

دور البيانات الضخمة في ترشيد اتخاذ القرارات الاقتصادية بقطاع الطاقات المتجددة: دراسة تحليلية للتجارب الدولية وإمكانية الاستفادة منها في الجزائر

The Role of Big Data in Enhancing Economic Decision-Making in the Renewable Energy Sector: An Analytical Study of International Experiences and the Possibility of Benefiting from Them in Algeria

بن مخلوف أميرة، مخبر الابتكار والهندسة المالية، جامعة العربي بن مهيدي أم البواقي، الجزائر، amira.benmakhlouf@univ-
oeb.dz

Received: 26/01/2026

Accepted: 02/06/2026

Published: 10/06/2026

المخلص: يهدف هذا البحث إلى إبراز دور البيانات الضخمة في ترشيد اتخاذ القرارات الاقتصادية في قطاع الطاقات المتجددة، من خلال تحليل إسهامها في تحسين التخطيط الطاقوي، والتنبؤ بالإنتاج والطلب، وتقليل المخاطر الاقتصادية، ورفع كفاءة الاستثمار. اعتمدت الدراسة على المنهج الوصفي التحليلي، من خلال تحليل تجارب كل من الاتحاد الأوروبي والولايات المتحدة الأمريكية والصين في توظيف البيانات الضخمة والنكاه الاصطناعي في القطاع الطاقوي. وتوصلت الدراسة إلى أن الاستخدام المكثف للبيانات الضخمة يسهم بشكل ملموس في خفض التكاليف التشغيلية، وتحسين أداء الشبكات الذكية، وتعزيز جودة القرار الاقتصادي والاستثماري. كما أظهرت النتائج أن نجاح هذه التجارب يرتبط بتوفر بنية تحتية رقمية وكفاءات بشرية وسياسات داعمة. وتتمثل القيمة العلمية المضافة في تقديم نماذج دولية رائدة يمكن الاستفادة منها في الدول النامية، خاصة الجزائر، بهدف تطوير سياساتها في مجال الانتقال الطاقوي الرقمي.

الكلمات المفتاحية: بيانات ضخمة؛ اتخاذ قرار اقتصادي؛ طاقات متجددة؛ تخطيط طاقوي.

Abstract: This paper investigates how big data enhances economic decision-making in the renewable energy sector. Using a descriptive-analytical, it examines the experiences of the EU, USA, and China. Results indicate that big data reduces operational costs, improves smart grid performance, and supports better investment decisions. Success depends on digital infrastructure, skilled personnel, and supportive policies. The study provides actionable insights for developing countries, especially Algeria, to design effective strategies for a digital energy transition.

Keywords: Big Data; Economic Decision-Making; Renewable Energy; Energy Planning.

JEL Codes: Q42; Q48; O33.

Citation Benmakhlouf Amira , (2026). The Role of Big Data in Enhancing Economic Decision-Making in the Renewable Energy Sector: Evidence from International Experiences, *Journal of economics studies and researches in renewable energies*, 13(01), 228-248.

مقدمة:

شهد قطاع الطاقات المتجددة تحولات كبيرة خلال العقد الأخيرين نتيجة التوجه العالمي نحو الاقتصاد الأخضر وتقليل الاعتماد على المصادر الأحفورية التقليدية، بما يساهم في الحد من الانبعاثات الكربونية وتعزيز التنمية المستدامة. وتعد الطاقات المتجددة مثل الطاقة الشمسية، الريحية، والطاقة الكهرومائية رافعة أساسية للنمو الاقتصادي المستدام، لما توفره من طاقة نظيفة، فرص عمل جديدة، تعزيز الأمن الطاقوي وتحسين كفاءة استخدام الموارد. ومع توسع مشاريع الطاقة المتجددة وتعدد مصادرها، أصبح اتخاذ القرار الاقتصادي أكثر تعقيداً، إذ يعتمد على تقييم متغيرات متعددة تشمل الإنتاج، الطلب، تكاليف الاستثمار، والتقلبات المناخية. وقد أدى هذا التعقيد إلى ظهور الحاجة الملحة لتوظيف أدوات تحليلية حديثة، أبرزها البيانات الضخمة Big Data، والتي تمنح صانعي القرار القدرة على تحليل كميات هائلة من المعلومات بدقة وسرعة، والتنبؤ بالطلب المستقبلي للطاقة، وتحسين التخطيط الاستثماري وتقليل المخاطر المرتبطة بالمشاريع. كما أظهرت الدراسات الحديثة أن دمج البيانات الضخمة مع نظم دعم القرار وتحليل البيانات المتقدمة يمكن أن يرفع كفاءة استثمار المشاريع الطاقوية ويساهم في ترشيد الموارد، ويعد أداة استراتيجية لتحسين القرارات الاقتصادية. من هنا تتبلور إشكالية البحث في السؤال التالي:

إلى أي مدى يساهم توظيف البيانات الضخمة في ترشيد اتخاذ القرارات الاقتصادية بقطاع الطاقات المتجددة؟ وكيف يمكن للجزائر الاستفادة من التجارب الدولية في هذا المجال؟

- الأسئلة الفرعية

- كيف تؤثر البيانات الضخمة في تحسين جودة القرار الاقتصادي بقطاع الطاقات المتجددة؟
- ما أهم الأدوات والتقنيات الرقمية المستخدمة في تحليل البيانات الضخمة في القطاع الطاقوي؟
- كيف يمكن للجزائر الاستفادة من التجارب الدولية في توظيف البيانات الضخمة لدعم التحول الطاقوي؟

- فرضيات الدراسة:

- **الفرضية الرئيسية:** يساهم توظيف البيانات الضخمة في تحسين جودة وترشيد اتخاذ القرارات الاقتصادية بقطاع الطاقات المتجددة من خلال دعم التنبؤ والتخطيط وتقليل المخاطر.

- فرضيات فرعية:

- يساهم استخدام أدوات التحليل التنبؤي والذكاء الاصطناعي في تحسين كفاءة إدارة مشاريع الطاقات المتجددة .
- تساعد البيانات الضخمة على رفع دقة التخطيط الاستثماري وتقليل حالة عدم اليقين في القطاع الطاقوي .
- يمكن للجزائر الاستفادة من التجارب الدولية في توظيف البيانات الضخمة عبر تطوير البنية التحتية الرقمية وتعزيز الكفاءات البشرية والتنظيمية .

- **أهمية البحث:** تنبع أهمية البحث من الأهمية الاستراتيجية التي يكتسبها قطاع الطاقات المتجددة في تحقيق التنمية المستدامة، خاصة في ظل التحولات العالمية نحو الاقتصاد الأخضر والالتزامات الدولية المتعلقة بالحد من الانبعاثات الكربونية، ويعد اتخاذ القرار الاقتصادي الرشيد في هذا القطاع عاملاً حاسماً لضمان كفاءة استغلال الموارد الطاقوية

وتحقيق الجدوى الاقتصادية للمشاريع الاستثمارية. كما تبرز أهمية البحث من خلال تناوله لدور البيانات الضخمة باعتبارها أحد أبرز مخرجات التحول الرقمي، لما توفره من إمكانيات تحليلية متقدمة تساهم في تحسين جودة القرارات الاقتصادية، وتقليل حالة عدم اليقين المرتبطة بتقلبات الانتاج والطلب في الطاقات المتجددة.

- **أهداف البحث:** يهدف هذا البحث إلى:

➤ توضيح الإطار المفاهيمي للبيانات الضخمة واتخاذ القرار الاقتصادي في قطاع الطاقات المتجددة.
➤ تحليل دور تقنيات البيانات الضخمة في تحسين التخطيط الطاقوي، رفع كفاءة الاستثمار، وتقليل المخاطر الاقتصادية المرتبطة بمشاريع الطاقات المتجددة .

➤ الاستفادة من التجارب الدولية الرائدة في توظيف البيانات الضخمة في القطاع الطاقوي واستخلاص الدروس.

- **منهج البحث:** اعتمدت الدراسة على المنهج الوصفي التحليلي، من خلال عرض الإطار النظري المرتبط بالبيانات الضخمة واتخاذ القرار الاقتصادي في قطاع الطاقات المتجددة، مع الاستناد إلى تقارير وإحصاءات دولية حديثة لبيان أثر توظيف البيانات الضخمة في تحسين كفاءة التسيير والتخطيط الطاقوي. كما تم توظيف أسلوب دراسة الحالة من خلال عرض بعض التجارب الدولية الرائدة، خاصة تجارب الاتحاد الأوروبي، الولايات المتحدة الأمريكية والصين، بهدف استخلاص أهم الممارسات والتوجهات المعتمدة في توظيف البيانات الضخمة داخل القطاع الطاقوي، والاستفادة من إمكانيات التطبيق في الجزائر.

- **عرض وتحليل الدراسات السابقة:**

1. **دراسة قاشي والعوادي (2017) بعنوان أثر البيانات الضخمة في تحسين عملية اتخاذ القرار الإداري بالمؤسسات:** هدفت الدراسة إلى إبراز دور البيانات الضخمة في دعم اتخاذ القرار داخل المؤسسات الاقتصادية والإدارية. واعتمدت على المنهج الوصفي التحليلي من خلال مراجعة الأدبيات المتعلقة بالبيانات الضخمة ونظم دعم القرار. وتمثلت عينة الدراسة في مجموعة من المؤسسات التي تعتمد على نظم المعلومات الحديثة. وتوصلت الدراسة إلى أن البيانات الضخمة تساهم في تحسين جودة القرار، تقليل عدم اليقين، وتعزيز التخطيط الاستراتيجي . (قاشي، خ،، 2017)

2. **دراسة Di Matteo & Agostinelli (2022) بعنوان:**

Big Data Analysis for Optimising the Decision-Making Process in Sustainable Energy Action Plans: A Multi-Criteria Evaluation Approach Applied to Sicilian Regional Recovery and Resilience Plans.

