Journal of Business Economics for Applied Research, Vol. (8), No. (2): 465-484
Doi: https://dx.doi.org/10.37940/BEJAR.2026.8.2.24

Journal of Business Economics for Applied Research
مجلة اقتصاديات الاعمال للبحوث التطبيقية
ISSN 2709-6475 - E-ISSN 3079-8167

Leading European Countries in the Path of Green Economic Growth
A Descriptive Study of the Experiences of Germany, Denmark, and Norway (1990–2024)*

Idrees Sulaiman Abdullal[(1)], Zaki Hussein Qader[(2)]
Salahaddin University - College of Administration and Economics[(1),(2)]
(1) idrees.abdullah@su.edu.krd (2) zaki.qader@su.edu.krd

Key words:
Green Economic Growth, Renewable Energy, Energy Transition, Germany, Denmark, Norway.

ARTICLE INFO
Article history:

Received	16 ***Nov***. 2025
Accepted	30 ***Nov***. 2025
Avaliabble online	01 ***Jun***. 2026

© 2026 THE AUTHOR(S). THIS IS AN OPEN ACCESS ARTICLE DISTRIBUTED UNDER THE TERMS OF THE CREATIVE COMMONS ATTRIBUTION LICENSE (CC BY 4.0).
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

*Corresponding author:
Idrees Sulaiman Abdullal
Salahaddin University

Abstract:
This study analyzes the experiences of Germany, Denmark, and Norway in achieving green economic growth from 1990 to 2024. It examines how energy consumption, environmental policies, and governance frameworks contributed to their transition toward sustainable economies. Using descriptive and analytical methods with data from the World Bank and the IEA, the research finds that Germany's Energiewende increased renewables to over 40%, Denmark led in wind energy and decoupled growth from emissions, and Norway balanced hydropower reliance with strong environmental governance. The study concludes that integrated policies combining energy efficiency, green innovation, and effective governance were key to their success, offering a replicable model for other nations.

*The research is extracted from a doctoral dissertation of the first researcher.

Journal of Business Economics for Applied Research, Vol. (8), No. (2): 465-484
Doi: https://dx.doi.org/10.37940/BEJAR.2026.8.2.24

الدول الأوروبية الرائدة في مسار النمو الاقتصادي الأخضر
دراسة وصفية لتجارب ألمانيا والدنمارك والنرويج (1990-2024)*

أ.م. ادريس سليمان عبدالله — **جامعة صلاح الدين ـ كلية الإدارة والاقتصاد/ اربيل**
idrees.abdullah@su.edu.krd

أ.د. زكي حسين قادر — **جامعة صلاح الدين ـ كلية الإدارة والاقتصاد/ اربيل**
zaki.qader@su.edu.krd

المستخلص

تهدف الدراسة إلى تحليل تجارب ألمانيا والدنمارك والنرويج في تحقيق النمو الاقتصادي الأخضر خلال المدة 1990–2024، من خلال دراسة العلاقة بين استهلاك الطاقة والسياسات البيئية وأطر الحوكمة، وباستخدام منهج وصفي تحليلي مدعوم ببيانات من البنك الدولي والوكالة الدولية للطاقة، توصلت النتائج إلى أن سياسة التحول الطاقي في ألمانيا رفعت حصة الطاقة المتجددة إلى أكثر من 40%، وأن الدنمارك أصبحت رائدة عالميًا في طاقة الرياح ونجحت في فصل النمو عن الانبعاثات، بينما حافظت النرويج على توازن فريد بين الاعتماد على الطاقة الكهرومائية وتطبيق سياسات حوكمة وابتكار بيئي فعّالة. وتخلص الدراسة إلى أن نجاح هذه الدول يعود إلى تكامل سياساتها في كفاءة الطاقة والابتكار الأخضر والحوكمة الرشيدة، مما يجعل التجربة الأوروبية نموذجًا قابلًا للتطبيق في دول أخرى.

الكلمات المفتاحية: النمو الاقتصادي الأخضر، الطاقة المتجددة، تحول الطاقة، ألمانيا، الدنمارك، النرويج.

المقدمة:

شهد العالم منذ تسعينيات القرن الماضي تصاعدًا في الوعي البيئي، وظهور توجه عالمي نحو تحقيق النمو الاقتصادي الأخضر بوصفه نموذجًا بديلًا للنمو التقليدي القائم على استنزاف الموارد وزيادة الانبعاثات. وقد لعبت الدول الأوروبية دورًا قياديًا في صياغة هذا الاتجاه عن طريق سياسات تحفيزية وتشريعات بيئية ومبادرات طاقية تهدف إلى تعزيز استخدام مصادر الطاقة النظيفة وتحسين الكفاءة في الإنتاج والاستهلاك. تُعدّ ألمانيا والدنمارك والنرويج من أكثر الدول نجاحًا في تحقيق هذا التحول؛ إذ استطاعت ألمانيا بناء إستراتيجية طاقية طويلة المدى عُرفت بسياسة Energiewende، فيما تميزت الدنمارك بريادتها في تكنولوجيا طاقة الرياح، بينما اعتمدت النرويج على نموذج مغاير يقوم على استثمار مواردها الطبيعية في الطاقة الكهرومائية وتوظيف عوائد النفط في دعم مشاريع الاستدامة.

اولا: اهمية البحث

تكمن أهمية البحث في كونه يقدم تحليلًا مقارنًا لتجارب أوروبية واقعية أثبتت فاعليتها في تحقيق النمو الأخضر، ما يتيح استخلاص دروس يمكن أن تُسهم في صياغة سياسات طاقية متوازنة للدول النامية، ولا سيما تلك التي تسعى إلى تنويع مصادر الطاقة وتقليل الانبعاثات.

ثانيا: مشكلة البحث

تركّز مشكلة البحث على تحديد أبرز ملامح وتجارب الدول الأوروبية الرائدة في تحقيق النمو الاقتصادي الأخضر، وبيان كيفية إسهام سياساتها الطاقية والحوكمية في إنجاح مسار التحول نحو الاقتصاد الأخضر المستدام خلال المدة (1990–2024).

* البحث مستل من أطروحة دكتوراه للباحث الأول.

ثالثا: أهداف البحث

- تحليل تطور مسار النمو الاقتصادي الأخضر في ألمانيا، والدنمارك، والنرويج خلال المدة (1990–2024).
- التعرف على السياسات والمؤشرات الطاقية والحوكمية التي دعمت التحول نحو الطاقة المتجددة في هذه الدول.
- استنتاج الدروس والسياسات الممكنة التي يمكن للدول الأخرى الإفادة منها في مسار التحول الأخضر.

رابعا: فرضية البحث

يفترض البحث أن نجاح التجارب الأوروبية في تحقيق النمو الأخضر يعود إلى تكامل السياسات الطاقية والبيئية مع الحوكمة والابتكار، مما أدى إلى تحقيق نمو اقتصادي مستدام مصحوب بتراجع في كثافة الطاقة والانبعاثات الكربونية.

خامسا: منهجية البحث

اعتمد البحث على المنهج الوصفي التحليلي الذي يجمع بين التحليل الكمي والنوعي للبيانات. تم توظيف بيانات صادرة عن البنك الدولي والوكالة الدولية للطاقة، إلى جانب مراجعة الأدبيات والسياسات الوطنية الخاصة بالطاقة والتنمية المستدامة. وتم التركيز على مؤشرات الطاقة المتجددة، والانبعاثات، وكفاءة استخدام الموارد، ومؤشرات الحوكمة المرتبطة بالأداء البيئي والإدارة الحكومية.

سادسا: حدود البحث

الحدود الزمانية: تمتد من عام 1990 إلى عام 2024، وهي مدة تمثل مراحل التحول الطاقي في أوروبا.
الحدود المكانية: تشمل ثلاث دول أوروبية متقدمة هي: ألمانيا، والدنمارك، والنرويج.
الحدود الموضوعية: دراسة وصفية تحليلية لسياسات النمو الأخضر والتحول الطاقي ومؤشرات الحوكمة ذات الصلة.

سابعا: الاستعراض المرجعي

تُظهر الأدبيات العلمية أن التجارب الأوروبية في مجال التحول نحو الطاقة المتجددة تمثل نموذجًا متقدمًا لتحقيق النمو الاقتصادي الأخضر، رغم التباين في تأثيرات الطاقة على الأداءين الاقتصادي والبيئي بين دول أوروبا. وقد تناولت دراسات متعددة هذه العلاقة، من أبرزها:

1. دراسة Jamet (2012) بعنوان:(Energy Transition Policies and Environmental Performance in Denmark) : توصلت هذه الدراسة إلى أن تطبيق سياسات التحول الطاقوي منذ التسعينيات أسهم في خفض انبعاثات غازات الدفيئة بنسبة 10% وزيادة الاعتماد على الطاقة المتجددة بنسبة 19% بحلول عام 2009. وأوضحت الدراسة أن الاعتماد الكبير على طاقة الرياح والكتلة الحيوية مكّن الدنمارك من تحسين الكفاءة البيئية، إلا أن تكاليف التحول المرتفعة حالت دون تحقيق النمو الأخضر المنشود بالكامل، ما يستدعي زيادة الدعم المالي والتقني لقطاع الطاقة النظيفة

2. دراسة حياة وخديجة (2020) بعنوان:(أثر استهلاك الطاقة المتجددة وغير المتجددة على الانبعاثات الكربونية في ألمانيا: دراسة قياسية باستخدام نموذج VAR للمدة 1970–2017) :استخدمت هذه الدراسة نموذج الانحدار الذاتي للفجوات الزمنية (VAR)، وأظهرت أن زيادة استهلاك الطاقة المتجددة خفّضت انبعاثات ثاني أكسيد الكربون بنسبة 26.7%، بينما أدّى الاعتماد على الوقود الأحفوري إلى زيادة الانبعاثات بنسبة 0.37% لكل زيادة قدرها 1% في استهلاك الطاقة. وبينت الدراسة أن الطاقة المتجددة أصبحت محركًا أساسيًا للنمو الأخضر في ألمانيا، لكن استمرار الاعتماد على الطاقة غير المتجددة يشكل تحديًا لتحقيق الحياد الكربوني الكامل.

3. دراسة Tenorio & Baggethun (2024) بعنوان:(Hydropower Dominance and the Challenges of Green Growth in Norway) : أظهرت الدراسة أن النرويج حققت تحسنًا في الإنتاجية الطاقوية بنسبة 43% منذ عام 1990 بفضل اعتمادها شبه الكامل على الطاقة الكهرومائية، إلا أنها

لم تنجح في تحقيق فصل مطلق بين النمو الاقتصادي والانبعاثات البيئية بسبب استمرار تصدير النفط والغاز. وأكد الباحثان أن استمرار الاعتماد على الوقود الأحفوري في القطاعات غير الطاقية يعوق تحقيق تحول شامل نحو الاقتصاد الأخضر، داعيين إلى زيادة الضرائب البيئية وتوسيع الاستثمار في الطاقات الريحية.بشكل عام، تُظهر هذه الدراسات أن التجربة الأوروبية تتميز بتكامل السياسات البيئية مع التنمية الاقتصادية، وأن تحقيق النمو الاقتصادي الأخضر يتطلب تعزيز كفاءة الطاقة، والابتكار التقني، والحوكمة البيئية الصارمة لضمان استدامة التحول الطاقوي. ما يميّز الدراسة الحالية عن الدراسات السابقة، تختلف هذه الدراسة عن الأدبيات السابقة من خلال:

- دمج البعدين الطاقي والحوكمي في تحليل واحد يفسّر كيفية تفاعل سياسات الطاقة مع الحوكمة في تعزيز النمو الاقتصادي الأخضر في أوروبا، في حين عالجت أغلب الدراسات السابقة الطاقة أو البيئة بمعزل عن الحوكمة.
- تبنّي منظور زمني واسع يمتد من 1990 إلى 2024 يسمح بفهم التحول الطاقي الأوروبي منذ نشأته وحتى مراحله المتقدمة، بينما تناولت دراسات عديدة فترات زمنية أقصر أو مقاطع محدودة من التجربة الأوروبية.
- تركيز الدراسة على تحليل تجارب عدد من الدول الأوروبية الرائدة بشكل مقارن داخلي يوضّح الفروق في المسارات والسياسات والأداء، بدلًا من الاكتفاء بعرض عام للاتجاهات الأوروبية كما فعلت بعض الدراسات.
- الاعتماد على منهج وصفي تحليلي متكامل يقوم على تفسير السياسات والاتجاهات والنتائج دون التقيّد بنماذج قياسية، وهو ما يمنح الدراسة قدرة على إبراز الأبعاد المؤسسية والتشريعية التي غالبًا ما تجاهلتها الدراسات القياسية التي انصبت على المتغيرات الكمية فقط.
- ربط التجربة الأوروبية بالنمو الأخضر بصورة ممنهجة من خلال تحليل السياسات الطاقوية، أدوات الحوكمة، وتطور الأداء البيئي–الاقتصادي، وهو بعد لم تدمجه معظم الدراسات السابقة ضمن إطار تحليلي واحد.

