

تحليل واقع وكفاءة قطاع الطاقة المتجددة في الجزائر خلال الفترة 2015-2024 باستخدام منهجية تحليل القرار متعدد المعايير (MCDM)

Analysis of the Status and Efficiency of the Renewable Energy Sector in Algeria during the Period 2015–2024 Using the Multi-Criteria Decision-Making (MCDM) Methodology.

يخلف عبدالله¹، بوطغان محمد عبد الرزاق²

Yekhlef Abdallah¹, Boutaghane Mohammed Abderrezak²

¹مخبر ديناميكية الاقتصاد الكلي والتغيرات الهيكلية، جامعة مستغانم (الجزائر)، abdellah.yekhlef@univ-mosta.dz

mosta.dz

²جامعة مستغانم (الجزائر)، mohammed.boutaghane@univ-mosta.dz

تاريخ الاستلام: 2026/03/08 تاريخ القبول: 2026/05/22 تاريخ النشر: 2026/07/01

ملخص:

تهدف هذه الدراسة إلى تحليل كفاءة مصادر الطاقة المتجددة في الجزائر خلال الفترة (2015-2024) باستخدام منهجية تحليل القرار متعدد المعايير (MCDM)، وقد تم اعتماد طريقتي Shannon Entropy لتحديد أوزان معايير التقييم بصورة موضوعية، وEDAS لترتيب بدائل الطاقة المتجددة، شمل التقييم أربعة مصادر رئيسية هي الطاقة الشمسية، وطاقة الرياح، والطاقة الكهرومائية، والكتلة الحيوية وفق معايير اقتصادية وتقنية وبيئية واستراتيجية، أظهرت النتائج تفوق الطاقة الشمسية تليها طاقة الرياح نظرا للإمكانات الطبيعية الكبيرة التي تمتلكها الجزائر، وتبرز الدراسة أهمية تطوير الطاقات المتجددة في تقليل الاعتماد على الغاز الطبيعي وتعزيز أمن الطاقة ودعم مسار التحول الطاقوي.

كلمات مفتاحية: التحول الطاقوي، الطاقات المتجددة، تنويع الاقتصاد، الكفاءة الطاقوية، MCDM.

تصنيفات JEL: Q01, Q43, Q48, O13, O44, Q42

Abstract:

This study aims to analyze the efficiency of renewable energysources in Algeriaduring the period (2015–2024) using the Multi-CriteriaDecision-Making (MCDM) approach. The **Shannon Entropymethod**wasapplied to determine the objective weights of the evaluationcriteria, while the **EDAS**

¹ المؤلف المرسل: يخلف عبدالله ، الإيميل: abdellah.yekhlef@univ-mosta.dz

(Evaluation based on Distance from Average Solution) method was used to rank renewable energy alternatives. The assessment included four main energy sources: solar energy, wind energy, hydropower, and biomass, based on economic, technical, environmental, and strategic criteria. The results show that solar energy ranks first, followed by wind energy, due to Algeria's significant natural potential. The study highlights the importance of developing renewable energy to reduce dependence on natural gas, enhance energy security, and support the energy transition process.

Keywords: Energy transition, Renewable energy, Economic diversification, Energy efficiency, MCDM.

JEL Classification Codes: Q42, Q43, Q48, O13, O44, Q01.

1. مقدمة:

لقد شهد قطاع الطاقة المتجددة في الجزائر تطورا ملحوظا خلال الفترة 2020-2023، حيث بلغت القدرة المركبة حوالي 600.9 ميغاواط بنهاية سنة 2023 مع هيمنة واضحة للطاقة الشمسية خارج نطاق الطاقة الكهربائية، إذ بلغت 472 ميغاواط، مشكلة نسبة نمو قدرها 15% مقارنة بسنة 2019.

(Commissariat aux Energies Renouvelables et à l'Efficacité Energétique, 2024)

كما شهدت الجزائر بروز نسيج صناعي ناشئ، يتمثل في إنشاء ستة مصانع لتكوين وحدات الطاقة الشمسية، مما يعزز الاستقلال الطاقوي، وفي هذا السياق، أسندت وزارة الطاقة والمناجم سنة 2023 عقودا مؤقتة لبرنامج مشروع "2000 ميغاواط" و "1000 ميغاواط سولار"، واللذين يهدفان إلى إنشاء 15 محطة و 5 محطات شمسية كهروضوئية على التوالي، موزعة عبر عدة ولايات من الوطن (Mourad A, 2024).

ورغم امتلاك الجزائر إمكانات طبيعية معتبرة في مجال الطاقات المتجددة، لا سيما الطاقة الشمسية وطاقة الرياح، فإن تقييم كفاءة هذه المصادر وتحديد أولويات الاستثمار فيها يعد مسألة أساسية لدعم سياسات التحول الطاقوي، ومن هذا المنطلق، تبرز أهمية استخدام أساليب تحليل القرار متعدد المعايير (MCDM) التي تسمح بتقييم بدائل الطاقة وفق مجموعة من المعايير الاقتصادية والتقنية والبيئية والاستراتيجية.

تسعى هذه الدراسة إلى تحليل كفاءة مصادر الطاقة المتجددة في الجزائر خلال الفترة (2015-2024)، من خلال توظيف طريقتي Shannon Entropy لتحديد أوزان المعايير بشكل موضوعي، وطريقة EDAS لترتيب بدائل الطاقة المتجددة وفق مستوى كفاءتها، وتهدف الدراسة إلى تقديم إطار تحليلي

يسهم في دعم صناع القرار في توجيه الاستثمارات الطاقوية نحو المصادر الأكثر كفاءة، بما يساهم في دعم التحول الطاقوي وتعزيز التنمية الاقتصادية المستدامة في الجزائر.

إشكالية الدراسة:

برز الاستثمار في قطاع الطاقات المتجددة في الجزائر كخيار استراتيجي واعد، غير أن هذا المسار لا يخلو من العديد من الصعوبات والعوائق، حيث يواجه تحديات تمويلية وتنظيمية وتكنولوجية وبيروقراطية، إضافة إلى صعوبة تحديد أكثر هذه المصادر كفاءة وجدوى، إذ يتطلب ذلك استخدام أدوات تحليل علمية قادرة على تقييم البدائل وفق مجموعة من المعايير التي تعكس مختلف جوانب الأداء والكفاءة، ومن هذا المنطلق يمكن صياغة إشكالية الدراسة في السؤال الرئيسي التالي:

رغم امتلاك الجزائر لإمكانات شمسية عالية وانخفاض تكاليف تقنيات الطاقات المتجددة عالميا، لا تزال هذه المصادر تمثل نسبة ضعيفة في المزيج الكهربائي مقارنة بالغاز الطبيعي، في ظل تعدد البدائل وقيود الموارد، ما هو مصدر الطاقة المتجددة الأكثر كفاءة لدعم التحول الطاقوي في الجزائر خلال الفترة (2015-2024)؟

وللإجابة على الإشكالية حاولنا تقسيمها إلى الأسئلة الفرعية التالية:

1. ما الإطار النظري لتقييم كفاءة مصادر الطاقة المتجددة، وما أهم المعايير الاقتصادية والتقنية والبيئية والاستراتيجية المعتمدة في قياس جدواها؟
 2. ما طبيعة الأوزان الموضوعية للمعايير الأكثر تأثيرا عند تطبيق مقاربة ShannonEntropy في تقييم تكنولوجيات الطاقة المتجددة في الجزائر؟
 3. أي من بدائل الطاقة المتجددة (الشمسية الكهروضوئية، الرياح، الكتلة الحيوية، الكهرومائية) يحقق أفضل أداء وفق منهجية EDAS في السياق الجزائري؟
 4. كيف يمكن توظيف نتائج النموذج الكمي في دعم السياسات الطاقوية الرامية إلى تقليل الاعتماد على الغاز الطبيعي وتعزيز الأمن الطاقوي المستدام؟
- فرضيات الدراسة:

استنادا إلى الإشكالية المطروحة وأهداف الدراسة، تم صياغة مجموعة من الفرضيات تمثلت فيما يلي:

يلي:

الفرضية الأولى: تحتل الطاقة الشمسية الكهروضوئية (PV) المرتبة الأولى من حيث الكفاءة والجدوى الاقتصادية والاستراتيجية في الجزائر مقارنة ببقية مصادر الطاقة المتجددة، مدعومة بالميزة النسبية للإشعاع الشمسي وتنافسية تكاليفها التكنولوجية.

