Al-imad Journal of Humanities and Applied Sciences (AJHAS)
مجلة العماد للعلوم الإنسانية والتطبيقية
ISSN: 3106-0323
Volume 2 – Issue 1 – 2026
Pages 635-645

Integrating Marine Geophysics and Renewable Energy in Marine Sciences for Sustainable Development: A Comprehensive Technical and Environmental Study

Nasser Mohammed Diab [1*], Abdalla Imhmed Bahboh [2]
[1] Department of Engineering Technologies, Higher Institute of Engineering Technologies Zliten, Libya
[2] General Science Department, Higher Institute of Engineering Technologies, Zliten, Libya
*Corresponding: nmdiab72@gmail.com

تكامل الجيوفيزياء والطاقة المتجددة في العلوم البحرية لتحقيق التنمية المستدامة: دراسة تقنية وبيئية شاملة

ناصر محمد دياب [1*] ، عبدالله امحمد بحبوح [2]
[1] قسم التقنيات الهندسية، المعهد العالي للتقنيات الهندسية-زليتن، ليبيا
[2] قسم العلوم العامة، المعهد العالي للتقنيات الهندسية-زليتن، ليبيا

Received: 07-03-2026; Accepted: 11-04-2026; Published: 24-04-2026

Abstract:
This study explores the critical integration of marine geophysical sciences with renewable energy technologies as a primary framework for resource exploration and sustainable development. The research provides a technical analysis of offshore wind turbine arrays, floating photovoltaic platforms, wave energy systems, and Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC), emphasizing the pivotal role of geophysical surveys in enhancing resource efficiency and engineering reliability. Findings demonstrate that these integrated solutions effectively reduce carbon emissions and bolster the stability of coastal communities by advancing the "blue economy". Furthermore, the study proposes scientific strategies to navigate technical and regulatory obstacles, ensuring the long-term viability of large-scale marine projects in dynamic environments. Results indicate that transitioning from fossil fuels to marine renewables leads to improved water quality, energy independence, and the creation of sustainable "blue" jobs. The synergy between geophysical insights and energy technologies not only guarantees the structural integrity of offshore installations but also serves as a safeguard for sensitive marine ecosystems. Ultimately, the paper recommends fostering regional cooperation and increasing governmental support for innovation to secure a sustainable global energy future for upcoming generations.

Keywords: Marine Renewable Energy, Sustainable Development, Offshore Wind Energy, Wave Energy, Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC), Geophysical Survey, Environmental Sustainability.

الملخص
تستعرض هذه الدراسة التكامل الجوهري لعلوم الجيوفيزياء البحرية مع تقنيات الطاقة المتجددة كإطار أساسي لاستكشاف الموارد وتحقيق التنمية المستدامة. يقدم البحث تحليلاً تقنياً لمصفوفات توربينات الرياح البحرية، والمنصات الشمسية الكهروضوئية العائمة، ونظم طاقة الأمواج، وتحويل الطاقة الحرارية للمحيطات (*OTEC*)، مع التأكيد على الدور المحوري للمسوحات الجيوفيزيائية في تعزيز كفاءة الموارد

 Copyright: © 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

والموثوقية الهندسية. وتبرز النتائج قدرة هذه الحلول المتكاملة على خفض الانبعاثات الكربونية ودعم استقرار المجتمعات الساحلية من خلال تعزيز "الاقتصاد الأزرق". علاوة على ذلك، تقترح الدراسة استراتيجيات علمية لتجاوز العقبات التقنية والتشريعية، مما يضمن استمرارية المشاريع البحرية الكبرى في البيئات الديناميكية. وتشير النتائج إلى أن التحول من الوقود الأحفوري إلى الطاقات البحرية المتجددة يؤدي إلى تحسين جودة المياه، وتحقيق الاستقلال الطاقي، وخلق فرص عمل مستدامة في القطاع "الأزرق". إن التآزر بين الرؤى الجيوفيزيائية وتقنيات الطاقة لا يضمن السلامة الهيكلية للمنشآت البحرية فحسب، بل يعمل أيضاً كصمام أمان للنظم البيئية البحرية الحساسة. وفي الختام، توصي الورقة بتعزيز التعاون الإقليمي وزيادة الدعم الحكومي للابتكار لتأمين مستقبل مستدام للطاقة العالمية للأجيال القادمة.

الكلمات المفتاحية: الطاقة المتجددة البحرية، التنمية المستدامة، طاقة الرياح البحرية، طاقة الأمواج، الطاقة الحرارية للمحيطات، المسح الجيوفيزيائي، الاستدامة البيئية.