المبحث الأول: الإطار المفاهيمي للنمو الاقتصادي الأخضر والتحول الطاقي

أصبح مفهوم النمو الاقتصادي الأخضر أحد المرتكزات الجوهرية في الفكر الاقتصادي المعاصر، إذ يمثل مقاربةً جديدةً لتحقيق التنمية المستدامة عن طريق الدمج بين الأهداف الاقتصادية والبيئية والاجتماعية. ويستند هذا المفهوم إلى فرضية مفادها أن النمو الاقتصادي لا ينبغي أن يتحقق على حساب البيئة، بل يجب أن يكون قائمًا على الاستخدام الكفء للموارد الطبيعية، والاعتماد على مصادر طاقة نظيفة، وتعزيز الابتكار البيئي والتكنولوجي.

أولًا: مفهوم النمو الاقتصادي الأخضر: يُعرّف النمو الاقتصادي الأخضر بأنه "النمو الذي يعزز التنمية المستدامة عن طريق زيادة الإنتاجية الاقتصادية بالتوازي مع خفض الانبعاثات الكربونية، وتحسين كفاءة استخدام الموارد، وتعزيز العدالة الاجتماعية" (OECD, 2011: p. 6). ويرى برنامج الأمم المتحدة للبيئة (UNEP, 2018: p. 12) أن النمو الأخضر هو عملية تحويل الاقتصاد التقليدي إلى اقتصاد منخفض الكربون وكفء في استخدام الموارد، عبر إعادة هيكلة القطاعات الاقتصادية لتصبح أكثر استدامة من حيث الإنتاج والاستهلاك. ويرتكز النمو الأخضر على ثلاثة مبادئ أساسية:

- **الكفاءة البيئية:** أي تقليل استنزاف الموارد الطبيعية والانبعاثات الناتجة عن النشاط الاقتصادي.
- **العدالة الاجتماعية**: ضمان توزيع عادل لعوائد النمو وتوفير فرص عمل خضراء.
- **الاستدامة الاقتصادية:** تحقيق التوازن بين الأجل القصير والبعيد في إدارة الموارد.

وقد تبنّت العديد من الدول هذا المفهوم ضمن سياساتها التنموية بوصفه أداةً لتحقيق التنافسية الاقتصادية وحماية البيئة في آنٍ واحد.

ثانيًا: التحول الطاقي (Energy Transition) :يُقصد بالتحول الطاقي عملية الانتقال التدريجي من الاعتماد على مصادر الطاقة الأحفورية إلى مصادر طاقة متجددة ونظيفة، بما يضمن أمن الطاقة ويحد من الانبعاثات الكربونية (IEA, 2022: p. 14). ويمثل التحول الطاقي أحد الأعمدة الرئيسة للنمو الأخضر، حيث يسهم في إعادة هيكلة القطاعات الإنتاجية، وتحفيز الابتكار، وتقليل التبعية لمصادر الطاقة التقليدية. تتمثل أبرز أبعاد التحول الطاقي في:

البعد البيئي: خفض الانبعاثات وتحسين جودة الهواء والمناخ.
البعد الاقتصادي: تنويع مصادر الدخل عبر الاستثمار في الطاقات المتجددة والتكنولوجيا النظيفة.
البعد المؤسسي: تعزيز الحوكمة البيئية وإشراك المؤسسات في صياغة السياسات الخضراء. وتؤكد التجربة الأوروبية أن نجاح التحول الطاقي يتطلب مزيجًا من السياسات الداعمة، مثل الحوافز المالية للقطاع الخاص، والضرائب البيئية، وتوسيع الاستثمارات في البحث والابتكار.

ثالثًا: العلاقة بين النمو الأخضر والتحول الطاقي

العلاقة بين النمو الأخضر والتحول الطاقي علاقة تكاملية وليست تنافسية؛ فكل منهما يمثل شرطًا لنجاح الآخر. فالتحول الطاقي يوفّر البنية التحتية والبيئة الملائمة لتحقيق النمو الأخضر، من خلال تقليل الكثافة الكربونية للنشاط الاقتصادي وتحسين كفاءة استخدام الموارد. وفي المقابل، يتيح النمو الأخضر إطارًا استراتيجيًا طويل الأمد لدعم التحول الطاقي عبر السياسات المالية والابتكارية والمؤسساتية (World Bank, 2023: p. 21). تُظهر التجربة الأوروبية أن الاستثمار في الطاقات المتجددة والابتكار الأخضر أسهم في خلق وظائف جديدة وتحفيز النمو دون الإضرار بالبيئة، ما يجعل هذا النهج بديلاً فعّالًا للنمو التقليدي القائم على استنزاف الموارد.

رابعا: العلاقة بين الطاقة والحوكمة في تحقيق النمو الأخضر

أثبتت التجارب الأوروبية أن التحول الطاقي لا يعتمد فقط على توافر الموارد أو التكنولوجيا، بل على جودة الحوكمة البيئية والمؤسسية. فوجود تشريعات واضحة، واستقرار تنظيمي، وآليات رقابية فعالة، يُعدّ شرطًا أساسيًا لجذب الاستثمار الأخضر وضمان استدامة المشاريع الطاقية. كما تلعب الحوكمة دورًا محوريًا في تحديد أولويات الإنفاق الحكومي، وتنظيم أسواق الطاقة، وتشجيع القطاع الخاص على الاستثمار في الابتكار البيئي. ومن هنا، يُنظر إلى التجارب الأوروبية باعتبارها نتاج تفاعل ناجح بين السياسات الاقتصادية والحوكمة الفعّالة والوعي المجتمعي، مما يجعلها مرجعًا للدول الأخرى في إدارة التحول نحو الاقتصاد الأخضر.

المبحث الثاني: مؤشرات استهلاك الطاقة والتحول البيئي في ألمانيا، الدنمارك، والنرويج (1990–2024):

تتعدد المؤشرات التي تقيس استهلاك الطاقة وأبعاد التحول البيئي، وقد تم في المبحث السابق استعراض مجموعة من هذه المؤشرات وشرح أهميتها النظرية والاقتصادية في تقييم مسار الدول نحو الاستدامة. غير أنّ بعض المؤشرات لا تتوافر لها بيانات متسلسلة زمنياً بشكل كامل، مما يقيّد إمكانية التحليل الكمي المستمر. وفي المقابل، هناك مؤشرات محددة بدأت تصدر بياناتها بشكل منهجي منذ منتصف العقد الثاني من القرن الحادي والعشرين، مما أتاح إمكانية تتبّع تطورها وتحليل مسارها عبر الزمن. ويشير جدول رقم (1) إلى مؤشرات الطاقة المختارة حسب البيانات المتوفرة في ألمانيا، الدنمارك، والنرويج خلال المدة 1990–2024.

جدول (1) : مؤشرات الطاقة المختارة في ألمانيا، الدنمارك، والنرويج للمدة (1990–2024)

السنة	الدولة	مؤشر الطاقة المستدامة	مؤشر تحول الطاقي (ETI)	مؤشر أداء الطاقة(EPI)	مؤشر كثافة الطاقة	مؤشر كثافة الكربون	مؤشر النمو الاخضر GGI
1990	المانيا	غير متاح	غير متاح	غير متاح	4.8	0.4287	غير متاح
1995	المانيا	غير متاح	غير متاح	غير متاح	4.1	0.3485	غير متاح
2000	المانيا	غير متاح	غير متاح	غير متاح	3.97	0.3022	غير متاح
2005	المانيا	غير متاح	غير متاح	غير متاح	3.89	0.2835	غير متاح
2010	المانيا	غير متاح	غير متاح	غير متاح	3.57	0.2588	غير متاح
2015	المانيا	62.2	غير متاح	غير متاح	3.08	0.2294	غير متاح
2020	المانيا	65.41	غير متاح	غير متاح	2.69	0.1823	(المرتبة 4)

72.57							
2024	المانيا	68.66	**69.1 (المرتبة 19)**	**74.5 (المرتبة 3)**	2.2	0.1543	**(المرتبة 7) 70.04**
1990	**الدانمارك**	غير متاح	غير متاح	غير متاح	4.2	0.2594	غير متاح
1995	الدانمارك	غير متاح	غير متاح	غير متاح	3.47	0.2671	غير متاح
2000	الدانمارك	غير متاح	غير متاح	غير متاح	2.98	0.2020	غير متاح
2005	الدانمارك	غير متاح	غير متاح	غير متاح	2.83	0.1797	غير متاح
2010	الدانمارك	غير متاح	غير متاح	غير متاح	2.87	0.1709	غير متاح
2015	الدانمارك	77.1	غير متاح	غير متاح	2.25	0.1129	غير متاح
2020	الدانمارك	82.91	غير متاح	غير متاح	1.99	0.0852	(المرتبة 2) 78.32
2024	الدانمارك	88.3	**78.8 (المرتبة 2)**	**67.7 (المرتبة 10)**	1.70	0.0621	**(المرتبة 1) 75.32**
1990	**النرويج**	غير متاح	غير متاح	غير متاح	4.90	0.1714	غير متاح
1995	النرويج	غير متاح	غير متاح	غير متاح	4.62	0.1597	غير متاح
2000	النرويج	غير متاح	غير متاح	غير متاح	4.32	0.1370	غير متاح
2005	النرويج	غير متاح	غير متاح	غير متاح	4.32	0.1274	غير متاح
2010	النرويج	غير متاح	غير متاح	غير متاح	4.46	0.1348	غير متاح
2015	النرويج	98.14	غير متاح	غير متاح	3.31	0.1235	غير متاح
2020	النرويج	100	غير متاح	غير متاح	3.34	0.1099	(المرتبة 20) 76.97
2024	النرويج	100	**77.4 (المرتبة 7)**	**69.9 (المرتبة 7)**	3.1	0.1001	**(المرتبة 22) 62.00**

المصدر: من اعداد الباحث استنادا الى البيانات:

1. Eurostat (2025). Share of energy from renewable sources in gross final energy consumption (indicator nrg_ind_ren). Luxembourg: European Commission. Available at:https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/explore/all/envir?lang=en&subtheme=nrg.nrg_quant.nrg_quanta.nrg_ind_share&display=list&sort=category&extractionId=nrg_ind_ren
2. International Atomic Energy Agency (IAEA) (2005) Energy indicators for sustainable development: Guidelines and methodologies. Vienna: IAEA. Available at: https://wwwpub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1222_web.pdf
3. Green Growth Index 2020 – GGGI. Measuring performance in achieving SDG targets (Technical Report No. 16). Available at: https://greengrowthindex.gggi.org/wp-content/uploads/2021/01/2020-Green-Growth-Index.pdf
4. Global Green Growth Institute (2024) 2024 Annual Report. Seoul: GGGI. Available at: https://gggi.org/report/2024-annual-report

أ-**أظهر مؤشر الطاقة المستدامة للجميع (SEforALL)** تفاوتاً واضحاً في أداء الدول الأوروبية المختارة بين 2015–2024. فقد ارتفع مؤشر ألمانيا من 62.2 نقطة عام 2015 إلى 65.41 في 2020 و68.66 في 2024، بزيادة إجمالية 6.46 نقاط ومعدل نمو سنوي مركب 1.1%، مع تسارع طفيف بعد 2020 (من 0.64 إلى 0.81 نقطة سنوياً). ويُعزى بطء التحسن إلى اعتمادها التاريخي على الفحم والغاز والصناعة الثقيلة، فضلاً عن تحديات الخروج من الطاقة النووية رغم توسّعها في إدماج المتجدّدات.أما الدنمارك فارتفع مؤشرها من 77.1 نقطة عام 2015 إلى 82.91 في 2020 و88.3 في 2024، أي زيادة كلية 11.2 نقطة وبمعدل نمو مركب 1.52%، وهو الأعلى بين الدول الثلاث. تميزت بتحسن متواصل ومتسارع بعد 2020

(بمتوسط 1.35 نقطة سنوياً) نتيجة سياسات مستقرة واستثمارات كبيرة في طاقة الرياح، مما وضعها ضمن فئة الأداء العالمي المتقدم.في المقابل، سجلت النرويج ارتفاعاً من 98.14 نقطة عام 2015 إلى 100 في 2020 واستقراراً عند 100 حتى 2024، بمعدل نمو لا يتجاوز 0.21%، ما يعكس تأثير التشبع (Ceiling Effect) في ظل الاعتماد شبه الكامل على الكهرومائية. وبذلك احتفظت النرويج بالمرتبة الأولى، تلتها الدنمارك بمسار صعودي قوي، ثم ألمانيا بمستوى متوسط–مرتفع. ونظراً لثبات إتاحة الكهرباء عند 100% في الدول الثلاث، فإن الفارق الأساسي بينها يعود إلى عمق إدماج الطاقات المتجددة في الاستهلاك النهائي.

