مجموعة موانئ أبوظبي
AD PORTS GROUP

# نقل وإعادة توطين الشعاب المرجانية في الخليج العربي

## توصيات بشأن الفوائد والمخاطر وأفضل الممارسات للخبراء وصنّاع القرار

جامعة نيويورك أبوظبي
NYU ABU DHABI

**حقوق النشـر © محفوظة 2025**

تأليف الدكتور/ جون بيرت، جامعة نيويورك – أبوظبي، بدعم مجموعة موانئ أبوظبي.
جميع الحقوق محفوظة، ولا يجوز إعادة إنتاج أي جزء من هذا المطبوع أو توزيعه أو نقله بأي شكل أو وسيلة كانت، بما في ذلك النسخ أو التسجيل أو غير ذلك من الطرق الإلكترونية أو اليدوية، دون الحصول على تصريح كتابي مسبق من الناشر أو المؤلف، باستثناء الاقتباسات الموجزة المشمولة في المراجعات النقدية وبعض الاستخدامات غير التجارية الأخرى المسموح بها بموجب قانون حقوق النشر. لطلبات تصريح النشر، يرجى مراسلة الناشر عبر البريد الإلكتروني
**innovation@adports.ae** أو المؤلف **john.burt@nyu.edu**

# الملخص التنفيذي

تتواجد الشعاب المرجانية في مياه جميع الدول الثماني المطلة على الخليج العربي، وتمثّل النظام البيئي الأكثر تنوعاً من الناحية البيولوجية والأهم اقتصادياً في منطقة الخليج. ومع تسارع النمو السكاني في جميع أنحاء منطقة الخليج في العقود الأخيرة نتيجة التنمية الاقتصادية، برزت الحاجة إلى تطوير البنية التحتية الأساسية لخدمة العدد المتنامي لسكان المدن الساحلية. وعلى الرغم من أهمية تشجيع الجهات التنظيمية المعنية بالبيئة في المنطقة لمنهجية "تجنّب الأثر البيئي" باعتبارها عنصراً أساسياً في استراتيجية التخفيف من الآثار الضارة على الشعاب المرجانية والحفاظ على سلامة تلك النظم البيئية المهمة، إلا أن بعض الحالات قد تستوجب تطوير بنية تحتية أساسية على مقربة من تلك الشعاب المرجانية. وفي مثل هذه الحالات، قد يشكّل نقل الشعاب المرجانية أحد الحلول الممكنة للتخفيف من الآثار الناتجة عن أعمال تطوير البنى التحتية. وفي حين أن عمليات نقل الشعاب المرجانية تبدو مهمة بسيطة من الناحية النظرية، إلا أنها في واقع الأمر معقدة ودقيقة للغاية، يتطلب نجاحها تحرّي الدقة في التخطيط والتنفيذ والمراقبة بعد مرحلة النقل. وفي هذا الصدد، يقدم هذا التقرير إطار عمل لتعزيز فرص النجاح في عمليات نقل الشعاب المرجانية.

يتطرق هذا الكتيب في البداية إلى أهمية الشعاب المرجانية على الصعيدين العالمي والإقليمي، ويتناول الأخطار التي تهدد الشعاب المرجانية في منطقة الخليج العربي. وبعد ذلك، يستعرض الكتيب تسلسل إجراءات التخفيف من الآثار على الشعاب المرجانية ليؤكد على أنه لا ينبغي اللجوء إلى نقل الشعاب المرجانية إلا كحلّ أخير عند تنفيذ أعمال التطوير الساحلية، كما يقدّم مجموعة من البيّانات والدراسات كأمثلة على المخاطر والثغرات غير المتوقعة المرتبطة بعملية نقل الشعاب المرجانية. ويشرح الجزء التالي من الكتيب أفضل الممارسات القائمة لنقل الشعاب المرجانية، والتي تشمل تفاصيل مرحلة التخطيط وصولاً إلى مرحلة العمليات، مع التطرق إلى اعتبارات الخصائص البيئية الفريدة للخليج العربي.

وفي الختام، يتناول الكتيب مرحلة المراقبة بالغة الأهمية التي تلي عملية نقل الشعاب المرجانية، والتي تعدّ ضرورية لقياس مدى نجاح العملية وتقديم الدروس المستفادة عندما يتم إجراء برامج مستقبلية مماثلة. ويتمثل الهدف من وضع هذه الإرشادات في تقديم مشورة قائمة على أسس علمية تكون مرجعاً في التخطيط لبرامج نقل الشعاب المرجانية في ضوء الخصائص البيئية الفريدة للمنطقة، إضافة إلى تصميم تلك البرامج وتنفيذها وتقييمها. ويؤدي اعتماد المبادئ والممارسات المتناولة في هذا الكتيب إلى تعزيز فرص نجاح برامج نقل وإعادة توطين الشعاب المرجانية في الخليج العربي.

**ديفيد جاتورد**
الرئيس التنفيذي للخدمات الهندسـية والفنية
مجموعة موانئ أبوظبي

**إيمان الخلاقي**
نائب رئيس أول - الابتكار
مجموعة موانئ أبوظبي

”فيما نمضي نحو تنمية أكثر استدامة في منطقة الخليج، فإن الحفاظ على الشعاب المرجانية من صميم أولوياتنا. ويعد هذا الكتيب شهادة على تفانينا في دمج الممارسات المستدامة في تنمية سواحلنا، حيث نسلط فيه الضوء على الدور الهام لتقييمات الأثر البيئي واستراتيجيات الإدارة المتنوعة في حماية هذه النظم البيئية الحيوية. وبالتركيز على تفادي تنفيذ أعمال تطويرية في المناطق المعرضة للخطر، وتعزيز حاجتنا إلى التخطيط والتنفيذ الدقيق ومراقبة مرحلة ما بعد إعادة توطين الشعاب المرجانية، فإننا بذلك نضع معياراً جديداً في مفاهيم الهندسة المستدامة. ولا شك أن هذا النهج يحمي ثروتنا الطبيعية ويضمن مساهمة حلولنا الهندسية بشكل إيجابي في الحفاظ على بيئتنا وموائلنا الطبيعية الوافرة.“

”لطالما كان الابتكار في طليعة جهودنا الرامية إلى الحفاظ على النظـم البيئيـة البحرية الغنية والمتنوعة فـي منطقة الخليج. وكما أوضحنـا في هذا الكتيب، فإن الشـعاب المرجانية حول منطقة الخليـج تمثل موطناً للتنـوع البيولوجي ومصدراً اقتصادياً بالغ الأهميـة. وللحفاظ على هذه الطبيعة الخلاّبة، انتهجنا أسـاليب مبتكـرة خلال تطوير البنى التحتيـة، وتبنينا فكرة إعادة توطين الشـعاب المرجانية رغم تعقيداتهـا، لتصبح مبادرة حيوية في إطار سـعينا لتحقيق التوازن بين تطويـر أعمالنا والحفاظ في نفس الوقـت على بيئتنا. ويفنّد هذا الكتيب التزامنا بالأسـاليب الرائدة التـي تضمن نجاح مثل هذه المبـادرات بالغة الدقة، مما يمثل خطوة مهمة في رحلتنا نحو الابتكار المسـتدام.“



ماري سيرافيم[1]، إرين كولينز[2]، جون إيه بيرت[3]*.

[1] مختبر الأحياء البحرية، جامعة نيويورك أبوظبي، ص.ب. 129188، أبوظبي، الإمارات العربية المتحدة؛ العنوان الحالي في المملكة المتحدة:Scottish Seabird Centre, The Harbour, North Berwick, EH39 4SS, UK

[2] مختبر التصميم البصري للفنون والعلوم الإنسانية، جامعة نيويورك أبوظبي، ص.ب. 129188، أبوظبي، الإمارات العربية المتحدة

[3] المركز العربي لعلوم المناخ والبيئة (ACCESS) ومركز تفاعل الشبكات الحضرية (CITIES)، جامعة نيويورك أبوظبي، ص.ب. 129188، أبوظبي، الإمارات العربية المتحدة

*المؤلف المراسل: جون إيه بيرت - John.Burt@nyu.edu

## الاستشهاد المرجعي

سيرافيم، م.، كولينز، إ.، بيرت، ج.أ. (2024). “نقل وإعادة توطين الشعاب المرجانية في الخليج العربي: إرشادات بشأن الفوائد والمخاطر وأفضل الممارسات لممارسي المهنة وصنّاع القرار”. منشور من قبل مجموعة موانئ أبوظبي، الإمارات العربية المتحدة. ص. 1-60. DOI: 10.13140/ RG.2.2.11660.12162

# قائمة المحتويات


**01** الشـعاب المرجانية: نظام بيئي قيّم معرض للخطر 07

**02** أهمية الشـعاب المرجانية في الخليج العربي 11
**2.1** الضغوط على الشـعاب المرجانية في الخليج العربي 13

**03** نحو تنمية أكثر اسـتدامة في الخليج العربي 14
**3.1** تعويض آثار التطوير عن طريق إعادة توطين الشـعاب المرجانية 15

**04** نقل وإعادة توطين الشـعاب المرجانية: علم لا يزال وليداً 16
**4.1** الأسـاس المنطقي لإعادة التوطين 19

**05** أفضل ممارسـات إعادة توطين الشعاب المرجانية: مرحلة التخطيط 20
**5.1** التخطيـط ووضع الأهداف 20
**5.2** تقييـم الوضع الحالي للمواقع المانحة 22
**5.3** تقييـم الوضـع الحالي لعدد من المواقع المتلقية 22
**5.3.1** تقييـم التعرض للأمواج وتدفق المياه 22
**5.3.2** تقييم ملاءمة الطبقة السـفلية 22
**5.3.3** تثبيت الطبقات السـفلية أو تحسـينها 24
**5.3.4** الضغوط ووسـائل الحماية المحلية 24
**5.3.5** تقييـم الظـروف الفيزيائية والكيميائية الخاصة بالموقع 24
**5.3.6** تقييـم الخصائـص الأحيائية المميزة للموقع 25
**5.4** الاعتبارات اللوجسـتية 26
**5.5** التخطيط النهائي والمشـروع التجريبي 26

**06** أفضل ممارسات إعادة توطين الشـعاب المرجانية: المرحلة التشغيلية 27
**6.1** اختيار أنواع الشـعاب المرجانية المقرر إعادة توطينها 27
**6.2** أسـاليب الإزالة والتعامل مع الضغوطات 27
**6.3** إعادة توطين الحيوانات النافعة المرتبطة بالشـعاب المرجانية أو المسـتعمرات 29
**6.4** طـرق النقل والصعوبات المصاحبة 29
**6.5** الاعتبارات المناخية الموسـمية 31
**6.6** تأهيـل الموقع المتلقي 31
**6.7** اعتبارات مكان المسـتعمرة 32
**6.8** طرق تثبيت المسـتعمرات المرجانية 33

**07** أفضل ممارسـات إعادة توطين الشـعاب المرجانية: مرحلة المراقبة التي تلي إعادة التوطين 35

**08** دراسات من مختلف أنحاء العالم 39

**09** شكر وتقدير 50

**10** المراجع 51

# 1

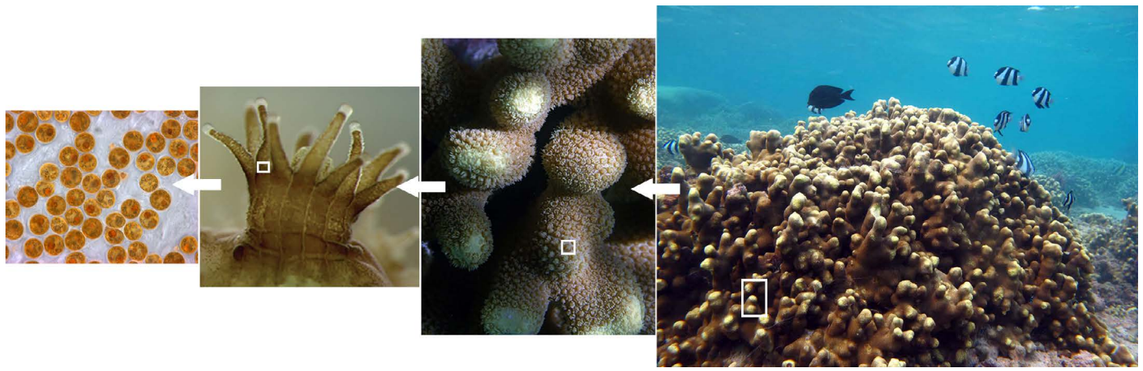
# الشعاب المرجانية: نظام بيئي قيّم معرض للخطر

تعدّ الشـعاب المرجانية من النظم البيئية الأكثر فائدة وقيمة على كوكب الأرض، فملايين البشـر يعتمدون على السلع والخدمات التي تقدمها هـذه المنظومة البيئية، فهي تُوفر مصدراً غذائياً لمصائد الأسـماك الاستوائية وتحمي السواحل من التآكل بتخفيفها حدة الأمواج[1]، فضلاً عن قيمتها الجمالية. وتشـير التقديرات إجمالاً إلى أن العوائد الاقتصادية المتأتية من الشـعاب المرجانية لسـكان المناطق الساحلية الاستوائية[2] تبلغ أكثر من 6 ملايين دولار أميركي لكل كيلومتر مربع سـنوياً، وهي تمثل القيمة الاقتصادية الأعلى بيـن جميع النظم البيئية الأخرى على الكوكب[3]. إلى جانب ذلك، تُعدّ الشـعاب المرجانية من الأصول المهمة للغاية للتنوع البيولوجـي، ففيها يعيش أكثر من ربع إجمالي الكائنات البحرية، على الرغم من أنها تشـغل أقل من 0.1% من مساحة المحيطات[4]، كمـا أنها توفر المأوى والغذاء والموائل الطبيعية لحوالي 830,000 نوع من الأحياء البحريةالمرتبطة بالشـعاب المرجانية[5]. وهي أيضـاً واحدة من أكثر النظم البيئية إنتاجية في العالم، ففيهـا تتم عملية دقيقة من تدوير المغذيات من خلال مجموعة من الشـبكات الغذائية المتنوعة والواسعة[6].

على الرغم من شـكلها الظاهري الشبيه بالصخور أو النباتات، إلا أن الشـعاب المرجانية هي في الواقع حيوانات تتنوع أحجامها وأشـكالها، وقد تختلف بشكل ملحوظ فيما بينها حسب أنواعها وبيئاتها[8,7]. وتنقسـم دورة حياة الشعاب المرجانية إلى مرحلتين، فالمسـتعمرات البالغة تنتج عادة البيض الذي يمكن أن ينجرف في عمود الماء لعدة أيام أو أسـابيع إلى أن ينمو إلى يرقات (البلانولا) تكون في نهاية المطاف قادرة على السـباحة نحو القاع للالتصاق بالشـعاب المرجانية[10,9]. وعند التصاق يرقات البلانولا بالشعاب المرجانية، تبدأ إفراز كربونات الكالسـيوم التي تثبتها بشكل دائم في هيكل الشـعاب المرجانية، وتمر بعملية تحوّل من مظهرها اليرقي الشـبيه بالبزاق (1 ملم) إلى سليلة صغيرة تشبه شقائق النعمان لتحافظ على هذا الشـكل بقية حياتها[10,7]. بمرور الوقت، تكون هذه السـليلة مستعمرات عن طريق الاستنساخ، إذ تصنع من نفسـها العديد من النسخ وتتطور ببطء إلى المستعمرات المرجانية الكبيـرة والمعقدة المعروفة، والتي يتألف كل منها من الآلاف إلى الملايين من السلائل المستنسـخة (الشكل 2). يشكل هذا الغطاء من السلائل المستنسـخة قشرة رقيقة (2-1 مم) من الأنسـجة الرخوة الشبيهة بالهلام على سطح المستعمرة، من ملايـين السلائل المتطابقة وراثياً. وعلى الرغم من صعوبة رؤية هذه السلائل شبه المجهرية بالعين المجردة، تتغذى كل منها على العوالق عن طريق تمديد لوامسـها في عمود الماء (عادة في الليل) باسـتخدام الخلايا اللزجة (الخلايا اللاسعة)، على غرار أسـلوب أبناء عمومتها، قناديل البحر، في التقاط الطعام[11]. إضافـة إلى ذلك، تحتوي جميع السلائل على مئات الآلاف من الطحالـب المجهرية وحيدة الخلية (طحالب زوزانتلا) التي تعيش بشـكل تكافلي داخل نسيج السليلة[2]1 (الشكل 2، على اليمين). وهذه العلاقـة التكافلية في غاية الأهمية، إذ توفر الطحالب أكثر من 90% من احتياجـات الطاقة للمرجان بفضل عملية البناء الضوئي. في المقابل، توفر الشـعاب المرجانية للطحالب إمدادات مسـتدامة من العناصر الغذائية التي حصلت عليها السليلة، والتي تعـدّ مصدراً غذائيـاً مهماً بالنظر إلى ندرة المغذيات في المياه التي تشـكّل موطناً طبيعياً للشعاب المرجانية (وطحالب زوزانتلا)[14,13]. تعيش الملايين من طحالب زوزانتلا في كل سـنتيمتر مربع من الشـعاب المرجانية لتمنحه ألوانه الزاهية والنابضة بالحياة؛ أما النسـيج المرجاني نفسه فهو شفاف، تماماً مثل قناديل البحر، ولا يمكن رؤية هيكله الأبيض إلا تحت قشـرة رقيقة من الأنسجة الشبيهة بالهلام[15,7].

الشـكل 1. الشـعاب المرجانية هي المنظومة الأكثر تنوعاً من الناحية البيولوجية والأهم اقتصادياً في منطقة الخليج. (حقوق الصورة: توبي هدسـون (CC-BY-SA-3.0))

المصدر: أوليفر فاريل

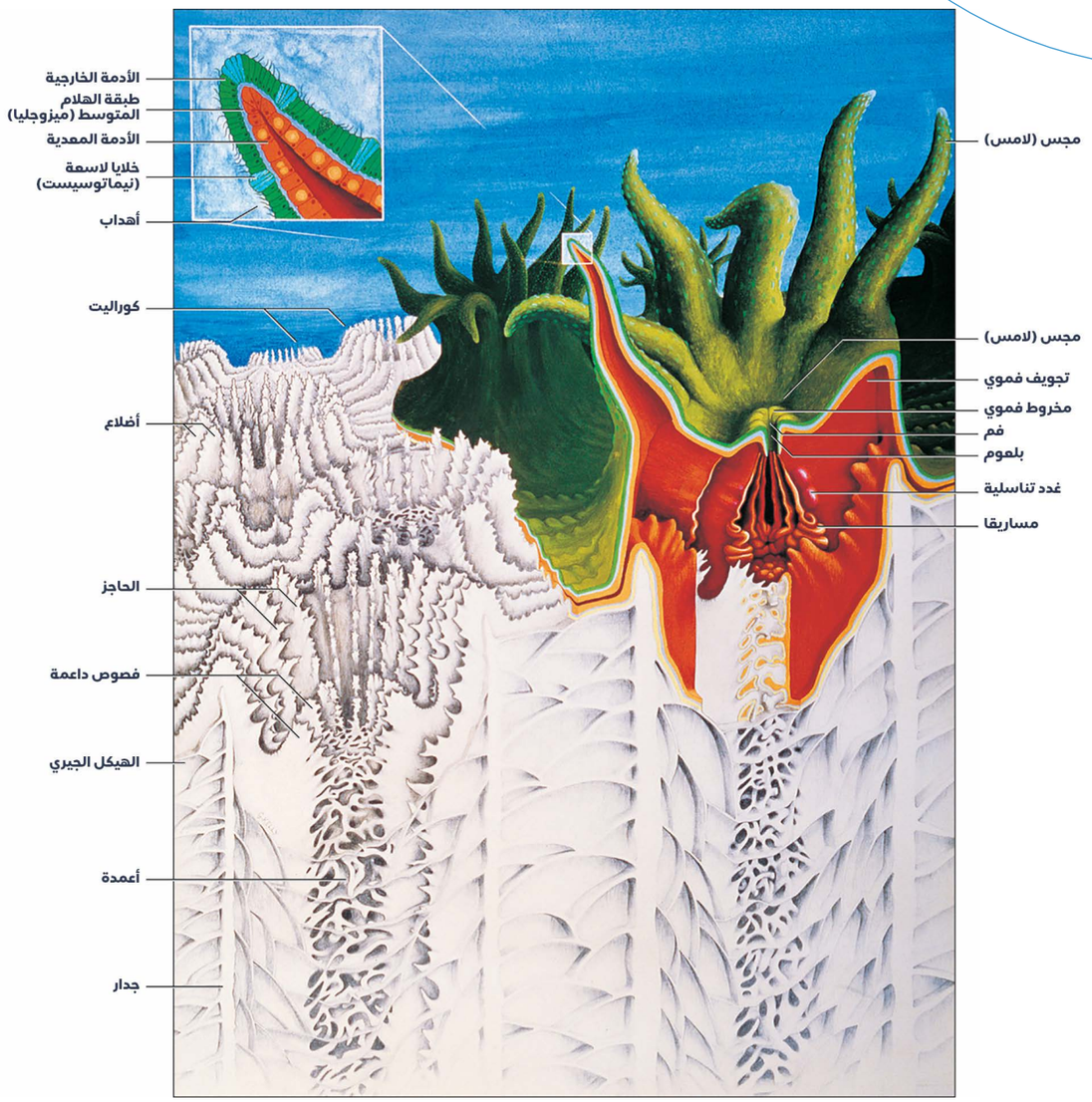


الشكل 2. تتألف مستعمرات الشعاب المرجانية عادة من ملايين السلائل المستنسخة التي تحتوي كل منها على مئات الآلاف من الطحالب المجهرية التي تقوم بعملية البناء الضوئي وتعيش بشكل تكافلي داخل أنسجة المرجان. أُعدّت هذه الصورة "Colonytosymbiont" بموجب الترخيص (CC-BY-SA-4.0) للشعبة المرجانية *بوريتس سيلندريكا* من قبل فيليب بورجون (CC-BY-SA-3.0)، والشعبة المرجانية *بوريتس سيلندريكا* في ساموا من قبل لاري باش، وطحالب زوزانتلا على السليلة المرجانية *بروبتس أستوريدس* من قبل الإدارة الوطنية للمحيطات والغلاف الجوي (CC-PD)، وطحالب زوزانتلا من قبل تود لاجونيس (CC-BY-2.0).

تزدهر الشعاب المرجانية في المياه الضحلة الصافية في المناطق الاستوائية أو شبه الاستوائية وتتراوح درجة الحرارة المثلى لها بين 23 و29 درجة مئوية (الشكل 3). وتختلف معدلات نمو الشعاب المرجانية بحسب نوعها، فالأنواع الرقيقة الشبيهة بالفروع (مثل مرجان الطاولة، أكروبورا) يمكنها أن تنمو بمعدل 150-100 ملم في العام، في حين أن الأنواع الكبيرة الشبيهة بالصخور (مثل مرجان التلال، بوريتس) تنمو بشكل أبطأ بكثير (5-10 ملم في العام)، لكنها عادةً ما تكون أكثر متانة وقدرة على الصمود أمام الضغوط الخارجية[16,8]. ومع نمو المستعمرات المرجانية، تفرز طبقة كربونات الكالسيوم التي تشكل هيكلاً تحت أنسجة سطح السليلة الشبيهة بالهلام (الشكل 4). وعادة ما تكون الأنسجة الحيّة ضمن بضعة ملليمترات فقط من قمة المستعمرة المرجانية، بينما يشكّل الهيكل الأساسي غير الحيّ ما يشبه حلقات نمو الأشجار مع نمو المستعمرة[7]. تتراكم تلك الهياكل الصلبة للمستعمرة المرجانية فوق بعضها البعض بمرور الوقت، وتشكل هيكلاً معقداً من الشعاب المرجانية يوفر موطناً ثلاثي الأبعاد للكائنات الحية المرتبطة بالشعاب المرجانية، وقد يكون هيكل الشعاب المرجانية كبيراً جداً في بعض المناطق بحيث يمكن رؤيته من الفضاء (مثل: الحاجز المرجاني العظيم)[7].

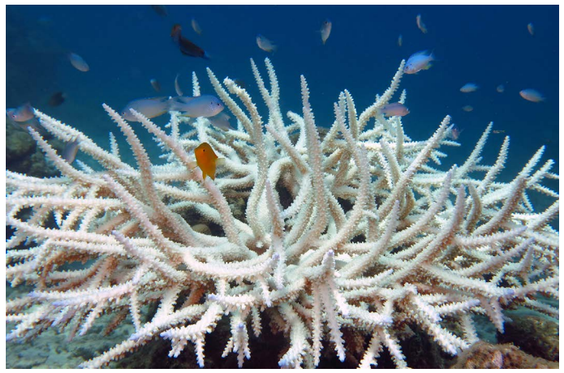
الشكل 3. خريطة التوزيع العالمي للشعاب المرجانية الاستوائية. تقع نسبة 6% من مساحة الشعاب المرجانية في العالم داخل المنطقة العربية[17]. مصدر البيانات: المركز العالمي لرصد حفظ الطبيعة التابع لبرنامج الأمم المتحدة للبيئة (2021)[18].






الشكل 4. تشريح حيوان المرجان. يمكن أن تشكّل الملايين من حيوانات المرجان المستنسخة مستعمرة مرجانية واحدة، وتنمو الأنسجة السطحية الرقيقة الشبيهة بالهلام فوق العديد من طبقات الهيكل المرجاني الذي يشكّل إطار الشعاب المرجانية. المصدر: فيرون وآخرون 2022 [19].

وعلى الرغم من أن المرجان والشعاب المرجانية التي يشكّلها تعدّ منظومات بيئية في غاية الأهمية ، إلا إنها معرضة للخطر بسبب مجموعة من العوامل المتداخلة على المستوى العالمي والمحلي[20]، حيث يشكّل الارتفاع المتسارع لدرجات حرارة البحر المرتبط بالتغيّر المناخي العالمي تهديداً كبيراً للشعاب المرجانية، إذ يمكن أن تؤدي درجات الحرارة العالية إلى سلسلة من التفاعلات الكيميائية داخل أنسجة الشعاب المرجانية تسبب طرد الطحالب المتعايشة معها، وهو ما يؤدي غالباً إلى موت أعداد كبيرة من المرجان[21-23]. كما تُسفر هذه الاستجابة عن فقدان المستعمرات أصباغها الملونة التي تحملها الطحالب، ليظهر هيكلها ذو اللون الأبيض الساطع أسفل الأنسجة المرجانية الشفافة التي يبلغ سمكها 1-2 ملم والموجودة على سطحها في عملية تعرف باسم "ابيضاض الشعاب المرجانية". والسبب الآخر الذي قد يمنع نمو هياكل المرجان والحفاظ عليها [21] هو زيادة حموضة المحيطات الناجم عن ارتفاع مستويات ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي والذي تمتصه المحيطات ويؤدي بدوره إلى تكوين حمض الكربونيك مسفراً عن انخفاض قيمة الأس الهيدروجيني في مياه المحيط. وتشمل التهديدات البيئية المحلية أيضاً التدمير المادي بسبب أعمال التطوير الساحلية وممارسات الصيد الجائر، إضافة إلى الترسبات والتلوث الذي يمكن أن يمنع عملية البناء الضوئي ويشجع انتشار الأمراض بين المرجان. كما أن الإفراط في صيد الكائنات الحية الرئيسية، مثل الأسماك التي تتغذى على الطحالب قد يمثل إشكالية أيضاً، فهو يزيد من مساحة الطحالب الكبيرة غير المستهلكة على حساب المستعمرات المرجانية[24]. وقد أدى تراكم مجموعة من تلك التهديدات إلى فقدان 14% من الشعاب المرجانية على مستوى العالم منذ عام 2009 [25]، كما أن ثلث الأنواع المرجانية معرضة لخطر الانقراض بسبب تغيّر المناخ وعوامل ضغط محليّة[26]. ويشير الإجماع العلمي العام إلى أن معدل فقدان الشعاب المرجانية يفوق حالياً معدل نموها[27]، ما يتطلب تسريع وتيرة البحث في وسائل استعادة الشعاب المرجانية وتدابير التخفيف من آثار فقدانها.



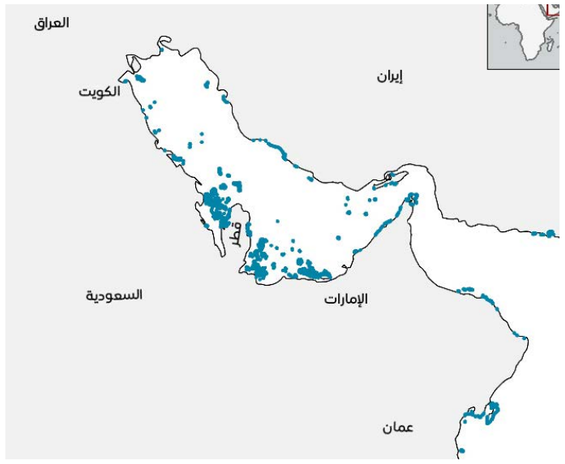
الشكل 5. يمكن أن تصاب المستعمرات المرجانية "بالابيضاض" في حالات الإجهاد الشديد (مثل: درجات الحرارة العالية والتركيزات المرتفعة من المغذيات وما إلى ذلك)، التي تتسبب في طرد الطحالب الملونة المتعايشة معها وتتحول إلى اللون الأبيض. ولأن هذه الطحالب توفر أكثر من 90% من احتياجات الطاقة للمرجان، فإن فقدانها أثناء ابيضاض الشعاب المرجانية قد يؤدي إلى موت أعداد كبيرة من المرجان إذا لم تعد الظروف إلى طبيعتها في غضون أيام قليلة. المصدر: فاردان باتانكار (CC-BY-SA 4.0).

الشكل 6. أدت الرواسب الناتجة عن أعمال التطوير الساحلية إلى هلاك الشعاب المرجانية على نطاق واسع في دولة الإمارات خلال عام 2007 [28]. ولذا، يجب مراقبة الرواسب الناتجة من أعمال التطوير الساحلية وإدارتها بعناية، حتى في المناطق التي تبعد مئات الأمتار عن النظم البيئية الهشة للشعاب المرجانية. المصدر: جون بيرت.



