# الثروة السمكية في اليمن وتغير المناخ

كال كوستا، وهيلين دونات، وصالح فضل، وآمنة محمود، وأوستن إل رايت

- يمثل الساحل اليمني - بموارده البحرية الغنية والمتنوعة ومصايد الأسماك الوفيرة - ركيزة أساسية للاقتصاد الوطني والأمن الغذائي وسبل العيش للسكان المحليين. ومع ذلك يواجه هذا الساحل تهديدات جسيمة تتفاقم بفعل تغير المناخ والصراع الداخلي الطويل الأمد.

- يقوم التقرير بتحليل التأثيرات الناجمة عن تغير المناخ على النظم البيئية البحرية، بما في ذلك التقلبات الموسمية، والاتجاهات البيئية طويلة الأجل، والظواهر الجوية القاسية مثل إعصار تيج الذي ضرب المنطقة في عام 2023.

- يقدم التقرير أيضاً تقييماً لقطاع الثروة السمكية في اليمن، ويعمل على تحديد الاتجاهات التاريخية للقطاع، والاضطرابات الناجمة عن الصراع، والثغرات الحرجة في الممارسات الحالية في الرصد والإدارة.

- تقترح الدراسة - من خلال الاستفادة من تقنية الاستشعار عن بعد عبر الأقمار الصناعية، والرؤية الحاسوبية، والبيانات الميدانية التعاونية - إطاراً ديناميكياً لتنشيط البحوث البحرية وإدارة الثروة السمكية.

- ويؤكد التقرير على الحاجة الملحة إلى سياسات موجهة وقابلة للتكيف ومبنية على الأدلة لحماية النظم البيئية الساحلية في اليمن والمجتمعات المعتمدة عليها.

يُعد الساحل اليمني - الممتد على طول جنوب البحر الأحمر وخليج عدن وشمال غرب البحر العربي – كنزاً من التنوع البيولوجي البحري ومصدراً غنياً بالثروة السمكية ذات الإنتاجية العالية. وعليه، فهو يكتسب أهمية قصوى للاقتصاد الوطني والأمن الغذائي وسبل عيش الكثير من اليمنيين. ومع ذلك فإن التفاعل المعقد بين تغير المناخ العالمي والصراع الداخلي المستمر قد أثّر سلباً على النظم البيئية البحرية وإدارة مصائد الأسماك، مما زاد من حدة التحديات القائمة.

يقدم هذا الموجز السياسي خلاصة لأهم النتائج التي توصل إليها تقرير "xxx"، والذي يقدم تحليلاً معمقاً للتغيرات المناخية والتي تؤثر على النظام البيئي البحري في اليمن، بالإضافة إلى الثغرات في ممارسات مراقبة مصائد الأسماك، ويقترح إطاراً عملياً لتنشيط البحوث البحرية وإدارتها.

الشكل 1: خريطة الساحل اليمني

## 1. التغيرات في صحة النظام البيئي البحري الناجمة عن تغير المناخ

تغطي المياه الساحلية اليمنية الجزء الجنوبي من البحر الأحمر وخليج عدن وشمال غرب البحر العربي. تواجه هذه المناطق آثاراً واضحة لتغير المناخ العالمي الذي يؤثر على النظم البيئية البحرية ومصايد الأسماك وسبل العيش الساحلية. فارتفاع درجة حرارة سطح البحر، وتغير أنماط إنتاجية العوالق النباتية، والتغيرات في ملوحة السطح، والمخاوف الناشئة بشأن تحمض المحيطات تعتبر قضايا محورية. وعلى مدى العقد الماضي، تسارعت وتيرة البحث في المياه القريبة من البحر الأحمر وخليج عدن والبحر العربي، في سياق الحاجة إلى تقييم آثار تغير المناخ على الموارد البحرية. ومع ذلك، منذ عام 2014، أدّت القيود المرتبطة بالصراع بشكل كبير إلى الحد من أخذ العينات المباشرة والعمل الميداني في المياه اليمنية. وقد خلق هذا الوضع فجوات عدة يمكن للأدوات القائمة على الأقمار الصناعية وتقنيات الرؤية الحاسوبية والتعاون في الموقع أن تساعد في معالجتها. وفيما يلي، سيتم استعراض النتائج الأخيرة حول اتجاهات درجة حرارة سطح البحر وتغيرات الملوحة وإنتاجية العوالق النباتية وتحمض المحيطات في سياق الثروة السمكية والصحة البحرية في اليمن. ثم سينتقل النقاش إلى إلقاء نظرة فاحصة على العوامل المناخية البطيئة الظهور، مثل الاحترار وتغير الإنتاجية، والظواهر الجوية القاسية، مثل الأعاصير الشديدة، لتوضيح مجموعة التأثيرات المناخية التي تؤثر حالياً على السواحل اليمنية.

### 1.1 المقدمة

يقع اليمن عند تقاطع مناطق بحرية متنوعة: جنوب البحر الأحمر، الذي يتميز بارتفاع استثنائي في الملوحة واتجاهات الاحترار؛ وخليج عدن، المتأثر بدورات الرياح الموسمية القوية والتيارات الصاعدة؛ وشمال غرب البحر العربي، المعروف بذروات الإنتاجية الموسمية. تدعم هذه المياه الشعاب المرجانية، ومصائد الأسماك التي تعتمد على التيارات الصاعدة، والموائل الحيوية للأنواع المهاجرة. وقد أدى تغير المناخ إلى ارتفاع درجات حرارة سطح البحر فوق المعدلات التاريخية، مع تجاوز أنماط متوسط الاحترار العالمي. يؤكد التحليل ويُوسّع نطاق ملاحظة التغيرات في مستويات الكلوروفيل-أ التي تعكس التحولات في إنتاجية

العوالق النباتية، بالإضافة إلى التعديلات في الملوحة التي قد تعكس التغيرات في هطول الأمطار والتبخر وتبادل مياه المحيطات. ولا تزال مخاوف تحمض المحيطات قائمة بسبب محدودية الملاحظات المباشرة في اليمن، على الرغم من أن الدراسات العالمية تشير إلى أن بحار اليمن، شأنها شأن المناطق الاستوائية وشبه الاستوائية الأخرى التي تتبع الاتجاه العالمي في انخفاض درجة الحموضة. هذه الصورة المناخية العامة لها آثار كبيرة على الثروة السمكية وسبل العيش وصحة النظام البيئي. وقد شكّل رصد هذه المؤشرات تحدياً في البحر الأحمر والبحر العربي، نظراً لانقطاع جمع البيانات، إلا أن الاستشعار عن بُعد والاستراتيجيات الميدانية التعاونية أصبحتا أدواتٍ أساسية لسد مثل هذه الفجوات المعرفية.

### 1.2 مؤشرات صحة النظام البيئي البحري

تم تحديد أربعة مؤشرات كسمات أساسية لتغير ظروف المحيطات: درجة حرارة سطح البحر، ومستوى الكلوروفيل-أ، ودرجة ملوحة سطح البحر، ومقاييس حموضة المحيطات مثل الرقم الهيدروجيني أو تشبع الأراجونيت. في السياق الساحلي لليمن، تكشف هذه المتغيرات كيف يطال التأثير المناخي النظم البيئية. تمارس درجة حرارة سطح البحر تأثيراً واسعاً من خلال تحديد الإجهاد الحراري وملاءمة الموائل. ويعمل الكلوروفيل-أ كبديل للكتلة الحيوية للعوالق النباتية، وهي ضرورية لشبكة الغذاء البحري. كما تنظم الملوحة قابلية الطفو ودوران المياه ونطاق بقاء العديد من الأنواع السمكية. وتشكل حموضة المحيطات - الناجمة عن زيادة امتصاص ثاني أكسيد الكربون - مخاطر على الشعاب المرجانية والمحاريات والعوالق المكلسة. تؤكد الأدبيات العلمية الموجودة على الدور الحاسم لهذه المتغيرات الأربعة في فهم حيوية النظام البيئي البحري. وعلى الرغم من محدودية توافر البيانات عن اليمن، فقد أظهرت تحليلات الأقمار الصناعية والبحوث التعاونية الإقليمية أن أي تغيرات مطولة في درجة حرارة سطح البحر، أو درجة ملوحته، أو مستوى الكلوروفيل يمكن أن تُعيد تشكيل مصائد الأسماك. ولا يزال التحمض يُشكل تهديداً أقل وضوحاً، لكن الاتجاهات العالمية تُشير إلى أنه سيزداد أهمية بمرور الوقت، وخاصةً بالنسبة لأنظمة الشعاب المرجانية.

