها للبدء بالطاقة المتجددة. فالأحمال الصغيرة والموزعة مثل أجهزة القياس والاتصالات والإنارة أقل حساسية وأقرب للتطبيق المباشر، بينما تتطلب المضخات والمرافق المتوسطة تصميماً هجينا وإدارة تخزين وتحكم، وتحتاج تطبيقات الحرارة الصناعية أو الأحمال الحرجة الكبيرة إلى دراسة موقعية تفصيلية واحتياط تشغيلي. ويساعد هذا التصنيف على تقليل مخاطر الانتقال من مشروع تجريبي إلى مشروع واسع قبل إثبات الاعتمادية.

جدول 2. مصفوفة مرحلية لتطبيق الطاقة المتجددة في المنشآت النفطية

المخاطر/الأولوية	الخيار التقني	أمثلة الأحمال	المرحلة
منخفضة نسبياً؛ أولوية البدء	PV + تخزين صغير	مراقبة، اتصالات، قياس، إنارة، ميانٍ خدمية	المستوى 1: أحمال مساندة
متوسطة؛ يتطلب قياس حمل وتحكم	PV/هجين + بطاريات أو مولد احتياط	مضخات، ورش، مرافق، ميكروشبكات	المستوى 2: أحمال تشغيلية متوسطة
مرتفعة؛ دراسة جدوى ومشروع	CSP أو أنظمة هجينة	معالجة، ضغط، حرارة عمليات،	المستوى 3: أحمال
كبيرة	تطبيقات EOR	تجريبي قبل التوسع	حرجة/حرارية

المصدر: إعداد الباحثين استناداً إلى تحليل التطبيقات الواردة في الدراسة ودراسات الحالة المنشورة.

وتوفر الدراسات الليبية المنشورة دليلاً تطبيقياً يمكن الاستفادة منه من دون اعتباره بديلاً عن القياس الميداني لكل حقل. ففي نموذج الكفرة، قدّرت دراسة Aldali et al. (2011) إنتاج محطة PV افتراضية بقدرة 50 MW بنحو 114 GWh سنوياً وخفضاً قدره 76 ألف طن من CO_2 سنوياً. وفي جنوب ليبيا، حللت دراسة Ehtiwesh et al. (2023) دمج CSP مع توربين غازي في بيئة قريبة من الأنشطة البترولية، وقدمت تصميماً لحقل شمسي حراري بقدرة 532 MWth مع كفاءة حرارية للدورة تبلغ 32.6%. وتثبت هذه النتائج الإمكانية الفنية، لكنها لا تعني أن القيم نفسها تنتقل إلى جميع الحقول، لأن حمل الموقع، ونوعية الوقود، والمسافة، ودرجة الحرارة، والغبار، والتخزين، والتعرفة تحدد النتيجة الاقتصادية النهائية.

جدول 3. مقارنة مختصرة للأدلة التطبيقية ومجال الاستفادة

حدود النقل إلى القطاع النفطي	النتيجة الكمية	النطاق	المصدر/الحالة
دليل على قوة المورد الشمسي؛ ليس مشروعاً نفطياً منفذاً	50 MW؛ 114 GWh/سنة؛ خفض CO_2 بنحو 76 ألف طن/سنة	الكفرة – PV واسع النطاق	Aldali et al. (2011)
أقرب للسياق الصناعي/البترولي؛ نتائج نمذجة تحتاج تحققاً موقعياً	كفاءة دورة 32.6%؛ حقل شمسي 532 MWth في تصميم الدراسة	جنوب ليبيا – CSP/توربين غازي	Ehtiwesh et al. (2023)
إطار سياساتي وتمويلي؛ التنفيذ الفعلي يحتاج متابعة سنوية	4000 MW بحلول 2035 و20%	ليبيا – برنامج وطني	الاستراتيجية الوطنية (2023)

12. مناقشة النتائج

تتفق نتائج الدراسة مع Almaktar and Shaaban (2021) و Maka et al. (2021) في أن ارتفاع المورد الشمسي لا يكفي وحده لإحداث تحول طاقي؛ إذ تتداخل العوامل التنظيمية والتمويلية والفنية مع جودة البنية التحتية. كما تتفق مع Badi et al. (2023) في مركزية البنية التحتية والاستقرار التنظيمي والاستثماري، إلا أن الدراسة الحالية توسع هذا الطرح من مستوى نشر الطاقة المتجددة عموماً إلى مستوى ترتيب التطبيقات داخل القطاع النفطي وفق درجة حساسية الحمل والحاجة إلى التخزين.