# 2
# أهمية الشعاب المرجانية في الخليج العربي

تتواجد الشعاب المرجانية في جميع الدول الثماني المطلة على الخليج العربي، وتمثّل إحدى الثروات الطبيعية لشعوب الخليج. وتعد الشعاب المرجانية من أكثر النظم البيئية الغنية بالتنوع في المنطقة العربية، ولها أهمية خاصة بالنظر إلى الطبيعة القاحلة للمنطقة والقيود التي تفرضها على تنوع الكائنات الحية على اليابسة[29]. ويوفّر الشكل المعقد والخصب للشعاب المرجانية في الخليج الغذاء والمأوى والموائل الطبيعية لأكثر من 300 نوع من الأسماك والقروش وأسماك الراي المرتبطة بالشعاب المرجانية[31,30]، مع اعتماد العديد من تلك الأنواع على الشعاب المرجانية بالكامل في كامل دورة حياتها أو جزء منها[32]. كما أن الكتلة البيولوجية للأسماك أكبر بكثير على الشعاب المرجانية منها في الموائل المحيطة، وتتمتع العديد من أنواع الأسماك المرتبطة بالشعاب المرجانية بقيمة تجارية هامة[33]، فالشعاب المرجانية تدعم قطاع الصيد الذي يأتي في المرتبة الثانية بعد النفط في ترتيب قطاعات الموارد الاقتصادية، إضافة إلى أهميتها لقطاعات الغوص الترفيهي والسياحة البيئية المزدهرة[34]. ولذا، تمثّل الشعاب المرجانية منظومة بالغة الأهمية من حيث تنوعها البيولوجي وقيمتها الاقتصادية لدول الخليج[35].




الشكل 7. خريطة انتشار الشعاب المرجانية في الخليج العربي وبحر عمان. مصدر البيانات: المركز العالمي لرصد حفظ الطبيعة التابع لبرنامج الأمم المتحدة للبيئة (2021)[18].

تمثّل الشعاب المرجانية في الخليج العربي أيضاً أحد الأصول بالغة الأهمية للعلوم العالمية. فالخليج العربي يعدّ واحداً من أكثر المسطحات المائية قسوةً، وذلك بالنظر إلى موقعه في الحزام الجاف شبه الاستوائي عالي الضغط، ومياهه الضحلة (متوسط عمق يبلغ 30 متراً)، وموقعه الجغرافي شبه المغلق الذي يحدّ من اختلاط مياهه بمياه المحيط الهندي[29]. وتشكل تلك الظروف مجتمعة نظاماً بحرياً يمتاز بدرجات الحرارة القاسية وشديدة التغيّر (أقل من 12 إلى أكثر من 36 درجة مئوية سنوياً)، وارتفاع درجات ملوحة المياه (بما يصل إلى 44 وحدة ملوحة عملية في المياه المفتوحة، وأكثر من ذلك في الخلجان الصغيرة)، ونقص الأكسجين العرضي، وتكدّر المياه في الغالب[37,36,29]. ونتيجة لتلك الظروف البيئية القاسية، يُعدّ الخليج العربي موطناً لمجموعة فرعية تتميز بقدرة على التحمل أعلى نسبياً من مثيلاتها من الأنواع البحرية المرتبطة بالشعاب المرجانية التي تعيش في المحيط الهندي (مثل: المرجان والأسماك المرجانية واللافقاريات البحرية[39,38,36]) حيث تبلغ نسبة تنوع الشعاب المرجانية فيه 10% مقارنة بنظيرتها في المحيط الهندي، مع وجود تجمعات تهيمن عليها عادة الحيوانات التي تتحمل ضغوطاً كبيرة[36]. وأظهرت بحوث حديثة أنه نتيجة تعرض تلك الشعاب المرجانية إلى درجات حرارة مرتفعة منذ استعمار الخليج من قبل الشعاب المرجانية عقب التراجع الجليدي الأخير قبل أكثر من 12,000 عام، فقد تكيفت الشعاب المرجانية في الخليج وراثياً لتحمّل درجات الحرارة القاسية وتعدّ اليوم أكثر الشعاب المرجانية قدرة على تحمل درجات الحرارة في العالم[42-40]. ولذا، بالنظر إلى وتيرة تغيّر المناخ السريعة، أصبحت الشعاب المرجانية مجالاً نشطاً للبحوث بشأن كيفية تكيّفها مع درجات الحرارة القاسية واستجابتها لها، وذلك بهدف توفير رؤى واضحة عن استجابة الشعاب المرجانية في أجزاء أخرى من العالم لدرجات الحرارة الدافئة في العقود القادمة[44,43]. إضافة إلى ذلك، فهناك بحوث متزايدة بشأن إمكانية الاستفادة من التدخلات النشطة في الشعاب المرجانية في الخليج العربي (مثل: الهجرة المساعدة والتهجين) لدعم الشعاب المرجانية في مناطق أخرى[47-45]. ونحن لا نبالغ في تأكيدنا على القيمة العلمية التي تضفيها الشعاب المرجانية في الخليج على المجتمع العلمي الدولي[43,35].

على الرغم من أن الشعاب المرجانية في الخليج العربي من بين أكثر الشعاب المرجانية تحمّلاً للحرارة في العالم، فإن التباين في تنوعها وتحمّلها للحرارة هو نتيجة تدرجات بيئية في جميع أنحاء الخليج. فالأنواع الأكثر ثراءً وتعقيداً من الشعاب المرجانية تقع على طول سواحل إيران باتجاه الأجزاء الشمالية من مياه الخليج في الكويت وشرق المملكة العربية السعودية، حيث تُسهم المياه المتدفقة من بحر عمان والأعماق الكبيرة لمياه الخليج في تخفيف تأثّر الشعاب المرجانية بدرجات الحرارة القاسية[38]. وإلى الجنوب من الخليج، تُسهم المياه الضحلة ودرجات الحرارة القاسية ووصول الملوحة إلى أعلى درجاتها في تقليل تنوّع الشعاب المرجانية[48-50]، لكن كمية المرجان الإجمالية (أي نسبة تغطية المرجان الحيّ للشعاب المرجانية) تكون في العادة مماثلة، بل وأحياناً أكبر من تلك الموجودة في الشعاب المرجانية في أجزاء أكثر اعتدالاً من الخليج[51]، مع هيمنة الأنواع المقاومة للإجهاد على التجمعات المرجانية في المنطقة إلى حدّ كبير. ولذا، في حين يختلف تنوّع الشعاب المرجانية وتكوين مجتمعاتها بحسب منطقتها، إلا أنها تظل تمثل منظومة بيئية هامة بغض النظر عن موقعها في الخليج.

الشكل 8. تعتبر الشعاب المرجانية في الخليج العربي من بين أكثر الشعاب المرجانية قدرة على تحمّل الحرارة في العالم، ما يجعل هذه المنطقة مركزاً للبحوث المرتبطة بتغيّر المناخ. وفي هذه الصورة، يأخذ باحث عينات من الشعاب المرجانية في قطر لإجراء دراسة جينية. المصدر: جون إيه بيرت.

الشكل 9. تتباين تجمعات الشعاب المرجانية في جميع أنحاء الخليج نتيجة الاختلافات البيئية. وغالباً ما يهيمن مرجان الطاولة الأكثر حساسية (المعروف باسم *أكروبورا*") في المناطق الأكثر اعتدالاً (مثل: جزيرة صير بو نعير في وسط الخليج، على اليسار)، في حين تميل أنواع مرجان المخ ومرجان التلال (البلاتيجيرا والبروتيس) إلى الهيمنة في الظروف الأشد قسوة (مثل: رأس غناضة وأبوظبي، على اليمين)، وذلك على الرغم من أن نسبة الشعاب المرجانية الحيّة تكون في الغالب متماثلة بين مختلف أنواع الشعاب المرجانية51. المصدر: جون إيه بيرت (صوّرت في عام 2014).



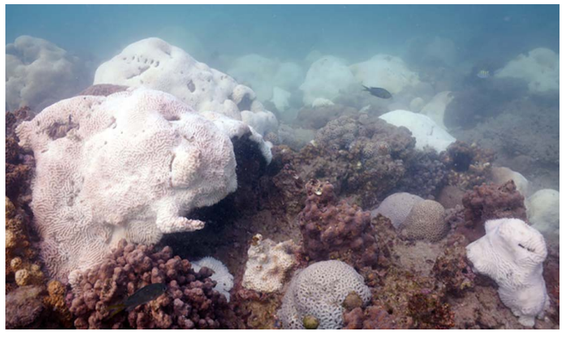
## الضغوط على الشعاب المرجانية في الخليج العربي

على الرغم من أهمية الشعاب المرجانية في الخليج العربي بالنظر إلى تنوعها البيولوجي وقيمتها الاقتصادية وبصفتها أحد أصول العلوم العالمية، فإن زيادة الضغوط على هذه النظم البيئية تؤدي إلى تدهورها وتراجعها في جميع أنحاء المنطقة[52].

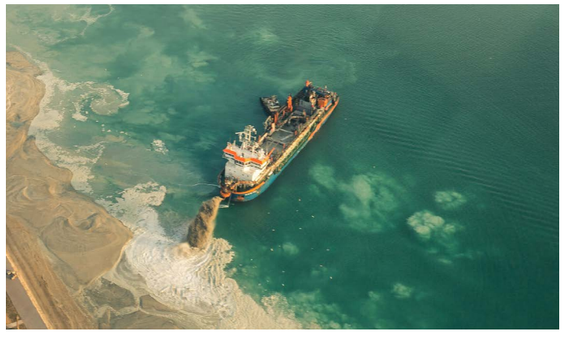
تحدث موجات الحرارة البحرية في الخليج العربي مع زيادة وتيرة تغيّر المناخ العالمي وشدّته[51]. وعلى الرغم من أن الشعاب المرجانية في منطقة الخليج هي من بين الأكثر تحملاً للحرارة في العالم، إلا إنها تعيش في أثناء فترة الصيف على مقربة شديدة من حدود قدرتها القصوى على تحمّل درجات الحرارة، فحتى الزيادات البسيطة في درجة الحرارة (ما يقارب 1 درجة مئوية فوق الحدّ الأقصى الطبيعي لدرجات الحرارة التي بإمكانها تحملها) قد تفرض عليها ضغوطاً أكثر من قدراتها الفسيولوجية على التحمّل، ما يؤدي إلى ابيضاض المرجان، وفي بعض الظروف شديدة القسوة إلى موت أعداد كبيرة منها. وتشير الوثائق التاريخية لموجات الحرارة البحرية وابيضاض المرجان في الخليج العربي إلى أن أول حدث ابيضاض وقع في عام 1982، تليه فترة طويلة خالية من الإجهاد الحراري[53]. ورغم ذلك، زادت وتيرة أحداث الابيضاض المسجّلة والمرتبطة بموجات الحرارة البحرية في الخليج منذ أواخر تسعينيات القرن الماضي، حيث وقعت أحداث الابيضاض في الأعوام 1996 و1998 و2003 و2010 و2011 و2012 و2017 و2021 [55,54,51]. وكانت آخر أحداث الابيضاض من بين أشد الأحداث المسجّلة على الإطلاق، فقد انخفضت كمية المرجان الحيّ في الشعاب المرجانية بأكثر من ثلاثة أرباعها في المناطق الأكثر تضرراً، لا سيّما نتيجة وفاة أعداد كبيرة من المرجان[54]. وإجمالاً، تراجع الغطاء المرجاني في جميع أنحاء الخليج العربي بنسبة 40% بين عامي 1996 و2019، وهو ما يُعزى غالباً إلى أحداث الابيضاض المرتبطة بموجات الحرارة البحرية[52].

وعلى الرغم من أن تغيّر المناخ العالمي وموجات الحرارة البحرية تمثّل التهديد الأكثر شيوعًا للشعاب المرجانية في الخليج العربي، فقد أدّت الضغوط المركّزة الناجمة عن أعمال التطوير الساحلية والتوسّع العمراني إلى فقدان الشعاب المرجانية وتراجع أعدادها في المناطق المحيطة بالمدن الساحلية والمواقع الصناعية الداعمة لها[57,56]. كما أدّت أعمال التجريف والاستصلاح لتطوير العقارات الساحلية وقنوات الملاحة الرامية إلى دعم الصناعة والتجارة البحرية إلى إحداث تغييرات كبيرة في البيئة البحرية في الخليج، إذ تشير التقديرات إلى أن أكثر من 40% من ساحل الخليج العربي يتألف حالياً من سواحل صناعية أو معدّلة بشكل كبير[57,29]. تشكّل أعمال تطوير البنية التحتية، مثل بناء الموانئ وحفر القنوات واستصلاح الأراضي تهديداً مباشراً للنظم البيئية الهشة للشعاب المرجانية، إما عبر إزالتها بشكل مباشر في أثناء أعمال التجريف أو دفنها أثناء أعمال الاستصلاح[59,58].

علاوة على ذلك، فحتى الشعاب المرجانية التي تقع خارج نطاق أعمال التطوير قد تكون مُهددة بصورة غير مباشرة بسبب زيادة الرواسب خلال مراحل البناء والتغيرات طويلة الأجل في حركة المياه بعد تلك المرحلة[60]. ولذا، فعلى الرغم من أن آثار أعمال التطوير الساحلية الهادفة لدعم التوسع الحضري أكثر تركيزاً مقارنة بتغيّر المناخ، فإنها تشكّل ضغطاً بيئياً واسعاً في الخليج بالنظر إلى الطبيعة الشاملة لتلك الأنشطة[57,56]. ونتيجة لذلك، فهناك اهتمام متزايد من الجهات التنظيمية وشركات التطوير بالعمل معاً على وضع وتنفيذ تدابير أكثر صرامة لإدارة البيئة، وتعزيز استدامة أعمال البناء على السواحل.



الشكل 10. أدّت موجات الحرارة البحرية المتكررة إلى حدوث الابيضاض المرجاني بوتيرة وشدة أكبر في الخليج العربي في العقود الأخيرة، كما حدث للشعاب المرجانية قبالة جزيرة كبر في الكويت في عام 2015. المصدر: جون إيه بيرت.



الشكل 11. استُخدم الاستصلاح الساحلي على نطاق واسع لإنشاء عقارات مميزة عالمية المستوى تطل على الخليج في جميع أنحاء المنطقة. وقد تكون للرواسب الناتجة عن هذه العملية آثار بيئية جسيمة إذا أجريت على مقربة من نظم بيئية حساسة مثل الشعاب المرجانية. المصدر: ريتشارد شنايدر (CC-BY-NC 2.0).

# 3
# نحو تنمية أكثر استدامة في الخليج العربي

في ضوء أهمية الشعاب المرجانية، يزداد الاهتمام بوضع منهجية أكثر استدامة لأعمال التطوير الساحلية في منطقة الخليج[58, 64-61]. وتعمل الجهات الحكومية في جميع أنحاء المنطقة باستمرار على تعزيز عمليات تقييم الأثر البيئي ووضع سياسات ومبادرات إدارية أخرى من أجل الحفاظ على الشعاب المرجانية (مثل: إنشاء مناطق بحرية محمية حول المناطق ذات التنوّع البيولوجي الفريد)[67-65]. شملت تلك الأنشطة إعداد التخطيط المكاني للمناطق البحرية واتباع نهج الإدارة المستند إلى النظم البيئية، وذلك بهدف التشجيع على تجنب أنشطة التطوير في المناطق المعرضة للخطر[64، 72-68].

ومن المرجح أن تؤدي هذه الأطر التنظيمية سريعة التطوّر إلى تحسينات كبيرة للتأكد من سلامة النظم البيئية الساحلية مع تمكين تحقيق نمو اقتصادي مستدام بالاستفادة من أعمال التطوير الساحلية[73]. ومع إعطاء الأولوية لسياسة تجنب أنشطة التطوير، ستنجح تلك المنهجيات في الحدّ من الأنشطة التي تهدد الشعاب المرجانية وتتطلب بدلاً من ذلك الحصول على تصاريح تتضمن خططاً بديلة للتطوير من أجل تجنب الإضرار بكامل الأنظمة البيئية [75،74]. وينبغي اعتبار منهجيات تجنب أنشطة التطوير الخيار الأول في أي خطة، وذلك لأنها تحافظ على سلامة النظم البيئية الطبيعية القائمة وتتجنب المخاطر والقيود المتأصلة في منهجيات تقليل الأنشطة أو منهجيات التعويض[77،76].

وعلى الرغم من ضرورة أن يكون تجنب إحداث آثار في النظام البيئي هدف الإدارة البيئية، إلا أن هناك بعض الحالات التي تستوجب المضي قدماً بأعمال التطوير. ولا بدّ أن ينصبّ تركيز مدراء المشاريع في مثل تلك الحالات على الحدّ من الآثار البيئية، وأن يستعينوا على ذلك بأنشطة إصلاح المناطق المتأثرة أو إعادة تأهيلها أو استعادتها، بما في ذلك التعويض، حسب الاقتضاء، لمعالجة أي آثار سلبية [79،78]. ويعد إعادة توطين الشعاب المرجانية من الوسائل الواردة في تسلسل التخفيف حين لا يكون تجنب الأثر الكامل مجدياً[83-80]؛ رغم أن نقلها لا يخلو من المخاطر. ويركّز هذا التقرير على الفوائد والتحديات وميزات التصميم التي يجب مراعاتها عند نقل وإعادة توطين المرجان في إطار منهجية التخفيف من الآثار الضارة البيئية.

## عوامل تخفيف الضغوط

الشكل 12. ينبغي اعتماد تسلسل التخفيف من المخاطر من أجل الحفاظ على النظم البيئية الساحلية سليمة وفعالة في المناطق المخطط إقامة أعمال التطوير فيها.



## تعويض آثار التطوير عن طريق إعادة توطين الشعاب المرجانية

بالنظر إلى الوتيرة السريعة للتوسع الحضري في المناطق الساحلية المطلة على الخليج بهدف تلبية متطلبات النمو السكاني في المنطقة[61،34]، وما يترتب على ذلك من تراجع النظم البيئية الهشة للشعاب المرجانية، ولا سيما تلك التي تكون على مقربة من المدن الساحلية[62،57]، أصبح تعويض التنوع البيولوجي أداة شائعة على نحو متزايد في الأعوام الأخيرة للتخفيف من آثار التطوير في جميع أنحاء الخليج.

تعويض التنوع البيولوجي هو نوع من الإجراءات الإدارية التي تنطوي على التدخل لزيادة التنوع البيولوجي في موقع بديل (باستخدام طرق مثل إعادة توطين المرجان) للتعويض عن الأضرار التي لا يمكن تجنبها في مواقع التطوير المقترحة[86-84]. فمن الناحية النظرية، قد يساعد التعويض البيئي في تحقيق الأهداف البيئية وأهداف الحفاظ على البيئة مع إتاحة مواصلة النمو الاقتصادي عبر أعمال التطوير[81]، وذلك على الرغم من أنه ينطوي على بعض المخاطر بسبب عدم اليقين من نجاحه[88-86]. تشمل المخاوف الرئيسية غياب الإرشادات، وأعمال التنفيذ الجزئية (أو حتى عدم التنفيذ) بسبب مسائل عدم الامتثال، والجداول الزمنية الطويلة وآثار التأخير، وضعف الشفافية بشأن نتائج مشاريع التعويض السابقة، وعدم الوضوح فيما يتعلق بالجهة المسؤولة عن مراقبة النتائج ونشرها بعد التنفيذ[90-87]. وعلى هذا النحو، وكما هو مذكور أعلاه، ينبغي إعطاء الأولوية دائماً لجهود تجنب أنشطة التطوير والتقليل من المخاطر قبل النظر في تبنّي منهجيات التعويض[90].

## تسلسل اتخاذ قرارات التطوير

الشكل 13. مخطط يوضح تسلسل القرارات التي يجب مراعاتها قبل التفكير في قرار نقل وإعادة توطين الشعاب المرجانية. وفي حال كانت إعادة التوطين خياراً ضمن استراتيجية تعويض آثار التطوير، فيجب أن ينصبّ الهدف على ضمان عدم حدوث خسائر صافية في التنوع البيولوجي.

# 4

# نقل وإعادة توطين الشعاب المرجانية: علم لا يزال وليداً

يسلّط هذا القسم من الإرشادات الضوء على بعض التحديات والقيود ذات الصلة بعملية إعادة توطين الشعاب المرجانية بحيث يكون القراء على دراية بالتعقيدات التي قد لا تحظى بالاهتمام الذي تستحقه في هذا المجال. وتُبرز الأقسام التالية المنهجية التي يمكن اتباعها في مختلف خطوات عملية إعادة التوطين (التخطيط والتنفيذ والمراقبة والنشر) للحدّ من تلك التحديات وزيادة فرص نجاح أعمال نقل وإعادة توطين الشعاب المرجانية.

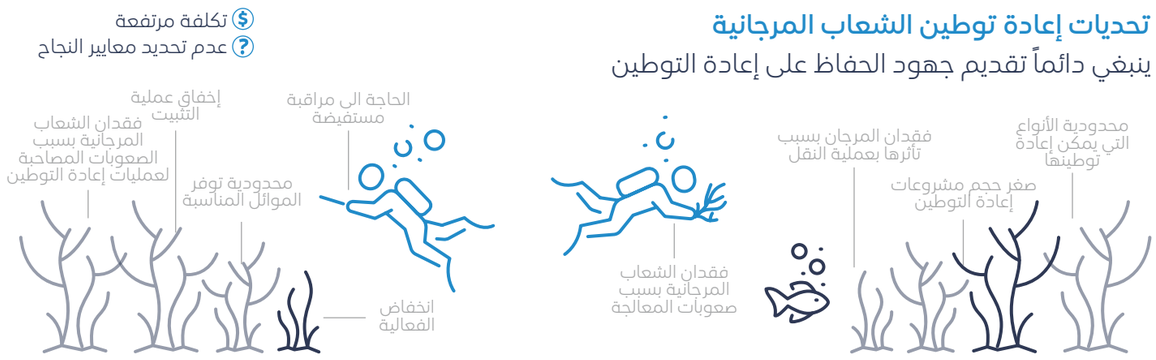
## الشعاب المرجانية عبارة عن منظومات بيئية معقدة لا تزال العلوم الخاصة بإعادة توطينها في مراحلها الأولية.

تهدف عملية نقل وإعادة توطين الشعاب المرجانية إلى تعويض الآثار المحتملة للتشييد في المناطق البحرية، ضمن موقع واحد، وذلك عن طريق نقل التنوع البيولوجي المستهدف إلى موقع بديل خارج منطقة التطوير[83]. وعلى الرغم من اعتبار عملية نقل وإعادة توطين الشعاب المرجانية حلاً بسيطاً نسبياً للتوفيق بين أعمال التطوير الساحلية والحفاظ على البيئة، إلا أن الشعاب المرجانية منظومات معقدة لا يمكن استبدالها أو نقلها بسهولة. ويعدّ علم استعادة الشعاب المرجانية وإعادة توطينها علماً جديداً نسبياً وتجريبياً بطبيعته، ولا يزال من المجالات التي تنشط جهود تطويرها في الوقت الحالي. وعلى هذا النحو، فهناك حاجة إلى قدر كبير من التخطيط المسبق باتباع أفضل الممارسات القائمة على الأدلة لتحقيق أقصى قدر من النجاح وتخفيف التبعات السلبية المحتملة لأي برنامج لنقل الشعاب المرجانية[27,80,82,91,92]. وبالنظر إلى أن هذا المجال لا يزال قيد التطوير وأن نجاح عمليات إعادة التوطين مرتهن في الغالب بسياقها بدرجة كبيرة، فلا ينبغي اعتبار أي نهج على أنه نهج شامل.

الشعاب المرجانية هي نتاج العديد من التفاعلات البيئية المعقدة بين حيوانات المرجان التي تلقّب بـ "مهندسي النظم البيئية"، والكائنات الحيّة المختلفة التي تستوطن الشعاب المرجانية وتستفيد منها وتعزز وظيفتها[93]، ومن بينها التفاعلات بين الشعاب المرجانية والكائنات المرتبطة بالمرجان أو المعتمدة على المرجان (مثل: الروبيان المنظّف والأسماك الآكلة للمرجان) بالإضافة إلى المستفيدين من الدرجة الثانية (مثل: الأسماك المفترسة التي تصطاد قرب الشعاب المرجانية) ممن يوفرون أيضاً فوائد للمرجان (مثل: إفراز العناصر الغذائية)[94-99]. وإجمالاً، يجب الحفاظ على العمليات والتفاعلات الوظيفية الرئيسية في مشاريع استعادة المرجان وإعادة توطينه لضمان ازدهار التجمعات[103]. وعلى الرغم من سهولة إعادة توطين المستعمرات المرجانية الفردية من موقع إلى آخر نسبياً، قد تؤدي العلاقات الوظيفية المعقدة، التي يُقلَّل من شأنها عادة، مع الشعاب المرجانية الأخرى إلى عواقب سلبية غير مقصودة تعرقل نجاح عمليات إعادة التوطين التي تجري دون تخطيط مسبق جيّد. فعلى سبيل المثال، ثبت أن وجود الأسماك العاشبة واللافقاريات التي تتغذى على الطحالب ضروري لمنع النمو المفرط للطحالب على حساب زراعة المرجان[100-102]، وهو ما يشير إلى ضرورة اعتبار هذه الحيوانات الرئيسية المرتبطة بالشعاب المرجانية جزءاً من أي جهد لإعادة توطينها. ولذا، يجب أن تتمثّل أولوية أي مشروع تطوير في الحفاظ على تكاملية النظم البيئية الطبيعية القائمة عن طريق اتخاذ تدابير تجنب أنشطة التطوير أو تدابير تخفيف صارمة للمخاطر بدلاً من الاعتماد على جهود غير معلومة العواقب تكون غير ناجحة في الغالب مثل إعادة توطين الشعاب المرجانية.

## تحديات إعادة توطين الشعاب المرجانية

### ينبغي دائماً تقديم جهود الحفاظ على إعادة التوطين




الشكل 14. ملخص بياني للتحديات التي تواجه مشاريع إعادة توطين الشعاب المرجانية، والتي يقلل عدد منها من نجاح عمليات إعادة التوطين. وفي جميع الحالات، يجب أن يكون تجنب الأثر البيئي الهدف الرئيسي في تسلسل التخفيف من المخاطر.



## التحديات العملية أمام إعادة توطين الشعاب المرجانية

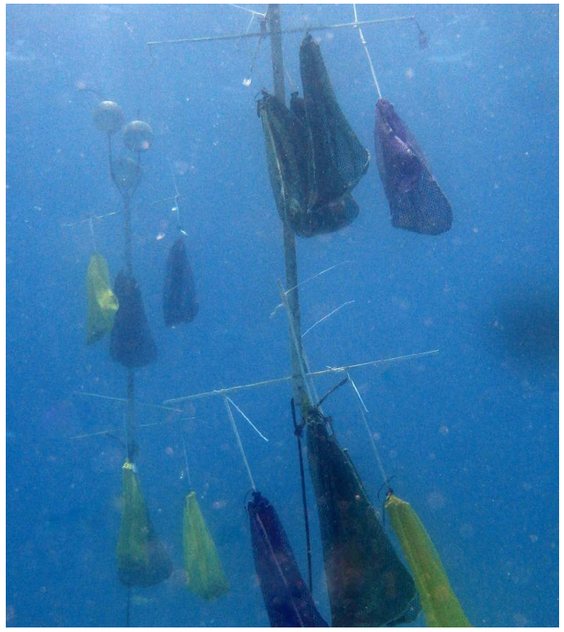
لا تخلو عملية إعادة توطين الشعاب المرجانية من التحديات، كما أن معظم أنشطة استعادة المرجان المعلن عنها محدودة نسبياً (100 متر مربع في المتوسط[104]). وعلى الرغم من أن نطاق عملية إعادة توطين المرجان يجب ألا يقل عن نطاق التدهور بحسب نظرية التخفيف من الآثار البيئية وأفضل الممارسات (بحيث نتجنب أي خسارة صافية في قيمة المنظومة البيئية)، فإن المشاريع واسعة النطاق تعدّ غير قابلة للتحقيق عموماً بسبب ارتفاع تكلفة أعمال إعادة التوطين ونقل المجتمعات الساحلية[90]. فعلى سبيل المثال، بلغت تكلفة أعمال التخفيف، مثل زراعة المرجان 400,000 دولار للهكتار الواحد من الشعاب المرجانية في المتوسط[105]. كما أن وضع الميزانية يُعد عملية معقدة في حد ذاته، إذ يتعين على واضعي الخطط تقدير تكاليف دراسات المراقبة قبل إعادة التوطين وبعده، والتكاليف التشغيلية الخاصة بأعمال الجمع والنقل والزرع، إضافة إلى المجسات وأجهزة التسجيل للرصد البيئي. وعلى الرغم من عظم التكاليف والأوقات التي أنفقت في العقود الماضية والتطور السريع للبحوث في هذا المجال، إلا أن معدلات النجاح لا تزال منخفضة في العديد من البرامج بسبب تعقيد محاولات إنشاء منظومة بيئية جديدة[106].

علاوة على ذلك، يصعب غالباً العثور على موائل مناسبة من أجل إعادة توطين المرجان إليها. وفي الواقع، من الأسباب الرئيسية لفشل عمليات استعادة البيئات البحرية هو اختيار الموقع غير المناسب[90,106]. فالشعاب المرجانية والكائنات الحية المرتبطة بها تزدهر في ظروف بيئية محددة للغاية، ولذا يتعين أن تتطابق المواقع المتلقية للشعاب المرجانية مع الخصائص الطبيعية والبيولوجية لمواقع ميلاد تلك الشعاب، كالتشابه في ظروف وطبيعة المياه (مثل درجة حرارة المياه والأكسجين المذاب ودرجة الحموضة وحركة الأمواج وتيارات الأمواج)، ودرجة العكارة والترسبات، وتوفر طبقة سفلية صلبة مناسبة للالتصاق بها. كما إن الموائل الرملية أو الرخوة غير مناسبة بشكل عام لأن الجزيئات الدقيقة قد تغطي المرجان، أو تمنع عمليات الجذب الطبيعية أو تعزز الإصابة بالأمراض[60,107]. وتشمل الاعتبارات الأخرى وجود الأحياء القاعية في المناطق المستقبلة. وقد يتعين الاستعانة بالغواصين لإزالة الحطام غير المتماسك أو تثبيته في مكانه باستخدام شبكة أسلاك أو صخور الحجر الجيري أو الخرسانة[108]، ويجب القيام بهذه الأنشطة مع التأكد من عدم الإضرار بالكائنات الحية المتوطنة أو تهجيرها بسبب عمليات تجهيز الموقع أو إعادة التوطين.