هدفت الدراسة إلى تحليل دور البيانات الضخمة في تحسين عملية اتخاذ القرار ضمن خطط الطاقة المستدامة. واعتمدت على منهج التقييم متعدد المعايير وتحليل البيانات الضخمة، مع تطبيق الدراسة على خطط الطاقة بإقليم صقلية الإيطالي. وأظهرت النتائج أن البيانات الضخمة تحسن ترتيب الأولويات الاستثمارية وترفع كفاءة التخطيط الطاقوي (Di Matteo, 2022)

3. **دراسة (2022) Elfarouk & Ramadan, Mostafa, بعنوان:**

Big Data Analytics and Machine Learning for Smart Grid Management and Renewable Energy Forecasting. هدفت الدراسة إلى إبراز دور تحليلات البيانات الضخمة وتعلم الآلة في تحسين استقرار الشبكات الذكية.

والتنبؤ بالطلب على الطاقة. واعتمدت على المنهج التحليلي باستخدام نماذج تعلم الآلة وتحليل بيانات تشغيلية خاصة بالشبكات الذكية. وتوصلت الدراسة إلى أن التحليل الذكي للبيانات يقلل من انقطاعات الطاقة ويحسن كفاءة تشغيل الشبكات الكهربائية (Mostafa, 2022) . .

4. دراسة (2024) Sreedhar et al. بعنوان:

Cloud Computing and Big Data Analytics for Renewable Energy Management. هدفت الدراسة إلى تحليل دور الحوسبة السحابية والبيانات الضخمة في إدارة الطاقات المتجددة. واعتمدت على المنهج التحليلي من خلال دراسة بيانات الإنتاج والطلب والعوامل المناخية المؤثرة على الطاقة المتجددة. وأثبتت النتائج أن دمج البيانات الضخمة مع الحوسبة السحابية يحسن دقة التنبؤ بالإنتاج ويرفع كفاءة إدارة الشبكات الطاقوية (Sreedhar, 2024) .

5. دراسة (2025) Turyandi et al. بعنوان *Big Data and Decision Support Systems for Renewable Energy Management in Smart Cities*:

هدفت الدراسة إلى توضيح كيفية دمج البيانات الضخمة مع نظم دعم القرار لتحسين استغلال الطاقات المتجددة في المدن الذكية. واعتمدت على المنهج الوصفي التحليلي باستخدام بيانات متعلقة بالإنتاج والاستهلاك الطاقوي في المدن الذكية. وتوصلت الدراسة إلى أن نظم دعم القرار المعتمدة على البيانات الضخمة تساهم في تحسين كفاءة توزيع الطاقة وتقليل الهدر الطاقوي (Turyandi, 2025) .

تظهر الدراسات السابقة اهتماما متزايدا بدور البيانات الضخمة في دعم اتخاذ القرار وتحسين كفاءة قطاع الطاقة، خاصة من خلال توظيف الذكاء الاصطناعي والتحليل التنبؤي والشبكات الذكية. غير أن معظم هذه الدراسات ركزت على الجوانب التقنية والتشغيلية، في حين سعت الدراسة الحالية إلى التركيز على البعد الاقتصادي والاستثماري للبيانات الضخمة في قطاع الطاقات المتجددة، مع إبراز إمكانية الاستفادة من التجارب الدولية في تطوير قطاع الطاقة بالجزائر.

I. المرجعية النظرية للدراسة:

أولاً: الإطار المفاهيمي للبيانات الضخمة واتخاذ القرار الاقتصادي:

1. مفهوم البيانات الضخمة: يشير مصطلح البيانات الضخمة Big Data إلى مجموعات ضخمة ومتنوعة من البيانات الضخمة التي تتجاوز قدرات الأدوات التقليدية في المعالجة والتحليل سواء من حيث الحجم أو التعقيد أو السرعة، وتتطلب تكنولوجيات تحليلية متقدمة لاستخلاص المعرفة منها.

-عرفها معهد ماسنزي العالمي: على أنها مجموعة من البيانات يتعدى حجمها القدرة على معالجتها باستخدام الأدوات التقليدية، من النقاط ومشاركة ونقل وتخزين وإدارة وتحليل. (مركز الإحصاء،،، صفحة 4)

-وعرفها الاتحاد الدولي للاتصالات ITU: بأنها مجموعات البيانات التي تتميز بأنها فائقة حجما وسرعة وتنوعا بالقياس إلى أنواع مجموعات البيانات معهودة الاستخدامات. (ITU, Big Data today: normal tomorrow, 2013, p. 11)

البيانات الضخمة تشمل بيانات معقدة وغير هيكلية (مثل النصوص والصور والفيديو) تجمع من مصادر متعددة، مما يزيد من التحديات في تحليلها ويدفع نحو تبني أدوات متقدمة مثل الذكاء الاصطناعي وتعلم الآلة لتحويلها إلى معلومات قابلة للاستخدام في اتخاذ القرار. (Manyika J. C., 2011, p. 27)

تعرف خصائص البيانات الضخمة من خلال ما يطلق عليه أبعادها الأساسية، والتي تشمل: (م عبد السلام، 2021، صفحة 18)

- **الحجم Volume:** يشير إلى الكم الهائل من البيانات المتولدة بشكل يومي من مصادر متعددة مثل شبكات الاستشعار وأجهزة الإنترنت وغيرها.
- **السرعة Velocity:** تمثل وتيرة وصول البيانات وتدفقها بشكل فوري تقريبا، ما يستلزم معالجة متزامنة أو شبه فورية.
- **التنوع Variety:** يشير إلى اختلاف أشكال البيانات بين مهيكلة Structured، غير مهيكلة Unstructured، وشبه مهيكلة Semi-structured.

تساعد هذه الخصائص في فهم لماذا تحتاج المؤسسات إلى تكنولوجيات متقدمة من التخزين والتحليل والتحكم.

2. مفهوم اتخاذ القرار الاقتصادي: يعرف القرار الاقتصادي على أنه عملية عقلانية تهدف إلى اختيار أفضل بديل من بين مجموعة من البدائل المتاحة، ويعتبر هذا المفهوم جوهريا في العلوم الاقتصادية، إذ يشمل تخصيص الموارد، تقييم المشاريع وإدارة المخاطر.

في مجال المشاريع الطاقوية يتجسد اتخاذ القرار الاقتصادي في تحديد ما إذا كانت استثمارات معينة في مصادر طاقة متجددة ذات جدوى اقتصادية، وكيفية توزيع الموارد والميزانيات، وتقدير المخاطر المتعلقة بالتقلبات في الأسعار والطلب، ويتطلب هذا النوع من القرار اعتماد معايير تحليلية دقيقة لتقييم الجدوى الاقتصادية مقارنة بالعائدات المتوقعة. (Chardon, 1998, p. 284)

3. العلاقة بين البيانات الضخمة وجودة القرار الاقتصادي: ترتبط البيانات الضخمة ارتباطا مباشرا بجودة صنع القرار الاقتصادي إذ توفر قاعدة معلومات شاملة ومتجددة حول المتغيرات الاقتصادية والفنية في بيئات معقدة. فبدلا من الاعتماد على بيانات جزئية وتقديرية، يمكن للمنظمات تحليل بيانات ضخمة لتكوين رؤية أوسع وأكثر دقة حول بيئة المشروع، وبالتالي تقليل حالات عدم اليقين في التوقعات والمخاطر. (Delen, 2013, p. 361)

- وفي قطاع الطاقات المتجددة تسهم البيانات الضخمة في ترشيد القرار من خلال:
- تحسين التنبؤات الاقتصادية المتعلقة بتكاليف الإنتاج والعائد المتوقع؛
- رفع كفاءة التخطيط الاستثماري عبر استخدام نماذج تحليلية متقدمة تعتمد بيانات دقيقة وشاملة.

هذا التكامل بين البيانات الضخمة وصنع القرار الاقتصادي يظهر في تحسين القدرة على اختيار سيناريوهات الاستثمار الأكثر جدوى، ما ينعكس إيجابا على الأداء المالي والاستدامة الاقتصادية للمشاريع الطاقوية. (Chen, 2014, p. 1175)

الجدول رقم 01: أثر البيانات الضخمة على جودة القرار الاقتصادي في قطاع الطاقات المتجددة

أبعاد جودة القرار الاقتصادي	دور البيانات الضخمة Big Data	الأثر على قطاع الطاقات المتجددة
تقليل عدم اليقين والمخاطر	تحليل بيانات الطقس، السوق، والانتاج في الزمن الحقيقي.	تحسين اختيار مواقع المشاريع وتقليل مخاطر تقلب الإنتاج.
تحسين دقة التوقعات	استخدام التحليل التنبؤي وتعلم الآلة على بيانات تاريخية وضخمة.	تحسين التنبؤ بالإنتاج الشمسي والريحي والطلب على الكهرباء.
رفع كفاءة تخصيص الموارد	تحليل بيانات التكاليف والأداء والمردودية.	توجيه الاستثمارات نحو المشاريع الأكثر جدوى اقتصادية.
تحسين سرعة وجودة الاستجابة	معالجة البيانات في الزمن الحقيقي Real-time Analytics	تحسين إدارة الشبكات الذكية وقرارات التشغيل.
تعزيز الشفافية	إتاحة البيانات وتحليلها لدعم الرقابة والتقييم.	تحسين تقييم السياسات الطاقوية والمشاريع العمومية.

