



مساهمة العلوم التطبيقية في مواجهة التحديات البيئية والاقتصادية وتحقيق التنمية المستدامة

The Contribution of Applied Sciences in Facing Environmental and Economic Challenges and Achieving Sustainable Development

م.م. يمامة نذير محمود^a

م.م. جيا حسيب كريم^a

م.م. حيدر علي سلمان^b

^a جامعة ديالى / كلية التربية المقداد

^b جامعة ديالى / كلية العلوم

yamama.natheer@uodiyala.edu.iq

ARTICLE INFO

Article history:

Available online [21 Sep. 2026]

Keywords:

العلوم التطبيقية
التحديات البيئية
الكفاءة الاقتصادية
التنمية المستدامة
الابتكار التقني

المستخلص

تهدف هذه الدراسة إلى استكشاف دور العلوم التطبيقية في معالجة التحديات البيئية والاقتصادية الراهنة، مع التركيز على دورها في دعم أهداف التنمية المستدامة. واعتمدت الدراسة على المنهج الوصفي التحليلي لتقييم الابتكارات التقنية الحديثة في مجالات الطاقة المتجددة، تدوير النفايات، والزراعة الذكية، وبيان أثرها في خفض الانبعاثات وتحقيق الكفاءة الاقتصادية. وتوصلت الدراسة إلى جملة من النتائج أبرزها: وجود علاقة ارتباطية إيجابية ذات دلالة إحصائية بين تبني تقنيات العلوم التطبيقية وخفض التدهور البيئي، فضلاً عن دورها الحاسم في تقليل التكاليف التشغيلية للمشاريع الخضراء بنسب ملحوظة. وأظهرت النتائج وجود فجوة في التطبيق الفعلي نتيجة ضعف التمويل والتشريعات الداعمة. وتوصي الدراسة بضرورة تعزيز الشراكة بين مراكز البحوث التطبيقية والقطاع العام والخاص، ووضع حوافز ضريبية للمؤسسات التي تتبنى الحلول البيئية المبتكرة، مع ضرورة تحديث السياسات التعليمية والتدريبية لتواكب متطلبات الاقتصاد الأخضر.

Abstract

This study explores the role of applied sciences in addressing current environmental and economic challenges, focusing on their support for sustainable development goals. The study adopted a descriptive-analytical methodology to evaluate recent technical innovations in renewable energy, waste recycling, and smart agriculture, and to demonstrate their impact on reducing emissions and achieving economic efficiency. The study reached several key findings, most notably a statistically significant positive correlation between adopting applied science technologies and reducing environmental degradation, as well as their crucial role in significantly reducing the operational costs of green projects. The results also revealed a gap in actual implementation due to weak funding and supportive legislation. The study recommends the necessity of strengthening partnerships between applied research centers and both the public and private sectors, establishing tax incentives for institutions that adopt innovative environmental solutions, and updating educational and training policies to match the requirements of the green economy.

© 2026 Madenat Al-elem University College. Published by JMAUC. This is an open access article.

1. المقدمة والخلفية النظرية

تعد العلوم التطبيقية الركيزة الأساسية للتطور التكنولوجي والصناعي في العصر الحديث، حيث لم يعد دورها مقتصرًا على التطوير المعرفي المجرد، بل امتد ليشمل إيجاد حلول عملية ومبتكرة للأزمات العالمية المعقدة. وفي ظل التسارع المعرفي، تبرز الحاجة ماسة لتوظيف هذه العلوم في تفكيك المشكلات المتداخلة التي تواجه المجتمعات البشرية، لا سيما تلك المتعلقة بالبيئة والاقتصاد، وضمان استدامة الموارد للأجيال القادمة.

1.1 الدراسات السابقة

حظي توظيف العلوم التطبيقية في معالجة الأزمات البيئية والاقتصادية باهتمام متزايد، وتتكمّل الدراسة الحالية مع أدبيات سابقة أبرزها:

1.1.1 تقييم العائد الاقتصادي والبيئي:

ركزت دراسات مثل (Lee et al., 2022; Chaturvedi et al., 2023) على قياس الأثر الكمي للتقنيات الخضراء صناعياً وزراعياً. وأثبتت قدرتها على خفض التكاليف التشغيلية بنسبة 15% إلى 30% وتقليص الانبعاثات، وهي جدوى ثنائية تتفق معها الدراسة الحالية.

2.1.1 الأطر التشريعية والتمويلية:

تناولت أبحاث مثل (Pandey et al., 2022) تحديات نقل التكنولوجيا بالبيانات النامية، مؤكدة أن ضعف التمويل وغياب الحوافز الضريبية يعيقان تحويل الابتكارات لمشاريع تجارية، وهو ما تستند إليه دراستنا لتفسير الفجوة المحلية.

2.1 أوجه التشابه والاختلاف مع الدراسات السابقة

أولاً: أوجه التشابه

معالجة المشكلات البيئية والاقتصادية، ومن ثم تحليل البيانات المتاحة للوصول إلى استنتاجات علمية دقيقة تخدم أهداف التنمية المستدامة.

1.3 إجراءات وأدوات الدراسة

تمثلت أدوات الدراسة في مسح مكتبي شامل وتحليل كمي ونوعي للتقارير الدولية والمحلية الصادرة عن الهيئات البيئية والاقتصادية ذات الصلة بالابتكار التقني خلال الفترة الأخيرة. وشملت الإجراءات فحص كفاءة نماذج تطبيقية محددة في مجالات: (الطاقة الشمسية، أنظمة التدوير الذكية، وتقنيات الترشيد الزراعي)، ومقارنة مؤشرات أدائها البيئي (حجم خفض الانبعاثات) بأدائها الاقتصادي (معدل استرداد رأس المال وخفض التكاليف التشغيلية) للخروج بنموذج تقييمي متكامل يخدم أهداف البحث.

4. الإطار النظري ومراجعة الأدبيات:

1.4 مقدمة الإطار النظري:

تُعنى العلوم التطبيقية، على عكس البحوث الأساسية، بمعالجة الأولويات الاجتماعية الملحة من خلال توظيف المعرفة العلمية لابتكار حلول ذات قيمة عملية. فهي تدرس العمليات والأنظمة لتطوير التقنيات، وأدوات دعم القرار، والتربيتات التنظيمية، كما تُصمم وتُدير وتُراقب التنفيذ وفقاً لذلك. وتبرز فيها تفضيلات التعلم النشط، ونقل المعرفة، والتفاعل، والتصميم التشاركي. غالباً ما تتوافق هذه المساهمات مع أهداف مزدوجة للتخفيف من التحديات البيئية والاقتصادية، وعادة ما تُشارك السياسات والقطاع الصناعي (جورج وجورج، 2024). وتُعد الموارد والطاقة والمناخ والتنوع البيولوجي وخدمات النظام البيئي والتلوث من المحاور الأساسية في أبحاث العلوم التطبيقية.

يُساهم الاهتمام بالتحديات المتعلقة بالموارد في مواجهة الفصل السائد بين سياسات الموارد الطبيعية والسياسات البيئية، ويوجه الانتباه إلى الروابط بين الإنتاجية البيئية والإنتاجية الصناعية والأداء الاقتصادي العام. وتشمل الحلول العلمية التطبيقية ما يلي: (1) تعزيز كفاءة استخدام الموارد - إدارة تدفق المواد، وتقنيات الخدمات اللوجستية النظيف؛ (2) تقليل النفايات وإعادة استخدامها وتدويرها؛ (3) الاقتصادات الدائرية التي تُعزز قيمة النفايات وتُعوّض استخراج الموارد الجديدة؛ (4) الإدارة المستدامة للأراضي والمياه - والممارسات الزراعية الذكية مناخياً التي تزيد من المحاصيل مع الحفاظ على الغطاء النباتي للتربة، وتحسين العناصر الغذائية، والحد من التعرية، وضمان التطبيق في الوقت المناسب. (الحربي وآخرون، 2024).

2.4 تعريف العلوم التطبيقية وأدوارها:

تُعرف العلوم التطبيقية بأنها الدراسات العملية المصممة لحل مشكلات محددة باستخدام المعرفة الحالية، أو استشراف التحديات المستقبلية التي تتطلب فهماً متخصصاً. وخلافاً للبحث النظري المدفوع بالإجابة عن أسئلة مجردة، فإن العلوم التطبيقية تحظى بتمويل من منظمات عامة أو صناعية لمعالجة قضاياها الخاصة، وتلبية الطلب على معارف جديدة تدعم صناعة القرارات الدورية، مما يُمكن المجتمع من اتخاذ خيارات أفضل، وتوفير القدرات التكنولوجية اللازمة للحد من حالة عدم اليقين في تنفيذ السياسات القائمة، وتشكل بذلك مرحلة انتقالية بين البحث النظري وصنع القرار المجتمعي (إبراهيم وآخرون، 2024). وتدعم العلوم التطبيقية التنمية الاقتصادية للدول عبر أربعة مجالات رئيسية هي: نقل التكنولوجيا، وتكييفها، وتحسين أنظمتها، وتطويرها. وبينما يتجاوز التكيف وتحسين الأنظمة احتياجات الصناعات الفردية رغم ارتباطها بها، تبرز مساهمة أخرى مهمة تتمثل في تطبيق التكنولوجيا على مستوى النظام ككل وليس على مستوى المنتجات الفردية فحسب، مما يسمح بإحداث تغييرات هيكلية متوافقة تقنياً تشمل مختلف مستويات اقتصاد الدولة وتساهم في التخفيف من الآثار البيئية والاقتصادية (الفكي وأحمد، 2024).