### 1.3 الدراسات الإقليمية حول تأثيرات تغير المناخ

تؤكد التحليلات الحديثة للبحر الأحمر أن هذا المسطح المائي يسخن بمعدلات من أسرع المعدلات الموثقة في جميع أنحاء العالم. تشير السلاسل الزمنية للأقمار الصناعية إلى ارتفاع متوسط يبلغ حوالي 0.17 درجة مئوية لكل عقد من عام 1982 إلى عام 2015، مع ملاحظة ارتفاع درجات الحرارة لأجزاء من شمال البحر الأحمر بمعدلات أكثر حدة. يتجاوز معدل الاحترار هذا المتوسط العالمي، مما يثير المخاوف بشأن ابيضاض الشعاب المرجانية وتغير المخزون السمكي. وبالمثل، يُظهر البحر العربي اتجاهاً قوياً نحو الاحترار مرتبطاً بموجات الحر البحرية الأكثر تكراراً منذ عام 2016 تقريباً. وعلى الرغم من أن العديد من الدراسات واسعة النطاق تجمع الساحل الجنوبي لليمن مع أجزاء أخرى من المحيط الهندي، إلا أن ما هو مجمعٌ عليه هو أن المياه على طول سواحل خليج عدن والبحر العربي في اليمن ترتفع درجة حرارتها بسرعة أيضاً. يمكن أن تدفع الظروف الأكثر دفئاً الأنواع السمكية إلى أعماق أكبر أو إلى خطوط عرض أعلى، مما قد يؤدي إلى تغيير توقيت أو قوة التيارات الصاعدة الموسمية التي تدعم مصائد الأسماك المحلية.

ترتبط إنتاجية السواحل اليمنية ارتباطاً وثيقاً بدورة الرياح الموسمية. ويشهد خليج عدن فترتين رئيسيتين لازدهار العوالق النباتية، إحداهما في منتصف الصيف والأخرى حوالي شهر نوفمبر، وترتبط بتغيرات في الرياح الموسمية. يمكن أن يزيد هذا الازدهار بشكل ملحوظ من صيد الأسماك في السنوات التي تكون فيها التيارات الصاعدة المغذية قوية. يُعد البحر العربي من أكثر مناطق المحيطات إنتاجية على كوكب الأرض، لكن الدراسات الحالية تشير إلى أن الاحترار المستمر قد يُقلل من الكلوروفيل في بعض المناطق الساحلية، مما قد يُقلل من إنتاج الأسماك. كما تُظهر بعض أجزاء المنطقة زيادات طفيفة في الكلوروفيل-أ، مما يُؤكد تباين هذه الاتجاهات.

لا تزال المعلومات المتعلقة بتحمض المحيطات في هذه المنطقة شحيحة، على الرغم من أن القلوية العالية الطبيعية للبحر الأحمر قد تخفف من تغيرات الرقم الهيدروجيني (pH) إلى حد ما. تتوقع النماذج العالمية استمرار انخفاض الرقم الهيدروجيني، مما قد يحد من قدرة الشعاب المرجانية والرخويات على بناء هياكل

كربونات الكالسيوم. يُهدد هذا الفقدان في هيكل الشعاب المرجانية، إلى جانب حالات التبييض الناتجة عن ارتفاع درجات الحرارة، التنوع البيولوجي وموائل الأسماك. يُمثل نقص القياسات المباشرة للتحمض في المياه اليمنية فجوة حرجة في البيانات، إلا أن الدراسات العالمية والإقليمية الحالية تُشير إلى أن الشعاب المرجانية بالقرب من سقطرى وعلى طول الساحل الجنوبي لليمن قد تواجه ضغطاً متزايداً بسبب التحمض في المستقبل القريب.

تُضيف أنماط الملوحة مزيداً من التعقيد. يُعدّ البحر الأحمر بالفعل من أكثر مناطق المحيطات المفتوحة ملوحةً. أما خليج عدن والبحر العربي، فهما عادةً أكثر عذوبةً، بفضل تبادل المياه مع المحيط الهندي. يُفاقم تغير المناخ هذه التدرجات، حيث تميل مناطق التبخر العالي إلى أن تصبح أكثر ملوحةً، بينما تصبح المناطق ذات الأمطار الغزيرة أكثر عذوبةً. وبالنسبة لليمن، يبدو أن بؤر العذوبة مرتبطة بالتغيرات في هطول الأمطار وتيارات المحيط، مع أن القياسات الميدانية الفعلية في المياه اليمنية ليست متاحة دائماً للتحقق من صحة النتائج المستندة إلى الأقمار الصناعية.

### 1.4 التوسع وسد الفجوات

بالنظر إلى البيانات المحدودة المتاحة لليمن، وخاصةً بعد عام ٢٠١٤، اعتمد التقرير على أدوات جديدة لقياس التغيرات الناجمة عن المناخ في المياه المحلية. وقد شملت تدفقات البيانات صوراً من NASA's MODIS-Aqwa Pod لدرجات حرارة سطح البحر وتركيز الكلوروفيل-أ، بالإضافة إلى بيانات من SMAP لقياس الملوحة. ركزت الدراسة على المنطقة الاقتصادية الخالصة لليمن في البحر الأحمر وخليج عدن والبحر العربي، وبالتالي غطت عينةً واسعةً من الظروف البيئية. وقد سمح تحليل البيانات الشهرية المركبة للباحثين بملاحظة ليس فقط متوسط الاتجاهات السنوية، بل أيضاً الاختلافات المكانية والزمانية.

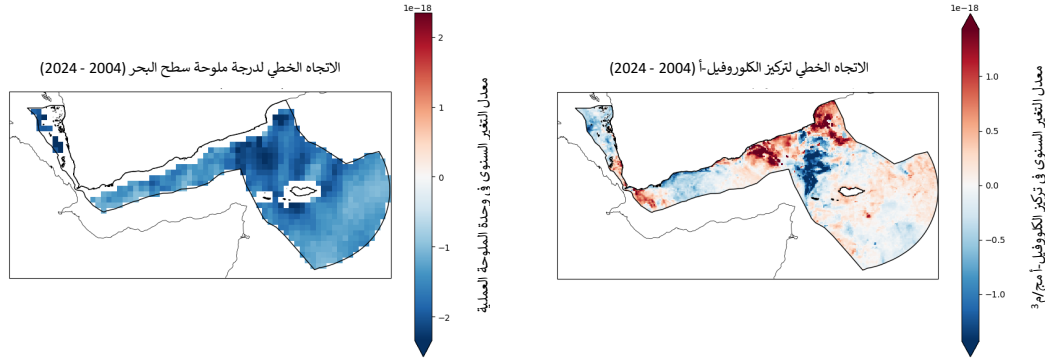
أظهرت النتائج أنه من عام ٢٠١٤ إلى عام ٢٠٢٤، ارتفعت درجة حرارة سطح البحر في المنطقة الاقتصادية الخالصة لليمن بنحو ٠.٥ درجة مئوية، وهو ما يؤكد الاحترار السريع الموثق في دراسات سابقة للبحر الأحمر والبحر العربي. كان هناك أيضاً انخفاض طفيف في الملوحة في جميع أنحاء المنطقة، وهي نتيجة قد تعكس ارتفاعاً في هطول الأمطار أو تغيرات في التبخر وتدفق المياه العذبة. أظهرت مستويات الكلوروفيل-أ زيادة طفيفة بشكل عام، على الرغم من أن الفحص الدقيق كشف عن نمط غير منتظم: فقد ارتفع الكلوروفيل في بعض المناطق قبالة الساحل الشرقي للبحر العربي، وربما كان ذلك مدعوماً بالتيارات الصاعدة القوية الناتجة عن الرياح الموسمية، بينما انخفض في أجزاء من خليج عدن وشمال البحر الأحمر. ارتبط التباين المكاني بكيفية تأثير التقسيم الطبقي للمياه الناتج عن الاحترار وكيفية تباين ديناميكيات الرياح الموسمية عبر السنوات.