1.المقدمة

في ظل التفاقم المتسارع لأزمة المناخ العالمي وتصاعد الضغوط البيئية الناجمة عن الاعتماد المفرط على الوقود الأحفوري، أضحى التحول نحو "الطاقة المتجددة البحرية (Marine Renewable Energy) " ضرورة استراتيجية لا غنى عنها، ومحركاً رئيسياً لسلاسل القيمة المضافة ضمن مفهوم الاقتصاد الأزرق المستدام .وتبرز الجيوفيزياء البحرية بصفتها الأداة التشخيصية والتحليلية الأكثر أهمية في هذا التحول؛ فهي توفر الوسائل التقنية المتقدمة لسبر أغوار قاع البحر، وفهم الخصائص الفيزيائية والميكانيكية للطبقات الجيولوجية تحت السطحية بدقة عالية .إن هذا الفهم الجيوفيزيائي المعمق يتيح للمهندسين والمخططين تحديد المواقع المثالية للمنشآت البحرية، مثل مصفوفات توربينات الرياح ومنصات الطاقة الحرارية، مما يضمن استقرارها الهيكلي وأمانها التشغيلي في مواجهة الظروف الهيدروديناميكية القاسية والعوامل الجوية المتقلبة.

علاوة على ذلك، يتجاوز دور التكامل الجيوفيزيائي مجرد اختيار المواقع، ليمتد إلى تقييم المخاطر الجيولوجية المحتملة مثل الانزلاقات الأرضية تحت البحر أو التكهفات الرسوبية التي قد تقوض سلامة البنية التحتية الطاقوية .ومع توجه دول العالم نحو تحقيق الاستقلال الطاقي وخفض البصمة الكربونية تماشياً مع الاتفاقيات الدولية للمناخ، تزداد الحاجة إلى دمج تقنيات المسح السيزمي والباثيمتري لتعظيم كفاءة استخلاص الطاقة من المحيطات .وبناءً عليه، فإن الربط بين الحلول الجيوفيزيائية المبتكرة وتطبيقات الطاقة المتجددة يمثل الضمانة الأساسية لتحقيق تنمية بحرية مستدامة توازن بين المتطلبات الاقتصادية والحفاظ على النظم البيئية الحساسة للأجيال القادمة.

إن التحول الجذري نحو الاقتصاد الأزرق لا ينحصر في الأبعاد التقنية لاستخراج الطاقة فحسب، بل يمتد ليشمل ضمان استدامة وسلامة الكائنات البحرية القاطنة في المحيط الحيوي للمنشآت؛ إذ تشير الدراسات المعمقة إلى أن دمج الحلول البيولوجية، مثل استخدام الإضافات الغذائية الطبيعية والمستدامة في الأنظمة البحرية، يلعب دوراً حاسماً في تعزيز الاستجابات المناعية للأحياء البحرية وتمكينها من مواجهة الإجهاد البيئي الناجم عن الأنشطة البشرية أو التغيرات المناخية (Salem et al., 2021; Salem et al., 2024). هذا التكامل بين استراتيجيات حفظ التنوع الحيوي ومشاريع الطاقة يمثل الضمانة الحقيقية لتحقيق تنمية بحرية متوازنة وطويلة الأمد.

1.1.أهداف البحث

تسعى هذه الدراسة بشكل رئيسي إلى استكشاف آفاق التكامل الوظيفي بين العلوم الجيوفيزيائية وتطبيقات الطاقة البديلة في الوسط البحري. ويمكن بلورة الأهداف التفصيلية للبحث في النقاط الآتية:

1. تقييم الكفاءة التشغيلية والموثوقية الهندسية لتقنيات الطاقة المتجددة البحرية المتاحة حالياً، مع التركيز على استقرار المنشآت في البيئات المائية المفتوحة.
2. تحليل الأثر البيئي لمصادر الطاقة البحرية وتحديد دورها الاستراتيجي في الحد من البصمة الكربونية العالمية، بما يسهم في مكافحة التغير المناخي.(Tsai & Hou, 2020)

 Copyright: © 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

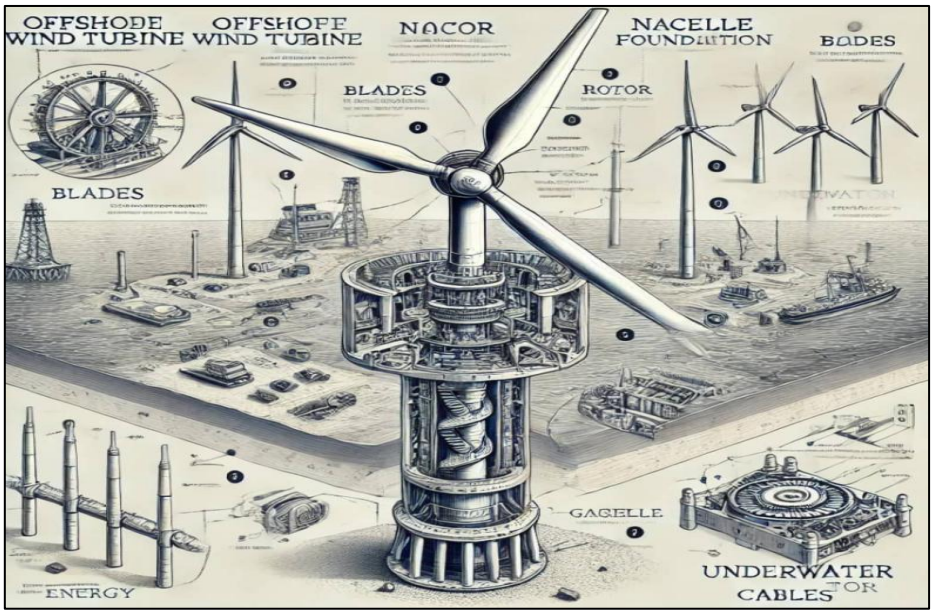
3. تسليط الضوء على الحزمة المتكاملة من التحديات التقنية والاقتصادية والمعوقات التشغيلية التي تواجه الاستثمار في المشاريع البحرية الكبرى.(Benassai & Reggio, 2013)
4. اقتراح توصيات سياساتية وأطر علمية مبتكرة لتعزيز كفاءة استغلال الطاقة في البيئات البحرية الحساسة، بما يضمن استدامة الاقتصاد الأزرق؛ مع التركيز على الحلول البيولوجية التي تدعم مرونة الأحياء البحرية (مثل البلطي والتراوت) وقدرتها على تحمل التغيرات الحرارية والإجهاد التأكسدي المرتبط بالأنشطة الإنشائية والتشغيلية.(Salem, 2025b; Salem, 2025c)