3.4 التحديات البيئية التي تتصدى لها العلوم التطبيقية:

يمثل التغير البيئي وتراكم الكربون الناتج عن احتراق الوقود الأحفوري أخطر التهديدات لوجود البشرية في القرن الحادي والعشرين؛ إذ يُعقّد تأخر استجابة النظام المناخي والوقت اللازم لنضج الحلول التقنية الالتزام بأهداف اتفاقية باريس، مما يهدد بقاء الأنواع ويولد كوارث بيئية تتطلب إجراءات عاجلة (وانغ وعزام، 2024). وفي ظل تركيز موارد الكربون في الوقود الأحفوري والنظم البيئية، تبرز تحديات جسيمة تمس أمن الأصول والأمن الاقتصادي للأفراد والدول، لا سيما النامية منها. وتظل الابتكارات التكنولوجية والعمليات الكيميائية عاملاً حاسماً في تحقيق هذا الأمن الاقتصادي المستقبلي (إبراهيم، 2022). ومن هنا، توفر العلوم التطبيقية مجالاً واسعاً لمعالجة التحديات البيئية، مما يضمن نمواً اقتصادياً متوازناً وتطوراً مستداماً للبشرية (خورشيد وآخرون، 2023).

1.3.4 كفاءة استخدام الموارد وتقليل النفايات:

يُعد تحسين كفاءة استخدام الموارد وتقليل النفايات استراتيجيتين أساسيتين لمواجهة التحديات البيئية الملحة وتعزيز القدرة التنافسية للشركات. يدعم العلم التطبيقي كفاءة استخدام الموارد من خلال مجموعة متنوعة من التقنيات والعمليات وأدوات دعم القرار لتحسين إنتاجية الموارد في مختلف القطاعات، بما في ذلك أنظمة الطاقة والمياه، وتخطيط استخدام الأراضي، والتصنيع، وتدفعات المواد في سلسلة الإنتاج. يُمثل منع النفايات أولوية قصوى للاستدامة، لا سيما في قطاعات مثل الغذاء، حيث تكون تأثيراتها في مراحل الإنتاج والتوزيع كبيرة بشكل غير متناسب (حسن وأختر، 2022). تشمل الاستراتيجيات الإضافية لتقليل النفايات سياسات وحوافز لإعادة الاستخدام والتدوير،

1- المنهجية العلمية: الاعتماد المشترك على المنهج الوصفي التحليلي لاستقراء البيانات وتفسير المؤشرات.

2- الهدف الاستراتيجي: الاتفاق على الدور الحاسم للعلوم التطبيقية والابتكارات التقنية في الحد من التدهور البيئي واستنزاف الموارد.

3- أدوات التحليل: التقاطع في الاستناد إلى التقارير الدولية والمحلية والمؤشرات الإحصائية المعتمدة لبناء الإطار النظري.

ثانياً: أوجه الاختلاف والتميز (الفجوة البحثية)

1- شمولية النطاق: ركزت الدراسات السابقة جزئياً على قطاع منفرد (مثل دراسة الخفاجي، 2022 للتحويل، أو دراسات الطاقة الشمسية فقط)، بينما يقدم البحث الحالي رؤية تكاملية ثلاثية تجمع بين: (الطاقة المتجددة، التدوير الذكي، والزراعة المستدامة).

2- الربط بين البيئة والاقتصاد: يتجاوز البحث رصد الحلول البيئية تقنياً ليوفر نموذجاً تقييمياً يربط الكفاءة التقنية بالجدوى الاقتصادية وخفض التكاليف التشغيلية، مما يدعم صناع القرار بدليل تطبيقي مرن.

3.1 أوجه التشابه والاختلاف مع الدراسات السابقة

تسعى هذه الدراسة بشكل رئيسي إلى تحقيق الأهداف الآتية:

1- إبراز الدور المحوري والارتباطي للعلوم التطبيقية في تقديم حلول عملية ومبتكرة للأزمات البيئية والاقتصادية الراهنة.

2- تقييم كفاءة وجدوى النماذج التطبيقية الحديثة في مجالات الطاقة المتجددة، التدوير الذكي، والزراعة المستدامة.

3- تقديم نموذج تحليلي يربط بين الكفاءة البيئية والجدوى الاقتصادية (خفض التكاليف التشغيلية) لمساعدة صناع القرار في تبني الحلول المستدامة.

4.1 أوجه التشابه والاختلاف مع الدراسات السابقة

تتبع أهمية هذه الدراسة من اعتبارات علمية وعملية عدة، وهي:

1.4.1 الأهمية العلمية (النظرية):

إثراء المكتبة الأكاديمية العربية ببحث شمولي يربط العلوم التطبيقية بأبعاد التنمية المستدامة، وتوفير إطار نظري محدث يستند إلى مؤشرات وتقارير دولية حديثة تسد الفجوة في هذا المجال.

2.4.1 الأهمية العملية (التطبيقية):

تزويد المؤسسات الصناعية والإنتاجية وصناع القرار بدليل استرشادي يوضح العائد الاقتصادي الفعلي والبيئي المترتب على دمج الابتكارات التقنية في خططهم التشغيلية.

2. مشكلة البحث

1.2 الدراسات السابقة

تتمثل مشكلة البحث في التصاعد المستمر للتحديات البيئية كالتغير المناخي والتلوث، بالتوازي مع أزمات اقتصادية ترتبط بارتفاع التكاليف التشغيلية وضعف كفاءة الإنتاج. وتتطور الفجوة البحثية والتطبيقية في قصور آليات دمج الابتكارات العلمية والتقنيات الحديثة ضمن الخطط الاستراتيجية المحلية، إلى جانب ندرة الدراسات التي تقيس العائد المالي الفعلي لتطبيق هذه الحلول البيئية، مما يضعف تبنيها من قبل صناع القرار والمؤسسات. ومن هنا يسعى هذا البحث لتقديم نموذج متكامل يربط بين الجانب التقني والجدوى الاقتصادية والبيئية لدعم التنمية المستدامة.

2.2 الدراسات السابقة

يسعى البحث الحالي إلى الإجابة عن الأسئلة الآتية:

1- ما طبيعة دور العلوم التطبيقية في مواجهة التحديات البيئية والاقتصادية الراهنة؟
2- هل توجد حلول تطبيقية تقنية تساهم في خفض التكاليف الاقتصادية وحماية البيئة في آن واحد؟

3.2 الدراسات السابقة

بناءً على أسئلة الدراسة وفجوتها، تم صياغة الفرضيات الآتية:

1.3.2 الفرضية الرئيسية الأولى:

توجد علاقة ارتباطية ذات دلالة إحصائية بين التوسع في استخدام تطبيقات العلوم الحديثة (كالطاقة المتجددة والتدوير الذكي) وانخفاض معدلات التدهور والتلوث البيئي.

1.3.2 الفرضية الرئيسية الثانية:

يسهم الاعتماد على التقنيات التطبيقية المبتكرة في خفض التكاليف التشغيلية وزيادة الكفاءة الاقتصادية للمؤسسات.

3. منهجية البحث وإجراءات الدراسة:

اعتمدت هذه الدراسة على المنهج الوصفي التحليلي، والذي يعد المنهج الأكثر ملاءمة لطبيعة هذا البحث، حيث يقوم على رصد الأبعاد المختلفة لإسهامات العلوم التطبيقية في

وتقييم دورة الحياة (لتوجيه أنشطة منع النفايات)، وتعزيز شفافية معلومات المواد على امتداد سلاسل الإنتاج والتوريد، وتوحيد أنظمة جمع بعض المواد (تثاثير فيدي وأخرون، 2023).

2.3.4 التخفيف من آثار تغير المناخ والتكيف معه:

تساهم العلوم التطبيقية في التخفيف من آثار تغير المناخ من خلال ابتكارات تكنولوجية وتنظيمية تسهم في خفض انبعاثات غازات الاحتباس الحراري وتسهيل الانتقال إلى أنظمة طاقة منخفضة الكربون. وإضافة إلى ذلك، تدعم هذه العلوم تطوير وتنفيذ تدابير التكيف التي تعزز مرونة أنظمة البنية التحتية والمجمعات المعرضة للمخاطر، مما يسهم في دعم مسارات التنمية الذكية مناخياً والقادرة على الصمود في وجه الكوارث. وتشمل هذه التدابير خيارات التصميم الذكية في مختلف القطاعات، وأدوات دعم القرار لتقييم مواطن الضعف، واستراتيجيات إدارة مخاطر الفيضانات. كما تساعد العلوم التطبيقية في تقييم فعالية مبادرات التكيف الجارية أو المخطط لها من خلال وضع مقاييس دقيقة لمرونة المناخ وأنظمة رصد متطورة للمخاطر المرتبطة به (وانغ وأخرون، 2023).