ب- مؤشر تحوّل الطاقة: (Energy Transition Index) تشير بيانات مؤشر التحوّل الطاقي (ETI) (2024إلى تفاوت واضح بين الدول الأوروبية الثلاث. فقد حصلت ألمانيا على 69.1نقطة وجاءت في المرتبة 19 عالميًا، وهو أداء جيد لكنه متأثر بعوامل هيكلية مثل إيقاف المفاعلات النووية في 2023 والعودة المؤقتة لاستخدام الفحم عقب أزمة الغاز الروسي، ما أبطأ وتيرة التحسّن (World Economic Forum, 2024, p. 46). ورغم ارتفاع حصة الطاقات المتجددة لتتجاوز 50%من الكهرباء في 2023، أظهر المؤشر ضعفًا نسبيًا في عدالة الأسعار وأمن الإمدادات، مما أبقاها خارج قائمة العشر الأوائل عالميًا. أما الدنمارك فقد حققت 78.8نقطة واحتلت المرتبة الثانية عالميًا، بفضل قدرتها على الدمج بين الاستدامة والكفاءة والتكلفة، مدعومةً بارتفاع حصة طاقة الرياح التي تجاوزت نصف إنتاج الكهرباء واستثمارات طويلة الأمد في كفاءة الاستهلاك .(World Economic Forum, 2024: p. 45) هذا التوازن بين البيئة وأمن الإمدادات وتنافسية الأسعار جعل موقعها شبه ثابت ضمن المراتب الثلاث الأولى.في المقابل، سجلت النرويج 77.4نقطة لتحل في المرتبة السابعة عالميًا بعد أن كانت ضمن المراتب الثلاث الأولى في الأعوام السابقة، متأثرةً بارتفاع أسعار الكهرباء رغم أن الكهرومائية تشكل أكثر من 90%من إنتاج الكهرباء (World Economic Forum, 2024:p. 47). ويُعزى هذا التراجع إلى تشبّع النظام الطاقوي الذي يحدّ من فرص التحسن الإضافي رغم استدامته العالية.وتُبين المقارنة بين الدول الثلاث أن الفجوة الرقمية بينها محدودة لكنها مؤثرة في ترتيبها الدولي؛ إذ حافظت الدنمارك على موقعها المتقدم بواقع 78.8نقطة في المرتبة الثانية، متفوقةً بفارق 1.4نقطة على النرويج التي سجلت 77.4نقطة وحلت سابعة عالميًا، بينما جاءت ألمانيا في المرتبة 19 بـ 69.1نقطة، أي أقل بـ 8.3نقاط عن النرويج و 9.7نقاط عن الدنمارك .هذا التفاوت يوضح أن التميز في التحول الطاقي لا يعتمد فقط على ارتفاع حصة الطاقات النظيفة، بل على قدرة الدولة على تحقيق التوازن بين الاستدامة، استقرار الأسعار، وأمن الإمدادات في مواجهة الصدمات الخارجية.

ج- مؤشر أداء الطاقة : يُعد مؤشر أداء الطاقة (Energy Performance Index – EPI) أداة شاملة لقياس العلاقة بين نظم الطاقة والبيئة وجودة الحياة من خلال أكثر من 40 مؤشرًا فرعيًا تغطي المناخ، الطاقة، جودة الهواء، التنوع البيولوجي والسياسات البيئية (Block et al., 2024: p. 1–2). ويعكس أداء الدول الأوروبية المختارة في هذا المؤشر توازنًا متفاوتًا بين الموارد الطبيعية والسياسات المؤسسية. وفقًا للجدول (1)، جاءت ألمانيا في المركز الثالث عالميًا، ما يعكس نجاحها في دمج سياسات الطاقة المتجددة مع أهداف المناخ. فعلى الرغم من استمرار اعتمادها النسبي على الفحم والغاز بنسبة ≈78% حتى عام 2022، فإن تسريع برنامج Energiewende والاستثمار المكثف في الرياح والطاقة الشمسية جعلها من أبرز الدول في خفض الانبعاثات وتحسين جودة الهواء. وقد عزز ذلك تنافسية الصناعات الخضراء مثل السيارات الكهربائية والهيدروجين الأخضر وتقنيات الكفاءة الطاقية، ما أسهم في خلق وظائف عالية القيمة وتقوية موقعها الاقتصادي، رغم ارتفاع تكلفة التحول على المستهلكين (EPI Country Profile: Germany, 2024: p. 5). أما الدنمارك فقد حصلت على 67.7 نقطة واحتلت المرتبة العاشرة عالميًا، ممثلةً نموذجًا لدولة صغيرة أحدثت تحولًا هيكليًا عميقًا في قطاع الطاقة. إذ بلغت حصة المتجدّدات في الكهرباء أكثر من 80%، منها 54% من طاقة الرياح، مما جعلها رائدة في التكنولوجيا الخضراء وصناعة التوربينات البحرية. غير أن استمرار اعتمادها على الوقود الأحفوري بنسبة تقارب 50% من الإمداد الطاقي يحد من تقدمها، ويُفسر تراجعها عن ألمانيا والنرويج في الترتيب رغم ريادتها في الابتكار (EPI Country Profile: Denmark, 2024, p. 9).في المقابل، جاءت النرويج في المرتبة السابعة عالميًا بدرجة 69.9 نقطة، مستفيدة من ميزة طبيعية استثنائية تتمثل في أن أكثر من 95% من كهربائها كهرومائية، ما جعل بصمتها الكربونية شبه معدومة. ومع ذلك، فإن اعتماد اقتصادها على صادرات النفط والغاز قلل من انعكاس هذا الأداء المحلي على المؤشر، مما جعلها خلف ألمانيا رغم تفوقها البيئي الداخلي. ويعكس هذا التباين مفارقة

الدول الريعية التي تواجه معضلة الموازنة بين استدامة الداخل وتلبية الطلب العالمي على الوقود التقليدي (EPI Country Profile: Norway, 2024: p. 7). وتُظهر المقارنة العامة أن ألمانيا تقدمت بفضل دمجها الناجح لسياسات المناخ والطاقة المتجددة، تليها النرويج التي حافظت على أداء بيئي مرتفع مدعوم بموارد مائية وفيرة، ثم الدنمارك التي حققت تميزًا تكنولوجيًا واضحًا رغم استمرار اعتمادها النسبي على الوقود الأحفوري. هذا التباين يعكس أن التفوق في مؤشر الأداء الطاقي لا يعتمد فقط على البنية البيئية، بل على قدرة الدولة في تحقيق التكامل بين التحول الطاقي والهيكل الاقتصادي العام.

د- مؤشر كثافة الطاقة: يُقاس مؤشر كثافة الطاقة (Energy Intensity) بنسبة إجمالي إمدادات الطاقة الأولية إلى الناتج المحلي الإجمالي بالقيمة الثابتة (تعادل القوة الشرائية لعام 2017)، وهو ما يعبّر عن كمية الطاقة اللازمة لإنتاج وحدة من الناتج الحقيقي. ويُعد انخفاض المؤشر دليلاً على ارتفاع الكفاءة الطاقية، أي تحقيق إنتاجية أعلى لكل وحدة طاقة مستخدمة، وهو هدف رئيس في أجندة التنمية المستدامة SDG7 التي تدعو إلى مضاعفة معدلات التحسن في الكفاءة بحلول 2030 (IEA/SEforALL, Tracking SDG7, 2024: pp. 62–66). تُظهر البيانات أن ألمانيا خفّضت كثافة الطاقة من 4.8 في بداية التسعينيات إلى نحو 2.2 عام 2024 بمعدل تراجع سنوي يقارب −2.27%. ويعكس هذا التحسن نتائج سياسات التحول الطاقي (Energiewende) والتشريعات الملزمة مثل قانون كفاءة الطاقة لعام 2023، الذي استهدف خفض الاستهلاك الأولي والنهائي بحلول 2030. كما ساهمت إصلاحات المباني والصناعة والنقل في تعزيز الكفاءة، ليصبح الاقتصاد الألماني أكثر اعتماداً على الخدمات والتقنيات النظيفة، ما يجعله نموذجاً لتأثير جودة التشريعات في تحسين العلاقة بين استهلاك الطاقة والنمو الأخضر (IEA, Germany 2025: pp. 5–6).أما الدنمارك فقد سجلت تراجعاً من 4.2 إلى 1.7 خلال الفترة نفسها، بمعدل سنوي يقارب −2.63%، وهو الأسرع بين الدول الثلاث. ويرتبط هذا الإنجاز بتكامل سياسات الكفاءة والرقمنة وإدماج الطاقات المتجددة، حيث تجاوزت الكهرباء النظيفة معظم الاستخدامات. ورغم بعض التذبذبات الطفيفة حول عام 2010، فإن الاتجاه العام يؤكد مساراً ثابتاً نحو كفاءة أعلى (IEA, Denmark 2023: pp. 11, 50–55). في المقابل، شهدت النرويج تراجعاً أبطأ من 4.9 إلى نحو 3.1 بمعدل سنوي يقارب −1.34%، نتيجة طبيعة اقتصادها القائم على الصناعات كثيفة الاستهلاك للطاقة مثل الألمنيوم والمعادن، واستمرار استهلاك المشتقات النفطية في النقل، رغم أن الكهرباء النظيفة تشكل أكثر من 90% من التوليد الكهرومائي (IEA, Norway 2022: pp. 7, 70, 100, 126). ويُظهر هذا أن وفرة الكهرباء النظيفة تقلل الانبعاثات لكنها لا تكفي وحدها لخفض الكثافة سريعاً، إذ يبقى البعد الهيكلي للصناعة عاملاً حاسماً. وعلى المستوى المقارن، يتضح أن انخفاض كثافة الطاقة تحقق بوتيرة أسرع في الدنمارك تليها ألمانيا ثم النرويج، ما يعكس أثر السياسات المُلزمة والحوكمة الصارمة في دفع الكفاءة الطاقية. كما يبرز أن توافر الموارد المتجددة، وإن كان مهماً، لا يترجم تلقائياً إلى كفاءة أعلى ما لم يُدعَم بإصلاحات هيكلية وتشريعات فاعلة.