وتدعم النتائج الفنية لدراسة Aldali et al. (2011) الفرضية القائلة إن جنوب ليبيا قادر على إنتاج كهرباء شمسية بمعدلات مرتفعة، بينما تقدم دراسة Ehtiwesh et al. (2023) دليلاً أكثر قرباً من السياق الصناعي والنفطي من خلال تحليل دمج الحرارة الشمسية مع توربينات الغاز. غير أن الدراسة الحالية تختلف عن هذين العملين في أنها لا تختبر محطة واحدة، بل تضع نتائج الدراسات التقنية داخل إطار اقتصادي ومؤسسي أوسع يربط خفض استهلاك الوقود بهدف التنويع وتقليل الاعتماد على الإيرادات النفطية.

أما البيانات الاقتصادية فتظهر أن التحول يجب أن يكون تدريجياً. فاستمرار مساهمة الهيدروكربونات بنسب مرتفعة في الناتج والصادرات والإيرادات يعني أن التخلي السريع عن القطاع النفطي ليس واقعياً، بينما يمكن استخدامه كمنصة تمويل وبنية فنية للانتقال. ومن هنا تصبح أولوية السياسة هي خفض كثافة الوقود في العمليات، وتوجيه الوفورات والخبرة إلى مشروعات متجددة وسلاسل قيمة محلية، ثم توسيع مساهمة القطاعات غير النفطية.

وتتمثل القيمة المضافة للدراسة في الجمع بين ثلاثة أنواع من الأدلة: مؤشر الاقتصاد الكلي، وهدف الطاقة الوطني، ودليل التطبيق الفني. ويسمح هذا الدمج بتمييز ما هو متاح طبيعياً عما هو قابل للتنفيذ مؤسسياً، وما هو

مثبت بالنمذجة عما يحتاج إلى تجربة ميدانية. كما تمنع مصفوفة التطبيق الخلط بين نجاح نظام شمسي لتغذية الاتصالات وبين جاهزية نظام متجدد لتشغيل حمل نفطي حرج مستمر على مدار الساعة.

13. النتائج

1. يؤكد المؤشر الاقتصادي أن الاعتماد على الهيدروكربونات ما يزال بنيوياً؛ فقد مثلت في 2024 نحو 65% من الناتج المحلي الإجمالي و93% من الصادرات و72% من الإيرادات العامة، وهو ما يجعل التنويع ضرورة لإدارة المخاطر وليس خياراً بيئياً فقط.
2. تمتلك ليبيا مورداً شمسياً مرتفعاً، وتوفر الاستراتيجية الوطنية هدفاً كمياً واضحاً قدره 4000 MW وقدرة مساهمة تقارب 20% من الطلب
3. تكامل الطاقة المتجددة مع القطاع النفطي قابل للتطبيق على مراحل، وتظهر الأحمال المساندة مثل القياس والاتصالات والإنارة والمرافق الخدمية كأقل نقاط البدء مخاطرة وأسرعها لإنتاج بيانات تشغيلية محلية.
4. الأحمال التشغيلية المتوسطة والحرجة لا ينبغي تحويلها مباشرة إلى الطاقة الشمسية المنفردة؛ إذ تحتاج إلى نظم هجينة وتخزين واحتياط وتحليل موثوقية وحمل قبل الاستثمار.
5. تقدم الدراسات الليبية دليلاً كمياً على الإمكان الفني للطاقة الشمسية؛ فدراسة الكفرة قدرت 114 GWh سنوياً لمحطة 50 MW، ودراسة جنوب ليبيا أظهرت إمكانية دمج CSP مع توربين غازي ضمن نموذج حراري، إلا أن هذه النتائج لا تمثل جدوى تلقائية لكل حقل.
6. الغبار وارتفاع درجات الحرارة وتخزين الطاقة لا تعد مشكلات ثانوية، بل متغيرات تصميم تؤثر في القدرة الفعلية وعمر المكونات وتكلفة الصيانة، ويجب إدراجها في العطاءات ودراسات الجدوى.
7. العائق الرئيس أمام توسيع المشروعات ليس توافر المورد وحده، بل تكامل التنظيم والتمويل والبيانات والتنسيق المؤسسي والمهارات مع جاهزية المشروع الفنية.
8. يمكن أن يخدم القطاع النفطي التحول نحو الاقتصاد الأخضر من خلال تمويل المشروعات التجريبية وتوفير مواقع وأحمال فعلية وبيانات تشغيلية وإعادة توجيه الخبرة الهندسية نحو أنظمة الطاقة الهجينة.
9. لا يتحقق التنويع الاقتصادي بمجرد استبدال وقود بمصدر شمسي؛ بل عندما تنشأ قيمة مضافة محلية في التصميم والتركيب والصيانة والتحكم والتصنيع والخدمات والبحث والتدريب.
10. يوفر الإطار المرحلي المقترح أداة متابعة عملية: البدء بالأحمال الأقل خطورة، ثم الانتقال إلى الميكروشبكات والأنظمة الهجينة، ثم تطبيقات العمليات الحرارية بعد نجاح المشروعات التجريبية وقياس أدائها.