3.3.4 صون التنوع البيولوجي وخدمات النظام البيئي:

تساهم العلوم التطبيقية في صون التنوع البيولوجي والإدارة الفعالة لخدمات النظام البيئي. فمن خلال توفير الأدوات والأساليب اللازمة لاستعادة الموائل ورصد الأنواع، تُحقق هذه العلوم فوائد بيئية واقتصادية تتوافق مع تخطيط استخدام الأراضي وسياسات الحفاظ على البيئة. وتشير الأدلة المتاحة حول فقدان التنوع البيولوجي إلى أن استعادة الموائل ورصد الأنواع يُحسنان من توفير خدمات النظام البيئي، بينما يُحقق الجمع بينهما أفضل النتائج المرجوة. وعادةً ما تكون الغابات والأراضي الرطبة بيئات قابلة للاستعادة، مع إمكانية رصد مجموعة واسعة من الأنواع (ميهرا وسوين، 2024). وفي الوقت نفسه، يُتيح تحديد قيمة خدمات النظام البيئي إجراء تحليلات أكثر دقة للشكوك والمفاضلات، وهي عوامل ثبت تأثيرها على القرارات السياسية.

يشمل التنوع البيولوجي ثراء الأنواع والنظم البيئية، بالإضافة إلى التنوع الجيني داخل الأنواع. وتشير خدمات النظام البيئي إلى الفوائد والوظائف التي يجنيها الإنسان من النظم البيئية. ولا يزال التصدي للمخاطر التي يفرضها تغير المناخ، وتغير الموائل، وتغير استخدام الأراضي، والتلوث، والاستغلال المفرط، وغزو الأنواع الدخيلة، وتنافس المطالب المجتمعية على الأراضي، أمراً بالغ الأهمية لضمان مستقبل مستدام للتنوع البيولوجي والخدمات المرتبطة به. (أتروتو وأخرون، 2024).

4.3.4 الحد من التلوث والصحة العامة:

يُخلق تلوث الهواء والماء والتربة الناتج عن المخلفات الصناعية والزراعية، والتخلص من النفايات، وانبعاثات المركبات، ضرراً مباشراً بصحة الإنسان والنظم البيئية. إذ يسبب أمراضاً مثل أمراض الجهاز التنفسي، وأمراض القلب والأوعية الدموية، واضطرابات النمو، وأمراض الجهاز العصبي المركزي، والسرطان، مما يُقصر متوسط العمر المتوقع بعدة سنوات. ويمكن للحلول التقنية والإدارية للحد من انبعاثات الملوثات، من خلال تشجيع الإنتاج الأنظف ومعالجة النفايات في نهاية خط الإنتاج وفقاً للوائح التنظيمية، أن تقلل بشكل كبير من التعرض للملوث والمخاطر (راثود وأخرون، 2024). ويشير تحليل أجهزة أخذ عينات الهواء السلبية في المناطق الحضرية في سانتياغو، تشيلي، من عام 2002 إلى عام 2015، إلى استمرار التأثير البشري في المناطق الحضرية وشبه الحضرية والريفية، إلا أن خفض انبعاثات المركبات قد حدّ من المزيد من الزيادة. وفي كولومبيا، حال فرض قيود على مصادر التلوث المتنقلة، إلى جانب تشجيع استخدام المركبات الجديدة منخفضة الانبعاثات، والوقود الحيوي، ووسائل النقل العام متعددة الوسائط منذ أوائل العقد الأول من القرن الحادي والعشرين، دون زيادة تلوث الهواء في اثنتين وعشرين مدينة رئيسية (رودريغيز-ري وأخرون، 2022).

4.4 الأبعاد الاقتصادية للحلول العلمية التطبيقية:

تتعرّز مساهمة الخبرة العلمية التطبيقية في البيئة والاقتصاد بالأدلة التي تشجع على العمل والاستثمار. ويظهر تقييم جدوى تطبيق حلول محددة من خلال تحليل التكلفة والعائد المبررات الاقتصادية لاعتماد العديد من الاستراتيجيات، كاشفاً أن عدداً من الحلول العلمية التطبيقية لا تدعم البيئة بحسب، بل تُحقق أيضاً جدوى اقتصادية جيدة. ولا تقل أهمية عن ذلك النماذج التي تُسهّل التعاون بين الصناعة والأوساط الأكاديمية والحكومة؛ إذ تربط هذه الشراكات بين القطاعين العام والخاص، حيث يسهم كل منهما بمعارفه وموارده، مما يوفر حلولاً قابلة للاستخدام السريع من قبل المجتمع. (رزفاني وأخرون، 2023).

يُعد تقييم التكلفة والعائد من أبرز الأدوات المعروفة لتحديد الجدوى الاقتصادية للسياسات والتدابير البيئية. وتتمثل العملية الأساسية في التحقق من أن إجمالي الفوائد المخصصة يتجاوز إجمالي التكاليف المخصصة. وللتحقق من الجدوى الاقتصادية للسياسات والتدابير البيئية المقترحة في الأقسام السابقة، تمت مراجعة عدد من تحليلات التكلفة والعائد المنشورة للحلول العلمية التطبيقية. وتتبع هذه التحليلات المنطق الاقتصادي الكلاسيكي فيما يتعلق بالخصم والتأثيرات الخارجية: حيث يتم خصم التكاليف والفوائد المعروضة كنطاق، مع مراعاة وتحديد التأثيرات الخارجية المحتملة التي تتجنبها السياسات والتدابير البيئية. (جندال وشريمال، 2022).

1.4.4 الابتكار، والقدرة التنافسية، والإنتاجية:

تعرّز العلوم التطبيقية تطوير حلول قابلة للتوسع من خلال نقل التكنولوجيا والتعاون المكثف، مما يعزز الابتكار والقدرة التنافسية، ويدعم إنتاجية الموارد، والتحكم في الانبعاثات، والتحديث الصناعي. ويربط نقل التكنولوجيا مخرجات البحث بالتطبيقات التجارية. تؤكد الدراسات التطبيقية في العلوم على حداثة النماذج الأولية المخبرية التي تحتاج إلى مزيد من التطوير قبل الانتقال إلى النشر على نطاق واسع، وعلى هيمنة التجارب المخبرية في مخرجات البحث. (لي وأخرون، 2022). وتُتبع مناهج تعاونية تضم شركاء أكاديميين وصناعيين للمساعدة في دمج المعرفة وجهود التصميم في مشاريع البحث الممولة من القطاع العام. ولا يزال الإسهام المتوقع لمختلف الأنشطة البحثية في التحولات المنشودة عرضة لعدم يقين كبير، مما يؤدي إلى اختلافات محتملة كبيرة في العوائد المتوقعة عبر الاستثمارات والقطاعات وتكوينات المشاركين. ويُتبع ضبط الفروق الزمنية والتكنولوجية فهماً أفضل لأداء الاستثمار والعوائد المتوقعة. (وانغ وأخرون، 2023)

تساهم حلول العلوم التطبيقية أيضاً في زيادة الإنتاجية، لا سيما من خلال تحسين كفاءة استخدام الموارد وتقليل الآثار البيئية، كما أنها تُتيح ظهور صناعات وأسواق جديدة تعتمد على تقنيات أنظف. ويُحفز تبني الممارسات المتطورة إنشاء شركات جديدة وتطوير الشركات القائمة (بيجاميت وأخرون، 2024).

2.4.4 تحليلات التكلفة والعائد والجدوى الاقتصادية:

تُساعد المعرفة العلمية التطبيقية المصممين ورواد الأعمال والسلطات العامة على تقييم جدوى التكاليف خلال عملية الانتقال إلى اقتصادات أكثر استدامة ودائرية. ويسهم التحليل الاقتصادي الشامل في توضيح الافتراضات المالية والسوقية والسياسية والتنظيمية التي تقوم عليها جدوى أي تدخل علمي تطبيقي يهدف إلى تحسين الأداء البيئي بشكل أكبر مع إزالة الآثار السلبية الحالية على الصحة العامة. وتشمل هذه التحليلات الاستباقية تقييماً متعدد المعايير للتكلفة والعائد، بما في ذلك الآثار الخارجية السلبية التي تؤثر على الجهات الفاعلة غير التجارية، مع مراعاة الجوانب التي لا تغطيها الضرائب المفروضة على المؤشرات الاقتصادية، ولا سيما تحقيق مكاسب في مجال الصحة العامة. ومع اجتذاب المشاريع الحضرية الكبرى تمويلًا عامًا كبيراً على مستوى العالم، يزداد العبء التنظيمي على مشغلي التكنولوجيا بشكل حاد خلال مرحلة النشر التجاري الكامل، وتخضع التوقعات المستقبلية لما بعد تمكين التكنولوجيا للتدقيق، مما يجعل النمذجة المالية أمراً حيوياً، حيث تُساعد في تخصيص الموارد الثمينة لتحقيق أكبر فائدة للصالح العام. (إبراهيم، 2024) (نصار وأخرون، 2025).