وحتى عند إيجاد موقع مناسب، تبقى هناك صعوبات وتحديات رئيسية أخرى، تشمل الإضرار بالشعاب المرجانية أو الإجهاد الفسيولوجي على الشعاب المرجانية الذي قد تسببه عمليات الإزالة والنقل في الموقع المانح قبل نقلها. وقد تتعرض الشعاب المرجانية لضرر كبير أثناء إزالتها من الطبقات السفلية، ما يشمل إجمالاً عملية التقطيع باستخدام الأدوات الميكانيكية للأنواع المتفرعة واستخدام المطارق والأزاميل للأنواع الضخمة (مثل الشعاب المرجانية الشبيهة بالصخور)؛ وقد يؤدي التزاحم اللاحق في صناديق النقل إلى تفاقم تلك المشاكل. وكما ذكرنا آنفاً، فإن الجزء العلوي من أنسجة المرجان والذي يشبه الهلام ويبلغ طوله 1-2 مم رقيق للغاية. ولذلك فإن أي معاملة غير احترافية لهذا الجزء من المرجان من قبل الغواصين أو تلامس مع الأدوات أو احتكاك بالصناديق أو الشعاب المرجانية الأخرى قد يؤدي إلى تلف تلك الأنسجة. وقد يؤدي ذلك إلى حدوث وفيات محصورة في جزء من المستعمرة أو إلى تدهور في صحة كامل المستعمرة نتيجة إعادة توجيه الطاقة نحو إصلاح الأنسجة التالفة، وهو ما يجعل المستعمرات المتضررة عرضة للإصابة بأمراض المرجان[109]. وقد يسبب ذلك، إلى جانب الإضرار الناتج عن عملية النقل بسبب التعرّض للهواء والشمس، أو التعرض لدرجات حرارة الماء المرتفعة (في الصناديق الموجودة على قوارب النقل)، ضرراً كبيراً لنسبة كبيرة من الشعاب المرجانية التي جمعت، وقد يؤدي إلى انخفاض في معدلات النمو أو التكاثر أو البقاء بعد النقل ما لم تطبّق خطة استباقية دقيقة للتخفيف من تلك المخاطر[110,111].

الشكل 15. التعرض المباشر للهواء وأشعة الشمس لفترة قصيرة، كما هو مبيّن هنا، قد يمثل إجهاداً كبيراً لمعظم الشعاب المرجانية. وينبغي توخي الحذر لتجنب تعرض الشعاب المرجانية للهواء أو تقليل وقت تعرضها وشدته باستخدام وسائل التظليل أو الغمر (مثل الأحواض). المصدر: دوغ هيلتون (CC0-PD).

في حال نجاح عملية النقل، يبقى احتمال بقاء المرجان المزروع على قيد الحياة غير مضمون، إذ قد تتعرض نسبة كبيرة منها في وقت لاحق للاقتلاع من مكانها ما لم يتم زراعتها بشكل مناسب (يشكل الانفصال نسبة 50% من حالات خسارة الشعاب المرجانية[112]). وتختلف معدلات الاقتلاع حسب طريقة التثبيت (روابط الكابلات ومادة الإيبوكسي والأسمنت وما إلى ذلك)، ولكن رغم ذلك لا تتوفر مقارنة رسمية بين مختلف الأساليب ولم تُحدد بعد طريقة التثبيت المثالية خارج إطار الدراسات التجريبية الصغيرة[113]، على الرغم من أن معدلات البقاء على قيد الحياة تكون منخفضة عند عدم استخدام أساليب الربط اليدوي[114]. ويجب مراعاة اعتبارات أخرى أيضاً. فعلى سبيل المثال، على الرغم من أن الربط بالكابلات طريقة ناجحة إلى حدّ ما واقتصادية من حيث التكلفة لربط الشعاب المرجانية بالهياكل الموجودة، فإنها تتحلل بمرور الوقت، كما أن البلاستيك بحد ذاته يشكل مصدراً للمخاوف البيئية المتزايدة[115].



الشكل 16. تُستخدم الأكياس الشبكية لتخزين شظايا الشعاب المرجانية التي أزيلت مؤخراً قبل نقلها. ويمكن لهذا النهج الذي يعتمد على الغمر بالماء أن يفيد الشعاب المرجانية عن طريق تقليل وقت تعرضها لدرجات الحرارة القاسية أو الهواء أو أشعة الشمس في انتظار نقلها إلى الموقع المتلقي، وذلك من خلال الحفاظ عليها معلقة في مستوى أعلى من مستوى الرمال المتحركة في قاع البحر. ورغم ذلك، فإن ملامسة الكيس الشبكي لسطح المستعمرة الرقيق قد يسبب ضرراً غير مرئي في أنسجة المرجان. ولذلك لا بدّ من من بذل عناية فائقة والحدّ من أي مصادر محتملة للإجهاد الناتج عن التعامل مع الشعاب المرجانية في إطار برامج نقل المرجان. المصدر: معهد أبحاث الأسماك والحياة البرية التابع لهيئة الحفاظ على الأسماك والحياة البرية في فلوريدا بموجب الترخيص (CC-BY-NC-ND 2.0).

حتى لو بدت عمليات النقل والشحن ناجحة في البداية، فقد يستغرق الأمر ما بين أسابيع وأشهر إلى حين ظهور علامات الإجهاد بعد عملية النقل، وذلك بسبب الآثار المتأخرة للإجهاد الناجم عن المعاملة والأمراض الناشئة واستجابة الشعاب المرجانية لظروف البيئة الجديدة. لذلك، على الرغم من اعتبار برامج إعادة التوطين ناجحة في الأيام أو الأسابيع الأولى، قد تزداد خسارة الشعاب المرجانية بمرور الوقت بعد إعادة التوطين، ولن يتضح دائماً ما إذا كانت خطوة المراقبة المهمة منفذة أم لا. وحتى في حالات تنفيذ خطوة المراقبة طويلة الأجل، تُستخلص الاستنتاجات عادة من عينات فرعية وصغيرة من مجموع الشعاب المرجانية المنقولة بسبب القيود المالية واللوجستية، ما يقلل من موثوقية النتائج[116,81]. وفي حين أن مشاريع إعادة التوطين تنطوي غالباً على استخدام شظايا مرجانية صغيرة الحجم لتسهيل العملية، فقد ينشأ انخفاض الخصوبة بسبب عدم وجود مستعمرات قادرة على التكاثر وامتصاص البويضات المرجانية بسبب معالجة الإجهاد[116,111]. بالإضافة إلى ذلك، على الرغم من أن الشظايا المرجانية المكسورة من المستعمرات الأكبر قد تبدو ناضجة جنسياً، فقد لا تكون قادرة على التكاثر إلى حين نموها مرة أخرى إلى حجم الكائنات البالغة، وهو ما يعيق عمليات الإنجاب الطبيعية في الشعاب المرجانية المعاد توطينها[118]. وبالإضافة إلى انخفاض القدرة الإنجابية للشعاب المرجانية، فإن التحيّز في اختيار أنواع مرجانية يسهل إزالتها قد يعطل أيضاً وظيفة المنظومة البيئية ويزيد انتشار الأمراض بينما يعرقل في الوقت نفسه الغرض الضمني من عملية تغيير الموقع لتعويض الآثار البيئية والمتمثل في عدم خسارة التنوع البيولوجي[119]. وختاماً، فحتى في أفضل السيناريوهات التي تنجح فيها عملية إعادة التوطين بمرور الوقت بأقل الخسائر، قد تعيق الضغوط المحلية المرتبطة بالسكان هذه الأنشطة، (مثل التلوث[80])، ولذا يجب على مسؤولي الشؤون البحرية عدم الاكتفاء بمراعاة جهود النقل ذاتها بل أيضاً صلاحية الموقع على المدى الطويل.



لا ينبغي اعتبار استراتيجية إعادة توطين المرجان بمثابة الحل السحري لتجنب الآثار المرتبطة بالتشييد، وذلك نظراً لطبيعتها الجديدة والتجريبية إلى حد كبير[121,120,111]. ومن شأن تأسيس نظام للمراقبة على المدى الطويل ونشر النتائج أن يوفر أدلة أفضل على المنهجيات التي قد تشكل فيها إعادة توطين المرجان أداة مناسبة للتعويض عن أعمال التطوير الساحلية[104]. وبالنظر إلى ما أسلفنا ذكره من القيود، لا ينبغي أبداً أن يكون تغيير موقع الشعاب المرجانية هو الخيار الأول، ولا ينبغي اعتباره سوى الملاذ الأخير بعد تطبيق تدابير الوقاية والتخفيف المناسبة أولاً (انظر الشكل 13،12).

يستوجب تحقيق التنمية المستدامة، بما يشمله من إيلاء العناية الواجبة لسلامة النظم البيئية الطبيعية، إعطاء الأولوية لتعديل خطط التطوير الرئيسية الهادفة إلى تجنب الآثار على النظم البيئية الضعيفة أو تقليلها. ويمكن دراسة تبنّي العديد من الخيارات البديلة واحتساب آثار البدائل المختلفة وتقييمها حسب ذلك. كما يمكن وضع تدابير صارمة للتخفيف من المخاطر (مثل: استخدام حواجز الطمي والمحطات الآلية لمراقبة التعكر وتحديد الحد الأدنى للتوقف عن أعمال التطوير) للتقليل بشكل كبير من الأضرار المحتملة على الموائل الحيوية للشعاب المرجانية في أثناء أعمال التشييد الساحلية. وباستخدام مثل هذه المنهجيات، يمكن للجهات التنظيمية وشركات التطوير في المناطق الساحلية الحفاظ على النظم البيئية للشعاب المرجانية سليمة إلى حدّ كبير. وخلاصة القول إنه لا ينبغي اعتماد منهجية نقل الشعاب المرجانية إلا بعد نفاد جميع الخيارات الأخرى في تسلسل التخفيف من الآثار (مثل: منهجيات تجنب الأثر البيئي والتخفيف منه) وإجراء تخطيط بالغ الدقة لضمان عدم وقوع خسارة صافية للتنوع البيولوجي والاستفادة من منهجية التخفيف من المخاطر المعروفة والمتأصلة في أعمال نقل الشعاب المرجانية.

الشكل 17. عالم أحياء يحمل سلة من الشعاب المرجانية المتفرعة إلى قارب لنقلها إلى موقع إعادة التوطين. وفي حين يبدو الهدف من استعمال السلة هو الحدّ من إجهاد الشعاب المرجانية وتعرضها للهواء وارتفاع درجات الحرارة وأشعة الشمس المباشرة في أثناء نقلها بالقارب، تشكّل السلة أيضاً ضغطاً كبيراً على الشعاب المرجانية يجب تجنبه أو تقليله. المصدر: معهد أبحاث الأسماك والحياة البرية التابع لهيئة الحفاظ على الأسماك والحياة البرية في فلوريدا بموجب الترخيص (CC-BY-NC-ND 2.0).

## الأساس المنطقي لإعادة التوطين

على الرغم من القيود المفروضة على إعادة توطين الشعاب المرجانية، إلا أن هناك بعض الحالات التي لا يمكن فيها تجنب الآثار على الشعاب المرجانية، وفي مثل تلك الحالات، وعلى الرغم من القيود المعروفة، قد تكون إعادة التوطين هي المنهجية المجدية الوحيدة لتجنّب الخسائر المرتفعة أو الكاملة للمرجان نتيجة لخطط التطوير. ويجب على الشركات في تلك الحالات الالتزام بإرشادات المسؤولية البيئية والاجتماعية التي تهدف إلى دعم العدالة البيئية[124]. كما يجب استخدام أفضل الممارسات للحدّ من الخسائر وتعزيز بقاء الشعاب المرجانية على قيد الحياة على المدى الطويل وتفصيل تلك الممارسات بوضوح في إطار سياسات التعويض البيئي. ويجب أن تبقى إعادة توطين الشعاب المرجانية أداة تكميلية لجهود الحفاظ الأخرى. من جهة أخرى، قد يؤدي النقل الصحيح للمرجان إلى تعزيز الوعي البيئي المحلي، ودعم تجمعات الأسماك التي تعدّ موارد اقتصادية للمجتمعات المحيطة وتوفير الحماية الساحلية[125]. ولا يمكن تحقيق تلك النجاحات إلا بالتخطيط الدقيق ومراعاة السياق المحلي وتطبيق أفضل المعارف المتاحة بشأن العوامل التي قد تعزز التنفيذ الناجح لجهود إعادة التوطين أو تحد من نجاحها. ونقدم لكم في الأقسام التالية النصائح والتوصيات اللازمة لتعزيز فرص نجاح تلك العملية.

# 5

# أفضل ممارسات إعادة توطين الشعاب المرجانية: مرحلة التخطيط

## التخطيط ووضع الأهداف

تتضمن الخطوة الأولى في التخطيط لإعادة التوطين تقدير الموازنات الأوليّة والتعويضية المطلوبة من شركات التطوير[126]، إذ يجب أن تتحمل الشركات المتسببة في إحداث أضرار على الموارد الطبيعية الرئيسية، مثل الشعاب المرجانية، مسؤولية استبدال أو إعادة تلك الموارد إلى حالتها الأصلية الأساسية، فيما يعرف بمصطلح "إعادة التأهيل الأولية"[118]. وهذا يعني أن أي مشروع لإعادة التوطين يجب أن يهدف إلى إعادة إنشاء موائل تكون أقرب ما يمكن إلى الحالة الأساسية الطبيعية قبل الاضطراب المخطط، على أن تشمل خدمات النظم البيئية الأصلية. وتشمل تلك الخدمات تغطية تكلفة تقييم الأضرار وجهود استعادة النظم وأنشطة المراقبة السابقة واللاحقة بعد استعادة النظم[108].

**المربع 1.**
يجب توثيق حجم الأثر المقترح على الشعاب المرجانية وقياسه مع تقييم الأضرار التي أصابت الموارد الطبيعية. بير سيمونز وآخرون، 2006 [108]، يجب أن يستوفي التقييم المعايير التالية:

- توثيق حجم التأثير المحتمل وشكله بدقة باستعمال أدوات الإسناد الجغرافي
- وصف طبيعة الأثر المخطط له (مثل: انفصال المستعمرات المرجانية وانقلابها بدلاً من الضرر الناجم عن الرواسب الشديدة والتصريفات الأرضية)
- تحديد الشعاب المرجانية والأحياء القاعية الأخرى المتأثرة وقياس مدى تأثرها (بما يشمل وصف نوع موائل الشعاب المرجانية)
- توثيق نطاق التأثير من منظور وصفي قبل وقوع الأضرار وبعدها (بالصور الفوتوغرافية وبمقاطع الفيديو) بما يتيح تقييم الخسائر بعد التأثير

إضافية، قد تأتي في شكل مبادرات تحسين أو استعادة النظم بشكل يتجاوز مجرد إعادة توطين الشعاب المرجانية خارج مناطق التأثير118. فعلى سبيل المثال، قد يسعى الطرف المسؤول إلى تحسين تكوين المستعمرات المرجانية الطبيعية في موقع إعادة التوطين عن طريق بذر المنطقة المستهدفة (أو الطبقات السفلى القابلة للاستعمال) ببرقات تمت تربيتها في المختبر بصفته إجراءً تعويضياً. ويمكن جمع اليرقات الطبيعية من الأنواع المنتجة للبيض، التي تخصّب في بيئة مختبرية متحكم بها (ما يؤدي إلى تجنب المستويات المرتفعة عادةً من الوفيات في مرحلة العوالق) ثم تستعمر طبقة سفلية مختارة عن طريق إدخالها في "حاويات الخيام" المستخدمة تحت المياه[128,127]. وبشكل عام، كلما كانت إجراءات إعادة التأهيل الأولية أسرع في إيجاد نظام بيئي مكتفٍ ذاتياً، تراجعت الحاجة إلى اتخاذ إجراءات الاستعادة التعويضية.

يجب تقييم خيارات إعادة التوطين ومقارنتها بقيمة الموارد التالفة. ويجب تقدير الوقت الإجمالي المتوقع للوصول إلى مرحلة التعافي الكاملة للشعاب المرجانية المعاد تشكيلها وتقييم مختلف المقاييس المكانية والزمنية لإعادة التوطين[89]. وبالنسبة لإجراءات الاستعادة التعويضية، يمكن استخدام أدوات تخطيط مختلفة مثل تحليل نقاط معادلة الموائل لحساب الإجمالي المستحق من الطرف المسؤول[118]. ومن الأهمية بمكان أن تشارك مجموعة من الجهات المعنية في هذه الخطوة من عملية صناعة القرار[123]، بمعنى أن تشارك المجتمعات المحلية والمؤسسات والمنظمات غير الحكومية في مرحلتي التخطيط والتنفيذ على حد سواء. فقد يؤدي ذلك بالفعل إلى الحدّ من النزاعات المتعلقة باستخدام الموارد ويوفر فرصاً للتعاون والتمويل[129]. وعند اختيار موقع مرشّح لإجراء أنشطة التعويض، يجب تحديد مستوى اعتماد البشر على ذلك الموقع (أي الاعتماد القوي على خدمات منظومة الشعاب المرجانية) إلى جانب تحليل قابلية الاستعادة[123].



كما يمكن الاستفادة من الخبرات البيئية المحلية لدى المجتمعات التقليدية لتعزيز فرص نجاح إعادة التوطين. فعلى سبيل المثال، قد يوصي الصيادون المحليون باختيار بعض المواقع المناسبة لتلقي الزرعات المرجانية بناءً على معرفة تاريخية ومتوارثة، أو ربما ينصحون بتجنب مواقع أخرى شوهدت بها مشكلات بيئية ولم تسجّل بصفة رسمية. وقد يؤدي التواصل مع السكان المحليين أيضاً إلى تعزيز الدعم المجتمعي[123] الذي يرتبط ارتباطاً وثيقاً بفعالية جهود الاستعادة[123]. تطبّق جهود التنفيذ القائمة على الخبرات البيئية المحلية بفعالية للحفاظ على البيئة البحرية وإدارتها في الخليج العربي[71]، لكنها تظل غير مستغلة بالقدر الكافي في سياق إعادة توطين الشعاب المرجانية. ومن الضروري أن يكون المهنيون المدربون والعلماء أول الأطراف المشاركة في مشاريع إعادة التوطين ليسهموا بخبراتهم في دعم خطط التنفيذ والمراقبة الرامية إلى تحقيق نتائج محكمة وقابلة للقياس. وينبغي خلال فترة المشروع التوصل إلى إجماع بشأن المنهجيات بين مختلف العلماء والمدراء والجهات المعنية الأخرى. كما يجب تشكيل فريق مستقل لضمان الجودة يحرص على عدم وجود تحيزات في عملية الإشراف[130].

ويمكن تحديد أهداف المشروع بمجرد تقدير الأضرار والخسائر في خدمات المنظومة البيئية والشعاب المرجانية والاتفاق على النفقات المخصصة لأنشطة إعادة التوطين من قبل جميع المشاركين. وينبغي أن تتضمن أهداف المشروع إجراء تقييم لاحق لفعالية المبادرة، شريطة أن تكون الأهداف محددة وقابلة للقياس وقابلة للتحقيق وواقعية ومحددة بإطار زمني (أهداف ذكية)[132,131]. ويعد استخدام الأهداف الذكية أمراً في غاية الأهمية، لأن سبب فشل مشاريع الترميم البحرية ومشاريع تحقيق التوازن في التنوع البيولوجي يعود في الغالب إلى عدم وجود أهداف علمية[90]. وعلى الرغم من استخدام الأهداف القائمة على البنود بصفتها مقاييس عادة، (مثل: النسبة المئوية لبقاء زرعات المرجان على قيد الحياة والنسبة المئوية للغطاء المرجاني وما إلى ذلك)، إلا أنه لا يمكن استخدامها وحدها بصفتها مقاييس النجاح، لأنها لا تعكس كامل خدمات المنظومة البيئية ووظائفها[116,90]. ويعدّ تحديد أهداف واضحة وقابلة للقياس وملائمة للبيئة خطوة حاسمة في إعداد خطط إعادة التوطين[113,90]. ويجب أيضاً ترتيب أولويات الأهداف حسب أهميتها لمساعدة الإدارة في اتخاذ القرارات اللاحقة التي قد تتطلب المفاضلة بين الأهداف[133].

## وضع أهداف ذكية لاستعادة الشعاب المرجانية

| S | M | A | R | T |
|---|---|---|---|---|
| محددة | قابلة للقياس | قابلة للتحقيق | واقعية | محددة بإطار زمني |

**مثال جيّد:** «إعادة توطين 250 مستعمرة مرجانية من ثلاثة أنواع شائعة *(البلاتيجيرا والدبساستريا والبروتيس)* من الموقع المانح في طبقات سفلية مكشوفة ضمن الشعاب المرجانية الواقعة على بعد 1 كم إلى الشرق، وذلك على مدار أسبوعين خلال ظروف الخريف الباردة»

محددة — قابلة للقياس — محدد بإطار زمني — قابلة للتحقيق — واقعية

**مثال سيء:** «نقل أكبر عدد من المستعمرات المرجانية إلى موقع إعادة توطين مناسب هذا العام.»

الشكل 18. ينبغي أن تحدد مشاريع إعادة توطين المرجان "أهدافاً ذكية" تتيح إجراء تقييم لاحق لنجاح البرنامج باستخدام مقاييس محددة وواضحة.

## تقييم الوضع الحالي للمواقع المانحة

عقب التوافق بين مختلف الجهات المعنية على أهداف المشروع، تبدأ دراسة الموقع المانح دراسة مفصلة.، حيث يتم تقييم الوضع الحالي للخصائص البيئية من أجل ضمان تقليل الخسارة إلى حدودها الدنيا في أثناء عمليات الحفاظ على الشعاب المرجانية. وتشمل العناصر الأساسية في تقييم الوضع الحالي عادة إجراء مسوحات على أنواع المرجان واللافقاريات والأسماك إلى جانب الخصائص الفيزيائية والكيميائية للموقع، وكذلك للمواقع المرجعية (غير المتأثرة) ذات الصلة في المنطقة المحيطة لأغراض المقارنة[125]. ولا تعدّ المقاييس الشاملة الشائعة، مثل النسبة المئوية للغطاء المرجاني، كافية ويجب توسيعها لتشمل، على سبيل المثال، ثراء الأنواع المرجانية وكثافتها وتكوينها وخشونة أسطحها، وغيرها من المقاييس ذات الصلة بالبيئة. وبالإضافة إلى أهمية إجراء دراسات في مناطق مختلفة جغرافياً في مختلف المواقع المتأثرة والمواقع المرجعية، فمن غير المرجح أن يكون إجراء مسح واحد كافياً بالنظر إلى أن التنوع البيولوجي غير ثابت وأن الشعاب المرجانية هي عبارة عن نظم بيئية متغيّرة، خاصةً للأنواع المتحركة مثل الأسماك المرتبطة بالشعاب المرجانية والتي تعرف بتغيّراتها الموسمية الكبيرة في الخليج العربي[134,135]. ويجب أن تراعي البحوث الأساسية العوامل الموسمية وغيرها من العوامل البيئية، وأن تمتد عبر الفترات الزمنية ذات الصلة[88]. ويُفضل عادة استخدام القطاعات البيئية أو الأماكن الدائمة المحددة جغرافيًا على استخدام الاستراتيجيات العشوائية بحيث يمكن مراقبة الموقع المانح مع مرور الوقت، قبل وبعد الآثار المقترحة، وبما يشمل تتبع المستعمرات الفردية وتقييم التغييرات الديموغرافية في مجتمع الشعاب المرجانية[108]. ومن الضروري أيضاً توثيق الموقع المانح بالصور الفوتوغرافية ومقاطع الفيديو من أجل توفير سجلات دائمة بشأن الوضع الحالي للرجوع إليها في المستقبل. ويتيح استخدام قطع الأراضي الدائمة رسم خرائط موثوقة للموقع المانح بالإضافة إلى توثيق الميزات الرئيسية للمسوحات المتكررة[108].

## تقييم الوضع الحالي لعدد من المواقع المتلقية

بمجرد اكتمال تقييمات الوضع الحالي للموقع المانح، يبدأ البحث عن المواقع المتلقية. ينبغي عادة إجراء تقييم لعدد من المواقع المحتملة من أجل ترتيبها حسب ملاءمتها البيئية، ومن الممكن أيضًا استخدام عدد من المواقع المتلقية من أجل التحوّط من المخاطر المصاحبة لعمليات النقل وإعادة التوطين.

### تقييم آثار التعرض للأمواج وتدفق المياه

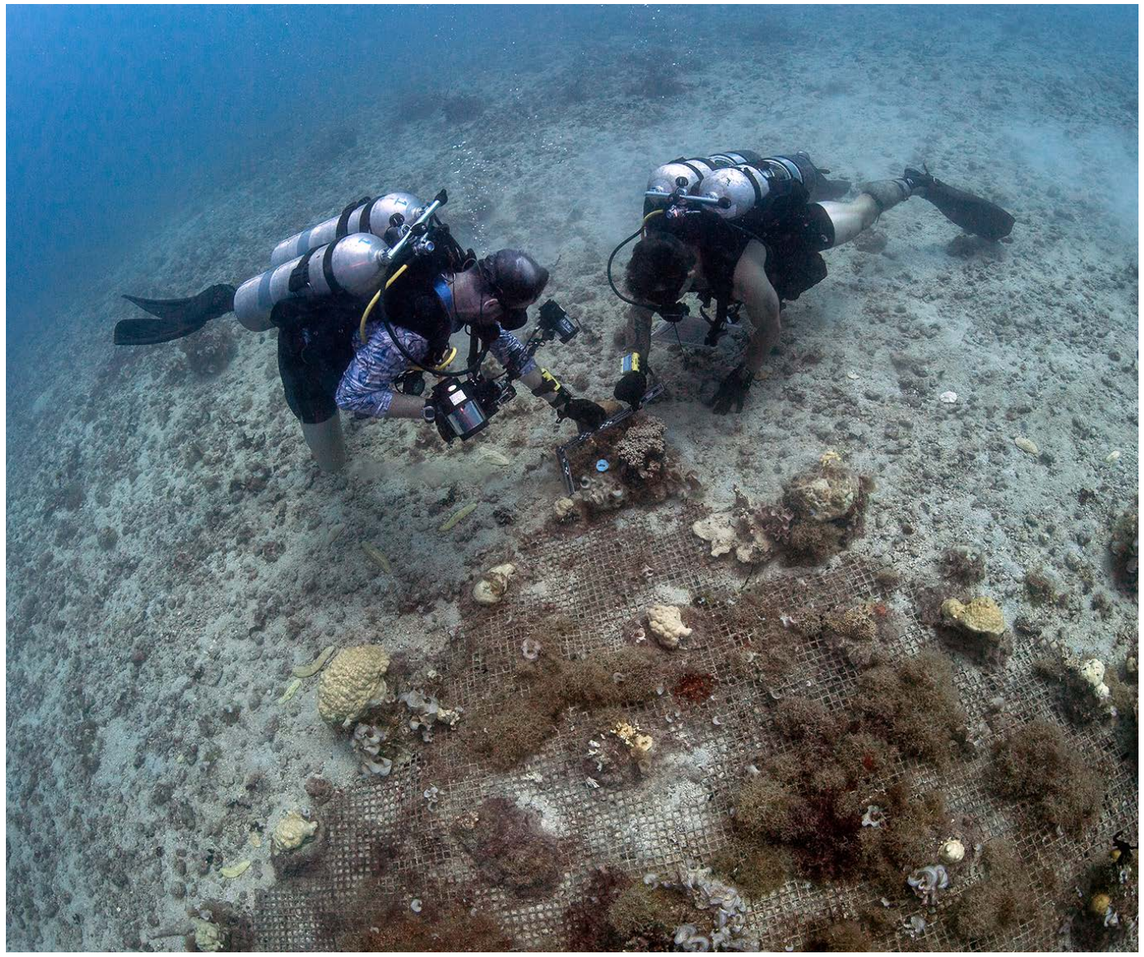
من بين العوامل الأساسية المشمولة في دراسة الموقع المتلقي المحتمل هي مدى تعرضه للأمواج. ففي عديد من المناطق، تكون البيئات المحمية مفضّلة أكثر بسبب تراجع احتمالية فقدان المستعمرات المعاد توطينها عبر الانفصال بسبب تأثير الأمواج أو الحطام الذي تحركه العواصف في المنطقة[27,121,123]. ورغم ذلك، تتعرّض البيئات المحمية إلى تقلبات شديدة في درجات الحرارة[121]، فالبيئات المحمية في الخليج العربي تحتوي على مستويات عالية للغاية من الرواسب، والتي ثبت أنها تخنق الشعاب المرجانية، ما يقلل من فرص نموها وبقاءها على قيد الحياة. ولذا فإن المراقبة الدقيقة لمجموعة المواقع المتلقية المحتملة ضرورية لتحديد المواقع التي تزداد بها احتمالات النجاح. إضافة إلى ذلك، قد يلزم اعتماد منهجيات للتخفيف من المخاطر بغض النظر عن الموقع. فعلى سبيل المثال، يمكن استخدام طرق تثبيت الحطام في المناطق الضحلة (مثل الشكل 15) أو إعادة توطين الشعاب المرجانية في أعماق أكبر قليلاً لتجنب الأمواج أو درجات الحرارة الأشدّ قسوة، شريطة أن تكون مثل تلك الخطوة مدعومة بالبيانات.

### تقييم ملاءمة الطبقة السفلية

يجب أن تكون حالة الطبقة السفلية للمواقع المتلقية المحتملة مواتية أيضاً لتثبيت الزرعات ونموها، وذلك لأن الطبقات السفلية غير المستقرة (مثل: الرمال أو الحطام غير المتماسك) تحدّ من قدرة الشظايا المرجانية على الالتصاق، وكذلك من قدرة يرقات المرجان على الاستقرار والنمو[27,137,138]، في حين أن وجود كميات كبيرة من الطحالب كبيرة الحجم قد يضر بالأنسجة المرجانية ويقلل من نمو المرجان وخصوبته[139-141]. ولذلك، تُعد الصخور أو هياكل الشعاب المرجانية طبقة سفلية مثالية لتثبيت المرجان[83]. وفي المناطق التي تكون فيها الطبقات السفلية غير متماسكة، قد يكون تعزيز ظروف السلامة المادية للكائنات القاعية ممكناً قبل عملية الزرع[129]. يمكن تثبيت الحطام غير المتماسك باستعمال الحصائر الخرسانية أو الأسمنت أو صخور الحجر الجيري أو الشبكات البلاستيكية أو غيرها من الهياكل المتراكبة قبل إعادة تثبيت الشعاب المرجانية لتقليل فرص وقوع الإصابات الثانوية للشظايا المرجانية[27]، على الرغم من أن مثل تلك العمليات عالية التكلفة وتحتاج إلى أعداد كبيرة من العمالة. وفي حال الافتقار إلى التعقيد الهيكلي، قد يلزم استحداث هياكل ثلاثية الأبعاد لتوفير المأوى والموائل للكائنات الحية المرتبطة بالشعاب المرجانية واستعادة وظيفة النظام البيئي[130].