ه - مؤشر كثافة الكربون: يُعبّر مؤشر كثافة الكربون عن مقدار انبعاثات ثاني أكسيد الكربون (CO_2) الناتجة عن كل وحدة من الناتج المحلي الإجمالي، ويُقاس عادة بوحدة كغ CO_2 لكل دولار دولي ثابت، ما يجعله أداة رئيسة لقياس كفاءة النشاط الاقتصادي في توليد القيمة المضافة مقابل الانبعاثات المرافقة له (UNSD, 2025: p. 4). انخفاض المؤشر يدل على تحسن الكفاءة البيئية والطاقية ونجاح سياسات التحول نحو الطاقة النظيفة (IEA, 2023: p. 112). وتنبع أهميته من كونه مقياسًا كميًا لعملية الفصل بين النمو والانبعاثات (Decoupling)، وهو من ركائز النمو الاقتصادي الأخضر (OECD, 2018: p. 65).تشير بيانات الجدول (14) إلى أن ألمانيا بدأت عام 1990 بمستوى 0.4287 كغ CO_2/دولار، متأثرةً بهيمنة الصناعات الثقيلة والاعتماد على الفحم، ثم انخفض المؤشر إلى 0.3485 عام 1995 و0.3022 عام 2000، وصولًا إلى 0.2835 عام 2005 و0.2588 عام 2010 و0.2294 عام 2015، حتى بلغ 0.1543 عام 2024. ويعكس هذا الانخفاض المستمر نجاح برامج التحول الطاقي (Energiewende) في توسيع إنتاج الكهرباء من الرياح والطاقة الشمسية وتطبيق معايير انبعاثات صارمة، إلى جانب تسعير الكربون وبرامج الكفاءة في الصناعة والنقل (UNEP, 2019: p. 28). أما الدنمارك فقد بدأت عند 0.2594 كغ CO_2/دولار عام 1990، ثم سجلت 0.2671 عام 1995 و0.2020 عام 2000، لتواصل تراجعها إلى 0.1797 عام 2005 و0.1709 عام 2010 و0.1129 عام 2015، حتى وصلت إلى 0.0621 عام 2024. ويرتبط هذا الانخفاض المستمر باعتمادها المبكر على استراتيجية تحول طاقي طويلة الأمد ترتكز على طاقة الرياح ومشاريع الكفاءة في المباني والصناعة (IEA, 2021: p. 147). وقد تمكنت من فصل النمو الاقتصادي عن

الانبعاثات، إذ استمر ناتجها المحلي بالارتفاع بينما تراجعت كثافة الكربون بأكثر من 75% خلال ثلاثة عقود، لتصبح نموذجًا بارزًا للاقتصاد منخفض الكربون. في المقابل، أظهرت النرويج مستويات منخفضة نسبيًا منذ البداية، إذ سجلت 0.1714 كغ CO_2/دولار عام 1990 و0.1597 عام 1995 و0.1370 عام 2000، لتنخفض تدريجيًا إلى 0.1274 عام 2005 و0.1348 عام 2010 و0.1235 عام 2015 و0.1099 عام 2020 ثم 0.1001 عام 2024. ويرجع هذا المستوى المنخفض إلى اعتمادها شبه الكامل على الطاقة الكهرومائية (≈95%)، ما جعل انبعاثاتها محدودة منذ التسعينيات (IEA, 2020: p. 56). ومع ذلك، واصلت تطوير سياسات النقل الكهربائي والاحتجاز الكربوني لتقليل الانبعاثات من القطاعات غير الكهربائية.وتُظهر المقارنة بين الدول الثلاث أن المسارات مختلفة في المنطلق لكنها متقاربة في النتيجة. فالتجربة الألمانية تمثل نموذج الإصلاح الصناعي والتحول الواسع نحو الطاقات المتجددة، بينما جسدت الدنمارك نموذج الدمج المبكر بين السياسات البيئية والاقتصادية عبر الرياح والابتكار التقني، في حين تعكس النرويج حالة الاستقرار الهيكلي بفضل بنيتها الطاقية النظيفة. وتؤكد هذه التجارب أن التحول نحو الاقتصاد منخفض الكربون نتاج تفاعل معقد بين التكنولوجيا والسياسات والسوق، ويتأثر بالأزمات الدولية مثل جائحة كوفيد-19 وأزمة الطاقة الأوروبية التي أعادت ترتيب أولويات أمن الطاقة وسرّعت تبني بدائل متجددة أكثر استدامة (IEA, 2023: p. 88).

و. مؤشر النمو الاخضر : (Green Growth Index – GGI)يُعتبر مؤشر النمو الأخضر (Green Growth Index) من أهم الأدوات التحليلية التي تقيس مدى قدرة الاقتصاد على تحقيق التوسع الاقتصادي بالتوازي مع الاستدامة البيئية والعدالة الاجتماعية. يقوم المؤشر على أربعة أبعاد رئيسة: الكفاءة في استخدام الموارد، والتحول البيئي، ورأس المال الطبيعي، والفرص الاجتماعية والاقتصادية (GGGI, 2024: p.11). ويُظهر تتبع قيم المؤشر للدول الثلاث المختارة (ألمانيا، الدنمارك، النرويج) خلال فترة الدراسة تبايناً دالاً في مستوى التقدم باتجاه النمو الأخضر، بما يعكس اختلاف الهياكل الاقتصادية والسياسات البيئية والحوكمية في كل منها.تشير البيانات الجدول (1) إلى أن ألمانيا، التي سجلت عام 2020 قيمة مرتفعة نسبياً بلغت 72.57 (المرتبة الرابعة عالميًا) ثم 70.04 عام 2024 (المرتبة السابعة)، حافظت على موقعها ضمن الاقتصادات الأكثر تقدماً في مجال التحول الأخضر، رغم تراجع طفيف في الترتيب العالمي. يعكس هذا الأداء مزيجاً من السياسات الصناعية والبيئية التي تبنتها الدولة منذ إطلاق إستراتيجية Energiewende، والتي هدفت إلى إعادة تشكيل النظام الطاقي عبر زيادة مساهمة الطاقات المتجددة وخفض الاعتماد على الفحم والطاقة النووية. كما استفادت ألمانيا من منظومة حوكمة قوية تتيح التنسيق بين أهداف النمو الاقتصادي والسياسات المناخية، إلا أن ارتفاع تكاليف الطاقة والتحديات المرتبطة بأمن الإمدادات بعد عام 2022 أثرت نسبياً على وتيرة التقدم. ومن منظور دراستك، فإن الحالة الألمانية تُظهر أن النمو الأخضر لا يتحقق فقط عبر خفض الانبعاثات، بل من خلال إعادة توجيه الاستثمارات نحو التكنولوجيا النظيفة والابتكار الطاقي، مما يجعلها نموذجاً متقدماً في التوفيق بين الكفاءة الاقتصادية والاستدامة البيئية. أما الدنمارك فقد سجلت أداءً لافتاً عام 2020 بقيمة 78.32 (المرتبة الثانية عالميًا)، وبلغت 75.32 عام 2024 (المرتبة الأولى)، ما يجعلها صاحبة أفضل أداء بين الدول الثلاث. يعكس هذا التفوق رسوخ النموذج الدنماركي في الدمج المؤسسي بين السياسات الاقتصادية والبيئية منذ الثمانينيات، وتبنّيها المبكر لمفهوم الاقتصاد الدائري والطاقة المتجددة، خصوصاً طاقة الرياح التي تشكل ركيزة رئيسة في مزيجها الطاقي. كما ساهمت شراكة القطاعين العام والخاص في تسريع الابتكار الأخضر وتحقيق كفاءة عالية في استخدام الموارد. ويكشف هذا المستوى من الأداء أن التحول الطاقي في الدنمارك لم يكن مجرد مشروع بيئي، بل استراتيجية تنموية متكاملة جعلت من النمو الأخضر محركاً للإنتاجية والقدرة التنافسية. في المقابل، تُظهر النرويج، التي سجلت 76.97 (المرتبة العشرون عالميًا) عام 2020 و62.00 (المرتبة الثانية والعشرون) عام 2024، مساراً مغايراً نسبياً يعكس طبيعة اقتصاد يعتمد جزئياً على الموارد الهيدروكربونية رغم وفرة الطاقة الكهرومائية النظيفة. فرغم موقعها المتقدم في مؤشرات الكفاءة الطاقوية والانبعاثات المنخفضة، إلا أن اعتمادها المستمر على صادرات النفط والغاز يشكل قيداً هيكلياً على التحول الكامل نحو الاقتصاد الأخضر. ومع ذلك، استثمرت النرويج في سياسات نقل مستدام تعتمد على السيارات الكهربائية، وفي برامج احتجاز الكربون وتخزينه (CCS)، ما يعكس محاولة لإحداث توازن بين مصالحها الاقتصادية والالتزامات المناخية. وتوضح هذه الحالة أن النمو الأخضر في الاقتصادات الريعية المتقدمة يتطلب إعادة هيكلة تدريجية لعوائد الطاقة باتجاه القطاعات ذات القيمة المضافة والمعرفة الكثيفة. بصورة عامة، يُظهر تحليل مؤشر النمو الأخضر أن الدول الأوروبية

الثلاث تمثل مسارات مختلفة في تحقيق التحول نحو الاقتصاد الأخضر؛ فالمسار الألماني يعكس نموذجاً قائماً على التحول الصناعي المدفوع بالابتكار والتكنولوجيا النظيفة، بينما يتجسد المسار الدنماركي في الدمج المنهجي بين السياسات الاقتصادية والبيئية ضمن إطار تنموي متكامل، في حين تُبرز التجربة النرويجية جهداً متواصلاً لتحقيق توازن بين الاعتماد على الموارد الهيدروكربونية وتوسيع قاعدة الأنشطة المستدامة.

المطلب الثالث: مسار تحوّل مزيج الطاقة بين المصادر الطاقة غير المتجددة والطاقة المتجددة في ألمانيا، الدنمارك، والنرويج للمدة (1990–2024)