نظراً لعدم توفر قياسات ميدانية لدرجة الحموضة ودرجة القلوية وتشبع الأراجونيت، فقد شكّلت أنماط الملوحة مؤشراً جزئياً على خطر تحمض المحيطات. مع أن هذه الطريقة لا تُغني عن الرصد الكيميائي الكربوني المباشر، إلا أنها يمكن أن تُقدّم مؤشرات مبكرة حول المناطق التي قد تشهد انخفاضاً في القدرة على مقاومة التغير في الحموضة. وقد تكون المناطق التي تشهد انخفاضاً في الملوحة على مدى سنوات عديدة قط تكون أكثر عرضة لتأثيرات التحمض، لا سيما عندما يصاحب ذلك ارتفاع في درجة الحرارة.

أجرى الباحثون أيضاً تحليلات ارتباط بين درجة حرارة سطح البحر، وملوحته، وتركيز الكلوروفيل-أ، مع التركيز بشكل خاص على التأثيرات المتأخرة. أشارت النتائج إلى أنه عندما ترتفع درجة حرارة سطح البحر بشكل حاد على المدى القصير، قد يؤدي ذلك إلى تثبيط ازدهار العوالق النباتية، ويُفترض أن ذلك يعود إلى أن المياه السطحية الدافئة تمنع اختلاط المغذيات. ومع ذلك، في الأشهر اللاحقة، أدت الظروف الأكثر دفئاً أحياناً إلى ارتفاع مستويات الكلوروفيل-أ عندما تغلبت الاختلاطات الناتجة عن الرياح الموسمية على الطبقية الحرارية للمياه، ووفرت دفعة من المغذيات. تسلط هذه الروابط المتأخرة الضوء على العملية المعقدة من السبب والنتيجة في مناطق التيارات الصاعدة الديناميكية.

## 1.5 الاتجاهات العقدية (2004-2024)

على الرغم من أن مجموعة البيانات الرئيسية للأقمار الصناعية الخاصة بالملوحة بدأت في عام ٢٠١٤، إلا أن السجلات الأقدم لدرجات حرارة سطح البحر وتركيز الكلوروفيل-أ تعود إلى عام ٢٠٠٤. ومن خلال دمج مصادر البيانات هذه، تمكن الباحثون من تتبع مسارات التغيرات على مدى سنوات متعددة. وقد ازدادت درجات حرارة سطح البحر في المياه اليمنية، بما يتوافق مع معدل الاحترار على مستوى المنطقة، والذي يُعد من بين أعلى المعدلات عالمياً. تكشف اتجاهات مستوى الكلوروفيل-أ عن ارتفاعات موضعية على طول بعض الأجزاء من سواحل خليج عدن والبحر العربي، ولكنها تشهد بعض الانخفاضات في الأماكن التي يزداد فيها التقسيم الطبقي للمياه، وخاصة في شمال البحر الأحمر. ويبدو أن الملوحة في المنطقة الاقتصادية الخالصة تتجه نحو الانخفاض خلال الجزء الأخير من فترة الدراسة، مما يشير إلى أن تحولات الرطوبة الجوية وعمليات تبادل مياه المحيطات لا تدفع الملوحة إلى الارتفاع بشكل موحد.



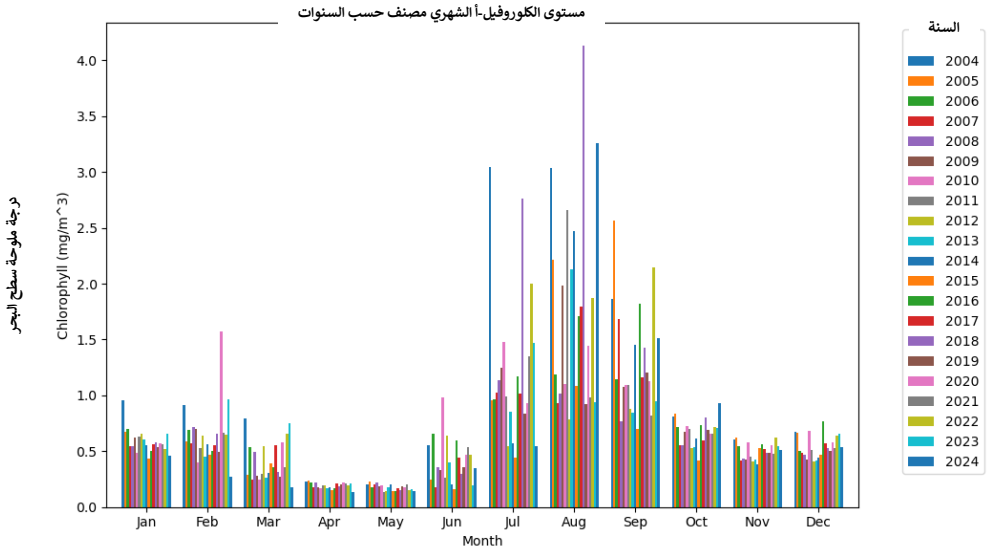

الشكل 2: الاتجاه الخطي لتركيز الكلوروفيل ودرجة ملوحة سطح البحر

تشير هذه الرؤى الجديدة إلى أن البيئة البحرية في اليمن لا تشهد استجابة موحدة وذات بعد واحد لتغير المناخ. بل إن درجة الحرارة والإنتاجية والملوحة وعمليات التحمض تختلف باختلاف الموقع والموسم. وبينما قد يكون حساب المتوسطات على مستوى النطاق مفيداً، إلا أنه قد يحجب بؤراً من الاحترار الملحوظ أو انخفاض المغذيات. ويمكن للمراقبة المستمرة بالدقة المستخدمة في هذا التحليل (4 كيلومترات تقريباً) أن تُقدم رؤية أكثر وضوحاً لبؤر الضغط المناخي، وأن تُساعد في تحديد الأماكن التي قد تكون فيها الثروة السمكية أو الموائل أكثر عرضة للخطر.