2.أنواع الطاقة المتجددة في البيئة البحرية: دراسة تقنية ومعززة بالأمثلة

طاقة الرياح البحرية (Offshore Wind Energy)

تعتمد هذه التقنية المتطورة على مصفوفات التوربينات ذات المحاور الأفقية، والتي تتكون هيكلياً من الريش (Blades)، وغرفة المحرك (Nacelle)، والدوار (Rotor)، والبرج الهيكلي (Tower). وتتطلب هذه المنشآت الضخمة مسوحات جيوفيزيائية دقيقة للكشف عن الجلاميد (Boulders) والعوائق الجيولوجية المغمورة التي قد تعيق عمليات غرس الأساسات أو تسبب فشلاً إنشائياً (Kapsali, 2013 & Kaldellis).

- **أمثلة عالمية:**
  - **مزرعة "هورنسي 2" (المملكة المتحدة):** تعد الأكبر عالمياً بقدرة إنتاجية تصل إلى 1.4 غيغاواط، وهو ما يكفي لتلبية احتياجات أكثر من 1.3 مليون منزل من الطاقة النظيفة.
  - **مشروع "بوربو بنك" (بحر الشمال):** يضم توربينات متطورة قادرة على تزويد آلاف المنازل بالكهرباء المستدامة.
- **الفوائد الاستراتيجية:** تتميز طاقة الرياح البحرية بوفرة واستمرارية تدفق الرياح مقارنة باليابسة، مما يرفع من كفاءة التوليد ويجعلها من أنظف البدائل المتاحة حالياً لخفض الانبعاثات.



شكل 1: توضيحي تقني يوضح مكونات توربينات الرياح البحرية المستخدمة في البيئة البحرية، مع تسمية الأجزاء مثل الشفرات، الدوار، برج التوربين، الأساس، والكابلات تحت الماء.

الطاقة الشمسية البحرية (Offshore Solar Energy)

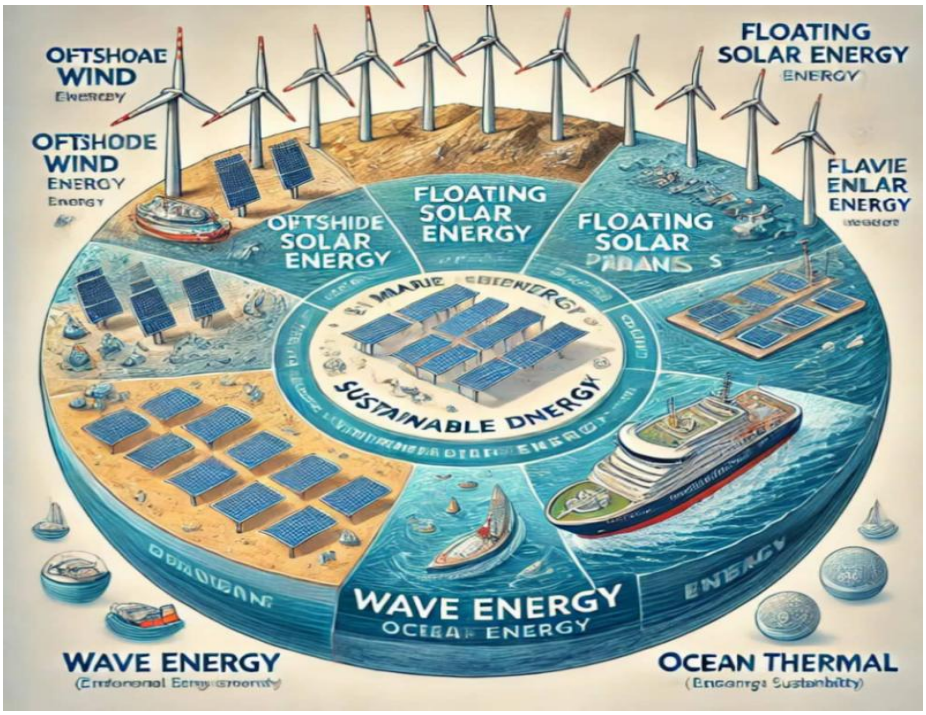
تستند هذه التقنية إلى مصفوفات كهروضوئية عائمة (Floating PV)، وهي تمثل حلاً استراتيجياً مبتكراً لمواجهة ندرة الأراضي، لا سيما في الدول الساحلية ذات الكثافة السكانية العالية (Lee, 2013 & Choi).