الفرضية الثانية: يساهم الدمج بين مقارنتي Shannon Entropy وEDAS في تقديم تقييم أكثر موضوعية ودقة لبدائل الطاقة المتجددة من خلال تحديد أوزان كمية قائمة على تباين البيانات، بما يقلل من التحيزات الذاتية في عملية اتخاذ القرار.

الفرضية الثالثة: يساهم تطوير الطاقة الشمسية في تقليص الاعتماد على الغاز الطبيعي في إنتاج الكهرباء، بما يتيح تحرير جزء منه للتصدير أو الاستخدام الصناعي، ويعزز بذلك الأمن الطاقوي الوطني.

أهداف الدراسة:

تهدف هذه الدراسة إلى تحليل كفاءة مصادر الطاقة المتجددة في الجزائر خلال الفترة (2015-2024) من خلال تقييم أدائها النسبي وفق إطار متعدد المعايير، وتسعى إلى قياس مستوى أداء بدائل الطاقة المتجددة المتاحة وتحديد الفروق بينها اعتمادا على مؤشرات كمية تعكس مختلف جوانب الكفاءة. كما تعمل الدراسة على تحديد الأوزان الموضوعية لمعايير التقييم باستخدام منهجية Shannon Entropy بما يسمح بتقليل الطابع الذاتي في تحديد أهمية كل معيار، ثم ترتيب البدائل محل الدراسة وفق منهجية EDAS بهدف إبراز الخيارات الأكثر كفاءة في السياق الجزائري، ويُنتظر أن تساهم النتائج المتوصل إليها في دعم عملية اتخاذ القرار في مجال السياسات الطاقوية، وتوجيه الاستثمارات نحو البدائل الأكثر جدوى بما يعزز مسار التحول الطاقوي، ويدعم أمن الطاقة، ويساهم في تنويع الاقتصاد الوطني.

المنهجية المتبعة: يعتمد هذا البحث على المنهج الوصفي التحليلي الذي يجمع بين الدراسة النظرية والتحليل التطبيقي، بهدف فهم واقع قطاع الطاقة المتجددة في الجزائر وتقييم كفاءته في دعم التحول الطاقوي، وتنويع الاقتصاد الوطني خلال الفترة 2015-2024.

كما تم الاعتماد على عدة مصادر للبيانات، منها تقارير وزارة الطاقة والمناجم، الوكالة الوطنية لتطوير الطاقة المتجددة، بيانات الوكالة الدولية للطاقة المتجددة (IRENA)، منظمة الأوبك (OPEC) والبنك الدولي، وذلك لدقة وموثوقية المعطيات التي تقدمها حول التحول الطاقوي وتطور قطاع الطاقة المتجددة على المستويين الوطني والدولي.

الدراسات السابقة:

1. دراسة (Morteza Yazdani et autre, 2020) بعنوان :

Evaluation of renewable energy resources using integrated ShannonEntropy²-EDAS³ model

حيث سعت إلى معالجة مشكلة معقدة تواجه صناع القرار في قطاع الطاقة، والمتمثلة في المفاضلة بين عدة مصادر للطاقة المتجددة وفق مجموعة من المعايير ذات الطابع الاقتصادي والتقني والاجتماعي والبيئي.

يتناول المقال أهمية اختيار أفضل مصدر للطاقة المتجددة من أجل دعم كفاءة قطاع الطاقة وتحقيق الاستدامة، ويقترح الباحثون نموذجاً لاتخاذ القرار متعدد المعايير يجمع بين منهجية Shannon Entropy لتحديد الأوزان الموضوعية للمعايير وطريقة EDAS لترتيب بدائل الطاقة المتجددة، وقد تم تطبيق النموذج على عدة مصادر للطاقة المتجددة مثل الطاقة الشمسية وطاقة الرياح والكتلة الحيوية، وأظهرت نتائج الدراسة أن طاقة الرياح تعد الخيار الأكثر ملاءمة وفق نتائج التقييم المعتمد على المعايير المدروسة. (Morteza Yazdani et autre, 2020)

2. دراسة بعنوان: دور قطاع توليد الطاقة الكهربائية في تحقيق الاستدامة وأمن الطاقة، للدكتور محمد فرحات، حيث خلصت إلى أن العديد من الدول العربية، لاسيما النفطية منها، تمكنت من تحقيق أمن الطاقة من خلال استغلال موارد الغاز الطبيعي والنفط المتاحة لديها لتلبية احتياجاتها من الطاقة الكهربائية.

أما فيما يتعلق باستدامة الطاقة، فتشير الدراسة إلى أن عدداً محدوداً من الدول العربية استطاع تقليل اعتماده الكلي على النفط والغاز، ويُعزى ذلك إلى مجموعة من العوامل، من بينها الخصائص المناخية الصحراوية الحارة في هذه الدول، والتي تؤثر سلباً على كفاءة المحطات الشمسية ومزارع الطاقة، إضافة إلى ارتفاع تكاليف الصيانة (فرحات، 2023).

² إنتروبيا شانون (Shannon Entropy) هي طريقة رياضية تُستخدم في اتخاذ القرار متعدد المعايير (MCDM) لتحديد أوزان المعايير بشكل موضوعي اعتماداً على كمية المعلومات أو درجة التباين في البيانات.

³ طريقة EDAS (Assessment based on Distance from Average Solution) هي أسلوب لاتخاذ القرار متعدد المعايير يستخدم المسافة من الحل المتوسط لتقييم وترتيب البدائل، تستخدم لتقييم مشاريع أو تقنيات مختلفة مثل مصادر الطاقة المتجددة

3. مقال بعنوان: تطوير الطاقة وإدارتها في الشرق الأوسط: تحليل شامل، يتناول قضايا تطوير الطاقة وإدارتها في منطقة الشرق الأوسط، مع تسليط الضوء على أبرز التحديات والفرص المتاحة في هذا المجال.

يشير المقال إلى أن الطلب على الطاقة يشهد تزايداً مستمراً نتيجة النمو السكاني والتوسع العمراني والتصنيع، وهو ما أدى إلى ارتفاع انبعاثات الكربون وتفاقم المخاوف البيئية المرتبطة بها، وتستدعي هذه التطورات تبني سياسات أكثر فاعلية لتحسين كفاءة استخدام الطاقة، وترشيد الاستهلاك، وتعزيز الاستثمار في البدائل الأقل تلويثاً.

وترى الدراسة أن تحقيق إدارة مستدامة للطاقة يتطلب إجراء إصلاحات هيكلية عميقة، تشمل مراجعة سياسات دعم أسعار الطاقة، وتطوير البنية التحتية، وتعزيز الربط الكهربائي بين الدول، إضافة إلى تشجيع التمويل الأخضر ودعم الابتكار التكنولوجي (Simin Tazikeh, 2025).