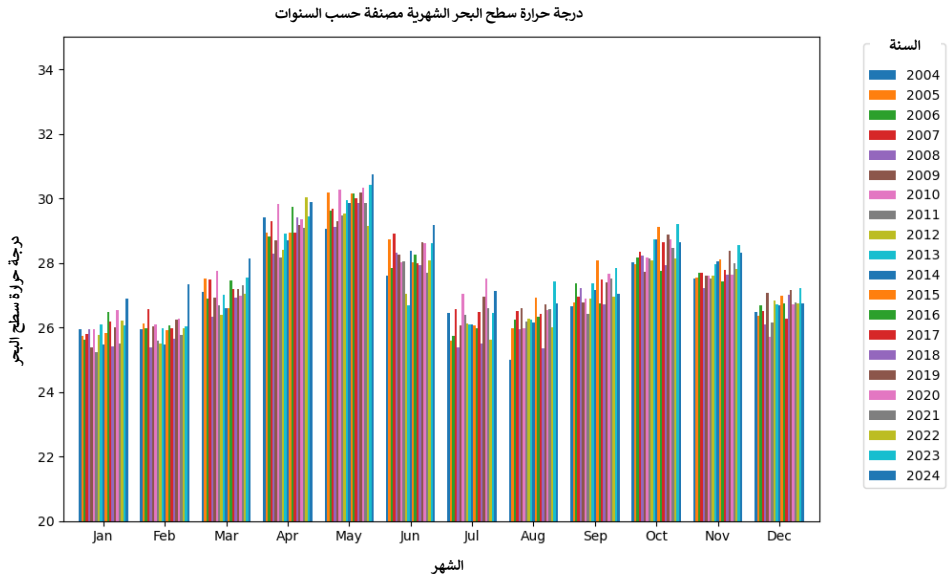
## 1.6 التباين الموسمي

تتماشى الأنماط الموسمية في المياه اليمنية مع السلوك الأوسع نطاقاً للبحر الأحمر وخليج عدن والبحر العربي. تميل درجة حرارة سطح البحر إلى الانخفاض في الشتاء والارتفاع في الصيف، مع مرحلة دافئة ثانوية في أوائل الخريف. تتماشى مستويات الذروة للكلوروفيل-أ مع دورات الرياح الموسمية، حيث تصل إلى مستوياتها القصوى في أواخر الصيف أو أوائل الخريف عندما تكون التيارات الصاعدة في ذروة نشاطها. يحدث أحياناً ارتفاع أقل للكلوروفيل-أ في فصل الخريف، مدفوعاً بتغير الرياح ومدخلات المغذيات. على النقيض من ذلك، لا يوجد للملوحة حد موسمي واحد، سواء أقصى أو أدنى. بدلاً من ذلك، فهي تعكس توازن التبخر وهطول الأمطار وتبادل التيارات، مما يؤدي إلى تقلبات طفيفة على مدار العام. إن وجود أو غياب التيارات الصاعدة الموسمية القوية، إلى جانب التغيرات في أنظمة الرياح المحلية، هو ما يشكل كيفية تحرك هذه المتغيرات على مدار السنة.

الشكل 3: درجة ملوحة سطح البحر الشهرية مصنفة حسب السنوات




الشكل 4: مستوى الكلوروفيل-أ الشهري مصنف حسب السنوات



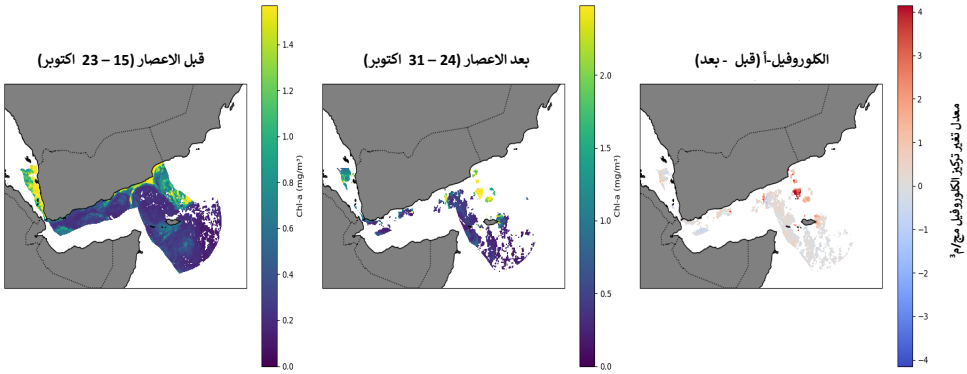

الشكل 5: درجة حرارة سطح البحر الشهرية مصنفة حسب السنوات

### 1.7 مصفوفة الارتباط وتأثيرات التباطؤ

يمكن أن تشير المتوسطات السنوية إلى اتجاهات طويلة الأجل، ولكن غالباً ما تعمل عوامل المناخ على نطاقات شهرية أو حتى أسبوعية. أظهر تحليل البيانات وجود علاقة عكسية ملحوظة بين درجة حرارة سطح البحر ودرجة ملوحته على مدى سنوات عديدة، والتي قد تنجم عن أحداث زيادة هطول الأمطار أو تدفقات المحيطات التي تتزامن مع ارتفاع درجات حرارة السطح. كما أشار التقرير إلى مجموعة أكثر تعقيداً من العلاقات بين درجة حرارة سطح البحر ومستوى الكلوروفيل-أ. على المدى القصير، تميل فترات الدفء إلى تقليل مستويات العوالق النباتية، ولكن على مدى فترة تأخير تتراوح من ثلاثة إلى أربعة أشهر، يتحول الارتباط إلى ارتباط إيجابي بشكل قوي. أحد التفسيرات هو أنه في البداية، تزيد درجات الحرارة الدافئة من التقسيم الطبقي للمياه، مما يمنع العناصر الغذائية من الوصول إلى المياه السطحية، ولكن في وقت لاحق، يمكن أن يؤدي الاختلاط الناتج عن الرياح الموسمية أو التحولات المحيطية الناجمة عن الرياح الموسمية إلى زيادة توافر العناصر الغذائية، مما يؤدي إلى ارتفاع مستويات الكلوروفيل-أ. كانت هذه الظاهرة واضحة في سنوات معينة عندما أفسح الربيع الدافئ وبداية الصيف المجال لازدهار قوي في أواخر الصيف.

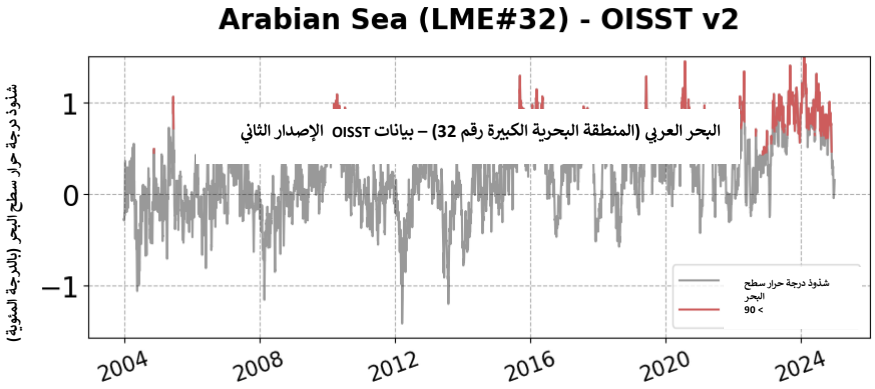
### 1.8 الظواهر الجوية القاسية

تُظهر دراسات الظواهر الجوية القاسية أن الأعاصير المدارية يمكن أن تُغيّر بسرعة درجات حرارة سطح البحر ومستويات توفر المغذيات من خلال الاضطرابات والتيارات الصاعدة. قدّم إعصار تيج - الذي ضرب ساحل المهرة اليمني في أكتوبر 2023 - مثالاً حديثاً على كيفية تأثير هذه العواصف على حالة البحر. في الأيام التي تلت الإعصار، أشارت بيانات الاستشعار عن بُعد إلى ارتفاع مستويات الكلوروفيل-أ في بعض المناطق البحرية، ويُفترض أن السبب في ذلك هو اختلاط المياه العميقة الغنية بالمغذيات. ومع ذلك، بدا أن المياه القريبة من الشاطئ تفقد إنتاجيتها. من المرجح أن العكارة والجريان السطحي ومياه الأمطار المحملة بالرواسب قد قللت من اختراق الضوء، مما قلل من الاستفادة من العناصر المغذية المتوفرة. كما لوحظ هذا التباين بين ارتفاع الإنتاجية الأولية في داخل البحر وانخفاض مستويات الكلوروفيل-أ على الساحل بعد أعاصير رئيسية أخرى في البحر العربي، مما يؤكد أن المكاسب الناجمة عن العواصف في نمو العوالق يمكن أن تكون خاصة بالموقع بدرجة كبيرة.




