تحقيق الأمن البحري وحماية الحياة تحت الماء في رؤية عُمان 2040: دور البنية الأساسية للبيانات المكانية البحرية[1]

نُها حمد الصبحية [1]
[1] جامعة السلطان قابوس، قسم دراسات المعلومات؛ المكتب الهيدروغرافي الوطني العُماني، البحرية السلطانية العُمانية، nuha.alsubhi@mod.gov.om

المستخلص تسعى الدراسة الحالية إلى تقييم الدور الحيوي الذي تلعبه البنية الأساسية للبيانات المكانية البحرية (**MSDI**) في تعزيز الأمن البحري، وحماية النظم الإيكولوجية تحت الماء في سلطنة عُمان، بما يتماشى مع رؤية عُمان 2040. وقد اعتمدت الدراسة على منهجية نوعية شاملة، تضمنت مقابلات مع ممثلي المؤسسات الحكومية، والقطاع الخاص، والجامعات، بهدف تحليل التحديات والفرص المرتبطة بتطبيق البنية الأساسية للبيانات المكانية البحرية. وقد أظهرت نتائج الدراسة أن هذه البنية تسهم بشكل ملحوظ في دعم المراقبة البحرية، ورصد التنوع البيولوجي، وإدارة المناطق البحرية المحمية، لكنها تواجه مجموعة من التحديات الرئيسية مثل: ضعف التكامل المؤسسي، ونقص البنية التحتية التكنولوجية، إضافة إلى القصور في التشريعات ذات الصلة. وأكدت الدراسة ضرورة تعزيز التعاون بين القطاعات المختلفة، وتبني التقنيات الحديثة مثل: الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء، لتحقيق الأهداف المستدامة، وأوصت الدراسة بأهمية إنشاء منصة وطنية موحدة لمشاركة البيانات، وتحديث التشريعات بما يتناسب مع التحديات البيئية المتزايدة، وتعزيز الوعي المجتمعي بأهمية الحفاظ على البيئة البحرية، ودَعتْ الدراسة إلى الاستثمار في بناء القدرات البشرية والتقنية لتطوير منظومة بحرية مستدامة وفاعلة.

الكلمات المفتاحية البنية الأساسية للبيانات المكانية البحرية (**MSDI**)، الأمن البحري، الاستدامة البيئية، رؤية عُمان 2040، التخطيط المكاني البحري.

ADVANCING MARITIME SECURITY AND MARINE BIODIVERSITY PROTECTION UNDER OMAN VISION 2040: THE STRATEGIC ROLE OF MARINE SPATIAL DATA INFRASTRUCTURE (MSDI)

Nuha Hamad Al-Subhiyah[1]
[1] Sultan Qaboos University, Department of Information Studies; Oman National Hydrographic Office – Royal Navy of Oman nuha.alsubhi@mod.gov.om

ABSTRACT This study aims to evaluate the role of the Marine Spatial Data Infrastructure (MSDI) in enhancing maritime security and protecting underwater ecosystems in the Sultanate of Oman, in alignment with Oman Vision 2040. A qualitative methodology was employed, involving interviews with representatives of government, private, and academic institutions to analyse the challenges and opportunities associated with MSDI implementation. The results revealed that MSDI supports maritime monitoring, biodiversity tracking, and the management of marine protected areas. However, challenges include weak institutional integration, inadequate technological infrastructure, and insufficient legislation. The study emphasized the importance of cross-sector collaboration and the adoption of advanced technologies, such as artificial intelligence and the Internet of Things (IoT), to achieve sustainability. Recommendations include establishing a unified national data-sharing platform, updating legal frameworks, raising community awareness, and investing in human and technical capacity building. These efforts are critical for aligning Oman's maritime and environmental strategies with its Vision 2040 goals.

KEYWORDS: Marine Spatial Data Infrastructure (MSDI), Maritime Security, Environmental Sustainability, Oman Vision 2040, Marine Spatial Planning (MSP).

1. المقدمة

ممَّا لا شك أن رؤية سلطنة عُمان 2040 تُجسد إطارًا استراتيجيًا طموحًا يسعى إلى إرساء أسس تنمية مستدامة تُوازن بين دفع النمو الاقتصادي وتحقيق الاستدامة البيئية. وتُولي الرؤية اهتمامًا خاصًا بتعزيز الأمن البحري، وصون النظم الإيكولوجية البحرية، باعتبارهما ركيزتين أساسيتين لضمان استدامة الموارد الطبيعية، ودعم اقتصاد المعرفة والابتكار (Suresh & Simon, 2023).

وتُعد الموارد البحرية عنصرًا حيويًا في الاقتصاد العُماني، إذ تسهم أنشطة الصيد والسياحة البحرية والتجارة عبر الموانئ بشكل كبير في الناتج المحلي، ورغم ذلك؛ تواجه هذه الموارد تحديات متزايدة بسبب التلوث البحري،

[1] تاريخ الاستلام: نوفمبر 2024، تاريخ القبول: فبراير 2025، تاريخ النشر: إبريل 2025

والصيد غير القانوني غير المُبلغ عنه وغير المنظم(IUU) ، وتأثيرات التغير المناخي، ممَّا يستوجب تبني حلول مبتكرة لإدارتها بشكل مستدام (Alkhanbashi & Ping, 2023) وتؤكد هذه الرؤية على أهمية دمج التقنيات الحديثة في الإدارة البيئية، إذ تُشكل البنية الأساسية للبيانات المكانية البحرية (MSDI) أداة محورية لتعزيز الرصد البحري، وتحليل المخاطر، واتخاذ القرارات القائمة على الأدلة (Charalampopoulou et al., 2024). وتتمثل إحدى الأولويات الرئيسية في تحقيق التكامل بين الجهود المؤسسية وتطوير أطر تشريعية تدعم جمع البيانات البحرية ومشاركتها بين الجهات المعنية، ومع ذلك، ما تزال التحديات قائمة، مثل: ضعف التنسيق بين القطاعات (Schwindenhammer et al., 2022)، ونقص البنية التحتية التكنولوجية المتقدمة(Kalbani et al., 2018) ، والافتقار إلى التشريعات الداعمة لتبادل البيانات.

وانطلاقًا من الحاجة المُلحة إلى مواءمة السياسات الوطنية مع الأهداف البيئية لرؤية عُمان 2040 (Al Saidi et al., 2023)، تسعى هذه الدراسة إلى تقييم الدور الحيوي الذي يمكن أن تضطلع به البنية الأساسية للبيانات المكانية البحرية في التصدي للتحديات الراهنة. ومن خلال تحليل الإطار المؤسسي والتقني القائم، وتشخيص الفجوات ذات الصلة، تهدف الدراسة إلى بلورة توصيات عملية قابلة للتنفيذ، يؤمل أن تعزيز توظيف البيانات المكانية في حماية الحياة البحرية وتعزيز الأمن البحري، ويُعوَّل أن تُسهم هذه التوصيات في إرساء توازن مستدام بين متطلبات التنمية الاقتصادية والحفاظ على الإرث البيئي والموارد الطبيعية التي تزخر بها سلطنة عُمان (Motlagh, 2021).

2. مشكلة الدراسة

تنبثق مشكلة البحث من التحدي المتزايد الذي تواجهه سلطنة عُمان في تحقيق التوازن المنشود بين الاستغلال الاقتصادي للموارد البحرية وضمان استدامتها البيئية، بما يتماشى مع تطلعات رؤية عُمان 2040. ويُعدّ الصيد الجائر وغير القانوني (IUU) من أبرز التهديدات المباشرة، لما له من أثر بالغ في استنزاف المخزون السمكي وتقويض التنوع البيولوجي البحري، مع خسائر اقتصادية سنوية تُقدَّر بنحو 2.4 مليار ريال عُماني (Alkhanbashi & Ping, 2023; Shammakhi et al., 2023).

أضف لذلك؛ يُمثل التلوث البحري تحديًا بيئيًا مُتفاقمًا، نتيجة تزايد ملوثات المياه الناجمة عن الأنشطة النفطية، والمخلفات الصناعية، ومياه الصرف الصحي غير المعالجة، مما يُلحق أضرارًا جسيمة بالنظم الإيكولوجية الساحلية. ويزداد هذا الخطر حدّة بفعل تسربات النفط المرتبطة بأنشطة الشحن والتنقيب البحري(Mansour et al., 2017; Du Vall, 2007) ، ما يستدعي حلولًا متقدمة تستند إلى المعرفة البيئية الدقيقة والمراقبة المستمرة، وتُعاني الإدارة المائية من قصور في معالجة المياه المنتجة من صناعة النفط والغاز، ممَّا يزيد من ندرة الموارد المائية ويهدد التوازن البيئي، في ظل ضعف التشريعات المنظمة لاستخراجها (Al-Hajri et al., 2024; Virto, 2018). علاوة على ذلك؛ فإن الفجوات في التنسيق المؤسسي وضعف البنية التحتية التكنولوجية تحدُّ من فاعلية جهود المراقبة والإنفاذ، ممَّا يستدعي تبني آليات مبتكرة لتعزيز الإدارة المتكاملة للموارد البحرية(Schwindenhammer et al., 2022) .

وفي هذا السياق، تسعى هذه الدراسة إلى تحليل دور البنية الأساسية للبيانات المكانية البحرية في تحسين كفاءة إدارة الموارد البحرية في سلطنة عُمان، عبر استكشاف سبل تعزيز التكامل المؤسسي، وتحسين آليات المراقبة، وتوظيف التكنولوجيا المتقدمة لضمان استدامة البيئة البحرية وتحقيق أهداف رؤية 2040.

3. أهداف الدراسة

تسعى هذه الدراسة إلى تقييم الدور الإستراتيجي الذي تضطلع به البنية الأساسية للبيانات المكانية البحرية في دعم الأمن البحري وصون الحياة البحرية، بما ينسجم مع تطلعات رؤية سلطنة عُمان 2040 نحو تنمية مستدامة وشاملة، وتتمثل أهداف الدراسة في الآتي:

- تحليل الإطار الحالي لمبادرة التنمية المستدامة في سلطنة عُمان، وتقييم مدى تكاملها مع الأمن البحري والحفظ البيئي.
- تعرُّف دور المبادرة في رصد الأنشطة البحرية، ومنع الصيد غير المشروع، والانتهاكات الإقليمية، والمخاطر البيئية.
- تقييم إسهام هذه البنية في حماية النظم البيئية البحرية، من خلال دعم رسم خرائط المناطق البحرية المحمية، ومراقبة التنوع البيولوجي، والحد من التأثيرات البشرية السلبية على البيئة البحرية.
- استكشاف تحديات وفرص تعزيز مؤشر التنمية المستدامة، من حيث التقنية والتنظيم والتعاون بين الجهات المعنية.
- تقديم توصيات عملية لصنّاع القرار وأصحاب المصلحة بشأن سُبل تعظيم الاستفادة من هذه المبادرة، وتوظيفها بفعالية لتحقيق أهداف الأمن البحري والحفاظ على الموارد البحرية، بما يدعم استدامة التنمية في ظل رؤية عُمان 2040.