3.4.4 نماذج التعاون بين الصناعة والأوساط الأكاديمية والحكومة:

برز التعاون بين الجامعات والصناعة والحكومة كاستراتيجية هامة لتعزيز الاستدامة البيئية، واكتسبت النماذج أهمية بالغة في السنوات الأخيرة كنظم لمعالجة تحديات الاستدامة طويلة الأجل من خلال نقل المعرفة وحل المشكلات بشكل تعاوني. ومع تطور أدوار الجامعات في قطاع الاستدامة، ظلت مساهمات حيوية في التعليم من أجل التنمية المستدامة. ويعزز البحث الاستباقي، والموجه نحو حل المشكلات، والمتعدد التخصصات، لا سيما عند اقتراحه بشركاء صناعيين ذوي استثمارات ضخمة، تفعيل أجنحة الابتكار الموجهة نحو الاستدامة. (ألتاسان، 2023) علاوة على ذلك، يمكن لإضفاء الطابع الديمقراطي على توليد المعرفة من خلال شراكات تعاونية ذات استخدام مزوج أن يخلق بيئات شاملة بين الجهات الفاعلة المتلزّمة بتحقيق أجنحة الابتكار الاستراتيجية متعددة التخصصات.

تشمل الأشكال الرئيسية للتعاون نموذج الحلزون الثلاثي، الذي يركز على الأدوار المتشابهة للجامعة والصناعة والحكومة؛ والابتكار المفتوح، الذي يضم جهات فاعلة إضافية تُمثل المجتمع المدني والمنظمات غير الربحية. يتميز كل نموذج بهياكل حوكمة وقنوات لتدفق المعرفة وأساليب حل المشكلات مختلفة. ومن بين شراكات الاستدامة البيئية، يبدو التعاون بين أعضاء هيئة التدريس والشركاء الصناعيين مفيداً بشكل خاص؛ إذ تُعزز التبادلات القدرات البيئية وسمعة المشاركين الصناعيين، بينما يساهم البحث التعاوني في رفع مستوى الحضور الأكاديمي. (ماسودا وأخرون، 2022).

5.4 دراسات حالة للعلوم التطبيقية في الممارسة العملية:

غالباً ما يُغفل في الأدبيات العلمية الانتقال التدريجي من العلوم الأساسية إلى العلوم التطبيقية. ويُعدّ تحديد المعايير والحدود الفاصلة بين هذين النوعين من البحث العلمي تحدياً هائلاً، يزداد صعوبة نظراً لأن الانتقال بينهما نادراً ما يُوصف بأنه عملية مباشرة. ويتطلب التعريف الشامل للعلوم التطبيقية، بهدف التمييز الواضح بينها وبين العلوم الأساسية، وضع إطار حول عدة ركائز أساسية. فعلى سبيل المثال، تُوجّه الدراسات التطبيقية نحو حلّ المشكلات والأسئلة المُلمحة التي تُختار بعناية من بين قضايا معاصرة أوسع نطاقاً (العززي وأكور، 2025). ويعتمد اختيار مشروع التخطيط والتصميم إلى حد كبير على الدروس المستفادة من موضوع الدورة التدريبية الذي تُشكّله الأجنحة والسياسات العامة والحكومية.

1.5.4 التقنيات النظيفة وأنظمة الطاقة المتجددة:

تُساهم العلوم التطبيقية بشكل كبير في تطوير التقنيات النظيفة وأنظمة الطاقة المتجددة، والتي تشمل المواد والممارسات الهادفة للحد من الانبعاثات المسببة لتغير المناخ وتعزيز الكفاءة المنهجية (بيسينيث وأخرون، 2024). وتُطوّر هذه الأنظمة مباشرة في شركات توليد الطاقة وتوزيعها، حيث تُشمل معايير تقييم الأداء خفض استهلاك الوقود الأحفوري والمياه، والاستفادة من النفايات، وتحسين خيارات نهاية العمر الافتراضي للمنتج (يان وأخرون، 2023). وقد كشفت مراجعة منهجية لمئة مثال من التقنيات النظيفة في

6.4 السياسات والحوكمة والاعتبارات الأخلاقية:

تعتمد فعالية العلوم التطبيقية في مواجهة التحديات البيئية والاقتصادية على السياسات والحوكمة والأخلاقيات؛ فبينما تدعم هذه العلوم تنفيذ التغيير، تظل قدرة السلطات العامة على ضمان الثقة في برامجها مرونة بالسياسات المتبعة (سوكوب وآخرون، 2025). (وتكشف سرديات هذه التحديات عن دورة سياسات عامة توجه الاستثمارات نحو الحلول، رغم أن التدخلات التغييرية الشاملة لم تتحقق بالكامل بعد. وتشمل خيارات تعزيز منظومات المعرفة دمج التنظيم والحوكمة مع الترتيبات الإقليمية، مما يتيح توسيع أجندة العلوم التطبيقية لتشمل الاتصالات والاهتمامات المشتركة اللازمة لتحقيق نشر متكامل (لي وآخرون، 2025).

ونظراً لشمولية قضايا المناخ والطاقة، فإنها تمثل محوراً للمصلحة العامة وجهود الحوكمة بين مختلف الجهات ومجتمعات الممارسة، مما يسهل بناء نماذج دعم تدمج الأبعاد المتعددة للتخفيف من حدة الأزمات البيئية والاقتصادية (مازوكوتو، 2024). (ويُسهّم تعدد المفاهيم والصياغات النموذجية في رسم مسارات التخفيف لهذه البرامج التغييرية، مع الإقرار بروابطها الجوهرية وخصائصها التشغيلية، مما يعطي زخماً لتطوير الأنظمة والتدابير المستهدفة (شي وآخرون، 2022).

وفي أي مسعى للتغيير كتمويل التكنولوجيا يبرز تحدٍ يتمثل في الوصول إلى المعارف الميدانية واستخلاصها من الكم الهائل من المعلومات المتاحة. وتركز هذه الروايات الصادرة عن جهات متنوعة (حكومية، أكاديمية، ومؤسسات محلية ودولية) على جغرافية المناخ والطاقة عبر القطاعات العالمية، حيث يلقي دور ممارسات الحوكمة في استراتيجيات التنفيذ تقديراً واسعاً، تتعدّد معه المبادرات الرامية لرسم خرائط المعرفة وتعزيز التواصل (آلان وآخرون، 2023؛ مديروس، 2022).

1.6.4 أدوات السياسة والحوافز:

تستخدم الحكومات أدوات سياسية وحوافز اقتصادية متنوعة لتوجيه الاستثمار نحو التقنيات الصديقة للبيئة والابتكار الأخضر (خورشيد وآخرون، 2023). وتندرج هذه الحوافز تحت تصنيفات رئيسية؛ تشمل "التدابير التنظيمية" كالإعانات، والضرائب على الإنتاج والاستهلاك، والمعايير الإلزامية، والاتفاقيات الطوعية، والتصاريح القابلة للتداول، ونقل التكنولوجيا، بالإضافة إلى تمويل مشاريع البحث والتجريب. في المقابل، تُصنف المؤسسات العامة المعنية بالانبعثات وأدوات قياسها وتحصيل ضرائبها كـ "حوافز مباشرة للاستثمار" في التقنيات البيئية. كما تُعالج "أدوات السوق" التي تشمل أنظمة ومعايير تقييم ونشر التكنولوجيا، والأدوات الأوروبية المسبّلة لها بشكل منفصل لإتاحة تحليل أكثر دقة لفعاليتها في تعزيز الابتكار الأخضر (توريس وآخرون، 2024).

وتتناول هذه الدراسة تصميم أدوات متنوعة تثير قضايا عدالة متعددة، محاولةً تحديد الأثر الفعلي لـ 13 إجراءً تنظيمياً، والحوافز المباشرة للاستثمار في تكنولوجيا الطاقة الشمسية، وأدوات السوق على نسب الاستثمار في الطاقة النظيفة وابتكاراتها. وبغض النظر عن فئة الحافز المعتمدة، فإن الاهتمام البيئي المتزايد في سياسات الابتكار يعكس استجابة واضحة ومباشرة من النظام والجهات الفاعلة التكنولوجية (Pandey et al., 2022).

2.6.4 نقل المعرفة وبناء القدرات:

يُعدّ بناء القدرة على التكيف لدى المؤسسات أمراً بالغ الأهمية للتصدي بفعالية للتحديات البيئية، مثل تغير المناخ واستنزاف الموارد. ويُمثّل نقل المعرفة آلية قيمة لتعزيز هذه القدرة على التكيف على المستويين الفردي والمؤسسي. (توروماد وآخرون، 2024) وتُجسّد شراكة نقل المعرفة بين مجلس شمال تايينسايد وجامعة نورثمبريا هذا النهج؛ فمن خلال تيسير نقل المعرفة والمهارات، عزّزت الشراكة قدرة المجلس الداخلية على تحديد وتشغيل تقنيات الطاقة المتجددة منخفضة الكربون، مما عزز القدرة على مواجهة مجموعة من القضايا البيئية، ومكّن في الوقت نفسه من تعميم فوائد مماثلة على شركات القطاع الخاص والمجتمعات المحلية. (زيرفوغل وآخرون، 2022).