14. الاستنتاجات

1. الاقتصاد الأخضر في ليبيا لا يمثل انتقالاً فورياً من النفط إلى الطاقة المتجددة، بل عملية إعادة توظيف للثروة النفطية والبنية الفنية لتكوين أصول وقدرات إنتاجية أقل اعتماداً على الوقود الأحفوري.
2. الفرصة الأكبر ليست في وفرة الإشعاع وحدها، بل في تحويله إلى مشروعات قابلة للتمويل والتشغيل ضمن بيئة صحراوية صعبة وبعقود ومسؤوليات واضحة.
3. يُعد القطاع النفطي نقطة انطلاق مناسبة للتطبيق بسبب وجود أحمال موزعة ومواقع صحراوية وخبرة هندسية، لكن نجاح التحول يتطلب اختيار الأحمال تدريجياً وعدم تعريض استمرارية الإنتاج لمخاطر غير مختبرة.
4. القيمة الاقتصادية طويلة الأجل تظهر عندما يقترن خفض الوقود والانبعاثات بتطوير مهارات وشركات وخدمات محلية، بحيث يصبح الاستثمار الطاقي أداة لتنويع النشاط الاقتصادي لا مجرد مشروع كهربائي.

15. التوصيات

أولاً: توصيات للحكومة والجهات التنظيمية

1. تحويل أهداف الاستراتيجية الوطنية إلى برنامج سنوي معلن يبين القدرة المخططة والمتعاقدة وتحت الإنشاء والمشغلة، مع مؤشر مستقل للمشروعات المرتبطة بالقطاع النفطي.
2. استكمال الإطار القانوني للطاقات المتجددة والمنتج المستقل والربط والتخزين، وتوحيد المواصفات الفنية وآليات الترخيص والتعاقد.
3. ربط أي حوافز أو ضمانات مالية بمؤشرات أداء واضحة تشمل الوقود الموفر، والاعتمادية، والانبعاثات، والمحتوى المحلي.

ثانياً: توصيات للمؤسسة الوطنية للنفط والشركات النفطية

1. إنشاء برنامج تجريبي يبدأ بأحمال المراقبة والاتصالات والإنارة والمرافق، ثم ينتقل إلى المضخات والميكروشبكات الهجينة بعد قياس الأداء لمدة تشغيلية كافية.
2. إجراء تدقيق طاقي لكل موقع مرشح يتضمن منحنى الحمل، واستهلاك الوقود، وتكلفة نقله، ومعدل الأعطال، والغبار والحرارة، قبل تحديد حجم النظام المتجدد والتخزين.
3. إدراج متطلبات التنظيف والصيانة وقطع الغيار والتدريب والبيانات في عقود المشاريع، وعدم تقييم العروض على تكلفة الإنشاء وحدها.

ثالثاً: توصيات للجامعات ومراكز البحوث

1. إنشاء قواعد بيانات ميدانية مفتوحة للباحثين عن الإشعاع ودرجات الحرارة والغبار وأداء الأنظمة في الحقول الصحراوية، مع حماية البيانات التشغيلية الحساسة.
2. توجيه مشاريع التخرج والدراسات العليا إلى دراسات جدوى فعلية لأحمال نفطية محددة، تشمل LCOE والموثوقية والتخزين وتحليل الحساسية والمقارنة بالمولدات التقليدية.
3. تطوير برامج تدريب مشتركة بين تخصصات الطاقة المتجددة والهندسة النفطية والتحكم والصيانة.

رابعاً: توصيات للقطاع المالي والخاص

1. تطوير نماذج تمويل مرحلية للمشروعات التجريبية والأنظمة الهجينة، مع ربط السداد بالوفورات القابلة للقياس عندما تسمح البيانات بذلك.
2. تشجيع إنشاء شركات محلية لخدمات التصميم والتركيب والمراقبة والتنظيف والصيانة، ثم الانتقال تدريجياً إلى تصنيع المكونات ذات الجدوى التنافسية.

16. الخاتمة

أظهرت الدراسة أن الاقتصاد الأخضر يمكن أن يشكل مساراً عملياً للتحول الاقتصادي في ليبيا عندما يُربط مباشرة ببنية الاقتصاد الحالية وبقطاع النفط والغاز بدلاً من طرحه بديلاً مفاجئاً له. وتوضح المؤشرات الحديثة أن استمرار الاعتماد المرتفع على الهيدروكربونات يزيد تعرض الاقتصاد للصدمات، في حين تمنح الموارد الشمسية والأهداف الوطنية للطاقة المتجددة قاعدة مادية لخفض استهلاك الوقود وبناء قدرات جديدة.