4. أسئلة الدراسة

سَعَت هذه الدراسة إلى الإجابة عن مجموعة من الأسئلة البحثية التي تُمثل أساسًا لفهم الدور الفاعل للبنية الأساسية للبيانات المكانية البحرية في تحقيق الأهداف البيئية والأمنية لرؤية سلطنة عُمان 2040، وتتمثل هذه الأسئلة في الآتي:

1. ما مدى فاعلية دمج البنية الأساسية للبيانات المكانية البحرية في جهود الأمن البحري والحفظ البحري في سلطنة عُمان؟
2. كيف تدعم المبادرة حماية وحفظ النظم الإيكولوجية تحت سطح الماء في سلطنة عُمان، ولا سيما المناطق البحرية المحمية، ورصد التنوع البيولوجي؟
3. ما التحديات والحواجز الرئيسية التي تحول دون النجاح في تنفيذ واستخدام مؤشر التنمية المستدامة في سلطنة عُمان؟
4. ما الفرص المتاحة لتحسين دور مؤشر التنمية المستدامة في تحقيق أهداف رؤية سلطنة عُمان 2040، لا سيما من حيث التكنولوجيا والسياسات وتعاون أصحاب المصلحة؟

5. أهميّة الدراسة

تكتسب هذه الدراسة أهمية بالغة بالنسبة لواضعي السياسات في سلطنة عُمان، نظرًا لارتباطها المباشر بأهداف رؤية عُمان 2040 في مجال التنمية المستدامة والأمن البحري، من خلال تحليل دور البنية الأساسية للبيانات المكانية البحرية في تحقيق تلك الأهداف، إذ توفر الدراسة رؤى إستراتيجية لتعزيز دمج هذه التكنولوجيا المتقدمة في الأطر الوطنية، ممَّا يسهم بشكل كبير في مواءمة السياسات البحرية والبيئية مع الأهداف التنموية الشاملة. وتسلط الدراسة الضوء على قدرة هذه البنية في تعزيز الأمن البحري، من خلال تحسين عمليات المراقبة الدقيقة، والحد من الأنشطة غير القانونية، وتعزيز السيادة الوطنية على السواحل والموارد البحرية، وهو ما يعكس

أهمية هذا الدور في ضوء الموقع الإستراتيجي لسلطنة عُمان وما تتمتع به من سواحل شاسعة.

أضف ذلك؛ تُبرز الدراسة أهمية البيانات المكانية في حماية التنوع البيولوجي البحري، وإدارة المناطق البحرية المحمية، ورصد التغيرات البيئية في النظم الإيكولوجية البحرية، ممَّا يعزز من الحفاظ على الموارد البحرية، ويؤثر بشكل إيجابي في قطاعات حيوية مثل مصايد الأسماك، السياحة، والنفط والغاز، وتؤكد الدراسة ضرورة تعزيز التعاون الفاع بين الجهات الحكومية، والقطاع الخاص، والمؤسسات الأكاديمية، بما يُسهم في تطوير وتنفيذ خطط مدروسة للتخطيط المكاني البحري، ويُحسّن قدرة سلطنة عُمان على مواجهة التحديات البيئية والاقتصادية بكفاءة أكبر.

6. الدراسات السابقة

تستعرض الدراسات السابقة الإنتاج الفكري القائم من خلال محاور أساسية، بما يُسهم في تحقيق أهداف الدراسة بفاعلية، على النحو التالي:

فعالية دمج البنية الأساسية للبيانات المكانية البحرية في الأمن والحفظ البحري

تُعدُّ البنية الأساسية للبيانات المكانية البحرية أداة حيوية في الأمن البحري والحفاظ على البيئة في سلطنة عمان، ووفقًا لما أشار إليه Dineshbabu et al. (2017, 2016)، فإن البنية الأساسية للبيانات المكانية البحرية تسهم في إدارة المصايد عبر مراقبة أنشطة الصيد وتحليل أنماطه، ممَّا يساعد في منع الصيد الجائر. بينما يشير Karnad & Martin (2020) إلى دور البنية الأساسية للبيانات المكانية البحرية في دمج بيانات المصايد مع تخطيط المناطق البحرية بهدف تحقيق التوازن بين الحفظ والأنشطة الاقتصادية. وفي مجال الأمن البحري؛ يوضح Charalampopoulou et al. (2024)أن البنية الأساسية للبيانات المكانية البحرية تُعزز المراقبة عبر دمج صور الأقمار الصناعية وبيانات المستشعرات للكشف عن الصيد غير القانوني والتلوث، وهو ما يؤكده أيضًا Ariputro & Supriyadi (2024) من خلال الإشارة إلى تحسين تقييم المخاطر. ورغم ذلك، يحذر Dineshbabu et al. (2019) من تحديات توحيد البيانات والتشغيل البيني، بينما يرى Karnad & Martin (2020) أن التعاون الإقليمي يمكن أن يعزز فاعليتها في مواجهة القضايا الأمنية.

وفي سياق الطاقة المتجددة البحرية، أجرى Al Subhi & Al Suqri (2025) مراجعة منهجية لتحديات وحلول تطوير الطاقة المتجددة البحرية باستخدام البنية الأساسية للبيانات المكانية البحرية، مؤكدين على أهمية تكامل البيانات المكانية في تحديد المواقع المثلى لمشاريع طاقة الرياح والأمواج، وتحليل التأثيرات البيئية. تُقدم هذه الدراسة رؤى قيّمة حول كيفية تعزيز الاستثمار في الطاقة النظيفة مع الحفاظ على التوازن البيئي، وهو ما يتماشى مع أهداف رؤية عُمان 2040 في تحقيق التنمية المستدامة.

أما في مجال الحفظ البيئي، فيشدد Podda & Porporato (2023) على دور البنية الأساسية للبيانات المكانية البحرية في تحديد وإدارة المناطق البحرية المحمية، مدعومًا برأي Aswani & Lauer (2006) حول أهمية دمج البيانات البيئية، ويضيف Calamia (1999) بُعدًا اجتماعيًا، مشيرًا إلى ضرورة دمج المعرفة التقليدية لتعزيز جهود الحفظ، وهو أمر مهم في سلطنة عمان، إذ تؤدي مجتمعات الصيد المحلية دورًا رئيسيًا في دعم البنية الأساسية للبيانات المكانية البحرية والاقتصاد الأزرق أيضًا، إذ يوضح Kapetsky & Aguilar-Stelzenmüller et al. (2017) و Manjarrez (2010) دور البنية الأساسية للبيانات المكانية البحرية في تحسين اختيار مواقع تربية الأحياء المائية وتقليل التأثير البيئي، فيما يشير Charalampopoulou et al. (2024)إلى إمكاناتها في التنمية المستدامة عبر دمجها في التخطيط الاقتصادي.

ورغم الفوائد الجمَّة للبنية الأساسية للبيانات المكانية البحرية؛ يبرز Charalampopoulou et al. (2024) و Ariputro & Supriyadi (2024) تحديات تكامل البيانات، بينما يؤكد Dineshbabu et al. (2019) و Karnad & Martin (2020) على ضرورة بناء القدرات المؤسسية، ويشدد Aswani & Lauer (2006) و Calamia (1999) بأهمية إشراك المختصين لضمان نجاح المبادرات ذات العلاقة بالبنية الأساسية للبيانات المكانية البحرية.

دور البنية الأساسية للبيانات المكانية البحرية في حماية النظم البيئية البحرية

تُمثل حماية النظم البيئية البحرية في سلطنة عُمان محور اهتمام العديد من الدراسات، حيث أشارت McGeady et al (2023) و El-Din (2023) إلى أهمية المناطق البحرية المحمية (MPAs) في الحفاظ على التنوع البيولوجي، بينما أكد Alkhanbashi and Ping (2023) أن نجاحها يعتمد على الأطر القانونية والسياسات الفعالة. ومع ذلك، أوضح Giakoumi et al. (2024)أن إنفاذ القوانين يمثل تحديًا عالميًا، ونبَّه Pelletier (2020) إلى ضرورة برامج رصد لضمان فاعليتها، وهو ما شدد عليه Mansour et al (2017) فيما يتعلق بتهديدات الصرف الصحي وانسكابات النفط.

وفيما يتعلق برصد التنوع البيولوجي، فقد أظهرت التقنيات الحديثة مثل الحمض النووي البيئي (eDNA) والمستشعرات الصوتية فاعلية كبيرة في مراقبة الحياة البحرية، وفقًا لـ McGeady et al. (2023) و Dalongeville et al. (2022). ومع ذلك، أشار Du Vall (2007) إلى محدودية القدرة على الرصد الفوري لجودة المياه في سلطنة عُمان، بينما سلَّط Mansour et al. (2017) الضوء على دور نظم المعلومات الجغرافية (GIS) في رسم خرائط الشعاب المرجانية. وأكد Mansour (2020) أهمية تطوير نماذج تنبؤية متقدمة لتوفير حلول دقيقة في الوقت الفعلي، رغم تحذير Tupper et al. (2021) من أن نجاح هذه التقنيات مرهون بتكاملها الفعّال مع السياسات البيئية الشاملة.

ومن ثَمَّ؛ تظل التهديدات البشرية، مثل الصيد الجائر والتلوث، تحديات رئيسية، إذ يرى Tupper et al. (2021) و El-Din (2023) أن المناطق المحمية تخفف الضغط على الأحياء البحرية، لكن إنفاذ قوانين الصيد ما يزال صعبًا (Alkhanbashi and Ping, 2023; Giakoumi et al., 2024)، فيما حذَّر Du Vall (2007) و Mansour (2020) من مخاطر التلوث الناتج عن الشحن، وتناول Mansour et al. (2017) تأثيرات تغير المناخ، خاصة تبييض الشعاب المرجانية، مؤكدين أهمية برامج الرصد، في حين شدَّد Balata & Williams (2020) على دور المجتمع المحلي في استدامة جهود الحفظ.

وقد حظيت مشاركة المجتمعات المحلية في مجال البنية الأساسية للبيانات المكانية البحرية باهتمام متزايد، إذ أوصى Al-Afifi (2018) و Balata & Williams (2020) بأهمية دمج المعرفة البيئية التقليدية في

برامج الرصد، فيما اقترح Pelletier (2020) أن الإدارة المشتركة تعزز فعالية المناطق المحمية. وأكد Choudri et al. (2016) و Villasante et al. (2023) أن السياحة البيئية توفر حوافز للحفظ، لكن بدون تنظيم مناسب قد تُسبب ضغوطًا بيئية. وأسهمت التكنولوجيا في تحسين جهود الحفظ، إذ أبرز Dalongeville et al. (2022) و McGeady et al. (2023) دور الحمض النووي البيئي وتحليل البيانات الآلي في رصد التنوع البيولوجي، بينما أوضح Mansour et al. (2017) و Mansour (2020) أهمية نظم المعلومات الجغرافية في التخطيط البيئي. ورغم ذلك، فقد أكد Du Vall (2007) أن أنظمة المراقبة الفورية تواجه تحديات مالية ولوجستية تحد من انتشارها.

وفي ضوء ما أُشير إليه أعلاه من استقراء، ورغم التقدم الملحوظ في جهود الحفظ في سلطنة عُمان، تظل هناك بعض التحديات التي تواجه البنية الأساسية للبيانات المكانية البحرية، تتمثل في ضعف إنفاذ القوانين، والضغوط البشرية، وتغير المناخ قائمة، ممَّا يستدعي تبني إستراتيجيات تكاملية، إذ تدعم الدراسات أهمية المناطق المحمية (McGeady et al., 2023; El-Din, 2023)، ورصد التنوع البيولوجي (Dalongeville et al., 2022; Tupper et al., 2021)، وإشراك أصحاب المصلحة (Al-Afifi, 2018; Balata & Williams, 2020)، لكنها تشدد على الحاجة إلى آليات إنفاذ أقوى (Alkhanbashi and Ping, 2023; Giakoumi et al., 2024) وتعزيز استخدام التكنولوجيا (Du Vall, 2007; Mansour et al., 2017).