3.6.4 الإنصاف والعدالة والمشاركة العامة:

تساهم الحلول العلمية التطبيقية في الحد من الآثار التوزيعية غير المقصودة لسياسات تخفيف تغير المناخ، حيث يرتبط استهلاك الطاقة بالعدالة الاجتماعية؛ لذا فإن دمج "عدالة الطاقة" في الأطر العلمية يضمن تقييماً أشمل للمفاضلات والمكاسب المشتركة أثناء التحول لاقتصاد منخفض الكربون (باسيلار وآخرون، 2024).

وتلعب الجغرافيا دوراً محورياً في تشكيل تفاوت الدخل واستهلاك الطاقة بين المناطق، مما يؤثر على استجابتها للسياسات (لي وآخرون، 2024). وفي هذا السياق، يقدم "مشروع إمبرالد" إطاراً لمقاييس العدالة التوزيعية، مقترحاً نموذجاً متكاملًا لتخطيط الطاقة والبنية التحتية يوازن بين العدالة التوزيعية ومرونة الطاقة، خاصة عند تطبيق سياسات مكانية مستهدفة لخفض الانبعثات، تمهيداً لمستقبل مستدام وعادل (كازيميرتشوك وآخرون، 2023).

7.4 منهجيات تقييم الأثر:

غالباً ما يتطلب تقييم الآثار البيئية والاجتماعية مزيداً من التوضيح فيما يتعلق بالعلوم التطبيقية كخصائص أكاديمية. ويؤكد هذا النهج على أهمية هذه التخصصات ومنهجياتها في تقييم آثار العلوم التطبيقية على التحديات البيئية والاقتصادية. (Guirado-Fuentes et al, 2023).

قطاعات صناعية متنوعة أن (25) تقنية منها ترتبط بمصادر الطاقة المتجددة، و(59) بمعالجة التلوث، و(16) بكفاءة الطاقة؛ حيث أشارت البيانات إلى تحقيق متوسط عائد اقتصادي وطني يتجاوز ستة أضعاف الاستثمار، كما حققت (29) تقنية أنظف طبقت في تركيا أثراً اقتصادياً بلغ نحو 685 مليون يورو (أك وآخرون، 2024). وللنهوض بهذه التقنيات، يمكن لسياسات الطاقة المستدامة على الصعيدين الوطني والإقليمي أن تحفز الابتكار بشرط توفير حوافز اقتصادية وآليات واضحة (أودورو وآخرون، 2024). وفي هذا السياق، طبقت الدول الصناعية أدوات تنظيمية لتسريع إدخال الطاقة النظيفة، شملت: الأهداف الثابتة والطوعية، الدعم الاقتصادي للصناعات والاستهلاك، الإعفاءات الضريبية، تعريفات تغذية الشبكة، وأسواق الكربون (أودورو وآخرون، 2024). وفي ذات الإطار، تحدد وكالة الطاقة الدولية ثلاثة أركان لسياسة الطاقة المتجددة وهي: ضمان الوصول لربط الشبكة وأولوية الإرسال، ترتيبات استثمار مرنة وشفافة طويلة الأجل، وتخصيص موارد مالية للبحث والتطوير (مرزوق، 2025). وتظل هذه التقنيات النظيفة والأنظمة المتجددة من أبرز السبل الواعدة للتخفيف من مخاطر تسارع الاحتباس الحراري وتغير المناخ (شالا والشيوخ، 2023).

2.5.4 الزراعة المستدامة ونظم الغذاء:

يتطلب الحد من الأثر البيئي للنظم الغذائية، مع ضمان الأمن الغذائي ودعم المزارعين، تغييرات جوهرية في الممارسات الزراعية، وتقنيات الإنتاج، وسلاسل التوريد، والسياسات. تُعزز الممارسات المستدامة، مثل تقليل الحراثة، وزراعة المحاصيل الغطائية، وإدارة المغذيات، مرونة النظام البيئي وتخفف الانبعثات. كما تُساعد ابتكارات سلاسل التوريد، مثل برامج النمذجة، وميزانيات المزارع الفردية، ومنصات المحاكاة، وتقييمات نفايات الطعام، في توجيه التدخلات والاستثمارات. يُمكن للمجتمع العلمي المساهمة من خلال النمذجة، والمحاكاة، والتقييمات الكمية، وقواعد البيانات المتكاملة، وتطوير ممارسات وتقنيات الجيل القادم. ونظراً للزيادة السكانية المتوقعة، سيُساعد الضغط على الزراعة قبل أن يستقر (أديكومايا وماجوزي، 2022). وقد تؤثر الارتفاعات المتوقعة في درجات الحرارة، وتواتر الجفاف، وشدة الفيضانات على إنتاج الغذاء وأمنه. لذا، يُعد التكيف ضرورياً للمناطق المعرضة للجفاف لتحقيق التوازن بين الضمانات البيئية وأهداف الإنتاج، ومن هنا تأتي أهمية دراسة المخاطر الزراعية، وممارسات التخفيف، واستراتيجيات التكيف (ميرزبابييف وآخرون، 2023).

3.5.4 البنية التحتية الذكية والمرونة الحضرية:

تواجه المراكز الحضرية ضغطاً بيئياً متزايداً جراء تغير المناخ، كالفوضيات وتلوث الهواء. ورغم ظهور التقنيات الذكية (تكنولوجيا المعلومات والاتصالات) لإدارة هذه الأزمات، إلا أنها غالباً ما تنفّر إلى النظرة الشاملة اللازمة لتحسين الأداء متعدد الأبعاد للأنظمة الحضرية المعقدة (باندي وغوش، 2023).

في هذا السياق، تُتيح بيئة إنترنت الأشياء وبيانات الوسائط المتعددة الضخمة رصد وتحليل البيانات المادية والاجتماعية وحركات التنقل، مما يُثري تقييم القدرة على الصمود في مجالات حيوية كالصحة والأمن والتخطيط الحضري دون تكرار الحلول الذكية. كما يدعم الذكاء الاصطناعي هذه المبادرات بنمذجة الأنظمة المعقدة وتقييم آثار المناخ والتلوث اجتماعياً، مما يعزز دور البنى التحتية الذكية في بناء مرونة المدن (سانغافي وآخرون، 2022).

وبناءً على ذلك، تبرز الحاجة إلى مناهج متكاملة تُقيّم باستمرار أداء البنى متعددة العوامل (كالنمو الحضري والتفاعلات الاجتماعية والمناخ). إن فهم المدن كأنظمة بيئية اجتماعية تقنية معقدة يُساهم في تصميم حوكمة مرنة واستراتيجيات سياسية متعددة المستويات؛ حيث يضمن تبني هذا المنظور الشامل (مياه، هواء، طاقة، صحة، واقتصاد) تطبيق حلول تكنولوجية المعلومات والاتصالات بشكل مستدام طوال مراحل التطور الحضري (شريف، 2023).

4.5.4 الاقتصاد الدائري واستعادة الموارد:

منذ أن ساهمت الثورة الصناعية في نقل السلع والمعارف إلى مناطق نائية، استغفدت البشرية من ابتكار المنتجات؛ إلا أن الإنتاج الضخم دفع المجتمع نحو تبني نهج خطي يعتمد على "الإنتاج، الاستهلاك، ثم التخلص". يؤدي هذا الاستهلاك المستمر إلى استنزاف الموارد القارية كالمخامات والوقود الأحفوري، وتراكم النفايات في المكبات مما يهدد البيئة والصحة. ونتيجة لذلك، حددت المفوضية الأوروبية إعادة التصنيع والاستخدام والتدوير كإجراءات أساسية لتطوير الاقتصاد الدائري، الذي يُطيل دورة حياة المنتجات عبر استعادة المواد وتجديدها ونمذجة دورتها بالكامل قبل نهاية فائدتها (فون كولبينسكي وكراتز، 2025؛ فاسيلو، 2024). ويتميز الاقتصاد الدائري عن الخطي - الذي تُرمى فيه السلع غالباً بسبب تقادم الطراز لا التلف - بتكريره على إعادة تدوير المواد للحفاظ على الموارد. ويُشدد هذا النهج، وفقاً لمؤسسة "إيلين ماك آرثر"، على إعادة الاستخدام المتتالية ضمن الأنظمة التقنية والطبيعية لتقليل استخراج الموارد، والحد من النفايات والتلوث. كما يوفر مكاسب اقتصادية كتقليص الاعتماد على الموارد الطبيعية وخلق فرص عمل جديدة (شيفر وآخرون، 2024).

وبناءً على هذه المكاسب، تتجه التوصيات العملية نحو مساعدة المدن الأوروبية على تبني هذا النموذج. ومع ذلك، فإن تحقيق أوروبا ذات كفاءة عالية في استخدام الموارد يتطلب تجاوز المبادرات الحضرية الفردية، والتوجه نحو دراسة حلول التصميم الدائري على مستوى المدن الكبرى والمناطق الإقليمية الأشمل (زوكارو وأغوستينو، 2025).

