

مشروع تحلية ونقل المياه العذبة - عمان (مشروع الناقل الوطني)

عنوان الوثيقة

الملحق المرحلي لتقييم الأثر البيئي والاجتماعي

إعداد	فريق البيئة والمجتمع والحوكمة (ESG)	المسمى الوظيفي:	أخصائيو البيئة والمجتمع (E&S) (Specialists)
التوقيع:		التاريخ:	
اعتماد:	مي ابو طربوش	المسمى الوظيفي:	مدير الحوكمة البيئية والاجتماعية (ESG Director)
التوقيع:		التاريخ:	
الرمز:	المراجعة:	0	التصنيف:
			ملحق

حالة المراجعة			
رقم المراجعة	الوصف	القسم الذي تم تعديله	التاريخ
0	الإصدار الأول	-	2026/10/13

جدول المحتويات

9	المختصرات
11	الملخص التنفيذي
15	1 مقدمة
17	2 وصف المشروع ووصف التغيير
17	2.1 مقدمة
17	2.2 تغيير نظام مأخذ مياه البحر
17	2.2.1 بحيرة السحب ومحطة ضخ المأخذ وفق تقييم الأثر البيئي والاجتماعي لعام 2025 المُفصّل عنه
18	2.2.2 مبررات تغيير نظام مأخذ مياه البحر
18	2.3 تغيير موقع مصبّ الرجيع الملحي وتصميمه
18	2.3.1 موقع المصبّ وتصميمه وفق تقييم الأثر البيئي والاجتماعي لعام 2025 المُفصّل عنه
19	2.3.2 مبررات تغيير موقع المصبّ وتصميمه
21	2.3.3 تحليل البدائل
25	2.4 خلاصة تطوير التصميم وتحليل البدائل
26	2.5 منهجية إنشاء المصبّ الجديد
26	2.5.1 لمحة عامة عن أعمال المصبّ البحري
27	2.5.2 المرافق المؤقتة والخدمات اللوجستية للميناء
28	2.5.3 التجريف ومناولة مواد التجريف
29	2.5.4 تركيب خط الأنابيب
34	2.5.5 الردم والحماية الصخرية والمنشآت الانتقالية
37	3 معلومات خط الأساس
37	3.1 القيود والخطوات التالية
38	3.2 نظام مأخذ مياه البحر
39	3.2.1 نتائج المسح
46	3.3 منطقة الإنشاء
46	3.3.1 نتائج المسح
51	3.4 المسح بالفيديو المُنزّل لمنطقة عمود انتشار الرجيع الملحي
51	3.4.1 نتائج المسح
57	4 الدراسة المكتبية للملحة
57	4.1 الخلفية
58	4.2 مقدمة

59	ملخص المراجعة	4.3
60	أبرز القيود	4.4
60	التوصيات	4.5
62	نتائج النمذجة والتقدير الكمي للأثر	5
62	مقدمة	5.1
64	نتائج النمذجة	5.2
64	5.2.1 الآثار التراكمية المحتملة لمصبّ مياه التبريد التابع لـ KEMPACO	
65	5.2.2 مدة النمذجة	
65	5.2.3 الآثار العابرة للحدود	
65	5.2.4 إعادة الدوران	
66	تقييم الأثر	6
66	6.1 منهجية التقدير الكمي للأثر	
68	6.2 نظام مأخذ مياه البحر	
71	6.3 الإنشاء	
73	6.4 التقدير الكمي لأثر عمود الانتشار وفق الحالة الواقعية لنمذجة Deltares	
77	6.5 الحديد	
78	6.6 ملخص التقدير الكمي للأثر	
79	6.7 تقييم نقل المرجان	
81	6.8 التقدير الكمي للتعويض	
81	6.8.1 نهج التقدير الكمي لتعويض المرجان	
81	6.8.2 الأثر المتبقي على المرجان – سحب المياه والإنشاء وعمود الانتشار عند 2%	
82	6.8.3 الأثر المتبقي على المرجان – سحب المياه والإنشاء وعمود الانتشار عند 5%	
82	6.8.4 الأعشاب البحرية (منطقة سحب المياه)	
82	6.8.5 مبادرات التعويض الأخرى	
83	6.9 الأثر المتبقي في سياق الامتداد الكلي للشعاب المرجانية في الأردن	
83	6.9.1 التقييم السياقي باستخدام أطلس ألين للمرجان (Allen Coral Atlas)	
84	6.9.2 التقييم السياقي باستخدام سجلات ترشيح محمية العقبة البحرية	
86	7 لمحة عامة عن نظام الإدارة البيئية والاجتماعية وخطة الإدارة التكيفية	
86	7.1 لمحة عامة عن نظام الإدارة البيئية والاجتماعية	
88	7.2 الإدارة التكيفية	
88	7.2.1 البنية	
88	7.2.2 المسح والدراسات الإضافية للتنوع الحيوي السابقة للإنشاء	

89	رصد التنوع الحيوي	7.2.3
90	ضمان أعمال الهندسة والتوريد والإنشاء	7.2.4
90	عتبات الرصد البيئي والتشغيلي	7.2.5
97	خريطة الطريق: الخطوات التالية	7.3
99	استراتيجية نقل المرجان والتعويض	8
99	مقدمة	8.1
100	البيئة التنظيمية	8.2
100	الإطار التنظيمي وإطار الموافقات	8.2.1
101	الحوكمة والأدوار والمسؤوليات	8.2.2
101	اختيار خيارات التدخل	8.3
101	التدخلات الموصى بها	8.3.1
102	خطة التنفيذ	8.4
102	مناطق النقل	8.4.1
103	مناطق الاستزراع	8.4.2
106	الرصد	8.5
106	تحديد النجاح	8.5.1
108	اختيار التعويض	8.6
108	تحديد النهج المفضل	8.6.1
109	اختيار الموقع	8.6.2
118	الخطوات التالية	8.6.3
119	الخطوات التالية والانعكاسات على التصاريح	9
119	الخطوات التالية	9.1
119	الانعكاسات على التصاريح	9.2
120	المراجع	
122	المرفق 1: مراجعة قدرة المرجان على تحمل فرط الملوحة	
123	المرفق 2: نمذجة انتشار عمود الرجيع الملحي، وتحليل الحساسية، والمقارنة مع نمذجة ديناميكا الموانع الحسابية (CFD)	

قائمة الجداول

الجدول 1-2: مساحة الأثر على قاع البحر قبل التخفيف (تحديث تصميم المصبّ الوارد في تقييم الأثر البيئي والاجتماعي لعام 2025)	20
الجدول 2-2: مساحة الأثر على قاع البحر قبل التخفيف (البديل 1: المصبّ داخل الأخدود البحري)	22

الجدول 2-3: مساحة الأثر على قاع البحر قبل التخفيف (البديل 2: إنشاء المصبّ بالحفر النفقي الدقيق - 60 م)	24
الجدول 2-4: ملخص مساحات الأثر على قاع البحر قبل التخفيف	26
الجدول 3-1: ملخص المسوحات والدراسات البيئية الإضافية قبل الإنشاء	37
الجدول 4-1: تقييم عتبات تحمّل الملوحة والاستجابات لدى المجموعات التصنيفية الرئيسية للشعاب	61
الجدول 5-1: معاملات المصبّ المعتمدة في النمذجة	62
الجدول 6-1: زوايا الانحراف حسب نطاقات معدل التدفق عند المأخذ	69
الجدول 6-2: استجابة الأعشاب البحرية والمرجان لزوايا الانحراف	69
الجدول 6-3: التقدير الكمي للآثار الإنشائية والتشغيلية لبحيرة السحب الجديدة	71
الجدول 6-4: مقارنة بين الآثار التشغيلية الواردة في تقييم الأثر البيئي والاجتماعي لعام 2025 المُفصّل عنه والآثار التشغيلية لبحيرة المأخذ الجديدة	71
الجدول 6-5: التقدير الكمي للآثار الإنشائية	73
الجدول 6-6: جدول ملخص آثار عمود انتشار الرجيع الملحي، بما في ذلك عمود الانتشار عند ملوحة 2% و5%	76
الجدول 6-7: جدول ملخص الآثار، بما في ذلك عمود انتشار الملوحة عند 2% و5%	79
الجدول 6-8: ملخص مساحة نقل المرجان (عمود الانتشار عند 2%)	80
الجدول 6-9: ملخص مساحة نقل المرجان (عمود الانتشار عند 5%)	80
الجدول 6-10: متطلبات مساحة تعويض المرجان (م ²) لسحب المياه والإنشاء وعمود الانتشار عند 2%	82
الجدول 6-11: متطلبات مساحة تعويض المرجان (م ²) لسحب المياه والإنشاء وعمود الانتشار عند 5%	82
الجدول 7-1: المعالم الرئيسية للتنوع الحيوي	89
الجدول 7-2: بوابات الضمان في مرحلة التخطيط	90
الجدول 7-3: أمثلة على المؤشرات	91
الجدول 7-4: الملوثات المحتملة	92
الجدول 7-5: الأحداث المُحفّزة	93
الجدول 7-6: خيارات الاستجابة	94
الجدول 7-7: خريطة طريق الخطوات التالية	98
الجدول 8-1: الفروق الرئيسية بين النقل والاستزراع والأساس المنطقي لكلٍ منهما	100
الجدول 8-2: مقاييس الرصد	106
الجدول 8-3: افتراضات معدل البقاء في عمليات نقل المرجان ضمن الظروف البيئية الملائمة المعتادة	106
الجدول 8-4: افتراضات معدل البقاء في عمليات استزراع المرجان عند نقله إلى موقع مستقبل	107
الجدول 8-5: معدلات النجاح المفترضة لعمليات نقل المرجان واستزراعه بحسب شكل نمو المرجان	107