ويمكن القول؛ بأنه يمكن لسلطنة عُمان تحسين إستراتيجياتها عبر الابتكار التكنولوجي، وتعزيز السياسات، وتوسيع مشاركة المجتمع المحلي لضمان استدامة نظمها البيئية البحرية.

تحديات تنفيذ البنية الأساسية للبيانات المكانية البحرية في سلطنة عُمان

يتأثر تنفيذ مؤشر التنمية المستدامة (Sustainable Development Index (SDI)) في سلطنة عُمان بتحديات تقنية، مؤسسية، اقتصادية، وبيئية. ويشير Virto (2018) إلى أهمية تحقيق اتساق السياسات لدمج خدمات النظام البيئي البحري في الأطر الوطنية، بينما يؤكد Sprovieri et al. (2021) ضرورة تعزيز الارتباط بين العلم والسياسات لدعم التنمية المستدامة، ويوضح Fabbri et al. (2024) أن قضايا الحوكمة العابرة للحدود تعيق الإدارة الديناميكية للمحيطات، وهو تحدٍ قد تواجهه سلطنة عُمان في التخطيط البحري الإقليمي. ومن أبرز هذه التحديات كالآتي:

- **التحديات التقنية.** فقد حققت سلطنة عُمان تقدمًا في تطوير البنية الأساسية للبيانات المكانية ثنائية الأبعاد (Kalbani et al., 2018; Kalbani & Rahman, 2020)، لكن غياب البيانات ثلاثية الأبعاد يحدُّ من التخطيط المكاني المتقدم، مثل: نمذجة الفيضانات في صلالة. كما أن افتقار المنهجيات الموحدة يعقد التخطيط البحري (Malik et al., 2019)، بينما تُعيق الحواجز المؤسسية تبادل البيانات(Schwindenhammer et al., 2022) ، وهو تحدٍ قد يواجه سلطنة عُمان إذا لم يتم تعزيز آليات مشاركة البيانات.
- **التحديات الاقتصادية.** يشير Issifu et al. (2024) إلى أن إهمال البيانات الاقتصادية في التخطيط البحري قد يعوق اتخاذ القرار، ويُعدُّ نقص التمويل والموارد البشرية عقبة أمام إدارة المناطق البحرية المحمية(Gill et al., 2017) . ورغم توفر التقنيات الجيومكانية - مثل نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بُعد- إلا أنها لا تُستغل بشكل أمثل في التخطيط البحري، ممَّا قد يؤثر في فعالية تنفيذ مؤشر التنمية المستدامة (Schwartz-Belkin & Portman, 2023).
- **التحديات البيئية.** تؤثر التغيرات المناخية على توزيع الأنواع البحرية، ممَّا يستدعي إستراتيجيات إدارة تكيفية(Melbourne-Thomas et al., 2021)، كما أن نقص التنسيق في أنظمة رصد التنوع البيولوجي يُحدث فجوات بيانات تؤثر على مساهمة سلطنة عُمان في المبادرات البيئية العالمية (Satterthwaite et al., 2021).
- **التحديات الثقافية والاجتماعية.** يؤكد Schwindenhammer et al. (2022) و Pendleton et al. (2019) أهمية نشر الوعي وتعزيز التعاون بين أصحاب المصلحة، ويشير Melbourne-Thomas et al. (2021) إلى أن دمج المعرفة التقليدية يُعزز استدامة الموارد البحرية، وهو نهج يمكن أن تستفيد منه عُمان لضمان نجاح مؤشر التنمية المستدامة.

فرص تحسين البنية الأساسية للبيانات المكانية البحرية لتحقيق رؤية سلطنة عُمان 2040

تُبرز الأدبيات فرصًا لتعزيز دور مؤشر التنمية المستدامة في تحقيق رؤية عُمان 2040 من خلال التكنولوجيا، والسياسات، والتعاون الدولي، ويسهم التوأم الرقمي في محاكاة التغيرات البيئية (Brönner et al., 2023). بينما تعزز تقنيات الذكاء الاصطناعي وتحليل البيانات الضخمة دقة التنبؤات المناخية (Charalampopoulou et al., 2024; Zhang et al., 2020). ويدعم Ilias et al. (2023) تطبيقات تحليل البيانات لتحسين العمليات البحرية، فيما يُبرز Lima et al. (2023) و Racetin et al. (2022) أهمية مؤشرات الأداء (KPIs) في جودة البيانات البحرية، مستفيدين من تجربة كرواتيا في تطوير البنية التحتية للبيانات المكانية البحرية.

علاوة على ذلك؛ تُعد سيادة البيانات والعلوم المفتوحة أساسية في تحسين البنية الأساسية للبيانات المكانية البحرية، مع اقتراح منصة Blue Dataverse لدعم مبادئ FAIR (Karagiannis et al., 2023; Simoncelli et al., 2024).

أضف لذلك؛ توفر إنترنت الأشياء تحت الماء والطائرات بدون طيار فرصًا للمراقبة البيئية الفورية(Meng & Wu, 2024; Ullah et al., 2024) . على مستوى السياسات، ويُعزز التخطيط المكاني البحري (MSP) التوازن بين التنمية البيئية والاقتصادية (Racetin et al., 2022; Kirkfeldt and Santos, 2021)، بينما يدعم Brönner et al. (2023) مفهوم الاقتصاد الأزرق في الإدارة المستدامة للموارد البحرية. وتؤكد Duplisea et al. (2024) و O'Connor & Cooper (2024) أهمية البيانات المفتوحة في الحوكمة البيئية، إلا أن غموض السياسات قد يحدُّ من فاعلية مؤشر التنمية المستدامة (Kirkfeldt and Santos, 2021). وفيما يتعلق بأهمية التعاون الدولي، توصي الأدبيات بالمشاركة في شراكات مثل Ocean Decade Corporate Data Group وتعزيز القدرات التقنية والعلمية (Karagiannis et al., 2023; Racetin et al., 2022).

أما على مستوى أصحاب المصلحة، فتدعم الشراكات بين القطاعين العام والخاص جمع البيانات البحرية

(Lima et al., 2024; Meng & Wu, 2024)، مع أهمية إشراك المجتمعات المحلية والصناعات في التخطيط البحري (Sarker & Failler, 2023; Kirkfeldt and Santos, 2021). وتعزز حملات التوعية الفهم العام لدور مؤشر التنمية المستدامة، بينما تظل معالجة فجوات البيانات ضرورية (Duplisea et al., 2024; O'Connor & Cooper, 2024)، وتُمثل التجارب الدولية مصدر إلهام للاستفادة منها في مجال تحسين البنية الأساسية للبيانات المكانية البحرية، إذ يمثل توجيه INSPIRE الأوروبي أنموذجًا لمشاركة البيانات(O'Connor & Cooper, 2024) ، وتوفر برامج Copernicus وEMODNET بيانات بحرية قيمة (Charalampopoulou et al., 2024; Mickael et al., 2016). وتقدم تجارب بنجلاديش في التخطيط البحري وأيرلندا في إدارة البيانات رؤى مهمة لتطبيق مؤشر التنمية المستدامة في سلطنة عُمان (Sarker & Failler, 2023; O'Connor & Cooper, 2024).

ومن ثَمَّ؛ يمكن القول بأن تحقيق رؤية عُمان 2040 يُحتم تعزيز مؤشر التنمية المستدامة استثمارات استراتيجية في التكنولوجيا والسياسات والتعاون لضمان استدامة الموارد البحرية.

7. المنهجية

منهج الدراسة

يُعدُّ المنهج النوعي مناسبًا لفهم الظواهر في سياقاتها الطبيعية وتحليلها بعمق، إذ يتيح استكشاف العوامل الاجتماعية والثقافية والسياسية المؤثرة، وتتَّسم المقابلات الشخصية – بوصفها إحدى أدوات المنهج النوعي- بإمكانية التفاعل المباشر مع المشاركين، ممَّا يساعد على كشف أبعاد غير متوقعة. ووفقًا لـ(2014) Creswell يُستخدم المنهج النوعي لتفسير الظواهر بعمق يتجاوز التحليل الرقمي، بينما أكد Lincoln & Guba (1985)على دور المنهج النوعي في تقديم فهم تفصيلي للبيانات غير القابلة للقياس الكمي.

مجتمع عينة الدراسة

تكوَّنت عينة الدراسة من ممثلين عن القطاعين الحكومي والخاص، بالإضافة إلى ممثلين عن الجهات الأكاديمية في سلطنة عُمان، حيث تم تمثيل جامعة السلطان قابوس في هذه العينة، كما يوضحه الجدول (1). وقد تم اختيار العينة بطريقة مقصودة (عينة قصدية) استنادًا إلى مدى ارتباط الأفراد بموضوع الدراسة، وقدرتهم على تقديم بيانات ومعلومات قيمة تسهم بشكل فاعل في تحقيق أهداف البحث.

الجدول 1 عينة الدراسة

ت	الموضوعات	الترميز
١	الحوكمة المؤسسية والتنسيق بين الجهات (Institutional (Governance & Coordination	الحوكمة، التنسيق، التشريعات، السياسات
٢	التكنولوجيا والرقمنة في الأمن البحري (Technology & (Digitalization in Maritime Security	الذكاء الاصطناعي، إنترنت الأشياء، المركبات غير المأهولة، نظم المعلومات الجغرافية(GIS)
٣	التحديات البيئية وتأثير النشاط البحري (Environmental (Challenges & Marine Activities	التلوث البحري، التغير المناخي، الصيد الجائر، الاستدامة
٤	الاقتصاد الأزرق والتنمية المستدامة (Blue Economy & (Sustainable Development	رؤية عُمان ٢٠٤٠، الاقتصاد الأزرق، السياحة البحرية، استكشاف الموارد
٥	دور البيانات المكانية البحرية (Marine Spatial Data (Infrastructure - MSDI	الخرائط الجيومكانية، تحليل البيانات، حوكمة البيانات، المشاركة المؤسسية
٦	تحديات السياسات والتشريعات البحرية (Maritime (Policies & Regulations	التشريعات البحرية، الامتثال البيئي، الحوافز الحكومية، الرقابة
٧	التعاون بين القطاعات المختلفة (Cross-Sector (Collaboration	الشراكات، القطاع الخاص، المؤسسات البحثية، المجتمع المدني

أداة الدراسة وموثوقيتها

اعتمدت الدراسة على المقابلات الشخصية لجمع البيانات النوعية، نظرًا لقدرتها على استكشاف الآراء بعمق عبر التفاعل المباشر مع المشاركين. وقد تحقق صدق الأداة من خلال اختيار عينة ملائمة من الخبراء وتصميم أسئلة متسقة مع أهداف البحث. أما الثبات، فتم ضمانه عبر تسجيل المقابلات وتحليلها منهجيًا، إلى جانب مراجعة البيانات من قبل باحثين آخرين أو التحقق مع المشاركين (عضوية التحقق)، وأعتمدتْ أدوات معترف بها في الدراسات النوعية؛ لضمان الاتساق، وإمكانية تكرار الدراسة في سياقات مماثلة.