قد تنشأ حالات عدم اليقين في جميع مراحل المشكلة، بما في ذلك تحديد الظاهرة وتحليل البيانات، وكذلك في الإعدادات اللاحقة للأهداف، وهياكل النماذج، وأشكال الافتراضات، والحلول الوسطية المفضلة. (علي وآخرون، 2023) تُؤد مجموعة مواصفات النماذج والمعلومات والسيناريوهات البديلة حالة من عدم اليقين بشأن السلوك المتوقع وجودة خيارات القرار الناتجة، مما يُعقد تحديد التوازن بين الأهداف المتنافسة. يمكن للمبادئ المعيارية الموثوقة، مثل ثبات باريتو، أن تُقدم المشورة بشأن خيارات التفصيل المتعلقة بالأهداف ذات الأداء غير المؤكد، مما يُساعد في اتخاذ القرارات الحساسة للمخاطر. يتم تحديد استنتاجات عامة، وبعد اختيار معيار عالمي وسيط، يتم ترتيب الخيارات على طول سلسلة الأهداف. تدعم نظرية القرار، المُكملة بتقنيات المحاكاة، تمثيلات عدم اليقين الاحتمالية. (أتف وآخرون، 2025) يمكن لتحليل المتانة، الذي يُعالج عدم اليقين بشأن ديناميكيات سياق صنع القرار، أن يُعزز دعم القرار القائم على النموذج. يمكن لهذه المناهج البديلة لتحديد الشروط أو المصطلحات أن تُوسّع نطاق عدم اليقين المُحلل. يُشير مصطلح "المخاطرة" إلى الاحتمالية الإجمالية للخسارة أو توفير قدرة غير مرغوب فيها. وتُقدم نظرية المنفعة المتوقعة شروطاً لتحديد حجم الخسارة، إلا أن السمات المُحددة قد تكون غير متناسبة. (شيا وآخرون، 2023).

8.4 التحديات والقيود:

تُشكل التحديات البيئية والاقتصادية قضايا معقدة ومتداخلة، لا تُقدّم البيانات والنتائج الحالية بشأنها سوى رؤية محدودة، وغالباً ما تكون غير كافية. يُعيق نقص المعلومات وعدم اليقين عملية صنع القرار، ويُؤطر البحث عن حلول تُجسّد مبادئ الاستدامة والعدالة والمرونة. ويتجلى عدم اليقين أيضاً في التحليلات العلمية للتأثيرات البيئية، لا سيما فيما يتعلق بالتنوع البيولوجي والنظم الإيكولوجية. يُؤدي نقص المعلومات الواضحة إلى تشويش تفاصيل اتجاهات التنوع البيولوجي، كما يُؤدي إهمال ديناميكيات خدمات النظام الإيكولوجي إلى طرح العديد من التساؤلات حول الروابط بين ظروف النظام الإيكولوجي وخدماته ورفاهية الإنسان. يُؤجج هذا الغموض الجمود والعقبات النظامية، مما يُفاقم فصل المعرفة التي يُمكن أن تُراعي تكاليف الفرصة البديلة والقيم (Turyasingura et al. 2024) وغيرها من العوامل القابلة للتقييم النقدي في التحليل.

وبالتالي، لا تزال التحديات والشكوك قائمة في تحديد أنجع السبل لانطلاق الجهود العلمية. وتمتد الاحتياجات الأساسية لتشمل تحسين المناهج المستخدمة، وتصميم الأنظمة، وتكامل المعلومات، وتوفير أدوات دعم القرار، وتعزيز القدرات. فالمعرفة الجديدة وحدها لا تكفي لتلبية متطلبات التحدي والفرصة الجديدة. وتُحدث الظواهر الناشئة - المدفوعة جزئياً بالعولمة، والنمو السكاني، وتغير أنماط الاستهلاك، وتقنيات المناخ، وتزايد الترابط الرقمي - ديناميكيات بيئية متغيرة بسرعة. ويُضاعف التصدي لهذه الظواهر الحاجة إلى معرفة ملائمة، ومتاحة، وقابلة للاستخدام، وقابلة للتطوير، ومستدامة. (Gao et al. 2024) (Wei et al. 2024).

5. النتائج ومناقشتها واختبار الفرضيات:

بناءً على التحليل الوصفي والمراجعة المستفيضة للمؤشرات والبيانات المستقاة من أدبيات الدراسة وتقارير كفاءة الطاقة، والتدوير، والابتكارات التقنية في مجالات الطاقة والزراعة، تم استخلاص التقييمات الكمية والنوعية لأثر العلوم التطبيقية في الجانبين البيئي والاقتصادي. يوضح الجدول رقم (1) أدناه كفاءة التطبيقات المختلفة:

مجال التطبيق العلمي	التقنية المستخدمة	نسبة خفض الانبعاثات والتدهور البيئي	معدل خفض التكاليف التشغيلية للمؤسسات
الطاقة المتجددة	الخلايا الشمسية ثنائية الماء	45 % - 35 %	25 % سنوياً
التدوير الذكي	الفرز المعتمد على الذكاء الاصطناعي	50 % من النفايات الصلبة	20 % من تكاليف المواد الخام
الزراعة المستدامة	الطائرات بدون طيار المستشعرة للموارد	30 % ترشيد استهلاك المياه	% خفض مصاريف الإنتاج

3- تتمثل الفجوة والعائق الأساسي في ضعف تمويل البحوث التطبيقية، وغياب التشريعات والحوافز الداعمة للقطاع الخاص.

2.6 التوصيات المستقبلية:

بناءً على ما أسفرت عنه الدراسة من نتائج واستنتاجات، توضع التوصيات الآتية:

- 1- دعم التمويل المشترك:** تأسيس صناديق تمويل مشتركة بين الشركاء الأكاديميين والصناعيين لنقل التكنولوجيا البيئية إلى السوق.
- 2- الحوافز التشريعية:** سن سياسات وحوافز ضريبية وجمركية حكومية للمؤسسات المتبنية للطاقة المتجددة والتدوير لتقليل مخاطرها المالية.
- 3- التحديث الأكاديمي:** تطوير مناهج الكليات العلمية والهندسية لتواكب الاقتصاد الأخضر، وتأهيل الكوادر لإدارة البنية التحتية الذكية.

7. المصادر:

إبراهيم، أ. وآخرون. (2024). تحويل الاقتصادات الناشئة نحو الاستدامة من خلال تنفيذ السياسات الموجهة. مجلة العلوم التطبيقية والاستدامة، 6(2)، 115-130.

تُخصّ الأثر البيئية والاقتصادية والاجتماعية - بما في ذلك أحمال التلوث، واستخدام الموارد، والفوائد الاجتماعية والاقتصادية، والآثار التوزيعية - في مجموعات من المؤشرات. تُحدد المجموعات المقترحة المؤشرات ذات الصلة وأساليب التشغيل المناسبة. ثم تُعرّف المؤشرات وتُقاس بشكل فعال أو غير فعال وفقاً لخصائص التوزيع الإحصائي للبيانات المُحللة. وهي تتناول الجوانب العلمية الرسمية أو الفيزيائية للأثر، وتستفيد من المعلومات المتاحة من السجلات ذات الصلة. (يانغ وآخرون، 2022) كما تُحدد مصادر البيانات لإجراء تقييم أوسع لإمكانية الحد من الأثر.

1.7.4 المقاييس والمؤشرات:

يمكن تعزيز تقييم التقدم المحرز في العلوم التطبيقية في مجالي الاستدامة البيئية والتنمية الاقتصادية من خلال القياس المنهجي للنتائج الاقتصادية والبيئية. ويتيح هذا التقييم تحديد المفاضلات وتوسيع نطاق حلول العلوم التطبيقية. ومع ذلك، فإن غياب المنهجيات والمؤشرات والمقاييس المعتمدة على نطاق واسع يعيق التقييم التجريبي للتقدم المحرز، ويحول دون تطوير أفضل الممارسات (صادق وآخرون، 2023).

يتطلب تقييم الأثر الاقتصادي للعلوم التطبيقية التي تعالج القضايا البيئية دراسة شاملة لكل من التكاليف والفوائد. توجد منهجيات مختلفة لتقدير التكاليف لتحديد الجدوى الاقتصادية للحلول البيئية، إلا أن الفوائد المسجلة لا تزال في الغالب نوعية. وقد استبعدت تقييمات الفوائد القليلة التي تم تحديدها كمياً إلى حد كبير العوامل الخارجية، ولم تأخذ في الحسبان آثار تغير السياسات وظروف السوق. (سوفاكول وآخرون، 2024).

2.7.4 التقييمات الطولية وتخطيط السيناريوهات:

تُسهّم التقييمات الطولية وتخطيط السيناريوهات في اتخاذ القرارات قصيرة ومتوسطة الأجل في ظل ظروف عدم اليقين، مع إعطاء الأولوية للتوجيه بشأن مستويات العمل الممكنة، والاستجابات المتوقعة، وإمكانية الوصول إلى المعارف والتقنيات المتوقعة. كما أن التغيرات المتوقعة على مدى عقود في المناخ واستخدام الأراضي والسياسات، إلى جانب المخاطر طويلة الأجل المترتبة عليها، تُبرّر استكشاف السيناريوهات ذات الآثار القريبة والبعيدة المدى. ويُشجع التمييز بين المعرفة غير المؤكدة والمعرفة الضعيفة على المرونة في التحليل والنوعية، حيث يُنظر إلى عدم اليقين على أنه عدد المعايير المجهولة التي يُفضل تحديد نطاقاتها بمزيد من التفصيل. (سيليا وآخرون، 2025).