SOURCE: (McAfee, 2012), (Chen, 2014), (OECD, 2021)

ثانياً: دور البيانات الضخمة في ترشيد اتخاذ القرار في قطاع الطاقات المتجددة: أصبح قطاع الطاقات المتجددة من أكثر القطاعات اعتماداً على المعلومات الكثيفة والمتغيرة، نظراً لارتباطه الوثيق بالعوامل المناخية، وتقلبات الطلب، وتعقيد الشبكات الكهربائية، من هنا برزت البيانات الضخمة Big Data كأداة استراتيجية لدعم وترشيد اتخاذ القرار الاقتصادي من خلال تحسين التخطيط الطاقوي، تعزيز القدرة التنبؤية، تقليل المخاطر ورفع كفاءة الاستثمار في المشاريع الطاقوية.

الجدول رقم 02: دور البيانات الضخمة في ترشيد اتخاذ القرار في قطاع الطاقات المتجددة

مجال المساهمة	نوع البيانات المستخدمة	أدوات التحليل	أثرها على القرار الاقتصادي
تحسين التخطيط الطاقوي	بيانات الطقس، الشبكات، الاستهلاك.	Big Data، GIS، Analytics، نماذج المحاكاة.	تحسين اختيار مواقع المشاريع وتخطيط القدرات الاستثمارية.
التنبؤ بالانتاج والطلب	بيانات مناخية، بيانات تاريخية للانتاج والطلب.	التحليل التنبؤي، تعلم الآلة.	رفع دقة التوقع وتقليل كلفة عدم التوازن في الشبكة.
تقليل المخاطر الاقتصادية	بيانات السوق، الأسعار، الأداء التقني.	تحليل السيناريوهات، المحاكاة، النماذج الذكية.	تحسين تقييم المخاطر ودعم قرارات الاستثمار
رفع كفاءة الاستثمار	بيانات التكاليف، المردودية، الصيانة.	Business Intelligence، Dashboards، AI	توجيه الاستثمار نحو المشاريع الأعلى جدوى.
تحسين إدارة الشبكات	بيانات آنية من العدادات الذكية وأجهزة الاستشعار.	Real-time Analytics، IoT Analytics.	تحسين الامدادات.

Source: (IRENA, 2022); (Kusiak, 2017); (Chen, 2014)

1. دور البيانات الضخمة في تحسين التخطيط الطاقوي: تتمثل مساهمة البيانات الضخمة في التخطيط الطاقوي أساسا في دمج وتحليل بيانات متنوعة المصادر تشمل البيانات المناخية، بيانات الاستهلاك، بيانات الشبكات الكهربائية، البيانات الجغرافية GIS، وبيانات التكاليف والاستثمار. ويتيح هذا التكامل بناء نماذج تخطيط أكثر شمولاً تأخذ بعين الاعتبار التفاعلات المعقدة بين العرض والطلب، الموقع الجغرافي، القدرات التقنية والقيود الاقتصادية. (IRENA, 2022, p. 45) وتعتبر الوكالة الدولية للطاقة المتجددة أن رقمنة أنظمة الطاقة وتحليل البيانات الضخمة أصبحت عنصراً أساسياً في تحسين تخطيط مزيج الطاقة، وتحديد الحجم الأمثل للاستثمار في الطاقات المتجددة. من جهة أخرى يسمح استخدام تحليل البيانات الضخمة بـ:

- تحسين اختيار مواقع المشاريع الطاقوية اعتماداً على تحليل طويل المدى لبيانات الإشعاع الشمسي، سرعة الرياح، البنية التحتية والقرب من مراكز الطلب؛
- تحسين تخطيط القدرات الانتاجية من خلال موازنة الاستثمارات مع تطور الطلب المتوقع؛
- تقليص أخطاء التخطيط الناتجة عن الاعتماد على بيانات محدودة أو نماذج تقليدية مبسطة.

2. التنبؤ بالإنتاج والطلب على الطاقات المتجددة: يعد التنبؤ بالإنتاج والطلب على الطاقة من أكثر التحديات تعقيداً في قطاع الطاقات المتجددة. وتعتمد نماذج التنبؤ الحديثة على دمج كميات هائلة من البيانات متعددة المصادر، تشمل البيانات المناخية اللحظية والتاريخية، بيانات الإنتاج الفعلي لمحطات الطاقات الشمسية والريحية، بيانات الطلب والاستهلاك وبيانات الشبكات والأسعار. (Kusiak, 2017, p. 24)

3. تقليل المخاطر الاقتصادية وتحسين إدارة عدم اليقين: تتسم مشاريع الطاقات المتجددة بارتفاع مستوى المخاطر الاقتصادية وعدم اليقين مقارنة بالعديد من القطاعات الأخرى، وذلك بسبب اعتمادها على موارد طبيعية متقلبة، وتقلبات أسعار الطاقة، وتغير الأطر التنظيمية، إضافة إلى ارتفاع حجم الاستثمارات الأولية وطول فترة الاسترداد، من هنا برزت البيانات الضخمة Big Data كأداة إستراتيجية فعالة لدعم إدارة المخاطر وترشيد القرار الاستثماري في هذا القطاع. تسمح تحليلات البيانات الضخمة بجمع ومعالجة كميات هائلة من البيانات التاريخية والآلية المتعلقة بالإنتاج الفعلي للمحطات، الظروف المناخية، أسعار الطاقة، التكاليف التشغيلية وأداء الشبكات الكهربائية. (Chen, 2014, p. 1180)

4. رفع كفاءة الاستثمار في مشاريع الطاقات المتجددة: تعد مشاريع الطاقات المتجددة من المشاريع كثيفة رأس المال التي تتطلب قرارات استثمارية دقيقة وطويلة الأجل، نظراً لارتفاع التكاليف الأولية للبنية التحتية وطول فترة الاسترداد، إضافة إلى ارتباط مردوديتها بعوامل تقنية ومناخية وسوقية معقدة. وتعتبر البيانات الضخمة أداة إستراتيجية محورية في رفع كفاءة الاستثمار وترشيد وتوجيه الموارد المالية في هذا القطاع.

تسمح تحليلات البيانات الضخمة بتحسين جميع مراحل دورة الاستثمار، بدءاً من تحديد واختيار المشاريع، مروراً بدراسة الجدوى الاقتصادية والمالية، وصولاً إلى متابعة الأداء والتقييم المستمر بعد الإنجاز. في مرحلة اختيار المشاريع تساعد البيانات الضخمة على: (Chen, 2014, p. 1183)

- تحليل مردودية المواقع المختلفة اعتماداً على بيانات طويلة الأجل للإشعاع الشمسي أو الرياح؛
- مقارنة السيناريوهات الاستثمارية من حيث التكلفة والعائد والمخاطر؛

- توجيه الاستثمارات نحو المشاريع ذات القيمة الاقتصادية الصافية الأعلى.

أما في مرحلة التشغيل فإن توظيف البيانات الضخمة في كل من الصيانة التنبؤية، تحسين الأداء التشغيلي وتقليص فترات التوقف الغير مخطط لها، يساهم بشكل مباشر في خفض التكاليف التشغيلية ورفع المردودية الاقتصادية للمشاريع الطاقوية. كما أن رقمنة قطاع الطاقة وتحليل البيانات يسمحان بتحسين كفاءة استخدام الأصول الطاقوية ورفع العائد على الاستثمار ROI، وتعزيز جاذبية مشاريع الطاقات المتجددة لدى المستثمرين العموميين والخواص. (Kusiak, 2017, p. 24)

كما يؤكد McAfee على أن المؤسسات التي تعتمد على القرار القائم على البيانات تحقق أداءاً مالياً أفضل إنتاجية أعلى، وهو ما ينطبق فعلاً على شركات الطاقة التي توظف البيانات الضخمة في إدارة محافظها الاستثمارية. (McAfee, 2012, p. 64)

أدوات وتقنيات البيانات الضخمة في دعم القرار الطاقوي: يعتمد توظيف البيانات الضخمة في قطاع الطاقات المتجددة على مجموعة من الأدوات والتقنيات التحليلية المتقدمة التي تسمح بتحويل كم هائل البيانات الخام إلى معرفة قابلة للاستغلال في صنع القرار، وتتمثل أهم هذه الأدوات فيما يلي:

1. التحليل التنبؤي Predictive Analytics: يعد التحليل التنبؤي من أهم تطبيقات البيانات الضخمة في قطاع الطاقة، إذ يعتمد على النماذج الإحصائية وخوارزميات التعلم الآلي للتنبؤ بسلوكيات مستقبلية، مثل الطلب على الكهرباء، ومستويات الإنتاج من الطاقات المتجددة، وتقلبات الأسعار. (Waller, 2013, p. 79) ويكتسي هذا النوع من التحليل أهمية خاصة في قطاع الطاقات المتجددة بسبب الطبيعة غير المستقرة لمصادرها، حيث يسمح التحليل التنبؤي لمتخذي القرار بـ: (IEA., 2022)

- تحسين دقة التنبؤ بالإنتاج الطاقوي على المدى القصير والمتوسط؛

- توقع تطور الطلب على الكهرباء؛

- تقليص تكاليف عدم التوازن في الشبكات الكهربائية، ودعم قرارات الاستثمار والتخطيط الطاقوي.