النتائج

تقدم الدراسة تحليلًا شاملًا لمقابلات ممثلي المؤسسات الحكومية والخاصة والجهات الأكاديمية في سلطنة عُمان، إذ حُللتْ المقابلات وفقًا للترميز النوعي (Qualitative Coding)، حيث تم استخدام تحليل الموضوعات (Thematic Analysis) لاستخلاص الأنماط الرئيسية المتكررة في البيانات، كما يظهرها الجدول (2) التالي:

الجدول 1 تحليل المقابلات حسب الموضوعات والترميز المناسبة لها

ت.	قطاع الأعمال	الموسسات	عدد المقابلات	الترميز
١	القطاع الحكومي	وزارة الثروة الزراعية والثروة السمكية وموارد المياه	٢	P
		المكتب الهيدروغرافي الوطني العُماني	١	
		هيئة البيئة	٢	
		وزارة النقل والاتصالات وتقنية المعلومات	١	
		الهيئة الوطنية للمساحة والجيومكانية	١	
		المركز الوطني للإحصاء والمعلومات	١	
		وزارة الطاقة والمعادن	١	
		هيئة الطيران المدني	١	
٢	القطاع الخاص	الشركة العربية للمساعدات الملاحية البحرية (أمناس)	١	R
		شركة تنمية نفط عُمان	٢	
		شركة أوكيو (OQ)	١	
		شركة تنمية أسماك العُمانية	١	
		مجموعة أسياد	١	
٣	المؤسسات الأكاديمية	جامعة السلطان قابوس	٢	A

8. منهجية الدراسة وإجراءاتها

المحور الأول: الحوكمة المؤسسية والتنسيق بين الجهات

تُعد الحوكمة المؤسسية والتنسيق بين الجهات المختلفة من العوامل الأساسية لضمان فعالية الإدارة البحرية وحماية البيئة. وتشير البيانات المستخلصة من المقابلات إلى أن تعدد الجهات المعنية بالأمن البحري يؤدي إلى تحديات متعلقة بالتداخل في الأدوار، وغياب التنسيق، وتفاوت التشريعات بين المؤسسات، ومن أبرز النقاط المهمة لمناقشتها كالآتي:

- **الحوكمة المؤسسية:** أكد P4 على الحاجة إلى إطار حوكمة واضح يحدد المسؤوليات بين الجهات المختلفة:" هناك تداخل في الصلاحيات بين الجهات الحكومية والخاصة، مما يعوق تنفيذ السياسات بفعالية". شدد P3 على ضرورة توحيد الجهود المؤسسية لضمان تحقيق أهداف الاستدامة: "لا يمكن تحقيق حماية بيئية متكاملة دون وجود حوكمة واضحة تنظم العلاقة بين الجهات المعنية". أشار P2 إلى أن نقص آليات الحوكمة يؤثر على دقة

البيانات البحرية: "تحديث سياسات الحوكمة ضروري لضمان إدارة فعالة للبيانات الملاحية وتنسيق الجهود بين الجهات المختلفة".

- **التنسيق بين الجهات:** أشار P5 إلى غياب منصة موحدة لمشاركة البيانات بين الجهات المعنية:" عدم توفر منصة مركزية لتبادل البيانات البحرية يؤثر على سرعة الاستجابة واتخاذ القرارات المناسبة". كما أوضح P6 أهمية تعزيز تبادل البيانات بين المؤسسات:" دمج البيانات الجيومكانية بين الجهات المختلفة يمكن أن يحسن من جودة القرارات المتعلقة بالملاحة البحرية". أكد P7 أن التنسيق بين الجهات يساعد في مواءمة السياسات المتعلقة بالتنقيب البحري والاستدامة:" نحتاج إلى تعزيز التكامل بين السياسات البيئية والاقتصادية لضمان استدامة الموارد البحرية".
- **التشريعات والسياسات:** صرح R5 أن اختلاف التشريعات البحرية بين الجهات يعوق تنفيذ المشاريع البيئية والتنموية:" نحتاج إلى مواءمة التشريعات بين المؤسسات المختلفة لضمان تطبيق سياسات بيئية موحدة". أوضح R2 أن التشريعات الحالية تحتاج إلى تحديث لمواكبة التطورات التكنولوجية في القطاع البحري: "الاعتماد على الأنظمة الرقمية في الامتثال البيئي يحتاج إلى تحديث مستمر للوائح البحرية". أكد A على دور البحث الأكاديمي في تطوير سياسات بحرية أكثر كفاءة:" يمكن أن تسهم الدراسات العلمية في تحسين الإطار التشريعي من خلال تقديم أدلة تدعم اتخاذ القرارات المستدامة".

المحور الثاني: التكنولوجيا والرقمنة في الأمن البحري

تؤدي التكنولوجيا الحديثة دورًا فاعلًا في تحسين الأمن البحري من خلال الرقمنة والابتكار، ومن أبرز هذه التقنيات:

- **الذكاء الاصطناعي:** أكد R3 أهمية الذكاء الاصطناعي في تحليل البيانات البيئية البحرية:" نستخدم الذكاء الاصطناعي للتنبؤ بتغيرات البيئة البحرية، مما يمكننا من اتخاذ قرارات استباقية تقلل من المخاطر البيئية". كما أشار P4 إلى أن الذكاء الاصطناعي يساعد في تعزيز الأمن البحري من خلال التنبؤ بالحوادث المحتملة: "نطور أنظمة تعتمد على الذكاء الاصطناعي لتحليل حركة السفن وكشف الأنشطة غير القانونية بفعالية أكبر". صرح P8 أن الذكاء الاصطناعي يعزز من كفاءة إدارة الحركة الجوية البحرية: "نستخدم تقنيات الذكاء الاصطناعي لتحليل بيانات الطيران البحري وتحسين مسارات الرحلات البحرية".
- **إنترنت الأشياء:** صرح P3 أن أنظمة الاستشعار الذكية تدعم عمليات مراقبة التلوث البحري: "نحن نستخدم أجهزة إنترنت الأشياء لمراقبة جودة المياه في الوقت الفعلي، مما يساعد في الكشف المبكر عن مصادر التلوث". كما أكد R2 أن إنترنت الأشياء يعزز من كفاءة المراقبة البيئية:" تساعدنا أجهزة الاستشعار الذكية في تتبع مستويات الانبعاثات البحرية، مما يتيح لنا تطبيق استراتيجيات للحد من الأثر البيئي لعملياتنا". أوضح R1 أن إنترنت الأشياء يسهم في تحسين عمليات الإرشاد الملاحي: "نستخدم إنترنت الأشياء لربط أنظمة الملاحة البحرية وتحليل بيانات الطقس والرياح لضمان سلامة الإبحار".
- **المركبات غير المأهولة:** أوضح P1 أن المركبات غير المأهولة تلعب دورًا في تحسين عمليات الاستكشاف البحري: "نستخدم الطائرات المسيرة والمركبات غير المأهولة لمراقبة سلوكيات الصيد الجائر وجمع بيانات دقيقة عن المخزون السمكي". من جهتها، أكد P5 أن هذه المركبات توفر بيانات عالية الدقة لدعم المسح البحري: "استخدام المركبات غير المأهولة في رسم الخرائط البحرية يقلل من الوقت والتكلفة ويضمن دقة أفضل للبيانات المكانية". صرح R5 أن المركبات غير المأهولة تساعد في تحسين عمليات النقل اللوجستي البحري:" نعمل على تطوير أسطول من المركبات البحرية غير المأهولة لدعم عمليات النقل والشحن البحري بطرق أكثر كفاءة وأمانًا".
- **نظم المعلومات الجغرافية(GIS) :** أشار P2 إلى أن نظم المعلومات الجغرافية تسهم في تحسين سلامة الملاحة البحرية:" نحن نعمل على تطوير خرائط بحرية رقمية تفاعلية تسهم في تحسين عمليات الملاحة وتقييم المخاطر البحرية". كما أكد P6 أن دمج نظم المعلومات الجغرافية مع البيانات البيئية يساعد في اتخاذ قرارات مستدامة:" تحليل البيانات المكانية باستخدام نظم المعلومات الجغرافية يتيح لنا فهم التأثيرات البيئية وتطوير خطط إدارة بحرية أكثر كفاءة". أوضح A أن البحث العلمي في نظم المعلومات الجغرافية يعزز من تطوير استراتيجيات إدارة الموارد البحرية:" نعمل على دراسات بحثية متقدمة لاستخدام نظم المعلومات الجغرافية في تحليل البيانات البيئية ودعم التخطيط البحري المستدام".

المحور الثالث: التحديات البيئية وتأثير النشاط البحري

تُعدُّ القضايا البيئية من أبرز التحديات التي تواجه الأمن البحري في سلطنة عمان، إذ تبرز تأثيرات النشاط البشري والتغيرات المناخية على النظم البيئية البحرية، ويتطلب التعامل مع هذه التحديات إستراتيجيات متكاملة تجمع بين اللوائح البيئية الصارمة والتكنولوجيا الحديثة لضمان استدامة الموارد البحرية، ومن أبرزها:

- **التلوث البحري:** أكد P3 أن تلوث المياه البحرية بالنفايات الصناعية والنفطية يشكل تهديدًا مباشرًا للنظم البيئية: "رصدنا تزايدًا في مستويات التلوث البحري بسبب تسربات النفط والنفايات الصلبة، مما يستدعي فرض رقابة أشد على الأنشطة البحرية والصناعية". أشار ممثل P2 إلى أهمية استخدام تقنيات الاستشعار عن بعد لمراقبة التلوث:" نستخدم أنظمة متقدمة للكشف عن الانسكابات النفطية وتحديد مصادر التلوث، مما يساعد في الاستجابة السريعة للحد من الأضرار البيئية". من جانب القطاع الخاص، أكد R3التزامها بتطوير حلول وقود نظيف لتقليل الانبعاثات البحرية:" نستثمر في تقنيات الوقود البحري النظيف للحد من التلوث الناجم عن حركة السفن وتقليل أثرها البيئي". أشار R5 إلى أهمية تعزيز الممارسات البيئية في النقل البحري: "نحرص على تبني ممارسات تشغيل صديقة للبيئة لضمان تقليل الانبعاثات الناتجة عن عمليات الشحن البحري".
- **التغير المناخي:** صرح P7 أن ارتفاع درجات حرارة البحر يؤثر على الشعاب المرجانية والتنوع البيولوجي:" التغيرات المناخية تؤثر على الحياة البحرية، ونعمل على دراسات تقييمية لتحديد مدى تأثر التنوع البيولوجي البحري بهذه التغيرات". كما أوضح A أن البحث العلمي ضروري لفهم تأثيرات التغير المناخي على البيئة البحرية:" نعمل على نماذج محاكاة لدراسة تأثيرات التغير المناخي على البيئة البحرية ووضع استراتيجيات للتكيف معها". من جهتها، أكد R2 على الحاجة إلى حلول بيئية مبتكرة:" نبحث في تقنيات لاستخلاص الكربون والتخفيف من تأثير الغازات الدفيئة الناتجة عن العمليات البحرية". أوضح P8 أن الظروف المناخية المتغيرة تؤثر على سلامة الملاحة البحرية:" نحن بحاجة إلى تحسين آليات الرصد الجوي والبحري للتعامل مع التغيرات المناخية المفاجئة".

- **الصيد الجائر:** أوضح P1 أن الصيد الجائر يمثل تهديدًا لاستدامة الموارد البحرية: "ننفذ سياسات جديدة لتنظيم الصيد، مثل فترات حظر الصيد وتطوير أنظمة مراقبة إلكترونية لضمان الامتثال للقوانين". أشار R4 إلى أن تطوير تقنيات الاستزراع السمكي يمكن أن يقلل الضغط على الموارد البحرية" :نستثمر في مشاريع استزراع الأسماك لزيادة الإنتاج بطريقة مستدامة والحد من الصيد الجائر". أكد P2 أهمية استخدام البيانات البحرية في رصد الصيد غير القانوني: "تحليل البيانات الجيومكانية يمكن أن يساعد في تحديد المناطق الأكثر تعرضًا للصيد الجائر ووضع سياسات لحمايتها".
- **الاستدامة:** أكد P5 أن توفر بيانات جيومكانية دقيقة يعزز من التخطيط المستدام للبيئة البحرية: "إدارة الموارد البحرية تحتاج إلى بيانات دقيقة تُحدّث باستمرار لدعم الاستراتيجيات المستدامة". من جهتها، صرح P4 أن الاستدامة تتطلب تعزيز استخدام التكنولوجيا في الرقابة البحرية: "نستخدم الذكاء الاصطناعي وتقنيات إنترنت الأشياء لمراقبة الأنشطة البحرية وتحليل تأثيراتها البيئية". أوضح R1 أن السلامة البحرية تعتمد على تكامل الجهود البيئية والتقنية: "يجب تطوير استراتيجيات مستدامة تضمن الحفاظ على البيئة البحرية دون التأثير على العمليات الملاحية".