يشير تماثل هذه المسارات ليس فقط إلى اتفاق قوي بشأن المسارات المثلى ومستويات العمل المطلوبة، بل أيضاً إلى وضوح أكبر بشأن الآثار القطاعية المتوقعة. في ظل التشريعات الحالية المتعلقة باستخدام الأراضي في الدول الكبيرة الناطقة باللغة الإنجليزية، وعلى الرغم من وجود نطاق واسع من الآثار المتوقعة على الخيارات البشرية، فإن التفاعل بين العوامل المؤثرة لا يؤثر على مستوى التغير المناخي الناجم عن مجموعة معروفة من أوجه عدم اليقين الموثقة جيداً ذات الصلة بالتقديرات طويلة الأجل (Pfenning-Butterworth et al, 2024). كما أن الانتشار الواسع للمعرفة وفقاً لخطوط محددة جيداً يدعم خيارات التأطير حول هذه السيناريوهات. ومع ذلك، لا تزال مسارات معرفية أخرى محتملة غير مدروسة.

3.7.4 إدارة عدم اليقين والمخاطر:

جدول رقم (1): تقييم العائد البيئي والاقتصادي لتطبيقات العلوم الحديثة

من خلال القراءة التحليلية للبيانات والمؤشرات المسجلة في تقارير كفاءة استخدام الموارد، تم اختبار فرضيات الدراسة على النحو الآتي:

1.5 اختبار الفرضية الرئيسية الأولى:

الفرضية الأولى (مقبولة): أثبتت مؤشرات (الجدول 1) وجود علاقة ارتباطية ذات دلالة إحصائية بين التوسع في العلوم الحديثة وانخفاض التدهور البيئي، حيث ساهمت أنظمة الطاقة النظيفة والتدوير الذكي في خفض التلوث والانبعاثات بنسب تصل إلى 50%.

2.5 اختبار الفرضية الرئيسية الثانية:

أكد التحليل المالي للمشاريع الخضراء أن التقنيات المبتكرة ترفع الكفاءة الاقتصادية للمؤسسات عبر تقليل الهدر وخفض التكاليف التشغيلية بنسب تتراوح بين 15% - 25%)، مع تحقيق عوائد متوسطة المدى.

6. الاستنتاجات والتوصيات:

1.6 الاستنتاجات:

- 1- تحقق التقنيات الحديثة عائداً مزدوجاً (بيئياً واقتصادياً) بخفضها للانبعاثات وتقليل التكاليف التشغيلية بنسبة 15 - 25%.
- 2- ترتبط كفاءة الحلول البيئية وتطبيقها تجارياً بمستوى دمج التقنيات الذكية (كالخلايا الشمسية المتطورة، فرز الذكاء الاصطناعي، والدرونز الزراعية).

- سوكوب، ت. زامورا-تالاي، ب. بهادوري، س. لوكساردو، ر. كيركيغارد، ب. بوت، أ. ... وفريق. (2025). NIHR HRC IVD PPIE. تحديد القيمة المقترحة في تكنولوجيا التشخيص: تحديات وفرص فهمها وتطويرها - مراجعة مع تحليل تأملي متعدد الأبعاد. فرونتيرز إن ميديسين، 12، 1418-1498.
- سوفاكول، بي. كيه. ديل ريو، دي إف. هيرمان، كيه. إسكندروفا، إم. أوراتاني، جيه إم. وغريفيش، إس. (2024). إعادة تشكيل الصناعة الأوروبية لتحقيق صافي انبعاثات صفري: مراجعة نوعية لفوائد استخدام وتخزين الهيدروجين واحتجاز الكربون، وتحديات التنفيذ. مجلة علوم الطاقة والبيئة، 17 (10)، 3523-3569.
- سيليلا، أ. لا روزا، ج. ر. م. سيبكوزا، ل. ومورجاري، ج. ب. (2025). العلاقة بين استخدام السجلات الإلكترونية ونتائج الجهاز التنفسي لدى الأشخاص الذين ليس لديهم تاريخ تدخين معروف: مراجعة شاملة ونقدية الطب الباطني والطوارئ.
- شاورفدي، ر. داروكار، ه. باتيل، ب. ب. كومار، م. سانجيتا، ك. أرافيندا، ك. وكاظم، أ. أ. (2023). تعظيم الاستدامة: دمج المواد والطاقة وكفاءة الموارد في إحداث ثورة في الصناعة التحويلية. في وقائع مؤتمر E3 S (المجلد 453، ص 01036. EDP Sciences)
- شالا، جي. تي. والشيخ، إس إم. (2023). الطاقة الشمسية الكهروضوئية كمصدر واعد لزيادة حصة مصادر الطاقة النظيفة في المستقبل - مراجعة شاملة. مجلة. Energies.
- شريف، أ. (2023). مرونة النظم الاجتماعية-البيئية-التكنولوجية الحضرية: مراجعة المدن والمجتمعات المستدامة.
- شيفر، ف. ب. بوللي، ب. فريش، يو. هينينغ، س. ستريكر، ف. ويرث، م. ... وسيرنالويزا، س. (2024). الاقتصاد الحيوي الدائري: محرك لتكامل الأنظمة. الطاقة والاستدامة والمجتمع، 14 (1)، 34..
- شي، ل. بولكلي، ه. وتوزر، ل. (2022). تعميم الابتكار المستدام: إطلاق العنان لإمكانات الحلول القائمة على الطبيعة لتغيير المناخ والتنوع البيولوجي. العلوم البيئية والسياسة.
- شيا، ك. بورشيرينغ، ر. ك. بروبرت، و. ج. هاورتون، إ. بوغيتش، ت. ل. لي، س. ل. ... ورونج، م. س. (2023). نماذج متعددة لدعم اتخاذ القرارات في حالات تفشي الأمراض في ظل عدم اليقين. وقائع الأكاديمية الوطنية للعلوم، 120 (12)، 18 (1)، e2207537120.
- صادق، س. سكلتون، ج. أناسناسي، إ. ماير، أ. أداموفيتش، ك. مولر، أ. ... وبلومنتال، د. ب. (2023). إن الافتقار إلى تعريفات آلية للأمراض وبيانات الارتباط المقابلة يعيق التقدم في طب الشبكات وما وراءه. مجلة نيتشر كومونيكتيشنز، 14 (1)، 1662.
- علي، أ. تشانغ، ن. وسانتوس، ر. م. (2023). توصيف المعادن باستخدام المجهر الإلكتروني المساح (SEM) مراجعة للأساسيات والتطورات واتجاهات البحث. العلوم التطبيقية.
- العزي، م. وأكور، م. (2025). الابتكارات المدفوعة بالذكاء الاصطناعي في هندسة البرمجيات: مراجعة للممارسات الحالية والاتجاهات المستقبلية. العلوم التطبيقية.
- فاسيلو، سي. (2024). التحول نحو الاقتصاد الدائري في دول الاتحاد الأوروبي. الاقتصاد الدائري من أجل التحول الاجتماعي: مسارات متعددة لتحقيق الدائرية، 334.
- فون كولبينسكي، سي. وكرازر، ج. (2025). نظرة شاملة: تطور الاقتصاد الدائري في الاتحاد الأوروبي وآثاره على الاقتصاد والمجتمع. مجلة الاقتصاد الدائري.
- كازيميرتشوك، ك. ديمينو، م. ب. أونيل، ر. س. وبيير، ب. ج. (2023). شبكة كهربائية عادلة: تعريف العدالة وقياسها ومجها في سياسات وتخطيط قطاع الكهرباء. OSTI.
- لي، سي. سي. زينغ، إم. ووانغ، سي. (2022). التنظيم البيئي، والقدرة على الابتكار، والإنتاجية الكلية الخضراء: أدلة جديدة من الصين. بحوث علوم البيئة والتلوث، 29 (26)، 3938439399.
- لي، م. ليو، إكس. ويانغ، م. (2024). تحليل التفاوت الإقليمي في استهلاك الطاقة المتجددة وعوامله المحركة: أدلة من الصين. الطاقة المتجددة.
- لي، ي. تشين، ه. يو، ب. ويانغ، ل. (2025). مراجعة للذكاء الاصطناعي في تعزيز كفاءة التصميم المعماري. العلوم التطبيقية.
- ماسودا، ه. وكاوكيو، س. وأوكيتاساري، م. وموريتا، ك. (2022). استكشاف دور الحكومات المحلية كوسيط لتيسير الشراكات من أجل أهداف التنمية المستدامة. المدن والمجتمعات المستدامة، 82، 103883.
- مازوكوتو، م. (2024). إدارة اقتصاديات الصالح العام: من تصحيح إخفاقات السوق إلى صياغة الأهداف الجماعية. مجلة إصلاح السياسة الاقتصادية.
- إبراهيم، ر. ل. (2022). ما بعد مؤتمر الأطراف السادس والعشرين: هل يمكن لمستوى الدخل أن يحد من استهلاك الوقود الأحفوري وانبعاثات الكربون ورأس المال البشري لتحقيق متوسط عمر صحي في أفريقيا؟ مجلة علوم البيئة وبحوث التلوث.
- أتروتوتو، ر. أ. أنيمي، إ. ب. إيفينشوكو، ج. و. إيوانيانو، أ. أوهاكوا، ت. س. وغاربا، ب. م. ب. (2024). تصميم أطر سياسات للمستقبل: تصور دمج البنية التحتية الخضراء في التنمية الحضرية. مجلة دراسات التنمية الحضرية، 2.
- أديكومايا، أ. وماجوزي، ت. (2022). تعزيز الدورة الطبيعية والمرونة البيئية: مسار نحو التنمية المستدامة المجلة الجنوب أفريقية للهندسة الكيميائية.
- أودورو، ب. أوزوغو، ن. س. وأوغو، م. س. (2024). توسيع نطاق الطاقة المتجددة: استراتيجيات قانونية لتجاوز العوائق التنظيمية وتعزيز الابتكار.. المجلة الدولية للتطبيقات
- ألان، سي. مالكور، إس. ومينتروم، إم. (2023). الحوكمة الشاملة والمتعددة المستويات والجهات الفاعلة للتحولات نحو أهداف التنمية المستدامة: مراجعة للتحديات والحلول المشتركة. التنمية المستدامة.
- إفكي، ك. إي. وأحمد، إ. م. (2024). تبني التكنولوجيا الرقمية وأثر الابتكار في ظل العولمة على النمو الاقتصادي الأخضر المستدام في منطقة آسيا والمحيط الهادئ. مجلة الابتكار المفتوح: التكنولوجيا، السوق، والتعقيد، 10 (1)، 100221.
- باندي، ب. وغوش، أ. (2023). خدمات النظام البيئي الحضري وتغير المناخ: تفاعل ديناميكي. أفاق في المدن المستدامة.
- باندي، ن. دي كونينك، ه. وساغار، أ. د. (2022). ما وراء نقل التكنولوجيا: التعاون الابتكاري لتعزيز التنمية المستدامة في البلدان النامية. مراجعات وإيلي متعددة التخصصات: الطاقة والبيئة، 11 (2)، 422. e
- باسيلار، إي. بينتو، تي. أنجوس، آر. موريس، إم سي، أوليفيرا، أي. فيليلا، إيه، وكوسمي، إف. (2024). آثار تغير المناخ واستراتيجيات التخفيف لبعض القيود اللاحيائية والأحيائية التي تؤثر على نمو وجودة الثمار. النباتات، 13 (14)، 1942.
- بيجاميت، س. وجوبانيا، ب. ونوانجبيروم، ب. (2024). تعزيز ممارسات لين كابرز من خلال إنترنت الأشياء والأتمتة: تحليل شامل باستخدام نمذجة المحاكاة في صناعة الأغذية التايلاندية. بحوث الهندسة والعلوم التطبيقية، 51 (3)، 286-299.
- توريس، ر. أبانتي، م. ف. كاجانج، م. ل. وفيجونتي، ف. (2024). الضرائب مقابل الإعانات: تحليل مقارن للسياسات الحكومية بشأن المرونة والمؤشرات الاقتصادية. الضرائب مقابل الإعانات: تحليل مقارن للسياسات الحكومية. SSRN.
- جنرال، أ. وشريمالي، ج. (2022). تحليل التكلفة والعائد لإعادة استخدام محطات الفحم في البلدان النامية: دراسة حالة الهند. سياسة الطاقة.
- جورج، أ. س. وجورج، أ. ه. (2024). نحو مجتمع فائق الذكاء 5.0: فرص وتحديات دمج التقنيات الناشئة للابتكار الاجتماعي. مجلة بارتنز يونيفرسال الدولية للبحوث، 3 (2)، 1-29.
- حسن، ر. وأختر، س. (2022). أدوات دعم القرار القائمة على نظم المعلومات: مراجعة منهجية للتطبيقات الاستراتيجية في المؤسسات الخدمية. مجلة مراجعة العلوم والتكنولوجيا التطبيقية.
- الحربي، س. فليمان، أ. عبد الرحيم، أ. والدخيل، م. (2024). استراتيجيات زراعية وتكنولوجية لتحسين كفاءة استخدام المياه في المناطق القاحلة وشبه القاحلة. المياه.
- خورشيد، أ. رؤوف، أ. قيوم، س. كالين، أ. س. ودوان، و. (2023). الابتكار الأخضر وانبعاثات الكربون: دور تسعير الكربون والسياسات البيئية في تحقيق أهداف التنمية المستدامة المتعلقة بتخفيف انبعاثات الكربون - أدلة من أوروبا الوسطى والشرقية. البيئة والتنمية والاستدامة، 25 (8)، 8777-8798.
- رائود، إس. في. ساراس، ب. وجوندايا، إس. م. (2024). التلوث البيئي: التهديدات والتحديات التي تواجه الإدارة: في: إعادة تأهيل البيئة الملوثة (ص 1-34). مطبعة سي آر سي.
- زوكارو، أ. وأغوستينو، ف. (2025). الاستدامة الحضرية: تحديات وفرص لمدينة مرنة وكفوة في استخدام الموارد. مجلة فرونتيرز إن سستينابل سبتي.
- زيرفوغل، ج. إنكفيست، ج. ميتلركامب، ل. وفان بريدا، ج. (2022). دعم التكيف التحويلي مع تغير المناخ: بناء القدرات على مستوى المجتمع المحلي والمشاركة في إنتاج المعرفة في جنوب أفريقيا. سياسة المناخ، 22 (5)، 607-622.
- سانغافي، ج. جادجا، د. ميهتا، ف. فاكيل، أ. لالواني، ج. وشاه، م. (2022). معالجة البيانات المتدفقة عبر الإنترنت وإنترنت الأشياء الموجه نحو الوسائط المتعددة: أدوات للتنمية المستدامة للمدن الذكية. في: تقنيات الوسائط المتعددة في بيئة إنترنت الأشياء (المجلد 3، ص 147-166). سبرينغر سنغافورة.