قائمة الأشكال

- الشكل 1-1: التغيير في موقع المأخذ والمصبب 15
- الشكل 1-2: مرافق المأخذ وفق تقييم الأثر البيئي والاجتماعي لعام 2025 المُفصَّح عنه 18
- الشكل 2-2: المصبب ومنطقة الإنشاء وفق تقييم الأثر البيئي والاجتماعي لعام 2025 المُفصَّح عنه 19
- الشكل 3-2: تحديث تصميم المصبب الوارد في تقييم الأثر البيئي والاجتماعي لعام 2025 المُفصَّح عنه مع عمود الانتشار بنسبة 2% 20
- الشكل 4-2: البديل 1: المصبب داخل الأخدود البحري مع عمود الانتشار بنسبة 2% 22
- الشكل 5-2: البديل 2: إنشاء المصبب بالحفر النفقي الدقيق (60 م) مع عمود الانتشار بنسبة 2% 24
- الشكل 6-2: ملخص تطوير التصميم وتحليل البدائل 25
- الشكل 7-2: المرافق المؤقتة 27
- الشكل 8-2: الخدمات اللوجستية البحرية في ميناء القوة البحرية الملكية 28
- الشكل 9-2: المنطقة المُجرَّفة 29
- الشكل 10-2: وضع فرشاة الحصى 30
- الشكل 11-2: تركيب الأنبوب الأول 31
- الشكل 12-2: تركيب الأنبوب المنحني 32
- الشكل 13-2: تركيب بقية خط الأنابيب 33
- الشكل 14-2: الحماية الصخرية والردم (المسافة الطولية 0-60) 34
- الشكل 15-2: تركيب العنصر الانتقالي مسبق الصب 35
- الشكل 16-2: الحماية الصخرية والردم (المسافة الطولية 60-110) 36
- الشكل 1-3: المقاطع المسحية في منطقة السحب عند المأخذ 39
- الشكل 2-3: رسم خرائط الموانئ في منطقة السحب عند المأخذ 40
- الشكل 3-3: صور توضّح فئة الموئل الرملي 41
- الشكل 4-3: صور توضّح فئة موئل الشعاب المرجانية البقعية والأعشاب البحرية الضحلة 43
- الشكل 5-3: صور توضّح فئة موئل الشعاب المرجانية الهامشية 45
- الشكل 6-3: محطات أخذ العينات بالمركبة المُشغَّلة عن بُعد (ROV)/الغواصين في مسح أيار 2026 46
- الشكل 7-3: خريطة الموانئ المُحدَّثة ومنطقة الإنشاء 47
- الشكل 8-3: صور توضّح فئة موئل الشعاب المختلطة (12-19 م) 48
- الشكل 9-3: صور توضّح فئة موئل الشعاب المختلطة (21-39 م) 49
- الشكل 10-3: صور توضّح فئة موئل الشعاب المرجانية الهامشية الضحلة (16-21 م) 50
- الشكل 11-3: مواقع المسح بالفيديو المُنزَّل 51
- الشكل 12-3: خرائط الموانئ في منطقة عمود انتشار الرجيع الملحي 53
- الشكل 13-3: صور توضّح فئة موئل الرمال (100-180 م) 54

- الشكل 3-14: صور توضّح فئة موئل الرمال/الرواسب العميقة والنتوءات الشعابية المعزولة (100-137 م) 55
- الشكل 3-15: صور توضّح فئة موئل الشعاب المختلطة والرواسب (71-102 م) 56
- الشكل 4-1: عرض عام لقيم الملوحة السائدة وعمود انتشار الرجيع الملحي وحدود تحمّل المرجان والأعشاب البحرية 59
- الشكل 5-1: مساحة عمود الرجيع الملحي التي تتجاوز فيها الملوحة الملوحة المحيطة بنسبة 5% 64
- الشكل 6-1: منطقة إنشاء المصبّ الجديد وبحيرة السحب 67
- الشكل 6-2: سرعات سحب المياه عند المأخذ 69
- الشكل 6-3: بحيرة السحب مع خريطة الموائل وحدود سرعة الانجراف إلى المأخذ <0.05 م/ث 70
- الشكل 4-4: منطقة إنشاء المصبّ الجديد 72
- الشكل 6-5: مساحة عمود انتشار الرجيع الملحي التي تتجاوز فيها الملوحة المستوى المحيط بنسبة 2% و5%، وخريطة الموائل 75
- الشكل 7-1: هيكل نظام الإدارة البيئية والاجتماعية (ESMS) 87
- الشكل 8-1: المنشأة السياحية في موقع الكورنيش 110
- الشكل 8-2: مساحة كبيرة من قاع البحر مغطاة بالكامل بالصخور الملقاة 110
- الشكل 8-3: مستعمرات مرجانية تنمو داخل الموقع، بما يدل على بيئة صحية داعمة لحياة المرجان 111
- الشكل 8-4: مجتمعات الأسماك التي تستوطن المنطقة الصخرية 111
- الشكل 8-5: مستعمرات مرجانية يافعة جديدة على أسطح الصخور سُجّلت خلال المعاينة 112
- الشكل 8-6: تراكيب شعابية ضخمة وسليمة ذات مستعمرات كبيرة الحجم تُشاهد في الموقع 112
- الشكل 8-7: قاع البحر الرملي ومروج الأعشاب البحرية الموجودة في الموقع 113
- الشكل 8-8: المرجان المستزرع في الموقع يبدو بحالة صحية جيدة بعد 9 أشهر من نقله 113
- الشكل 8-9: مستعمرات المرجان المستزرعة خلال كانون الثاني 2026 (على اليسار) والمستعمرات ذاتها خلال أيلول 2026 (على اليمين) 114
- الشكل 8-10: جدار كاسر الأمواج في موقع النادي الملكي لليخوت 115
- الشكل 8-11: القاع الرملي (في الأعلى) ومروج الأعشاب البحرية (في الأسفل) الموجودة في موئل قاع البحر بموقع النادي الملكي لليخوت (RYC) 116
- الشكل 8-12: استعمار الأسطح الصلبة بالمرجان وغيره من كائنات الشعاب 116
- الشكل 8-13: استعمار الأسطح الصلبة بالمرجان وغيره من كائنات الشعاب 116
- الشكل 8-14: وجود مستعمرات مرجانية يافعة جديدة يدل على بيئة صحية في الموقع 117

المختصرات

مشروع تحلية ونقل المياه من العقبة إلى عمان	AAWDPC
سلطة منطقة العقبة الاقتصادية الخاصة	ASEZA
تصميم قبل-بعد/مراقبة-أثر	BACI
خطة عمل التنوع الحيوي	BAP
شركة توليد الكهرباء المركزية	CEGCO
ديناميكا الموائع الحسابية	CFD
التنظيف الموضعي	CIP
المشرف العلمي على المرجان	CSS
المسح بالفيديو المنزل	DDV
بيئي واجتماعي	E&S
المعدات الحرجة بيئياً	ECE
الهندسة والتوريد والإنشاء	EPC
تقييم الأثر البيئي والاجتماعي	ESIA
نظام الإدارة البيئية والاجتماعية	ESMS
اختبار القبول في المصنع	FAT
وحدة التخزين العائمة وإعادة التغويز	FSRU
النظام العالمي لتحديد المواقع	GPS
دراسة تحديد المخاطر	HAZID
دراسة المخاطر وقابلية التشغيل	HAZOP
البولي إيثيلين عالي الكثافة	HDPE
الصحة والسلامة والبيئة	HSE
مؤسسة التمويل الدولية	IFC
محطة ضخ المأخذ	IPS