وفي الوقت نفسه، بين التحليل أن النجاح لا يُقاس بإعلان القدرات المستهدفة، بل بقدرة المؤسسات على تحويلها إلى مشروعات قابلة للتمويل والتشغيل والصيانة. ويقترح البحث لذلك مساراً تطبيقياً يبدأ بالأحمال الأقل خطورة داخل الحقول والمنشآت النفطية، ويجمع بيانات أداء محلية، ثم يتدرج نحو الأنظمة الهجينة والأحمال الأكثر تعقيداً. وبهذا يصبح القطاع النفطي جزءاً من عملية التحول من خلال تمويل المعرفة والبنية والمهارات، بينما تنتقل القيمة الاقتصادية تدريجياً إلى خدمات وتقنيات وسلاسل توريد أقل اعتماداً على الريع النفطي.

17. المراجع

أبو القاسم، م. (2022). اقتصاديات النفط والطاقة. دار الفكر العربي.

الحاج، خ. (2020). اقتصاديات الطاقة وإدارة الموارد الطبيعية. دار صفاء للنشر والتوزيع.

الشريف، س. (2020). تطبيقات الطاقة الشمسية في القطاعات الصناعية. منشورات جامعة طرابلس.

السيد، م. (2021). الطاقة المتجددة وتحديات التحول الطاقي. دار التعليم الجامعي.

العاني، ع. (2021). صناعة النفط والغاز والتحديات المعاصرة. دار اليازوري العلمية.

العيساوي، ح. (2018). الطاقة والبيئة والتنمية المستدامة. دار المناهج للنشر والتوزيع.

عبد الحميد، أ. (2019). الطاقات المتجددة والتنمية المستدامة. دار المعرفة الجامعية.

محمد، ع. (2021). الطاقة المتجددة وتطبيقاتها الهندسية. مؤسسة شباب الجامعة.

المنتصر، ع. (2018). تاريخ الصناعة النفطية في ليبيا. جامعة بنغازي.

المؤسسة الوطنية للنفط. (2024). التقرير السنوي للمؤسسة الوطنية للنفط.

دولة ليبيا، وزارة التخطيط، وجهاز الطاقات المتجددة. (2023). الاستراتيجية الوطنية للطاقات المتجددة وكفاءة الطاقة 2023–2035. https://reaol.ly/

هيئة أبحاث العلوم الطبيعية والتكنولوجيا. (2023). تقرير واقع الطاقة المتجددة في ليبيا.

Aldali, Y., Henderson, D., & Muneer, T. (2011). A 50 MW very large-scale photovoltaic power plant for Al-Kufra, Libya: Energetic, economic and environmental impact analysis. International Journal of Low-Carbon Technologies, 6(4), 277–293. https://doi.org/10.1093/ijlct/ctr015

Almaktar, M., & Shaaban, M. (2021). Prospects of renewable energy as a non-rivalry energy alternative in Libya. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 143, 110852. https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.110852

Badi, I., Stević, Ž., & Bouraima, M. B. (2023). Overcoming obstacles to renewable energy development in Libya: An MCDM approach towards effective strategy formulation. Decision Making Advances, 1(1), 17–24. https://doi.org/10.31181/v120234

Ehtiwesh, S., Gabbasa, A., & Ehtiwesh, I. (2023). The potential of using the incorporation of concentrated solar power and gas turbines in the south of Libya. International Journal of Thermodynamics, 26(4), 1–10. https://doi.org/10.5541/ijot.1293271

International Energy Agency. (2024). World Energy Outlook 2024. IEA.

International Monetary Fund. (2025). Libya: 2025 Article IV consultation—Press release; and staff report (IMF Country Report No. 25/148). International Monetary Fund.

International Renewable Energy Agency. (2024). Renewable Capacity Statistics 2024. IRENA.

Lagili, H. S. A., Kiraz, A., Kassem, Y., & Gökçekuş, H. (2023). Wind and solar energy for sustainable energy production for family farms in coastal agricultural regions of Libya using measured and multiple satellite datasets. Energies, 16(18), 6725. https://doi.org/10.3390/en16186725

Maka, A. O. M., Salem, S., & Mehmood, M. (2021). Solar photovoltaic (PV) applications in Libya: Challenges, potential, opportunities and future perspectives. Cleaner Engineering and Technology, 5, 100267. https://doi.org/10.1016/j.clet.2021.100267

United Nations. (2023). The Sustainable Development Goals Report 2023: Special edition. United Nations.

World Bank. (2023). Energy transition and sustainable development report. World Bank.

World Bank. (2026). Libya: Overview. World Bank Group.