المحور الرابع: الاقتصاد الأزرق والتنمية المستدامة

يُشكل الاقتصاد الأزرق أحد الركائز الأساسية لتحقيق التنمية المستدامة في سلطنة عمان، إذ تهدف رؤية عُمان 2040 إلى تحقيق توازن بين استغلال الموارد البحرية وحماية البيئة. ويُبرز هذا المحور دور الاستثمار في السياحة البحرية، الاستزراع السمكي، واستكشاف الموارد البحرية كوسائل لدعم الاقتصاد الوطني، وفيما يلي تفاصيل أدق:

- **رؤية عمان 2040:** أكد P4 أن الاستثمار في البنية التحتية للموانئ يعد عنصرًا أساسيًا لدعم الاقتصاد الأزرق: "نحن نعمل على تطوير الموانئ البحرية الذكية لرفع كفاءة النقل البحري وتحقيق التكامل بين التنمية الاقتصادية والاستدامة البيئية". أوضح P7 أن استغلال الموارد البحرية في إنتاج الطاقة المتجددة يعزز من تحقيق أهداف الرؤية: "ندرس إمكانيات استخدام طاقة المد والجزر والطاقة الشمسية البحرية كمصادر مستدامة للطاقة النظيفة".
- **الاقتصاد الأزرق:** أشار R5 إلى أن تطوير قطاع الشحن البحري يعد محركًا رئيسيًا للاقتصاد الأزرق: "نعمل على تحسين الخدمات اللوجستية البحرية وتقليل الانبعاثات الكربونية لدعم التحول نحو اقتصاد أزرق مستدام". أكد R3 أن الاستثمار في الوقود البحري النظيف يمثل خطوة مهمة نحو تعزيز الاقتصاد البحري: "تطوير وقود منخفض الانبعاثات سيساعد السفن التجارية على تقليل التأثير البيئي مع تحقيق كفاءة تشغيلية عالية". ذكر R1 أن الابتكار في خدمات الملاحة البحرية يعزز من تطور الاقتصاد الأزرق: "تحسين تقنيات المساعدة الملاحية يسهم في تعزيز كفاءة العمليات البحرية وتقليل التأثيرات البيئية".
- **السياحة البحرية:** أوضح P1 أن تعزيز السياحة البحرية سيساهم في تنويع مصادر الدخل الوطني: "نعمل على تطوير مناطق سياحية بحرية مستدامة تسهم في توفير فرص اقتصادية مع الحفاظ على البيئة البحرية". ذكر P8 أن تطوير الموانئ السياحية يمثل فرصة لتعزيز السياحة البحرية: "الاستثمار في البنية التحتية للسياحة البحرية، مثل الأرصفة السياحية والخدمات الذكية، يمكن أن يزيد من أعداد السياح ويعزز الاقتصاد المحلي". أكد R5 على أهمية تطوير الخدمات البحرية للسفن السياحية: "تحسين الموانئ السياحية وتقديم خدمات متميزة للسفن السياحية يمكن أن يسهم في زيادة إيرادات القطاع البحري".
- **استكشاف الموارد البحرية:** أكد R4 أن الاستثمارات في الاستزراع السمكي ستساعد في تلبية الطلب المحلي والعالمي على المنتجات البحرية: "تطوير تقنيات الاستزراع السمكي يمكن أن يزيد الإنتاج البحري بطريقة مستدامة، مما يدعم الأمن الغذائي في سلطنة عُمان". أوضح A أن البحث العلمي في استكشاف الموارد البحرية يعزز من تحقيق التنمية المستدامة: "نعمل على دراسات بحثية لاستكشاف التنوع البيولوجي البحري وتحديد أفضل الطرق لاستغلال الموارد البحرية دون الإضرار بالنظم البيئية". أشار P2 إلى أن تقنيات رسم الخرائط البحرية تساعد في تحديد المواقع المناسبة لاستكشاف الموارد البحرية: "نحن نستخدم بيانات جيومكانية متقدمة لتحليل مواقع الموارد البحرية والتخطيط لاستغلالها بطريقة مستدامة".

المحور الخامس: دور البيانات المكانية البحرية

تؤدي البيانات المكانية البحرية دورًا فاعلًا في دعم عمليات التخطيط والإدارة البيئية والملاحية، إذ تعتمد الجهات الحكومية والخاصة والأكاديمية على المعلومات الجيومكانية؛ لضمان استدامة الموارد البحرية وتحسين الأمن البحري، ويندرج تحت هذا المحور الآتي بيانه:

- **الخرائط الجيومكانية:** أكد P5 أن توفر خرائط بحرية دقيقة يسهم في سلامة الملاحة البحرية: "تطوير خرائط رقمية عالية الدقة يساعد في تحسين التخطيط للمناطق الساحلية وضمان الملاحة الآمنة للسفن". أشار P2 إلى أهمية التقنيات المتقدمة في رسم الخرائط البحرية: "نستخدم تقنيات السونار ونظم المعلومات الجغرافية لرسم خرائط تفصيلية لقاع البحر، مما يساعد في التخطيط المستقبلي وتجنب المخاطر الملاحية". أوضح P4 أن البيانات الجيومكانية ضرورية في تحسين إدارة الموانئ: "نعتمد على الخرائط الجيومكانية في تصميم موانئ ذكية تعزز من كفاءة عمليات الشحن والتفريغ".
- **تحليل البيانات:** صرح P6 أن تحليل البيانات البيئية البحرية يساعد في وضع استراتيجيات دقيقة: "وجود بيانات محدثة عن التيارات البحرية والتلوث البحري يساعد في التنبؤ بالمخاطر واتخاذ قرارات مدروسة". وأكد R5 أن تحليل البيانات الجيومكانية يسهم في تحسين سلاسل الإمداد البحرية: "نستخدم التحليل الجيومكاني لتحسين عمليات الشحن وتحديد أفضل الطرق البحرية لتقليل التكاليف وزيادة الكفاءة". أشارت R3 إلى أن تحليل البيانات البحرية يمكن أن يساعد في التنبؤ بالمخاطر البيئية: "تساعد البيانات المكانية في التنبؤ بالمخاطر البيئية مثل تسرب النفط والتغيرات المناخية، مما يدعم جهود الاستجابة السريعة".
- **حوكمة البيانات:** أوضح P4 أن الحوكمة الفعالة للبيانات البحرية تحتاج إلى تنسيق بين مختلف الجهات: "يجب أن يكون هناك إطار موحد لإدارة البيانات المكانية البحرية لضمان سهولة الوصول إليها وتبادلها بين الجهات المختصة". أكد P7 على أهمية وجود تشريعات واضحة لإدارة البيانات البحرية: "تنظيم عملية جمع وتبادل البيانات البحرية يمكن أن يعزز من الاستثمارات في المشاريع البحرية المستدامة". أشارت P3 إلى أن البيانات الجيومكانية تلعب دورًا رئيسيًا في تقييم الأثر البيئي للأنشطة البحرية: "يجب أن تكون هناك معايير واضحة لاستخدام البيانات المكانية في دراسة تأثير المشاريع البحرية على البيئة".
- **المشاركة المؤسسية:** شدد P3 على ضرورة مشاركة البيانات المكانية بين المؤسسات المختلفة: "التعاون بين الجهات الحكومية والشركات الخاصة ضروري لضمان تبادل المعلومات الجيومكانية

بطريقة تعزز الاستدامة البيئية". وأشار A إلى أن دعم البحث الأكاديمي في هذا المجال يساهم في تطوير حلول مبتكرة: "العمل المشترك بين المؤسسات الأكاديمية والصناعية يمكن أن يؤدي إلى تطوير نظم تحليل بيانات أكثر دقة لدعم حماية البيئة البحرية". أكد R2 أن المشاركة المؤسسية في تبادل البيانات الجيومكانية تساعد في تحسين استراتيجيات الاستدامة: "إمكانية الوصول إلى بيانات بحرية دقيقة من مختلف المؤسسات يمكن أن يساعدنا في تطوير خطط بيئية مستدامة لأنشطتنا البحرية".

المحور السادس: تحديات السياسات والتشريعات البحرية

تشكل التشريعات البحرية والسياسات التنظيمية إحدى العوامل الرئيسية في ضبط عمليات الأمن البحري وضمان الامتثال البيئي، إلا أن هناك تحديات تواجه مختلف المؤسسات في تطبيق هذه التشريعات بفعالي، من أهمها:

- **التشريعات البحرية:** أكد P4 على ضرورة تحديث القوانين البحرية لمواكبة التطورات البيئية والتكنولوجية: "تحتاج بعض القوانين البحرية إلى تعديلات مستمرة لضمان استدامة الأنشطة البحرية وحماية البيئة". أوضح P2 أن بعض التشريعات تفتقر إلى الوضوح فيما يتعلق باستخدام التكنولوجيا في الأمن البحري: "هناك حاجة إلى لوائح أكثر تفصيلًا بشأن تطبيق التقنيات الحديثة في مراقبة ورسم الخرائط البحرية". صرحت P7 أن هناك فجوة في اللوائح التي تنظم عمليات التنقيب البحري: "نحن بحاجة إلى تطوير تشريعات أكثر شمولية لضمان تقليل الأثر البيئي لأنشطة التنقيب البحرية".
- **الامتثال البيئي:** أكد P3 أن الامتثال البيئي لا يزال يمثل تحديًا بسبب نقص المراقبة الفعالة لبعض الأنشطة البحرية: "يجب أن تكون هناك رقابة أشد لضمان التزام الشركات بالقوانين البيئية وتقليل التأثيرات السلبية على البيئة البحرية". أوضح R2 أن الامتثال للمعايير البيئية يواجه تحديات تتعلق بتكاليف تنفيذ السياسات البيئية: "نحن نعمل على تطوير استراتيجيات للحد من التأثير البيئي، لكن الالتزام الصارم يتطلب استثمارات كبيرة في التكنولوجيا البيئية". صرح A أن هناك نقصًا في الأبحاث التطبيقية التي يمكن أن تدعم الامتثال البيئي البحري: "نحتاج إلى مزيد من الدراسات البحثية حول أفضل الممارسات البيئية في القطاع البحري لضمان الامتثال الفعّال".
- **الحوافز الحكومية:** أشار P7 إلى أهمية تقديم حوافز مالية للشركات التي تلتزم بالمعايير البيئية: "تقديم حوافز للشركات التي تستثمر في التكنولوجيا النظيفة سيساعد في تعزيز الامتثال البيئي وتطوير الحلول المستدامة". أوضح R3أن الحوافز الحكومية يمكن أن تدعم تطوير وقود بحري منخفض الكربون:" إذا تم تقديم دعم مالي لمشاريع الوقود النظيف، فسيكون هناك التزام أكبر من قبل الشركات بتطبيق الحلول المستدامة". أكدت R5 أن تقديم مزايا تنظيمية للشركات المستدامة سيسهم في تعزيز الاقتصاد الأزرق: "تحفيز الشركات التي تتبنى معايير الاستدامة سيشجع المزيد من الابتكار في تقنيات النقل البحري المستدام".
- **الرقابة والتنفيذ:** صرح P5 أن نقص البيانات الدقيقة يؤثر على تنفيذ التشريعات البحرية بفعالية: "وجود بيانات دقيقة يمكن أن يساعد في تحسين الرقابة على الأنشطة البحرية وضمان الامتثال للتشريعات". أوضح P8 أن اللوائح الحالية تحتاج إلى تحديث لضمان الرقابة على الموانئ والنقل البحري: "يجب أن تكون هناك أنظمة أكثر تطورًا لرصد الأنشطة البحرية وضمان الالتزام بالقوانين البحرية". أشار R1 إلى أن تحسين إجراءات الرقابة يعزز من سلامة الملاحة البحرية:" وجود نظم رقابة صارمة يمكن أن يقلل من المخاطر التشغيلية للسفن ويضمن الامتثال للقوانين البحرية".