المنظمة الدولية للتقييس	ISO
مسابر الصدى متعدد الحزم	MBES
متوسط مستوى سطح البحر	MSL
محطة العلوم البحرية	MSS
وزارة المياه والري	MWI
شركة مشروع الناقل الوطني	NCPC
التشغيل والصيانة	O&M
مخطط الأنابيب والأجهزة	P&ID
التناضح العكسي	RO
مركبة تُشغَّل عن بُعد	ROV
النادي الملكي لليخوت	RYC
جهاز التنفس المستقل تحت الماء	SCUBA
شركة السمرا لتوليد الكهرباء	SEPCO
آلة حفر الأنفاق	TBM
مؤشر وعورة التضاريس	TRI
المواد الصلبة العالقة الكلية	TSS

المخلص التنفيذي

أعدّ هذا الملحق المرحلي لتقييم الأثر البيئي والاجتماعي بهدف تقدير الانعكاسات البيئية للتغييرات التي طرأت على نظام مأخذ مياه البحر وعلى تصميم المصبّ البحري في أعقاب الإفصاح عن تقييم الأثر البيئي والاجتماعي لعام 2025 الخاص بمشروع AAWDCP. ويعكس هذا التقييم استمرار تطوير تصميم المشروع، ويتضمن ما أنجز خلال عام 2026 من دراسات هندسية إضافية ومسوحات بيئية وأعمال نمذجة وأنشطة لإشراك أصحاب العلاقة وتقييمات لقابلية التنفيذ.

أسباب التغييرات في التصميم

جاء التغيير في نظام مأخذ مياه البحر نتيجةً للتأكد من إمكانية استخدام المشروع لبحيرة المأخذ ومحطة ضخ المأخذ القابليتين لشركتي CEGCO/SEPSCO. فقد أثبتت مسوحات حالة الأصول، والتواصل مع شركة SEPSCO، والتشاور مع السلطات الأردنية أن المرافق القائمة تشكل بديلاً مجدياً عن إنشاء بحيرة مأخذ ومحطة ضخ جديدتين. ونتيجةً لذلك، يمكن تجنب الاضطراب الذي يلحق بالموائل البحرية والمرتبطة بإنشاء نظام مأخذ جديد، مع الإبقاء على تدابير التخفيف التي سبق اقتراحها في تقييم الأثر البيئي والاجتماعي لعام 2025.

أما التغيير في المصبّ البحري فقد نتج عن المسوحات الباثيمترية التفصيلية، وتطوير التصميم الهندسي، ومراجعات قابلية التنفيذ التي أنجزت بعد الإفصاح عن تقييم الأثر البيئي والاجتماعي. وقد بيّنت هذه الدراسات أن تصميم المصبّ الذي جرى تقييمه في تقييم الأثر البيئي والاجتماعي لعام 2025 سيتطلب أعمال تجريف وحفر خنادق تفوق بدرجة كبيرة ما كان متوقعاً في الأصل، وسيزيد من الاضطراب في قاع البحر، وسيكون من الصعب تنفيذه باستخدام تدابير فعالة لاحتواء الرواسب، كما سيتطلب تقنيات تركيب متخصصة في المياه العميقة تتجاوز حدود الغوص المعتمدة في المشروع. وقد جرى تقييم حلول بديلة، من بينها الحفر النفقي الدقيق، إلا أنه تبين أنها تنطوي على تحديات كبيرة على الصعيد الفني وعلى صعيد الجدول الزمني والتنفيذ الإنشائي.

وبعد تقييم البدائل، وقع الاختيار على المصبّ عبر الأخدود البحري بوصفه الحل الوحيد المجدي من الناحية الفنية. إذ يعتمد المسار على أخدود طبيعي يتميز بنسبة أعلى من الرواسب اللينة ووفرة أقل من المرجان مقارنةً بموائل الشعاب المحيطة. كما يوفر الأخدود مساراً طبيعياً لانتقال الرجيع الملحي الكثيف المُصْرَف نحو المياه الأعمق، مما يقلل من تفاعله مع مناطق الشعاب الغنية بالمرجان.

فوائد البيانات والدراسات الإضافية

يستفيد هذا التقييم من قاعدة أدلة مُحسّنة بدرجة كبيرة مقارنةً بتلك التي كانت متاحة أثناء إعداد تقييم الأثر البيئي والاجتماعي لعام 2025. فمنذ الإفصاح، أنجز المشروع مسوحات إضافية باثيمترية وهيدروغرافية وجيوفيزيائية ومسوحات بالغوص؛ وأنشطة إضافية لإشراك أصحاب العلاقة؛ ودراسات هندسية مُحدّثة؛ وتحليلاً تفصيلياً للبدائل؛ ومسوحات إضافية للتنوع الحيوي البحري؛ ومراجعة مكتبية لقدرة المرجان والأعشاب البحرية على تحمّل الملوحة؛ ونمذجة مُحدّثة باستخدام CFD و Delft3D للتصميم المُعدّل للمصبّ.

وقد أسهمت هذه الدراسات الإضافية في تحسين فهم ظروف قاع البحر، وتوزّع الموائل، والغطاء المرجاني، ومتطلبات الإنشاء، وسلوك عمود الانتشار، والحساسية الأيكولوجية. كما أتاحت المسوحات المُحدّثة إدراج قيم الغطاء المرجاني وغطاء الأعشاب البحرية الخاصة بكل موئل في التقدير الكمي للأثر، لتحلّ محلّ عدد من الافتراضات التي استُخدمت في تقييم الأثر البيئي والاجتماعي لعام 2025. واستفادت النمذجة المُعدّلة كذلك من بيانات باثيمترية أعلى دقةً ومن تصميم هندسي أكثر تطوراً، مما يوفر ثقة أكبر في التنبؤات المتعلقة بسلوك عمود الانتشار والتعرّض البيئي.

ملخص الأثر المتبقي لإنشاء المصبّ وعمود انتشار الرجيع الملحي

على الرغم من أن التصميم المُعدّل للمصبّ ينتج عنه نطاق أثر إنشائي أكبر وعمود انتشار للرجيع الملحي أكبر وفق النمذجة مقارنةً بالتصميم الذي جرى تقييمه في تقييم الأثر البيئي والاجتماعي لعام 2025 المُفصّل عنه، فإن الآثار الأيكولوجية المتبقية أقل. إذ يضع مسار الأخدود جميع أنشطة الإنشاء ضمن أعماق يمكن للغواصين الوصول إليها، مما يتيح تطبيق نقل المرجان على كامل بصمة أعمال الإنشاء. ونتيجةً لذلك، ينخفض الأثر المتبقي الناجم عن الإنشاء من 207 م² إلى 176 م²، على الرغم من زيادة مساحة الإنشاء قبل التخفيف من 2,646 م² إلى 6,441 م².

ويُبين التقييم المُعدّل لعمود الانتشار أن الزيادة في امتداد عمود الانتشار لا تُترجم إلى زيادة متناسبة في الأثر الأيكولوجي. إذ تُظهر أعمال رسم خرائط الموائل الإضافية ومسوحات الغطاء المرجاني أن الجزء الأكبر من بصمة عمود الانتشار الموسّعة يقع ضمن الموائل الرملية العميقة والموائل التي تهيم عليها الرواسب، والتي لا تدعم إلا قدرأ ضئيلاً جداً من المرجان. ويقع ما يقارب 75% من عمود انتشار الملوحة بنسبة 2% وفق النمذجة فوق موائل رملية عميقة لا يتجاوز فيها متوسط الغطاء المرجاني 0.05%.

وبالتالي، وعلى الرغم من زيادة بصمة عمود انتشار الملوحة بنسبة 2% من 9,076 م² إلى 69,027 م²، فإن الأثر المتبقي لعمود الانتشار ينخفض من 1,362 م² إلى 396 م². ويؤدي تطبيق عتبة الملوحة البالغة 5%، التي تُعد أكثر تمثيلاً للحساسية الإيكولوجية ولمتطلبات الرصد، إلى خفض الأثر المتبقي لعمود الانتشار بدرجة أكبر ليبلغ 66 م². وبوجه عام، يستفيد التصميم المُعدّل للمصبّ من استغلال أخدود طبيعي يقلّل من التفاعل مع الموائل الغنية بالمرجان، ويتيح نقل المرجان بفعالية أثناء الإنشاء، ويوجّه عمود انتشار الرجيع الملحي بصورة رئيسية نحو موائل أعمق تتميز بوفرة متدنية جداً من المرجان. ومن المقرر تنفيذ أعمال مسح إضافية لمنطقة عمود الانتشار بهدف تحسين الدقة المكانية لخرائط الموائل.