يُظهر الجدولين (2) و (3) مسار التحول الطاقي في ألمانيا، الدنمارك، والنرويج خلال المدة 1990–2024 ديناميات اقتصادية وهيكلية مختلفة، تعكس تباين النماذج التنموية والسياسات البيئية في كل اقتصاد. شهد **الاقتصاد الألماني** تحولًا جذريًا في مزيج الطاقة عبر ثلاثة عقود، إذ انخفض إجمالي الاستهلاك الطاقي من 4180.3 تيراواط/ساعة عام 1990 إلى 3157.2 تيراواط/ساعة عام 2024، بانخفاض يقارب 24.5%. ويُعد هذا التراجع انعكاسًا مباشرًا للسياسات الحكومية التي جعلت من كفاءة الطاقة محورًا أساسيًا ضمن مشروع Energiewende للتحول الأخضر. بدأ الانخفاض في الاعتماد على الفحم تدريجيًا منذ التسعينات، ثم تسارع بشكل واضح بعد عام 2010 نتيجة تنفيذ خطة التخلص من الفحم (Coal Phase-out Plan)، بالتوازي مع التزام برلين باتفاق باريس للمناخ وهدف الحياد الكربوني بحلول 2045. فقد تراجع استهلاك النفط الخام من 1537.3 إلى 1176.5 تيراواط/ساعة، بمعدل انخفاض سنوي يقارب 3.6%، وهو الأكبر بين الدول الثلاث. هذا التراجع عكس تفكيك البنية الفحمية القديمة وإحلال مصادر نظيفة محلها، ما انعكس إيجابًا على كثافة الكربون وكفاءة الطاقة.أما الطاقة النووية، فقد تراجعت من 423.6 تيراواط/ساعة عام 1990 إلى صفر فعليًا في 2024 بعد إيقاف آخر ثلاثة مفاعلات (Isar 2, Emsland, Neckarwestheim 2)، في أعقاب كارثة فوكوشيما 2011 التي غيّرت نهج السياسة الطاقية الألمانية جذريًا. وقد أدى إغلاق المحطات النووية إلى اعتماد مؤقت على الغاز الطبيعي، الذي ارتفع من 637 إلى 786 تيراواط/ساعة (بمعدل نمو سنوي يقارب 0.6%) بوصفه "وقودًا انتقاليًا" أقل كثافة كربونية. غير أنّ أزمة الغاز الروسي عام 2022 غيّرت المعادلة، فدفعت الحكومة نحو تعزيز مشاريع الغاز المسال (LNG) والاستثمار في الهيدروجين الأخضر والرياح البحرية لتقليل الهشاشة الطاقية. في المقابل، سجّلت الطاقات المتجددة نموًا مذهلًا، إذ قفز إجمالي استهلاكها من 52.8 إلى 756.7 تيراواط/ساعة، أي أكثر من 14 ضعفًا خلال ثلاثة عقود. ارتفع استهلاك الطاقة الشمسية من 0.002 إلى 180.8 تيراواط/ساعة بمعدل نمو يقارب 37% سنويًا، وهو من أعلى المعدلات عالميًا، مدفوعًا بتطبيق قانون الطاقة المتجددة (EEG 2000) والدعم السعري السخي (Feed-in Tariffs). كما تضاعفت الطاقة الريحية أكثر من 1700 مرة لتصل إلى 338.7 تيراواط/ساعة، بدعم من سياسات الإنتاج اللامركزي والابتكار الصناعي. وبفضل هذه التحولات، ارتفع نصيب الطاقة المتجددة إلى نحو 24% من إجمالي المزيج الطاقي، في حين انخفضت الانبعاثات لكل وحدة من الناتج المحلي الإجمالي بشكل كبير. ونتيجة لذلك، بلغ مؤشر النمو الأخضر (GGI) في ألمانيا 72.57 نقطة عام 2022، مما يضعها ضمن الاقتصادات الصناعية الرائدة في التحول الأخضر القائم على الكفاءة الهيكلية والابتكار التقني.**تمثل الدنمارك** حالة رائدة في الفصل بين النمو الاقتصادي والانبعاثات، حيث نجحت في بناء نموذج متكامل للنمو الأخضر يعتمد على التحول المبكر والتدريجي في مزيج الطاقة. فقد انخفض استهلاك الطاقة غير المتجددة من 199.4 إلى 112.0 تيراواط/ساعة، بمعدل تراجع سنوي يقارب 1.7%، وهو من أعلى معدلات الخفض في أوروبا. وسجّل استهلاك الفحم تراجعًا استثنائيًا من 70.8 إلى 5.3 تيراواط/ساعة، بمعدل 7.3% سنويًا، نتيجة تطبيق ضرائب الكربون ودمج نظم التدفئة المركزية في شبكات الطاقة المتجددة. وبحلول 2024، أصبح الفحم يشكل أقل من 3% من المزيج الطاقي بعد أن كان يتجاوز الثلث في التسعينات، مما يعكس نجاح نموذج التحول الطاقي المبكر. في المقابل، تراجعت مساهمة الغاز الطبيعي من 21.0 إلى 16.3 تيراواط/ساعة (–0.7% سنويًا)، بسبب انخفاض الإنتاج في بحر الشمال وتوسع إنتاج الكهرباء من الرياح والكتلة الحيوية. كما شهدت الطاقات المتجددة طفرة نوعية، إذ ارتفعت من 2.43 إلى 80.19 تيراواط/ساعة، أي أكثر من 33 ضعفًا. وتُعد طاقة الرياح العمود الفقري لهذا التحول، إذ ارتفعت من 1.7 إلى 50.1 تيراواط/ساعة (+10.3% سنويًا)، بفضل التطور التكنولوجي الذي قادته شركات دنماركية مثل Vestas. كما توسّع استخدام الوقود الحيوي والطاقة الحرارية الجوفية ليصبحا مكونات داعمة للنظام الكهربائي النظيف.هذا التحول لم يؤدِ إلى ارتفاع استهلاك الطاقة الكلي الذي بقي شبه مستقر (تراجع

طفيف بنحو 3.7%) بفضل تحسين الكفاءة في المباني والصناعة. وبذلك أصبحت الطاقة المتجددة تمثل أكثر من 40% من إجمالي المزيج الطاقي، ما جعل الدنمارك في مقدمة الاقتصادات منخفضة الكربون، وساهم في تحقيق مؤشر نمو أخضر بلغ 70.04 نقطة عام 2022، متقدمًا على معظم دول الاتحاد الأوروبي من حيث الأداء البيئي وكفاءة الطاقة. تُمثل **النرويج** نموذجًا مختلفًا، يقوم على الاستقرار الهيكلي في ظل اقتصاد يعتمد تاريخيًا على الموارد المتجددة. فالنظام الكهرومائي الذي شكّل أكثر من 95% من الكهرباء المنتجة منذ منتصف القرن العشرين حافظ على استقراره، إذ بلغ 336.5 تيراواط/ساعة عام 1990 و340.4 عام 2024، بنمو سنوي هامشي (0.034%). ورغم محدودية التغيير في البنية الطاقية، شهدت طاقة الرياح نموًا لافتًا منذ عام 2000 لتصل إلى 35.4 تيراواط/ساعة (+28% سنويًا)، وهو توسع هدفه تزويد المناطق النائية بالطاقة وتعزيز تنويع مصادر الكهرباء. أما الطاقة الشمسية، فرغم نموها السريع بنسبة 22.5% سنويًا، فإنها بقيت رمزية الحجم مقارنة بالمصادر المائية. أماالطاقة غير المتجددة، فقد شهدت استقرارًا نسبيًا مع ارتفاع طفيف بمعدل 0.32% سنويًا نتيجة توسع الصناعات النفطية والغازية الموجهة للتصدير أكثر من السوق المحلي. إذ ارتفع استهلاك النفط الخام بمعدل 0.15% سنويًا، فيما زاد الغاز الطبيعي بنحو 1.3%، خصوصًا في الصناعات الثقيلة والبتروكيماوية. في المقابل، بقي الفحم هامشيًا جدًا، مقتصرًا على الاستخدام الصناعي المحدود في التعدين والمعادن. ورغم هذا النمو الطفيف في إجمالي الاستهلاك (من 471.2 إلى 532.5 تيراواط/ساعة، أي نحو 13% خلال الفترة)، فإن النرويج ما تزال من أقل اقتصادات العالم انبعاثًا للكربون بفضل اعتمادها شبه الكامل على الطاقة المتجددة. وقد انعكس هذا الأداء المستقر بيئيًا واقتصاديًا في بلوغها 78.32 نقطة في مؤشر النمو الأخضر، لتحتل المرتبة الثانية عالميًا في الأداء الطاقي المستدام. وعند المقارنة بين هذه الدول الثلاث، يتضح أن التحول في مزيج الطاقة لم يكن مجرد استبدال مصادر، بل إعادة تشكيل للهيكل الإنتاجي وللعلاقة بين الطاقة والنمو الاقتصادي. ألمانيا سلكت مسار "التحول البنيوي الصناعي" عبر تقليص الاعتماد على الفحم والنووي وتعويضهما بالرياح والشمس؛ الدنمارك تبنت "التحول التكنولوجي المؤسسي" القائم على الريادة في طاقة الرياح والتكامل مع الوقود الحيوي والنفايات؛ أما النرويج فتمثل "النموذج الطبيعي المتجدد" الذي يجمع بين الاستقرار الاقتصادي والاعتماد شبه الكامل على الموارد المائية. هذه المسارات الثلاثة، رغم اختلافها، تلتقي عند هدف واحد هو تحقيق النمو الأخضر القائم على كفاءة استهلاك الطاقة وتقليل الانبعاثات دون المساس بالنشاط الاقتصادي، وهو ما تؤكده مؤشرات النمو الأخضر التي تراوحت بين 70.0 و78.3 نقطة، مع تصدر النرويج تليها ألمانيا ثم الدنمارك، ما يثبت أن تحقيق النمو الأخضر المستدام يتطلب مزيجًا متوازنًا من الابتكار التقني، الكفاءة المؤسسية، والخيارات الطاقية النظيفة القائمة على استغلال المزايا النسبية لكل اقتصاد.

جدول (2): مزيج الطاقة غير المتجددة في ألمانيا، الدنمارك، والنرويج للمدة (1990–2024) (تيراواط/ساعة)

السنة	الدولة	الاستهلاك النفط الخام	الاستهلاك الغازالطبيعي	الاستهلاك الفحم	الاستهلاك الطاقة النووية	إجمالي الطاقة غير المتجددة
1990	المانيا	1537.2932	636.8833	1529.6908	423.6111	4127.478
1995	المانيا	1631.1296	777.3736	1053.9395	428.0555	3890.498
2000	المانيا	1570.4348	829.24585	992.0958	471.1278	3862.904
2005	المانيا	1460.0576	902.8105	945.3872	438.2769	3746.532
2010	المانيا	1357.6443	880.71246	896.1722	366.0313	3500.56
2015	المانيا	1296.5422	769.5361	915.0558	232.3704	3213.504
2020	المانيا	1223.2377	871.075	514.8666	158.9689	2768.148
2024	المانيا	1176.5474	785.7096	438.23526	0	2400.492
معدل النمو السنوي المركب		**–0.82%**	**0.61%**	**–3.61%**	**–100%**	**–1.85%**
1990	الدانمارك	107.52145	21.048075	70.83368	0	199.4032
1995	الدانمارك	125.37967	37.144203	75.46009	0	237.984
2000	الدانمارك	122.53468	51.01935	46.18273	0	219.7368

204.4748	0	43.05212	52.00558	109.41706	الدانمارك	2005
199.2401	0	45.47204	51.839787	101.9283	الدانمارك	2010
143.259	0	21.238245	33.092525	88.9282	الدانمارك	2015
123.4781	0	9.309925	23.153778	91.01435	الدانمارك	2020
112.0169	0	5.313106	16.35255	90.35128	الدانمارك	2024
−1.71%	**0**	**−7.34%**	**−0.70%**	**−0.51%**	**معدل النمو السنوي المركب**	
134.0184	0	9.437522	22.31797	102.262924	النرويج	1990
149.057	0	11.232914	30.85439	106.96972	النرويج	1995
162.8986	0	11.5451565	42.36809	108.98533	النرويج	2000
167.3961	0	8.399317	43.941376	115.055374	النرويج	2005
168.9814	0	8.861111	40.34256	119.77769	النرويج	2010
170.2505	0	8.862735	45.09382	116.293976	النرويج	2015
154.6632	0	8.976604	43.569992	102.11662	النرويج	2020
150.1119	0	8.811765	33.681225	107.61894	النرويج	2024
+0.32%	**0**	**−0.20%**	**+1.28%**	**+0.15%**	**معدل النمو السنوي المركب**	

المصدر: من اعداد الباحث استنادا الى البيانات:

Our World in Data (no date) "Primary energy consumption by source", Our World in Data [Online]. Available at: https://ourworldindata.org/grapher/primary-sub-energy-source

جدول (3) مسار تحوّل مزيج الطاقة بين المصادر الطاقة المتجددة في ألمانيا، الدنمارك، والنرويج للمدة (1990–2024)(تيراواط/ساعة)

السنة	الدولة	الاستهلاك الطاقة الشمسية	الاستهلاك الطاقة الرياح	الاستهلاك الطاقةالمائية	الاستهلاك الوقود الحيوي	مصادر الطاقة المتجددة الأخرى	إجمالي الطاقةالمتجددة
1990	المانيا	0.002778	0.19722222	48.15278	0	4.484375	52.83715
1995	المانيا	0.013889	4.1666665	59.87777	0.359481	6.403125	70.82093
2000	المانيا	0.02000	26.388887	69.16666	2.569264	10.625	108.7498
2005	المانيا	3.516129	74.661285	52.79032	19.93984	45.96063	196.8682
2010	المانيا	31.15365	100.38281	54.5651	31.54222	106.1002	323.744
2015	المانيا	96.39494	204.11139	48.04303	30.77817	157.6859	537.0135
2020	المانيا	122.2123	326.1778	45.23951	39.27101	159.8791	692.7798
2024	المانيا	180.8146	338.68048	54.17805	30.57637	152.4717	756.7212
معدل النمو السنوي المركب		**+36.98%**	**+30.4%**	**+0.36%**	**21.4%**	**10.8%**	**8.7%**
1990	الدانمارك	0	1.6952777	0.077778	0	0.65625	2.429305
1995	الدانمارك	0	3.2702775	0.084167	0	2.021376	5.375821
2000	الدانمارك	0.003333	11.781111	0.083889	0	4.061267	15.9296
2005	الدانمارك	0.005809	17.77957	0.060484	0	9.919529	27.76539
2010	الدانمارك	0.016045	20.337036	0.053754	0.321704	14.35603	35.08457
2015	الدانمارك	1.529775	35.77998	0.045647	2.570518	13.12696	53.05288
2020	الدانمارك	2.914894	40.321514	0.042133	3.760217	18.49705	65.53581
2024	الدانمارك	9.50212	50.13907	0.047595	2.402575	18.10361	80.19497
معدل النمو السنوي المركب		**41.2%**	**10.3%**	**−1.3%**	**+8.6%**	**9.1%**	**+9.3%**
1990	النرويج	0	0	336.5139	0	0.665625	337.1795