الشكل 6: تغيرات مستويات الكلوروفيل الناجمة عن إعصار تيج

لا تزال ظاهرة تكاثر الطحالب الضارة تُشكل تهديداً آخر مرتبطاً بتغير المناخ. ورغم أن العواصف لا تُحفز هذه الظاهرة دائماً، إلا أن شذوذ درجات الحرارة والارتفاعات المفاجئة في المغذيات قد تُهيئ ظروفاً لتكاثر بعض الطحالب السامة أو المُستنزفة للأكسجين. وقد سُجلت عمليات الازدهار هذه في أماكن أخرى في البحر الأحمر والبحر العربي، وأدت إلى نفوق الأسماك أو تلوث المحار. وقد يُؤدي ارتفاع درجات الحرارة وتغير شدة الرياح الموسمية إلى زيادة وتيرة حدوث ظاهرة تكاثر الطحالب الضارة بمرور الوقت. وقد ازدادت موجات الحر البحرية - التي يحددها ارتفاع غير طبيعي في درجات حرارة السطح يستمر لعدة أيام - في المنطقة منذ عام ٢٠١٥ تقريباً، مصحوبة بحالات تبيض المرجان وتغيرات في وفرة الأسماك.




الشكل 7: موجات الحر البحرية في البحر العربي

### 1.9 التفاعلات بين درجة الحرارة والملوحة والإنتاجية والتحمض

غالباً ما تُقيّم هذه المؤشرات الأربعة بشكل منفصل، لكنها تعمل معاً لتشكيل النظم البيئية البحرية. يمكن أن يؤدي الاحترار إلى زيادة سماكة الطبقة السطحية وإعاقة اختلاط المغذيات، مما يؤثر على وفرة العوالق النباتية. وفي الوقت نفسه، يمكن أن تُعدّل التغيرات في الملوحة أنماط الدوران وكثافة عمود الماء، مما يؤثر أيضاً على تدفق المغذيات ومستويات الأكسجين. للتحمض تأثير أقل حدة ولكنه طويل الأمد، إذ يُضعف الشعاب المرجانية والرخويات وغيرها من الكائنات المكلسة التي تُشكل العمود الفقري للموائل البحرية الساحلية. يمكن أن تُقلل حالات ابيضاض المرجان المتكررة والذوبان التدريجي لأُطر الشعاب المرجانية من التنوع البيولوجي للأسماك وتُغيّر تركيبة الأنواع بطرق تؤثر بشكل مباشر على مصائد الأسماك الحرفية. على الرغم من أن ارتفاع القلوية في البحر الأحمر قد يُؤخر آثار التحمض الشديدة، إلا أن الوضع في خليج عدن والبحر العربي قد يُصبح أكثر إشكالية خلال العقود القليلة القادمة، حيث تمتص هذه المياه المزيد من ثاني أكسيد الكربون الجوي.

### 1.10 القيود والخطوات التالية

بسبب الصراع الدائر في اليمن، لا تزال الحملات الأوقيانوغرافية الميدانية نادرة، مما يجعل الباحثين يعتمدون بشكل كبير على بيانات الأقمار الصناعية للحصول على درجة الحرارة والإنتاجية والملوحة. يمكن أن تنخفض دقة الاستشعار عن بُعد بالقرب من السواحل، حيث تعمل الرواسب العالقة والشعاب المرجانية الضحلة على ارباك القياسات. كما أن التتبع المباشر لتحمض المحيطات غير متوفر، ولا تكفي الملوحة وحدها للتنبؤ بدرجة الحموضة بشكل كافٍ. سيوضح الرصد الموقعي طويل الأمد لدرجة الحموضة والقلوية الكلية والكربون غير العضوي المذاب المسار الحقيقي للتحمض في البحار اليمنية. كما أن عدد السنوات المحدودة في مجموعة بيانات الملوحة يُقيد إصدار بيانات دقيقة حول الاتجاهات متعددة العقود. إن توسيع نطاق تغطية البيانات وإنشاء مراصد إقليمية أو نشر سفن بحثية بشكل منتظم من شأنه أن يُساعد العلماء على تأكيد الإشارات الناشئة للاحترار والتخفيف من الملوحة وانخفاض الإنتاجية، والتي قد تُهدد قطاع الثروة السمكية المحلية. كما أن تعزيز التعاون بين الخبراء المحليين والمؤسسات الدولية والمجتمعات الساحلية من شأنه أن يُسهم في تحسين استراتيجيات التكيف مع المناخ.

## 2. مراقبة وإدارة مصائد الأسماك

### 1.2 مقدمة:

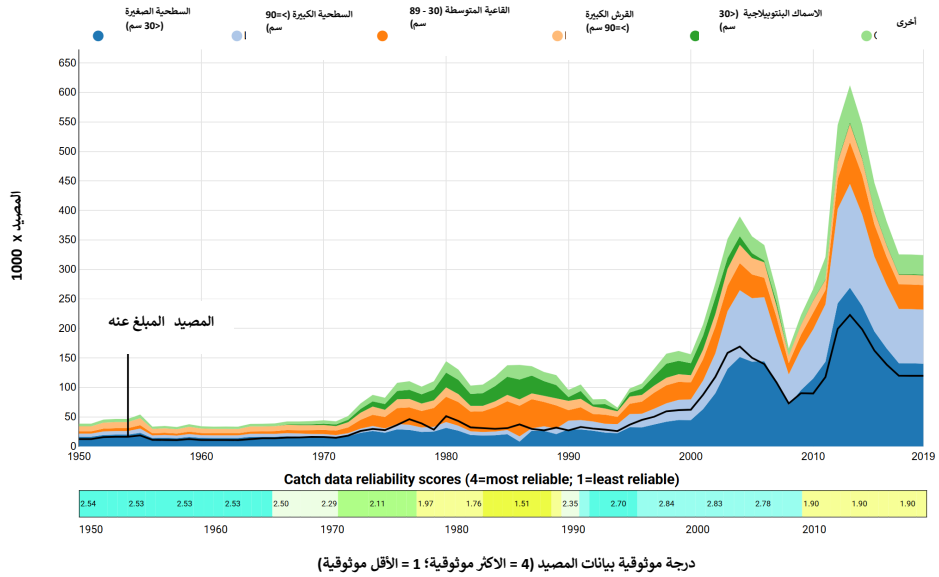
لطالما دعمت المياه الساحلية اليمنية مصايد الأسماك الإنتاجية في البحر الأحمر وخليج عدن والبحر العربي، وهو ما يشكل عنصراً أساسياً في الأمن الغذائي الوطني والنشاط الاقتصادي. من الناحية التاريخية، احتوت هذه المياه على مجموعة واسعة من أنواع الأسماك، بما في ذلك الأسماك السطحية المهاجرة ومخزونات قاعية قيّمة استفادت من أنظمة التيارات الصاعدة في المنطقة ومياهها الغنية بالمغذيات. وعلى الرغم من هذه الإمكانات، واجهت إدارة مصايد الأسماك في اليمن قيوداً بسبب ضعف ممارسات جمع البيانات وتفاقم الصيد الجائر. وقد زادت الاضطرابات الناجمة عن الصراع منذ عام ٢٠١٤ من تعقيد الوضع، حيث فقدت الهيئات الحكومية الرئيسية، مثل وزارة الزراعة والري والثروة السمكية وهيئة علوم البحار والبحوث البيولوجية، الكثير من قدراتها التشغيلية. وأصبحت تقييمات المخزون وسجلات الصيد متقطعة أو متوقفة تماماً. ولمعالجة هذه القيود، يقدم هذا القسم نهجاً يجمع بين بيانات الاستشعار عن بُعد والملاحظات الميدانية والرؤية الحاسوبية للكشف عن نشاط السفن. والهدف من ذلك هو إنتاج نظام مراقبة في الوقت الحقيقي تقريباً يدعم سياسات مصائد الأسماك الأكثر تكيفاً في اليمن.