ولقد ساهم استخدام النماذج التنبؤية المعتمدة على البيانات الضخمة في تحسين دقة التنبؤ بإنتاج الطاقة مقارنة بالطرق التقليدية، مما أدى إلى رفع كفاءة تشغيل الشبكات وتقليل المخاطر الاقتصادية المرتبطة بتقلب الإنتاج. (Zhang, 2014, p. 261)

2. الذكاء الاصطناعي وتعلم الآلة AI & Machine Learning: يعد الذكاء الاصطناعي وتعلم الآلة من أبرز التقنيات الحديثة التي أحدثت تحولاً جوهرياً في كيفية استغلال البيانات الضخمة، خاصة في القطاعات ذات التعقيد العالي مثل قطاع الطاقات المتجددة. إذ تقوم هذه التقنيات على تطوير خوارزميات قادرة على التعلم من البيانات، وتحسين الأداء التنبؤي واتخاذ القرار بشكل تلقائي أو شبه تلقائي. (Russell, 2021, pp. 20-25) وتكمن أهمية الذكاء الاصطناعي في المجال الطاقوي في قدرته على معالجة كميات هائلة من البيانات المتنوعة (مناخية، تشغيلية، اقتصادية) وتحويلها إلى معرفة قابلة للاستغلال في دعم القرارات التشغيلية والاستراتيجية، خاصة في مجالات التنبؤ بالإنتاج الشمسي والريحي، تحسين إدارة الشبكات الذكية Smart Grids، ترشيد استهلاك الطاقة وتحسين صيانة المعدات عبر الصيانة التنبؤية. (Antonopoulos, 2020, p. 2)

3. نظم المعلومات الجغرافية GIS وتحليل البيانات المناخية: تعد نظم المعلومات الجغرافية Geographic Information Systems- GIS من الأدوات التحليلية الأساسية في مجال تخطيط مشاريع الطاقات المتجددة، نظرا لقدرتها على جمع ومعالجة وتحليل وعرض البيانات المكانية وربطها بالبيانات المناخية والاقتصادية والبيئية في إطار واحد متكامل. وتكتسي هذه النظم أهمية خاصة في ظل الطبيعة المكانية لمصادر الطاقة المتجددة، حيث يرتبط نجاح المشاريع الشمسية والريحية ارتباطا مباشرا بخصائص الموقع الجغرافي والظروف المناخية السائدة فيه.

تسمح نظم المعلومات الجغرافية لمتخذي القرارات بـ:

- تحديد أنسب المواقع لإنجاز المشاريع الطاقوية؛
- تقييم الإمكانيات الشمسية والريحية على المستوى الإقليمي والوطني؛
- تحليل القيود البيئية والتقنية والاقتصادية، ودعم قرارات التخطيط المكاني والاستثماري على أسس علمية دقيقة.

(IRENA, Global Atlas for Renewable Energy. International Renewable Energy Agency., 2019)

4. أنترنت الأشياء IoT ومنصات البيانات المفتوحة: يعد أنترنت الأشياء Internet of Things-IoT أحد الركائز الأساسية للبيئة الرقمية المعتمدة على البيانات الضخمة، إذ يقوم على ربط الأجهزة والمعدات بالشبكات الرقمية مما يسمح بجمع البيانات في الزمن الحقيقي Real-time حول مختلف العمليات التشغيلية، خاصة في القطاعات ذات الكثافة التكنولوجية مثل قطاع الطاقة، والذي يتيح له أنترنت الأشياء مراقبة أداء محطات الإنتاج، وتتبع حالة الشبكات، وتحليل سلوك الاستهلاك الطاقوي بشكل مستمر ودقيق. وتتمثل الأهمية الاقتصادية لإنترنت الأشياء في كونه يسمح بـ:

- تحسين مراقبة الأداء التشغيلي لمحطات الطاقة؛
- الكشف المبكر عن الأعطال وتقليل تكاليف الصيانة؛
- تحسين إدارة الشبكات الذكية، ورفع كفاءة استخدام الموارد الطاقوية.

وتشير الوكالة الدولية للطاقة إلى أن دمج تقنيات IoT ضمن الشبكات الذكية مكن العديد من الدول من تحسين موثوقية الإمدادات الكهربائية وتقليل الفاقد الطاقوي، خاصة مع الارتفاع المتزايد لحصة الطاقات المتجددة المتقطعة في المزيج الطاقوي. (IEA., 2022)

II. الدراسة الميدانية: تجارب دولية ودروس مستفادة من توظيف البيانات الضخمة في قطاع الطاقات المتجددة

أولا: عرض وتحليل تجارب دولية رائدة

1. التجربة الأوروبية في توظيف البيانات الضخمة بقطاع الطاقات المتجددة: يعد الاتحاد الأوروبي من أكثر التكتلات الاقتصادية تقدما في مجال توظيف البيانات الضخمة Big Data لدعم التحول الطاقوي وتعزيز إدماج الطاقات المتجددة داخل المنظومة الكهربائية، وقد ارتبط هذا التوجه بتطور مفهوم الشبكات الذكية Smart Grids التي تعتمد على الجمع والتحليل الآني لكميات هائلة من البيانات القادمة من محطات الإنتاج، وشبكات النقل، والمستهلكين النهائيين والبيانات المناخية.

1.1. مجالات استخدام البيانات الضخمة في التجربة الأوروبية:

- تعزيز الشبكات الذكية ونشر العدادات الذكية: أصبح نشر العدادات الذكية واحدا من أهم الأسس التي تقوم عليها البيانات الضخمة في أوروبا، فقد رخصت سياسات الاتحاد الأوروبي بإطلاق برامج تركيب العدادات الذكية على نطاق واسع، ما أتاح إنشاء قواعد بيانات ضخمة عن سلوك الاستهلاك اللحظي لملايين المشتركين ووفقا لإحصاءات Eurostat تم تركيب حوالي 78 مليون عداد ذكي في سنة 2024، مما خلق كميات ضخمة من المعلومات تحتاج لأدوات تحليل متقدمة لمعالجة الطلب والتخطيط الطاقوي بفعالية. (Emergen Research., 2025)
- دعم التنبؤ وتحسين الدمج المتجدد: تستخدم البيانات الضخمة في أوروبا في نماذج التنبؤ بالانتاج الطاقوي المتغير من خلال دمج بيانات الطقس والبيانات التاريخية للشبكات، هذا يساعد على تقليل عدم اليقين في الإنتاج وتحسين التوازن بين العرض والطلب. كما أن النمو الكبير في الطاقة المتجددة يزيد من الحاجة إلى تحليلات بيانات أكثر دقة، ففي سنة 2025 يتوقع الاتحاد الأوروبي تركيب 89 جيجاواط من قدرة الطاقة المتجددة الجديدة، بما يشمل 70 جيجا واط من الطاقة الشمسية و19 جيجاواط من طاقة الرياح، وهو رقم قياسي جديد يعكس التوسع لمتسارع في القطاع والذي يتطلب إدارة بيانات ضخمة للتنسيق والتكامل مع الشبكات الكهربائية. (Reuters., (2025, April 10))
- المساهمة في السوق العالمي لتحليلات الطاقة: تشير تقارير السوق إلى أن أوروبا تمثل حوالي 28.7% من حصة سوق تحليل البيانات الضخمة في قطاع الطاقة عالميا، مدعومة بسياسات طموحة مثل "الصفقة الخضراء الأوروبية" وبرنامج Fit for 550 لتخفيض انبعاثات غازات الاحتباس الحراري، الأمر الذي يجعل البيانات الضخمة أساسا لتحسين كفاءة التشغيل وتقليل التكاليف التشغيلية (Emergen Research., 2025).
- دعم السياسات والتخطيط الطاقوي: يدعم استخدام البيانات الضخمة في أوروبا صياغة السياسات الطاقوية والتقييم المستمر للأهداف المناخية من خلال تقارير أداء الشبكات، مؤشرات تكامل متجددة ورؤى حول الطلب على الطاقة، مما يساعد على اتخاذ قرارات مبنية على بيانات واقعية بدل التقديرات التقليدية، مما يحسن من كفاءة تخصيص الموارد وتوجيه الاستثمارات.