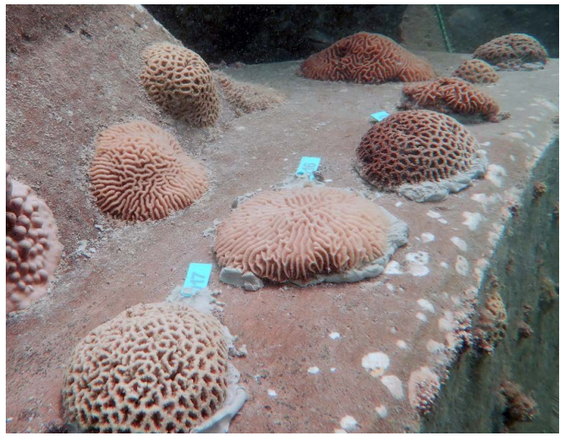
وينبغي تجنب النفايات الفائضة مثل الإطارات والأوعية الصغيرة المهملة والعناصر المرتبطة بها، إذ من المرجح أن تتحرك أثناء العواصف أو تترشح منها مواد كيميائية ضارة[142-144]، علماً بأن الحجر الجيري والخرسانة قد تكون مواد مناسبة عند محاولة استعادة الراحة الهيكلية، لا سيّما إن صُممت بمراعاة الأهداف البيئية (مثل: التصاميم ثلاثية الأبعاد للأسماك)[145]. ويتشابه الحجر الجيري في تركيبته مع البنية الطبيعية للشعاب المرجانية، في حين ثبت أن حجر غابرو الشائع جاذب للمستعمرات المرجانية، ما يجعله مادة جيدة يمكن استخدامها لتحسين الموائل إذا كان متوفراً في المناطق المحلية[27,146].



الشكل 19: تعتبر ملاءمة الطبقة السفلية واستقرارها أحد الاعتبارات الأساسية في اختيار الموقع المتلقي المرشّح. قد يتعين في بعض الحالات استخدام منهجيات هندسية لتثبيت الحطام وغيره من الطبقات السفلية حرصاً على عدم تعرض الشعاب المرجانية المعاد توطينها لخطر الانفصال أو التلف نتيجة للعواصف، كما هو الحال هنا. المصدر: ألفريد إيه. كوفيلد (CC BY-NC-ND 2.0).

### تثبيت الطبقات السفلية أو تحسينها

قد يكون هناك مبرر لاستخدام الهياكل الصناعية كطبقة سفلية لتثبيت الشعاب المرجانية المعاد توطينها في المناطق التي تقل فيها موائل الطبقات السفلية الصلبة أو تكون غير متوفرة. وقد تشمل هذه الهياكل وحدات الشعاب المرجانية الاصطناعية[147]، والصخور المستخرجة[116]، وتصاميم الطين المنتجة باستعمال الطباعة ثلاثية الأبعاد[148] وغير ذلك. ربما لن يقتصر دور الطبقات السفلية الاصطناعية على توفير طبقة سفلية لتثبيت الشظايا المرجانية المعاد توطينها فحسب، بل قد تساعد أيضاً في التحكم في تيارات المياه وتقليل حركة الحطام وتوفير الموائل للأسماك. لكن ينبغي إدراك أن مثل تلك الهياكل لن تكون أبداً بدائل للموائل الطبيعية المتأثرة بأعمال التطوير، إذ يختلف هيكل مجتمع الشعاب المرجانية ووظائفه فيها بشكل ملحوظ عن هيكل الشعاب المرجانية الطبيعية ووظائفه[149,58,28]. وبدلاً من ذلك، ينبغي إدراك أن الشعاب المرجانية الاصطناعية التي أنشئت باستعمال المرجان المعاد توطينه هي موائل جديدة فريدة في حدّ ذاتها، حتى وإن لم تحل محلّ النظم البيئية الطبيعية بغض النظر عن حجمها وتعقيدها[150]. وفي حال بنيت الشعاب المرجانية الاصطناعية على النحو المقترح أعلاه داخل المحميات البحرية القائمة، فقد يكون بإمكانها دعم انتشار (الأسماك) واليرقات (أو الشعاب المرجانية والأسماك) في التحرك إلى المناطق المجاورة بمجرد نضج مجتمعها[152,151,102].



الشكل 20. شعاب مرجانية أعيد توطينها في كاسر الأمواج البيئي في ميناء خليفة بإمارة أبوظبي، دولة الإمارات العربية المتحدة، حيث وفرت القشور الخرسانية موئلاً مناسباً للمرجان المثبت في منطقة تهيمن عليها إلى حدّ كبير الرمال المتنقلة والطين (الشعاب المرجانية الطبيعية إلى اليسار، والشعاب المرجانية المعاد توطينها إلى اليمين). المصدر: روب سميث.

### الضغوط ووسائل الحماية المحلية

يجب أن تحدد الاستبيانات التفصيلية أيضاً ماهية عوامل الضغط الناتجة عن النشاط البشري الذي يؤثر على الموقع المتلقي المقترح. ويجب احتساب جميع عوامل الضغط وقياسها من حيث خطورتها[130] واستبعاد المواقع المتأثرة بشدة بالتلوث، أو النمو المفرط للطحالب، أو الصيد الجائر، أو الصيد المدمر، أو المخاطر الأخرى على الفور إذا لم تكن إزالة هذه الضغوط ممكنة (أو ميسورة التكلفة) قبل النقل وإعادة التوطين[153]. كما يجب تجنب المواقع التي تزداد فيها نسبة التعكّر وكميات الرواسب بصفة مزمنة لأن الرواسب الدقيقة تقلل من قدرة المرجان على القيام بعملية البناء الضوئي وتقلل فرص بقائه[154,107,60]. وفي ضوء علاقة الحالة العامة للضغط باختيار المواقع، فإن "الحالة المحمية" للمواقع المتلقية المحتملة أمر بالغ الأهمية، إذ إن المحميات البحرية القائمة ستحدّ من المخاطر الناجمة عن أعمال التطوير المستقبلية[123]. لذلك، يجب تفضيل المواقع الموجودة ضمن شبكات المتنزهات الوطنية أو المحميات البحرية القائمة أو المناطق المحمية حيثما أمكن ذلك.

### تقييم الظروف الفيزيائية والكيميائية الخاصة بالموقع

بمجرد تحديد عدد من المواقع المرشّحة بناء على طبيعة حركة المياه وطبقاتها السفلية وحالة الضغط فيها، يمكن البدء في إجراء تقييم أكثر تفصيلاً للظروف البيئية الخاصة بالموقع. ويجب أن تُبدي المواقع المتلقية المخصصة معايير بيئية مماثلة للموقع الأصلي المانح، كما يجب تحديد الظروف القائمة بمراقبة المواقع إن لم تتوفر بيانات بيئية حديثة[90]. وإن لم تكن الشعاب المرجانية موجودة سابقًا في منطقة معينة، فعادة ما يكون هناك سبب لذلك (مثل: عدم وجود طبقة سفلية مناسبة أو تردّي جودة المياه وما إلى ذلك)، ما يجعل تلك المواقع المرشّحة غير ملائمة على الأرجح لجهود زراعة المرجان[27]. ومن الضروري مراقبة المواقع العديدة والمرشحة لإعادة توطين الشعاب المرجانية قبل نقلها، وذلك من أجل تحديد مدى التباين والحدود القصوى لكل من النطاق الحراري والعمق والتعرض للأمواج والنظام القائم والملوحة ومستويات الضوء ونطاق المدّ والجزر والمعايير الأخرى ذات الصلة، إذ يجب أن تكون الظروف اللاأحيائية مواتية لدعم مجتمعات الشعاب المرجانية[128,124]. وينبغي أن يكون التمويل كافياً لتوفير ما يكفي من أجهزة تسجيل البيانات في الموقع من أجل تقييم التباين المكاني والزماني في الظروف المحددة[116].



### تقييم الخصائص الأحيائية المميزة للموقع

يجب تقييم مدى الملاءمة الأحيائية للموقع بشكل شامل من حيث الضغوط الأحيائية، بما في ذلك مفترسات المرجان مثل نجم البحر المكلل بالشوك والكائنات المنافسة مثل الطحالب الكبيرة والإسفنجيات[153]. كما يمكن لمفترسات المرجان أن تدمر بسرعة المستعمرات المعاد توطينها[155]، في حين قد تُفرط الكائنات المنافسة، مثل الطحالب، في النمو وتتسبب في اختناق زرعات المرجان[116] أو قد تُنتج إشارات كيميائية تُثبط لاحقاً استقرار يرقات المرجان في تجمّع الشعاب المرجانية[156]. وبالمثل، تعزز أسماك الدامسل في مزارع الطحالب نمو الطحالب داخل مناطقها وتثبط بقوة نمو الأعشاب الأخرى التي تحافظ على كمية الطحالب تحت السيطرة[103]. وقد ثبت أنها تستعمر بسرعة مناطق زراعات المرجان وتقلل قدرة المرجان على البقاء عن طريق قرض وإتلاف المستعمرات المرجانية المتواجدة بالقرب من مناطقها[119]. وعلى الرغم من أن علاقات الافتراس أو التنافس أو الرعي هي جزء من العمليات الطبيعية في المنظومات البيئية للشعاب المرجانية القائمة، إلا أن الشعاب المرجانية المزروعة حديثاً في المواقع المتلقية تكون في العادة قد تعرضت لضغوط كبيرة نتيجة إعادة التوطين وقد تحتاج الشعاب المرجانية إلى فترة تمتد من أسابيع إلى أشهر للتعافي منه، ولذا قد يكون للتفاعلات الأحيائية السلبية أثر كبير في المراحل الأولى من إنشاء مجتمع الشعاب المرجانية.

ومن المرجح أن يكون الموقع الأكثر ملائمة من الناحية البيولوجية لاستيطان الشعاب المرجانية ونموها هو موقع تكون فيه الشعاب المرجانية هي الكائنات المهيمنة وليس الطحالب أو الإسفنجيات أو غيرها[123]. ومن المرجح أن تهيئ المواقع المتلقية، التي ترتفع فيها مستويات الغطاء المرجاني والتنوع، الظروف التي تدعم بقاء الشعاب المرجانية، وذلك شريطة توخي الحذر لعدم التأثير على المجتمع المرجاني القائم في أثناء إعادة التوطين[121]. وبالإضافة إلى إعادة توطين الشعاب المرجانية، ينبغي لممارسي المهنة النظر فيما إذا كان هناك ما يبرر نقل الحيوانات الأخرى المرتبطة بالشعاب المرجانية، ولا سيَّما تلك التي لها أدوار وظيفية مهمة قد تحسن فرص بقاء الزرعة المرجانية. فعلى سبيل المثال، تؤدي الأسماك العاشبة وقنافذ البحر دوراً مهماً في التحكم في وفرة الطحالب التي تعدّ منافساً مباشراً للشعاب المرجانية[158,157]، بينما تستفيد حيوانات بحرية أخرى مثل السلطعون الحارس والروبيان المنظّف من المأوى الذي توفره الشعاب المرجانية ويؤديان دوراً مهماً في إزالة الرواسب والحيوانات القاعية وعرقلة مفترسات المرجان[160,159,97]. ويتضمن منظور "التجمّع الكامل" هذا التنوع الوظيفي اللازم لدعم وظيفة النظام البيئي المُحكم، ما يسمح بالانطلاق في جهود السلامة البيئية لموقع إعادة التوطين المُنشأ حديثاً[130، 102].

الشكل 21. ينبغي إجراء تقييم للكائنات المنافسة أو المفترسات المحتملة للشعاب المرجانية (مثل حلزون *دروبيلا* الظاهر في الصورة)، وذلك لكل موقع من المواقع المتلقية في برامج الزرع، إذ قد يكون لمثل تلك التفاعلات الحيوية آثار سلبية بالغة على المستعمرات التي لا تزال تعاني من الإجهاد الناتج عن إعادة التوطين. (حقوق الصورة: "كونزيرف مارين (CC-BY-SA-4.0)

## الاعتبارات اللوجستية

ختاماً، ينبغي تقييم الظروف اللوجستية والاجتماعية عند اختيار المواقع المحتملة لإعادة توطين المرجان. ويجب أن يسهل الوصول إلى المواقع المقترحة، وأن يكون تأثير الزيارات البشرية (مثل: الغوص) أو الضغوط عند حدودها الدنيا (مثل: الصيد والتلوث وما إلى ذلك)[161]. وينبغي أن تكون تلك المواقع على مقربة من الموقع المانح ومنطقة التجمّع من أجل تقليل الإجهاد الناجم عن إعادة التوطين، وخاصة التعرض للهواء أو الضوء أو درجات الحرارة القاسية[153]، ما لم تُستخدم وسائل نقل قائمة على الغمر (مثل: خزانات القوارب التي تتدفق عبرها المياه)[82]. كما ينبغي على المدراء النظر في إمكانية الوصول إلى المواقع المتلقية المحتملة بالقارب، وما إذا كانت أساليب الغطس أو الغوص باستخدام جهاز التنفس تحت الماء المكتفي ذاتياً ضرورية لزرع المرجان، ولا شك أن هذا البرنامج التجريبي لن يتيح فقط تقييم مدى ملاءمة الطرق بشكل عام، بل سيقدم النهج الأخير يضيف بلا شك إلى تكلفة العمليات ومخاطرها. وكما أوردنا آنفاً، ينبغي إعطاء الأولوية للمواقع المتلقية الموجودة داخل المحميات البحرية القائمة للحدّ من مخاطر الضغوط المستقبلية. وإلى جانب التقييمات الأحيائية واللاأحيائية، ينبغي إجراء استبيانات اجتماعية (مثل: المقابلات المنظّمة) لتقييم مدى تقبّل المشروع وتوافقه مع الاستخدامات البشرية الحالية لكل موقع مرشّح[123].

ومن المهم إدراك أن سياسة "تجنب الخسارة الصافية" هي المبدأ الحاكم لعملية تحقيق التوازن باتباع ممارسات مثل استعادة المرجان، وهي سياسة تؤدي عادة إلى تحقيق مكاسب صافية للتنوع البيولوجي[90]. وهنا، يأخذ التنوع البيولوجي شكل السمات الهيكلية مثل ثراء الأنواع والغطاء المرجاني وتركيبة مجتمع الشعاب المرجانية وغيرها، إلى جانب سمات الخدمات البيئية أو المرتبطة بالإنسان. وينبغي الحفاظ على تلك السمات عند مستوياتها السابقة قبل أعمال التطوير - إضافة إلى تعزيزها - باستعمال تسلسل التخفيف (تجنب الأثر البيئي والتخفيف وما إلى ذلك) ومنهجيات تحقيق التوازن مثل إعادة توطين المرجان. ولذا، يجب أن يراعي تقييم المواقع المتلقية المحتملة أيضاً حجمها ومساحتها، وما إذا كان هناك ما يكفي من المساحات المناسبة غير المشغولة لاستيعاب الشعاب المرجانية المقرر إعادة توطينها من حيث أعدادها وتنوعها.

## التخطيط النهائي والمشروع التجريبي

بمجرد تحديد الموقع أو سلسلة المواقع المتلقية المناسبة، يمكن البدء في دراسة مختلف طرق إعادة توطين الشعاب المرجانية. تتوفر مجموعة متنوعة من الطرق لكل مرحلة من مراحل إعادة التوطين (انظر القسم التالي)، وقد تكون منهجية واحدة أو مزيج من عدة منهجيات أكثر ملاءمة حسب السياق البيئي والبيولوجي وسياق التخفيف من آثار كل مشروع.

ويجب أن تكون الطرق مصممة خصيصاً لتلبية احتياجات المشروع، ولإتاحة التوسع إلى المستويات المطلوبة، ومتوائمة مع الموقع المقرر للمشروع [129]، وينبغي إدراك أن لكل طريقة في كل مرحلة من مراحل عملية إعادة التوطين نقاط قوتها وأوجه قصورها (انظر المربع أدناه). كما يجب دراسة تكاليف تلك الطرق، ويجب وضع ميزانية بالنفقات التقريبية لكل طريقة بديلة، على أن تشمل نفقات الموظفين ورسوم الغواصين الاحترافيين وتدريب المساعدين المتطوعين واستئجار القوارب أو وقودها، إضافة إلى معدات الغوص والمواد الاستهلاكية المستخدمة في عملية إعادة التوطين وغيرها. وللحصول على ملخص بتكاليف الأساليب المختلفة، يرجى مراجعة دراسة بيرقتاروف وآخرون 2019 [105]، علماً بأن التكاليف ستتوقف بشكل كبير على الموقع المقرر للمشروع وأنه ينبغي تقديرها باستخدام أسعار السوق المحلية.

وعند اختيار أفضل مجموعة من الطرق وفقاً للأوضاع المحلية، يوصى بشدة بإجراء دراسة تجريبية للطرق المقترحة حرصاً على نجاح المشروع وإبقاء خسائر التنوع البيولوجي والخسائر الاقتصادية في حدودها الدنيا[129,90]. ولا شك أن هذا البرنامج التجريبي لن يتيح فقط تقييم مدى ملاءمة الطرق بشكل عام، بل سيقدم أيضاً الخبرة العملية الأساسية اللازمة لتقييم الجدوى اللوجستية والعوامل الواقعية ذات الصلة التي يصعب توقعها في مرحلة التخطيط. وينبغي أن تتّبع الدراسات التجريبية نهج "دراسة التأثير قبل وقوعه وبعده"(BACI)[162] لتقييم فعالية الطرق المختارة. وفي إطار هذا النهج، يجب إنشاء محطات مراقبة في المواقع المتلقية (المتأثرة) والمواقع غير المتلقية (المستعملة للمراقبة)، مع تنفيذ برامج المراقبة عبر عدة نقاط زمنية قبل عملية إعادة التوطين التجريبية وبعدها. كما يتطلب تمييز الآثار المرتبطة بإعادة توطين الشعاب المرجانية عن العمليات العشوائية (مثل: تفشي الأمراض والابيضاض وما إلى ذلك) إجراء مراقبة للموقع قبل إعادة التوطين وبعدها في عديد من مواقع إعادة التوطين التجريبية المميزة والعديد من المواقع المرجعية[164,163]، ويفضل أن تكون المواقع على مسافات متباعدة من بعضها، مما يتيح إجراء تقييم تجريبي مُحكم ومبرر من الناحية الإحصائية لفعالية الطرق والمواقع المقترحة لإعادة توطين الشعاب المرجانية بتكلفة محدودة، وذلك قبل استثمار مبالغ مالية كبيرة في عملية تنفيذ كاملة.



# 6
# أفضل ممارسات إعادة توطين الشعاب المرجانية: المرحلة التشغيلية

## اختيار أنواع المرجان المقرر إعادة توطينها

بعد إجراء دراسة شاملة للموقع المانح والمواقع المتلقية المحتملة وإجراء تقييم تجريبي للمنهجية المقترحة، تبدأ المرحلة التشغيلية من عملية إعادة التوطين في المواقع المتلقية المختارة.

وبما أن برامج تحقيق التوازن مصممة للحفاظ على التنوع البيولوجي المحلي، فضلاً عن زيادته[90,88]، يجب بذل جهود حثيثة لتضمين كل نوع موجود في الموقع المانح وفق الحصص النسبية الموجودة في المواطن الطبيعية. ولا شك في أن اختيار مجموعة متنوعة من الأنواع المرجانية لا يدعم فقط أهداف التخفيف من آثار عملية إعادة التوطين، بل يعزز أيضاً التنوع الجيني ويساعد على منع تداعي الشعاب المرجانية عند الإصابة بالأمراض، كما يدعم النجاح الإنجابي في وقت لاحق خلال مواسم التكاثر[165]. بالإضافة إلى ذلك، ستضمن إعادة توطين مجتمع متنوع من الشعاب المرجانية وجود مجموعة متنوعة من أشكال النمو المرجاني (مثل: المرجان المتفرع أو الورقي أو الضخم أو الأشكال الأخرى)، ما يعزز من قدرة مجتمع المرجان المعاد توطينه على الصمود ويوفر فرص موائل أكثر تنوعاً للحيوانات التي ترتبط بأنماط شكليّة محددة. على سبيل المثال، فعلى الرغم من أن الشعاب المرجانية الضخمة الشبيهة بالتلال تكون في العادة أكثر قدرة على الصمود أمام الإجهاد البيئي، وأكثر قدرة على الصمود خلال عمليات إعادة التوطين، إلا أن نموها بطيء جداً، فقد يستغرق نموها بعد إعادة التوطين وقتاً طويلاً[166,110,8]. في المقابل، عادة ما تكون الشعاب المرجانية المتفرعة أكثر حساسية لإعادة التوطين، لكنها قد تنمو بسرعة كبيرة - حتى إن تضررت بفعل العواصف - كما أنها توفر موائل متشابكة تدعم العديد من أنواع الأسماك ومظلة للتجمعات المرجانية في الطبقات السفلية[167,166,95,8].

وإذا لم تكن إعادة توطين تجمّعات المرجان بأكملها مجدية من الناحية اللوجستية أو المالية، ينبغي العمل على إعادة توطين مجموعة واسعة من الأنواع المرجانية وأشكال النمو، لا سيَّما للأنواع النادرة الأكثر عرضة لمخاطر أعمال التشييد (يجب تقديم مبرر عدم إدراج مجتمع الشعاب المرجانية بأكمله في البرنامج). وبالنسبة للأنواع المحددة من الشعاب المرجانية، ينبغي إعطاء الأولوية للعينات السليمة والناضجة جنسياً، على الرغم من إمكانية استعمال المستعمرات التي يزيد قطرها على 10 سم، ذلك أن الشعاب المرجانية الأكبر حجماً تتميز بمستويات أعلى من الخصوبة والبقاء، بينما تنمو الشعاب المرجانية الأصغر حجماً بسرعة أكبر، ويبدو أنه لا رابط بين حجم الشعاب المرجانية وحجم النفوق الذي يحدث بعد عملية إعادة التوطين[169,168,116,83]. وفي جميع الحالات، ينبغي إيلاء العناية الضرورية للتأكّد من خلو المستعمرات المعاد توطينها من أي دليل ملحوظ على إصابتها بالأمراض أو ارتباطها بالأنواع الدخيلة[119,80].

## أساليب الإزالة والتعامل مع الضغوطات

بعد الاتفاق على نسب الأنواع والأنماط الشكلية المختلفة، تبدأ أعمال إزالة المستعمرات أو الشظايا المرجانية، مع تخزين الشعاب المرجانية تحت سطح المياه في انتظار إعادة توطينها في الموقع المتلقي. ويجب التخطيط لهذه الخطوات بدقة بحيث لا تتعرض الشعاب المرجانية سوى للحدّ الأدنى من ضغوط المعالجة.

وكما أوردنا آنفاً، فإن الجزء العلوي الذي يتراوح بين 1 و2 ملم من مستعمرة المرجان هو عبارة عن أنسجة هلامية شديدة الضعف وعرضة للتآكل بفعل التلامس، سواء باليد أو الأدوات أو الصناديق أو أكياس النقل أو الشعاب المرجانية الأخرى أو الأسطح الأخرى. ولذا، يجب إزالة الشعاب المرجانية من الموقع المانح بأقصى درجات الرفق الممكنة، مع توخي قدر كبير من العناية لتقليل ملامسة الأنسجة السطحية الشبيهة بالهلام في المستعمرات أو تجنبها خلال جميع مراحل عملية إعادة التوطين، بدءاً من إزالة المستعمرة إلى مراحل التخزين وإعادة التوطين، وفي أثناء وضعها لاحقاً في الموقع المتلقي [80].

ويُحدد نهج الإزالة الأنسب عادة حسب شكل الشعاب المرجانية وحجمها. فبالنسبة لأنواع الشعاب المرجانية الضخمة أو المكونة للتلال، يمكن استخدام مطرقة وإزميل (أو عتلات للعينات الأكبر حجماً) من أجل فصلها عن الطبقة السفلية في قاعدة المستعمرة، مع توخي الحذر لتقليل ملامسة اليد أو الأدوات لجوانب المستعمرة أو سطحها بحيث يقتصر التلامس على قاعدة المستعمرة في أثناء وضعها في أحواض النقل[83]. ويمكن بعد ذلك تثبيتها في الأحواض باستخدام كابل ربط

الأولوية لإزالة المستعمرة بأكملها حيثما أمكن ذلك، يمكن تقسيم الشعاب المرجانية المحتملة إلى وحدات فرعية أصغر إن لم يمكن إزالتها بالكامل (بما يشمل استخدام المقصات/القواطع)، مع توخي الحذر نفسه مع الشظايا المرجانية بهدف تقليل التلامس كما هو الحال مع الأنماط الشكلية الأخرى للمرجان[83]. كما يجب أن تكون المنطقة المصابة صغيرة قدر الإمكان لتسهيل التعافي والحدّ من العدوى البكتيرية، ويجب أن يكون التلامس مع الأنسجة المرجانية الحية محدوداً للغاية، بما في ذلك التلامس بين المستعمرات المجاورة أو مع جدران الحاوية أثناء النقل[81،153].

وعلى الرغم من تزايد الدراسات التي تتطرّق إلى تجزئة الشعاب المرجانية إلى شظايا دقيقة باعتبارها خياراً لتأهيل الشعاب المرجانية (إذ يقوم الخبراء عن قصد بتقليل حجم الشظايا لتحفيز نموها لاحقاً بمعدلات أسرع، وعادة في الحاضنات)، إلا أن هذا النهج لا يدعم أهداف تحقيق التوازن الخاصة ببرامج التخفيف من الآثار الضارة. وقد نجم عن تجزئة الشعاب المرجانية إلى شظايا دقيقة نتائج شديدة التباين على أرض الواقع، وذلك بسبب ارتفاع معدلات افتراس الشظايا المرجانية وإصابتها بالأمراض وانفصالها، لا سيّما خلال المراحل المبكرة[170-173]. ولذا، لا يوصى بإعطاء أولوية لتجزئة الشعاب المرجانية إلى شظايا دقيقة في برامج إعادة التوطين (أي يجب أن تقتصر عملية التجزئة على حالات عرضية تكون فيها المستعمرات مجزأة إلى شظايا بشكل عرضي).

وفي جميع الحالات، وبغض النظر عن الأنواع المستخدمة أو أسلوب الإزالة، ينبغي أن يحرص الفنيون على تقليل ضغط المعالجة مباشرة بعد مرحلة الإزالة، وعادةً عند تخزين المستعمرات المرجانية بشكل مؤقت تحت المياه والتحضير لنقلها. كما ينبغي وضع الشعاب المرجانية في حاويات تخزين/نقل مستقرة (مثل: الأحواض البلاستيكية) بدلًا من إبقائها في قاع البحر لكيلا تتقلب في الأمواج أو تتلامس مع الكائنات القاعية المجاورة أو تتعرض للرواسب المتحركة. وتُربط حاويات النقل بأوزان لحفظ موضعها في موقع ثابت ومسطّح ضمن منطقة ثابتة من الطبقة السفلية، ولن تثبّت هذه الحاويات لاحقاً إلا بحقائب الرفع لتمكين تحريكها عبر عمود الماء في مرحلة النقل.

الشكل 22. أخصائي موائل بحرية يستخدم مطرقة وإزميلاً لإزالة مستعمرة مرجانية بهدف نقلها من منطقة ينتظر أن تشهد أثراً ناجماً عن عملية إنقاذ سفينة. المصدر: الإدارة الوطنية للمحيطات والغلاف الجوي (CC-BY-NC-ND 2.0).

أو تثبيتها باستعمال المسامير عبر قاعدة الحوض للحدّ من الحركة الجانبية للمرجان، بهدف منع المستعمرات من الانزلاق على بعضها بعضاً أو على جانب الحوض. أما المستعمرات الكبيرة (مثل: المرجان الضخم بوريتس) التي لا يمكن نقلها في الأحواض، فيمكن تثبيت مجموعة من المسامير أو البراغي الكبيرة في مواقع مختلفة من قاعدتها بمجرد فصلها عن بنية الشعاب المرجانية باستعمال العتلات، مع رفع المستعمرة وتحريكها تحت المياه باستخدام أكياس رفع منتفخة[107].

يجب أن تكون إعادة توطين المستعمرات الكاملة هي النهج المفضل، لأنه يحدّ من كمية الأنسجة التالفة التي يستهلك إصلاحها كميات من الطاقة وتعدّ منافذ لدخول الأمراض. ورغم ذلك، تكون الأنماط الشكلية لبعض أنواع المرجان أكثر هشاشة بطبيعتها أو لها نقاط تثبيت صغيرة بالطبقة السفلية تجعل إزالة المستعمرة بكاملها مهمة أكثر تعقيداً (مثل: أنواع المرجان المتفرع أو الورقي). وفي حين ينبغي إعطاء



## إعادة توطين الكائنات الحية النافعة المرتبطة بالشعاب المرجانية أو المستعمرات

عندما تتجه عملية إعادة التوطين إلى المناطق الخالية من الشعاب المرجانية (مثل: الشعاب المرجانية الاصطناعية الجديدة) بسبب عدم توفر موائل الشعاب المرجانية القائمة: [116]، ينبغي أن تشمل عملية إعادة التوطين الكائنات الحية الأخرى المرتبطة بالشعاب المرجانية بالإضافة إلى المستعمرات المرجانية، إذ ستساعد هذه الجهود على ترسيخ التنوع الوظيفي داخل الموقع المتلقي الجديد ودعم جهود إعادة بناء العمليات البيئية الرئيسية[130،161،174]. وقد تشمل تلك الجهود أنواعاً عامة مرتبطة بالشعاب المرجانية، مثل قنافذ البحر التي تؤدي أدوارًا رئيسة مهمّة في تثبيط نمو الطحالب[175]، وبهذا يمكنها الحدّ من خسارة الأنسجة المرجانية نتيجة المنافسة مع الطحالب[158]. كذلك، تحظى الأنواع المعتمدة على المرجان، التي تجمعها علاقات منفعة متبادلة قوية مع رؤوس المرجان الفردية، بأهمية خاصة بصفتها موائل واقية. فعلى سبيل المثال، يعتبر السلطعون الحارس (فصائل *ترابيزا*) من القشريات الصغيرة التي تعيش ضمن موائل معقّدة ثلاثية الأبعاد في مستعمرات المرجان المتفرعة، حيث يقوم بتنظيف الرواسب التي تغطي الأنسجة المرجانية[159]، ما يزيد من معدلات نمو مستعمراتها[98]. ويحمي السلطعون الحارس مضيفه من مفترسات المرجان، مثل نجم البحر، ويقلل بذلك من خسارة الأنسجة[176] ويعزز فرص بقاء الشعاب المرجانية على قيد الحياة[160]، كما يدافع عنها من القواقع المفترسة[177]، ما يزيد من معدلات نموها مقارنة بالمستعمرات غير المحمية[97]. وبإمكان السلطعونات آكلة اللحوم المرتبطة بالمرجان، مثل السلطعون المتشبث، حماية الشعاب المرجانية من منافسة الطحالب والنمو المفرط للحيوانات القاعية، كما يمكن أن تستفيد الشعاب المرجانية الحاملة لها من زيادة معدلات النمو والبقاء[99]. وعلى الرغم من الاهتمام المتزايد بإدراج مثل تلك التفاعلات البيئية في برامج إعادة توطين الشعاب المرجانية أو استعادتها، فإن أقل من خُمس الدراسات المنشورة تدرج تلك التفاعلات في تصميمها[100]. ولذلك، ينبغي الحرص على إدراج اعتبارات مثل أكل العشب وتبادل المنفعة وأكل المرجان وتدوير المغذيات من الكائنات المستهلكة المرتبطة بالشعاب المرجانية في مراحل التخطيط لجهود إعادة توطين الشعاب المرجانية.