ويشير تقييم الرجيع الملحي الناتج عن التحلية إلى أنه من المتوقع أن تنخفض تراكيز الحديد بفعل التخفيف إلى ما دون عتبة الفرز المتحفظة البالغة 0.05 ملغم/لتر ضمن مسافة 15-25 م تقريباً من الناشر، بحيث تُعد الآثار المتعلقة بسمية الحديد وبالإثراء بالمغذيات آثاراً ضئيلة لا تُذكر. كما تشير النمذجة إلى عدم وجود آثار عابرة للحدود ذات شأن، إذ تبقى الزيادات في الملوحة عند الحدود الدولية ضمن نطاق التباين الطبيعي للخلفية، ويُتوقع أن تكون تراكيز الحديد دون المستويات المحيطة عند الحدود بين الأردن والمملكة العربية السعودية. وبالتالي، لا يُتوقع أن ينجم عن الملوحة أو الحديد أي آثار بيئية عابرة للحدود قابلة للقياس.

ملخص الأثر المتبقي لنظام المأخذ

يُساهم الترتيب المُعدّل لمأخذ مياه البحر في خفض الآثار المتبقية بدرجة كبيرة مقارنةً بتلك التي جرى تقييمها في تقييم الأثر البيئي والاجتماعي لعام 2025 المُفصّل عنه، وذلك من خلال تجنّب إنشاء بحيرة مأخذ ومحطة ضخ مأخذ جديتين والاستفادة من المرافق القائمة. ونتيجةً لذلك، يُجنّب الاضطراب المباشر للموائل البحرية المرتبط بإنشاء المأخذ، مع الإبقاء على تدابير التخفيف التي سبق الالتزام بها في تقييم الأثر البيئي والاجتماعي لعام 2025، بما فيها الحاجز العائم للنفط وستارة الفقاعات ونظام إعادة الأسماك.

ويُقدّر الأثر المتبقي المرتبط بتشغيل نظام المأخذ بمساحة 500 م² (بما يشمل موائل المرجان والأعشاب البحرية)، مقارنةً بمساحة 21,447 م² في تقييم الأثر البيئي والاجتماعي لعام 2025 المُفصّل عنه. ويعكس هذا الانخفاض كلاً من تغيير موقع المأخذ واستخدام بيانات محدّثة لخرائط الموائل والغطاء المرجاني وغطاء الأعشاب البحرية جُمعت خلال عام 2026. ويُبيّن التقييم المُعدّل أن الجزء الأكبر من مساحة الأثر المُقدّرة كميّاً يقع ضمن موائل الرمال والشعاب المرجانية البقعية وموائل الأعشاب البحرية الضحلة، مع أثر متبقي ضئيل جداً فقط على المجتمعات المرجانية القائمة.

ويشير التقييم إلى أنه لا يُتوقع أن يُسفر تشغيل المأخذ عن آثار مباشرة جوهريّة على مستعمرات المرجان الراسخة. ويتعلّق الأثر المحتمل الرئيسي بتعديل حركة المياه واحتمال انحراف اليرقات وغيرها من المراحل الحياتية العوالقية عن مسارات انتقالها الطبيعية. وبالتالي، ستبقى مستعمرات المرجان القائمة في مواقعها ولن تكون هناك حاجة إلى نقل المرجان. وسيجري تنفيذ دراسات استقرار المرجان، ورصد الموائل القاعية، وتدابير الإدارة التكيفية للتحقق من تنبؤات التقييم والتأكد من الحفاظ على التجنيد (تجدد المستعمرات) والغطاء المرجاني وحالة الموائل خلال مرحلة التشغيل.

ملخص التغير في الأثر المتبقي

مقارنةً بتقييم الأثر البيئي والاجتماعي لعام 2025 المُفصّل عنه، يؤدي التصميم المُعدّل للمأخذ والمصبّ إلى خفض إجمالي الأثر المتبقي من 23,016 م² إلى 1,072 م² (بما يشمل موائل المرجان والأعشاب البحرية) عند التقييم باستخدام عمود انتشار الملوحة بنسبة 2%، وهو ما يمثل انخفاضاً بنسبة 95% تقريباً. ويعكس هذا التحسّن تجنّب إنشاء مأخذ جديد، وتطبيق نقل المرجان، وتحسين خرائط الموائل، وتوجيه عمود الانتشار بصورة رئيسية عبر موائل منخفضة المرجان تهيم عليها الرواسب. وفي حال تطبيق عتبة الملوحة البالغة 5%، ينخفض إجمالي الأثر المتبقي بدرجة أكبر ليصل إلى 742 م². ولا يمكن إجراء مقارنة مباشرة مع تقييم الأثر البيئي والاجتماعي لعام 2025 المُفصّل عنه بالنسبة لعمود الانتشار عند 5%، نظراً لأن ذلك التقييم اقتصر على التقدير الكمي للآثار باستخدام عتبة 2%.

الأثر المتبقي في سياق الامتداد الكلي للشعاب المرجانية في الأردن

جرى تقييم الآثار المتبقية لمشروع AAWDCP في سياق الموارد الوطنية للشعاب المرجانية في الأردن، وذلك باستخدام كلّ من مجموعة بيانات امتداد الشعاب الصادرة عن أطلس ألين للمرجان (Allen Coral Atlas) وسجلات ترشيح محمية العقبة البحرية. واستناداً إلى تقدير أطلس ألين للمرجان البالغ نحو 2.63 مليون م² من موائل الشعاب، يمثل الأثر المتبقي للمشروع على المرجان ما يقارب 0.02% من امتداد الشعاب في الأردن وفق سيناريو عمود الانتشار عند 2% (603 م²)، وما يقارب 0.01% وفق سيناريو عمود الانتشار عند 5% (273 م²). أما سجلات ترشيح محمية العقبة البحرية، التي تُقدّر مساحة موائل الشعاب المرجانية ضمن المياه الأردنية في خليج العقبة بنحو 4 ملايين م²، فتشير إلى نسب منخفضة مماثلة تبلغ نحو 0.015% و0.007% على التوالي. وعلى الرغم من أن فقداناً موضعياً لموائل المرجان سيحدث، فإن المساحة المتأثرة تمثل نسبة ضئيلة جداً من الموارد الوطنية للشعاب. وبالتالي، لا يُتوقع أن يُفسي الأثر المتبقي إلى انخفاض قابل للقياس في امتداد الشعاب أو الترابط الإيكولوجي أو انتشار اليرقات أو توافر موائل الحضانة أو أداء النظام البيئي لوظائفه، سواءً على مستوى الساحل الأردني أو على المستوى الأوسع لخليج العقبة.

نظام الإدارة البيئية والاجتماعية (ESMS) للمشروع والإدارة التكيفية

يوفر نظام الإدارة البيئية والاجتماعية (ESMS) وخطة الإدارة التكيفية الخاصان بمشروع AAWDCP الإطار الذي ستدار من خلاله المخاطر والآثار البيئية البحرية طوال المراحل الهندسية والإنشائية والتشغيلية للمشروع. وخلال مرحلتَي التصميم التفصيلي والتوريد، سيتحقق نظام الإدارة البيئية والاجتماعية من إدراج الالتزامات البيئية وتدابير التخفيف ومتطلبات الأداء في التصميم الهندسي ومواصفات التوريد وإجراءات إدارة المقاولين. ويشمل ذلك مراجعات التصميم، ودراستي HAZID و HAZOP، ومراجعات حزم الموردين، والتخطيط للتشغيل التجريبي، وإعداد سجل التحقق من التصميم للتأكد من قدرة الضوابط البيئية الحرجة وأنظمة الرصد على تحقيق النتائج البيئية المطلوبة.

وخلال مرحلة الإنشاء، سيجو نظام الإدارة البيئية والاجتماعية تنفيذ تدابير التخفيف المرتبطة بالأعمال البحرية، بما في ذلك نقل المرجان، وضبط الرواسب، وحماية جودة المياه، وإدارة التنوع الحيوي، والإشراف على المقاولين. وسيحدد النظام المسؤوليات ومتطلبات الرصد وإجراءات إعداد التقارير وعمليات الضمان، للتحقق من تنفيذ الالتزامات البيئية بفعالية ومن بقاء آثار الإنشاء متسقة مع تلك التي جرى تقييمها في هذا التقرير.