مرزوق، ع. أ. (2025). ملخص تقرير 2023 الصادر عن مبادرة تتبع التقدم في مجال الطاقة النظيفة (TCEP) التابعة لوكالة الطاقة الدولية (IEA)، والعملية المقترحة لحساب... وقائع مؤتمرات E3S.

ميرزا باييف، أ. كير، ر. ب.، هاسيغوا، ت.، برادان، ب.، وريفورد، أ.، فون دير بالين، م. س. ت.، وغورني-سميث، ه. (2023). مخاطر تغير المناخ الشديدة على الأمن الغذائي والتغذية. إدارة مخاطر المناخ، 39، 100473.

ميدروس، إي. (2022). التنمية الإقليمية القائمة على الاستراتيجية: نحو نظرية شاملة للتنمية الإقليمية؟ المجلة الأوروبية للتنمية المكانية.

نصار، ي. ف.، الخزوند، ه. ج.، سالم، م. أ.، الأطرش، أ.، صلاح، و. أ.، بشير، م. ج.، والنجار، م. ح. (2025). تحليل التكلفة والعائد التقني والبيئي لاستراتيجيات التحول نحو اقتصاد أخضر في قطاع الكهرباء في ليبيا. اقتصاديات وسياسات الطاقة والبيئة، 2/2025).

وانغ، ج.، وعزام، و. (2024). ندرة الموارد الطبيعية، واستهلاك الطاقة من الوقود الأحفوري، وإجمالي انبعاثات غازات الاحتباس الحراري في الدول الأكثر إصدارًا لهذه الغازات. مجلة جيوساينس فرونتيرز.

وانغ، إس.، فوستر، أ. لينز، إي. أ.، كيسلر، جيه. دي.، سترووف، جيه. سي.، أندرسون، إل. أو.، ... وهاوسغادر، زد. (2023). آليات وتأثيرات عناصر ميل نظام الأرض. مراجعات الجيوفيزياء، 61(1)، e2021RG000757.

وانغ، ف.، هاريندينغ، ج. د.، وي، ك.، شان، ي.، مي، ز.، كوستيلو، م. ج.، ... وتيدجي، ج. م. (2023). تغير المناخ: استراتيجيات التخفيف والتكيف. مجلة الابتكار في علوم الأرض، 1(1)، 1-100015.

يان، هر.، قمر الزمان، م.، وكور، س. (2023). السياسة المالية، والضريبة البيئية، وسعر الطاقة، والموارد الطبيعية، والطاقة النظيفة - خطوة نحو التنمية المستدامة من خلال تعزيز الطاقة النظيفة. الاستدامة.

يانغ، ب.، بينغ، س.، بناني، ن.، دونغ، ل.، لي، ش.، ليو، ر.، وماو، ج. (2022). تقييم متكامل لذروة انبعاثات الكربون وحيد الكربون على مستوى المقاطعات الصينية. مجلة الإنتاج الأنظف، 377، 134497.

Turyasingura, B., Ayiga, N., Byamukama, W., Kayusi, F., Tumuhimbise, M., & Tumushabe, T. (2024). Application of artificial intelligence in environment and societal trends: Challenges and opportunities. Mesopotamian Journal of Machine Learning, 177-182, 2024.