- **أمثلة عالمية:**

 Copyright: © 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

- **مشروع سنغافورة العائم:** محطة رائدة شُيدت على مساحة مائية شاسعة بقدرة 5 ميغاواط لخدمة المناطق الساحلية.
- **مشروع "كيوتو" (اليابان):** نموذج ناجح لاستغلال المسطحات المائية كبديل للأراضي النادرة في المناطق المكتظة.

- **الفوائد الاستراتيجية:** تساهم الألواح العائمة في الحد من تبخر المياه، وتوفر مساحات أرضية قيمة للاستخدامات العمرانية أو الزراعية، مع الحفاظ على كفاءة تبريد طبيعية للألواح تزيد من إنتاجيتها.



شكل2: يوضح أنواع الطاقة المتجددة البحرية المختلفة مثل طاقة الرياح البحرية، الألواح الشمسية العائمة، طاقة الأمواج، والطاقة الحرارية المحيطية.

طاقة الأمواج (Wave Energy)

تعتمد على استغلال الطاقة الحركية الناتجة عن حركة الموج المستمرة وتحويلها إلى طاقة كهربائية، وتتميز بقدرة تنبؤية واستقرار أعلى مقارنة بطاقة الرياح (Cruz, 2008).

- **أمثلة عالمية:**
  - **مشروع "بيلاميس" (اسكتلندا):** يعتمد على أجهزة عائمة مفصلية تتحرك مع الأمواج لتوليد تيار كهربائي مستمر.
  - **محطة "ويب باور" (البرتغال):** من أوائل المحطات التجارية التي أثبتت جدوى إنتاج الطاقة الموجية بمعدل 2 ميغاواط.
- **الفوائد الاستراتيجية:** توفر طاقة الأمواج خياراً نظيفاً ودائماً، حيث تكون كثافة الطاقة في الأمواج عالية جداً، مما يجعلها استثماراً واعداً في المناطق ذات النشاط الموجي المرتفع.

 Copyright: © 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

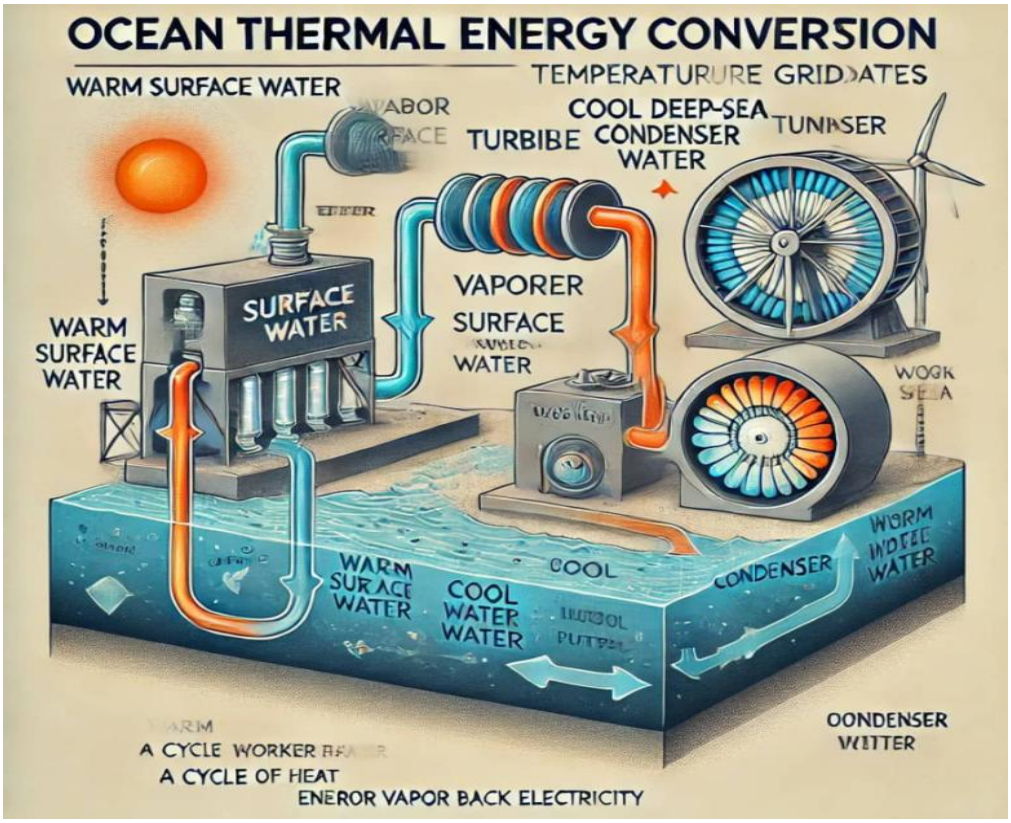
شكل3: يوضح عملية توليد الكهرباء من أمواج المحيط.