338.5142	0.903125	0	337.5833	0.027777776	0	النرويج	1995
394.8397	0.8	0	393.9388	0.086111106	0.014722	النرويج	2000
367.1514	1.040625	0	364.7527	1.3413979	0.016667	النرويج	2005
308.7649	1.090625	1.356299	304.0078	2.2890625	0.021094	النرويج	2010
356.4439	0.790625	1.652288	347.6	6.367089	0.033924	النرويج	2015
377.9769	0.749406	4.465845	347.96	24.471605	0.330078	النرويج	2020
382.4261	0.411238	4.811325	340.4292	35.424118	1.350171	النرويج	2024
0.37%	**−1.3%**	**+10.5%**	**+0.034%**	**28.0%**	**+22.5%**	**معدل النمو السنوي المركب**	

المصدر: من اعداد الباحث استنادا الى البيانات :

Our World in Data (no date) "Primary energy consumption by source", Our World in Data [Online]. Available at: https://ourworldindata.org/grapher/primary-sub-energy-source

المطلب الرابع: الأثر الاقتصادي لاستهلاك الطاقة على النمو الأخضر في ألمانيا، الدنمارك، والنرويج (1990–2024)

الجدول (4) يقدّم مسارًا تفصيليًا لاستهلاك الطاقة وأثره على النمو الأخضر في ألمانيا والدنمارك والنرويج خلال المدة (1990–2024)، ويعكس بوضوح التحول من اقتصاد كثيف الاستهلاك للطاقة إلى اقتصاد أكثر كفاءة وأقرب إلى مبادئ الاستدامة. **ففي ألمانيا** ارتفع الناتج المحلي الإجمالي الحقيقي بمعدل نمو سنوي مركب قدره 1.31%، بينما حقق الناتج الأخضر معدلًا أعلى بلغ 2.12%، وهو ما يشير إلى أن السياسات البيئية والتكنولوجية أسهمت في تقليص التكاليف البيئية على الاقتصاد. إذ انخفضت الفجوة البيئية من 25.5% عام 1990 إلى 2.38% عام 2024، كما تراجع الفرق المطلق بين الناتج التقليدي والأخضر من 603 مليار دولار إلى أقل من 88 مليار دولار. وهذا التراجع مهم لأنه يعكس انخفاض العبء البيئي على الاقتصاد. كما أن نصيب الفرد من الطاقة انخفض من 189 غيغا جول/فرد إلى 136 غيغا جول/فرد، وهو مؤشر على تحسن الكفاءة الطاقية في الاستخدام النهائي، بالتوازي مع ارتفاع نسبة المتجددة من 1.26% إلى نحو 24%. فترة كوفيد-19 عام 2020 تمثل نقطة تحوّل، إذ انخفضت الفجوة إلى 2.7% فقط نتيجة تراجع النشاط الصناعي، في حين عززت أزمة الحرب الأوكرانية لاحقًا من سرعة التحول نحو مصادر الطاقة المتجددة وتقليل الاعتماد على الغاز الروسي، ما حافظ على الاتجاه النزولي للفجوة البيئية.أما في **الدنمارك** فقد كان المسار أكثر وضوحًا، حيث سجل الناتج الأخضر معدل نمو سنوي مركب قدره 2.57% مقابل 1.52% للتقليدي، وتراجعت الفجوة البيئية من 32% إلى أقل من 4% فقط، في حين تقلص الفرق المطلق من 65 مليار دولار إلى 13 مليار دولار. أهمية ذلك تكمن في أن الفجوة المنخفضة تعني أن الناتج الأخضر أصبح قريبًا جدًا من الناتج التقليدي، ما يعكس مستوى عالٍ من الكفاءة البيئية. كما انخفض نصيب الفرد من الطاقة من 141 إلى 124 غيغا جول/فرد، مع ارتفاع نسبة المتجددة من 1.2% إلى 41.7%، وهو ما يدل على نجاح سياسات التحول الطاقي القائمة على طاقة الرياح. وفي عام 2020 تحديدًا هبطت الفجوة البيئية إلى 3.4% والفرق المطلق إلى 11 مليار دولار، ما يوضح أن أثر الجائحة سرّع من تقارب الناتج الأخضر مع التقليدي، إلا أن استمرار هذا التقارب بعد الأزمة يعكس عمق الإصلاحات الهيكلية.**وفي النرويج**، ورغم أنها دولة نفطية، إلا أن الناتج الأخضر نما بمعدل 2.87% متجاوزًا الناتج التقليدي (2.20%). الفجوة البيئية انخفضت من 23% إلى 4%، بينما تراجع الفرق المطلق من 49 إلى 18 مليار دولار، أي أن الأثر البيئي بقي واضحًا ولكنه في مسار نزولي. تبرز أهمية نصيب الفرد من الطاقة هنا، إذ ظل الأعلى بين الدول الثلاث (400 غيغا جول/فرد في 1990 إلى 344 في 2024)، وهو ما يعكس اعتماد الاقتصاد على الطاقة الهيدروكربونية. ومع ذلك، فإن هيمنة الطاقة الكهرومائية في مزيج الكهرباء (نحو 70%) ساعدت على إبقاء الفجوة البيئية منخفضة نسبيًا رغم استمرار مستويات الاستهلاك المرتفعة. خلال جائحة 2020 انخفضت الفجوة إلى 3.2% والفرق المطلق إلى 13 مليار دولار نتيجة تراجع الطلب العالمي، لكن بعد 2022 أدى ارتفاع صادرات النفط والغاز بسبب الحرب الأوكرانية إلى توقف الانخفاض الحاد، مع بقاء الاتجاه العام نحو تضييق الفجوة قائمًا.يتضح من المقارنة أن الفجوة البيئية تُعد مؤشرًا نسبيًا مهمًا لأنها تكشف نسبة الخسائر البيئية من حجم الاقتصاد، بينما يبين الفرق المطلق القيمة الحقيقية لهذه الخسائر بالدولار، أما نصيب الفرد من الطاقة فيُعد مقياسًا مباشرًا للكفاءة الطاقية ويكشف أثر الاستهلاك على مستوى معيشة الفرد والضغط البيئي معًا. مجتمعةً، هذه المؤشرات تتيح فهمًا متكاملًا لمسار النمو الأخضر: فألمانيا والدنمارك نجحتا في تضييق

Journal of Business Economics for Applied Research, Vol. (8), No. (2): 465-484
Doi: https://dx.doi.org/10.37940/BEJAR.2026.8.2.24

الفجوة وتقليل الفرق المطلق بفضل التحول الطاقي وارتفاع مساهمة المتجددة، بينما ظلت النرويج محافظة على فجوة منخفضة أساسًا بفضل طبيعة مزيجها الكهرومائي، وإن كان الفرق المطلق عندها ما زال مرتفعًا نسبيًا بسبب هيمنة النفط والغاز. وبذلك يصبح انخفاض الفجوة البيئية وتراجع الفرق المطلق ونزول نصيب الفرد من الطاقة علامات أساسية على انتقال الاقتصادات إلى مسار نمو أكثر استدامة، حتى وإن كانت وتيرة هذا الانتقال متفاوتة بين الدول الثلاث.

جدول (4) المسار الاقتصادي لاستهلاك الطاقة وأثره على النمو الأخضر في ألمانيا، الدنمارك، والنرويج للمدة (1990–2024)

الدولة	السنة	الناتج المحلي الإجمالي الحقيقي (مليار دولار بأسعار ثابتة)	الناتج المحلي الإجمالي الأخضر(مليار دولار)	عدد السكان (مليون نسمة)	إجمالي استهلاك الطاقة (تيراواط/ساعة)	*نسبة الطاقة المتجددة من اجمالي الطاقة	*نصيب الفرد من الطاقة (غيغا جول/فرد)	*الفجوة البيئية	الفرق المطلق بين الناتج المحلي الإجمالي الحقيقي والأخضر(البعد الكمي)
1990	المانيا	2362.95	1759.8	79.43	4180.316	1.26	189.46	25.52	603.15
1995	المانيا	2612.95	2075.49	81.68	3961.319	1.787	174.59	20.56	537.46
2000	المانيا	2884.56	2384.84	82.21	3971.654	2.7	173.91	17.32	499.72
2005	المانيا	2969.46	2734.59	82.47	3943.4	4.99	172.138	7.9	234.87
2010	المانيا	3149.84	2974.76	81.78	3824.304	8.46	168.34	5.55	175.08
2015	المانيا	3423.57	3251.04	81.69	3750.518	14.31	165.28	5.03	172.53
2020	المانيا	3522.91	3426.41	83.16	3460.928	20.01	149.82	2.73	96.5
2024	المانيا	3683.56	3595.93	83.51	3157.213	23.96	136.103	2.37	87.63
معدل النمو السنوي المركب		**1.31**	**2.12**	0.15	**0.82**				
1990	الدانمارك	202.07	137.03	5.14	201.8325	1.203624	141.3613	32.18687	65.04
1995	الدانمارك	226.75	183.81	5.23	243.3598	2.209001	167.5134	18.93716	42.94
2000	الدانمارك	263.07	231.14	5.34	235.6664	6.759387	158.8762	12.13745	31.93
2005	الدانمارك	281.89	259.68	5.42	232.2402	11.95547	154.2555	7.87896	22.21
2010	الدانمارك	284.09	262.49	5.55	234.3247	14.97263	151.9944	7.603224	21.6
2015	الدانمارك	301.76	283.85	5.68	196.3119	27.0248	124.423	5.93518	17.91
2020	الدانمارك	326.18	315.04	5.83	189.0139	34.67249	116.7153	3.415292	11.14
2024	الدانمارك	337.92	324.49	5.57	192.2119	41.72217	124.2303	3.974313	13.43
معدل النمو السنوي المركب		**1.52**	**2.57**	**0.24**	**-0.14**				

*نسبة المتجددة= إجمالي استهلاك الطاقة\إجمالي الطاقة المتجددة ×100

*نصيب الفرد من الطاقة (غيغا جول فرد)=إجمالي استهلاك الطاقة (تيرواط/ساعة) ×10^6×3. 6^6 \ عدد السكان × 10^6 ، لأن TWh = 3.6×10^6 GJ.