1.2. الأثر الاقتصادي والتقني لاستخدام البيانات الضخمة في التجربة الأوروبية بقطاع الطاقات المتجددة

- خفض التكاليف وتحسين الكفاءة التشغيلية: تشير تقارير المفوضية الأوروبية إلى أن رقمنة الشبكات الطاقوية والاعتماد على تحليلات البيانات الضخمة سمح لشركات الكهرباء في عدة دول أوروبية بخفض التكاليف التشغيلية المرتبطة بالصيانة وإدارة الشبكات بنسبة معتبرة، بفضل الانتقال من الصيانة التقليدية إلى الصيانة التنبؤية القائمة على البيانات. كما تؤكد الوكالة الدولية للطاقة أن استخدام التحليل التنبؤي في المرافق الأوروبية ساهم في تقليل فترات التوقف غير المخطط لها وخفض تكاليف الصيانة بنسبة تتراوح بين 20% و30%. (IEA., 2022, p. 167)
- تحسين كفاءة الاستثمار في مشاريع الطاقات المتجددة: تستخدم البيانات الضخمة في أوروبا لتحسين اختيار مواقع مشاريع الطاقة الشمسية والريحية عبر تحليل البيانات المناخية، وبيانات الشبكات، وتكاليف الربط، وهو ما أدى إلى رفع مردودية رأس المال المستثمر وتقليل مخاطر القرارات الاستثمارية. وتشير تقارير IRENA إلى أن

- الدول الأوروبية التي اعتمدت على التحليل المتقدم في تخطيط المشاريع الطاقوية سجلت تحسنا في إنتاجية الاستثمارات بنسبة تراوحت بين 5% و 10% مقارنة بأساليب التخطيط التقليدية. (IRENA, Digitalisation and the energy transition, 2022, p. 43)
- **دعم أسواق الكهرباء وتحسين إدارة العرض والطلب:** ساهمت تحليلات البيانات الضخمة في تحسين عمل أسواق الكهرباء الأوروبية، خاصة في ظل ارتفاع حصة الطاقات المتجددة المتقلبة، حيث أصبحت قرارات التسعير وإدارة الأحمال أكثر دقة، مما قلل من تكاليف عدم التوازن في الشبكات.
 - **تحسين دقة التنبؤ بالإنتاج الطاقوي:** تعتمد عدة دول أوروبية، مثل ألمانيا والدنمارك وإسبانيا، على نماذج متقدمة تجمع بين البيانات المناخية والبيانات التشغيلية لمحطات الرياح والطاقة الشمسية، ما أدى إلى تحسين دقة التنبؤ بالإنتاج وتقليل فجوة التذبذب بين العرض والطلب.
 - **رفع موثوقية الشبكات الذكية (Smart Grids):** أدى الانتشار الواسع للعدادات الذكية في أوروبا (حوالي 78 مليون عداد ذكي سنة 2024 حسب Eurostat) إلى توليد كميات ضخمة من البيانات، استخدمت في المراقبة الآنية للشبكات، والكشف المبكر عن الأعطال، وتحسين إدارة الأحمال، وهو ما عزز استقرار الشبكات وسهّل دمج نسب مرتفعة من الطاقات المتجددة. (European Commission, 2022, p. 7).
 - **تطوير الصيانة الذكية وإطالة عمر المعدات:** تظهر تقارير IRENA أن مشغلي مزارع الرياح والطاقة الشمسية في أوروبا يعتمدون بشكل متزايد على الصيانة التنبؤية القائمة على البيانات الضخمة، مما أدى إلى رفع معامل الجاهزية التقنية للمعدات وزيادة عمرها الافتراضي وتقليص تكاليف الاستبدال. (IRENA, Digitalisation and the energy transition, 2022, p. 58)

الجدول رقم 03: نماذج من التجارب الأوروبية في توظيف البيانات الضخمة بقطاع الطاقات المتجددة

الدولة	مجال التطبيق	طبيعة استخدام البيانات الضخمة	مؤشرات	الأثر الاقتصادي والتقني
ألمانيا	تسيير الشبكات الذكية ودمج الطاقات المتجددة	تحليل فوري لبيانات الإنتاج والاستهلاك + التنبؤ بالطلب عبر AI	أكثر من 52% من الكهرباء من مصادر متجددة سنة 2024	تقليل اختلالات الشبكة، تحسين موثوقية الإمدادات.
فرنسا	إدارة الشبكة النووية والمتجددة	استخدام تحليلات ضخمة للتنبؤ بالأحمال وصيانة الشبكة (RTE)	استثمار 2.8 مليار € في رقمنة الشبكة	تقليل الأعطال وتحسين التخطيط الاستثماري
بريطانيا	العدادات الذكية وإدارة الطلب.	تحليل بيانات استهلاك أكثر من 30 مليون عداد ذكي	تغطية أكثر من 60% من الأسر بالعدادات الذكية	تحسين كفاءة الاستهلاك وتقليل الذروة
إسبانيا	التنبؤ بإنتاج الرياح والشمس	نماذج تنبؤية تعتمد على Big Data والطقس	أكثر من 50% من الكهرباء من مصادر متجددة 2023	تقليل تكلفة التوازن الشبكي
الدنمارك	دمج طاقة الرياح	تحليل لحظي لبيانات التوربينات والشبكة	أكثر من 55% من الكهرباء من الرياح	استقرار الشبكة رغم التذبذب الإنتاجي
هولندا	الشبكات الذكية+السيارات الكهربائية	ربط بيانات الشحن والانتاج الشمسي بالشبكة	أكثر من 2 مليون نظام شمسي منزلي	تحسين الإدارة وتقادي الاختناقات

Source: (IEA, 2024), (European Commission, 2022)

تظهر التجارب الأوروبية أن توظيف البيانات الضخمة أصبح ركيزة أساسية في إنجاح الانتقال الطاقوي، حيث مكن كل من ألمانيا وإسبانيا والدنمارك من رفع حصة الطاقات المتجددة إلى أكثر من 50% من المزيج الكهربائي، بفضل الاعتماد على التحليل التنبؤي للطلب والنتاج، كما تبرز تجربة فرنسا والمملكة المتحدة أن رقمنة الشبكات عبر العدادات الذكية وتحليل البيانات الضخمة ساهمت في تحسين موثوقية الشبكة وترشيد الاستثمارات.

2. التجربة الأمريكية في توظيف البيانات الضخمة بقطاع الطاقات المتجددة: تعد الولايات المتحدة الأمريكية من الدول الرائدة عالميا في توظيف البيانات الضخمة (Big Data) والتحليلات المتقدمة في قطاع الطاقة، خاصة في ظل التوسع السريع في استغلال الطاقات المتجددة (الرياح، الشمس، الكتلة الحيوية). وقد فرضت الطبيعة المتذبذبة لهذه الطاقات تحديات تقنية واقتصادية كبيرة، ما جعل من الحلول الرقمية والتحليل الذكي للبيانات عنصرا حاسما لضمان استقرار الشبكات الكهربائية وتحسين كفاءة الاستثمارات الطاقوية. وقد رافق هذا التوجه إطلاق برامج وطنية كبرى، أهمها برنامج تحديث الشبكات

الكهربائية (Grid Modernization Initiative) ، الذي يهدف إلى إدماج التقنيات الرقمية، والذكاء الاصطناعي، ومنصات تحليل البيانات الضخمة في مختلف مراحل سلسلة القيمة الطاقوية، من الإنتاج إلى التوزيع والاستهلاك.

2.1. الإطار المؤسسي والاستثماري لتوظيف البيانات الضخمة: تشير تقارير وزارة الطاقة الأمريكية إلى أن شركات الكهرباء في الولايات المتحدة استثمرت سنة 2024 حوالي 28.4 مليار دولار في تحديث الشبكات الكهربائية، خصص نحو 30 % منها للتقنيات الرقمية وتحليل البيانات ومنصات الذكاء الاصطناعي. كما تم تخصيص 4.5 مليار دولار ضمن برنامج وطني لدعم تطوير الشبكات الذكية، التي تعتمد أساساً على جمع ومعالجة كميات هائلة من البيانات في الزمن الحقيقي. (U.S. Department of Energy, 2023, p. 14) وتظهر هذه الاستثمارات أن التحول الرقمي في القطاع الطاقوي الأمريكي لم يعد خياراً تقنياً، بل أصبح خياراً استراتيجياً لضمان: أمن التزود بالطاقة، تحسين إدماج الطاقات المتجددة، تقليص التكاليف الاقتصادية للاختلالات الشبكية ورفع كفاءة الأصول الطاقوية.

2.2. مجالات توظيف البيانات الضخمة في قطاع الطاقات المتجددة: تستخدم البيانات الضخمة في الولايات المتحدة في عدة مجالات رئيسية، من أهمها:

-**التنبؤ بالانتاج الطاقوي:** تعتمد شركات الكهرباء على دمج بيانات الأقمار الصناعية، محطات الأرصاد الجوية، وأجهزة الاستشعار الميدانية من أجل بناء نماذج تنبؤية دقيقة لإنتاج الطاقة الشمسية والريحية، وهو ما يسمح بتقليص هامش الخطأ في التوقعات وتحسين جدولة محطات الاحتياط. (IEA, 2024, p. 96)

-**إدارة الشبكات الكهربائية الذكية:** تعالج يومياً مليارات القياسات القادمة من العدادات الذكية والمجسات الموزعة عبر الشبكات، بهدف:

- موازنة العرض والطلب في الزمن الحقيقي،
- الكشف المبكر عن الأعطال،
- تحسين استقرار الشبكة، خاصة في ولايات تعتمد بكثافة على الطاقات المتجددة مثل كاليفورنيا وتكساس. (CAISO, 2024)

-**الصيانة التنبؤية:** أصبحت الشركات الكبرى (مثل NextEra Energy و Duke Energy) تعتمد على خوارزميات تعلم الآلة لتحليل بيانات الاهتزاز، الحرارة، وسلوك المعدات، ما يسمح بالتنبؤ بالأعطال قبل وقوعها وتقليص تكاليف التوقف غير المبرمج. (IEA, 2024, p. 96) .