تحويل الطاقة الحرارية للمحيطات(OTEC)

تعتمد تقنية تحويل الطاقة الحرارية للمحيطات (Ocean Thermal Energy Conversion - OTEC) على استغلال الفوارق الحرارية الجوهرية (Thermal Gradient) بين مياه السطح الدافئة والمياه العميقة الباردة. وتبرز هنا الأهمية القصوى للمسوحات الباثيمترية (Bathymetry) والجيوفيزيائية المتقدمة؛ حيث تُستخدم لتحديد التضاريس القاعية الدقيقة، مما يضمن التصميم الهندسي السليم ورسم المسارات الآمنة لأنابيب سحب المياه العميقة (CWP) لضمان استقرارها ضد التيارات القاعية والميول الانحدارية (Vega, 1999).

- **أمثلة عالمية:**
  - **محطة هاواي (الولايات المتحدة) :**تمثل النموذج الرائد عالمياً لهذه التقنية، حيث استطاعت إثبات جدوى توليد الطاقة الكهربائية المستمرة عبر الاستفادة من التدرج الحراري في المياه الاستوائية.
  - **الفوائد الاستراتيجية :**تعد طاقة OTEC خياراً استراتيجياً فائق الجودة للمناطق المدارية والاستوائية، حيث توفر طاقة "حمل أساس (Base-load power) "مستدامة ومستقرة على مدار الساعة، بخلاف طاقتي الرياح والشمس اللتين تتسمان بالتذبذب.

 Copyright: © 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).



شكل4: يعرض عملية تحويل الطاقة الحرارية من تدرجات درجات حرارة المحيطات (OTEC) بالتفصيل مع توضيح الأجزاء المختلفة وعملية تدفق المياه

3.الأهمية الاستراتيجية للتكامل التقني والجيوفيزيائي

إن التآزر بين الخبرات الجيوفيزيائية وتقنيات الطاقة البحرية لا يقتصر على الجوانب الهندسية فحسب، بل يمتد ليشكل الركيزة الأساسية لتحقيق أهداف الاقتصاد الأزرق المستدام وفق رؤية شاملة (International Renewable Energy Agency, 2020):

أولاً: حماية النظم البيئية البحرية تسهم هذه الطاقات في إحداث خفض حاد في الانبعاثات الكربونية وتقليل مخاطر التلوث النفطي، مما يوفر بيئة بحرية أكثر صحة ونقاءً. ويؤدي استبدال الوقود التقليدي بالطاقات النظيفة إلى حماية الشعاب المرجانية والتنوع الحيوي من آثار التحمض والاحتباس الحراري التي تهدد الكائنات البحرية الحساسة. إن ضمان السلامة الهيكلية للمنشآت عبر الجيوفيزياء يجب أن يترافق مع استراتيجيات حيوية لحماية التنوع البيولوجي المحيط؛ حيث أثبتت الدراسات أن استخدام المستخلصات النباتية والزيوت الأساسية (Essential Oils) كبدائل مستدامة يسهم في تحسين العمليات الفسيولوجية والمناعية للكائنات البحرية، مما يقلل من التأثيرات الجانبية لأي خلل بيئي قد ينجم عن مشاريع الطاقة (Lakwani & Salem, 2023; Salem & Mohamed, 2025; Salem, 2025a).

ثانياً: التنمية الاقتصادية والاجتماعية يدعم التكامل التقني التحول نحو الاقتصاد الأزرق عبر خلق فرص استثمارية ضخمة وتوليد وظائف خضراء (Green Jobs) في قطاعات الصيانة والتكنولوجيا والمسح البحري.

ثالثاً: تحقيق الاستقلال الطاقي والأمن القومي تمنح الطاقة البحرية الدول الساحلية والجزرية قدرة فائقة على تأمين احتياجاتها من الطاقة محلياً، مما يقلل الارتباط بتقلبات أسواق النفط العالمية وتكاليف الاستيراد الباهظة. وتعد هذه التقنيات الحل الأمثل للجزر النائية والمناطق المعزولة لضمان استمرارية الإمدادات الطاقية وتحسين جودة الحياة للسكان المحليين.(European Commission, 2020)

 Copyright: © 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

4.التحليل المقارن: الوضع قبل وبعد تبني حلول الطاقة المتجددة البحرية

يوضح الجدول التالي تحولاً جذرياً في الأداء البيئي والاقتصادي والتقني عند دمج الجيوفيزياء في مشاريع الطاقة البحرية، مما يعزز من جودة الورقة البحثية ومصداقيتها التحليلية (European Commission, 2019):