المحور السابع: التعاون بين القطاعات المختلفة

ممَّا لا شك أن التعاون بين القطاعات المختلفة يُمثل عاملًا رئيسيًا لتعزيز الأمن البحري وحماية البيئة البحرية، إذ تتطلب الاستدامة تكامل الجهود بين الجهات الحكومية، القطاع الخاص، المؤسسات البحثية، والمجتمع المدني، ويندرج بها ما يأتي بيانه:

- **الشراكات بين القطاعات:** أكد P4 أن التعاون بين الجهات الحكومية والخاصة ضروري لتحسين البنية التحتية الرقمية للأمن البحري: "يجب أن يكون هناك تعاون أوثق بين القطاعات المختلفة لتعزيز تبادل المعلومات وتطوير حلول تكنولوجية مبتكرة لمراقبة الأمن البحري". من جهتها، أوضح P3 أن الشراكات مع المجتمع المدني والمنظمات غير الحكومية ضرورية لتنفيذ استراتيجيات الحفاظ على البيئة البحرية: "إشراك المجتمع المدني في الجهود البيئية يعزز من الوعي البيئي ويسهم في تطبيق مبادرات الحماية البحرية بفعالية". كما ذكر P5 أن التعاون بين المؤسسات الحكومية يساهم في تطوير خرائط ملاحية دقيقة:" تعزيز تبادل البيانات الجيومكانية بين المؤسسات المختلفة يتيح تحسين التخطيط البحري ودعم استراتيجيات الاستدامة البيئية".
- **دور القطاع الخاص:** صرح R5 أن الشراكة مع القطاعات البحثية تدعم تطوير ممارسات لوجستية أكثر استدامة: "العمل المشترك بين قطاع الشحن البحري والمؤسسات البحثية يمكن أن يؤدي إلى تحسين الكفاءة وتقليل التأثير البيئي لعمليات النقل البحري". من جهتها، أكد R3 على أهمية إشراك القطاع الخاص في جهود الحفاظ على البيئة البحرية: "نعمل على تطوير شراكات مع مؤسسات أكاديمية وهيئات بيئية لتطبيق حلول رقمية متقدمة لحماية البيئة البحرية". كما أشار R2 إلى أن التعاون بين الجهات المختلفة ضروري لتعزيز كفاءة السياسات البيئية: "الشراكة مع المؤسسات الحكومية تساعدنا في الالتزام بالتشريعات البيئية وتطبيق معايير الاستدامة بفعالية". أوضح R1 أن التعاون بين القطاع الخاص والهيئات التنظيمية يسهم في تعزيز معايير السلامة البحرية: "تبادل المعرفة بين الشركات البحرية والهيئات الحكومية يعزز من تطوير معايير جديدة لسلامة الملاحة البحرية".
- **دور المؤسسات البحثية:** أكد ممثل A على أهمية الشراكات بين المؤسسات البحثية والصناعية: "التعاون بين الجامعات والشركات البحرية يمكن أن يعزز الأبحاث التطبيقية في مجالات الاستدامة البحرية وحماية البيئة". كما أشار إلى أن البحث الأكاديمي يمكن أن يسهم في تحسين السياسات البحرية: "إجراء الدراسات البيئية والملاحية يساعد في اقتراح حلول عملية لتحديات الأمن البحري والتغير المناخي". أوضح P6 أن البيانات البحثية تلعب دورًا رئيسيًا في دعم القرارات البيئية المستدامة: "تحليل البيانات البيئية من خلال الأبحاث الأكاديمية يمكن أن يوفر رؤى واضحة حول التحديات البيئية ويساعد في وضع سياسات بحرية أكثر كفاءة".
- **دور المجتمع المدني:** أكد P1 أن المجتمع المدني يمكن أن يساهم في تعزيز جهود حماية الموارد البحرية: "المنظمات البيئية المجتمعية تلعب دورًا محوريًا في رفع الوعي بأهمية استدامة الثروات البحرية وتقليل الصيد الجائر". أشار P8 إلى أن التعاون مع المنظمات غير الربحية يعزز من الجهود الرقابية: "إشراك المجتمع المدني في عمليات الرقابة البيئية يساعد في تحسين تنفيذ القوانين البحرية وحماية البيئة البحرية". كما أوضح P3 أن برامج التوعية المجتمعية لها تأثير كبير على تعزيز ثقافة الاستدامة: "البرامج التي

تستهدف الصيادين والسكان الساحليين تساعد في نشر الوعي حول الممارسات البيئية الصحيحة".

مناقشة النتائج

حُللتْ نتائج الدراسة وفقًا للأهداف البحثية المحددة، والتي تتعلق:

1. **دمج البنية الأساسية للبيانات المكانية البحرية في الأمن والحفظ البحري:** أظهرت النتائج أن دمج البنية الأساسية للبيانات المكانية البحرية في الأمن البحري يُعزز المراقبة البحرية، ويسهم في مكافحة الصيد الجائر والتلوث، وفق ما أكده Dineshbabu et al. (2017). إضافةً إلى ذلك، تحسن البنية الأساسية للبيانات المكانية البحرية الاستجابة للطوارئ البحرية، مثل: تسرب النفط، وفقًا لـ Charalampopoulou et al. (2024). ومع ذلك، ما يزال التطبيق محدودًا نتيجة ضعف التكامل المؤسسي ونقص البنية التحتية التكنولوجية، وهو ما أشار إليه Schwindenhammer et al. (2022). كما تُشير نتائج الدراسة إلى إمكانية توظيف البنية الأساسية للبيانات المكانية البحرية في مجالات مبتكرة مثل الطاقة المتجددة البحرية، حيث أكدت Al-Subhi and Al-Suqri (2025) على دور هذه البنية في دعم مشاريع طاقة الرياح والأمواج عبر تحليل البيانات المكانية والبيئية، مما يعزز التكامل بين الأمن البحري والاستدامة الطاقية.
2. **حماية النظم البيئية البحرية:** أثبتت الدراسة أن البنية الأساسية للبيانات المكانية البحرية تُدعم إدارة المناطق البحرية المحمية (MPAs)من خلال رسم خرائط دقيقة للنظم البيئية، ممَّا يسهل حماية التنوع البيولوجي، وفقًا لما أشار إليه Podda & Porporato (2023)، وأن استخدام الاستشعار عن بعد وتحليل البيانات الضخمة عزَّز دقة الرصد البيئي وفقًا لـ Mansour et al. (2017)، إلا أن نقص الخبرات المتخصصة قد يؤثر في دقة التقييمات البيئية، وهو تحدٍّ أشار إليه Gill et al. (2017).
3. **التحديات في تنفيذ البنية الأساسية للبيانات المكانية البحرية بسلطنة عُمان** :تشمل التحديات ضعف تكامل البيانات بين الجهات المختلفة، ممَّا يؤدي إلى تكرار الجهود وإهدار الموارد، كما أوضح Schwindenhammer et al. (2022)، ويمثل نقص التمويل والتأهيل البشري عائقًا، وفقًا لـ Gill et al. (2017)، إلى جانب قلة استغلال التقنيات المتقدمة مثل: الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء، وهو ما أشار إليه Schwartz-Belkin & Portman (2023).
4. **فرص تعزيز البنية الأساسية للبيانات المكانية البحرية لتحقيق رؤية عُمان 2040:** توفر التكنولوجيا المتقدمة – مثل: الذكاء الاصطناعي وتحليل البيانات الضخمة - فرصًا لدعم التخطيط البحري، وفق ما ذكره Charalampopoulou et al. (2024). أضف لذلك؛ فإن إنشاء منصة وطنية لمشاركة البيانات على غرار INSPIRE Directive الأوروبي يُمكن أن يعزز التعاون المؤسسي (O'Connor & Cooper, 2024). ومن الناحية التشريعية، فإن تطوير سياسات واضحة يُعزز كفاءة الإدارة البحرية وفق ما أوضحه Virto (2018)، في حين فإن زيادة الوعي المجتمعي بأهمية البنية الأساسية للبيانات المكانية البحرية تُسهم في تعزيز مشاركة أصحاب المصلحة وذوي العلاقة (Balata & Williams, 2020).

وقد خلصتْ الدراسة إلى أن البنية الأساسية للبيانات المكانية البحرية تمتلك مقومات استراتيجية تُتيح فرصًا واسعة لتعزيز الأمن البحري، وحماية النظم البيئية البحرية في سلطنة عُمان، بما ينسجم مع توجهات التنمية المستدامة، ومع ذلك، ما تزال هناك تحديات جوهرية تعرقل فاعلية تنفيذ هذه البنية، وفي مقدمتها ضعف التكامل المؤسسي، ومحدودية التمويل، إضافة إلى القصور في توظيف التقنيات الحديثة.

ومن هذا المنطلق، فإن تطوير سياسات واضحة المعالم، وتعزيز الشراكات المؤسسية، وتبني الحلول التكنولوجية المتقدمة، تُمثل مرتكزات أساسية لتمكين هذه البنية من أداء دور محوري في دعم أهداف سلطنة عُمان البيئية والتنموية، على النحو الذي تنشده رؤية عُمان 2040.

9. الخاتمة

ارتكازًا على تحليل نتائج الدراسة، يتضح أن البنية الأساسية للبيانات المكانية البحرية تُعدُّ ركيزة إستراتيجية بالغة الأهمية في دعم منظومة الأمن البحري وتعزيز الاستدامة البيئية في سلطنة عُمان، إذ تُوفر إمكانات متقدمة في جمع وتحليل وإدارة البيانات البحرية، بما يُسهم في رفع كفاءة مراقبة الأنشطة البحرية، ورصد التغيرات البيئية، وحماية النظم البيئية الحساسة، غير أن تحقيق الأثر الكامل لهذه المبادرة الطموحة يُحتم تجاوز عدد من التحديات المحورية أبرزها: الحاجة إلى تكامل البيانات بين الجهات المعنية، وتعزيز التنسيق المؤسسي، وتطوير البنية التحتية التقنية والقدرات البشرية على حد سواء، وضرورة اعتماد سياسات وطنية واضحة، وتوسيع نطاق تبني التكنولوجيا الحديثة، إلى جانب دعم البحث العلمي والابتكار في هذا المجال، بما يُمكّن من توظيف هذه البنية الحيوية كأداة فاعلة لتحقيق الأهداف البيئية والتنموية لرؤية عُمان 2040.