2. الإطار النظري والمفاهيمي لمصطلحات الدراسة:

1.2 تعريف الطاقة المتجددة: تعرف الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (IPCC) الطاقة المتجددة على أنها: " كل طاقة مشتقة من مصادر شمسية، جيوفيزيائية، أو بيولوجية، وتتجدد بمعدل يفوق استهلاكها، وتشمل الطاقة الشمسية، الرياح، الكتلة الحيوية، طاقة باطن الأرض، حركة المياه، والطاقة الناتجة عن مد وجزر المحيطات، وتتحول هذه المصادر إلى طاقة حرارية وكهربائية، وتستخدم لتلبية احتياجات الطاقة من الوقود والكهرباء باستخدام تكنولوجيات متعددة. (بن لخضرو افتخار، 2020)

كما يعرفها المشرع الجزائري حسب القانون رقم 04-09 المتعلق بترقية الطاقات المتجددة في إطار التنمية المستدامة، على أنها: " أشكال الطاقات الكهربائية أو الحركية أو الحرارية أو الغازية المحصل عليها انطلاقاً من تحويل الإشعاعات الشمسية وقوة الرياح والحرارة الجوفية والنفايات العضوية والطاقات المائية وتقنيات استعمال الكتلة الحيوية، ومجموع الطرق التي تسمح باقتصاد معتبر في الطاقة باللجوء إلى تقنيات هندسة المناخ الحيوي في عملية البناء" (الجريدة الرسمية، 2004)

2.2 مفهوم التحول الطاقوي والاقتصاد الأخضر: يعد التحول الطاقوي خطوة أساسية نحو تقليل الاعتماد على الوقود الأحفوري، من خلال الانتقال إلى مصادر طاقة نظيفة وخالية من الكربون، وحسب الوكالة الدولية للطاقة المتجددة (IRENA)، يحقق هذا الهدف عبر التوسع في استغلال الطاقات المتجددة،

إلى جانب تبني سياسات وإجراءات فعالة لتحسين كفاءة استخدام الطاقة، والتي من شأنها أن تساهم بما يقارب 90% من التخفيضات المطلوبة في انبعاثات الكربون. (IRENA,2025)

ويعرف التحول الطاقوي على أنه عملية تغيير جوهريّة في طريقة إنتاج واستهلاك الطاقة، تشمل التحولات في نوع الوقود المستخدم، ومصادر الطاقة المعتمدة، وآليات التوزيع، وكذلك في أنماط الاستهلاك النهائي، ويهدف هذا التحول إلى بناء نظام طاقوي مستدام، متنوع، وأكثر كفاءة ومرونة في مواجهة التحديات البيئية والاقتصادية. (Araujo K,2014)

كما يختلف مفهوم التحول الطاقوي من بلد إلى آخر ومن منطقة إلى أخرى، وفقا لطبيعة مصادر الطاقة المعتمدة ومدى تأثيرها البيئي، ففي بعض السياقات، يرتبط هذا التحول بالحد من الانبعاثات الكربونية، بينما في أخرى قد يشمل الابتعاد عن الطاقة النووية أو غيرها من المصادر المثيرة للجدل.

فعلى سبيل المثال، يتمثل إطار التحول الطاقوي في ألمانيا في الانتقال من نظام طاقوي يعتمد على الوقود الأحفوري والطاقة النووية، إلى نظام قائم على مصادر الطاقة المتجددة، مدعوما بتحولات شاملة على المستويات التكنولوجية، والسياسية، والاقتصادية ذات الصلة. (Strunz,2014)

ويقودنا تعريف التحول الطاقوي إلى مفهوم آخر أكثر شمولية و حدثاً، وهو الاقتصاد الأخضر، والذي يعني النشاط الاقتصادي "الذي يؤدي إلى تحسين الرفاه البشري والعدالة الاجتماعية، مع الحد بشكل كبير من المخاطر البيئية ونقص الموارد". (PNUE,2011)

كما يرى Karl Burkart أن الاقتصاد الأخضر يقوم على ستة قطاعات أساسية تسعى إلى تحقيق التنمية المستدامة مع الحفاظ على البيئة، وتشمل هذه القطاعات الطاقة المتجددة التي تساهم في تقليل الانبعاثات الكربونية، والبناء الإيكولوجي الذي يعتمد على مواد صديقة للبيئة ويعزز كفاءة استخدام الطاقة.

كما يتضمن قطاع النقل الذي يركز على تحسين كفاءة الطاقة والاتجاه نحو الطاقات النظيفة، إضافة إلى إدارة المياه التي تهدف إلى ترشيد الاستهلاك وإعادة التدوير، ويشمل أيضا إدارة النفايات من خلال تحسين عمليات الجمع وإعادة الاستخدام والتممين، وأخيرا التخطيط الترابي الذي يدعم الاقتصاد الدائري ويحافظ على النظم البيئية والتنوع البيولوجي. (Tănasie et autre,2022)

3.2 مفهوم تنوع الاقتصاد: تظهر الأبحاث أن الاقتصادات الأكثر تنوعا ترتبط بمستويات أعلى من الناتج المحلي الإجمالي، حيث يشير التنوع الاقتصادي أو التنوع الاقتصادي إلى الاختلافات في الوضع

الاقتصادي أو إلى استخدام مجموعة واسعة من الأنشطة الاقتصادية في منطقة أو دولة ما، حيث يستخدم هذا التنوع كاستراتيجية لتعزيز النمو الاقتصادي الإيجابي والتنمية. (Freire,2017)

كما يعد التنوع الاقتصادي عنصرا أساسيا في عملية التنمية الاقتصادية، حيث يسمح للدولة بالتحول نحو هيكل إنتاج وتبادل أكثر تنوعا، أما ضعف التنوع الاقتصادي فيؤدي غالبا إلى زيادة التعرض للصدمات الخارجية، مما قد يعرقل آفاق النمو الاقتصادي على المدى الطويل.

وعادة ما تمتلك الدول الأكثر فقرا في العالم، والتي تكون غالبا صغيرة أو معزولة جغرافيا، أو غير ساحلية، و/أو تعتمد بشكل كبير على الزراعة الأولية أو المعادن، هياكل اقتصادية شديدة التركز، وهذا يخلق صعوبات بسبب التعرض لصدمات قطاعية، مثل الظواهر الجوية في القطاع الزراعي أو التقلبات المفاجئة في أسعار المعادن. (Brenton et autre,2020)

كما يميل النمو الاقتصادي أيضا إلى أن يكون غير متوازن في البلدان المعتمدة على الموارد المعدنية، أو بطيئا وصعب الاستمرار في الدول الزراعية.

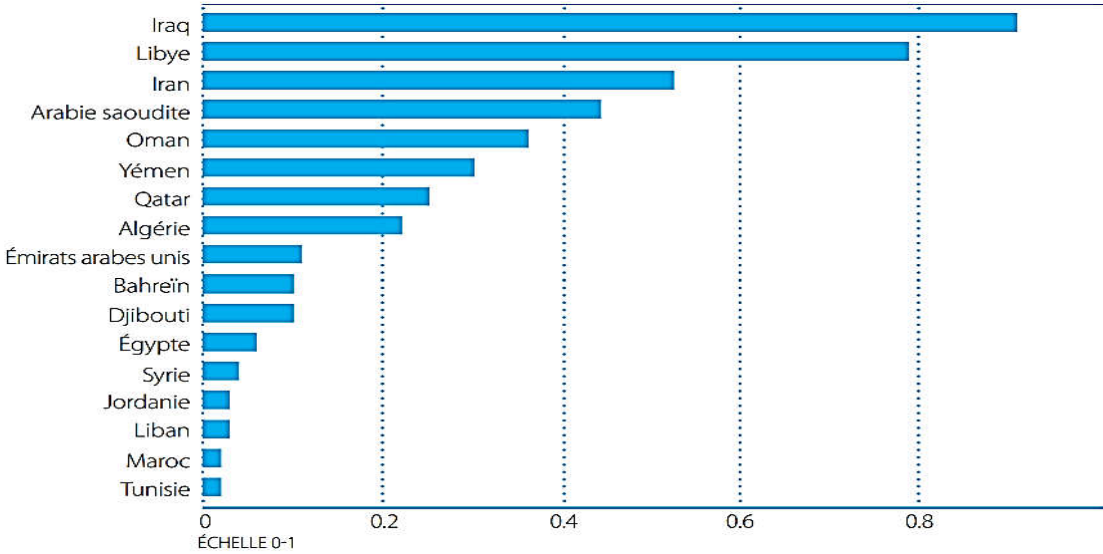
ويعتد تحقيق نمو اقتصادي قائم على التجارة يسهم في تقليص الفقر أمرا بالغ الصعوبة، خصوصا في البلدان التي تعتمد اقتصاداتها بشكل كبير على المواد الأولية.