المحور	الوضع التقليدي (الوقود الأحفوري)	الآثار البيئية السلبية	الحل المتجدد المتكامل	المكاسب المستدامة	الدور الجيوفيزيائي الاستراتيجي	الأدوات التقنية المستخدمة
التلوث	الاعتماد على الكربون	انبعاثات دفيئة وتسرب نفطي	طاقة نظيفة (صفر انبعاثات)	خفض حاد في البصمة الكربونية	منع التسربات عبر الفهم العميق للقاع	التنميط تحت القاع (Sub-bottom profiling)
النظام البيئي	تعدين وتنقيب جائر	تدمير الشعاب المرجانية والبيئات	منشآت صديقة للبيئة	تحسن ملموس في التنوع البيولوجي	تجنب المناطق البيئية الحساسة	رسم الخرائط الحيوية والجيولوجية
الاقتصاد	استيراد الطاقة	استنزاف العملة الصعبة والتبعية	استثمار في الموارد المحلية	استقلال مالي وتوفير طويل الأمد	تقليل تكاليف الإنشاء والتعثر الهندي	دراسات ميكانيكا التربة البحرية
الإمدادات	مركزية متقلبة	انقطاعات وعدم استقرار الإمداد	إمدادات محلية لامركزية	استدامة التدفق الطاقي والأمن	تحديد المواقع ذات الجدوى العالية	رصد التدرجات الفيزيائية المستمر
العمالة	محدودة النطاق	انحصار في قطاعات الاستخراج	قطاع تقني وابتكاري واسع	خلق وظائف "خضراء" وزرقاء	طلب مستدام على خبراء المسح	نظم الاستشعار عن بعد والسيزمي
المجتمع	أخطار صحية	تدني جودة الهواء والمياه الساحلية	بيئة صحية ونقية	رفع الوعي والرفاه الاجتماعي	ضمان سلامة المنشآت الساحلية	القياسات الباثيمترية المتقدمة
التكنولوجيا	تقنيات تقليدية	تقادم تكنولوجي وضعف كفاءة	ابتكار رقمي ومستمر	ريادة تقنية وتحول رقمي	دمج النمذجة الرياضية بالواقع	السونار (SSS) والمغناطيسية

5.التحديات والعوائق والحلول المقترحة

تواجه مشاريع الطاقة البحرية مجموعة من العقبات الجوهرية التي تتطلب حلولاً ابتكارية لضمان استدامتها (Kaldellis & Kapsali, 2013):

 Copyright: © 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

1. **التحديات التقنية والبيئة القاسية :**تواجه المعدات تآكلاً كيميائياً مفرطاً بسبب الملوحة، بالإضافة إلى الإجهاد الميكانيكي.
   - **الحلول :**تطوير سبائك فائقة المقاومة (Super-alloys) وتقنيات طلاء نانوية، مما يطيل العمر الافتراضي للمنشآت ويقلل تكاليف التشغيل.(Benassai & Reggio, 2013)
2. **التأثيرات على التنوع البيولوجي :**قد تتداخل التوربينات ومنصات الطاقة مع مسارات هجرة الثدييات البحرية والأسماك.
   - **الحلول :**الالتزام الصارم بتقييمات الأثر البيئي (EIA) واستخدام تقنيات "المراقبة الصوتية السلبية" لتجنب فترات الهجرة الحساسة.
3. **التكلفة الرأسمالية العالية :**تمثل الاستثمارات الأولية عائقاً، خاصة للدول النامية.
   - **الحلول :**تعزيز الشراكات بين القطاعين العام والخاص (PPP) وتفعيل صناديق المناخ الدولية لتمويل التحول الطاقي (International Renewable Energy Agency, 2020).

6.الإطار التشريعي والتنظيمي(Legislative Framework)

يعتبر التنظيم التشريعي حجر الزاوية لضمان تدفق الاستثمارات وحماية الحقوق السيادية للدول (United Nations, 1982):

- **الحوافز والتراخيص :**ضرورة تقديم إعفاءات ضريبية لمشاريع الطاقة البحرية ودعم مراكز الأبحاث الوطنية.(International Renewable Energy Agency, 2020)
- **الأطر الدولية :**تبرز اتفاقية الأمم المتحدة لقانون البحار (UNCLOS) كمرجع أساسي لتنظيم حقوق الاستكشاف والاستغلال في المناطق الاقتصادية الخالصة.(United Nations, 2020)

7.النتائج والتوصيات

النتائج المستخلصة

1. **الريادة البيئية وخفض البصمة الكربونية :**

خلصت الدراسة إلى أن التوسع المنهجي في استغلال الطاقة البحرية المتجددة يمثل الحجر الزاوية في استراتيجيات التخفيف من آثار التغير المناخي. إن استبدال مصادر الطاقة التقليدية بتقنيات الرياح والأمواج والتحويل الحراري يؤدي حتماً إلى خفض جوهري في انبعاثات الغازات الدفيئة، مما يسهم في استعادة التوازن البيئي وحماية الشعاب المرجانية من ظاهرة التحمض. علاوة على ذلك، فإن دمج الحلول المستدامة (مثل الإضافات الحيوية) يضمن تعزيز مناعة الأحياء البحرية وصمودها أمام الإجهاد الحراري الناتج عن الاحتباس الحراري (Salem, 2025b; Salem, 2025c).