### 2.2 الخلفية والسياق

تُعد مصايد الأسماك البحرية في اليمن ركيزة أساسية لسكان المناطق الساحلية وتشكل جزءاً كبيراً من اقتصاد البلاد. قبل توحيد اليمن في عام 1990، توسع إجمالي المصيد السنوي بشكل كبير، حيث ارتفع من حوالي 40,000 طن في الخمسينيات إلى حوالي 175,000 طن بحلول منتصف الثمانينيات. بعد الوحدة، تسببت جهود التحديث في ارتفاع المصيد السنوي بشكل أكبر، متجاوزاً 350,000 طن في أوائل العقد الأول من القرن الحادي والعشرين. سجلت إحدى الدراسات بلوغ إجمالي المصيد السنوي 256,000 طن في عام 2004، ولاحظت منظمة الأغذية والزراعة أن مصايد الأسماك ساهمت بأكثر من 15 في المائة من الناتج المحلي الإجمالي لليمن قبل بدء الحرب في عام 2014. كما شكلت صادرات الأسماك حصة كبيرة من عائدات النقد الأجنبي، حيث تم تداول أكثر من نصف المصيد المُصدر مع الأسواق العربية المجاورة مثل المملكة العربية السعودية ومصر وسلطنة عمان. وبحلول عام 2013، ارتفعت قيمة صادرات البلاد من الأسماك إلى 289 مليون دولار أميركي، على الرغم من أنها انخفضت إلى 170 مليون دولار أميركي في عام 2014 بسبب تدهور البيئة الأمنية.

تحتوي مياه اليمن على مئات الأنواع من الأسماك، بما في ذلك ما يقرب من ألف نوع مسجل في البحر الأحمر وخليج عدن مجتمعين. تشمل هذه الأنواع الأسماك العظمية وأسماك القرش والشفنين، مما يجعل اليمن واحدة من أكثر مصائد الأسماك تنوعاً بيولوجياً في المنطقة. تنتقل الأسماك السطحية المهاجرة مثل التونة والماكريل موسمياً بين خليج عدن والبحر الأحمر، مروراً بباب المندب. وقد حد هذا الممر الضيق في

بعض الأحيان من حركة بعض الأنواع، على الرغم من أن المشاهدات الأخيرة لأسماك التونة الوثابة في مساحات غير مأهولة سابقاً في شمال البحر الأحمر تشير إلى أن ارتفاع درجة حرارة المياه والتحولات البيئية الأخرى قد تؤثر حالياً على توزيع الأسماك. وقد أظهرت الصحة العامة للثروة السمكية علامات إجهاد، حتى في فترة ما قبل الصراع. كشفت المسوحات أن المصيد الفعلي غالباً ما يتجاوز الإحصاءات الرسمية، مما يشير إلى نقص واسع النطاق في الإبلاغ في قطاعي الصيد الحرفي والمعيشي. وقد انخفض الصيد لكل وحدة جهد على مدى عدة سنوات، وخاصة في مناطق مثل سقطرى، حيث انخفضت عمليات الإنزال السمكي من أكثر من 12 ألف طن في عام 2000 إلى حوالي 3300 طن بحلول عام 2014. وقد تعرضت أعداد أسماك القرش لضغوط مماثلة بسبب تجارة الزعانف واللحوم، كما كان جراد البحر الصخري مستهدفا بشدة في البحر الأحمر.




الشكل 8: تقديرات منظمة الأغذية والزراعة للصيد حسب النوع: خليج عدن والبحر العربي

### 3.2 الاتجاهات والرؤى الإقليمية المستخلصة من المياه المجاورة

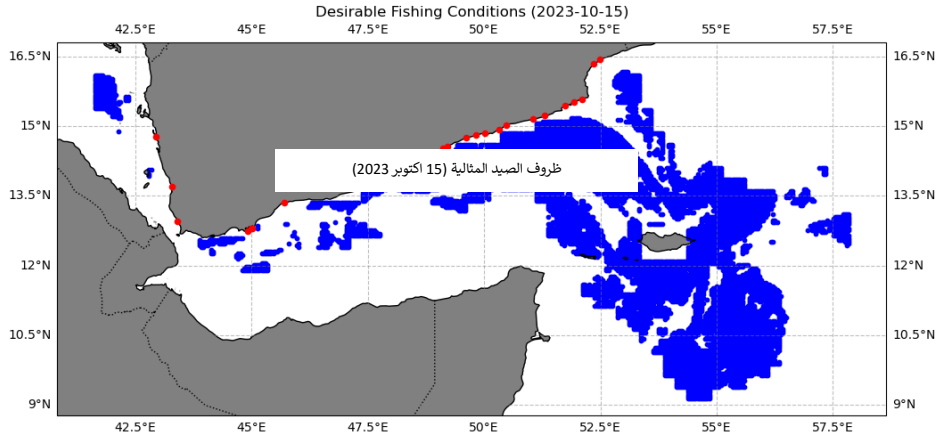
يُعدّ مخزون الأسماك في اليمن جزءاً لا يتجزأ من أنظمة البحر الأحمر والمحيط الهندي واسعة النطاق، مما يعني أن الأحداث خارج الحدود اليمنية تؤثر على الظروف المحلية اليمنية. وقد لاحظت دول البحر الأحمر المجاورة علامات تحذيرية من الصيد الجائر في النظم البيئية للشعاب المرجانية. وأشارت إحدى النشرات الدورية الإقليمية إلى أن العديد من المناطق الساحلية قد استُغلت بالكامل أو بشكل مفرط في أوائل العقد الأول من القرن الحادي والعشرين.، وأن مخزونات بعض الأسماك مثل أسماك الشعاب المرجانية والكركند الشوكي هي في حالة انخفاض، ودعت النشرة الدورية إلى تكثيف الممارسات الإدارية. وفي خليج عدن والبحر العربي، تعمل السمات الأوقيانوغرافية التي تُغذي التيارات الصاعدة الإنتاجية لأسماك السردين والماكريل والتونة على تشكيل أنماط الهجرة أيضاً. وأفادت العديد من الدراسات التي أُجريت بعد عام ٢٠١٤ من مياه عُمان بتباين في صيد السردين والتونة مرتبطاً بتغير الظروف المناخية، مما يُشير إلى احتمال ظهور اتجاهات مماثلة في المياه اليمنية. وقد وثّقت الأبحاث في الصومال انخفاضاً في جهود الصيد اليمنية هناك بسبب الحرب. وفي الوقت نفسه، خفت حدة مخاوف القرصنة في المياه الصومالية، وهو الأمر الذي كان من شأنه أن يُعيد ضغط الصيد إلى المنطقة اليمنية. ويُعدّ وصول سمك التونة الوثّاب إلى شمال البحر الأحمر عام ٢٠٢١ مثالاً آخر على حركة الأنواع السمكية عبر مختلف المناطق، والتي قد تكون مرتبطة بارتفاع درجة حرارة المياه. في الواقع، أدّى الجمع بين الصيد الجائر وتقلبات أحوال المحيطات والصراع الدائر إلى الحدّ من دور اليمن في الحوار الإقليمي بشأن الثروة السمكية، مما زاد من صعوبة إدارة المخزونات السمكية المهاجرة.