وخلال مرحلة التشغيل، ستطبق خطة الإدارة التكيفية نهج «خطّط - نفذ - تحقّق - صحّح» مدعوماً بالرصد البيئي والتشغيلي. ويجمع هذا الإطار بين نمذجة عمود الانتشار، ومسوحات التنوع الحيوي الإضافية، ودراسات تعرّض المرجان، ورصد استقرار المرجان، وتصميم للرصد يهدف إلى وضع عتبات قابلة للقياس للأداء البيئي. وستقارن نتائج الرصد بالعتبات المحددة مسبقاً لتحديد ما إذا كانت آثار المشروع تبقى ضمن المستويات المتوقعة. وفي حال كشف الرصد عن تغيّر غير متوقع أو عن تجاوز للعتبات، ستطبق عملية استجابة منظّمة تتدرّج من إجراء تعديلات تشغيلية وزيادة الرصد، وصولاً إلى إدخال تعديلات على التصميم، أو اتخاذ تدابير تعويض إضافية، أو الإيقاف الجزئي أو الكلي للمحطة إذا لزم الأمر. ويوفّر هذا النهج آلية لإدارة حالات عدم اليقين، والتحقق من تنبؤات التقييم، وضمان تحقيق أهداف التنوع الحيوي البحري طوال العمر التشغيلي للمشروع.

لمحة عامة عن نقل المرجان

يُعدّ نقل المرجان أحد تدابير التخفيف الرئيسية للحدّ من الآثار المتبقية المرتبطة بإنشاء المصبّ وتعرّض مناطق المياه الضحلة لعمود الانتشار. ويتضمن هذا النهج إزالة المرجان والكائنات البحرية المرتبطة به من المناطق المتأثرة بأنشطة الإنشاء وإعادة توطينها في مواقع مستقبلية ملائمة. واستناداً إلى التقييم الحالي، قد تكون مساحة تتراوح بين 10,300 م² و 12,200 م² تقريباً من موائل المياه الضحلة ملائمة للنقل، تبعاً لاعتماد سيناريو عمود الانتشار عند 5% أو عند 2%. ويفترض التقييم معدل بقاء للمرجان المنقول يبلغ 80% بوصفه الحالة الأساسية، بما يعكس التجارب السابقة لنقل المرجان في العقبة والظروف البيئية المحلية المواتية، كما يقيم سيناريو أكثر تحفظاً بمعدل بقاء يبلغ 60% لأخذ عدم اليقين في الحسبان.

التقدير الكمي الأولي للتعويض

يُبين التقدير الكمي الأولي للتعويض أن التنفيذ الناجح لبرنامج نقل المرجان المقترح يمكن أن يخفّض الآثار المتبقية بدرجة كبيرة، ومن ثمّ يخفّض حجم متطلبات تعويض التنوع الحيوي. وباستخدام الافتراض الأساسي للتقييم المتمثل في معدل بقاء للمرجان المنقول يبلغ 80%، يُقدّر الأثر المتبقي على المرجان بمساحة 603 م² وفق سيناريو عمود الانتشار عند 2%، و 273 م² وفق سيناريو عمود الانتشار عند 5%. وتترجم هذه الآثار المتبقية إلى متطلبات تعويض استرشادية تبلغ نحو 2,400 م² و 1,100 م² على التوالي، بافتراض أن موائل الاستعادة تدعم غطاءً مرجانياً بمتوسط 25%.

ولأخذ عدم اليقين المتعلق بأداء عملية النقل في الحسبان، جرى أيضاً تقييم سيناريو أكثر تحفظاً بمعدل بقاء يبلغ 60%. ووفق هذا السيناريو، يرتفع الأثر المتبقي على المرجان إلى 884 م² في سيناريو عمود الانتشار عند 2%، و 509 م² في سيناريو عمود الانتشار عند 5%، مما يرفع متطلبات التعويض الاسترشادية إلى نحو 3,500 م² و 2,000 م² على التوالي.

وتُظهر المقارنة أن نجاح عملية النقل عامل رئيسي يؤثر في متطلبات التعويض النهائية. فارتفاع معدلات بقاء المرجان المنقول يخفّض بدرجة كبيرة الأثر المتبقي الذي يستلزم إجراءات تعويض، في حين يُفضي سيناريو عمود الانتشار عند 5% باستمرار إلى آثار متبقية ومتطلبات تعويض أقل مقارنةً بسيناريو عمود الانتشار عند 2%. وعلى الرغم من أن هذه الحسابات أولية وسيجري تنقيحها من خلال خطة عمل التنوع الحيوي والمسوحات الإضافية ونهج محاسبي قائم على الهكتار المُرجّح بالجودة، فإنها توفّر مؤشراً أولياً على النطاق المحتمل لمتطلبات التعويض، وتدعم أنشطة التخطيط للتعويض واختيار المواقع الجارية حالياً.

وإلى جانب موائل الشعاب المرجانية، يُقرّ التقييم بأن الأعشاب البحرية تُعدّ مستقبلاً إيكولوجياً مهماً وتسهم في إجمالي الأثر المتبقي للمشروع على التنوع الحيوي. ويحدّد التقييم الحالي آثاراً متبقية على الأعشاب البحرية مرتبطة بسحب مياه البحر، وقد جرى التقدير الكمي لهذا الأثر المتبقي من خلال رسم خرائط خاصة بكل موئل وتقييمات للغطاء. وعليه، سيضع المشروع مبادرات مخصصة لاستعادة الأعشاب البحرية والتعويض عنها، إلى جانب تدابير التعويض الخاصة بالشعاب المرجانية، لمعالجة الآثار المتبقية التي تظل قائمة بعد تطبيق هرمية التخفيف. وسيجري تنقيح متطلبات التعويض النهائية مع توافر بيانات مسح إضافية وإعداد خطة عمل التنوع الحيوي، وقد تشمل استعادة موائل الأعشاب البحرية المتدهورة، وتعزيز المروج القائمة، وغيرها من إجراءات الحماية المصممة لتحقيق فوائد إيكولوجية طويلة الأمد.

التخطيط للتعويض

بدأ بالفعل التخطيط لكلٍ من نقل المرجان وتعويض التنوع الحيوي، ويشكل جزءاً لا يتجزأ من هرمية التخفيف الخاصة بالمشروع ومن خطة عمل التنوع الحيوي. وقد وضع المشروع إطاراً واضحاً يميز بين نقل المرجان، الذي سيستخدم كتدبير للتخفيف/التقليل بهدف إزالة المرجان المتأثر بأنشطة الإنشاء وصونه، واستزراع المرجان، الذي سيستخدم كتدبير تعويضي لتعويض الآثار المتبقية التي تظل قائمة بعد تطبيق تدابير التجنب والتقليل والاستعادة. وقد حدّد التقييم المناطق التي يكون فيها النقل والاستزراع ملائمين، ووضع المبادئ والمنهجيات ومتطلبات الرصد وترتيبات الحوكمة التي ستوجّه عملية التنفيذ.

وفي إطار عملية التخطيط هذه، جرى تحديد مواقع مستقبلية محتملة لأنشطة النقل والتعويض على حدٍ سواء، وتقييمها من خلال معايير ميدانية نُفِذت بمشاركة أصحاب العلاقة المحليين. وقد جرى حتى الآن تقييم ثلاثة مواقع مرشحة، هي: موقع الكورنيش، وموقع النادي الملكي لليخوت (RYC)، وموقع بيرنيس. وأكدت التقييمات وجود ركيزة صلبة ملائمة، ودلائل على التجنيد الطبيعي للمرجان (تجدد المستعمرات)، ونمو مرجاني قائم، وظروف بيئية قادرة على دعم المرجان المستزراع.

وتتجاوز القدرة الاستيعابية المتاحة ضمن هذه المواقع المرشحة المتطلبات التي حددها المشروع حتى الآن. إذ يُقدَّر أن يوفر موقع الكورنيش مساحة استعادة ملائمة تتراوح بين 8,000 و 10,000 م² تقريباً، وموقع RYC نحو 15,000 م²، وموقع بيرنيس مساحة إضافية تتراوح بين 3,000 و 5,000 م². ومجمعةً، توفر هذه المواقع قدرة استيعابية تفوق بكثير متطلبات النقل المقدّرة بمساحة 12,217 م² والمحدّدة لمناطق الإنشاء والمناطق المتأثرة بعمود الانتشار. ويؤكد ذلك توافر مساحة كافية لا لاستيعاب أنشطة النقل فحسب، بل أيضاً لدعم تدابير الاستزراع واستعادة الموائل اللازمة لتعويض الآثار المتبقية. وعليه، يُبيّن التقييم الحالي أن المشروع قد شرع في التخطيط العملي لتنفيذ النقل والتعويض، وحدّد مواقع مستقبلية ملائمة ذات قدرة استيعابية كافية لتلبية الاحتياجات المتوقعة للمشروع في مجال إدارة التنوع الحيوي.