الشكل 23. تشكّل المستعمرات المرجانية الفردية في الغالب موطناً للشركاء الذين تجمعهم بها علاقة منفعة متبادلة، مثل السلطعون الحارس الذي يحمي المستعمرة المضيفة وينظفها بنشاط، كما يدعم نمو المرجان وبقاءه. ولذا ينبغي أن تشمل خطط نقل الشعاب المرجانية إعادة توطين الكائنات التي تربطها بالشعاب المرجانية علاقات منفعة متبادلة، وألا تقتصر على المستعمرات المرجانية. (حقوق الصورة: هكتونيكوس (CC-BY-SA-3.0))

## طرق النقل والصعوبات المصاحبة له

بالإضافة إلى الأضرار الناجمة عن معالجة الشعاب المرجانية أثناء إزالتها، تمثّل مرحلة النقل ضمن مشاريع إعادة توطين الشعاب المرجانية واحدة من أكثر مراحل المشروع المسببة للأضرار، وينبغي أن يتضمن التخطيط المسبق تجنب تلك المخاطر والتخفيف منها. وتشمل المسائل الرئيسية التي يجب مراعاتها التآكل بالتلامس (مثل: ارتطام الشعاب المرجانية ببعضها) في أثناء عملية النقل، بالإضافة إلى التعرض لظروف بيئية قاسية (مثل: الهواء ودرجات الحرارة المرتفعة والأشعة فوق البنفسجية).

ففي الظروف المثالية، ينبغي نقل الشعاب المرجانية وهي مغمورة بالكامل تحت المياه[83،81،80]. وتمتاز هذه الطريقة بتقليلها احتمالية التآكل بالتلامس بين المستعمرات المرجانية أو بين أطراف صندوق النقل، إذ لن يكون من الضروري رفع الشعاب المرجانية إلى القوارب ونقلها في ظل ظروف صعبة فوق الأمواج، ثم إنزالها مرة أخرى إلى المياه في الموقع المتلقي، في عملية تنطوي كل مرحلة فيها على مخاطر. كما أن إبقاء الشعاب المرجانية مغمورة تحت المياه طوال عملية النقل يتيح لها أن تبقى في بيئة مستقرة حرارياً وأن تتفادى التعرّض للهواء وضوء الأشعة فوق البنفسجية غير المرشّح والعزل الشمسي وعوامل الإجهاد التي تتعرض لها إن نُقلت على سطح المياه.

وبالنسبة للأحجام الصغيرة، تتيح طريقة النقل بالغمر استعمال الصناديق المثبتة على حقائب الرفع لتمكين الغواصين من نقل المستعمرات المرجانية بين المواقع المانحة والمتلقية القريبة من بعضها (انظر الشكل 24) [121،110]. أما بالنسبة للمسافات الكبيرة، فيمكن نقلها عن طريق تثبيت صناديق النقل بحيث تبقى معلقة أسفل جانب السفينة، مع الحرص على نقلها بسرعة منخفضة (أي أقل من عقدة واحدة) لتجنب التسبب في ارتطام الشعاب المرجانية داخل الصناديق[128]. وفي مثال واسع النطاق على عملية نقل الشعاب المرجانية، فقد أعيد في عام 2009 توطين أكثر من 22,000 من الشعاب المرجانية النامية على 1,100 حجر مغطى بالمرجان على بعد 18 كم من دبي في دولة الإمارات العربية المتحدة، وذلك بهدف تجنب آثار مشروع تطوير معلّق[178]. كما عُلقت جميع الصخور المغطاة بالمرجان (تزن في الغالب أكثر من طن واحد) أسفل مراكب النقل باستخدام الحبال، ثم سحبت المراكب بعدها الصخور ببطء (حوالي 1 عقدة) عبر المسافة الطويلة إلى الموقع المتلقي، عند كاسر أمواج يبعد عن الآثار المحتملة لأعمال التطوير. وبإبقائها الشعاب المرجانية تحت المياه، حققت تلك الطريقة معدلات بقاء مرتفعة، وفي غضون أربعة أعوام، أشارت تقديرات إلى أن الغطاء المرجاني سيرتفع بنسبة 20%[179].

وفي حين أن غمر الشعاب المرجانية في البحر قد يحقق أهدافاً عملية عند نقلها لمسافات قصيرة، فإنها ليست طريقة مجدية لجميع المشاريع، لا سيّما عندما تكون المواقع المانحة والمتلقية بعيدة عن بعضها. ففي مثل تلك الحالات، يجب إيلاء العناية اللازمة حرصاً على نقل الشعاب المرجانية

على سطح المياه بأكبر قدر ممكن من الكفاءة لتقليل تعرضها للمخاطر. وينبغي أن يمنح مخططو المشاريع الأولوية لاستخدام الحاويات الشبيهة بالخزانات على سفن النقل لإبقاء الشعاب المرجانية بالكامل في المياه في أثناء نقلها، وذلك للحدّ من الضغوط المعروفة التي ترتبط بالنقل السطحي. كما تتيح الأحواض الكبيرة أو الخزانات المزودة بمضخات تعمل بالبطاريات تدفقاً مستمراً لمياه البحر إلى الحاويات للحفاظ على جودة المياه والأكسجين المذاب ودرجة الحرارة[180]، بينما يمكن استخدام المظلات المعلقة للحدّ من الإجهاد الخفيف والتعرض للأشعة فوق البنفسجية في أثناء عملية النقل[110]. وفي الحالات التي يتعذر فيها استخدام حاويات النقل بالغمر، ينبغي إجراء محاولات لتقليل وقت النقل قدر الإمكان، وتطبيق الإجراءات المطلوبة للحفاظ على الشعاب المرجانية رطبة (مثل: استعمال رذاذ المياه المالحة المستمر/المتكرر أو التغطية بالمناشف المبللة بمياه البحر) والتظليل من أشعة الشمس المباشرة[182,181,110].

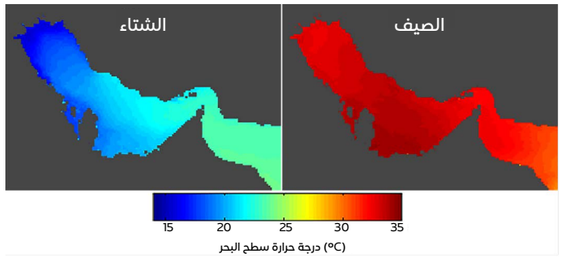
الشكل 24. فنيون يستخدمون حقائب الرفع وصناديق النقل لإعادة توطين مستعمرات مرجانية ضخمة. يقلل هذا النهج من إجهاد المعالجة ويحدّ من وقت التعرض للهواء. المصدر: ألفريد إيه. كوفيلد (CC-BY-NC-ND 2.0)



## الاعتبارات المناخية الموسمية

بصرف النظر عن آليات النقل ذاتها، ينبغي أن تراعي خطط إعادة التوطين الظروف المناخية المحلية، لا سيّما فيما يتعلق بدرجات الحرارة الموسمية واحتمالية وقوع العواصف. تعيش الشعاب المرجانية في منطقة الخليج العربي في ظروف مناخية هي الأكثر تقلباً في العالم[183,43,29]، ففصل الشتاء في المنطقة الشمالية للخليج (مثل: الكويت) يتميز بانخفاض درجات حرارة البحر بشكل ملحوظ (12 درجة مئوية)، في حين ترتفع درجات حرارة البحر في المنطقة الجنوبية للخليج (مثل: الإمارات وقطر) لتصبح الأعلى في العالم خلال الصيف (أكثر من 36 درجة مئوية)[183,36]. ولذا، ينبغي تجنب إعادة توطين الشعاب المرجانية في أثناء ذروة درجات حرارة الصيف أو في أثناء درجات حرارة الشتاء المنخفضة، فتلك المواسم من أبرز العوامل الطبيعية المسببة للإجهاد الفسيولوجي والتي تفاقمها عملية إعادة التوطين. ففي السابق، وقعت أحداث ابيضاض في المياه الباردة والدافئة في الخليج[185,184,54,51]، وأظهرت نتائج بحوث أن معدلات نمو المرجان أو الوفيات الجزئية للمستعمرة قد ترتفع في أثناء الصيف أو الشتاء[184,136]، وهو ما يعني أن تلك الظروف الخارجية تشكّل منفردة ضغطاً على صحة المرجان. لذلك، يجب أن يقتصر نقل الشعاب المرجانية في الخليج على المواسم "الانتقالية" في الربيع والخريف، ويُفضّل أن يكون في وقت مبكر من كل موسم لتمكينها من التعافي من أي إجهاد أو ضرر ناجم عن عملية النقل قبل التعرض لضغوط الموسم القادم. وتختلف أشهر تلك المواسم في أنحاء الخليج بسبب اختلاف الظروف المناخية المحلية، ولذلك يجب أن تستند القرارات المتعلقة بالتوقيت المحدد إلى البيانات المحلية لدرجات حرارة البحر والهواء في موقع معيّن. ولكن بشكل عام، يجب إعطاء الأولوية لجهود إعادة التوطين في الخليج في الفترة التي تمتد من ثلاثة إلى أربعة أشهر قبل بدء درجات الحرارة القصوى في فصل الصيف أو درجات الحرارة الدنيا في فصل الشتاء.

كذلك، يمكن لبيئة الرياح المحلية في الخليج العربي أن تؤثر في اختيار توقيت إعادة توطين المرجان. ويكون هبوب الرياح الموسمية "الشمالية" أقوى خلال الفترة بين أواخر شهر يناير ومارس، وقد تتجاوز سرعة الرياح خلال تلك الفترة 20 عقدة لعدة أيام، ما يؤدي إلى ظروف شديدة القسوة وارتفاع نسبة تعكر المياه بسبب تعلق الرواسب السفلية[186]. ولن ينجم عن مثل هذه الظروف "ضياع وقت" ثمين فقط، بسبب انتظار الغواصين والقوارب على الشاطئ إلى أن تخف حدّة تلك الظروف[175]، بل إنها تجعل عملية التخطيط لإعادة التوطين وتنفيذها أكثر صعوبة من الناحية اللوجستية أيضاً. وحتى لو تباطأت حدة الرياح عدة أيام، تشكّل الأمواج الكبيرة المتولدة من أحداث العاصفة خطراً مستمراً، إذ إن موجات الأعماق تجعل إزالة المستعمرة أو تثبيتها أكثر صعوبة، كما تزيد الموجات السطحية من احتمالية التلف أو التآكل في أثناء عملية النقل[116]. كما تزيد ظروف العواصف والموجات احتمالية انفصال المستعمرات المثبتة حديثاً[175,82]، وهو ما يُفسد الغرض من جهود إعادة التوطين. ولذا، ينبغي أن تخطط برامج إعادة التوطين لتنفيذ الأنشطة في الفترة التالية على موسم الرياح الشمالية المحلية (الذي يختلف نوعاً ما في مناطق مختلفة من الخليج)، مع مراعاة ظروف درجة الحرارة التي تمت مناقشتها سابقاً. وسيساعد التخطيط بمراعاة "موسم الرياح" على الحدّ من انفصال الشعاب المرجانية وتآكلها وتكسرها بسبب تأثير الأمواج[107].




الشكل 25. درجات حرارة سطح البحر في الخليج شديدة القسوة والتغيّر. وينبغي أن تتجنب مشاريع إعادة التوطين نقل الشعاب المرجانية في المواسم ذات الإجهاد الحراري من فصلي الشتاء والصيف. تظهر هنا درجات حرارة البحر الشهرية الأكثر برودة (على اليسار) والأكثر دفئاً (على اليمين) التي احتسب متوسطها في العقد بين عامي 2004 و2014 (بيانات من مطياف التصوير متوسط الاستبانة، المستوى الثالث، على ارتفاع 3.9كم، 11 ميكرومتر، درجة حرارة سطح البحر في النهار).

## تأهيل الموقع المتلقي

قبل الشروع في عملية إعادة التوطين الفعلية، يجب تقييم المواقع المتلقية المحتملة على النحو المبين في قسم "تقييم الوضع الحالي لعدد من المواقع المتلقية" الوارد أعلاه، وذلك لتمكين تحديد الموقع أو المواقع المثلى لإعادة توطين الشعاب المرجانية. وتشمل العوامل التي يجب مراعاتها المناخ الموجي ومعدل تدفق المياه، ومدى ملاءمة الطبقة السفلية، وما إذا كانت هناك حاجة إلى تثبيت الطبقة السفلية أو تحسينها، وما إذا كان من المرجح أن تؤثر الضغوط أو الحماية المحلية على نتائج المشروع، والظروف الفيزيائية الحيوية والأحيائية المحلية في المواقع المتلقية المحتملة (راجع التفاصيل في الأقسام الفرعية أعلاه). ولا شكّ في أن إجراء تقييم مفصّل لتلك العوامل يساعد المختصين على تحقيق أقصى درجات النجاح في هذه المرحلة الحرجة من إعادة التوطين.

قد تكون هناك حاجة إلى إجراء تحضيرات حسب تركيبة الطبقة السفلية في الموقع المتلقي. وتشمل تلك التحضيرات إضافة طبقة سفلية صناعية (مثل: الشعاب المرجانية الاصطناعية) لتثبيت المستعمرة[47,116]، وزيادة استقرار الطبقة السفلية باستخدام الأسمنت أو الشباك[129,27] (مثل الشكل 19)، أو التدابير ذات الصلة، مع مراعاة الجوانب الجمالية وطول عمر الطبقة السفلية والتداعيات المحتملة غير المقصودة على الكائنات الحية المحلية أو البيئة المحيطة. وينطبق ذلك تحديداً على إضافة الشعاب المرجانية الاصطناعية، وهي ممارسة أصبحت شائعة في الخليج العربي، لكنها ترتبط بالعديد من المخاطر التي لا تحظى بالاهتمام الكافي والتي يجب أن يأخذها مدراء الشؤون البحرية بعين الاعتبار قبل الموافقة على إضافة الشعاب المرجانية الاصطناعية[152-150].

وحتى في المناطق التي توجد فيها طبقة سفلية مناسبة تمتاز

بكونها صخرية ومكشوفة، فمن الضروري القيام ببعض التحضيرات في الموقع وإعداد الخطط. فقد أظهرت نتائج دراسات أن معدلات بقاء الشعاب المرجانية "الطليقة" الموضوعة في المواقع المتلقية من دون تثبيت يدوي منخفضة للغاية[114]، وذلك لأن التثبيت الذاتي للمرجان بالطبقة السفلية يكون عملية بطيئة عادة، كما أن العديد من الشعاب المرجانية تتضرر أو تنفصل في أثناء العواصف. وعلى هذا النحو، قد يكون استخدام "معدات التثبيت" المجهزة (مثل: "مشبك المرجان") ضرورياً، خاصة في البيئات عالية الطاقة المتأثرة بالأمواج[115]. وحتى في المناطق التي تكون فيها الحركة الموجية أقل إثارة للقلق، فمن الضروري إجراء بعض التحضيرات للطبقة السفلية، حتى في حال استخدام طرق التثبيت التقليدية باستعمال الإيبوكسي أو الأسمنت (ترد بالتفصيل أدناه). علماً بأن جميع الطبقات السفلية البحرية، بما فيها الأسطح الاصطناعية التي يبلغ عمرها ساعات فقط، ستكون مغطاة بغشاء حيوي يتكون من مجتمع ميكروبي حيّ والإفرازات المرتبطة به[189-187]، وعادة ما تكون الطبقات السفلية "المكشوفة" الأكثر نضجاً موطناً لمجموعات متنوعة من الطحالب الدقيقة واللافقاريات[190,146] التي قد تعرقل جميعها التصاق الشعاب المرجانية. ولذا فإن الطبقات السفلية "المكشوفة" ليست مكشوفة في واقع الأمر، ويجب فرك تلك الأسطح بقوة باستعمال الفُرش السلكية لتقليل وجود الأغشية الحيوية عليها، ثم معالجتها بالإزميل لكشف الطبقات التحتية الصخرية النظيفة بما يتيح لها تكوين روابط قوية بالإيبوكسي أو الإسمنت (الشكل 26). يعدّ انفصال الشعاب المرجانية بسبب ضعف الالتصاق من الأسباب الرئيسية لوفيات المرجان في أثناء مشاريع إعادة التوطين (خسارة 50-65% من المستعمرات[191,112])، ما يشير إلى ضرورة بذل جهود شديدة التركيز في تحضير الطبقة السفلية قبل تثبيت المستعمرات المعاد توطينها وذلك من أجل تحقيق أقصى قدر من النجاح. ويمكن أن تساعد جهود تنظيف الطبقة السفلية أيضاً في إزالة الكائنات المنافسة على المكان، مثل الطحالب الكبيرة الموجودة على الطبقات السفلية المجاورة، ما يحسن النمو اللاحق للمستعمرات المزروعة [192].

الشكل 26. غواص يستخدم مثقاباً هوائياً تحت المياه لتحضير الطبقة السفلية في الموقع المتلقي بهدف تثبيت المستعمرات المرجانية المعاد توطينها. قد يوفر هذا النهج تجاويف للإيبوكسي أو الأسمنت بتثبيت أفضل، وذلك لأن الأغشية الحيوية الموجودة على الطبقات السفلية تُضعف في الغالب قوة الالتصاق. المصدر: إريك زبريست (CC0-PD).



## اعتبارات مكان المستعمرة

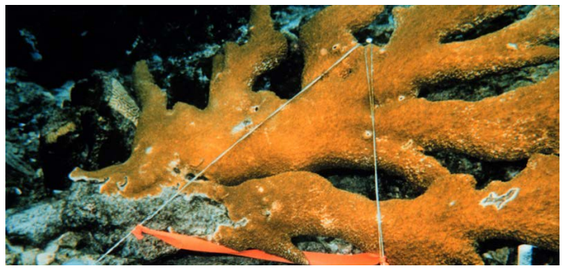
بصرف النظر عن الاعتبارات المتعلقة بالطبقة السفلية، يجب إيلاء العناية اللازمة عند دراسة عمق إعادة التوطين وكثافة مكان المستعمرة في الموقع المتلقي في أثناء عملية التخطيط.

وبشكل عام، ينبغي نقل الشعاب المرجانية إلى أعماق مماثلة لأعماق الموقع المانح. فقد تأقلمت الشعاب المرجانية من الناحية الفسيولوجية مع ظروف ضوئية معينة حددتها أعماق معينة للمياه، ولذا قد يؤدي تغيير عمق المياه إلى تأثيرات ضارة على صحة المستعمرة. ويختلف الشكل الظاهري للمستعمرة المرجانية[193]، وكثافة وجود الكائنات التكافلية وهيكل مجتمع الشعاب المرجانية[195,194]، وتركيبة أصباغ البناء الضوئي[196]، والحساسية للأشعة فوق البنفسجية[196]، ومجموعة من المعايير الأخرى باختلاف عمق الشعاب المرجانية في المياه من أجل تقليل الإجهاد الضوئي في الأعماق الضحلة أو زيادة ناتج البناء الضوئي في ظروف الإضاءة الخافتة في المياه العميقة. ولذلك، فإن نقل المستعمرات المرجانية إلى أعماق مختلفة عن مكان الحصول عليها من الموقع المانح قد يتسبب لها في إجهاد فسيولوجي كبير، وقد تمتد تلك التأثيرات إلى أكثر من ستة أشهر[194]، كما يستغرق التأقلم الكامل عدة سنوات[197]، مع احتمال حدوث آثار طويلة المدى على صحتها وبقائها. وينطبق ذلك بشكل خاص على الخليج العربي، حيث تتعرض أعماق المياه الأقل من 3 أمتار إلى ضغوط شديدة بسبب درجات الحرارة عند تراجع هبوب الرياح[55]، في حين تحدّ مستويات التعكر المرتفعة من نمو المرجان عند أعماق أكبر من 10 أمتار باستثناء التلال البحرية القريبة من السواحل حيث يمكن أن تنمو الشعاب المرجانية حتى عمق 30 متراً في المياه النقية[198,54,48]. وتشير تلك المشاهدات إلى ضرورة إيلاء العناية اللازمة عند إعادة توطين الشعاب المرجانية في أعماق تزيد بضعة أمتار عن العمق الذي جمعت منه.

وبالإضافة إلى عمق المياه، ينبغي أن يدرس واضعو الخطط أيضاً التخطيط المكاني لموقع المستعمرات مقارنة ببعضها. ومن بين المعايير الرئيسية كثافة المستعمرات المرجانية. وقد افترض أن زيادة كثافة المستعمرة تعزز السلامة الهيكلية للشعاب المرجانية عند هبوب العواصف[199,95]، لكن المنافسة بين المستعمرات المرجانية على الحيز المكاني عند ارتفاع كثافتها قد تؤدي إلى انخفاض معدلات النمو والقدرة على البقاء[200,199]. ورغم ذلك، فإن وضع المستعمرات على مسافات كبيرة من بعضها له عواقبه أيضاً، إذ إن ذلك يعرقل نجاح التلقيح في أثناء مراحل إنتاج البيض ويعطل نتائج التكاثر على مستوى الشعاب المرجانية[153]، وقد يجعل المستعمرات المعزولة موائل أقل جاذبية للكائنات الحية التي تسكن الشعاب المرجانية وتقوم بأدوار بيئية مهمّة، مثل نقل المغذيات[201]. وهناك مبررات لإجراء المزيد من البحوث في هذا المجال، فالبيانات الحالية تشير إلى وجود علاقة أحادية النمط تتضمن حدوث التأثيرات الإيجابية عند مستويات الكثافة المعتدلة ووقوع التأثيرات السلبية عند مستويات الكثافة المرتفعة[200,95]، ومن المرجح أن يُحدد ذلك حسب السياق. ولذا، فمن المقترح إجراء مسوحات أوليّة لكثافة المستعمرات في المواقع المحلية لتحديد نطاقها الطبيعي ومتوسط كثافة المستعمرات من أجل الاسترشاد بتلك المعلومات في وضع خطط إعادة التوطين.

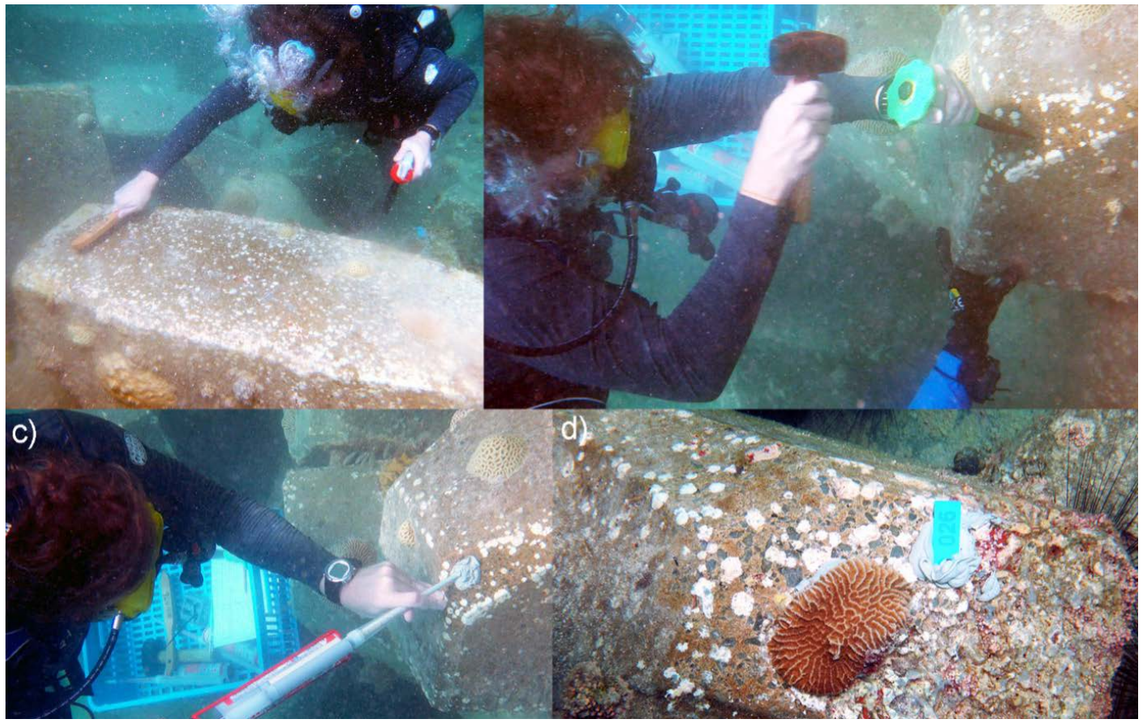
## طرق تثبيت المستعمرات المرجانية

تتضمن أطوار التخطيط النهائية للمرحلة النشطة من عملية إعادة توطين الشعاب المرجانية اختيار طريقة تثبيت المستعمرة بمجرد إعادة توطينها في الموقع المتلقي. تشمل طرق التثبيت الشائعة استخدام الغراء البحري (مادة الإيبوكسي) أو أسمنت بورتلاند، إضافة إلى مسامير البناء أو أربطة الكابلات أو الأسلاك المصنوعة من الصلب المقاوم للصدأ، أو استخدام مزيج من تلك الطرق أحياناً[202,192,175,128,121].



الشكل 27. تُستخدم الأسلاك المعدنية ومسامير البناء لربط الشظايا المرجانية في بنية الشعاب المرجانية في شعاب فورتانا في بورتوريكو. المصدر: إريك زبريست (CC-PD).

يجب اختيار طرق التثبيت بناء على احتمالية انفصال المرجان بفعل الأمواج المحلية[27]، مع تجنب البيئات التي تمتاز بطاقات موجية عالية لأن الخسارة تكون مرتفعة في تلك البيئات بغض النظر عن طريقة التثبيت[111,110]. الإيبوكسي والأسمنت هما أكثر طرق التثبيت المستخدمة، خاصة بالنسبة للأشكال الضخمة/المكونة للتلال من المرجان. عادةً ما تُستخدم روابط الكابلات والأسلاك مع المسامير المثبتة في الطبقة السفلية للأنواع المتفرعة من الشعاب المرجانية، مثل مرجان الطاولة *أكروبورا* الذي يمتلك كميات محدودة من الأنسجة الهيكلية المكشوفة المفيدة لأغراض الالتصاق عقب إزالة الشعاب المرجانية[121]، كما يدعم هذا النهج أيضاً تحقيق معدلات بقاء مرتفعة[113]. ويمكن وضع مرجان الطاولة أكروبورا بحيث يكون الجذع موجهاً إلى الأعلى من أجل تسريع النمو، أو يمكن وضعها ممددة إلى الأسفل لتوفير قاعدة أكثر استقراراً وتمكين نمو فروع جديدة بمرور الوقت[153]. شهدت الآونة الأخيرة تطوير نهج تثبيت جديد يعرف بمشبك المرجان[115]، وهو عبارة عن مشبك زنبركي يمكنه تثبيت الشظايا المرجانية في أماكنها في الفجوات الموجودة ضمن بنية الشعاب المرجانية ومن السهل استعماله[115].




الشكل 28. مثال على تحضير الموقع وتثبيت الشعاب المرجانية من مشروع إعادة توطين الشعاب المرجانية في ميناء خليفة في أبوظبي بالإمارات العربية المتحدة في عام 2020. أعيد توطين الشعاب المرجانية من كاسر أمواج إلى آخر، مع تثبيتها على هياكل خرسانية رباعية القواعد. في هذه الصورة: أ) استخدمت المُرش السلكية لتنظيف السطح، والذي تعرض بعدها ب) للطرق باستعمال مطرقة وإزميل لكشف طبقة الخرسان التحتية، قبل ج) طلاء الطبقة السفلية بالإيبوكسي لتمكين د) تثبيت المستعمرة المرجانية ووضع بطاقة وصفية للمراقبة طويلة الأمد. حقوق الصورة: براسانا ويجيسينغي وهاري كوك.