10. التوصيات

استنادًا إلى نتائج الدراسة، تبرز حاجة مُلحة إلى تمكين البنية الأساسية للبيانات المكانية البحرية، وتعزيز دورها الحيوي في ترسيخ الأمن البحري وحماية النظم البيئية البحرية في سلطنة عُمان. ولتحقيق ذلك، تقتضي الضرورة اعتماد نهج شامل يتضمن مجموعة من التدخلات الإستراتيجية، من أهمها:

- **تحسين تكامل البيانات والتنسيق المؤسسي**: إنشاء منصة وطنية موحدة لمشاركة البيانات البحرية بين الجهات الحكومية والخاصة، مستوحاة من INSPIRE Directive الأوروبي، لتعزيز التعاون المؤسسي وكفاءة إدارة البيانات، ويسهل الوصول إليها بشكل آمن وفاعل.
- **التطوير التقني**: الاستثمار في تقنيات الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء لمراقبة البيئة البحرية في الوقت الفعلي، وتحسين الاستجابة لحوادث التلوث. كما يسهم تحليل البيانات الضخمة في تعزيز دقة التوقعات البيئية واتخاذ القرارات المبنية على الأدلة.
- **بناء القدرات والوعي**: تنفيذ برامج تدريبية متخصصة للعاملين في القطاع البحري، وتعزيز الوعي المجتمعي حول أهمية البنية الأساسية للبيانات المكانية البحرية من خلال حملات تستهدف مختلف أصحاب المصلحة، بما في ذلك الصيادون والمجتمعات المحلية.

- **الإصلاحات القانونية والتنظيمية:** تحديث الأطر التشريعية والتنظيمية ذات الصلة، بما يُعزيز الامتثال البيئي، إلى جانب تقديم حوافز مالية للقطاع الخاص لدعم الاستثمارات في الحلول التقنية المبتكرة التي تخدم الاستدامة البحرية.
- **تعزيز البحث العلمي والتعاون الدولي:** دعم الدراسات البحثية حول إدارة المناطق البحرية المحمية، والانضمام إلى مبادرات مثل Ocean Decade Corporate Data Group، بهدف تبادل أفضل الممارسات العالمية وتوسيع آفاق التعاون في إدارة الموارد البحرية.

10. الدراسات المستقبلية

لتحسين تطبيق البنية الأساسية للبيانات المكانية البحرية في سلطنة عُمان، فإن الدراسة الحالية تفتح آفاق الباحثين والدارسين وأصحاب القرار إلى مزيد من البحث في المجالات التالية:

- تقييم تأثير البنية الأساسية للبيانات المكانية البحرية على الاستدامة البيئية وإدارة الموارد البحرية، خاصة مع التغيرات المناخية.
- تحسين تكامل البيانات والتشغيل البيني بين النظم الجغرافية والبيئية لتعزيز كفاءة تبادل البيانات.
- تحليل نماذج الحوكمة الفاعلة، ومقارنتها بتجارب ناجحة مثل الاتحاد الأوروبي وكندا، لتطوير سياسات مناسبة للسياق العُماني.
- استكشاف دور الذكاء الاصطناعي في الأمن البحري وإدارة المصايد، خاصة في رصد الصيد غير القانوني وتعزيز الإنفاذ البيئي.
- تحقيق التوازن بين التنمية الاقتصادية وحماية البيئة البحرية لدعم أهداف رؤية عُمان 2040 بفاعلية واستدامة.

المصادر

Al Kalbani, K., Abdul Rahman, A., Abulibdeh, A., Sani, M. J., & Rashidan, H. (2022). Spatial Data Infrastructure (SDI) in Oman and Qatar - Current Status and Perspectives. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 46(4/W3-2021), 17–22. https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVI-4-W3-2021-17-2022

Al Saidi, Y., Al Badri, F., Al-Hakmani, F., & Al-Mahrezi, A. (2023). Oman Vision 2040: Time to Upgrade Occupational Medicine. *Oman Medical Journal*, 38(1). https://doi.org/10.5001/omj.2023.92

Al Subhi, N. H., & Al Suqri, M. N. (2025). Marine Spatial Data Infrastructure and Sustainable Energy for All: A Systematic Review of Challenges and Solutions for Offshore Renewable Energy Development. In The Seventh Youth Research Forum 2025. *Qatar University Young Scientists Center - Qatar University*. http://hdl.handle.net/10576/62604

Al-Afifi, Zakiya Musallam Mohammed .(2018). The Conservation, Sustainable Use and Management of Mangrove Habitats in Oman. PhD thesis, *University of York*.

Al-Hajri, A., Al-Kindi, S. S., & Harrasi, A. (2024). Challenges to Opportunities: Water Management Journey from Oman South. *In the SPE Conference at the Oman Petroleum & Energy Show*. https://doi.org/10.2118/218606-ms

Alkhanbashi, M., & Ping, F. (2023). Evaluating the Management Effectiveness of Nature Reserves by using WWF's Management Effectiveness Tracking Tool (RAPPAM). *International Journal of Scientific and Research Publications*, 13(5), 23–45. https://doi.org/10.29322/ijsrp.13.05.2023.p13705

Ariputro, A. B., & Supriyadi, A. A. (2024). The Role of Maritime Geospatial in Navigating Uncharted Waters Mapped. *Remote Sensing Technology in Defense and Environment*, 1(1), 19–27. https://doi.org/10.61511/rstde.v1i1.2024.844

Aswani, S., & Lauer, M. (2006). Incorporating Fishermen's Local Knowledge and Behavior into Geographical Information Systems (GIS) for Designing Marine Protected Areas in Oceania. *Human Organization*, 65(1), 81–102. https://doi.org/10.17730/humo.65.1.4y2q0vhe4l30n0uj

Balata, F., & Williams, C. (2019). The Role of Coastal Communities in the Sustainable Management of Marine Protected Areas. *In Elsevier eBooks* (pp. 113–129). https://doi.org/10.1016/b978-0-08-102698-4.00006-x

Brönner, U., Sonnewald, M., & Visbeck, M. (2023). Digital Twins of The Ocean Can Foster a Sustainable Blue Economy in A Protected Marine Environment. *The International Hydrographic Review*, 29(1), 26–40. https://doi.org/10.58440/ihr-29-a04

Calamia, M. (1999). A methodology for Incorporating Traditional Ecological Knowledge with Geographic Information Systems for Marine Resource Management in the Pacific. https://www.spc.int/DigitalLibrary/Doc/FAME/InfoBull/TRAD/10/TRAD10_02_Calamia.pdf

Charalampopoulou, V., Marinou, E., Kontopoulos, C., & Kolokoussis, P. (2024). OCEANIDS: Utilizing Copernicus Satellite Imagery Open Data Infrastructures for User-driven Applications and Tools for Climate-Informed Maritime Spatial Planning and Integrated Seascape Management, towards a Resilient & Inclusive Blue Economy. *In the EGU General Assembly 2024*. Vienna, Austria. https://doi.org/10.5194/egusphere-egu24-2538

Choudri, B. S., Baawain, M., & Ahmed, M. (2016). An Overview of Coastal and Marine Resources and Their Management in the Sultanate of Oman. *Journal of Environmental Management and Tourism*, 7(1), 21–32. https://doi.org/10.14505/JEMT.V7.1(13).02

Creswell, J. W. (2014). Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches. *SAGE Publications*.

Areas in Southern European Seas. *Journal of Environmental Management*, 355, 120476. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.120476

Gill, D. A., Mascia, M. B., Ahmadia, G. N., Glew, L., Lester, S. E., Barnes, M., Craigie, I., Darling, E. S., Free, C. M., Geldmann, J., Holst, S., Jensen, O. P., White, A. T., Basurto, X., Coad, L., Gates, R. D., Guannel, G., Mumby, P. J., Thomas, H., . . . Fox, H. E. (2017). Capacity Shortfalls Hinder the Performance of Marine Protected Areas Globally. *Nature*, 543(7647), 665–669. https://doi.org/10.1038/nature21708

Ilias, L., Tsapelas, G., Kapsalis, P., Michalakopoulos, V., Kormpakis, G., Mouzakitis, S., & Askounis, D. (2023). Leveraging Extreme Scale Analytics, AI and Digital Twins for Maritime Digitalization: The Vesselai Architecture. *Frontiers in Big Data*, *6*. https://doi.org/10.3389/fdata.2023.1220348

Issifu, I., Dahmouni, I., García-Lorenzo, I., & Sumaila, U. R. (2024). Economics in Marine Spatial Planning: A Review of Issues in British Columbia and Similar Jurisdictions. *Sustainability*, 16(3), 1210. https://doi.org/10.3390/su16031210

Jentoft, S., & Knol, M. (2014). Marine Spatial Planning: Risk or Opportunity for Fisheries in the North Sea? MAST. *Maritime Studies/Maritime Studies*, 12(1). https://doi.org/10.1186/2212-9790-12-13

Kalbani, K. A., Rahman, A. A., Awadhi, T. A., & Alshannaq, F. (2018). Development of a Framework for Implementing 3D Spatial Data Infrastructure in Oman – Issues and Challenges. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences/International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-4/W9, 243–246. https://doi.org/10.5194/isprs-archives-xlii-4-w9-243-2018

Kapetsky, J. M., & Aguilar-Manjarrez, J. (2010). Geographic Information Systems, Remote Sensing and Mapping for the Development and Management of Marine Aquaculture. *Food And Agriculture Organization of The United Nations*. https://www.fao.org/docrep/009/a0906e/a0906e.pdf

Karagiannis, V., Al-Naday, M., & De Block, T. (2023). The Blue Dataverse: A System for Marine Data Sovereignty. *In 2023 IEEE 9th World Forum on Internet of Things (WF-IoT)* (pp. 1–6). https://doi.org/10.1109/wf-iot58464.2023.10539378

Karnad, D., & St Martin, K. (2020). Assembling Marine Spatial Planning in the Global South: International Agencies and the Fate of Fishing Communities in India. *MAST. Maritime Studies/Maritime Studies*, 19(3), 375–387. https://doi.org/10.1007/s40152-020-00164-4

Dalongeville, A., Boulanger, E., Marques, V., Charbonnel, E., Hartmann, V., Santoni, M. C., Deter, J., Valentini, A., Lenfant, P., Boissery, P., Dejean, T., Velez, L., Pichot, F., Sanchez, L., Arnal, V., Bockel, T., Delaruelle, G., Holon, F., Milhau, T., . . . Mouillot, D. (2022). Benchmarking Eleven Biodiversity Indicators Based on Environmental DNA Surveys: More Diverse Functional Traits and Evolutionary Lineages Inside Marine Reserves. *Journal of Applied Ecology*, 59(11), 2803–2813. https://doi.org/10.1111/1365-2664.14276

Dineshbabu, A. P., Thomas, S., & Dinesh, A. C. (2016). CMFRI Special Publication No.121 Handbook on Application of GIS as a Decision Support Tool in Marine Fisheries. *ICAR-Central Marine Fisheries Research Institute*. http://eprints.cmfri.org.in/11268/

Dineshbabu, A. P., Thomas, S., & Shailaja, S. (2017). Efficacy of Spatial Study on Catch and Effort from Fishing Vessels for Strengthening Fisheries Management. *Journal of the Marine Biological Association of India*, 59(1), 31–35. https://doi.org/10.6024/JMBAI.2017.59.1.1923-05

Dineshbabu, A. P., Thomas, S., Rohit, P., & Maheswarudu, G. (2019). Marine Spatial Planning for Resource Conservation, Fisheries Management and for Ensuring Fishermen Security–Global Perspectives and Indian Initiatives. *Current Science*, 116(4), 561. https://doi.org/10.18520/cs/v116/i4/561-567