*الفجوة البيئية (%)=(الناتج المحلي الإجمالي الحقيقي – الناتج المحلي الإجمالي الأخضر\الناتج المحلي الإجمالي الحقيقي)×100 , تمثل نسبة الفاقد الاقتصادي الناتج عن الأثر البيني (انبعاثات واستنزاف الموارد).او عرّف الفجوة البيئية على أنها الفرق بين الناتج المحلي الإجمالي التقليدي والناتج المحلي الأخضر كنسبة من الناتج التقليدي

48.92	23.09617	400.0737	71.55793	471.1979	4.24	162.89	211.81	النرويج	**1990**
42.64	16.75508	402.5817	69.42867	487.5712	4.36	211.85	254.49	النرويج	**1995**
32.38	10.62685	447.1843	70.79301	557.7382	4.49	272.32	304.7	النرويج	**2000**
31.22	9.184514	416.5305	68.68453	534.5475	4.62	308.7	339.92	النرويج	**2005**
28.33	7.958759	351.715	64.62947	477.7462	4.89	327.63	355.96	النرويج	**2010**
21.85	5.629122	365.3372	67.67566	526.6945	5.19	366.31	388.16	النرويج	**2015**
13.04	3.219674	356.4135	70.96291	532.6402	5.38	391.97	405.01	النرويج	**2020**
17.96	4.045592	344.1897	71.81198	532.538	5.57	425.98	443.94	النرويج	**2024**
				0.36	0.81	2.87	2.20	معدل النمو السنوي المركب	

المصدر : من اعداد الباحث استنادا الى البيانات:

1. جدول (2و3)

2. World Bank (no date) GDP (constant 2015 US$): Germany; Denmark; Norway [Online]. World Development Indicators. Available at: https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.KD?locations=DK-DE-NO

3. World Bank (no date) Population, total: Germany; Denmark; Norway [Online]. World Development Indicators. Available at: https://data.worldbank.org/indicator/SP.POP.TOTL?locations=DE-DK-NO

4. Ma, M. (2024) The Application of Green GDP and Its Impact on Global Economy and Environment: Analysis of GGDP based on SEEA model. Tianjin University. Available at: https://arxiv.org/pdf/2409.02642

5. Tomić, D. and Dobran Černjul, A. (2025) 'Green GDP vs. Green Growth Index: Comparative Insights for Sustainable Development Metrics', Proceedings of the 44th International Conference on Organizational Science Development. DOI: 10.18690/um.fov.2.2025.71. Available at: https://press.um.si/index.php/ump/catalog/view/962/1428/4788

المطلب الخامس: العلاقة بين الطاقة والحوكمة في تحقيق النمو الأخضر بألمانيا، الدنمارك، والنرويج (1990–2024)

يُظهر مسار مؤشرات الحوكمة في ألمانيا والدنمارك والنرويج خلال المدة 1990–2024 أنّ العلاقة بين جودة الأطر المؤسسية والتحول الطاقي اتخذت أنماطًا متمايزة، حيث لعبت القوانين والإصلاحات السياسية دورًا محوريًا في توجيه الاستثمارات ورسم مسارات النمو الأخضر. وفي الجدول رقم (5) يتضح بانه في ألمانيا، ورغم أن جودة التشريعات ارتفعت تدريجيًا منذ مطلع الألفية لتصل من 1.50 عام 2000 إلى 1.76 عام 2015 قبل أن تستقر عند 1.52 تقريبًا في 2020–2024، إلا أن فعالية الحكومة تراجعت من 1.51 عام 2010 إلى 1.29 عام 2024، فيما انخفض الاستقرار السياسي من ذروته عند 0.94 عام 2005 ليستقر عند 0.61 في نهاية الفترة (World Bank, 2023: p.112). هذا التذبذب ترافق مع إصلاحات قانونية مفصلية، كان أبرزها قانون EEG عام 2000 الذي مثّل نقطة انطلاق للاستثمار الكثيف في الطاقات النظيفة عبر آلية التعرفة التحفيزية (BMWi, 2019: p.54)، أعقبه إعلان Energiewende عام 2011 عقب كارثة *فوكوشيما والذي حسم مسار الخروج من الطاقة النووية وربط التحول بالشبكات الذكية (IEA, 2015, p.77). غير أن تعديل القانون عام 2017 نحو نظام المزادات حدّ من الدعم الثابت وفرض قيودًا مالية أكثر صرامة (Agora Energiewende, 2018: p.36)، وصولًا إلى إغلاق آخر مفاعل نووي عام 2022 الذي استكمل فلسفة الانتقال الكامل نحو مصادر نظيفة (Fraunhofer ISE, 2023: p.23).هذه التحولات انعكست على الاستثمارات التي ارتفعت من 0.06 مليار دولار عام 1990 إلى 0.10 في 1995، ثم إلى 3.2 عام 2000 و15.5 عام 2005، قبل أن تنخفض إلى 13.6 عام 2010، ثم تقفز إلى 34.6 عام 2015 وتنخفض قليلًا إلى 28.9 عام 2020 وتستقر عند 31.4 عام 2024. كما توسعت حصة المتجدّدات من 1.26% عام 1990 إلى 23.97% عام 2024 بمعدل نمو سنوي مركب قدره 30.4%، فيما انخفض الاستهلاك الأولي للطاقة بمعدل –0.82% سنويًا، بينما نما الناتج المحلي الأخضر بمعدل 2.12% مقابل

* كارثة فوكوشيما 2011، الناتجة عن زلزال وتسونامي ضرب اليابان وأدّت إلى انهيار محطة نووية، مثّلت نقطة التحول التي دفعت ألمانيا إلى تسريع الخروج من الطاقة النووية وتعزيز الاستثمار في الشبكات الذكية والطاقات المتجددة.

1.31% فقط للناتج الحقيقي، ما يؤكد أن التحدي المؤسسي الأساسي في ألمانيا لم يكن في مستوى جودة التشريعات بحد ذاته بل في استقرارها وقابليتها للتنبؤ.أما في الدنمارك، فقد اتسم المسار المؤسسي بالاتساق والاستمرارية، حيث أطلقت خطة الطاقة الوطنية الأولى عام 1996 أهدافًا أولية للطاقة المتجددة (Danish Energy Agency, 1997: p.19)، تبعتها اتفاقية الطاقة الوطنية عام 2008 التي ركزت على الرياح البحرية (IEA, 2009, p.65)، ثم اتفاقيات موسعة للطاقة عام 2012 التي جسدت التزامًا مناخيًا طويل الأمد، وصولًا إلى قانون المناخ لعام 2020 الذي ألزم بخفض الانبعاثات بنسبة 70% بحلول 2030 وربط التخطيط المناخي بالسياسات المالية (DEA, 2021: p.88).هذه الإصلاحات رافقها نمو تدريجي في مؤشرات الحوكمة، حيث ارتفعت جودة التشريعات بمعدل نمو سنوي مركب قدره 0.26%، فيما حافظت مكافحة الفساد على مستويات مرتفعة تجاوزت 2.4 في 2024. وقد انعكس هذا الاتساق على ارتفاع حصة المتجدّدات من 1.20% إلى 41.72% بمعدل نمو سنوي مركب 17.2%، وتراجع الاستهلاك الأولي للطاقة قليلًا (−0.14% سنويًا)، بينما نما الناتج المحلي الأخضر بمعدل 2.57% مقارنة بـ 1.52% للناتج الحقيقي. أما الاستثمارات، فصعدت من 0.04 مليار دولار عام 1990 إلى 0.05 في 1995، ثم إلى 0.9 عام 2000 و3.7 عام 2005 و4.6 عام 2010 و4.8 عام 2015، ثم 5.1 في 2020 و5.4 في 2024. هذه التجربة تعكس ما يمكن تسميته بمسار التسريع المستدام، حيث أتاح الاستقرار المؤسسي خفض تكاليف رأس المال وتعزيز التنسيق بين مستويات الحكم وربط قطاعات الكهرباء والحرارة والنقل ضمن إطار متكامل للتحول الطاقي (Mathiesen et al., 2020: p.45). أما في النرويج، فقد بدأت من خط أساس مرتفع جدًا إذ بلغت حصة المتجدّدات 71.56% عام 1990، ما حدّ من فرص الزيادة الكمية الكبيرة. غير أن الإصلاحات القانونية شكلت أدوات لتعزيز المرونة السوقية وتوسيع الابتكار، بدءًا من ضريبة الكربون عام 1990 كأول أداة عالمية لتسعير الانبعاثات (Nordic Council, 1995: p.33)، مرورًا بـ تحرير سوق الكهرباء عام 1991 (Norwegian Ministry of Petroleum and Energy, 1992: p.27)، ثم نظام الشهادات الخضراء عام 2009 (IEA, 2011: p.101)، وصولًا إلى الاستراتيجية الوطنية للهيدروجين عام 2020 التي ركزت على إزالة الكربون من الصناعة والنقل (NVE, 2021: p.14). وعلى الرغم من أن الحصة الكلية للمتجدّدات ارتفعت بشكل هامشي إلى 71.81% عام 2024، فإن الناتج الأخضر قفز من 162.9 مليار دولار إلى 425.98 مليار دولار بمعدل نمو سنوي مركب 2.87%، فيما ارتفع الناتج الحقيقي من 211.81 إلى 443.94 مليار دولار بمعدل 2.20%. وبالتوازي، نمت الاستثمارات في الطاقة المتجددة من 0.03 مليار دولار عام 1990 إلى 0.1 في 1995، ثم إلى 0.3 عام 2000 و2.6 عام 2005 و3.8 عام 2010 و3.9 عام 2015 و4.1 عام 2020 و4.3 عام 2024. أما الاستهلاك الأولي للطاقة فظل مستقرًا تقريبًا من 471.20 تيراواط/ساعة إلى 532.54 بمعدل نمو سنوي مركب طفيف 0.36%.ويعكس ذلك أن التحدي المؤسسي في النرويج لم يكن مرتبطًا بمستوى الحوكمة ذاته—الذي ظل مرتفعًا ومستقرًا—بل في إدارة التعارضات البيئية والاجتماعية المرتبطة بمشروعات الرياح البحرية وكهربة المنصات النفطية، ما جعل التجربة النرويجية أقرب إلى مسار التحسين الهامشي (Lund et al., 2021: p.59).

جدول (5)مسار مؤشرات الحوكمة المرتبطة بالتحول الطاقي في المانيا، الدنمارك، والنرويج للمدة (1990–2024)

الدولة	السنة	المساءلة	الاستقرار السياسي	فعالية الحكومة	جودة التشريعات	سيادة القانون	مكافحة الفساد	الناتج المحلي الإجمالي الحقيقي (مليار $)	الناتج المحلي الأخضر (مليار $)	الاستثمارات في الطاقة المتجددة (مليار $)
1990	المانيا	غير متاح	غير متاح	غير متاح	غير متاح	غير متاح	غير متاح	.952362	1759.8	0.06
1995	المانيا	غير متاح	غير متاح	غير متاح	غير متاح	غير متاح	غير متاح	2612.95	75.4902	0.1
2000	المانيا	1.414	0.577	1.357	1.501	1.637	1.875	2884.56	.842384	3.2
2005	المانيا	1.334	0.943	1.514	1.488	1.734	1.745	2969.46	34.5972	15.5
2010	المانيا	1.406	0.927	1.510	1.544	1.642	1.797	3149.84	4.76297	13.6
2015	المانيا	1.442	0.577	1.523	1.756	1.591	1.898	3423.57	51.0423	34.6

28.9	.413426	3522.91	1.818376	1.533154	1.522295	1.289807	0.614759	1.409542	الماديا	2020
31.4	.933595	3683.56	1.818376	1.533154	1.522295	1.289807	0.614759	1.409542	الماديا	2024
30.4%	2.12	1.31	-0.12938	-0.27419	0.056278	-0.21262	0.258251	-0.01184	معدل النمو السنوي المركب	
0.04	37.031	202.07	غير متاح	غير متاح	غير متاح	غير متاح	غير متاح	غير متاح	الدائما رك	1990
0.05	183.81	226.75	غير متاح	غير متاح	غير متاح	غير متاح	غير متاح	غير متاح	الدائما رك	1995
0.9	1.1423	263.07	2.358765	1.920511	1.73272	2.087979	1.203816	1.601452	الدائما رك	2000
3.7	259.68	281.89	2.376409	1.954056	1.873647	2.241359	1.065387	1.538306	الدائما رك	2005
4.6	.49262	284.09	2.399264	1.902294	1.800287	1.943687	0.959233	1.666271	الدائما رك	2010
4.8	.85832	301.76	2.156479	1.773297	1.628394	1.810584	0.931789	1.573502	الدائما رك	2015
5.1	.04531	326.18	2.402744	1.900308	1.843127	1.990661	0.865009	1.585866	الدائما رك	2020
5.4	.49432	337.92	2.402744	1.900308	1.843127	1.990661	0.865009	1.585866	الدائما رك	2024
17.2%	2.57	1.52	0.077002	-0.04405	0.257713	-0.19878	1.36769-	-0.04074	معدل النمو السنوي المركب	
0.03	162.89	211.81	غير متاح	غير متاح	غير متاح	غير متاح	غير متاح	غير متاح	النرويج	1990
0.1	.85211	254.49	غير متاح	غير متاح	غير متاح	غير متاح	غير متاح	غير متاح	النرويج	1995
0.3	.32722	304.7	2.010967	1.881104	1.307569	1.834121	1.204556	1.529246	النرويج	2000
2.6	.70308	339.92	1.891876	1.957787	1.372901	1.832814	1.285434	1.548039	النرويج	2005
3.8	327.63	355.96	2.286828	1.970937	1.657411	1.877188	1.352092	1.737975	النرويج	2010
3.9	366.31	388.16	2.050117	1.922188	1.784188	1.845162	1.120636	1.708544	النرويج	2015
4.1	391.97	405.01	2.06776	1.762172	1.51614	1.942181	0.860958	1.774868	النرويج	2020
4.3	425.98	443.94	2.06776	1.762172	1.51614	1.942181	0.860958	1.774868	النرويج	2024
%917.	2.87	2.20	0.116112	-0.27176	0.618562	0.23881	-1.38951	0.622561	معدل النمو السنوي المركب	