## 3. إطار عمل ديناميكي لإدارة مصايد الأسماك

من أجل معالجة الفجوات في مجال البحوث والبيانات، تم اقتراح إطار عمل مترابط لتنشيط البحث البحري وإدارة مصائد الأسماك في اليمن. يهدف هذا الإطار إلى توفير فهم شامل لسلسلة قيمة صيد الأسماك في اليمن من خلال دمج المؤشرات البيئية، ومنهجيات كشف السفن عبر الأقمار الصناعية، وجمع البيانات الميدانية بشكل آني.

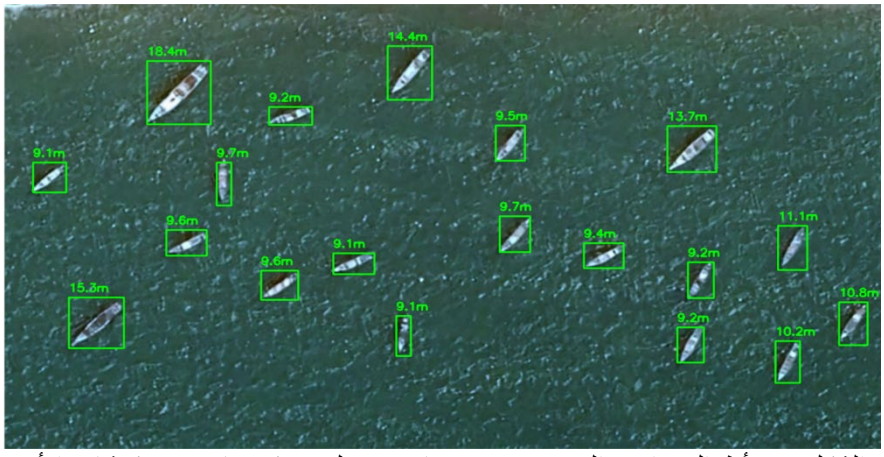
وستكون خطوات تطوير الإطار الديناميكي على النحو التالي:

أ. **بناء المقاييس الخاصة بظروف الصيد:** سيتم الاستعانة ببيانات الاستشعار عن بُعد من خلال وكالة ناسا من أجل قياس الإنتاجية البحرية والموائل المثلى للأسماك السطحية. كما سيتم تحديد العتبات المثلى لتركيزات درجة حرارة سطح البحر ومستوى الكلوروفيل-أ (بناءً على المتوسطات العالمية والإقليمية) ودمجها معاً لإنشاء "ظروف صيد" مُنفصلة، تُحدد المناطق الأكثر احتمالاً لإنتاج مخزونات سمكية وفيرة. يُراعي هذا النهج الشامل ليس فقط التباين الموسمي للإنتاجية - الناتج عن بعض الظواهر مثل دورة الرياح الموسمية - بل أيضاً التباين المكاني لساحل اليمن الممتد. يُقدم الشكل 9 مثالاً على ظروف الصيد المثالية المُلاحظة لفترة ثمانية أيام تنتهي في 15 أكتوبر 2023.




الشكل 9: ظروف الصيد المثالية

ب. **الرؤية الحاسوبية لاكتشاف السفن وتقدير سعتها:** سيتم تطبيق نموذج حاسوبي للكشف عن الأجسام آنياً لتحديد نوع وعدد سفن الصيد في المياه اليمنية. في أحد اختبارات التحقق التي أجريت في ميناء شقرة، حقق النموذج دقة بمقدار 98% في تحديد السفن. علاوة على ذلك، بمجرد اكتشاف سفينة، يُمكن أيضاً تقدير طولها ( الشكل 10 ). من خلال ربط حجم القارب بسجلات الصيد الرسمية الصادرة عن وزارة الزراعة والثروة السمكية، يُمكن استنتاج السعة المحتملة لكل سفينة، مما يُساعد في تحديد إمكانات الصيد على مستوى الميناء بشكل تقديري في الوقت الفعلي تقريباً.



الشكل 10: أطوال قوارب الصيد، تم تحديدها من خلال نموذج حاسوبي لاكتشاف الأجسام

ج. **تكامل البيانات والإطار التعاوني:** لضمان دقة التحقق وجدوى التنفيذ على المدى الطويل، يُعدّ التعاون بين وزارة الزراعة والثروة السمكية وهيئة علوم البحار والبحوث البيولوجية أمراً بالغ الأهمية. يمكن لهاتين الجهتين تقديم الدعم من خلال نشر أجهزة استشعار (مثل الأجهزة الخاصة بقياس درجة الحرارة والملوحة والعناصر المغذية) في المواقع الاستراتيجية في الموانئ. وستوفر مجموعات البيانات المتكاملة - المستخلصة من قياسات درجة حرارة سطح البحر ومستوى الكلوروفيل-أ التي تم الحصول عليها من خلال أجهزة الاستشعار عن بُعد، والقياسات الميدانية، والإحصاءات الآلية للسفن، والسجلات الرسمية لوزارة الزراعة والري والثروة السمكية - حول حجم الصيد منظوراً متعدد الأبعاد لسلسلة قيمة مصايد الأسماك. علاوة على ذلك، تتضمن المبادرة مراقبة نشاط الصيد الدولي عبر بيانات جهاز الإرسال والاستقبال من المرصد العالمي لصيد الأسماك، بهدف تحديد أثر الأساطيل الأجنبية على مخزونات الأسماك المحلية.

د. **التطبيق والنتائج المتوقعة:** من خلال تنسيق مقاييس الملاءمة البيئية مع نتائج الكشف عن السفن وتقدير سعتها، ستُنشئ هذه الدراسة نموذجاً ديناميكياً لقطاع الثروة السمكية في اليمن. ويمكن للوزارات والجهات المعنية المحلية الاستفادة من هذه النتائج لتخصيص الموارد بفعالية، وتحديد مناطق الصيد ذات الإمكانات العالية، وتنظيم جهود الصيد لمنع الاستغلال المفرط. وعلى نفس القدر من الأهمية، يمكن لهذا النهج توفير تنبيهات شبه آنية حول التغيرات في الظروف البيئية أو ضغوط الصيد الخارجية. في نهاية المطاف، لا يهدف هذا العمل فقط إلى سد فجوات البيانات الحالية، بل يهدف أيضاً إلى دعم القرارات السياساتية القائمة على البيانات، وتشجيع ممارسات الصيد المستدامة، وتعزيز قدرة المجتمعات المحلية المعتمدة على الثروة السمكية في اليمن على الصمود.

## 4. التوصيات السياساتية

تدعو نتائج هذا التقرير - المتعلقة بالبيئة البحرية المتغيرة في اليمن والفجوات الحالية في بيانات مصائد الأسماك - إلى اتخاذ إجراءات محددة لمعالجة آثار تغير المناخ وتعزيز البنية التحتية. وتؤكد هذه التوصيات على ضرورة اعتماد الرصد البيئي المتكامل، واتباع نهج قائم على النظام البيئي لإدارة مصائد الأسماك، وتقديم دعم أفضل للمجتمعات الساحلية، وتأسيس شراكات إقليمية واسعة، وتجديد أنظمة الحوكمة، وتحسين الآليات المالية.