وتواجه الدول التي تعاني من ضعف الاتصال الجغرافي بالأسواق الإقليمية أو العالمية صعوبات في تنوع إنتاجها وتغيير تركيبة صادراتها.

ويمثل الشكل (1) نظرة عامة على مستويات التنوع في مختلف مناطق العالم النامي بالنسبة للدول العربية بما فيها الجزائر، من خلال مؤشر هيرفندال-هيرشمان⁴ (HHI) لقياس تركّز السوق:

⁴مؤشر هيرفندال-هيرشمان (Herfindahl-Hirschman Index - HHI) هو مؤشر إحصائي يستخدم لقياس درجة تركّز السوق أو الاقتصاد، أي مدى اعتماد الاقتصاد على عدد محدود من القطاعات أو المنتجات، ويحسب هذا المؤشر بجمع مربعات الحصص النسبية لكل قطاع أو منتج حسب العلاقة التالية: $HHI = \sum_{i=1}^n s_i^2$ ، حيث s_i هي الحصة السوقية لكل عنصر بالمسبة المؤوية و n عدد القطاعات.

الشكل 1: تنوع الصادرات - (IHH) الشرق الأوسط وشمال أفريقيا، 2017



source : panorama de l'aide pour le commerce 2019 : diversification et autonomisation économiques - © ocde, omc 2020, https://www.wto.org/french/res_f/booksp_f/aid4trade19_chap5_f.pdf,

من خلال الشكل الذي يعرض مؤشر هيرفندال-هيرشمان (HHI) لقياس درجة تركيز الصادرات في مجموعة من الدول العربية، على مقياس من 0 إلى 1، حيث يشير الرقم الأقرب إلى 1 إلى اعتماد مفرط على عدد قليل من المنتجات التصديرية (أي ضعف التنوع الاقتصادي) نلاحظ أن العراق وليبيا وإيران تأتي في أعلى الترتيب، ما يدل على اعتماد شديد على مورد واحد، غالبا النفط، في المقابل، دول مثل تونس، المغرب ولبنان تظهر بدرجة منخفضة، مما يعكس تنوعا اقتصاديا أفضل.

أما الجزائر فهي تحتل المرتبة الثامنة تقريبا من حيث تركيز الصادرات، بقيمة تقارب 0.22، وهذه النتيجة تعني أن الاقتصاد الجزائري لا يزال معتمدا بدرجة كبيرة على صادرات محدودة، وبالأخص المحروقات (النفط والغاز)، ورغم أن التركيز أقل من دول مثل العراق وليبيا، إلا أن الجزائر لا تزال بعيدة عن دول ذات اقتصادات أكثر تنوعا مثل تونس والمغرب، وهذا ما يعكس حاجة الجزائر إلى تكثيف جهود التنوع الاقتصادي، من خلال:

أ- تطوير قطاعات الصناعة والخدمات؛

ب- دعم الصادرات غير النفطية؛

ج-جذب الاستثمارات في القطاعات الإنتاجية مثل الزراعة، السياحة، والاقتصاد الرقمي.

3.الكفاءة الطاقوية للطاقات المتجددة

1.3 مفهوم الكفاءة الطاقوية: تشير الفعالية الطاقوية أو الكفاءة الطاقوية في علم الاقتصاد إلى الحالة التشغيلية للنظام التي تُقلّل فيها كمية الطاقة المستهلكة إلى الحد الأدنى من أجل تقديم نفس مستوى الخدمة، وهي حالة خاصة من مفهوم الكفاءة أو النجاعة، وتتعلق بشكل خاص بقطاعات النقل الميكانيكي والبناء والصناعة، إذ تعدّ هذه القطاعات مسؤولة على التوالي عن حوالي 40٪ و25٪ من إجمالي استهلاك الطاقة في الاتحاد الأوروبي (Parlement européen, 2006).

وبالتالي، تعد الكفاءة الطاقوية أحد المحاور الاستراتيجية الأساسية في السياسات الاقتصادية والبيئية الحديثة، إذ تساهم في تقليل الانبعاثات الملوثة، وتخفيض التكاليف الطاقوية، وتعزيز التنافسية الصناعية، مما يجعلها ركيزة رئيسية في مسار التحول نحو اقتصاد منخفض الكربون.

2.3 معدل العائد الطاقوي: عند التطرق الى موضوع الطاقات المتجددة والتحول الطاقوي، يبرز مفهوم آخر وهو "معدل العائد الطاقوي" $(EROEI^5)$ ، حيث يعرف على أنه النسبة بين كمية الطاقة التي ينتجها النظام الطاقوي وكمية الطاقة التي كان من الضروري استثمارها في هذا النظام (Delannoy et al, 2023)، ويتم إجراء هذا الحساب على مدى كامل فترة عمر النظام الطاقوي الذي تتم دراسته، أي الطاقة المستعادة مقابل الطاقة المستثمرة وبحسب بالعلاقة التالية :

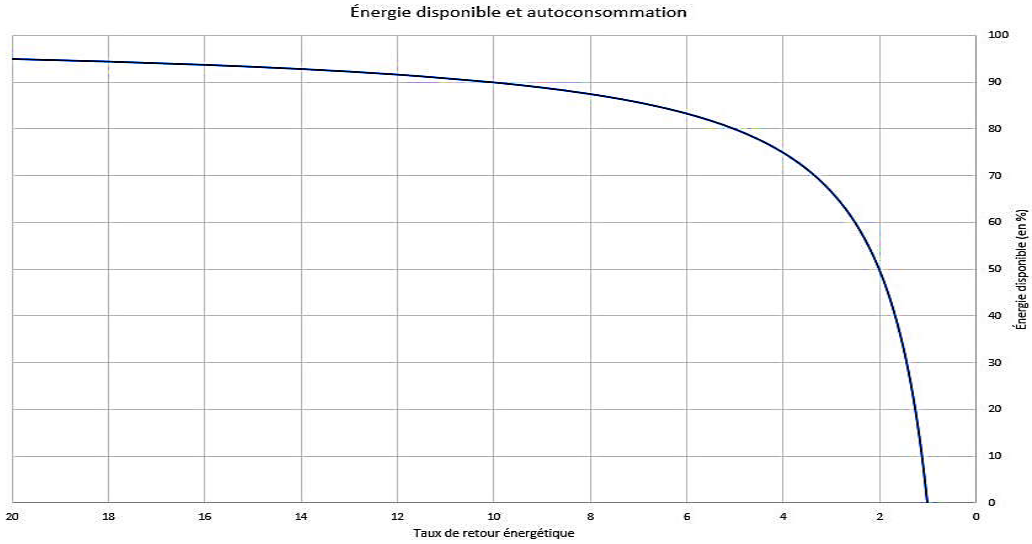
$$EROEI = \frac{\text{Usable Energy}}{\text{Energy Expended}} = \frac{\text{Net Energy} + \text{Energy Expended}}{\text{Energy Expended}} = \frac{\text{Net Energy}}{\text{Energy Expended}} + 1$$

فعندما يكون معدل العائد الطاقوي $(EROEI)$ مساويا لـ 1، فإن المكسب الطاقوي يكون منعهدا، أي أن كل الطاقة المنتجة تُستهلك ذاتيا، وهذا ما يظهره الرسم البياني رقم 2، حيث أن جميع الطاقة المنتجة تعاد استهلاكها داخل النظام نفسه.