المصدر: من اعداد الباحث استنادا الى البيانات:

1. BloombergNEF (2025) Energy transition investment trends. Bloomberg Finance. Available at: https://about.bnef.com/insights/finance/energy-transition-investment-trends/
2. REN21 (2025) Renewables 2025 global status report: Global overview. REN21. Available at: https://www.ren21.net/gsr-2025/global_overview/
3. World Bank (2024) Worldwide Governance Indicators (WGI) – DataBank. World Bank. Available at: https://databank.worldbank.org/source/worldwide-governance-indicators
4. World Bank (2025) WGI methodology and indicator definitions (Voice & Accountability; Political Stability and Absence of Violence/Terrorism; Government Effectiveness; Regulatory Quality; Rule of Law; Control of Corruption). World Bank. Available at: https://info.worldbank.org/governance/wgi/

الاستنتاجات:

1. التمايز في نقطة الانطلاق ومسار التحسن: انطلقت النرويج من مستوى مُشبع في مؤشر الطاقة المستدامة (≈100 منذ 2020) بفعل الهيمنة الكهرومائية، بينما حققت الدنمارك أسرع تحسّنٍ تراكمي (2015–2024)، وجاء تقدّم ألمانيا تدريجيًا ومتأثرًا بثقل البنية الصناعية وبقرار الخروج من الطاقة النووية
2. التحوّل الطاقي ليس تقنيًا فقط: ارتفاع الدرجات في ETI و SEforALLترافق مع حوكمة فعّالة وإصلاحات سوقية وآليات تسعير للكربون؛ التقنية وحدها لم تكن كافية دون اتساق مؤسسي وتمويلٍ مستدام.
3. هبوط كثافة الكربون مسارٌ عام: تراجعت كثافة الكربون في البلدان الثلاثة، الأقوى في الدنمارك (انخفاض إلى ≈0.062 كغ/دولار في 2024)، يليه هبوط كبير في ألمانيا، ومستوى منخفض ومستقر في النرويج بفضل كهرباء شبه خالية من الكربون.
4. تأثير الصدمات الخارجية: جائحة كوفيد-19 وأزمة الغاز الروسي أعادت ترتيب الأولويات (أمن الإمدادات وسرعة التحوّل)، وكانت دفعةً لتعجيل الاستثمار في الرياح والشمس والغاز المسال والهيدروجين، مع بقاء الهدف المناخي.
5. اختلاف نماذج المزيج الطاقي
   - ألمانيا: «تحولٌ بنيوي صناعي» (خفض الفحم والنووي، صعود الرياح والشمس)
   - الدنمارك: «تحولٌ تقني-مؤسسي مبكر» (رياح + كفاءة + تسعير كربون).
   - النرويج: «نموذج متجدد طبيعي» (كهرومائية مهيمنة مع تحديات صادرات أحفورية).
6. اتساق الحوكمة يحسم السرعة: الاستقرار التشريعي طويل الأمد في الدنمارك ارتبط بأسرع تراجعٍ في الكثافات وارتفاعٍ في مؤشرات الانتقال، بينما واجهت ألمانيا تذبذبًا مؤقتًا بفعل قرارات متعاقبة (نووي/فحم/غاز) قبل إعادة الضبط
7. الناتج الأخضر يتقارب مع التقليدي: اتساع مساهمة المتجدّدات وتحسّن الكفاءة خفّض الفجوة البيئية والفرق المطلق بين الناتج التقليدي والأخضر في الدول الثلاث، مع تقارب لافت في الدنمارك، وتقدّم مطّرد في ألمانيا، ومستوى منخفض تاريخيًا في النرويج.
8. الابتكار وسلاسل القيمة: تحسّن ترتيب EPI و GGIاقترن ببروز صناعاتٍ خضراء (توربينات، كهربة نقل، هيدروجين، كفاءة مبانٍ) خلقت قيمةً مضافةً وتنافسيةً تصديرية، خصوصًا في الدنمارك وألمانيا.
9. **الفجوة بين الدول «ضيّقة ولكن مؤثرة»: فروقٌ بعدة نقاط في ETI و GGIانعكست على مواقع دولية متباينة، بسبب عناصر السعر، أمن الإمداد، والقدرة المؤسسية على استيعاب الصدمات.**

التوصيات:

(أ) توصيات عامة قابلة للتطبيق عبر الدول:

1. تثبيت مسار حوكمة الانتقال: اعتماد أُطرٍ تشريعية طويلة الأمد (قوانين مناخ/طاقة) تربط أهداف 2050/2030 بموازنات سنوية وخطط قطاعية ملزمة، لتقليل عدم اليقين الاستثماري.
2. تسعير الكربون الذكي: توسيع أدوات التسعير (ضرائب/اتجار بالانبعاثات) مع تعويضاتٍ عادلة للأسر والصناعة الحسّاسة لتفادي آثار توزيعية سلبية.
3. أولوية الكفاءة: برامج إلزاميةً وعميقة لكفاءة الطاقة في المباني والصناعة (تجديد حراري، معايير محركات، إدارة طاقة رقمية) لأنها أسرع طريقٍ لخفض كثافتي الطاقة والكربون.
4. تكامل الشبكات والطلب المرن: تسريع الربط البيني، إدارة مرونة الطلب، وتخزين الكهرباء (بطاريات/ضخ مائي/هيدروجين) لاستيعاب حصة أعلى من الرياح والشمس دون كلف نظامية مرتفعة.
5. تنويع سلاسل التوريد الخضراء: تحفيز التصنيع المحلي لمكوّنات الطاقات المتجددة وكفاءة الطاقة، وربط البحث والتطوير بالتصنيع والتصدير (نهج الدنمارك/ألمانيا).

6. كهربة النقل والصناعة: كهربة الحصص الممكنة سريعًا (السيارات، حافلات المدن، تسخين المباني)، مع توجيه الهيدروجين الأخضر والوقود الاصطناعي للقطاعات صعبة الخفض (الصلب، الكيماويات، الشحن الجوي/البحري).
7. تحسين أمن الإمدادات: مزيجٌ متوازن بين المتجدّدات والغاز الانتقالي قصير الأجل والبنية التحتية للهيدروجين والربط الإقليمي لتخفيف أثر الصدمات الجيوسياسية.
8. سياسات العدالة والقدرة على الدفع: أدوات استهدافٍ سعري وكوبونات كفاءة للأسر منخفضة الدخل وللمؤسسات الصغيرة، لضمان قبول اجتماعي لاستمرار التحول.
9. حوكمة محلية متعدّدة المستويات: تمكين البلديات والأقاليم (مناطق الرياح/الكتلة الحيوية/التدفئة المركزية) بميزانيات وأدوار تنفيذية واضحة.
10. تحسين البيانات والتتبّع: سدّ فجوات السلاسل الزمنية لبعض المؤشرات، وتوحيد منهجيات الحساب (خصوصًا الناتج الأخضر والفجوة البيئية) لتمكين المقارنات السنوية الدقيقة.

(ب) توصيات خاصة بكل دولة(ألمانيا):

1. تسريع الربط الشبكي وتراخيص مشاريع الرياح/الشمس لإبقاء مسار ETI صاعدًا رغم الخروج من النووي.
2. تسريع كهربة الصناعة الخفيفة والمتوسطة، وربط دعم الهيدروجين بعقود فروقات للصلب/الكيماويات.
3. حماية القدرة التنافسية عبر كفاءةٍ أعمق وبرامج تخفيض كلفة رأس المال لمشاريع التخزين.

الدنمارك:

1. المضي في الرياح البحرية + PtX (الهيدروجين/الأمونيا الخضراء) لتوسيع مزاياها التصديرية.
2. تقليص ما تبقّى من الوقود الأحفوري في الإمداد الكلي (حرارة المناطق/النقل الثقيل) لاستكمال هبوط كثافة الكربون.
3. استدامة العدالة السعرية للأسر مع ارتفاع استثمارات الشبكات والتخزين.

النرويج:

1. تسريع تنويع الاقتصاد من الإيرادات الهيدروكربونية نحو سلاسل قيمة كهربائية نظيفة (بطاريات، معادن خضراء، CCS الصناعي).
2. إدارة التعارضات الاجتماعية/البيئية لمشاريع الرياح البحرية عبر حوكمة تشاركية وتعويضات محلية.
3. رفع كفاءة القطاعات كثيفة الطاقة لتسريع هبوط كثافة الطاقة دون المساس بالميزة الكهرومائية.

المصادر:

1. حياة، سمية، وخديجة، منى. (2020). العلاقة بين انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون واستهلاك الطاقة والنمو الاقتصادي في ألمانيا باستخدام نموذج الانحدار الذاتي للفجوات الزمنية خلال الفترة 1970–2017. مجلة الاقتصاد والتنمية المستدامة، المجلد الثامن، العدد الرابع، الصفحات 77–94.
2. Block, S., Emerson, J. W., Esty, D. C., de Sherbinin, A., & Wendling, Z. A. (2024). Environmental Performance Index 2024. Yale Center for Environmental Law & Policy, Columbia University https://epi.yale.edu/downloads/epi2024report.pdf
3. Eurostat. (2025). Share of energy from renewable sources in gross final energy consumption (Indicator nrg_ind_ren). Luxembourg: European Commission. https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/explore/all/envir?lang=en&subtheme=nrg.nrg_quant.nrg_quanta.nrg_ind_share&display=list
4. Global Green Growth Institute (GGGI). (2024). 2024 Annual Report. Seoul: GGGI. https://gggi.org/report/2024-annual-report
5. Green Growth Index 2020. (2021). Measuring performance in achieving SDG targets (Technical Report No. 16). Global Green Growth Institute. https://greengrowthindex.gggi.org/wp-content/uploads/2021/01/2020-Green-Growth-Index.pdf

6. International Atomic Energy Agency (IAEA). (2005). Energy indicators for sustainable development: Guidelines and methodologies. Vienna: IAEA. https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1222_web.pdf

7. Jamet, S. (2012). Towards green growth in Denmark: Improving energy and climate policies. OECD Economics Department Working Papers No. 974. Paris: OECD Publishing. https://doi.org/10.1787/5k92pghq4247-en

8. Kulionis, V. (2013). Renewable energy consumption, CO_2 emissions and economic growth in Denmark: A VAR analysis (1972–2012). Journal of Cleaner Production, 45(3), 145–156.

9. Oyebanji, A., Olayemi, A., & Bolarinwa, O. (2023). Consumption-based CO_2 emissions in Denmark: The role of financial stability and energy productivity. Energy Economics, 121, 106–114. https://doi.org/10.1016/j.eneco.2023.106114

10. Singh, P., & Kumar, R. (2024). Renewable energy consumption and economic growth nexus in Germany: Evidence from ARDL model. Energy Policy, 183, 113–129. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2023.113129

11. Statistics Norway (SSB). (2024). StatBank Table 11564: Andelen fornybar energi, 2004–2023. Oslo: Statistics Norway. https://www.ssb.no/en/statbank/table/11564/

12. Tenorio, G., & Baggethun, E. (2024). Is Norway on a green growth path? Evidence from decoupling of GDP and environmental footprint. Ecological Economics, 217, 108–124. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2024.108124

13. World Bank. (n.d.). Energy intensity level of primary energy (MJ per $2017 PPP GDP) (Indicator EG.EGY.PRIM.PP.KD). https://data.worldbank.org/indicator/EG.EGY.PRIM.PP.KD?locations=AE-SA-QA-IQ-DE-DK-NO