**لا ينبغي التقليل من أهمية طريقة تحضير موقع التثبيت وطريقة التثبيت، ففي المتوسط، من المتوقع أن يبقى نصف إلى ثلثي المرجان على قيد الحياة في عملية إعادة التوطين[106,112,191]، ويعدّ فشل عملية التثبيت في الأسابيع التالية على زرع الشعاب المرجانية سبباً رئيساً في وفاة المرجان[110,192,203]. ورغم ذلك، فإن بقيت المستعمرات مثبتة بشكل صحيح في بنية الشعاب المرجانية وغير متحركة عدة أشهر، فإن هيكلها المتنامي سيبدأ في الالتصاق ويشكّل رابطاً قوياً مع الطبقة السفلية، علماً بأنه يندر خسارة الشعاب المرجانية بسبب انفصالها في تلك الحالة[110,192,204]. وبصرف النظر عن طريقة التثبيت المستعملة، ينبغي أن يحرص واضعو الخطط على تقليل حالات تهجير الكائنات القاعية والحدّ من وقوع الاضطرابات في المجتمعات المرتبطة بالموائل القائمة.**

الشكل 29. باحث يستخدم مادة الإيبوكسي لتثبيت مستعمرة مرجانية قبالة أرخبيل "فلوريدا كيز". من المرجح أن يؤدي عدم تنظيف الطبقة السفلية وتحضيرها إلى انفصال المستعمرات مع أول عاصفة. المصدر: الإدارة الوطنية للمحيطات والغلاف الجوي (CC-PD)

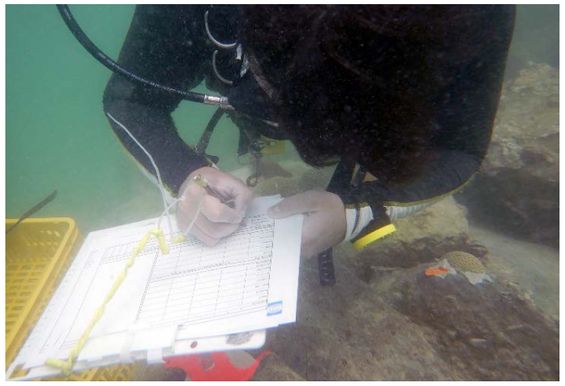


# 7

# أفضل ممارسات إعادة توطين الشعاب المرجانية: مرحلة المراقبة التي تلي إعادة التوطين

لا يمكن وصف مشروع إعادة التوطين بالنجاح إلا عند استعادة الوظيفة البيئية وإعادة إنشاء منظومة بيئية مكتفية ذاتياً وقادرة على الصمود[125]. يجب أن يتضمن تجمّع الشعاب المرجانية المعاد توطينها أنواعاً مشابهة لتلك الموجودة في النظام المانح، بحيث يتشكل من جميع المجموعات الوظيفية الكبرى ويضم فئات قادرة على التكاثر ويكون قادراً على الصمود أمام الإجهاد[125]. تعتبر المراقبة ركيزة أساسية في تقييم نجاح برامج تحقيق التوزان في التنوع البيولوجي، رغم أنها لا تحصل على الاهتمام الكافي.

وتعدّ المراقبة القائمة على الفرضيات والمتمحورة حول البيئة خطوة حاسمة في تقييم نجاح المشروع بصفة دورية وتقييم التقدم المحرز نحو تحقيق كل هدف من الأهداف الذكية[80]. كما تعدّ البيانات المتسقة والقابلة للمقارنة ضرورية لقياس التغيّرات بمرور الوقت، والسماح بإجراء مزيد من التدخلات إذا لزم الأمر[125]. وتعزز المراقبة من قوة الجوانب العلمية لبرامج إعادة توطين الشعاب المرجانية وكذلك من شفافيتها وأوجه المساءلة فيها، وينبغي أن تكون عنصراً رئيسياً في جهود إعادة التوطين[129]. ويجب تخصيص التمويل لعنصر المراقبة منذ بداية عملية التخطيط، وينبغي الاستفادة من نتائج المراقبة للمساعدة في توجيه الإدارة التكيفية للمشروع[130].



الشكل 30. تعدّ المراقبة ما بعد إعادة التوطين ضرورية لتحديد ما إذا حقق برنامج إعادة التوطين الأهداف المحددة له، كما أنها سبب نجاح بعض مواقع إعادة التوطين دون غيرها. وينبغي أن تُنشر هذه المعلومات للاسترشاد بها في جهود نقل الشعاب المرجانية في المستقبل. المصدر: مشروع إعادة توطين الشعاب المرجانية في ميناء خليفة 2020، جون بيرت.

يتم اتباع أفضل ممارسات برامج مراقبة نقل المرجان وفق نهج "دراسة التأثير قبل وقوعه وبعده" (BACI). وينبغي تنفيذ المسوحات وخطط المراقبة بشكل جيّد قبل تنفيذ أنشطة إعادة توطين المرجان، إضافة إلى متابعة العملية طوال تنفيذها ثم تقييم النجاح على المدى الطويل لفترة من الوقت[162]. وحرصاً على أن تكون الأنماط المرصودة في موقع إعادة توطين معيّن هي نتيجة للتدخل وليست نتيجة عمليات عشوائية، ينبغي ألا تقتصر هذه البرامج على بيانات من الموقع (المواقع) المانحة والمتلقية، بل ينبغي أن تشمل أيضاً المواقع "المرجعية" المستقرة القريبة من الموقع المانح حيث تكون الشعاب المرجانية في موطنها، فضلاً عن المواقع "الضابطة" المجاورة للموقع المتلقي حيث تجري مراقبة تجمعات الشعاب المرجانية التي لم تمر بعملية إعادة التوطين[162]. ويفضّل أن تشمل المراقبة عدة مواقع مرجعية وضابطة على مسافات متباعدة من بعضها، وذلك لدعم تحديد الاتجاهات المكانية إلى جانب الاتجاهات الزمنية التي تسجّلها المراقبة الدورية طويلة الأجل[163,164]. يتطرق قسم "أفضل ممارسات إعادة توطين الشعاب المرجانية: مرحلة التخطيط" إلى العوامل التي يتعين مراعاتها في عنصر المراقبة، مثل نهج "دراسة التأثير قبل وقوعه وبعده"، مع مراعاة دقيقة للمقاييس البيولوجية المقرر تصنيفها والتي لا تعبّر فقط عن حالة المستعمرات المرجانية الفردية، بل أيضاً عن هياكل مجتمعات الشعاب المرجانية ووظائفها. وتشمل المقاييس التي يمكن أخذها بعين الاعتبار لفئات الشعاب المرجانية الغطاء المرجاني والوفرة والقدرة الإنجابية (مثل: النسبة المئوية للشعاب المرجانية المتكاثرة) واستقطابها (مثل: الاستيطان) وحالة الشعاب المرجانية (مثل: وجود المستعمرة أو غيابها، والنسبة المئوية لفقدان الأنسجة، وانتشار الأمراض، وما إلى ذلك) وثراء الأنواع وتوزيعها بالتساوي وتنوعها، في حين تشمل مقاييس الموائل أو مجتمعات الشعاب المرجانية بيانات مجتمعات اللافقاريات والأسماك (مثل: وجودها أو غيابها، ووفرتها أو كثافتها، وثرائها، وتوزعها بالتساوي وتنوعها، وهيكل الحجم)، ومقاييس تعقيد الشعاب المرجانية (مثل: خشونة الأسطح، وارتفاع الشعاب المرجانية/المستعمرة)، ونوعية الموائل (مثل: جودة المياه والرواسب ووفرة/تنوع المجموعات الوظيفية أو استقطاب الشعاب المرجانية وما إلى ذلك)[125]. وتتضمن دراسة غورغين وآخرين (2020)[125] مزيداً من الأوصاف التفصيلية للعناصر التي يتعين إدراجها في برامج مراقبة الشعاب المرجانية القائمة على التدخلات، مثل مشاريع إعادة توطين الشعاب المرجانية. وتوجّه الدراسة القراء إلى مصادر للحصول على مزيد من المعلومات عند وضع خطط المراقبة.

ويتعيّن أن تحدد خطط إعادة توطين الشعاب المرجانية، إلى جانب مكان المراقبة وعناصرها، وتيرة برنامج المراقبة وطوله. فلأسباب عديدة، تعتمد وتيرة المراقبة وطولها على الأهداف والغايات المحددة في برنامج إعادة توطين الشعاب المرجانية[125]، وينبغي أن تعكس أيضاً طبيعة الأطر الزمنية التي يتوقع فيها حدوث التغييرات ذات الصلة بالشعاب المرجانية والمجتمعات المرتبطة بها في مختلف المواقع قيد النظر (الشكل 32). فعلى سبيل المثال، من المرجح أن تحدث خسائر لاحقة على إعادة التوطين نتيجة انفصال الشعاب المرجانية عن منطقة رسوها في الأسابيع القليلة الأولى بعد إعادة التوطين، في حين أن بلوغ القدرة الإنجابية للشظايا المرجانية قد يستغرق عدة أعوام أو أكثر. كذلك، ينبغي مراعاة الأحداث البيئية الموسمية (فمثلاً، آثار الابيضاض الشديد وتفشي الأمراض أكثر شيوعاً في الصيف منها في الشتاء في الخليج العربي[51,205]).

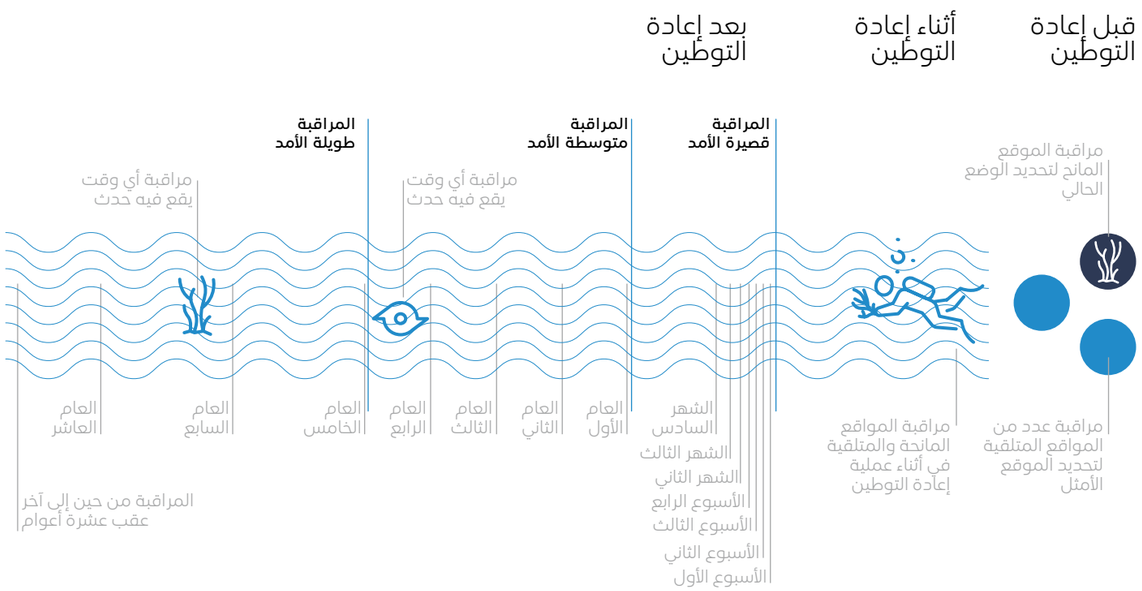
الشكل 31. باحثون يراقبون صحة مستعمرة مرجانية باستخدام المعدّل النبضي الغاطس (PAM) في السعديات بأبوظبي. ينبغي أن تسعى برامج المراقبة إلى عدم الاكتفاء بالمؤشرات الأساسية لنجاح إعادة التوطين (مثل: البقاء والنمو)، بل ينبغي أن تشمل إشارات أكثر دقة عن حالة الشعاب المرجانية، مثل انتشار الأمراض أو القدرة على إجراء عملية البناء الضوئي أو المقاييس ذات الصلة التي تدعم تقييم النجاح في تحقيق أهداف المشروع وغاياته. المصدر: جون إيه بيرت.





## دليل مراقبة مشاريع إعادة التوطين

### الجدول الزمني




## المقاييس الرئيسية للمراقبة

### ينبغي قياس مجتمعات الشعاب المرجانية الأصلية والمعاد توطينها في ضوء هذه المقاييس في كل حالات المراقبة

#### المستعمرة المرجانية

- بقاء المستعمرة
- حجم ونمو المستعمرة
- التكاثر (دليل على التكاثر الجنسي والخصوبة)
- الأمراض والابيضاض والافتراس
- مقاييس الوفرة (نسبة الغطاء المرجاني والكثافة وأعداد المستعمرات)

#### تجمّع الشعاب المرجانية

- مقاييس التنوع (ثراء الأنواع ومؤشرات التنوع)
- مقاييس التعقيد (خشونة الأسطح)

#### الأسماك

- الوفرة
- الكتلة الأحيائية
- الثراء
- المجموعات الوظيفية الرئيسية (الأسماك الببغائية وأسماك الفراشة)

#### الأحياء القاعية الأخرى

- وفرة طحالب وقنافذ البحر وغيرها
- نسبة غطاء الطحالب وقنافذ البحر وغيرها

#### البيئة

- درجة الحرارة
- التعكر/الضوء
- الأكسجين الذائب

الشكل 32. تعدّ المراقبة السابقة واللاحقة على إعادة التوطين بالغة الأهمية لتقييم نجاح جهود إعادة التوطين في تحقيق أهدافها. ويتعيّن بذل العناية اللازمة في دراسة الإطار الزمني للمسوحات ووتيرتها والمقاييس المقرر بحثها خلال مرحلة التخطيط للمشروع.

بحرصهم على أن يراعي برنامج المراقبة المتغيّرات الزمنية، يوفر مدراء المشروع لأنفسهم فرصة للاستفادة من الإدارة التكيفية بما يشمل استخدام البيانات لتطبيق الإجراءات التصحيحية/الإصلاحية في حال ملاحظة أي مشاكل في أثناء المراقبة الروتينية[125,133]. ولذا، ينبغي أن تتضمن المراقبة نطاقات زمنية قصيرة (حوالي 12 شهراً) ومتوسطة (5-1 أعوام) وطويلة الأجل (أكثر من 5 أعوام) [125]، مع زيادة وتيرة إجراء المسوحات في النقاط التي يتوقع خلالها حدوث التغييرات بسرعة أكبر، خاصة في الفترة التي تلي إعادة توطين الشعاب المرجانية مباشرة، وكذلك بعد الأحداث العشوائية الكبرى (مثل: الابيضاض الجماعي أو العواصف) (الشكل 32). وفي حين توفر المسوحات الأوليّة معلومات بالغة الأهمية عن الجدوى الفورية لمشروع إعادة التوطين، فإنها لا تكفي لإعلان "نجاح" جهود إعادة التوطين في تحقيق أهدافها بالنظر إلى الفترات الطويلة التي تحتاجها النظم البيئية البحرية لاستعادة وظيفتها[106]. كذلك، ففي ضوء بطء معدل نمو معظم الشعاب المرجانية والإطار الزمني المطلوب لتحقيق الاستقرار في وظائف النظام البيئي، ينبغي إجراء المراقبة على فترات تمتد عقوداً، بدلاً من أشهر أو سنوات كما هي الحال في أغلب برامج المراقبة[80,90]. فعلى سبيل المثال، يتعيّن إجراء مراقبة طويلة الأجل (أكثر من 10-5 سنوات) تنفذ بصفة سنوية لتحديد اتجاهات إنتاج الأمشاج في الشعاب المرجانية المعاد توطينها أو التغيّرات في هيكلها أو خشونة أسطحها، وما يترتب على ذلك من آثار على الأسماك واللافقاريات المرتبطة بها[125]. وتعدّ المراقبة المستمرة جهداً بحثياً تطبيقياً، يهدف إلى أن تتحوّل الشعاب المرجانية المعاد توطينها إلى نظم بيئية مكتفية ذاتياً وقادرة على الصمود بمرور الوقت كنتيجة رئيسية لعملية التخفيف من الآثار[129].

ويشكّل التواصل ونشر "الدروس المستفادة" مرحلة نهائية رئيسية من جهود إعادة توطين الشعاب المرجانية ومراقبتها. إذ يمكن أن تساعد ثروة البيانات التي تُجمع نتيجة جهود إعادة توطين الشعاب المرجانية المخطط لها والمنفذة بإحكام في توجيه ودعم نجاح البرامج المستقبلية التي تسعى إلى التخفيف من الآثار التي تتعرض لها الأنظمة البيئية للشعاب المرجانية. وتعدّ مشاركة البيانات والإبلاغ عن النتائج من أهم التحديات التي تعيق جهود الحفاظ على البيئة البحرية وإدارتها في الخليج العربي[34]، إذ يتواصل تكرار النهج الخاطئ من طرف الآخرين حين يخفق ممارسو المهنة في الإبلاغ عن النتائج التي ربما يعتبرونها "إخفاقات" في برامجهم. لكن النتائج غير الناجحة لا تعدّ فشلاً، بل هي فرصة للتعلم وتكييف جهود إعادة التوطين المستقبلية. ويتعيّن على ممارسي المهنة عدم الاكتفاء بسرد قصص "الأخبار الجيدة" التي تهيمن على وسائل الإعلام في المنطقة (وعادة دون توفر أي بيانات عامة للتحقق من محتواها)، بل ينبغي عليهم إبلاغ النتائج علناً عن طريق المؤتمرات والمنشورات المُحكمة، لتمكين الخبراء المختصين من الحكم على صحة البيانات ومصداقيتها. ولا يمكن لمجتمع إدارة الشعاب المرجانية في المنطقة تحقيق أقصى قدر من النجاح في موازنة الآثار الناجمة عن أعمال التطوير على تلك المنظومات البيئية القيّمة إلا بتحقيق فهم مشترك ومعلن على نطاق واسع بشأن تحديات إعادة توطين المرجان وأفضل حلول التخفيف من تلك المخاطر.



# 8
# دراسات حالة من مناطق مختلفة حول العالم

(بيرت، 2021)

**الموقع:**
أبوظبي، الإمارات العربية المتحدة.

**معلومات أساسية:**
يتضمن مشروع توسعة ميناء خليفة نحو المياه الساحلية قسماً يضم كاسر أمواج عمره 10 أعوام يحتوي تجمعات من الشعاب المرجانية. وقد اقتُرح نقل الشعاب المرجانية من المنطقة المتأثرة إلى كاسر أمواج خارج منطقة التطوير بهدف موازنة الآثار البيئية، فضلاً عن إجراء بحوث لتحقيق فهم أفضل لعوامل النجاح.

**الأهداف:**
إعادة توطين أكثر من 500 مستعمرة مرجانية من مختلف الأنواع في كاسر أمواج خارج منطقة التطوير، مع تضمين 120 مستعمرة من تلك المستعمرات في برنامج بحثي.

**الطرق:**
قبل إعادة التوطين، صُمم برنامج بحثي لتقييم أداء المستعمرات المعاد توطينها (البقاء على قيد الحياة والحالة والنمو) بناءً على ثلاثة محاور: اختيار الأنواع (3 أصناف: البلاتيجيرا والدبساستريا والفافتس)، وطريقة التثبيت (الإيبوكسي مقابل الأسمنت)، وعمق إعادة التوطين (3-2 أمتار مقابل 6 - 8 أمتار) وبهدف تناول هذه المحاور الثلاثة، نُفذت تجربة ميدانية متقاطعة شهدت إعادة توطين 120 مستعمرة مرجانية، مع معالجة 10 مستعمرات من كل نوع بمواد تثبيت متنوعة ووضعها عند أعماق مختلفة. كما أعيد توطين أكثر من 400 من الشعاب المرجانية دون أن تكون مشمولة في البرنامج البحثي، وذلك في إطار برنامج تحقيق التوازن البيئي. وقد تقرر مراقبة جميع الشعاب المرجانية المعاد توطينها مدة ثلاثة أعوام، مع إجراء مسوحات أكثر كثافة في بداية جدول المراقبة (أسبوعياً خلال الشهر الأول، وشهرياً حتى ثلاثة أشهر،

وكل ثلاثة أشهر خلال العام الأول، وسنوياً في العامين الثاني والثالث).

**نطاق المشروع:**
وضعت المستعمرات المرجانية المشمولة في البرنامج البحثي في جزء يمتد 30 متراً ضمن كاسر الأمواج، مع وضع المستعمرات الأخرى على بعد حوالي 100 متر من كاسر الأمواج. واستمرت عملية المراقبة لمدة 3 أعوام.

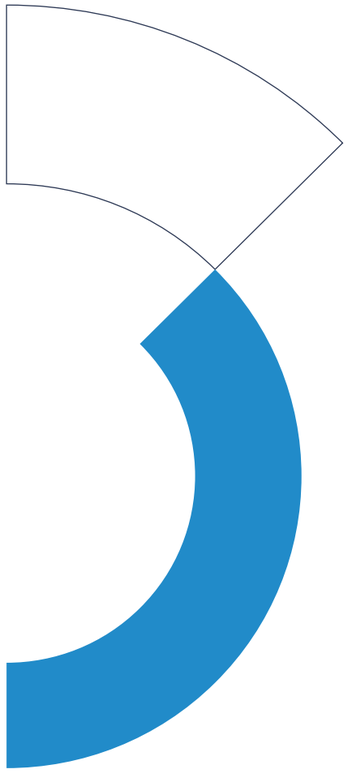
**المراقبة:**
تضمنت محاور المراقبة في كل مرحلة زمنية نجاح عملية التثبيت وبقاء المستعمرة بشكل كامل أو جزئي ونمو المستعمرة وحالتها (مثل: الابيضاض أو انتشار الأمراض).

**النتائج:**
إجمالاً، أعيد توطين 588 مستعمرة من سبعة أنواع في أواخر شهر يوليو من عام 2020، وقد خصصت منها 120 مستعمرة لبرنامج بحوث إعادة التوطين. ورغم ذلك، فقد وقعت موجة حرارية بحرية شديدة في الأسابيع التالية على عملية النقل، وصلت بفعلها درجات الحرارة إلى 36.9 درجة مئوية، ما أدى إلى خسارة 85% من المستعمرات المرجانية في غضون شهر واحد من إعادة التوطين. وأظهرت نتائج دراسات المقارنة بين الشعاب المرجانية الطبيعية في كاسر الأمواج والشعاب المرجانية المعاد توطينها أن مستوى الوفيات كان متماثلاً في المجموعتين، وهو ما يشير إلى أن الخسائر لم تكن نتيجة عملية إعادة التوطين ذاتها. وعلى الرغم من تلك النتيجة، فقد أثمرت جهود المراقبة عن بعض المعلومات القيّمة. فقد كانت معدلات بقاء المستعمرات التي وضعت عند أعماق أكبر (8-6 أمتار) أعلى بخمسة أضعاف من المستعمرات التي وضعت في المياه الضحلة (3-2 أمتار)، ما يشير إلى أهمية عمق المياه في تخفيف الإجهاد الحراري على الشعاب المرجانية المعاد توطينها. كما كان للعمق دور في نجاح تثبيت الشعاب المرجانية. فبغض النظر عن طريقة التثبيت، ظلت جميع الشعاب المرجانية المعاد توطينها (سواء كانت حية أو ميتة بفعل الابيضاض) مثبتة في الطبقة السفلية عند إعادة توطينها في مناطق أعمق من كاسر الأمواج (نسبة الشعاب المرجانية المثبتة 92%)، في حين كانت معدلات الانفصال أعلى بكثير في الشعاب المرجانية التي ثُبتت في المياه الضحلة، علماً بأن حالات الانفصال كانت بالأساس بين المرجان المثبت باستعمال الإيبوكسي (الإيبوكسي: 50% من الشعاب المرجانية ظلت مثبتة بعد عام واحد؛ الأسمنت: 95% من الشعاب المرجانية ظلت مثبتة بعد عام واحد على عمق 3-2 أمتار). ما زالت المراقبة قائمة حتى وقت كتابة هذا الكتيب.

**التكلفة:**
غير معلنة.

**التحديات والدروس المستفادة:**
كانت أكبر التحديات أمام مشروع إعادة توطين الشعاب المرجانية هي توقيت المشروع، والذي جاء قبيل بدء موجة حرارية بحرية شديدة. وفي حين أظهرت دراسات المقارنة مع تجمعات الشعاب المرجانية الطبيعية أن هذا الحدث كان سيكون كارثياً بغض النظر عن عملية إعادة التوطين، فإنها تدعم أهمية أن تحصل إعادة توطين الشعاب المرجانية في المواسم "الانتقالية" لتمكين التعافي والإصلاح قبل أن تتعرض إلى الإجهاد بفعل درجات حرارة الصيف أو الشتاء. كما أظهرت النتائج أن وضع الشعاب المرجانية عند مستويات أعمق (8-6 أمتار) وتثبيتها بالأسمنت قد يزيد بقاء المستعمرات المرجانية في موائل كاسر الأمواج.

**الاعتبارات:**
تمثل البيانات المقدّمة أعلاه نتائج العام الأول من برنامج المراقبة الذي يمتد ثلاثة أعوام، ولذلك سيساعد توفر مزيد من البيانات في تحديد ما إذا كانت الأنماط المشاهدة ستظل على حالها. وبالنظر إلى الخسائر الفادحة في الشعاب المرجانية نتيجة لابيضاضها، سيظل إجراء تحليلات إحصائية للبيانات الناتجة تحدياً بسبب قيود حجم العينة.





(سيغوين وآخرون، 2008)

**الموقع:**
بلحاف، اليمن.

**معلومات أساسية:**
كان من المقرر أن يؤدي بناء مصنع وخط أنابيب للغاز الطبيعي المسال إلى تضرر ثلاثة مواقع بها كثافة وتنوع كبيرين من الأسماك والشعاب المرجانية. وقد شملت تلك الآثار بناء أنابيب تبريد ورصيف ميناء، واستعمال كتل خرسانية لأغراض حماية الخط الساحلي وتصريف مياه البحر الدافئة عبر موقع للتصريف. اقتُرحت زراعة الشعاب المرجانية باعتبارها إجراءً للتخفيف من آثار أعمال البنية التحتية المقررة.

**الأهداف:**
إعادة توطين مجموعة فرعية (لم يبلغ عن حجمها) من المستعمرات المرجانية التي قد تتأثر بأعمال البناء في مواقع بديلة قريبة وآمنة.

**الطرق:**
حدد مسح الوضع الحالي تركيبة الأنواع المرجانية في المواقع المانحة. وقد وقع الاختيار على ثلاثة مواقع مانحة من أجل إجراء تدخلات الزرع بالنظر إلى قربها من المواقع المانحة وبقائها خارج منطقة الأثر المباشر، وعمق المياه المشابه ومعلّمات المياه المماثلة. وقد وقع الاختيار على مجموعة من المستعمرات المرجانية في منطقة الأثر مع إعطاء الأولوية للعينات الكبيرة النادرة السليمة وبطيئة النمو، ووصل إجمالي تلك المستعمرات إلى 1495 مستعمرة مرجانية. أزيلت المستعمرات الصغيرة باستخدام المطارق والأزاميل ووضعت في سلال بلاستيكية، وحُملت تلك السلال على القوارب ونُقلت إلى مواقع إعادة التوطين. كانت المياه تُرش في كثير من الأحيان على المستعمرات المرجانية للحدّ من الإجهاد السطحي. نُزعت المستعمرات المتوسطة وكبيرة الحجم بواسطة العتلات ورُتّبت في سلال فولاذية عائمة كبيرة، ثم شحبت وهي مغمورة بالمياه إلى وجهتها النهائية. وثُبتت 140 من شعاب بوريتس بوميس الضخمة في حفر باستعمال مسامير فولاذية ضمن بنية كربونات الكالسيوم الخاصة بها. وقد ثُبتت حقائب الرفع بالمسامير من أجل نقل الصخور المرجانية الكبيرة إلى المواقع المتلقية. وثُبتت المستعمرات في الطبقة السفلية باستعمال الأسمنت، وذلك باستثناء أنواع أكروبوا المتفرعة التي ثُبتت باستعمال الإيبوكسي.

**نطاق المشروع:**
لم يُبلغ عن النطاق المكاني للمشروع، وقد أجريت خمسة مسوحات للمراقبة على مدار 14 شهراً.

**المراقبة:**
شملت الدراسة عشرات المستعمرات المرجانية في موقع الاستعادة بهدف تحديد التغيّرات في بقاء تلك المستعمرات

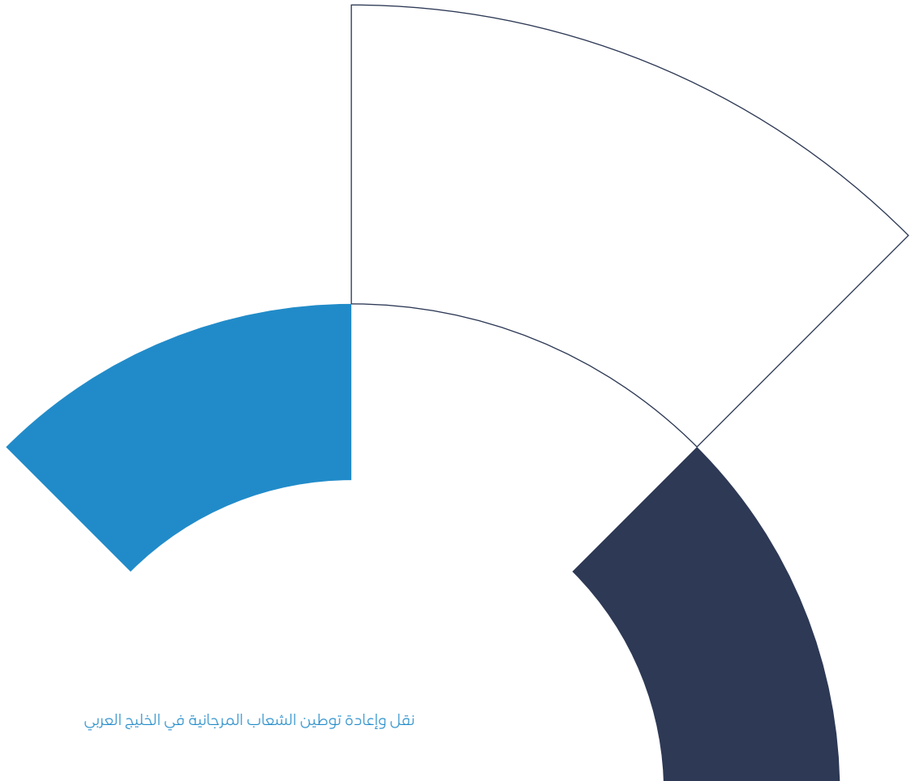
ونموهـا وصحتها (الإصابة بالأمراض).

**النتائج:**
بلغ إجمالي نسبة بقاء الشعاب المرجانية المعاد توطينها 91% عقب عام من التدخل، مع توفر أدلة غير مؤكدة بشأن نموها. وترجع وفيات الشعاب المرجانية إلى الرواسب وافتراسها من الأسماك والاضطرابات المادية التي تسبب بها الصيادون والمنافسة مع الإسفنجيات وأصداف البحر الغازية وزيادة تأثير الأمواج. ويبدو أن أشكال المرجان الضخمة تتحمل عملية الزرع بشكل أفضل من المرجان المتفرع.