أما عندما يكون معدل العائد الطاقوي مساويا لـ 5، فإن استخدام وحدة واحدة من الطاقة المستثمرة يُنتج مكسبا صافيا قدره 4 وحدات من الطاقة، كما يبيّن الرسم أن 80٪ من الطاقة المنتجة تكون متاحة للاستخدام الخارجي، بينما يُستهلك 20٪ منها ذاتيا لتشغيل النظام نفسه.

⁵EnergyReturned on EnergyInvested

الشكل 2: الطاقة الصافية النسبية وفقاً لمعدل العائد الطاقي (EROEI)



Source : Gérard Bonhomme et Jacques Treiner, Le taux de retour en énergie (EROI) et son importance dans l'évaluation des performances des systèmes énergétiques, Reflets phys. N°77 (2024) 24–29, p :25

يوضح المنحنى البياني رقم (2) العلاقة بين الطاقة الصافية المنتجة ومعدل العائد الطاقي (EROEI)، حيث تزداد الطاقة المتاحة للاستخدام كلما ارتفعت قيمة هذا المؤشر؛ فعند $EROEI=1$ تكون الطاقة الصافية معدومة، بينما تصل إلى نحو 80% عند $EROEI=5$ وقربة 90% عند $EROEI=10$. ويعكس ذلك أن ارتفاع معدل العائد الطاقي يعني كفاءة أعلى للنظام الطاقي وقدرته على إنتاج طاقة تفوق ما يُستهلك في عمليات الاستخراج والتشغيل، لذلك يُعد هذا المؤشر أداة أساسية لتقييم الجدوى الطاقوية والاقتصادية لمصادر الطاقة المختلفة، كما يبين التحليل أن معدلات العائد المرتفعة التي تميز بها الوقود الأحفوري تاريخياً بدأت في التراجع نتيجة تزايد صعوبة الاستخراج واستنزاف الموارد السهلة، مما يعزز أهمية استخدام هذا المؤشر في تحليل آفاق التحول نحو نظم طاوية أكثر استدامة.

3.3 تحليل القرار متعدد المعايير (MCDM): يعد تحليل القرار متعدد المعايير (Multiple Criteria Decision Making – MCDM) من أهم الأدوات الكمية المستخدمة في تحليل السياسات العامة واتخاذ القرارات المعقدة، خاصة في القطاعات التي تتضمن عددا كبيرا من المعايير المتعارضة مثل قطاع الطاقة.

تعتمد نماذج MCDM على تقييم مجموعة من البدائل (Alternatives) وفق مجموعة من المعايير (Criteria) التي قد تكون اقتصادية أو تقنية أو بيئية أو اجتماعية، ويكمن الهدف الأساسي لهذه النماذج في تحديد البديل الأمثل الذي يحقق أفضل توازن بين هذه المعايير المختلفة. (Morteza Yazdani et al, 2020)

وتستخدم هذه النماذج في مجال سياسات الطاقة بشكل واسع لتقييم مصادر الطاقة المختلفة مثل الطاقة الشمسية والرياح والطاقة الكهرومائية، وذلك في ضوء مؤشرات متعددة مثل التكلفة والكفاءة والأثر البيئي وأمن الطاقة.

وتؤدي نماذج MCDM وظيفتين رئيسيتين (Shah et al, 2024):

1. تحديد الأوزان النسبية للمعايير (Weighting Criteria)؛

2. ترتيب البدائل وفق هذه المعايير (Ranking Alternatives)؛

ومن بين أكثر الطرق استخداما في هذا المجال:

1. **AHP (Analytic Hierarchy Process)**: تعتمد على المقارنات الزوجية (Pairwise

Comparison) بناء على رأي الخبراء (ذاتية).

2. **TOPSIS**: تختار البديل الأقرب إلى الحل المثالي الموجب والأبعد عن الحل المثالي السالب.

3. **VIKOR**: تركز على إيجاد "حل وسط" (Compromise Solution) يقبل به معظم

المعايير.

4. **Shannon Entropy**: تعتمد على التشتت في البيانات نفسها لتحديد الأوزان دون تدخل

بشري (موضوعية).

5. **EDAS**: تقييم البدائل بناء على بعدها عن الحل المتوسط (Average Solution).

أ. طريقة **Shannon Entropy**: في سياق تحليل القرار متعدد المعايير، تستخدم هذه الطريقة

لتحديد أهمية المعايير بشكل موضوعي اعتمادا على درجة التباين في قيم البيانات الخاصة بكل معيار.

فكلما زاد التباين في بيانات معيار معين، زادت أهميته في عملية اتخاذ القرار، لأن هذا المعيار يمتلك

قدرة أكبر على التمييز بين البدائل المختلفة (Sadeghitabar et al, 2025)، وتكون وفق

المعادلات التالية: (Morteza Yazdani et al, 2020)

◀ تطبيع مصفوفة القرار P_{ij}

$$P_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}} \quad 43$$

◀ حساب قيمة الأترويا e_j

$$e_j = -k \sum_{i=1}^m P_{ij} \ln(P_{ij}), \quad k = \frac{1}{\ln(m)}$$

◀ حساب أوزان المعايير w_j :

$$W_j = \frac{1 - e_j}{\sum_{i=1}^m (1 - e_j)}, \quad j = 1, 2, \dots, n$$

ب. طريقة (EDAS) (Evaluation based on Distance from Average Solution)

تعتمد على تقييم البدائل بناء على مسافتين من الحل المتوسط: المسافة الإيجابية (PDA) والمسافة

السلبية (NDA)، وتطبق باتباع الخطوات التالية: (MortezaYazdani et autre, 2020)

1. حساب الحل المتوسط (AV) لكل معيار، وذلك وفق المعادلة التالية:

$$AV = [AV_j]_{1 \times m} \quad AV_j = \frac{\sum_{i=1}^n X_{ij}}{n}$$

2. حساب الانحراف الإيجابي (PDA) والسليبي (NDA).

$$PDA = [PDA_{ij}]_{n \times m} \quad NDA = [NDA_{ij}]_{n \times m}$$

$$PDA_{ij} = \frac{\max(0, (X_{ij} - AV_j))}{AV_j} \quad NDA_{ij} = \frac{\max(0, (AV_j - X_{ij}))}{AV_j}$$

3. حساب المجموع الموزون للـ PDA و NDA لكل بديل.

$$ASP_i = \sum_{j=1}^m w_j PDA_{ij} \quad SN_i = \sum_{j=1}^m w_j NDA_{ij}$$

$$NSP_i = \frac{SP_i}{\max_i (SP_i)} \quad NSN_i = 1 - \frac{SN_i}{\max_i (SN_i)}$$

4. حساب قيمة التقييم النهائي (AS) التي تتراوح بين [0, 1].

$$AS_i = \frac{1}{2} (NSP_i + NSN_i)$$

ويتم ترتيب البدائل وفق قيمة AS_i ، حيث تمثل أكبر قيمة أفضل بديل للطاقة المتجددة.