-**دعم القرار الاستثماري:** تستغل البيانات الضخمة في تحليل جدوى مشاريع الطاقات المتجددة من خلال:

- دراسة الموارد الطبيعية (الشمس، الرياح)،
- تحليل الطلب المستقبلي،
- تقييم المخاطر الاقتصادية والتنظيمية. (IEA, 2024, p. 97)

2.3. الأثر الاقتصادي والتقني لاستخدام البيانات الضخمة في قطاع الطاقة المتجددة بالولايات المتحدة الأمريكية

الجدول رقم 04: الأثر الاقتصادي والتقني لاستخدام البيانات الضخمة في قطاع الطاقات المتجددة و م أ

المؤشر	القيمة	الأثر الاقتصادي/التقني
الشبكات الذكية: عدد العدادات الذكية المركبة	أكثر من 130 مليون عداد سنة 2024	توليد بيانات ضخمة لحظية لتحسين إدارة الطلب
الاستثمار الرقمي: استثمارات تحديث الشبكات	28.4 مليار دولار	موجه للرقمنة وتحليل البيانات
الصيانة التنبؤية: تخفيض تكاليف الصيانة	20%-30%	تقليل الأعطال والتوقفات غير المتوقعة
موثوقية الشبكة: تقليل الانقطاعات	حتى 25%	بفضل التحليل اللحظي للبيانات الضخمة
الطاقات المتجددة: زيادة كفاءة الإنتاج	10%-15%	بفضل التنبؤ بالإنتاج والطقس وتحسين التسيير
إدارة الرياح والشمس: تحسن دقة التنبؤ	أكثر من 30%	عبر نماذج Big Data + AI
التكلفة التشغيلية: خفض التكاليف التشغيلية للمرافق	15%-20%	تحسين التسيير واتخاذ القرار
التحول الطاقوي: حصة الطاقات المتجددة من الكهرباء	حوالي 23% سنة 2024	تتطلب نظم بيانات ضخمة للتسيير الشبكي
التخطيط الاستثماري: تحسين اختيار مواقع المشاريع	تقليل أخطاء التوطين بأكثر من 35%	باستخدام GIS و Big Data المناخية

Source: (IEA, 2024), (U.S. Department of Energy, 2023)

تظهر المؤشرات الإحصائية أن الولايات المتحدة تعد من أكثر الدول توظيفا للبيانات الضخمة في قطاع الطاقة، حيث تجاوز عدد العدادات الذكية 130 مليون وجدة سنة 2024، ما أتاح توليد تدفقات هائلة من البيانات اللحظية المستعملة في تحسين الإدارة والتنبؤ بالطلب. كما بلغت استثمارات تحديث الشبكات 28.4 مليار دولار، خصص جزء معتبر منها لمنصات التحليل الرقمي والذكاء الاصطناعي. وقد سمح ذلك بتقليل تكاليف الصيانة بنسبة تتراوح بين 20% و 30%، وتحسين كفاءة إنتاج الطاقات المتجددة بنسبة تصل إلى 15%، فضلا عن رفع موثوقية الشبكة وتقليل الانقطاعات.

3. التجربة الصينية في توظيف البيانات الضخمة بقطاع الطاقات المتجددة: تتميز التجربة الصينية بكونها واحدة من أسرع التجارب نموا في العالم في دمج البيانات الضخمة، الذكاء الاصطناعي، والحلول الرقمية في أنظمة الطاقة، خصوصا لدعم مشاريع الطاقات المتجددة والتحديات التشغيلية الناتجة عن الطبيعة المنقطعة لإنتاج الطاقة الشمسية والريحية. ولا تقتصر مكانة الصين على كونها من أكبر المستثمرين عالميا في القدرات المركبة للطاقات المتجددة، بل تتجه كذلك إلى تبني مقاربة إستراتيجية متقدمة تعرف بـ "AI+Energy"، تهدف إلى رفع كفاءة الشبكات الذكية، وتعزيز موثوقية النظام الكهربائي، وتحسين جودة القرارات الاقتصادية والتشغيلية المرتبطة بإنتاج ونقل وتوزيع الطاقة.

3.1. الخلفية الطاقوية والتنمية الخضراء في الصين: تعد الصين أحد الفاعلين الرئيسيين في النظام الطاقوي العالمي،

سواء من حيث حجم الطلب على الطاقة أو من حيث الاستثمارات الموجهة نحو الطاقات المتجددة والتحول الطاقوي. فقد

ارتبط النمو الاقتصادي السريع الذي عرفته البلاد منذ تسعينيات القرن الماضي بارتفاع كبير في استهلاك الطاقة، واعتماد واسع على الفحم كمصدر رئيسي لتوليد الكهرباء، وهو ما أدى إلى تفاقم التحديات البيئية، خاصة فيما يتعلق بالانبعاثات ثاني أكسيد الكربون وتلوث الهواء. (International Energy Agency, 2023, p. 237) وأمام هذه التحديات تبنت الصين منذ بداية العقد الثاني من القرن الحادي والعشرين استراتيجية وطنية للتحويل نحو التنمية الخضراء Green Development، تقوم على إعادة هيكلة المزيج الطاقوي، وتقليص الاعتماد على الطاقات الأحفورية، والتوسع المكثف في الطاقات المتجددة لا سيما الطاقة الشمسية، طاقة الرياح والطاقة الكهرومائية. وقد توج هذا التوجه بإعلان الصين التزامها بتحقيق الحياد الكربوني بحلول عام 2060، وبلوغ ذروة الانبعاثات قبل عام 2030. (Group, 2022, p. 45)

من هنا أصبحت الصين أكبر منتج ومركب عالمي لقدرات الطاقات المتجددة، حيث تمثل حصة معتبرة من القدرة العالمية المركبة في الطاقة الشمسية والريحية، وهو ما يعكس انتقالا تدريجيا من نموذج قائم على "أمن التزود بالطاقة بأي ثمن" إلى نموذج يوازن بين الأمن الطاقوي، النمو الاقتصادي والاستدامة البيئية.

غير أن هذا التحول الطاقوي واسع النطاق أفرز تحديات تقنية وتنظيمية معقدة أبرزها:

- الطبيعة المنقطعة لإنتاج الطاقات المتجددة؛
 - صعوبات إدماج القدرات الضخمة من الطاقات النظيفة في الشبكات الكهربائية التقليدية؛
 - الحاجة إلى تحسين كفاءة التخطيط، التنبؤ وإدارة الأحمال الطاقوية على المستويات المحلية والوطنية.
- أمام هذه التحديات برزت البيانات الضخمة والذكاء الاصطناعي والتقنيات الرقمية كأدوات استراتيجية داعمة لمسار التنمية الخضراء في الصين، حيث تم إدماجها ضمن رؤية شاملة تعرف بـ Energy Digitalization أو AI+Energy، تهدف إلى: تحسين التنبؤ بإنتاج الطاقات المتجددة؛ رفع كفاءة تشغيل الشبكات الذكية؛ تعزيز ترشيد الاستهلاك الطاقوي ودعم صناع القرار بمعلومات آنية ودقيقة مبنية على تحليل كميات هائلة من البيانات. (Xu, 2025)

3.2. دور البيانات الضخمة والذكاء الاصطناعي في التحول الطاقوي الصيني: في إطار سعيها لتحقيق أهداف التنمية الخضراء والحياد الكربوني، أدركت الصين أن الانتقال نحو منظومة طاقوية قائمة على الطاقات المتجددة لا يمكن أن ينجح بالاعتماد على البنية التحتية التقليدية فقط، بل يتطلب تحولاً رقمياً عميقاً يعتمد على البيانات الضخمة Big Data والذكاء الاصطناعي Artificial intelligence باعتبارها أدوات استراتيجية لتحسين الكفاءة، دعم القرار ورفع موثوقية النظام الطاقوي. -البيانات الضخمة كأساس لإدارة المنظومة الطاقوية الذكية: تعتمد المنظومة الطاقوية الصينية الحديثة على تجميع ومعالجة كميات هائلة من البيانات المستقاة من: محطات إنتاج الطاقة الشمسية والريحية؛ الشبكات الكهربائية الذكية Smart Grids، العدادات الذكية للمستهلكين وكذا الأقمار الصناعية ومحطات الرصد المناخي. وتعتبر شركة State Grid Corporation of China، أكبر مشغل شبكات كهرباء في العالم حيث طورت منصات رقمية قادرة على معالجة بيتابايت من البيانات يوميا بهدف تحسين استقرار الشبكة وتقليص خسائر النقل ورفع كفاءة إدماج الطاقات المتجددة. (IEA, 2024)

-دور الذكاء الاصطناعي في التنبؤ وإدارة عدم اليقين: تعد الطبيعة المنقطعة لإنتاج الطاقة الشمسية والريحية من أبرز التحديات التي تواجه التحول الطاقوي، ولمواجهة ذلك تعتمد الصين على: خوارزميات التعلم الآلي Machine Learning والنماذج التنبؤية المعتمدة على الذكاء الاصطناعي، وذلك من أجل:

- تحسين دقة التنبؤ بالانتاج الطاقوي اعتمادا على البيانات المناخية.
- تحسين التنبؤ بالطلب على الكهرباء حسب المناطق والقطاعات.
- دعم قرارات تشغيل الشبكة في الزمن الحقيقي.