**الرصد المتكامل للمؤشرات الرئيسية:**

هناك حاجة إلى تطبيق برنامج فعال وطويل الأمد لرصد درجة حرارة سطح البحر، ومستوى الكلوروفيل-أ، والملوحة، ودرجة الحموضة في مياه البحر الأحمر وخليج عدن والبحر العربي في اليمن. وينبغي أن يجمع

هذا الجهد بين أجهزة الاستشعار عن بُعد والأدوات المحلية، بحيث يتم استكمال بيانات الأقمار الصناعية واسعة النطاق بقياسات ميدانية من العوامات والرحلات البحثية. وستُخزَّن بيانات هذه الأنشطة في مخزن مشترك تديره ووزارة الزراعة والري والثروة السمكية، مما يمكن من ربط التغيرات البيئية بعمليات الرصد المستمرة لمصايد الأسماك.

**إدارة مصائد الأسماك القائمة على النظم البيئية:**
يجب أن تعكس إدارة مصائد الأسماك كيفية تأثير ارتفاع درجة حرارة المياه وتغير الإنتاجية على تغيرات الموائل وحركة الأنواع السمكية. سيُصبح الإغلاق الموسمي أو تعديل حدود الصيد المسموح به أمراً ضرورياً عندما تبدأ بعض المؤشرات مثل مستويات الكلوروفيل-أ في الانخفاض، أو عندما تُعرّض موجات الحر المتكررة مخزونات الأسماك للضغط. كما أن تشديد الرقابة على الصيد غير المشروع في المناطق شديدة الضغط أو الحسّاسة ضروري لحماية الأنواع السمكية المُستغلة بشكل مفرط.

**تكيف المجتمعات الساحلية مع تغير المناخ:**
يحتاج صغار الصيادين إلى معلومات موثوقة حول الظروف الجوية القاسية وطرق تكييف أنشطة الصيد عندما تصبح ظروف المحيط غير مواتية. إن الاستثمار في التخزين البارد، ومعالجة الأسماك، والبنية التحتية ذات الصلة سيساعد المجتمعات على مواجهة الاضطرابات المفاجئة في جهود الصيد. وتتزايد أهمية البرامج المحلية لتعزيز السلامة البحرية نظراً لتقلبات الطقس وما تشكله من مخاطر على الرحلات البحرية القريبة والبعيدة.

**التعاون الإقليمي والبحوث:**
إن التعاون مع بعض المنظمات مثل الهيئة الإقليمية للمحافظة على بيئة البحر الأحمر وخليج عدن ومنظمة الأغذية والزراعة (الفاو) يُمكن أن يُسهّل عملية تبادل البيانات حول المخزونات السمكية العابرة للحدود. سيستفيد اليمن من المسوحات المشتركة في البحر الأحمر وخليج عدن لتتبع تغيرات أعداد الأسماك والضغوط المناخية الناشئة. كما يُمكن للبحوث الإقليمية حول بعض الظواهر مثل الأعاصير، وتغيرات حرارة المحيطات، وتغيرات درجة الحموضة، أن تُلقي الضوء على التهديدات متوسطة وطويلة الأجل لمصايد الأسماك والموائل البحرية.

**إعادة بناء ادارة مصايد الأسماك ونظم البيانات:**
يجب إعادة العمل بسجلات الإنزال على مستوى الموانئ، وبيانات المصيد، وسجلات مجهود الصيد من أجل جمع المعلومات الأساسية حول كيفية عمل مصايد الأسماك بعد انتهاء الصراع. يمكن لتقنيات الاستشعار عن بُعد، بما في ذلك رصد السفن والكشف عنها، إلى جانب التقارير المحلية، أن تُكوّن صورةً مُحدثةً لعمليات الصيد. ينبغي تعزيز هذا الإطار بإعادة تقييم مخزونات بعض الأنواع السمكية مثل التونة، وأسماك القرش، والكركند، بالإضافة إلى تنفيذ مسوحات الموائل التي تُحدد المواقع المهمة فيما يتعلق بالحضانة والتغذية.

**تسهيل الوصول إلى التمويل والتأمين:**
سيعمل تطوير حلول التمويل الأصغر والتأمين على حماية الصيادين من المخاطر المالية الناجمة عن الصدمات المناخية. ويمكن أن تشمل هذه النماذج برامج يدعمها المانحون الدوليون للمساعدة في استبدال المعدات التالفة أو تعويض الخسائر خلال مواسم الصيد الضعيفة. ومن خلال ربط هذه الأدوات المالية بتمويل التكيف مع المناخ الأوسع نطاقاً ، يمكن لقطاع مصايد الأسماك في اليمن أن يتطور ويصبح أكثر مرونة في مواجهة تغيرات الظروف البحرية، مما يدعم الأمن الغذائي والاستقرار الاقتصادي.

## الخاتمة

إن إعادة بناء هيكلية مصايد الأسماك ومراقبتها في اليمن في ظل التحديات المستمرة تتطلب استراتيجية متعددة الجوانب تعمل على اعادة جمع البيانات بفعالية، وتُطبق أدوات التحليل المتطورة، وتُسهم في اتخاذ قرارات سياساتية قائمة على الأدلة. هذه المنهجية المقترحة، التي تعتمد على قياس ظروف الصيد من خلال البيانات المستمدة من الأقمار الصناعية، إلى جانب نموذج الرؤية الحاسوبية المتطور لاكتشاف السفن، تُعالج بشكل مباشر العديد من الثغرات التي خلّفها الصراع. والأهم من ذلك، أنها تُعيد إرساء المراقبة الروتينية من خلال الشراكات مع الجهات الوطنية، مما يضمن قدرة وزارة الزراعة والري والثروة السمكية وهيئة علوم البحار والبحوث البيولوجية على توسيع نطاق بياناتهما والتحقق من صحة منتجات الاستشعار عن بُعد من خلال القياسات الميدانية.

للمنظمات الدولية دور هام في دعم تطوير نموذج ديناميكي قائم على الأدلة لمصائد الأسماك في اليمن، وذلك من خلال الدعم المالي ومبادرات بناء القدرات. ويمكن لصناديق المناخ العالمية أن تلعب دوراً حيوياً في توفير التمويل اللازم للإدارة المستدامة لمصائد الأسماك، فضلاً عن الاستفادة من التكنولوجيا لتحسين جمع البيانات ونشرها في اليمن، كما فعلت في دول أخرى.

**قائمة المراجع المختصرة**


تشايديز، في. وآخرون (2017). الاتجاهات العقدية في درجة الحرارة القصوى لسطح البحر الأحمر. التقارير العلمية، 7، 8144.

إيلايا، ما. (2019). الصيد أثناء الحرب؟ - تأثير الحرب على الثروة السمكية اليمنية.

جيتينجز، ج. أ. وآخرون (2017). الكشف عن الازدهار الموسمي للعوالق النباتية في خليج عدن من خلال الاستشعار عن بُعد. الاستشعار عن بُعد للبيئة، 189، 56-66.

كروكر، كيه. جيه.، وآخرون (2013). آثار تحمض المحيطات على الكائنات البحرية: تحديد الكميات الحساسة والتفاعل مع الاحترار. بيولوجيا التغير العالمي، 19(6): 1884-1896.

منود إم.، 2017. التأثير الانجابي والعابر للأجيال لتحمض المحيطات والاحترار على مرجان ستيلوفورا بيستيلاتا في خليج العقبة. أطروحة ماجستير، المدرسة الاتحادية للفنون التطبيقية في لوزان.

سوبرامانيام، بي.، راو، كي. اتش.، سرينيفاسا راو، إن.، مورتي، في. إس. إن.، وشارب، آر. جي. (2002). تأثير الإعصار المداري على تركيز الكلوروفيل-أ في البحر العربي. رسائل البحوث الجيوفيزيائية، 29 (22)، 22-1-22-4.