الخطوات التالية

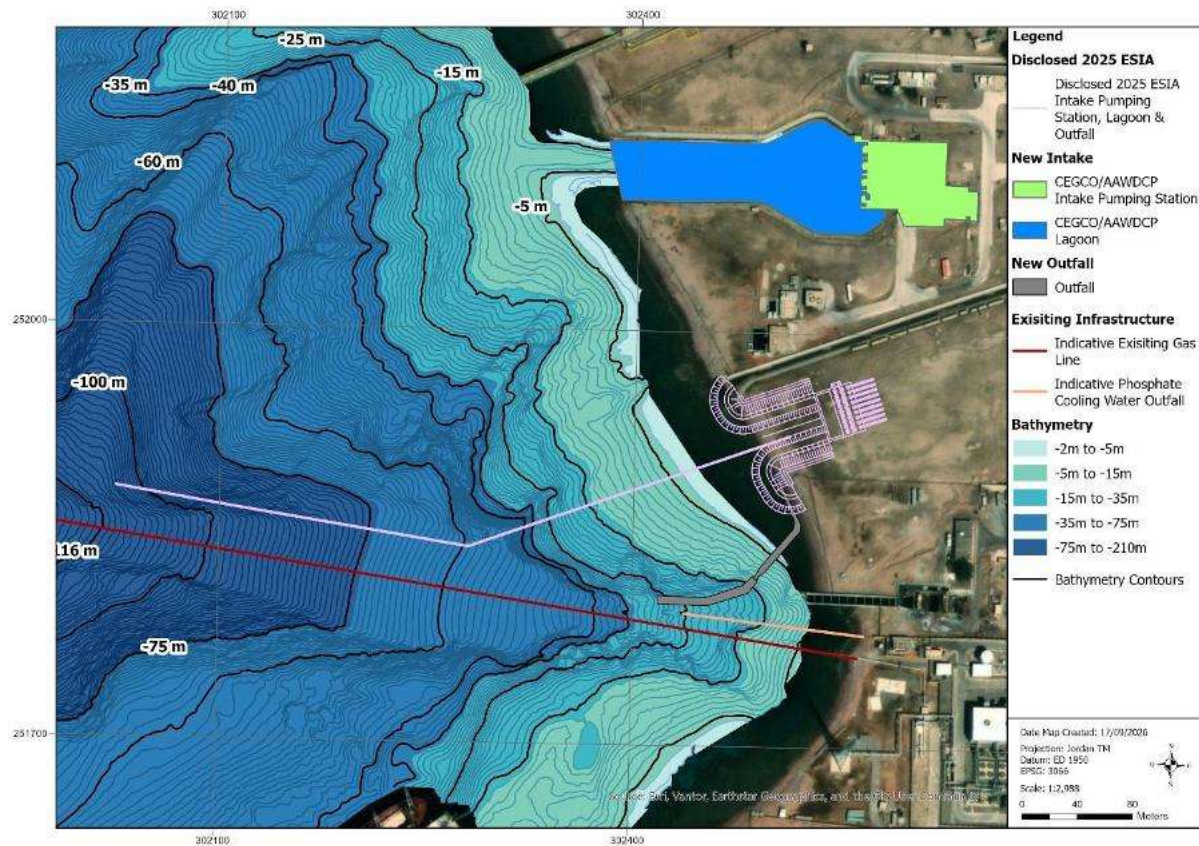
ستركّز المرحلة التالية من البرنامج البحري لمشروع AAWDCP على الحدّ من عدم اليقين، وتعزيز قاعدة الأدلة المتعلقة بالتنوع الحيوي، والتحقق من الافتراضات التي يستند إليها هذا الملحق المرحلي لتقييم الأثر البيئي والاجتماعي. وتشمل الأنشطة ذات الأولوية استكمال المسح الإضافي بمركبة ROV لمنطقة عمود انتشار الرجيع الملحي، وأخذ عينات الرواسب وجودة المياه، والدراسات المخبرية لتعرّض المرجان، ورصد استقرار المرجان. وستُسهّم هذه الدراسات في تنقيح خرائط الموائل، وتحسين فهم قدرة المرجان على تحمل الملوحة والحديد، وتوفير المعلومات اللازمة لاعتماد الصيغة النهائية لاعتبات الرصد وتدابير الإدارة التكيفية.

وبالتوازي مع ذلك، سيستمر العمل على التصميم الهندسي التفصيلي، بما في ذلك تنقيح أساليب الإنشاء البحري، وتأكيد متطلبات الأداء البيئي، وتطوير أنظمة الرصد والتحكم التشغيلي. كما سيمضي التخطيط لنقل المرجان وتعويض التنوع الحيوي قدماً، مع إجراء مزيد من التحريات الميدانية للمواقع والتخطيط للتنفيذ في المواقع المستقبلية المحدّدة. وستدعم مخرجات هذه الأنشطة اعتماد الصيغة النهائية لخطة عمل التنوع الحيوي ونظام الإدارة البيئية والاجتماعية (ESMS) وخطة الإدارة التكيفية، بما يضمن الدمج الكامل لتدابير التخفيف والرصد والاستعادة والتعويض في التخطيط للإنشاء والتشغيل.

1 مقدمة

يركّز هذا التقرير على تقييم الآثار المرتبطة بالمصبّ الجديد ونظام مأخذ مياه البحر. ويُلخّص الشكل 1-1 التغيير في موقع المصبّ والمأخذ. ولا تزال أعمال تصميم المأخذ والمصبّ جارية منذ الإفصاح عن تقييم الأثر البيئي والاجتماعي لمشروع AAWDCP لعام 2025 في كانون الأول 2025.

الشكل 1-1: التغيير في موقع المأخذ والمصبّ¹



يقدم هذا التقرير تقييماً للآثار الناجمة عن التغييرات في نظام مأخذ مياه البحر وفي موقع مصبّ الرجيع الملحي وتصميمه. ويستند التقييم إلى المعلومات الجديدة التي توقّرت عقب الإفصاح عن تقييم الأثر البيئي والاجتماعي في كانون الأول 2025، ويعكس استمرار تطوير تصميم المشروع والدراسات الهندسية والمسوحات البيئية وإشراك أصحاب العلاقة. وتشمل المصادر الرئيسية للمعلومات ما يلي:

- المسوحات التفصيلية الباثيمترية والجيوفيزيائية البحرية والهيدروغرافية والمسوحات بالغوص التي نُفذت لتحسين فهم ظروف قاع البحر وتضاريسه والبنية التحتية القائمة تحت سطح البحر، بما في ذلك خط أنابيب الغاز ومصبّ الفوسفات
- التواصل المستمر مع مشغلي المنشآت المجاورة وشركة السمرا لتوليد الكهرباء (SEPCO) وسلطة منطقة العقبة الاقتصادية الخاصة (ASEZA) ووزارة البيئة وسلطة الموانئ وغيرهم من أصحاب العلاقة، لتأكيد متطلبات قابلية التنفيذ ومناطق حظر الإنشاء والقبود التشغيلية واعتبارات السلامة
- تطوير التصميم الهندسي وتقييمات قابلية التنفيذ التي حدّدت قيوداً فنية مرتبطة بتصميم المصبّ الذي جرى تقييمه في تقييم الأثر البيئي والاجتماعي لعام 2025 المفصّل عنه

¹ أبقى على مصطلح «CEGCO» في الخرائط الواردة في هذه الوثيقة، مع الإشارة إلى تغيير الاسم مؤخراً إلى شركة السمرا لتوليد الكهرباء - SEPCO

- تحليل المواقع والتصاميم ومنهجيات الإنشاء البديلة للمصب، بما في ذلك خيارات الحفر النفقي الدقيق
- مسوحات إضافية للتنوع الحيوي البحري أنجزت في عام 2026 لتحسين دقة خرائط الموائل وتقديرات الغطاء المرجاني والتقدير الكمي للأثر
- مراجعة مكتبية لقدرة المرجان والأعشاب البحرية على تحمل الملوحة، لدعم اختيار عتبة ملوحة مناسبة لأغراض تقييم الأثر والرصد
- النمذجة المُحدَّثة للمجال القريب باستخدام ديناميكا الموائع الحسابية (CFD) ونمذجة انتشار عمود الرجيع الملحي في المجال البعيد، اللتان نفذتهما مؤسسة Deltares باستخدام الموقع والتصميم المُعدَّلين للمصبّ وبيانات باثيمترية عالية الدقة

2 وصف المشروع ووصف التغيير

2.1 مقدمة

لا تزال أعمال تطوير تصميم المأخذ والمصبّ وتخطيط الإنشاء جارية منذ الإفصاح عن تقييم الأثر البيئي والاجتماعي لمشروع AAWDCP لعام 2025 في كانون الأول 2025. وقد تركّزت هذه الأعمال على تقليل الأثر البيئي إلى أدنى حد، ولا سيما الآثار على التنوع الحيوي في البيئة البحرية الحساسة، مع ضمان تحقيق الأهداف الفنية وأهداف قابلية التنفيذ والتكلفة والجدول الزمني وأهداف أصحاب العلاقة.