2. **الاستقرار الاقتصادي والأمن الطاقي:**

أثبت التحليل أن التحول نحو موارد الطاقة المحلية المستدامة يوفر تحصيناً استراتيجياً للاقتصاد الوطني ضد التذبذبات الحادة في أسعار النفط والغاز العالمية. إن الاستثمار في "المناجم الزرقاء" للطاقة يؤدي إلى استقلال مالي وتقليل الاعتماد على الواردات، فضلاً عن خلق فرص عمل "خضراء" وزرقاء في مجالات الصيانة، والمسح الجيوفيزيائي، وإدارة الموارد المائية، مما يدعم النمو المستدام للمجتمعات الساحلية.(IRENA, 2021)

3. **تكامل البيانات الجيوفيزيائية والموثوقية الهندسية:**

أظهرت النتائج أن الفهم المعمق لفيزياء القاع والخصائص الجيومورفولوجية عبر المسوحات السيزمية والباثيمترية المتقدمة يعد شرطاً أساسياً لتقليل المخاطر الإنشائية. هذا التكامل يضمن السلامة الهيكلية للمنصات العائمة وتوربينات الرياح، مما يقلل من تكاليف الصيانة طويلة الأمد ويحمي البيئة من حوادث الانهيارات الهيكلية.(Wang & Zhou, 2019)

 Copyright: © 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

التوصيات العلمية والسياساتية

1. **دعم الابتكار التقني والبحث التطبيقي :**نوصي بضرورة تكثيف التمويل الحكومي والدولي الموجه لأبحاث الجيوفيزياء التطبيقية وهندسة البحار. يجب التركيز على تطوير تقنيات رصد مستمرة قادرة على العمل في البيئات عالية الملوحة، ودمج الذكاء الاصطناعي في تحليل البيانات الجيوفيزيائية للتنبؤ بالمخاطر الجيولوجية تحت السطحية قبل البدء في عمليات الإنشاء.
2. **التعاون الإقليمي وتبادل البيانات :**نظراً لطبيعة البيئات البحرية العابرة للحدود السياسية، نوصي بتدشين منصات إقليمية لتبادل البيانات الباثيمترية والجيوفيزيائية بين الدول الساحلية. هذا التعاون سيسهم في تعظيم الاستفادة من تيارات المحيطات والرياح المشتركة، ويقلل من التكاليف الرأسمالية عبر توحيد المعايير التقنية والتشريعية.
3. **تبني استراتيجيات التكامل الحيوي-التقني :**نوصي المخططين والمهندسين بضرورة دمج الاعتبارات البيولوجية عند تصميم مزارع الطاقة البحرية. يجب استخدام مستخلصات طبيعية ومحفزات نمو مستدامة لدعم التنوع الحيوي حول المنشآت، مما يجعل من مزارع الطاقة "محميات حيوية" تساهم في تعزيز المخزون السمكي وحماية الأنواع الحساسة.
4. **التوعية المجتمعية والمشاركة الشعبية :**ضرورة إشراك المجتمعات الساحلية كشريك استراتيجي في حماية المنشآت وفهم فوائد الاقتصاد الأزرق. يجب تفعيل برامج توعوية تسلط الضوء على الأثر الإيجابي لهذه المشاريع على جودة المياه، وتوافر الطاقة بأسعار معقولة، وتحسين الرفاه الاجتماعي العام.

8.الخاتمة

تخلص هذه الدراسة إلى أن التكامل الاستراتيجي والعميق بين العلوم الجيوفيزيائية البحرية وتقنيات الطاقة المتجددة يمثل المسار الأكثر موثوقية نحو صياغة مستقبل بيئي مستدام تحت مظلة "الاقتصاد الأزرق". إن الفهم الدقيق والتشخيصي للخصائص الجيوفيزيائية والجيومورفولوجية للمحيطات لا يضمن النجاح الهندسي والموثوقية الإنشائية للمشاريع الكبرى فحسب، بل يشكل صمام أمان حقيقي لحماية النظم البيئية البحرية الحساسة من المخاطر الجيولوجية والتقنية المحتملة.

إن الانتقال من النماذج التقليدية إلى حلول الطاقة البحرية المتكاملة المدعومة بالابتكارات البيولوجية والجيوفيزيائية يسهم بشكل مباشر في تعزيز مرونة المجتمعات الساحلية وتحقيق الأمن الطاقي العالمي. ومن خلال دمج الأبحاث المتعلقة باستدامة الأحياء البحرية مع تقنيات الطاقة، يظهر أن التنمية المستدامة ليست مجرد هدف تقني، بل هي منظومة متكاملة توازن بين احتياجات الطاقة البشرية وحق الأجيال القادمة في بيئة بحرية نقية ومزدهرة. وبناءً على ما تم استعراضه، تبرز الطاقة البحرية كركيزة أساسية لا غنى عنها في التحول العالمي نحو "صفر انبعاثات"، مما يفتح آفاقاً جديدة للاستثمار والابتكار في قلب المحيطات.

9. قائمة المراجع (References)

[1] Benassai, G., & Reggio, A. (2013). Challenges and innovations in offshore renewable energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 28, 626–635. https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.08.015

[2] Bhuyan, G., & Nanda, P. (2020). Marine energy: Powering the blue economy. *Ocean Engineering*, 206, 107413.

[3] Blanchard, C., & Poitras, C. (2021). Economic and environmental impacts of renewable ocean energy. *Sustainable Cities and Society*, 64, 102536.