وقد بينت دراسات أن استخدام نماذج الذكاء الاصطناعي في التنبؤ بإنتاج الطاقة الشمسية والشمسية في الصين أدى إلى تحسين دقة التنبؤ بنسبة تتراوح بين 15%-30% مقارنة بالنماذج التقليدية. (Yang, 2024, p. 12767)

-**الشبكات الذكية ومنطق AI+Energy**: تبنت الصين منذ سنوات مفهوم AI+Energy الذي يقوم على الدمج المنهجي بين: البيانات الضخمة، الذكاء الاصطناعي، إنترنت الأشياء IoT والحوسبة السحابية. من أجل بناء شبكات كهربائية ذكية قادرة على التكيف الذاتي والاكتشاف المبكر للأعطال وكذا تحسين توزيع الأحمال الطاقوية. (Khalid, 2024, p. 110253)

3.3. الأثر الاقتصادي والاستراتيجي للتحول الرقمي الطاقوي الصيني: يشكل التحول الرقمي في قطاع الطاقة بالصين القائم على توظيف البيانات الضخمة والذكاء الاصطناعي، رافعة أساسية لتحسين الكفاءة الاقتصادية وتعزيز الأمن الطاقوي ورفع جودة القرار الاستثماري والاستراتيجي، ولم يعد هذا التحول مجرد تحديث تقني بل أصبح خيارا هيكليا لإعادة تنظيم المنظومة الطاقوية نحو مزيد من الكفاءة والاستدامة.

- **الأثر الاقتصادي**: أسهم التحول الرقمي في تقليص تكاليف التشغيل والصيانة بفضل الصيانة التنبؤية، وتحسين مردودية الاستثمارات في الطاقات المتجددة عبر اختيار مواقع أكثر كفاءة وتقليص خسائر عدم التوازن بين العرض والطلب، إضافة إلى رفع كفاءة الشبكات الكهربائية وتحسين دقة التخطيط المالي والاستثماري. (IEA, 2024)

- **الأثر الاستراتيجي**: ساهم تعزيز الامن الطاقوي من خلال المراقبة الذكية والتنبؤ المبكر بالمخاطر، ودعم السيادة التكنولوجية عبر تطوير منصات وطنية لمعالجة البيانات، وتسريع تحقيق أهداف الحياد الكربوني، فضلا عن تحسين جودة القرار الاقتصادي والاستثماري بالاعتماد على النمذجة والمحاكاة والتحليل الآني. (Xu, 2025)

الجدول رقم 05: مؤشرات للأثر الاقتصادي والتقني للتحويل الرقمي الطاقوي في الصين

المؤشر	قبل التوسع في الحلول الرقمية	بعد التوسع في البيانات الضخمة	نسبة التحسن/الأثر
تكاليف الصيانة والتشغيل في محطات الطاقة	مرتفعة (صيانة دورية تقليدية)	اعتماد الصيانة التنبؤية الذكية	انخفاض بـ 15%-30%
معدل جاهزية التوربينات الريحية والشمسية	90% تقريبا	95%-98% بفضل التحليل التنبؤي	+5% إلى +8%
فوائد النقل والتوزيع الكهربائي	6.5%	5.8%	تحسن بنحو 0.7 نقطة مئوية
كفاءة استغلال القدرة الانتاجية للمحطات المتجددة	75%-80%	85%-90%	+10%
تكلفة الأعطال غير المخططة في الشبكة	مرتفعة (خسائر تشغيلية كبيرة)	انخفاض الاعطال غير المتوقعة	تقليل الأعطال بـ 25%-30%
القدرة المتجددة المركبة المدارة رقميا	أقل من 40% من الإجمالي	أكثر من 70% من الإجمالي	توسع كبير في الإدارة الذكية
حجم الاستثمارات في الشبكات الذكية والرقمنة الطاقوية	أقل من 20 مليار سنويا	أكثر من 60 مليار سنويا	3× تقريبا

SOURCE: (Arévalo, 2024), (International Energy Agency, 2023)

ثانيا: استخلاص الدروس والتطبيقات الممكنة للدول النامية: تظهر التجارب الدولية الرائدة في كل من الاتحاد الأوروبي والصين والولايات المتحدة أن توظيف البيانات الضخمة لم يعد خيارا تقنيا ثانويا، بل أصبح ركيزة استراتيجية في حوكمة قطاع الطاقات المتجددة وتحسين كفاءة اتخاذ القرار الاقتصادي. ويمكن للدول النامية ومن بينها استخلاص مجموعة من الدروس الجوهرية التي من شأنها دعم مسار الانتقال الطاقوي وتعزيز فعاليته.

أول هذه الدروس يتمثل في ضرورة اعتبار البيانات موردا استراتيجيا لا يقل أهمية عن الموارد الطاقوية التقليدية، وهو ما يقتضي تطوير منصات وطنية موحدة لبيانات الطاقة والمناخ، تسمح بتجميعها ومعالجتها واستغلالها في التخطيط الاستراتيجي. كما تبرز التجارب الدولية أهمية استخدام التحليل التنبؤي في توجيه الاستثمارات الطاقوية، بما يسمح بتقليل عدم اليقين المرتبط بمشاريع الطاقات المتجددة وتحسين مردوديتها الاقتصادية.

يمكن توظيف هذه المقاربات من خلال تعزيز الرقمنة في قطاع الكهرباء والطاقات المتجددة، وتطوير شبكات ذكية قادرة على إدارة الطبيعة المنقطعة للإنتاج الشمسي والريحي، إلى جانب اعتماد أنظمة الصيانة التنبؤية للمحطات الطاقوية، بما يساهم في تقليل التكاليف وتحسين استمرارية الخدمة، كما أن اعتماد أدوات المحاكاة والنمذجة الاقتصادية سيسمح بعقلنة القرار الاستثماري العمومي والخاص، وتوجيه الموارد نحو المشاريع ذات الأثر الاقتصادي والبيئي الأكبر.

ثالثا: التحديات والقيود المرتبطة بتوظيف البيانات الضخمة في قطاع الطاقات المتجددة: رغم الإمكانيات الضخمة التي تتيحها البيانات الضخمة، فإن توظيفها في الدول النامية عموما وفي الجزائر خصوصا، يواجه جملة من التحديات والقيود الهيكلية تتمثل في:

- قيود تقنية تتمثل أساسا في محدودية البنى التحتية الرقمية الخاصة بتخزين ومعالجة البيانات الضخمة، وضعف قدرات الحوسبة عالية الأداء، إضافة إلى نقص تكامل الأنظمة المعلوماتية بين مختلف الفاعلين في القطاع الطاقوي، وهو ما يحد من الاستغلال الأمثل للبيانات المتاحة.
- القيود المؤسسية والبشرية حيث تعاني العديد من الدول النامية من نقص الكفاءات المتخصصة في علوم البيانات، الذكاء الاصطناعي، وتحليل النظم الطاقوية، فضلا عن محدودية ثقافة اتخاذ القرار المبني على البيانات داخل المؤسسات العمومية، وضعف التنسيق بين الهيئات المعنية بالطاقة والرقمنة.
- القيود الاقتصادية والسياساتية حيث يتطلب تطوير المنصات الرقمية والبنى التحتية الذكية استثمارات أولية مرتفعة، وهو ما قد يشكل عبئا على الميزانيات العمومية. كما أن غياب أطر تنظيمية واضحة لتقاسم البيانات، وحماية المستثمرين في المشاريع الرقمية الطاقوية، قد يبطئ وتيرة التحول الرقمي في هذا القطاع.
- مخاطر الخصوصية والأمن السيبراني حيث يؤدي الاعتماد المتزايد على الأنظمة الرقمية إلى ارتفاع المخاطر المرتبطة بأمن المعلومات والهجمات السيبرانية، خاصة في قطاع حيوي كقطاع الطاقة، ما يستوجب تطوير استراتيجيات وطنية متكاملة للأمن السيبراني وحماية البيانات الحساسة.

III. الخاتمة: سعت هذه الدراسة إلى إبراز دور البيانات الضخمة في ترشيد اتخاذ القرارات الاقتصادية بقطاع الطاقات المتجددة، من خلال دراسة نظرية مدعومة بعرض وتحليل عدد من التجارب الدولية الرائدة، شملت الاتحاد الأوروبي، الولايات المتحدة الأمريكية والصين، مع إمكانيات الاستفادة منها في الجزائر.

أولا: مناقشة الفرضيات: من خلال تحليل الإطار النظري والدراسات التطبيقية والتجارب الدولية، أظهرت الدراسة وجود مؤشرات تدعم الدور الإيجابي للبيانات الضخمة في تحسين جودة القرارات الاقتصادية داخل قطاع الطاقات المتجددة، خاصة في مجالات التخطيط الطاقوي، التنبؤ بالإنتاج والطلب، وتقليل المخاطر المرتبطة بالاستثمار والتسيير. كما بينت الدراسة أن خصائص البيانات الضخمة، المتمثلة في الحجم، السرعة، التنوع والدقة، تعزز قدرة صانعي القرار على التحليل الاقتصادي الأكثر كفاءة، وتساعد على تحسين استغلال الموارد الطاقوية. كذلك أظهرت التجارب الدولية أن استخدام أدوات التحليل التنبؤي، الذكاء الاصطناعي، ونظم المعلومات الجغرافية ساهم في رفع كفاءة الشبكات الذكية وتحسين مردودية الاستثمارات الطاقوية.

كما تبين أن إمكانية استعادة الدول النامية، ومن بينها الجزائر، من هذه التجارب تبقى مرتبطة بمدى توفر البنية التحتية الرقمية، الكفاءات البشرية، والأطر التنظيمية الداعمة للتحول الرقمي الطاقوي.