جرى تحديد تغييرين رئيسيين في المكوّن البحري للمشروع:

- تغيير موقع نظام مأخذ مياه البحر
 - تغيير موقع مصبّ الرجيع الملحي وتصميمه
- أخذ تقييم هذه التغييرات بعين الاعتبار تقييم الأثر البيئي والاجتماعي ومسحّ خط الأساس لعام 2025، إضافةً إلى الدراسات الإضافية التالية التي أصبحت متاحة منذ الإفصاح عن تقييم الأثر البيئي والاجتماعي في كانون الأول 2025:
- استكمال الدراسات الباثيمترية والجيوفيزيائية البحرية المُحدّثة والمسوحات الهيدروغرافية والمسوحات بالغوص لتحسين رسم خرائط الأصول القائمة تحت سطح البحر، بما في ذلك خط أنابيب الغاز القائم ومصبّ الفوسفات
 - التنسيق المستمر مع أصحاب العلاقة، بمن فيهم سلطة منطقة العقبة الاقتصادية الخاصة (ASEZA) ووزارة البيئة ومشغّلو المنشآت المجاورة وشركة السمرا لتوليد الكهرباء (SEPCO) والجهات الرسمية (بما فيها سلطة الموانئ)، لتأكيد قابلية التنفيذ ومناطق حظر الإنشاء واحتياطات السلامة
 - تم الحصول على موافقة الجهات المختصة على التغييرات المعروضة
 - تحليل للتقنيات البديلة يركّز على خيارات حفر الأنفاق
 - مسوحات إضافية لخط الأساس
 - دراسة مكتبية لقدرة المرجان والأعشاب البحرية على تحمّل ارتفاع الملوحة
 - نمذجة تفصيلية إضافية لعمود انتشار الرجيع الملحي

2.2 تغيير نظام مأخذ مياه البحر

2.2.1 بحيرة السحب ومحطة ضخ المأخذ وفق تقييم الأثر البيئي والاجتماعي لعام 2025 المُفصّح عنه

عند إعداد تقييم الأثر البيئي والاجتماعي لعام 2025 المُفصّح عنه، افترض التصميم أن نظام مأخذ مياه البحر يتألف من بحيرة مأخذ جديدة بجدار بحري يمتد مسافة 10 م نحو اليابسة من خط الشاطئ الحالي، بما يُشكّل مدخلاً لمحطة ضخ مأخذ (IPS) جديدة خاصة بالمشروع، انظر الشكل 2-1 أدناه. وقد صُمّمت البحيرة مع تدابير التخفيف التالية:

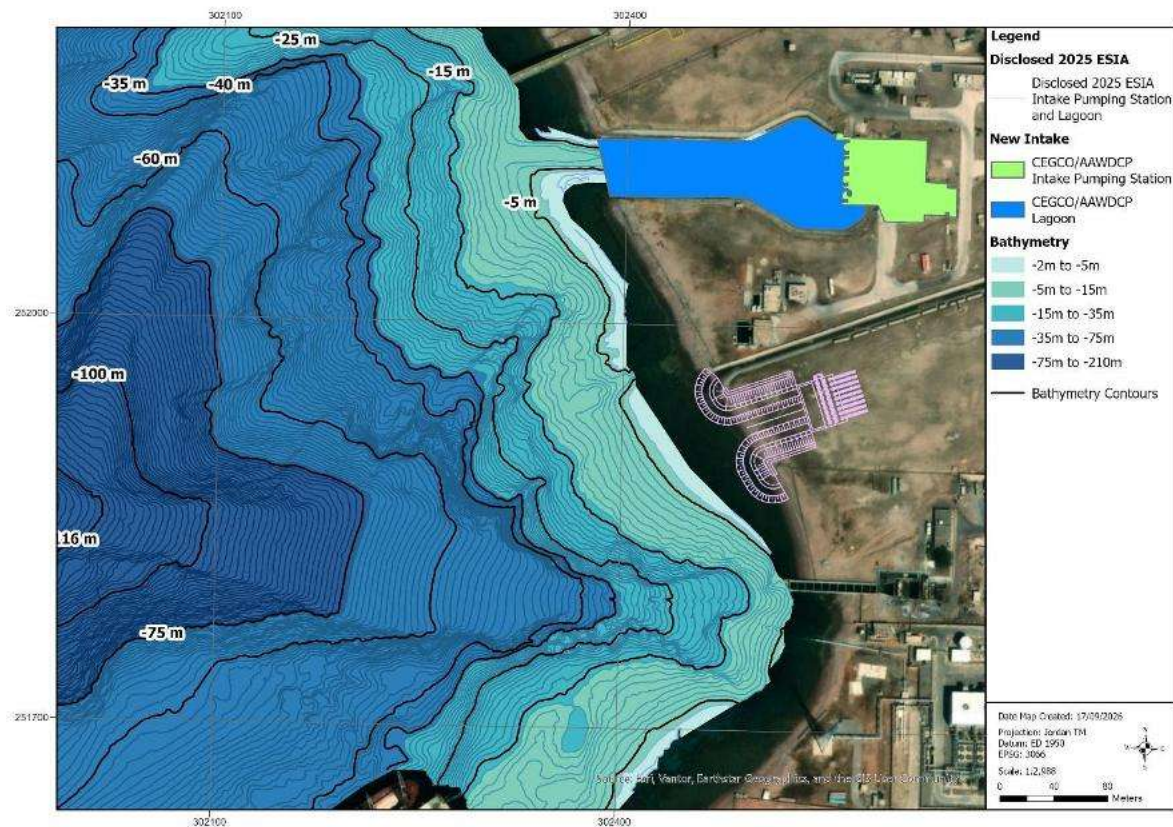
- حاجز عائم للنفط لحماية محطة ضخ المأخذ (IPS) وجودة المياه الداخلة من التلوث الناجم عن انسكابات النفط
- نظام ستارة فقاعات عند فم البحيرة لحماية المأخذ من قناديل البحر، والحدّ كذلك من انجراف الكائنات البحرية المتحركة الأخرى إلى المأخذ
- نظام لالتقاط الأسماك وإعادتها لمنع الأسماك من التسبّب في انسداد نظام المأخذ

2.2.2 مبررات تغيير نظام مأخذ مياه البحر

يهدف تجنب إنشاء بحيرة مأخذ ومحطة ضخ مأخذ (IPS) جديدتين، أكد التواصل مع شركة السمرا لتوليد الكهرباء (SEPCO) ومسوحات حالة الأصول التي أجراها مفاول الهندسة والتوريد والإنشاء (EPC) أن البحيرة ومحطة ضخ المأخذ القائمتين تُشكّلان بديلاً مجدياً للمشروع. وقد أكدت السلطات الأردنية وشركة SEPCO في عام 2026 تغيير موقع البحيرة ومحطة ضخ المأخذ وأقرّته. ونتيجةً لذلك، سيجري تجنب الآثار التي سبق تحديدها في تقييم الأثر البيئي والاجتماعي لعام 2025 المُفصّل عنه والناجمة عن إنشاء نظام مأخذ بحري جديد، بما في ذلك بحيرة مأخذ.

الشكل 1-2 موقع محطة ضخ المأخذ (IPS) والبحيرة وفق تقييم الأثر البيئي والاجتماعي لعام 2025 المُفصّل عنه، والموقع الجديد للبحيرة ومحطة ضخ المأخذ. ولن تتغير تدابير التخفيف الخاصة بالبحيرة؛ إذ سيجري تركيب الحاجز العائم للنفط وستارة الفقاعات ونظام النقاط الأسماك وإعادتها في الموقع الجديد للبحيرة ومحطة ضخ المأخذ.