**التكلفة:**
أقل من 1% من تكلفة أعمال البناء (لم يبلغ عن قيمتها).

**التحديات والدروس المستفادة:**
تسببت الأمواج الكبيرة التي أعقبت موسم الأمطار الموسمية مباشرة في تحطم وانفصال كمية كبيرة من زرعات الشعاب المرجانية (بما في ذلك التلال المرجانية الكبيرة)، كان يمكن تجنب تلك الحالات عن طريق الحدّ من أنشطة الزرع إلى حين انقضاء تلك الفترة الموسمية أو اختيار المواقع المتلقية الأقل عرضة للمخاطر. كما يبدو أن ظهور علامات الإجهاد على الشعاب المرجانية يفاقم من افتراسها من قبل الأسماك، ولذلك يوصي المؤلفون بعملية اختيار أكثر دقة عند جمع مواد الزرعات. وقد لوحظ وجود تسوس ونخر في الأنسجة المرجانية في الموقع الذي تظهر فيه مستويات أعلى من الترسيب. كما استنتج المؤلفون أن انتشار قواقع البحر على مستعمرات بوريتس مرتبط بزيادة معدلات الترسيب، وهو ما يسلط الضوء على ضرورة اختيار المواقع المتلقية الأكثر ملاءمة لعملية إعادة التوطين.

**الاعتبارات:**
زُرعت مجموعة فرعية فقط من المجتمعات المرجانية الأصلية، بينما أدت الأعمال البحرية في أغلب الأحوال إلى تدمير مناطق كبيرة من الشعاب المرجانية المزدهرة (لم يُبلغ عن الكثافة الأصلية للشعاب المرجانية). لا تتيح فترة المراقبة المحدودة والمجموعة الصغيرة للغاية من المستعمرات المرجانية الخاضعة للمراقبة إجراء تقييم محدد لنجاح المشروع، خاصة في مواقع الزرعات التي ترتفع فيها مستويات الرواسب والتعرّض للظروف الخارجية. ولم تجر دراسة للأسماك واللافقاريات باستثناء التقارير غير المؤكدة عن آكلات المرجان والأحياء المنافسة. كما أنه لا تتوفر مسوحات للوضع الحالي في المواقع المتلقية المقترحة على وجه الخصوص، وربما حالت تلك المواقع دون زرع المستعمرات المرجانية الضعيفة بسبب انتشار اللافقاريات الغازية فيها.





(ديب وآخرون، 2014)

**الموقع:**
شمال شرق قطر.

**معلومات أساسية:**
كان من المتوقع أن يؤثر مشروع غاز برزان على تجمعات الشعاب المرجانية الموجودة في المياه الضحلة في أثناء أعمال البناء، وذلك بسبب الإزالة المادية الناجمة عن أنشطة حفر الخنادق وزيادة معدلات الترسيب. ولذا، أعدّت شركة راس غاز المحدودة خطة لإدارة الشعاب المرجانية وإعادة توطينها ومراقبتها، شملت إعادة توطين الشعاب المرجانية المهددة في موقع ملائم، بهدف الحصول على تصريح بيئي من الدولة.

**الأهداف:**
تحديد أو بناء موقع مناسب لزرعات الشعاب المرجانية وإعادة توطين 4% من المستعمرات المرجانية المعرّضة للخطر.

**الطرق:**
أجري مسح بيئي أوّلي بهدف تقييم كثافة المرجان وحجمه وصحته وتركيبته على طول خط الأنابيب وتقييم مدى ملاءمة مجتمعات الشعاب المرجانية لتحمّل أعمال إعادة التوطين. كما فُحصت عينات من المواقع المانحة والمتلقية في ضوء مجموعة من المعايير البيئية، مثل درجة الحرارة ودرجة الحموضة والملوحة والتعكر والأكسجين المذاب وعمق المياه. وقيّمت المواقع المتلقية المحتملة بناءً على المعايير التالية: نوع الطبقات السفلية، والتضاريس الطبوغرافية، والكائنات المهيمنة، ووجود الشعاب المرجانية من عدمه، ونسبة الغطاء المرجاني ووجود القنافذ من عدمه. وبسبب عدم وجود مواقع طبيعية مناسبة لإعادة تثبيت المرجان، نُشرت الشعاب المرجانية الصناعية المكونة من 550 صخرة مستخرجة على طبقة سفلية رملية. كما وقع الاختيار على الموقع المتلقي بسبب قربه من الشعاب المرجانية السليمة وعمق المياه المناسب. كما جرى اختيار الشعاب المرجانية بسبب حجمها (أكبر من 10 سم) وسهولة إزالتها بالمطارق والأزاميل من الموقع المانح. نُقلت 1693 مستعمرة مرجانية من مسار خط الأنابيب إلى صخور الحجر الجيري وأعيد تثبيتها باستعمال مزيج من الأسمنت. وقد وقع الاختيار على مواقع طبيعية مجاورة للشعاب المرجانية، بعضها عميق والآخر ضحل، باعتبارها مواقع مرجعية لأغراض المقارنة بمرور الوقت.

**نطاق المشروع:**
يمتد المشروع على مساحة 720 متراً، حيث تُجرى مسوحات نصف سنوية في إطار برنامج مراقبة يمتد على مدار خمسة أعوام.

**المراقبة:**
وُضعت علامات على حوالي 10% من المستعمرات المعاد توطينها و25 من المستعمرات الطبيعية في كل موقع مرجعي، وذلك لأغراض مراقبتها. وكانت المقاييس التالية مشمولة في الدراسة التي أُجريت في إطار برنامج المراقبة: حالة تثبيت المستعمرات

المرجانية المزروعة، وصحة المستعمرات المعلّمة (الابيضاض وفقدان الأنسجة ونمو الطحالب)، واستعمار الأحياء القاعية، وتجمّع أسماك الشعاب المرجانية، وتراكم الرواسب، وكثافة قنافذ البحر والاتجاهات الحرارية (باستعمال أجهزة تسجيل في الموقع).

**النتائج:**
تراجعت صحة الشعاب المرجانية بمرور الوقت في موقع إعادة التثبيت كما ظهرت على أغلب المستعمرات (80%) علامات الإجهاد. تم تحديد النمو المفرط للطحالب باعتباره المصدر الرئيس لإصابة الشعاب المرجانية المعاد توطينها بالإجهاد. ولوحظت علامات مماثلة على تراجع صحة الشعاب المرجانية المتعقبة في المواقع المرجعية الطبيعية، وقد نُسبت إلى الظروف البيئية الطبيعية المتقلبة للغاية في الخليج العربي. وقد أورد المؤلفون في دراستهم شهادات غير مؤكدة عن استقدام الشعاب المرجانية في الموقع. وكانت كثافة القنافذ البحرية منخفضة في موقع إعادة التوطين بالمقارنة مع مستويات الكثافة التي أوردتها دراسات سابقة عن هذه المنطقة.

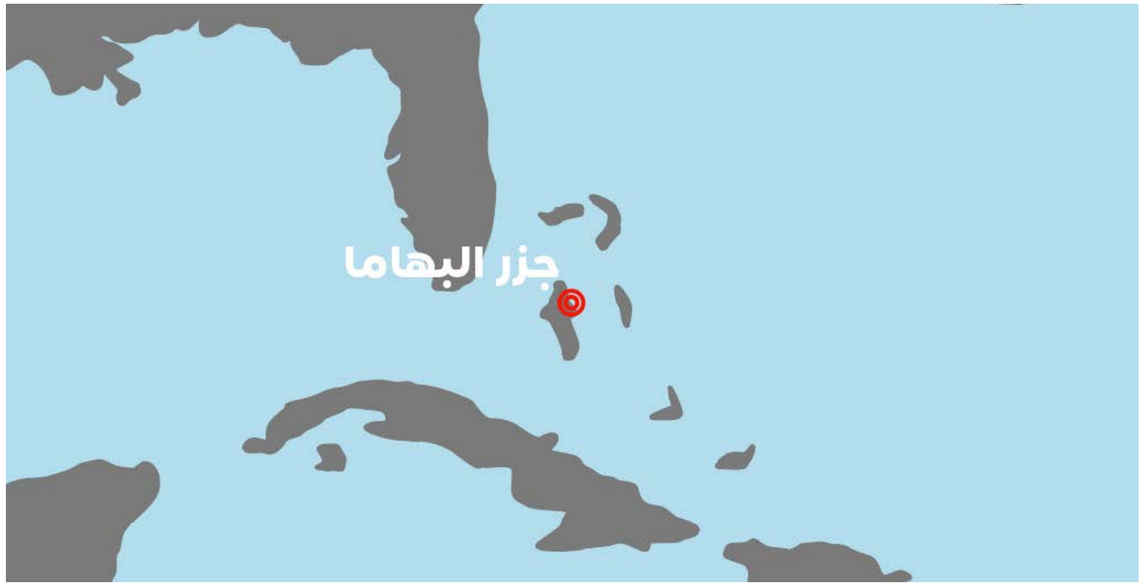
**التكلفة:**
غير معلنة.

**التحديات والدروس المستفادة:**
قد لا تكون الصخور الجيرية هي الطبقة السفلية الأكثر ملاءمة لإعادة توطين المرجان بسبب نقص المساحات البينية الصغيرة داخل قالب الصخرة، والتي ربما أدت إلى تراجع إجمالي تثبيت المستعمرة بشكل عام.

**الاعتبارات:**
بحسب الأرقام المسجلة، فُقدت أكثر من 38,000 مستعمرة مرجانية بسبب الأعمال البحرية الموصوفة في هذا الموقع، وهذا العدد أقل من المقياس المثالي المحدد في ضوء سياسة "تجنب الخسارة الصافية" التي يتعيّن استخدامها. تدهورت صحة مستعمرات الشعاب المرجانية المعاد توطينها بمرور الوقت. وربما كان التركيز على جهود الزرع في المناطق التي لم تكن فيها الطحالب هي الكائنات القاعية المهيمنة ليثمر عن نتائج أكثر تشجيعاً.



(تر هوفستيد وآخرون، 2016)




**الموقع:**
كورال هاربور، نيو بروفيدنس، جزر البهاما.

**معلومات أساسية:**
كان من المتوقع أن يؤدي حفر ممر مائي في كورال هاربور إلى تضرر العديد من أجزاء الشعاب المرجانية بسبب التدمير المادي وزيادة معدلات الترسيب والتعكر. وقد استدعت المتطلبات التعاقدية إعادة توطين هذه المستعمرات خارج نطاق الأثر المباشر.

**الأهداف:**
إعادة توطين جميع المستعمرات المرجانية الحيّة (أكبر من 10 سم، بما في ذلك الصخور المرجانية الكبيرة) واللافقاريات المرتبطة بها خارج منطقة الأثر.

**الطرق:**
وقع الاختيار على سبعة مواقع مانحة بالقرب من كورل هاربور وتعد تلك المواقع متماثلة في معالمها البيئية. وقد فُصلت 1523 مستعمرة مرجانية عن قاعدتها باستعمال المطارق والأزاميل. تراوح حجم الزرعات المرجانية بين 5 و61 سم. نُقلت المرجانيات النُّمانية والإسفنجيات وشقائق النعمان البحرية وشوكيات البحر إلى جانب المستعمرات المرجانية (لم يُبلغ عن حجم وفرتها). أعيد توطين المرجان الصخري باستعمال رافعة مثبتة على سفينة، في حين شُحبت المستعمرات الصغيرة المتبقية باستعمال حاوية مغمورة. أُعيد تثبيت المستعمرات المرجانية باستعمال الأسمنت وتم تمييزها بعلامات دائمة.

**نطاق المشروع:**
لم يُبلغ عن النطاق المكاني للمشروع، علماً بأن فترة المراقبة تمتد 14 شهراً.

**المراقبة:**
أجريت مسوحات للأحياء القاعية قبل إعادة توطين الشعاب المرجانية من أجل تقييم التركيب العام للشعاب المرجانية (أي نسبة الغطاء المرجاني وما إلى ذلك) وشملت مقاييس المراقبة معدلات انفصال الشعاب المرجانية ومعدلات بقائها وحالتها الصحية (الابيضاض والأمراض وندبات الافتراس) وحجم جميع المستعمرات المعاد توطينها.

**النتائج:**
بلغ معدل بقاء المستعمرات المزروعة 91% من إجمالي المستعمرات بعد 14 شهراً. ومن بين المستعمرات المتبقية، كانت 82% منها في حالة صحية جيّدة، في حين ظهرت على مستعمرات أخرى حالات ابيضاض وندبات افتراس ووفيات جزئية للأنسجة. لم تكن النتائج المعبّرة عن معدلات النمو واضحة في هذه المرحلة. ولم يتم الإبلاغ عن التغييرات التي طالت مقاييس الأحياء القاعية في ضوء الوضع الحالي.

**التكلفة:**
غير معلنة.

**التحديات والدروس المستفادة:**
كانت الصحة الجيّدة إجمالاً للمستعمرات المانحة والمواقع السليمة المانحة من العوامل الرئيسة التي ساهمت في نجاح المشروع. وقد كانت المواقع المتلقية مشابهة في معاييرها البيئية للموقع المانح وكانت فيها نسبة الضغوط البشرية منخفضة. ويرجع ارتفاع معدلات بقاء الشعاب المرجانية بصورة جزئية إلى التوقيت الموسمي لأعمال إعادة التوطين، فقد أدت أعمال إعادة التوطين في فصل الشتاء إلى تقليل الإجهاد الناجم عن درجات الحرارة المرتفعة ومكّنت المستعمرات من التعافي قبل موسم الأعاصير. كما شملت عوامل النجاح الأخرى تراجع الإجهاد الناجم عن النقل بفضل استعمال حاويات إعادة التوطين المغمورة بالمياه والتصاق الشعاب المرجانية الجيّد بالطبقة السفلية الجديدة.

**الاعتبارات:**
كان النطاق الزمني للمراقبة محدوداً (14 شهراً)، ولذا لا يمكن تقييم نجاح المشروع على المدى الطويل. ولم يُبلغ عن معدلات بقاء اللافقاريات المعاد توطينها كما لم تُجر دراسة رسمية لتجمعات الأسماك والنظم البيئية المرتبطة بها.



(قطب، 2016)

**الموقع:**
خليج الديرة/متنزه العقبة البحري، العقبة، الأردن.

**معلومات أساسية:**
مثّلت خطط تطوير ميناء حديث في خليج الديرة تهديداً لمنطقة الشعاب المرجانية المتنوعة ومنطقة الغوص الشهيرة. ومن أجل تخفيف تلك الآثار الضارة على الشعاب المرجانية وتعويضها، وافقت سلطة منطقة العقبة الاقتصادية الخاصة على إعادة توطين المستعمرات المعرضة للخطر إلى مواقع ضعيفة بيئياً داخل متنزه العقبة البحري.

**الأهداف:**
الوقوف على مدى نجاح طريقة إعادة التوطين هذه كإجراء ملائم للتخفيف من أثر تطوير البنية التحتية الساحلية.

**الطرق:**
وقع الاختيار على المواقع المتلقية داخل متنزه العقبة البحري بسبب نسبة الغطاء المرجاني المنخفضة. استُخدم موقع مراقبة قريب لمقارنة معدلات النمو بين مستعمرات المرجان المزروعة والطبيعية. قدمت محطة العلوم البحرية في العقبة البيانات البيئية (درجة الحرارة ونطاق المد والجزر والتيارات ونسبة الملوحة). فُصلت حوالي 7 آلاف مستعمرة مرجانية من الديرة باستعمال المطارق والأزاميل ووُضعت في أقفاص عائمة. سُحبت الأقفاص المغمورة بالمياه باستعمال مراكب إلى المواقع المتلقية في متنزه العقبة البحري. وقع الاختيار على مستعمرات من أنواع مختلفة تمتاز بمظهرها الصحيّ لزراعتها ومُنحت عناية خاصة من أجل تجنب إتلاف الأنسجة الحية. كانت المستعمرات مثبّتة في طبقات سفلية صلبة باستعمال الأسمنت البحري.

**نطاق المشروع:**
لم يُبلغ عن النطاق المكاني للمشروع، علماً بأن دراسة المراقبة تمتد عامين وتشمل إجراء مسوحات نصف سنوية.

**المراقبة:**
تمت دراسة معدلات نمو وبقاء المستعمرات المزروعة على مدار عامين. كما تمت دراسة عينة فرعية من 1096 مستعمرة مرجانية في ضوء مقاييس البقاء، في حين وقع الاختيار على عينة فرعية من 160 مستعمرة لدراسة معدلات نموها مع مقارنتها بعدد 48 مستعمرة مرجانية طبيعية متعقبة في موقع ضبط قريب.

**النتائج:**
أفاد الباحثون بوصول معدل البقاء الإجمالي إلى 87%، وأن المستعمرات الضخمة أظهرت معدلات بقاء أعلى من المستعمرات المتفرعة. كانت معدلات النمو لكل نوع مماثلة لنظيرتها في موقع إعادة التوطين وفي الموقع الضابط.

**التكلفة:**
غير معلنة.

**التحديات والدروس المستفادة:**
يرجع ارتفاع معدلات بقاء ونمو الشعاب المرجانية إلى إظهار المواقع المتلقية معايير بيئية مشابهة للمواقع المانحة، إضافة إلى قلة الإجهاد الناجم عن النقل والمعالجة وحالة الصحة الإجمالية للزرعات المختارة. يوصي الباحثون بإنشاء منطقة حضانة داخل المستعمرات المانحة لتوليد شعاب مرجانية جديدة وتحسين مخرجات الاستعادة (وذلك على الرغم من إشارة باحثين آخرين إلى أن حاضنات الشعاب المرجانية تزيد من التكاليف والجهود المطلوبة دون أن تثمر عن فوائد إضافية فيما يخص تثبيت الشعاب المرجانية بشكل مباشر في المواقع المتلقية[114]).

**الاعتبارات:**
لم يقدّم وصف لإجمالي عدد الشعاب المرجانية المفقودة بسبب أعمال التطوير، كما لم تُجر دراسة أساسية للموقع المانح وكذلك للمواقع المتلقية قبل إعادة التوطين. كما لم تُجر أي دراسة للمقارنة بين ثراء الأنواع المرجانية في مواقع الزرع مقارنة بالموقع الضابط، ولم تُقيّم تجمعات الأسماك واللافقاريات.



(رودجرز وآخرون، 2017)

هاواي

**الموقع:**
خليج كانيوه، جزيرة موكو أو لو، هاواي.

**معلومات أساسية:**
كان من المقرر تدمير العديد من المستعمرات المرجانية الناضجة (لم يبلغ عن عددها) بهدف إزالة حطام السفن في قناة الملاحة.

**الأهداف:**
إعادة توطين الرؤوس المرجانية الكبيرة في موقع شعاب مرجانية قريب يمتاز بطبيعته الرملية المجرّفة.

**الطرق:**
وقع الاختيار على الموقع المتلقي بسبب قربه من النفق المتأثر وعمقه المناسب ونسبة الغطاء المرجاني المنخفضة. فُصلت الشعاب المرجانية التي تعرقل المشروع باستعمال عتلة وسحبت مغمورة بالماء إلى الموقع المتلقي. وأولي اهتمام خاص باستبعاد المستعمرات التي تعاني من نمو مفرط للطحالب الغازية. لم تتوفر بيانات عن طريقة تثبيت الشعاب المرجانية بالطبقة السفلية الرملية المكشوفة.

**نطاق المشروع:**
بلغ النطاق المكاني لموقع إعادة التوطين حوالي 200 متر مربع، كما امتدت فترة المراقبة 11 عاماً مع جمع البيانات عبر ثلاثة أعوام منفصلة من الدراسات المسحية.

**المراقبة:**
تم دراسة الغطاء المرجاني وتوزيع الأنواع في كل من المواقع المانحة والمتلقية قبل إعادة التوطين، مع الاهتمام بشكل خاص بالأنواع الغازية للإسفنج والطحالب. كما تم تقدير أعداد الأسماك، بما في ذلك الوفرة والكتلة الأحيائية وثراء الأنواع في موقع إعادة التوطين بعد زرع الشعاب المرجانية.

**النتائج:**
زيادة كبيرة للتعقيد المكاني وكتلة الأسماك ووفرتها وثراء الأنواع في موقع إعادة التوطين، وقد تألف تجمّع الأسماك بشكل أساسي من الأسماك العاشبة. كما أوضحت النتائج تعافي الموقع المانح بصورة طبيعية من أنشطة النقل.

**التكلفة:**
غير معلنة.

**التحديات والدروس المستفادة:**
ثبت أن استخدام مستعمرات مرجانية كبيرة وناضجة جنسياً في أنشطة إعادة التوطين يعزز من نجاح المشروع. كما يوصى بشدة بإعطاء عناية خاصة لجهود الحدّ من انتشار الطحالب الغازية في المستقبل. ثبت أن الزيادات السريعة في درجة حرارة المياه تقلل من الغطاء المرجاني بسرعة.

**الاعتبارات:**
أثمر استعمال المستعمرات الضخمة عن الحدّ من الآثار السلبية للرواسب، ومع ذلك فلا يوصى عادةً بنقل المستعمرات المرجانية إلى الطبقات السفلية الرملية أو الرخوة، ذلك أن الرواسب الدقيقة قد تثبط استعمار المرجان الطبيعي للمنطقة.

# 9
# شكر وتقدير

قدمـت مجموعـة موانئ أبوظبي التمويل الأساسـي لإعداد هذه الوثيقة، ونشـكر لهم دعمهم الكريـم. كما حصل جون بيرت على دعم جزئـي مـن مركز تفاعل الشـبكات الحضرية ومركز مبادلة لأبحاث منـاخ وبيئة الخليج العربي والمناخ في جامعـة نيويورك أبوظبي، بتمويل مـن شـركة "تمكين" في إطار جائزتي معهد أبحـاث جامعة نيويورك أبوظبي CG001 وCG009



# 10
# المراجع

1. Moberg, F. and C. Folke, Ecological goods and services of coral reef ecosystems. Ecological Economics, 1999. **29**(2): p. 215-233.

2. Costanza, R., et al., The value of the world›s ecosystem services and natural capital. Nature, 1997. **387**(6630): p. 253-260.

3. de Groot, R., et al., Global estimates of the value of ecosystems and their services in monetary units. Ecosystem Services, 2012. **1**(1): p. 50-61.

4. Hoegh-Guldberg, O., et al., Coral Reef Ecosystems under Climate Change and Ocean Acidification. Frontiers in Marine Science, 2017. **4**(158): p. .

5. Fisher, R., et al., Species Richness on Coral Reefs and the Pursuit of Convergent Global Estimates. Current Biology, 2015. **25**(4): p. 500-505.

6. Hatcher, B.G., Coral reef primary productivity: A beggar›s banquet. Trends in Ecology & Evolution, 1988. **3**(5): p. 106-111.

7. Veron, J., Corals of the world. 2000, Townsville: Australian Institute of Marine Science.

8. Pratchett, M.S., et al., Spatial, temporal and taxonomic variation in coral growth—implications for the structure and function of coral reef ecosystems. Oceanography and Marine Biology: An Annual Review, 2015. **53**: p. 215-295.

9. Baird, A.H., J.R. Guest, and B.L. Willis, Systematic and Biogeographical Patterns in the Reproductive Biology of Scleractinian Corals. Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics, 2009. **40**(1): p. 551-571.

10. Harrison, P. and C. Wallace, Reproduction, dispersal and recruitment of scleractinian corals, in Coral Reefs, Ecosystems of the World, Z. Dubinsky, Editor. 1990, Elsevier Science: Amsterdam, NL.

11. Sebens, K. and K. DeRiemer, Diel cycles of expansion and contraction in coral reef anthozoans. Marine Biology, 1977. **43**(3): p. 247-256.

12. Oakley, C.A. and S.K. Davy, Cell Biology of Coral Bleaching, in Coral Bleaching: Patterns, Processes, Causes and Consequences, M.J.H. van Oppen and J.M. Lough, Editors. 2018, Springer International Publishing: Cham. p. 189-211.

13. Muscatine, L. and J.W. Porter, Reef Corals: Mutualistic Symbioses Adapted to Nutrient-Poor Environments. BioScience, 1977. **27**(7): p. 454-460.

14. Houlbrèque, F. and C. Ferrier-Pagès, Heterotrophy in Tropical Scleractinian Corals. Biological Reviews, 2009. **84**(1): p. 1-17.

15. Winters, G., et al., Photographic assessment of coral chlorophyll contents: Implications for ecophysiological studies and coral monitoring. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 2009. **380**(1): p. 25-35.

16. Dullo, W.-C., Coral growth and reef growth: a brief review. Facies, 2005. 51(1): p. 33-48.

17. Spalding, M., E. Green, and C. Ravilious, World atlas of coral reefs. 2001, Berkley: University of California Press. 416.

18. UNEP-WCMC, Global distribution of warm-water coral reefs, Version 4.1, in Millennium Coral Reef Mapping Project. 2021, UN Environment Programme World Conservation Monitoring Centre: Cambridge, UK.

19. Veron, J.E.N., et al. Corals of the World: Coral Stucture and Growth (Fig. 1 by Geoff Kelly). 2022 27/10/2022]; Available from: http://www.coralsoftheworld.org/page/structure-and-growth/.

20. Pandolfi, J.M., et al., Global trajectories of the long-term decline of coral reef ecosystems. Science, 2003. **301**(5635): p. 955-958.

21. Hoegh-Guldberg, O., et al., Coral reefs under rapid

32. Buchanan, J.R., et al., Living on the edge: Vulnerability of coral-dependent fishes in the Gulf. Marine Pollution Bulletin, 2016. **105**(2): p. 480-488.

33. Grandcourt, E.M., et al., The abundance, status and bio-economic production potential of coral reef fisheries resources in Abu Dhabi (technical report for project 02-20-0002-11 & 02-21-0006-11). 2011, Abu Dhabi, UAE: Environment Agency – Abu Dhabi.

34. van Lavieren, H., et al., Managing the growing impacts of development on fragile coastal and marine systems: Lessons from the Gulf. 2011, A Policy Report, United Nations University - Institute for Water, Environment, and Health. Hamilton, ON, Canada.

35. Burt, J., H. van Lavieren, and D. Feary, Persian Gulf reefs: an important asset for climate science in urgent need of protection. Ocean Challenge, 2014. **20**: p. 49-56.

36. Coles, S., Coral species diversity and environmental factors in the Arabian Gulf and the Gulf of Oman: a comparison to the Indo-Pacific region. Atoll Research Bulletin, 2003. **507**: p. 1-19.

37. de Verneil, A., et al., Summer oxygen dynamics on a southern Arabian Gulf coral reef. Frontiers in Marine Science, 2021. **8**(1676): p. 1676.

38. Bouwmeester, J., et al., Coral and Reef Fish Communities in the Thermally Extreme Persian/ Arabian Gulf: Insights into Potential Climate Change Effects, in Perspectives on the Marine Animal Forests of the World, S. Rossi and L. Bramanti, Editors. 2021, Springer International Publishing: Cham. p. 63-86.

39. Price, A., Studies on the echinoderm fauna of the western Arabian Gulf. Journal of Natural History, 1981. **15**: p. 1-15.

40. Riegl, B.M., et al., Present limits to heat-adaptability in corals and population-level responses to climate extremes. PLoS One, 2011. **6**(9): p. e24802.

41. Smith, E.G., et al., Signatures of selection underpinning rapid coral adaptation to the world›s warmest reefs. Science Advances, 2022. 8(2): p. eabl7287.

climate change and ocean acidification. Science, 2007. **318**: p. 1737–1742.

22. Glynn, P.W., Coral reef bleaching: facts, hypotheses and implications. Global Change Biology, 1996. **2**(6): p. 495-509.

23. Brown, B.E., Coral bleaching: causes and consequences. Coral Reefs, 1997. **16**(1): p. S129-S138.

24. Hughes, T., et al., Phase shifts, herbivory, and the resilience of coral reefs to climate change. Current Biology, 2007. **17**(4): p. 360-365.

25. Souter, D., et al., Executive summary, in Status of Coral Reefs of the World: 2020, P.S. Souter D, Wicquart J, Logan M, Obura D, Staub F, Editor. 2021, Global Coral Reef Monitoring Network & United Nations Environment Programme: Lausanne, Swizerland. p. 14-19.

26. Carpenter, K.E., et al., One-third of reef-building corals face elevated extinction risk from climate change and local impacts. Science, 2008. **321**(5888): p. 560-563.

27. Zimmer, B., Coral reef restoration: an overview, in Coral reef restoration handbook, W.F. Precht, Editor. 2006, CRC Press: Boca Raton, Florida. p. 39-59.

28. Burt, J., et al., Are artificial reefs surrogates of natural habitats for corals and fish in Dubai, United Arab Emirates? Coral Reefs, 2009. **28**(3): p. 663-675.

29. Vaughan, G.O., N. Al-Mansoori, and J. Burt, The Arabian Gulf, in World Seas: An Environmental Evaluation, second edition, C. Sheppard, Editor. 2019, Elsevier Science: Amsterdam, NL. p. 1-23.

30. Riegl, B. and S. Purkis, Coral reefs of the Gulf: adaptation to climatic extremes. Coral Reefs of the World. Vol. 3. 2012, Amsterdam, Netherlands: Springer Science+Business Media B. V. 379.

31. Grandcourt, E., Reef fish and fisheries in the Gulf, in Coral Reefs of the Gulf: Adaptation to climatic extremes, B.M. Riegl and S. Purkis, Editors. 2012, Springer Netherlands. p. 127-161.





Reefs of the World: 2020, D. Souter, et al., Editors. 2021, Global Coral Reef Monitoring Network & United Nations Environment Programme: Lausanne, Swizerland. p. 1-13.

53. Riegl, B., Effects of the 1996 and 1998 positive sea-surface temperature anomalies on corals, coral diseases and fish in the Arabian Gulf (Dubai, UAE). Marine Biology, 2002. **140**: p. 29-40.

54. Burt, J., et al., Causes and consequences of the 2017 coral bleaching event in the southern Persian/ Arabian Gulf. Coral Reefs, 2019. **38**(4): p. 567-589.

55. Paparella, F., et al., Coral Bleaching in the Persian/ Arabian Gulf Is Modulated by Summer Winds. Frontiers in Marine Science, 2019. **6**(205): p. 1-15.

56. Sheppard, C., et al., Environmental concerns for the future of Gulf coral reefs, in Coral reefs of the Gulf: adaptation to climatic extremes, B.M. Riegl and S. Purkis, Editors. 2012, Springer Science+Business Media B. V. p. 349-373.