4. إمكانيات الجزائر في قطاع الطاقات المتجددة:

لا تزال الجزائر في مرحلة بداية الانتقال نحو الطاقات المتجددة، كما يشكل الاعتماد المفرط على الوقود الأحفوري تحديا استراتيجيا لمستقبلها الطاقوي، وفيما يلي عرض لقدرة الإنتاجية مقارنة بالاتحاد الأوروبي:

الجدول رقم 1: قدرات الإنتاج حسب مصدر الطاقة في الجزائر خلال الفترة 2023 (كيلوواط ساعي)

مصدر الطاقة	المجموع في الجزائر/سنة	النسبة في الجزائر	النسبة في الاتحاد الأوروبي	نصيب الفرد في الجزائر	نصيب الفرد في الاتحاد الأوروبي
الطاقات الأحفورية	95.35 مليار ك.و.س	98.1%	33.1%	2,036.86 ك.و.س	1,972.95 ك.و.س
الطاقة الشمسية	874.81 مليون ك.و.س	0.9%	9.2%	18.69 ك.و.س	548.37 ك.و.س
الطاقة الكهرومائية	874.81 مليون ك.و.س	0.9%	11.7%	18.69 ك.و.س	697.39 ك.و.س

Source : donnees mondiales,

[https://www.donneesmondiales.com/afrique/algerie/bilan-](https://www.donneesmondiales.com/afrique/algerie/bilan-energetique.php#google_vignette)

[energetique.php#google_vignette](https://www.donneesmondiales.com/afrique/algerie/bilan-energetique.php#google_vignette) , date de consultation : 12/08/2025

يبين الجدول رقم 1 اعتماد الجزائر شبه الكامل على الطاقات الأحفورية بنسبة 98.1% من إجمالي إنتاج الكهرباء، مقابل 33.1% فقط في الاتحاد الأوروبي، الذي يتجه بشكل متزايد نحو الطاقات النظيفة.

أما الطاقة الشمسية والكهرومائية فلا تمثلان سوى 0.9% لكل منهما في المزيج الطاقوي الجزائري، وهو معدل ضعيف جدا رغم توفر الجزائر على إمكانيات طبيعية كبيرة في مجال الإشعاع الشمسي. في المقابل، تظهر البيانات أن نصيب الفرد الأوروبي من الطاقة المتجددة يفوق نظيره الجزائري بأضعاف، ما يعكس الفجوة في التحول الطاقوي بين الجانبين.

1.4 البرنامج الوطني لتطوير الطاقات المتجددة 2015-2030

تُعَدُّ استراتيجية الجزائر في مجال الطاقات المتجددة محورا أساسيا في توجيهها نحو التحول الطاقوي وتنويع الاقتصاد بعيدا عن الاعتماد على المحروقات، ويهدف البرنامج الوطني للطاقات المتجددة إلى تنويع

المزيج الطاقوي وتطوير صناعة وطنية في مجالات الطاقة الشمسية والرياح والكتلة الحيوية، مع تشجيع الشراكات والاستثمار في التكنولوجيا الخضراء، كما تركز الدولة على تطوير الكفاءات البشرية من خلال برامج تكوين متخصصة في هندسة وإدارة مشاريع الطاقة، وقد خُطط للبرنامج على مرحلتين (2015-2020) و(2021-2030) بهدف بلوغ قدرة إجمالية تقارب 22 ألف ميغاواط من الطاقات المتجددة،

موزعة حسب الفروع الطاقوية كما يظهره الجدول التالي (وزارة المحروقات و المناجم، 2025):
الجدول رقم 2: البرنامج الوطني الجزائري لتطوير الطاقات المتجددة (2015-2030)، (الوحدة : ميغا واط)

المصدر الطاقوي	المرحلة الأولى- (2015-2020)	المرحلة الثانية* (2021-2030)	المجموع الكلي
الطاقة الشمسية الكهروضوئية	3,000 MW	10,575 MW	13,575 MW
طاقة الرياح	1,010 MW	4,000 MW	5,010 MW
الطاقة الشمسية الحرارية ⁶ (CSP)	—	2,000 MW	2,000 MW
التوليد المشترك للطاقة ⁷	150 MW	250 MW	400 MW
الكتلة الحيوية	360 MW	640 MW	1,000 MW
الطاقة الجوفية	5 MW	10 MW	15 MW
المجموع الكلي	4,525 MW	17,475 MW	22,000 MW

المصدر: وزارة الطاقة والطاقات المتجددة، <https://www.energy.gov.dz/?article=programme-de-developpement-des-energies-renouvelables>، تاريخ الاطلاع: 2025/08/12

* : [de-developpement-des-energies-renouvelables](https://www.energy.gov.dz/?article=programme-de-developpement-des-energies-renouvelables) ، تاريخ الاطلاع: 2025/08/12

القيم تقديرية

ومن المنتظر أن يسهم هذا البرنامج في خلق آلاف مناصب العمل المباشرة وغير المباشرة، خاصة في الجنوب والمناطق الريفية، مما يعزز التنمية المحلية والعدالة الطاقوية.

⁶ الطاقة الشمسية الحرارية (CSP - Concentrated Solar Power): هي تقنية تعتمد على تجميع أشعة الشمس باستخدام المرايا أو العدسات لتركيزها على نقطة أو أنبوب يحتوي على سائل ناقل للحرارة، مثل الزيت أو الأملاح المنصهرة، يتم تسخين هذا السائل إلى درجات حرارة مرتفعة تُستعمل لتوليد بخار يُشغل توربينات لإنتاج الكهرباء.
⁷ التوليد المشترك للطاقة هو نظام يُنتج في الوقت نفسه الكهرباء والحرارة من مصدر طاقة واحد، مما يزيد من كفاءة استغلال الوقود ويقلل من الفاقد الطاقوي، يُستخدم هذا النظام في المصانع والمباني الكبيرة لتوفير الطاقة الكهربائية والتدفئة أو التبريد في آن واحد.

ويمكن القول أن التحول الطاقوي في الجزائر لا يُعدّ مجرد خيار تقني، بل مشروعاً استراتيجياً وتنموياً شاملاً يجمع بين الأمن الطاقوي، السيادة التكنولوجية، والتنمية المستدامة، مما يجعل التجربة الجزائرية نموذجاً واعداً قابلاً للاستلهام في المنطقة العربية.

5. تحليل كفاءة قطاع الطاقة المتجددة في الجزائر خلال الفترة 2015-2024 باستخدام مقارنتي Shannon Entropy و EDAS:

1.1. البدائل المقترحة (A_i):

اعتمدت الدراسة على أربعة بدائل رئيسية للطاقة المتجددة في الجزائر، وهي:

1. **A1**: الطاقة الشمسية الكهروضوئية (PV) الخيار الأكثر وفرة في الجزائر، حيث تعتبر الجزائر من أغنى دول العالم بالإشعاع الشمسي، خاصة في المناطق الصحراوية، حيث يتجاوز معدل الإشعاع الشمسي 2000-3000 ساعة سنوياً؛
2. **A2**: طاقة الرياح (Wind) تتركز في الهضاب العليا والجنوب الكبير (أدرار)؛
3. **A3**: الطاقة الكهرومائية (Hydro) محدودة ومرتبطة بمشاريع الري، تعتمد على السدود والموارد المائية، إلا أن إمكاناتها محدودة نسبياً بسبب الطبيعة المناخية شبه الجافة للجزائر؛
4. **A4**: الكتلة الحيوية (Biomass) استغلال النفايات الحضرية والزراعية، وتشمل:
 - النفايات الزراعية؛
 - النفايات البلدية؛
 - بقايا الغابات.

2.5. معايير التقييم (C_j):

تم اختيار 8 معايير شاملة تمثلت فيما يلي:

1. اقتصادية: تكلفة رأس المال (C_1)، تكلفة التشغيل (C_2)، تكلفة الطاقة (C_3)؛
2. اجتماعية: خلق فرص العمل (C_4)؛
3. بيئية وفنية: استهلاك الأراضي (C_5)، الانبعاثات (C_6)، الكفاءة (C_7)، ووفرة الموارد (C_8).