ثانيا: عرض النتائج المتوصل إليها: توصلت الدراسة إلى جملة من النتائج الأساسية، من أهمها:

- أصبحت البيانات الضخمة تمثل موردا استراتيجيا داعما لاتخاذ القرار الاقتصادي في قطاع الطاقات المتجددة، نظرا لقدرتها على تحسين جمع البيانات ومعالجتها واستغلالها في التخطيط والتسيير الطاقوي .
- ساهمت تطبيقات التحليل الذكي للبيانات في تحسين دقة التنبؤ بالإنتاج والطلب الطاقوي، وتقليص حالة عدم اليقين المرتبطة بالطبيعة المنقطعة للطاقات المتجددة، مما انعكس إيجاباً على كفاءة إدارة الشبكات الكهربائية .
- أظهرت التجارب الدولية أن توظيف البيانات الضخمة والشبكات الذكية ساهم في تحسين استغلال البنية التحتية الطاقوية، وتقليص بعض التكاليف التشغيلية، وتعزيز كفاءة الاستثمارات في مشاريع الطاقات المتجددة .
- بينت الدراسة أن الاستفادة من التجارب الدولية في الجزائر تبقى ممكنة من خلال تطوير البنية التحتية الرقمية، وتعزيز الرقمنة في قطاع الطاقة، وتبني أنظمة الشبكات الذكية والصيانة التنبؤية، بما يساهم في دعم مسار الانتقال الطاقوي وتحسين كفاءة التسيير الطاقوي.
- ثالثا: مناقشة النتائج:** تظهر هذه النتائج توافقا واضحا مع الأدبيات الاقتصادية الحديثة التي تؤكد أن الاقتصاد الطاقوي يدخل مرحلة جديدة قوامها الحوكمة المبنية على البيانات (Data-driven Governance) كما تؤكد الدراسة أن الفجوة بين الدول المتقدمة والنامية في مجال الطاقات المتجددة لم تعد مرتبطة فقط بحجم الاستثمارات، بل أصبحت مرتبطة أساسا بمستوى التحكم في البيانات والقدرة على تحويلها إلى معرفة وقرارات رشيدة.
- غير أن تعميم هذه النتائج في الدول النامية، ومنها الجزائر، يبقى مشروطا بتجاوز جملة من القيود التقنية والمؤسسية والتمويلية، فضلا عن تحديات الأمن السيبراني وحوكمة البيانات، وهو ما يستدعي مقاربة شمولية لا تختزل التحول الرقمي في بعده التكنولوجي فقط، بل تدمجه ضمن إصلاحات هيكلية أوسع في منظومة تسيير قطاع الطاقة.
- رابعا: التوصيات:** في ضوء النتائج المتوصل إليها، يقترح البحث جملة من التوصيات العملية:
- إدماج البيانات الضخمة ضمن الاستراتيجية الوطنية للانتقال الطاقوي في الجزائر لتحسين اتخاذ القرار ورفع كفاءة تسيير القطاع .
- تطوير البنية التحتية الرقمية في القطاع الطاقوي، خاصة عبر دعم الشبكات الذكية وأنظمة القياس والتحكم الرقمي .
- الاستثمار في تطوير الكفاءات البشرية الوطنية في مجالات تحليل البيانات، الذكاء الاصطناعي، وأمن المعلومات، عبر إدماج تخصصات حديثة في الجامعات الجزائرية، وتعزيز برامج التكوين المستمر داخل المؤسسات الطاقوية بما يتماشى مع متطلبات الاقتصاد الرقمي .
- وضع إطار قانوني وتنظيمي يضبط استخدام البيانات ويحميها ويعزز الأمن السيبراني في القطاع الطاقوي .
- تعزيز الشراكة بين الجامعات ومراكز البحث العلمي والمؤسسات الطاقوية، من أجل تطوير نماذج تحليلية وتطبيقات رقمية محلية تعتمد على البيانات الضخمة وتستجيب لخصوصية السوق الطاقوي الجزائري .

قائمة المراجع VI

- Antonopoulos, I. R.-G. (2020). Artificial intelligence and machine learning approaches to energy demand-side response: A systematic review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 130, 109899 , 1-36.
- Arévalo, P. &. (2024). Impact of artificial intelligence on the planning and operation of distributed energy systems in smart grids. *Energies*, 17(17), .
- CAISO. (2024). Monthly Renewables Performance Report – December 2024. *California Independent System Operator*.https://www.caiso.com/documents/monthly-renewables-performance-report-december-2024.html?utm_source=
- Charabi, Y. &. (2011). PV site suitability analysis using GIS-based spatial fuzzy multi-criteria evaluation. *Renewable Energy*, 36(9), , 2554–2561.
- Chen, H. C. (2014). Business intelligence and analytics: From big data to big impact. *MIS Quarterly*, 36(4),https://aisel.aisnet.org/misq/vol36/iss4/16/?utm_source= , 1165–1188.
- Delen, D. &. (2013). Data, information and analytics as services. *Decision Support Systems*, 55(1),<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167923612001558?via%3Dihub> , 359–363.
- Di Matteo, U. &. (2022). Big data analysis for optimising the decision-making process in sustainable energy action plans: A multi-criteria evaluation approach applied to Sicilian regional recovery and resilience plans. *Energies*, 15(20), , 1-22.
- Emergen Research. (2025). Big data in energy sector market. Retrieved from https://www.emergenresearch.com/industry-report/big-data-in-energy-sector-market?utm_source=
- European Commission. (2022). Digitalising the Energy System – EU Action Plan.
- Group, W. B. (2022). China country climate and development report. *The World Bank Group*, <https://openknowledge.worldbank.org/server/api/core/bitstreams/35ea9337-dfcf-5d60-9806-65913459d928/content> .
- IEA. (2024). World Energy Outlook. *International Energy Agency* .
- IEA. (2022). Digitalisation and energy. *International Energy Agency* .
- International Energy Agency. (2023). World Energy Outlook 2023. *OECD Publishing*.<https://doi.org/10.1787/827374a6-en> , 236-240.
- IRENA. (2022). Digitalisation and the energy transition. https://www.irena.org/Energy-Transition/Innovation/Digitalisation?utm_source=
- IRENA. (2019). Global Atlas for Renewable Energy. International Renewable Energy Agency. <https://www.irena.org/Energy-Transition/Global-Atlas> .
- ITU. (2013). Big Data today: normal tomorrow,. *ITU Technology Watch Report* .
- ITU. (2016). ICT Facts and Figures. (*Mobile network coverage and evolving technologies, Issue*.
- Khalid, M. S. (2024). Energy 4.0: AI-enabled digital transformation for sustainable power networks. *Computers & Industrial Engineering*, 193, .
- Kusiak, A. (2017). Smart manufacturing must embrace big data. *Nature* 544, , 23–25.
- Lerner, K. A. (2017). Energy analytics for development: Big data for energy access, energy efficiency, and renewable energy. (*ESMAP Knowledge Series No. 027/17*). , World Bank.

- Manyika, J. C. (2011). Big data: The next frontier for innovation, competition, and productivity. *McKinsey Global Institute* .
- McAfee, A. &. (2012). Big data: The management revolution. *Harvard Business Review*, 90(10), , 60–68.
- Mostafa, N. R. (2022). Renewable energy management in smart grids by using big data analytics and machine learning. *Machine Learning with Applications*, 8, 100272. , 1-12.
- OECD. (2021). Data-driven public sector. *OECD Working Papers on Public Governance*; https://www.oecd.org/en/publications/a-data-driven-public-sector_09ab162c-en.html?utm_ .
- Reuters. ((2025, April 10)). EU expects to add record renewable capacity in 2025, industry sees headwinds. <https://www.reuters.com/sustainability/boards-policy-regulation/eu-expects-add-record-renewable-capacity-2025-industry-sees-headwinds-2025-04-10> .
- Russell, S. &. (2021). *Artificial intelligence: A modern approach (4th ed.)*. Pearson.
- Sreedhar, T. S. (2024). Applications of big data in renewable energy systems based on cloud computing. *International Journal on Information Technologies & Security*, 16(3), , 121–132.
- Turyandi, I. S. (2025). Optimizing renewable energy in smart cities by integrating big data and decision support systems. *International Journal of Economics, Commerce, and Management*, 2(4), , 01–08.
- U.S. Department of Energy. (2023). Grid Modernization Initiative. https://www.energy.gov/gmi/grid-modernization-initiative?utm_ .
- Waller, M. A. (2013). Data science, predictive analytics, and big data: A revolution that will transform supply chain design and management. *Journal of Business Logistics*, 34(2), , 77–84.
- Xu, J. C. (2025). The impact of artificial intelligence on the energy transition: Evidence from Chinese cities. *World Development*, 195, 107126.
- Yang, Y. L. (2024). A survey on wind power forecasting with machine learning approaches. *Neural Computing and Applications*, 36, , 12753–12773.
- Yong, J. (2014). Digital Finance: Empowering the Poor via New Technologies. . *word bank*.
- Zhang, Y. W. (2014). Review on probabilistic forecasting of wind power generation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 32, , 255–270.
- قاشي، خ. &. (2017). البيانات الضخمة وأثرها في عملية اتخاذ القرار . *مجلة الاقتصاد والتطبيقات* -150 , 14(2) , 165.
- م عبدالسلام، (2021). سلسلة كتيبات تعريفية /العدد 16 صندوق النقد العربي . Retrieved from <https://www.amf.org.ae/sites/default/files/publications/2021-12/big-data-technology.pdf>
- مركز الإحصاء، (n.d.). مفاهيم عامة حول البيانات الكبيرة. أدلة المنهجية والجودة، دليل رقم 13 .