57. Burt, J., The environmental costs of coastal urbanization in the Arabian Gulf. City: analysis of urban trends, culture, theory, policy, action, 2014. **18**(6): p. 760-770.

58. Burt, J.A. and A. Bartholomew, Towards more sustainable coastal development in the Arabian Gulf: Opportunities for ecological engineering in an urbanized seascape. Marine Pollution Bulletin, 2019. **142**: p. 93-102.

59. Burt, J., A. Bartholomew, and P. Usseglio, Recovery of corals a decade after bleaching in Dubai, United Arab Emirates. Marine Biology, 2008. **154**(1): p. 27-36.

60. Erftemeijer, P.L.A., et al., Environmental impacts of dredging and other sediment disturbances on corals: A review. Marine Pollution Bulletin, 2012. **64**(9): p. 1737-1765.

61. Sale, P.F., et al., The growing need for sustainable ecological management of marine communities of the Persian Gulf. Ambio, 2011. **40**(1): p. 4-17.

62. Sheppard, C., Coral reefs in the Gulf are mostly

42. Howells, E.J., et al., Host adaptation and unexpected symbiont partners enable reef-building corals to tolerate extreme temperatures. Global Change Biology, 2016. **22**(8): p. 2702-2714.

43. Burt, J., et al., Insights from extreme coral reefs in a changing world. Coral Reefs, 2020. **39**(3): p. 495-507.

44. Vaughan, G.O. and J.A. Burt, The changing dynamics of coral reef science in Arabia. Marine Pollution Bulletin, 2016. **105**(2): p. 441-458

45. Howells, E.J., et al., Enhancing the heat tolerance of reef-building corals to future warming. Science Advances, 2021. **7**(34): p. eabg6070.

46. Howells, E.J., et al., Challenges of sperm cryopreservation in transferring heat adaptation of corals across ocean basins. PeerJ, 2022. **10**: p. e13395.

47. Coles, S.L. and B.M. Riegl, Thermal tolerances of reef corals in the Gulf: A review of the potential for increasing coral survival and adaptation to climate change through assisted translocation. Marine Pollution Bulletin, 2013. **72**(2): p. 232-332.

48. Bouwmeester, J., et al., Spatial patterns of reef fishes and corals in the thermally extreme waters of Qatar. Frontiers in Marine Science, 2022. **9**.

49. Bauman, A., et al., Multiple environmental factors influence the spatial distribution and structure of reef communities in the northeastern Arabian Peninsula. Marine Pollution Bulletin, 2012. 72(2): p. 302-312.

50. Burt, J., S. Al-Harthi, and A. Al-Cibahy, Long-term impacts of bleaching events on the world's warmest reefs. Marine Environmental Research, 2011. **72**(4): p. 225-229.

51. Riegl, B., et al., Population collapse dynamics in Acropora downingi, an Arabian/Persian Gulf ecosystem-engineering coral, linked to rising temperature. Global Change Biology, 2018. **24**: p. 2447–2462.

52. Burt, J., et al., Chapter 4. Status and trends of coral reefs of the ROPME Sea Area, in Status of Coral

Environmental Research, 2020: p. 105095.

72. Burt, J.A., et al., Improving management of future coastal development in Qatar through ecosystem-based management approaches. Ocean & Coastal Management, 2017. **148**: p. 171-181.

73. O'Higgins, T.G., M. Lago, and T.H. DeWitt, Ecosystem-based management, ecosystem services and aquatic biodiversity: Theory, tools and applications. 2020: Springer Nature.

74. Virtanen, E.A., A. Moilanen, and M. Viitasalo, Marine connectivity in spatial conservation planning: analogues from the terrestrial realm. Landscape Ecology, 2020. **35**(5): p. 1021-1034.

75. Jones, K.R., et al., Spatial analysis to inform the mitigation hierarchy. Conservation Science and Practice, 2022. **4**(6): p. e12686.

76. Ekstrom, J., L. Bennun, and R. Mitchell, A cross-sector guide for implementing the Mitigation Hierarchy. Cross Sector Biodiversity Initiative, Cambridge, 2015.

77. Phalan, B., et al., Avoiding impacts on biodiversity through strengthening the first stage of the mitigation hierarchy. Oryx, 2018. **52**(2): p. 316-324.

78. Brownlie, S. and J. Treweek, The mitigation hierarchy and beyond, in Sustainability assessment: applications and opportunities, R. Gibson, Editor. 2016, Routledge: Oxfordshire, UK. p. 225-246.

79. Swangjang, K. and S. Cumkhett, 16 - Mitigation hierarchy; an effectiveness of project control mechanism, in Handbook of Advanced Approaches Towards Pollution Prevention and Control, R.O.A. Rahman and C.M. Hussain, Editors. 2021, Elsevier. p. 325-342.

80. Rodgers, K.u.S., et al., Effectiveness of coral relocation as a mitigation strategy in Kāne'ohe Bay, Hawai'i. PeerJ, 2017. **5**: p. e3346.

81. Kotb, M.M., Coral translocation and farming as mitigation and conservation measures for coastal development in the Red Sea: Aqaba case study, Jordan. Environmental Earth Sciences, 2016. **75**(5): p. 1-8.

dead now, but can we do anything about it? Marine Pollution Bulletin, 2016. **105**(2): p. 593-598.

63. Fanning, L.M., et al., Applying the ecosystem services - EBM framework to sustainably manage Qatar›s coral reefs and seagrass beds. Ocean & Coastal Management, 2021. **205**: p. 1-16.

64. Mateos-Molina, D., et al., Synthesis and evaluation of coastal and marine biodiversity spatial information in the United Arab Emirates for ecosystem-based management. Marine Pollution Bulletin, 2021. **167**: p. 112319.

65. Al-Azri, N.S., et al., Comparative evaluation of EIA systems in the Gulf Cooperation Council States. Impact Assessment and Project Appraisal, 2014. **32**(2): p. 136-149.

66. Van Lavieren, H. and R. Klaus, An effective regional Marine Protected Area network for the ROPME Sea Area: Unrealistic vision or realistic possibility? Marine Pollution Bulletin, 2013. **32**(2): p. 389-405.

67. Naser, H.A., The role of environmental impact assessment in protecting coastal and marine environments in rapidly developing islands: The case of Bahrain, Arabian Gulf. Ocean & Coastal Management, 2015. **104**: p. 159-169.

68. Ben-Romdhane, H., et al., Coral Reefs of Abu Dhabi, United Arab Emirates: Analysis of Management Approaches in Light of International Best Practices and a Changing Climate. Frontiers in Marine Science, 2020. **7**(541).

69. ADUPC, Plan Maritime 2030–Abu Dhabi Coastal and Marine Framework Plan–Charette 1 Proceedings Book–Existing Conditions, Constraints and Opportunities. Abu Dhabi Urban Planning Council (ADUPC), 2014.

70. Butler, J.D., et al., A benthic habitat sensitivity analysis of Qatar›s coastal zone. Marine Pollution Bulletin, 2021. **167**: p. 112333.

71. Mateos-Molina, D., et al., Applying an integrated approach to coastal marine habitat mapping in the north-western United Arab Emirates. Marine

crisis. Nature, 2004. **429**(6994): p. 827-833.

94. Shantz, A.A., et al., Fish-derived nutrient hotspots shape coral reef benthic communities. Ecol Appl, 2015. **25**(8): p. 2142-52.

95. Shaver, E.C. and B.R. Silliman, Time to cash in on positive interactions for coral restoration. PeerJ, 2017. **5**: p. e3499.

96. Glynn, P.W. and I.C. Enochs, Invertebrates and Their Roles in Coral Reef Ecosystems, in Coral Reefs: An Ecosystem in Transition, Z. Dubinsky and N. Stambler, Editors. 2011, Springer Netherlands: Dordrecht. p. 273-325.

97. Stier, A.C., et al., Guard crabs alleviate deleterious effects of vermetid snails on a branching coral. Coral Reefs, 2010. **29**(4): p. 1019-1022.

98. Stewart, H.L., et al., Determinants of the onset and strength of mutualistic interactions between branching corals and associate crabs. Marine Ecology Progress Series, 2013. **493**: p. 155-163.

99. Stachowicz, J.J. and M.E. Hay, Mutualism and Coral Persistence: The Role of Herbivore Resistance to Algal Chemical Defense. Ecology, 1999. **80**(6): p. 2085-2101.

100. Ladd, M.C. and A.A. Shantz, Trophic interactions in coral reef restoration: A review. Food Webs, 2020. 24: p. e00149.

101. Frias-Torres, S. and C. van de Geer, Testing animal-assisted cleaning prior to transplantation in coral reef restoration. PeerJ, 2015. 3: p. e1287.

102. Kaufman, L.S., If you build it, will they come? Toward a concrete basis for coral reef gardening, in Coral reef restoration handbook, W.F. Precht, Editor. 2006, CRC Press: Boca Raton, Florida. p. 119-142.

103. Seraphim, M.J., et al., Interactions between coral restoration and fish assemblages: implications for reef management. J Fish Biol, 2020. 97(3): p. 633-655.

104. Boström-Einarsson, L., et al., Coral restoration – A systematic review of current methods, successes,

82. Gomez, E., R. Dizon, and A. Edwards, Methods of coral transplantation. Reef Rehabilitation, 2010: p. 99.

83. ter Hofstede, R., et al. Monitoring and evaluation of coral transplantation to mitigate the impact of dredging works. in Proceedings of the 13th International Coral Reef Symposium, Honolulu, HA. 2016.

84. Yu, S., et al., Towards a biodiversity offsetting approach for coastal land reclamation: Coastal management implications. Biological Conservation, 2017. **214**: p. 35-45.

85. Niner, H.J., et al., A global snapshot of marine biodiversity offsetting policy. Marine Policy, 2017. **81**: p. 368-374.

86. Gibbons, P., et al., A Loss-Gain Calculator for Biodiversity Offsets and the Circumstances in Which No Net Loss Is Feasible. Conservation Letters, 2016. **9**(4): p. 252-259.

87. Maron, M., et al., Faustian bargains? Restoration realities in the context of biodiversity offset policies. Biological Conservation, 2012. **155**: p. 141-148.

88. Bull, J.W., et al., Biodiversity offsets in theory and practice. Oryx, 2013. **47**(3): p. 369-380.

89. Curran, M., S. Hellweg, and J. Beck, Is there any empirical support for biodiversity offset policy? Ecological Applications, 2014. **24**(4): p. 617-632.

90. Jacob, C., et al., Marine ecosystem restoration and biodiversity offset. Ecological Engineering, 2018. **120**: p. 585-594.

91. Jokiel, P. and S. Coles, Response of Hawaiian and other Indo-Pacific reef corals to elevated temperature. Coral Reefs, 1990. **8**: p. 155-162.

92. Jokiel, P., et al., Review of coral reef restoration and mitigation in Hawaii and the U.S.-Affiliated Pacific Islands, in Coral reef restoration handbook: the rehabilitation of an ecosystem under siege, W. Precht, Editor. 2006, CRC Press: Boca Raton, FL. p. 271-290.

93. Bellwood, D.R., et al., Confronting the coral reef

for Restoring Endangered Corals. Ecological Restoration, 2019. **37**(2): p. 81-89.

115. Suggett, D.J., et al., Coralclip®: a low-cost solution for rapid and targeted out-planting of coral at scale. Restoration Ecology, 2020. **28**(2): p. 289-296.

116. Deb, K., A. McCarthy, and B. Harkanson. Coral Relocation as Habitat Mitigation for Impacts From the Barzan Gas Project Pipeline Construction, Offshore Qatar. in SPE International Conference on Health, Safety, and Environment. 2014. Society of Petroleum Engineers.

117. Okubo, N., T. Motokawa, and M. Omori, When fragmented coral spawn? Effect of size and timing on survivorship and fecundity of fragmentation in Acropora formosa. Marine Biology, 2007. **151**(1): p. 353-363.

118. Shutler, S.K., et al., Compensatory restoration: how much is enough? Legal, economic, and ecological considerations, in Coral reef restoration handbook, W.F. Precht, Editor. 2006, CRC Press: Boca Raton, Florida. p. 77-94.

119. Casey, J.M., S.R. Connolly, and T.D. Ainsworth, Coral transplantation triggers shift in microbiome and promotion of coral disease associated potential pathogens. Scientific Reports, 2015. **5**(1): p. 11903.

120. Hein, M., et al., Coral Reef Restoration as a strategy to improve ecosystem services - A guide to coral restoration methods. Nairobi, Kenya: United Nations Environment Programme, 2020.

121. Edwards, A.J., Reef rehabilitation manual. 2010, St Lucia, Australia: Coral Reef Targeted Research & Capacity Building for Management Program. 166.

122. Gayle, P.M.H., P. Wilson-Kelly, and S. Green, Transplantation of benthic species to mitigate impacts of coastal development in Jamaica. Revista De Biologia Tropical, 2005. **53**(Suppl. 1): p. 105-115.

123. Takeda, S., et al., Mitigation of coral ecosystem service-related social issues: evidence from a coastal development project in a developing country. Impact Assessment and Project Appraisal, 2021. **39**(1): p. 36-50.

124. Nanajkar, M., K. De, and B. Ingole, Coral reef restoration - A way forward to offset the coastal development impacts on Indian coral reefs. Marine Pollution Bulletin, 2019. **149**: p. 110504.

125. Goergen, E.A., et al., Coral reef restoration monitoring guide: Methods to evaluate restoration success from local to ecosystem scales. 2020.

126. Precht, W.F., Coral reef restoration handbook. 2006: CRC press.

127. Miller, M.W. and A.M. Szmant, Lessons learned from experimental key-species restoration, in Coral reef restoration handbook, W.F. Precht, Editor. 2006, CRC Press: Boca Raton, Florida. p. 219.

128. Edwards, A.J. and E.D. Gomez, Reef restoration concepts and guidelines: making sensible management choices in the face of uncertainty. 2007, St. Lucia: Capacity Building for Management Programme/Coral Reef Targeted Research. 38.

129. Hein, M.Y., et al., Perspectives on the use of coral reef restoration as a strategy to support and improve reef ecosystem services. Frontiers in Marine Science, 2021. **8**(299).

130. Precht, W.F. and M. Robbart, Coral reef restoration: the rehabilitation of an ecosystem under siege, in Coral reef restoration handbook, W.F. Precht, Editor. 2006, CRC Press: Boca Raton, Florida. p. 1-24.

131. Shaver, E.C., et al., A Manager's Guide to Coral Reef Restoration Planning and Design. 2020: NOAA Technical Memorandum CRCP 36. 1-128.

132. Doran, G.T., There's a S.M.A.R.T. way to write management's goals and objectives. Management review, 1981. **70**(11): p. 35-36.

133. Wapnick, C. and A. McCarthy, Monitoring the efficacy of reef restoration projects: where are we and where do we need to go?, in Coral reef restoration handbook, W.F. Precht, Editor. 2006, CRC Press: Boca Raton, Florida. p. 339.

134. Vaughan, G. and J. Burt, Seasonal variation in reef fish communities in the environmentally extreme southern Arabian Gulf, in European Coral Reef Symposium. 2017, International Society for Reef Studies: Oxford University, UK.

135. Coles, S. and A. Tarr, Reef fish assemblages in the western Arabian Gulf: A geographically isolated population in an extreme environment. Bulletin of Marine Science, 1990. **47**(3): p. 696-720.

136. Burt, J., et al., The influence of wave exposure on coral community development on man-made breakwater reefs, with a comparison to a natural reef. Bulletin of Marine Science, 2010. **86**(4): p. 839-859.

137. Biggs, B.C., Harnessing Natural Recovery Processes to Improve Restoration Outcomes: An Experimental Assessment of Sponge-Mediated Coral Reef Restoration. PLOS ONE, 2013. **8**(6): p. e64945.

138. Fox, H.E., et al., Recovery in rubble fields: long-term impacts of blast fishing. Marine Pollution Bulletin, 2003. **46**(8): p. 1024-1031.

139. Venera-Ponton, D., et al., Macroalgae reduce growth of juvenile corals but protect them from parrotfish damage. Marine Ecology Progress Series, 2011. 421: p. 109-115.

140. Bonaldo, R.M. and M.E. Hay, Seaweed-Coral Interactions: Variance in Seaweed Allelopathy, Coral Susceptibility, and Potential Effects on Coral Resilience. PLOS ONE, 2014. 9(1): p. e85786.

141. Tanner, J.E., Competition between scleractinian corals and macroalgae: An experimental investigation of coral growth, survival and reproduction. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 1995. **190**(2): p. 151-168.

142. Morley, D.M., et al., Environmental enhancement gone awry: characterization of an artificial reef constructed from waste vehicle tires. Environmental Problems in Coastal Regions, 2008. **7**: p. 73-87.

143. Sherman, R.L. and R.E. Spieler, Tires: Unstable materials for artificial reef construction. Transactions on Ecology and the Environment, 2006. **88**: p. 215-223.

105. Bayraktarov, E., et al., Motivations, success, and cost of coral reef restoration. Restoration Ecology, 2019. 27(5): p. 981-991.

106. Bayraktarov, E., et al., The cost and feasibility of marine coastal restoration. Ecological Applications, 2016. 26(4): p. 1055-1074.

107. Seguin, F., et al. Large coral transplantation in Bal Haf (Yemen): an opportunity to save corals during the construction of a Liquefied Natural Gas plant using innovative techniques. in Proceedings of the 11th International Coral Reef Symposium. 2008. Ft. Lauderdale, Florida.

108. Symons, L.C., A. Stratton, and W. Goodwin, Streamlined injury assessment and restoration planning in the US National Marine Sanctuaries, in Coral reef restoration handbook, W.F. Precht, Editor. 2006, CRC Press: Boca Raton, Florida. p. 167-192.

109. Gittings, S.R., The recovery process in a mechanically damaged coral reef community. 1988, Texas A&M University: Ann Arbor. p. 245.

110. Clark, S. and A.J. Edwards, Coral transplantation as an aid to reef rehabilitation: evaluation of a case study in the Maldive Islands. Coral Reefs, 1995. **14**(4): p. 201-213.

111. Edwards, A. and S. Clark, Coral transplantation: a useful management tool or misguided meddling? Marine Pollution Bulletin, 1998. **37**(8-12): p. 474-487.

112. Garrison, V.H. and G. Ward, Transplantation of storm-generated coral fragments to enhance Caribbean coral reefs: A successful method but not a solution. Revista de Biologia Tropical, 2012. **60**: p. 59-70.

113. Goergen, E.A. and D.S. Gilliam, Outplanting technique, host genotype, and site affect the initial success of outplanted Acropora cervicornis. PeerJ, 2018. **6**: p. e4433.

114. Forrester, G.E., et al., Comparing the Efficiency of Nursery and Direct Transplanting Methods failures and future directions. PLOS ONE, 2020. 15(1): p. e0226631.

144. Bohnsack, J.A. and D.L. Sutherland, Artificial Reef Research: A Review with Recommendations for Future Priorities. Bulletin of Marine Science, 1985. 37(1): p. 11-39.

145. Tallman, J., Aesthetic components of ecological restoration, in Coral reef restoration handbook, W.F. Precht, Editor. 2006, CRC Press: Boca Raton, Florida. p. 193.

146. Burt, J., et al., Coral recruitment and early benthic community development on several materials used in the construction of artificial reefs and breakwaters. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 2009. **373**: p. 72-78.

147. Williams, S.L., et al., Large-scale coral reef rehabilitation after blast fishing in Indonesia. Restoration ecology, 2019. **27**(2): p. 447-456.

148. Crawford, A., et al., Architecture for coral restoration: Using clay-based digital fabrication to overcome bottlenecks to coral larval propagation, in Structures and Architecture A Viable Urban Perspective? 2022, CRC Press. p. 458-466.

149. Burt, J., A. Bartholomew, and D. Feary, Man-made structures as artificial reefs in the Gulf, in Coral reefs of the Gulf: adaptation to climatic extremes, B. Riegl and S. Purkis, Editors. 2012, Springer Science+Business Media B. V. p. 171-186.

150. Feary, D., J. Burt, and A. Bartholomew, Artificial marine habitats in the Arabian Gulf: review of current use, benefits and management implications. Ocean & Coastal Management, 2011. **54**: p. 742-749.

151. Bartholomew, A., J.A. Burt, and L.B. Firth, Artificial reefs in the Arabian Gulf: Benefits, challenges and recommendations for policy-makers. Regional Studies in Marine Science, 2022(102723): p. 1-23

152. Burt, J., A. Bartholomew, and L. Firth, Policy and management considerations for artificial reefs in the Arabian Gulf. Sheikh Saud bin Saqr Al Qasimi Foundation for Policy Research, Policy Paper 51, 2021: p. 1-31.

153. Bonito, V.B., A coral gardener's guide to implementing ecologically-relevant coral restoration strategies. Reef Explorer Technical report. 2021.

154. Riegl, B. and G. Branch, Effects of sediment on the energy budgets of four scleractinian (Bourne 1900) and five alcyonacean (Lamouroux 1816) corals. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 1995. **186**(2): p. 259-275.

155. Shaver, E.C., et al., Effects of predation and nutrient enrichment on the success and microbiome of a foundational coral. Ecology, 2017. **98**(3): p. 830-839.

156. Ceccarelli, D.M., et al., Rehabilitation of coral reefs through removal of macroalgae: state of knowledge and considerations for management and implementation. Restoration Ecology, 2018. **26**(5): p. 827-838.

157. Frias-Torres, S., et al., Reef fishes recruited at midwater coral nurseries consume biofouling and reduce cleaning time in Seychelles, Indian Ocean. African Journal of Marine Science, 2015. **37**(3): p. 421-426.

158. Cano, I., et al., Effects of herbivory by the urchin Diadema antillarum on early restoration success of the coral Acropora cervicornis in the central Caribbean. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 2021. **539**: p. 151541.

159. Stewart, H.L., et al., Symbiotic crabs maintain coral health by clearing sediments. Coral Reefs, 2006. **25**(4): p. 609-615.

160. Rouzé, H., et al., Juvenile Trapezia spp. crabs can increase juvenile host coral survival by protection from predation. Marine Ecology Progress Series, 2014. **515**: p. 151-159.

161. Ladd, M.C., et al., Harnessing ecological processes to facilitate coral restoration. Frontiers in Ecology and the Environment, 2018. **16**(4): p. 239-247.

162. Green, R.H., Sampling design and statistical methods for environmental biologists. 1979: John Wiley & Sons.

163. Underwood, A.J., Beyond BACI - the detection of environmental impacts on populations in the real, but variable, world. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 1992. **161**(2): p. 145-178.

164. Underwood, A.J., On beyond BACI - sampling designs that might reliably detect environmental disturbances. Ecological Applications, 1994. **4**(1): p. 3-15.

165. Clements, C.S. and M.E. Hay, Biodiversity enhances coral growth, tissue survivorship and suppression of macroalgae. Nature ecology & evolution, 2019. **3**(2): p. 178-182.

166. Darling, E.S., et al., Evaluating life-history strategies of reef corals from species traits. Ecology Letters, 2012. **15**(12): p. 1378-1386.

167. Kerry, J. and D. Bellwood, The effect of coral morphology on shelter selection by coral reef fishes. Coral Reefs, 2012. **31**(2): p. 415-424.

168. Yap, H.T., et al., Physiological and ecological aspects of coral transplantation. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 1998. **229**(1): p. 69-84.

169. Shlesinger, T. and R. van Woesik, Different population trajectories of two reef-building corals with similar life-history traits. J Anim Ecol, 2021. **90**(5): p. 1379-1389.

170. Page, C.A., E.M. Muller, and D.E. Vaughan, Microfragmenting for the successful restoration of slow growing massive corals. Ecological Engineering, 2018. **123**: p. 86-94.

171. Schlecker, L., et al., Mechanisms and potential immune tradeoffs of accelerated coral growth induced by microfragmentation. PeerJ, 2022. **10**: p. e13158.

172. Koval, G., et al., Fish predation hinders the success of coral restoration efforts using fragmented massive corals. PeerJ, 2020. **8**: p. e9978.

173. Mostrales, T.P.I., R.N. Rollon, and W.Y. Licuanan, Evaluation of the performance and cost-effectiveness of coral microfragments in covering artificial habitats. Ecological Engineering, 2022. **184**: p. 106770.

174. ter Hofstede, R., Feeding ecology of the angelfish species Pomacanthus asfur and Pomacanthus maculosus, in Marine Biology. 1998, University of Groningen: Netherlands. p. 32.

175. Kenny, I., et al. Coral Relocation: A mitigation tool for dredging works in Jamaica. in International Coral Reef Symposium. 2012. Cairns, Australia: ICRS.

176. McKeon, C.S., et al., Multiple defender effects: synergistic coral defense by mutualist crustaceans. Oecologia, 2012. **169**(4): p. 1095-1103.

177. McKeon, C.S. and J.M. Moore, Species and size diversity in protective services offered by coral guard-crabs. PeerJ, 2014. **2**: p. e574.

178. McCarrick, E., Dubai coral moved. Time Out Dubai, 2009: p. https://www.timeoutdubai.com/things-to-do/things-to-do-features/9508-dubai-coral-moved.

179. Frewin, J., Dubai tourism gets boost from $10m coral reef relocation. BBC News, 2013. **Accessed at http://www.bbc.co.uk/news/business-24297821 on 20 Nov 2013.**

180. Li, K., Contract No. P12/2020 Environmental Monitoring Works for Lei Yue Mun Waterfront Enhancement Project Certification of Coral Translocation Plan (Version 5.0). 2021, Wellab Limited: Hong Kong. p. https://www.lymwep.com/images/data/Coral_Translocation_Plan_v5.0_certified_verified.pdf.

181. Buckee, J. and C. Blount, Long-term survival of large relocated Porites colonies at the Cocos (Keeling) Islands. Pacific Conservation Biology, 2022. **28**(5): p. 455-456.

182. Lennon, D. and J. Walch. RAPID RELOCATION OF NEARSHORE CORALS OUT OF A DREDGE ZONE SAUDI ARABIA. in International Conference on Artificial Reefs and Related Aquatic Habitats. 2009. Curitiba, Brazil.

183. Riegl, B., et al., Environmental constraints for reef building in the Gulf, in Coral reefs of the Gulf: adaptation to climatic extremes, B.M. Riegl and S.J. Purkis, Editors. 2012, Springer Science+Business Media B. V. p. 187-224.

184. Coles, S.L. and Y.H. Fadlallah, Reef coral survival and mortality at low-temperatures in the Arabian Gulf - new species-specific lower temperature limits. Coral Reefs, 1991. **9**(4): p. 231-237.

185. Shinn, E., Coral reef recovery in Florida and the Persian

solar ultraviolet radiation and oxidative stress in the zooxanthellate coral Acropora microphthalma. Marine Biology, 1995. **122**(1): p. 41-51.

197. Ben-Zvi, O., et al., Photophysiology of a mesophotic coral 3 years after transplantation to a shallow environment. Coral Reefs, 2020. **39**(4): p. 903-913

198. Riegl, B., Climate change and coral reefs: different effects in two high-latitude areas (Arabian Gulf, South Africa). Coral Reefs, 2003. **22**.

199. Griffin, J.N., et al., Density-dependent effects on initial growth of a branching coral under restoration. Restoration Ecology, 2015. **23**(3): p. 197-200

200. Ladd, M.C., et al., Density Dependence Drives Habitat Production and Survivorship of Acropora cervicornis Used for Restoration on a Caribbean Coral Reef. Frontiers in Marine Science, 2016. **3**.

201. Huntington, B.E., et al., Facilitation in Caribbean coral reefs: high densities of staghorn coral foster greater coral condition and reef fish composition. Oecologia, 2017. **184**(1): p. 247-257.

202. Omori, M., Coral restoration research and technical developments: what we have learned so far. Marine Biology Research, 2019. **15**(7): p. 377-409.

203. Bongiorni, L., et al., First step in the restoration of a highly degraded coral reef (Singapore) by in situ coral intensive farming. Aquaculture, 2011. **322-323**: p. 191-200.

204. Guzman, H.M., Restoration of Coral Reefs in Pacific Costa-Rica. Conservation Biology, 1991. 5(2): p. 189-195.

205. Howells, E., et al., Annual outbreaks of coral disease coincide with extreme seasonal warming. Coral Reefs, 2020. **39**(3): p. 771-781

206. Burt, J.A. Khalifa Port Coral Relocation Project: Year 1 Follow-up Monitoring Report. Report submitted to Abu Dhabi Ports, 12 Dec. 2021. 21pp.

Gulf. Environmental Geology, 1976. 1: p. 241-254.

186. Thoppil, P.G. and P.J. Hogan, Persian Gulf response to a wintertime shamal wind event. Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers, 2010. **57**(8): p. 946-955.

187. Apilanez, I., A. Gutierrez, and M. Diaz, Effect of surface materials on initial biofilm development. Bioresource Technology, 1998. **66**(3): p. 225-230.

188. Chan, B.K.K., W.K.S. Chan, and G. Walker, Patterns of biofilm succession on a sheltered rocky shore in Hong Kong. Biofouling, 2003. **19**(6): p. 371-380.

189. Stoodley, P., et al., Biofilms as complex differentiated communities. Annu. Rev. Microbiol., 2002. **56**: p. 187-209.

190. Burt, J., A. Bartholomew, and P. Sale, Benthic development on large-scale artificial reefs: a comparison of communities among breakwaters of different age and natural reefs. Ecological Engineering, 2011. **37**: p. 191-198.

191. Tagliafico, A., et al., A potential method for improving coral self-attachment. Restoration Ecology, 2018. **26**(6): p. 1082-1090.

192. Forrester, G.E., et al., Evaluating Methods for Transplanting Endangered Elkhorn Corals in the Virgin Islands. Restoration Ecology, 2011. 19(3): p. 299-306.

193. Einbinder, S., et al., Changes in morphology and diet of the coral Stylophora pistillata along a depth gradient. Marine Ecology Progress Series, 2009. **381**: p. 167-174.

194. Cohen, I. and Z. Dubinsky, Long term photoacclimation responses of the coral Stylophora pistillata to reciprocal deep to shallow transplantation: photosynthesis and calcification. Frontiers in Marine Science, 2015. **2**.

195. Iglesias-Prieto, R., et al., Different algal symbionts explain the vertical distribution of dominant reef corals in the eastern Pacific. Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences, 2004. **271**(1549): p. 1757-1763.

196. Shick, J.M., et al., Depth-dependent responses to

## للتواصل

adportsgroup.com

للمزيد من المعلومات، يرجى التواصل عبر البريد الإلكتروني innovation@adports.ae