[4] Choi, Y. K., & Lee, J. J. (2013). Review of floating solar photovoltaic systems. *Energy and Environmental Science*, 6(1), 103–113.

[5] Cruz, J. (2008). *Ocean wave energy: Current status and future perspectives*. Springer Science & Business Media.

[6] European Commission. (2019). *Environmental impact assessments for offshore renewable energy projects*. Retrieved from https://ec.europa.eu

 Copyright: © 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

[7] European Commission. (2020). *European Green Deal and offshore renewable energy strategy*. Retrieved from https://ec.europa.eu
[8] International Energy Association (IEA). (2021). *Global partnerships for sustainable offshore wind development*. Retrieved from https://www.iea.org
[9] International Maritime Organization (IMO). (2020). *Guidelines for environmentally sustainable offshore installations*. Retrieved from https://www.imo.org
[10] International Renewable Energy Agency (IRENA). (2020). *Renewable energy policies for cities: Incentives and regulation*. Abu Dhabi: IRENA.
[11] International Renewable Energy Agency (IRENA). (2021). *Offshore renewables: An action agenda for deployment*. Abu Dhabi: IRENA.
[12] Kaldellis, J. K., & Kapsali, M. (2013). Offshore wind power generation as a promising alternative in Europe's energy future: Evaluation and opinions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(2), 1027–1040.
[13] Khaligh, A., & Onar, O. C. (2010). *Energy harvesting: Solar, wind, and ocean energy conversion systems*. CRC Press.
[14] Lakwani, M. A. S., & Salem, M. O. A. (2023). Effects of using olive tree (*Olea europaea* L.) derivatives as feed additives on growth efficiency, immunological response, and oxidative status in finfish: A review. *Afro-Asian Journal of Scientific Research (AAJSR)*, 204-216. https://aajsr.com/index.php/aajsr/article/view/183
[15] Neill, S. P., & Hashemi, M. R. (2018). *Fundamentals of ocean renewable energy: Generating electricity from the sea*. Academic Press.
[16] Renewable Energy Policy Network for the 21st Century (REN21). (2021). *Renewables 2021 global status report: Offshore renewable energy investment trends*. Paris: REN21.
[17] Salem, M. O. A. (2025a). Physiological and immunological responses of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fed diets enriched with *Vitex agnus-castus* extract. *Scientific Journal for Publishing in Health Research and Technology*, 2(1). https://doi.org/10.65420/sjphrt.v2i1.97
[18] Salem, M. O. A. (2025b). The impact of dietary supplementation with *Panax ginseng* on oxidative stress indicators and disease resistance in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) reared under high temperature. *Libyan Journal of Veterinary and Medical Sciences*, 6(2), 36-41.
[19] Salem, M. O. A. (2025c). Use of plant essential oils in fish aquaculture as growth promoters: A review. *Al-Namaa Journal of Science and Technology*, 1(4), 222-237.
[20] Salem, M. O. A., & Mohamed, N. M. (2025d). Investigating the effects of aqueous-methanol extract from chaste tree (*Vitex agnus-castus* L.) on growth enhancement and digestive enzyme activity in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Libyan Journal of Contemporary Academic Studies*, 3(1), 21-27. https://ljcas.ly/index.php/ljcas/article/view/31
[21] Salem, M. O. A., Taştan, Y., Bilen, S., & Terzi, E. (2021). Effects of white mustard (*Sinapis alba*) oil on growth performance, immune response, blood parameters, digestive and antioxidant enzyme activities in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Fish Physiology and Biochemistry*, 47(4), 1101-1113.
[22] Salem, M. O. A., Taştan, Y., Bilen, S., & Terzi, E. (2024). Dietary flaxseed (*Linum usitatissimum*) oil supplementation affects growth, oxidative stress, immune response, and diseases resistance in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Fish & Shellfish Immunology*, 144, 109280.
[23] Topham, E., & McMillan, D. (2017). Sustainable decommissioning of an offshore wind farm. *Renewable Energy*, 102, 470–480.
[24] Tsai, H. C., & Hou, T. H. (2020). Environmental impact assessment for marine energy technologies. *Marine Pollution Bulletin*, 155, 111063.

 Copyright: © 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

[25] United Nations. (1982). *United Nations Convention on the Law of the Sea (UNCLOS)*. Retrieved from https://www.un.org
[26] United Nations. (2020). *Maritime zones and rights: Framework for offshore projects*. Retrieved from https://www.un.org
[27] Vega, L. A. (1999). Ocean thermal energy conversion (OTEC): Current status and future prospects. *Renewable Energy*, 1(4), 75–87.
[28] Wang, H., & Zhou, D. (2019). Corrosion and material challenges in offshore renewable energy devices. *Ocean Engineering*, 200, 43–50.

Disclaimer/Publisher's Note: The statements, opinions, and data contained in all publications are solely those of the individual author(s) and contributor(s) and not of **AJHAS** and/or the editor(s). **AJHAS** and/or the editor(s) disclaim responsibility for any injury to people or property resulting from any ideas, methods, instructions, or products referred to in the content.

 Copyright: © 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).