Du Vall, K. (2007). First Middle-Eastern Cabled Seabed Observatory: Oman deployment Provides Insights into Long-Term Arabian Sea Environmental conditions. *Oceans*, 1–5. https://doi.org/10.1109/oceans.2007.4449215

Duplisea, D. E., Roux, M., Plourde, S., Galbraith, P. S., Blais, M., Benoît, H. P., Sainte-Marie, B., Lavoie, D., & Bourdages, H. (2024). Facilitating an Ecosystem Approach Through Open Data and Information Packaging. *ICES Journal of Marine Science*, 81(4), 724–732. https://doi.org/10.1093/icesjms/fsae024

El-Din, N. E. T. S. (2023). Protected Areas in Marine Ecosystem. *In Marine ecology* (pp. 109–154). https://doi.org/10.2174/9789815051995123030006

Fabbri, F., Druon, J., Godley, B. J., & March, D. (2024). Geospatial Identification of Stakeholders to Support Dynamic Ocean Management in Transboundary Areas. *Marine Policy*, 161, 106035. https://doi.org/10.1016/j.marpol.2024.106035

Giakoumi, S., Hogg, K., Di Lorenzo, M., Compain, N., Scianna, C., Milisenda, G., Claudet, J., Damalas, D., Carbonara, P., Colloca, F., Evangelopoulos, A., Isajlović, I., Karampetsis, D., Ligas, A., Marčeta, B., Nenciu, M., Nita, V., Panayotova, M., Sabatella, R., . . . Di Franco, A. (2024). Deficiencies in Monitoring Practices of Marine Protected

on Marine Data and Information Systems. https://archimer.ifremer.fr/doc/00355/46614/

Motlagh, H. R. S. (2021). Study the Role of Maritime Energy Management in Achieving the United Nations Sustainable Development Goals (UN SDGs), in Particular, Goal 7, in Oman Maritime Community. *Sustainable Marine Structures*, 2(2), 1–12. https://doi.org/10.36956/sms.v2i2.300

O'Connor, H. M., & Cooper, J. a. G. (2024). Coastal and Marine Management – Navigating Islands of Data. *Marine Policy*, 169, 106279. https://doi.org/10.1016/j.marpol.2024.106279

Pelletier, D. (2020). Assessing the Effectiveness of Coastal Marine Protected Area Management: Four learned lessons for science uptake and upscaling. *Frontiers in Marine Science*, 7. https://doi.org/10.3389/fmars.2020.545930

Pendleton, L. H., Beyer, H., Estradivari, N., Grose, S. O., Hoegh-Guldberg, O., Karcher, D. B., Kennedy, E., Llewellyn, L., Nys, C., Shapiro, A., Jain, R., Kuc, K., Leatherland, T., O'Hainnin, K., Olmedo, G., Seow, L., & Tarsel, M. (2019). Disrupting Data Sharing for A Healthier Ocean. *ICES Journal of Marine Science*, 76(6), 1415–1423. https://doi.org/10.1093/icesjms/fsz068

Podda, C., & Porporato, E. M. D. (2023). Marine Spatial Planning for Connectivity and Conservation Through Ecological Corridors Between Marine Protected Areas and Other Effective Area-Based Conservation Measures. *Frontiers in Marine Science*, 10. https://doi.org/10.3389/fmars.2023.1271397

Racetin, I., Pamuković, J. K., & Zrinjski, M. (2022). Role of Marine Spatial Data Infrastructure and Marine Cadastre in A Sustainable World. *Journal of Marine Science and Engineering*, 10(10), 1407. https://doi.org/10.3390/jmse10101407

Sarker, S., & Failler, P. (2023). Towards a Data-Driven Marine Spatial Plan for the Maritime Area of Bangladesh. *Journal of the Indian Ocean Region*, 19(3), 220–237. https://doi.org/10.1080/19480881.2023.2292913

Satterthwaite, E. V., Bax, N. J., Miloslavich, P., Ratnarajah, L., Canonico, G., Dunn, D., Simmons, S. E., Carini, R. J., Evans, K., Allain, V., Appeltans, W., Batten, S., Benedetti-Cecchi, L., Bernard, A. T. F., Bristol, S., Benson, A., Buttigieg, P. L., Gerhardinger, L. C., Chiba, S., . . . Zivian, A. (2021). Establishing the Foundation for the Global Observing System for Marine Life. *Frontiers in Marine Science*, 8. https://doi.org/10.3389/fmars.2021.737416

Schwartz-Belkin, I., & Portman, M. E. (2023). Exploring Barriers to The Implementation of Geospatial Technologies in Marine Spatial Planning: Reports from Practitioners. *Marine Policy*, 159, 105891. https://doi.org/10.1016/j.marpol.2023.105891

Kirkfeldt, T. S., & Santos, C. F. (2021). A review of Sustainability Concepts in Marine Spatial Planning and the Potential to Supporting the UN Sustainable Development Goal 14. *Frontiers in Marine Science*, *8*. https://doi.org/10.3389/fmars.2021.713980

Lima, K., Iovino, L., Rossi, M. T., Heldal, R., Oyetoyan, T. D., & De Sanctis, M. (2023). Marine Data Observability using KPIS: An MDSE Approach. *In 2023 ACM/IEEE 26th International Conference on Model Driven Engineering Languages and Systems (MODELS)* (pp. 24–35). https://doi.org/10.1109/models58315.2023.00016

Lincoln, Y. S., & Guba, E. G. (1985). Naturalistic Inquiry. *SAGE Publications*.

Malik, M., Schimel, A. C. G., Masetti, G., Roche, M., Deunf, J. L., Dolan, M. F., Beaudoin, J., Augustin, J., Hamilton, T., & Parnum, I. (2019). Results from the First Phase of the Seafloor Backscatter Processing *Software Inter-Comparison Project. Geosciences*, 9(12), 516. https://doi.org/10.3390/geosciences9120516

Mansour, S. (2020). Geospatial Modeling of Environmental Hazards to Coral Reefs in the Oman Sea. *Coral Reefs*, 39(3), 555–575. https://doi.org/10.1007/s00338-020-01900-2

Mansour, S., Awadhi, T. A., Hatrushi, S. A., & Buloshi, A. A. (2017). The Anthropogenic Effects on Coral Reefs Across Northern Coasts of Oman: A GIS based Modeling. *Geoinformatics & Geostatistics an Overview*, 05(01). https://doi.org/10.4172/2327-4581.1000157

McGeady, R., Runya, R. M., Dooley, J. S. G., Howe, J. A., Fox, C. J., Wheeler, A. J., Summers, G., Callaway, A., Beck, S., Brown, L. S., Dooly, G., & McGonigle, C. (2023). A review of New and Existing Non-Extractive Techniques for Monitoring Marine Protected Areas. *Frontiers in Marine Science*, 10. https://doi.org/10.3389/fmars.2023.1126301

Melbourne-Thomas, J., Audzijonyte, A., Brasier, M. J., Cresswell, K. A., Fogarty, H. E., Haward, M., Hobday, A. J., Hunt, H. L., Ling, S. D., McCormack, P. C., Mustonen, T., Mustonen, K., Nye, J. A., Oellermann, M., Trebilco, R., Van Putten, I., Villanueva, C., Watson, R. A., & Pecl, G. T. (2021). Poleward Bound: Adapting to Climate-Driven Species Redistribution. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 32(1), 231–251. https://doi.org/10.1007/s11160-021-09641-3

Meng, X., & Wu, X. (2024). Robust Resource Allocation for Air–Ocean Integrated Networks Considering Wave Effect. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 20(10), 11676–11686. https://doi.org/10.1109/tii.2024.3412160

Mickael, T., Catherine, S. L. B., Julien, M., & Erwann, Q. (Eds.). (2016). Sextant: A Spatial Data Infrastructure for Marine Environments. *In IMDIS 2016, International Conference*

eBooks (pp. 131–148). https://doi.org/10.1007/978-3-319-51159-7_6

Suresh, S. P., & Simon, S. (2023). Measuring Sustainable Ecocentric Views of Young Entrepreneurs with NEP Scale - A Way Forward to Oman 2040 vision. *European Journal of Sustainable Development*, 12(1), 129. https://doi.org/10.14207/ejsd.2023.v12n1p129

Tupper, M., Guppy, R., & Ramsewak, D. (2021). Coral Reef Management in the Arabian Seas (pp. 1041–1071). *Springer*. https://doi.org/10.1007/978-3-030-51506-5_45

Ullah, I., Ali, F., Sharafian, A., Ali, A., Naeem, H. M. Y., & Bai, X. (2024). Optimizing Underwater Connectivity Through Multi-Attribute Decision-Making for Underwater IoT Deployments Using Remote Sensing Technologies. *Frontiers in Marine Science*, 11. https://doi.org/10.3389/fmars.2024.1468481

Villasante, S., Ainsworth, G., Pita, P., Belgrano, A., Bennett, N., & Sumaila, U. R. (2023). The Role of Marine Protected Areas (MPAs) in Providing Ecosystem Services to Improve Ocean and Human Health (pp. 23–37). *Elsevier BV*. https://doi.org/10.1016/b978-0-323-95227-9.00013-0

Virto, L. R. (2018). A Preliminary Assessment of The Indicators for Sustainable Development Goal (SDG) 14 "Conserve and Sustainably Use The Oceans, Seas and Marine Resources for Sustainable Development." *ideas.repec.org*. https://ideas.repec.org/p/fae/ppaper/2018.03.html

Zhang, K., Geng, X., & Yan, X. (2020). Prediction of 3-D Ocean Temperature by Multilayer Convolutional LSTM. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 17(8), 1303–1307. https://doi.org/10.1109/lgrs.2019.2947170

Schwindenhammer, D., Francis, J., Gudka, M., Kegler, H., Muhando, C., Reuter, H., George, R., Wambiji, N., & Schlüter, A. (2022). Paradox Incentive Structures And Rules Governing Sharing of Coastal and Marine Data in Kenya and Tanzania: Lessons for The Western Indian Ocean. *Western Indian Ocean Journal of Marine Science*, 1/2022, 33–46. https://doi.org/10.4314/wiojms.si2022.1.3

Shammakhi, B. N. S. Al, Ravikumar, A., Meesaala, K. M., Puthukulam, G., & Sharma, R. V. (2023). Exploring Prospects, Challenges and Pathways to Economic and Sustainable Growth: Perception of Omani Fishermen. *International Journal of Membrane Science and Technology*, 10(3), 2243–2255. https://doi.org/10.15379/ijmst.v10i3.1950

Simoncelli, S., Manzella, G. M., Storto, A., Pisano, A., Lipizer, M., Barth, A., Myroshnychenko, V., Boyer, T., Troupin, C., Coatanoan, C., Pititto, A., Schlitzer, R., Schaap, D. M., & Diggs, S. (2022). A Collaborative Framework Among Data Producers, Managers, and Users. *In Elsevier eBooks* (pp. 197–280). https://doi.org/10.1016/b978-0-12-823427-3.00001-3

Sprovieri, M., D'Alcalà, M. R., Roose, P., Drago, A., De Cauwer, K., Falcini, F., Lips, I., Maggi, C., Mauffret, A., Tronczynski, J., Zeri, C., & Moretti, P. F. (2021). Science for Good Environmental Status: A European Joint Action to Support Marine Policy. *Sustainability*, 13(15), 8664. https://doi.org/10.3390/su13158664

Stelzenmüller, V., Gimpel, A., Gopnik, M., & Gee, K. (2017). Aquaculture Site-Selection and Marine Spatial Planning: The Roles of GIS-Based Tools and Models. *In Springer*