3.5. التطبيق القياسي للنموذج (محاكاة للفترة 2015-2024)

مصفوفة القرار الأولية: في الجدول الموالي مصفوفة القرار المتوافقة مع 4 بدائل المقترحة السابقة،

إضافة إلى 8 معايير تقييم:

الجدول رقم 3 : مصفوف القرارات الأولية (بدائل * معايير التقييم)

C8 وفرة الموارد (ساعة/سنة)	C7 الكفاءة (%)	C6 الانبعاثات (gCO ₂ /kW h)	C5 استهلاك الأراضي (م ² /ميغاواط)	C4 فرص العمل (وظيفة/ميغاواط)	C3 تكلفة الطاقة (\$/kWh)	C2 تكلفة التشغيل (\$/kW/yr)	C1 تكلفة رأس المال (\$/kW)	(A _i) البديل
3000	22	45	2500	18	0.045	15	850	A1: شمسي كهروضوئي
2200	38	12	800	12	0.065	25	1350	A2: رياح
1200	45	24	15000	8	0.085	40	2800	A3: كهرومائية
1800	32	85	1200	25	0.095	55	3200	A4: كتلة حيوية

المصدر: من إعداد الباحثين اعتمادا على القيم تقديرية محاكاة للفترة 2024/2015 استنادا الى تقارير الوكالة الدولية للطاقة المتجددة IRENA.

أ. نتائج Shannon Entropy: بعد تحليل البيانات الإحصائية لقطاع الطاقة في الجزائر، أظهرت النتائج أن تكلفة الاستثمار وخفض الانبعاثات تحسلا على أعلى الأوزان، مما يعكس الضغوط المالية والالتزامات الدولية للجزائر.

أظهرت النتائج أن الكفاءة (C7) حصلت على أعلى وزن (13.2%)، تليها تكلفة رأس المال (C1) بنسبة 13.1%. هذا يعكس أن نجاح التحول في الجزائر يعتمد بشكل أساسي على الجدوى الاقتصادية والمردود التقني، وهذا ما يظهر في الجدول التالي:

الجدول 4: أوزان المعايير حسب Shannon Entropy

المعيار	الوصف	الإنثروبيا (e)	التباين (d)	الوزن (w)	الترتيب
C7	الكفاءة	0.868	0.132	0.132	1
C1	تكلفة رأس المال	0.869	0.131	0.131	2
C6	الانبعاثات	0.885	0.115	0.115	3
C3	تكلفة الطاقة	0.892	0.108	0.108	4
C8	وفرة الموارد	0.901	0.099	0.099	5
C4	فرص العمل	0.912	0.088	0.088	6
C5	استهلاك الأراضي	0.925	0.075	0.075	7
C2	تكلفة التشغيل	0.947	0.053	0.053	8
المجموع			0.760	1.000	

المصدر: من إعداد الباحثين بالاعتماد على الجدول رقم 3

ب. تطبيق EDAS وترتيب البدائل: بناءً على حساب المسافات من الحل المتوسط، تم التوصل إلى الترتيب التالي لكفاءة البدائل كما هو مبين في الجدول التالي:

جدول رقم 5: ترتيب بدائل الطاقات المتجددة حسب طريقة EDAS

الترتيب	البديل	قيمة AS	التفسير
1	الطاقة الشمسية (PV)	0.89	تفوق كاسح بسبب انخفاض التكاليف عالمياً ووفرة الإشعاع.
2	طاقة الرياح	0.65	كفاءة عالية في مناطق محددة لكنها تتطلب بنية تحتية للشبكة.
3	الكتلة الحيوية	0.42	واعدة في تسيير النفايات الحضرية ولكنها محدودة طاقياً.
4	الطاقة الكهرومائية	0.31	تراجع الدور بسبب ندرة الموارد المائية والتغير المناخي.

المصدر: من اعداد الباحثين، انظر الملحق للنتائج الكاملة.

ج. تحليل النتائج: تظهر الدراسة أن الجزائر تمتلك ميزة تنافسية مطلقة في الطاقة الشمسية، حيث سجلت أعلى قيمة في نموذج EDAS خلال الفترة 2015-2024، وذلك بسبب الميزة الطبيعية المطلقة التي تمتلكها الجزائر بأعلى معدلات اشعاع عالمياً، خاصة في الهضاب العليا و الصحراء التي تمثل 80% من المساحة الاجمالية، إضافة إلى انخفاض النسبي لتكاليف الألواح الكهروضوئية منذ سنة 2010، ما يجعلها الأكثر جدوى اقتصادياً.

لكن "كفاءة التحول" لا تزال تصطدم بـ:

1. الاعتماد على التمويل العمومي: غياب الاستثمار الأجنبي المباشر الكثيف في هذا القطاع، وهذا ما يفسر وزن C1 المرتفع (13.1%) ما يعكس حساسية القرار للتكلفة؛
2. الدعم السعري للكهرباء التقليدية: مما يضعف الجدوى الاقتصادية للمنافسة المتجددة (C3)
3. ضعف البنية التحتية للشبكة: حيث يحد من دمج طاقة الرياح في الشبكة، إضافة الى محدودية الاستغلال خلال الشمس المتقطعة (ضعف تخزين الكهرباء الكهروضوئية)، وهذا ما يفسر الفجوة بين A1 و A2 رغم الإمكانيات الكبيرة للجزائر فيما يخص الرياح؛
4. ندرة الموارد المائية: وهذا ما يقلص الإمكانيات الكهرومائية، وهذا يبرر تدني ترتيب A3 (A3=0.31).

ولقد أثبتت الدراسة أن التحول الطاقوي في الجزائر هو الرافعة الأساسية لتنويع الاقتصاد، فالطاقة الشمسية ليست مجرد بديل للكهرباء، بل هي نواة لصناعة محلية (تجهيزات، تركيب، صيانة) يمكن أن تخلق آلاف الوظائف.

6. خاتمة:

هدفت هذه الدراسة إلى تحليل كفاءة قطاع الطاقة المتجددة في الجزائر خلال الفترة (2015-2024)، وذلك من خلال بناء نموذج متكامل لتحليل القرار متعدد المعايير (MCDM) يجمع بين منهجية Shannon Entropy لتحديد الأوزان الموضوعية للمعايير، وطريقة EDAS لترتيب بدائل الطاقة المتجددة حسب كفاءتها، وقد توصلت الدراسة إلى مجموعة من النتائج الجوهرية التي تتمحور حول تفوق الطاقة الشمسية الكهروضوئية كأفضل خيار استراتيجي، وفعالية المنهجية المستخدمة في تقديم تقييم دقيق، وأهمية التحول الطاقوي في تعزيز أمن الطاقة الوطني.

وبناءً على النتائج التحليلية التي أسفر عنها النموذج المقترح، يمكن الإجابة على فرضيات الدراسة كما يلي:

بخصوص الفرضية الأولى: التي نصت على أن الطاقة الشمسية تمتلك أعلى مستوى من الكفاءة والجدوى الاستراتيجية مقارنة ببقية مصادر الطاقة المتجددة في الجزائر، فقد أثبتت نتائج تطبيق طريقة EDAS صحة هذه الفرضية، حيث احتلت الطاقة الشمسية الكهروضوئية (PV) المرتبة الأولى بدرجة تقييم ($AS = 0.89$)، متفوقة على طاقة الرياح (0.65)، والكتلة الحيوية (0.42)، والطاقة الكهرومائية (0.31)، ويعزى هذا التفوق إلى الميزة النسبية المطلقة للجزائر في الإشعاع الشمسي، وانخفاض التكاليف العالمية للتكنولوجيا الشمسية، مما يجعلها الخيار الأمثل اقتصادياً وتقنياً.

بخصوص الفرضية الثانية: التي أكدت أن استخدام منهجية تحليل القرار متعدد المعايير (MCDM) يوفر تقييماً أكثر دقة وموضوعية لبدائل الطاقة المتجددة، فقد أظهرت الدراسة أن الدمج بين Shannon Entropy و EDAS قد نجح في إزالة الذاتية في تحديد الأوزان، حيث أن معايير "الكفاءة" و "تكلفة رأس المال" هي الأكثر تأثيراً (أوزان موضوعية)، مما يعزز من مصداقية الترتيب النهائي للبدائل مقارنة بالأساليب التقليدية المعتمدة على التقدير الشخصي.

بخصوص الفرضية الثالثة: التي افترضت أن تطوير الطاقات المتجددة يساهم في تقليل الاعتماد على الغاز الطبيعي وتعزيز أمن الطاقة في الجزائر، فقد أكدت النتائج أن التنويع الطاقوي يمثل رافعة أساسية

للأمن الطاقوي، خاصة في ظل هيمنة الوقود الأحفوري على إنتاج الكهرباء بنسبة تتجاوز 98% حالياً،
إن تفعيل البدائل المتجددة، وخاصة الشمسية، سيسمح بتحرير الغاز الطبيعي للتصدير أو للصناعة، مما
يدعم الاقتصاد الوطني ويقلل من البصمة الكربونية تماشياً مع الالتزامات الدولية.

وفي ضوء ما تقدم، تخرج الدراسة بمجموعة من التوصيات الاستراتيجية:

1. تسريع برامج الطاقة الشمسية: ضرورة إعطاء الأولوية القصوى لمشاريع الطاقة الشمسية
الكهروضوئية في المناطق الصحراوية والهضاب العليا، نظراً لجدواها الاقتصادية العالية التي أثبتتها النموذج؛
2. تحسين البنية التحتية للشبكة الكهربائية: الاستثمار في الشبكات الذكية (Smart Grids) وتقنيات
التخزين لتمكين دمج الطاقات المتقطعة (الشمس والرياح) دون التأثير على استقرار الشبكة الوطنية؛
3. جذب الاستثمار الأجنبي المباشر: مراجعة الإطار التشريعي والتنظيمي لتقديم ضمانات للمستثمرين
الأجانب، والانتقال من الاعتماد الكلي على التمويل العمومي إلى شراكات القطاع العام والخاص
(PPP)؛

4. توطين صناعة الطاقة المتجددة: دعم إنشاء صناعات محلية لتجهيزات الطاقة الشمسية ومكوناتها،
مما يساهم في خفض تكلفة رأس المال (C1) وخلق فرص عمل (C4)، وهو ما يعزز من الكفاءة
الكلية للقطاع على المدى الطويل؛

5. اعتماد نماذج القرار في التخطيط الطاقوي: توصي الدراسة باعتماد نماذج MCDM المتقدمة في
التخطيط المستقبلي لضمان موضوعية القرارات ومواءمتها مع المعطيات التقنية والاقتصادية المتغيرة.
بعد التحول نحو الطاقة المتجددة في الجزائر ليس خياراً بيئياً فحسب، بل ضرورة اقتصادية
واستراتيجية لضمان مستقبل طاقوي مستدام، وتؤكد هذه الدراسة أن الأدوات الكمية الدقيقة مثل
نموذج Shannon Entropy-EDAS تمثل بوصلة توجيهية صلبة لصناع القرار لتحقيق هذا الهدف.

8. قائمة المراجع:

1. Araújo, K. (2014). The emerging field of energy transitions: Progress, challenges, and opportunities. *Energy Research & Social Science*, 01, 112–121. <https://doi.org/www.sndll.arn.dz/10.1016/j.erss.2014.03.002>.
2. Brenton, P., Gillson, I., & Sauvé, P. (2021). Diversification économique: Les leçons de l'expérience. In *Panorama de l'aide pour le commerce 2019: Diversification et autonomisation économiques* (Chapitre 5, p. 144). OECD & WTO.
3. Commissariat aux Energies Renouvelables et à l'Efficacité Energétique. (2024). Bilan des capacités d'énergies renouvelables installées en Algérie à fin 2023 (P. 5).
4. Delannoy, et al. (2023). Emerging consensus on net energy paves the way for improved integrated assessment modeling. SSRN. https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=4500020
5. European Parliament, & Council of the European Union. (2006). Directive 2006/32/CE du 5 avril 2006 relative à l'efficacité énergétique dans les utilisations finales et aux services énergétiques. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/?uri=CELEX:32006L0032>
6. Freire, C. (2017). Economic diversification: Explaining the pattern of diversification in the global economy and its implications for fostering diversification in poorer countries (DESA Working Paper No. 150). United Nations. https://www.un.org/esa/desa/papers/2017/wp150_2017.pdf
7. International Renewable Energy Agency. (n.d.). Energy transition outlook. <https://www.irena.org/Energy-Transition/Outlook>
8. Ministry of Energy and Mines Algeria. (n.d.). Programme de développement des énergies renouvelables. <https://www.energy.gov.dz/?article=programme-de-developpement-des-energies-renouvelables>
9. Mourad, A. (2024, September 2). Expansion des énergies renouvelables en Algérie: Ce que révèle le rapport de la CEREFE. *Les Enjeux Eco*. <https://lesenjeuxeco.dz/expansion-des-energies-renouvelables-en-algerie-ce-que-revele-le-rapport-de-la-cerefe/>
10. Programme des Nations Unies pour l'environnement. (2011). Vers une économie verte: Pour un développement durable et une éradication de la

- pauvreté – Synthèse à l'intention des décideurs.pp 1-52,<http://archive.ipu.org/splz-f/rio+20/rpt-unep.pdf>
11. Sadeghitabar, E., Ghasempour, R., Vaziri Rad, M. A., & Toopshekan, A. (2025). Optimization and Shannon entropy multi-criteria decision-making method for implementing modern renewable energies in stand-alone greenhouses. *Energy Conversion and Management: X*, 27, 101139. <https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2025.101139>
12. Shah, A. I., & Pan, N. D. (2024). Flood susceptibility assessment of Jhelum River Basin: A comparative study of TOPSIS, VIKOR and EDAS methods. *Geosystems and Geoenvironment*, 3(4), 100304. <https://doi.org/10.1016/j.geogeo.2024.100304>
13. Strunz, S. (2014). German energy transition as a regime shift. *Ecological Economics*, 100, 150–158.
14. Tănăsie, A. V., Năstase, L. L., Vochița, L. L., Manda, A. M., Boțoreanu, G. I., & Sitnikov, C. S. (2022). Green economy—Green jobs in the context of sustainable development. *Sustainability*, 14(8), 4796. <https://doi.org/10.3390/su14084796>
15. Tazikeh, S., & Mohammadzadeh, O. (2025). Energy development and management in the Middle East: A holistic analysis. *Energy Conversion and Management*, 323(Part A), 119124.
16. Yazdani, M., Torkayesh, A. E., Santibanez-Gonzalez, E. D. R., & Khanmohammadi Otaghsara, S. (2020). Evaluation of renewable energy resources using integrated Shannon Entropy—EDAS model. *Sustainable Operations and Computers*, 1, 35–42. <https://doi.org/10.1016/j.susoc.2020.12.002>
17. عيسى بن لخضر، يوسف افتخار (2020) واقع الطاقات المتجددة في الجزائر وآفاقها المستقبلية: دراسة تقييمية. مجلة الدراسات التجارية والاقتصادية المعاصرة، 3(2)، عدد خاص، 22.
18. فرحات، م، (2023)، دور قطاع توليد الطاقة الكهربائية في تحقيق الاستدامة وأمن الطاقة، مؤتمر الطاقة العربي الثاني عشر: الطاقة والتعاون العربي، الصندوق العربي للإنماء الاقتصادي والاجتماعي، قطر.

19. الجريدة الرسمية، (2004)، القانون رقم 09-04 المتعلق بترقية الطاقات المتجددة في إطار التنمية المستدامة، العدد 52. https://creg.gov.dz/wp-content/uploads/2026/02/loi%20n%C2%B0%2004-09_VAr.pdf

9. الملاحق

الترتيب	البديل	الرمز	SN_i	NSP_i	NSN_i	AS_i
1	الطاقة الشمسية الكهروضوئية	A1	0.892	0.124	1.000	0.890
2	طاقة الرياح	A2	0.654	0.285	0.735	0.650
3	الكتلة الحيوية	A4	0.421	0.412	0.473	0.420
4	الطاقة الكهرومائية	A3	0.298	0.624	0.335	0.310