الشكل 1-2: مرافق المأخذ وفق تقييم الأثر البيئي والاجتماعي لعام 2025 المُفصّل عنه



يقدم القسم 6.2 تقييماً تفصيلياً لتشغيل نظام سحب المياه.

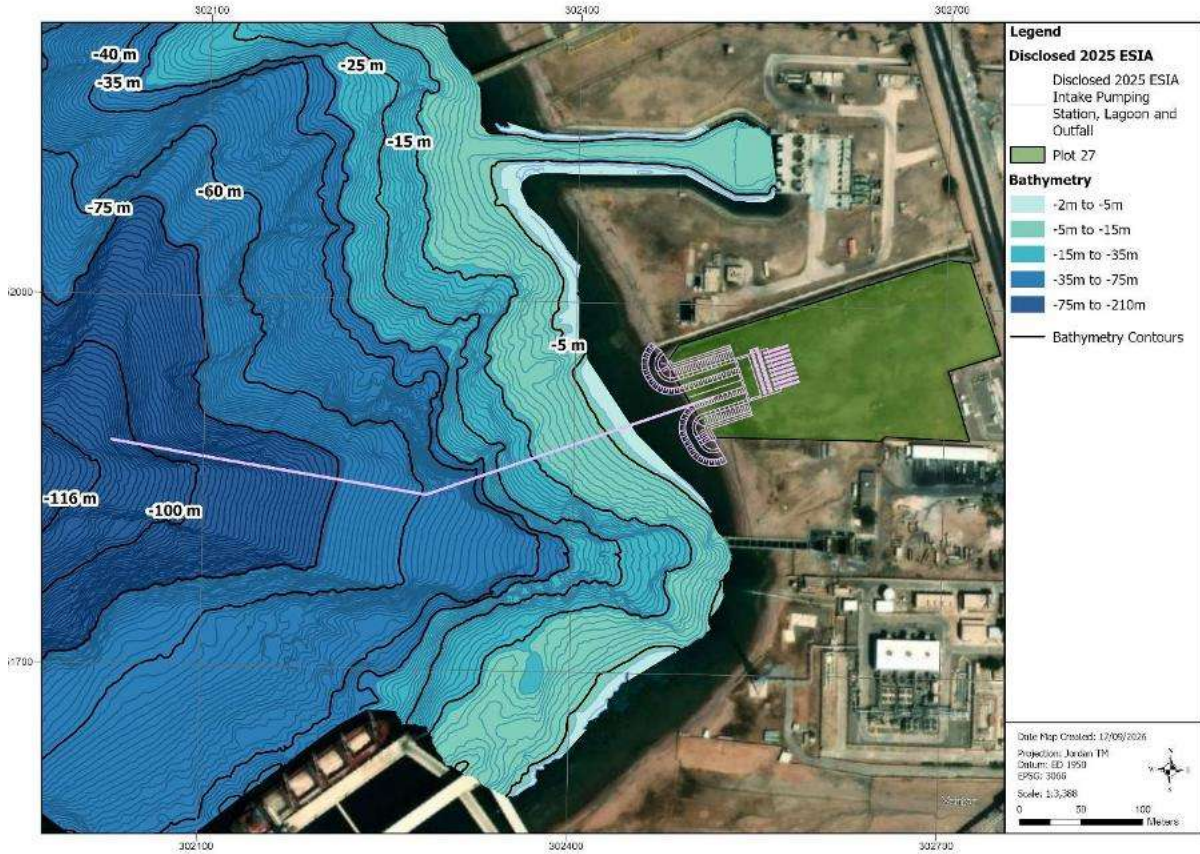
2.3 تغيير موقع مصب الرجيع الملحي وتصميمه

2.3.1 موقع المصبّ وتصميمه وفق تقييم الأثر البيئي والاجتماعي لعام 2025 المُفصّل عنه

عرض تقييم الأثر البيئي والاجتماعي لعام 2025 المُفصّل عنه مصباً واحداً يُستكمل بواسطة ناشر متعدد الفتحات تحت سطح البحر يضم 32 فتحة. وكان من المقرر أن يُمدّ المصبّ من خط الشاطئ داخل خندق بطول 104 م وعرض 5 م، ثم على سطح قاع البحر، على أن يُثبت بواسطة أطواق تنقل خرسانية موزعة على فواصل مقدارها 5 م؛ انظر الشكل 2-2.

تصوّرت منهجية الإنشاء الأولية للمصبّ استخدام رصيف بحري مؤقت قريب من الشاطئ، إلى جانب معدات عائمة وصنادل بحرية وسفن لدعم أنشطة حفر الخندق والتركيّب والردم والحماية في المياه الأعمق. وكان من المقرر تخزين الرواسب البحرية المحفورة الناتجة عن حفر خندق المصبّ على اليابسة واستخدامها في أعمال الردم. وشملت تدابير التخفيف نقل المرجان من داخل منطقة الإنشاء واستخدام ستائر احتجاز الرواسب للحدّ من الآثار الناجمة عن الترسّب وزيادة العكارة.

الشكل 2-2: المصبّ ومنطقة الإنشاء وفق تقييم الأثر البيئي والاجتماعي لعام 2025 المُفصّل عنه



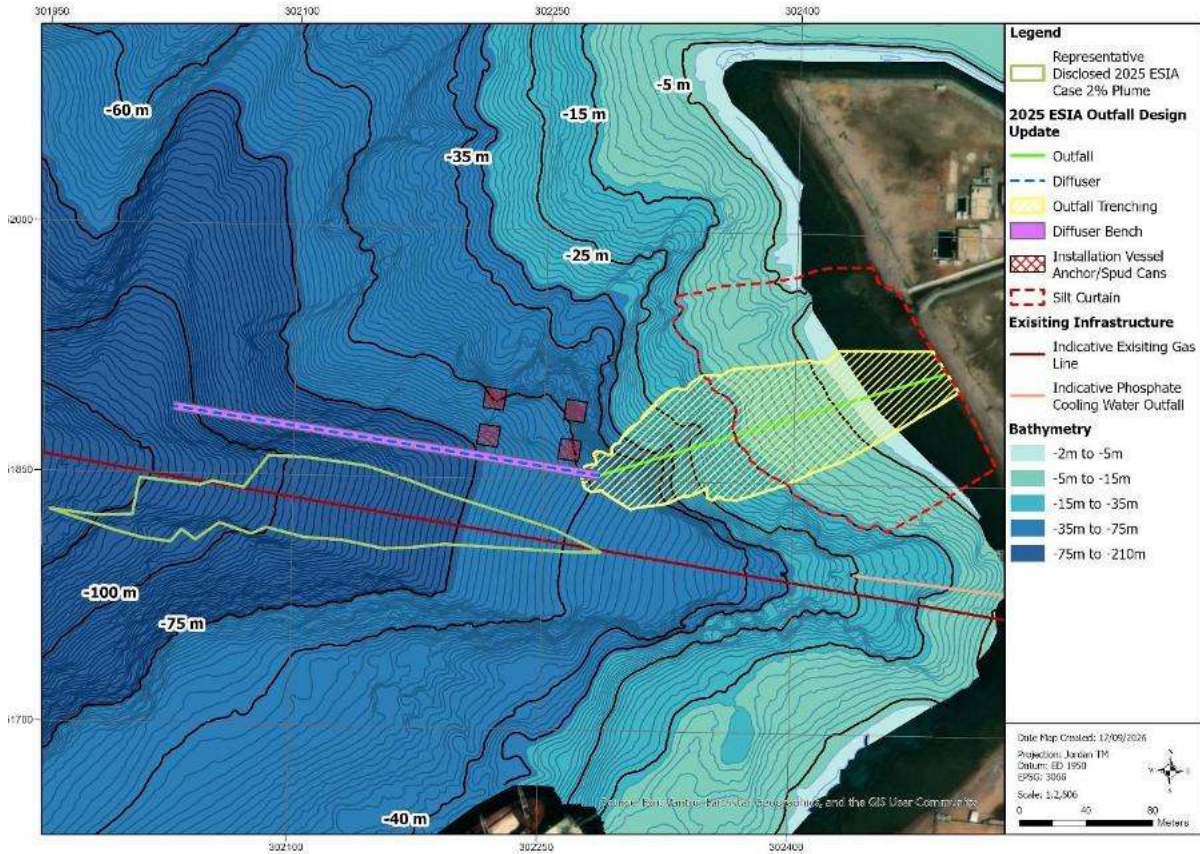
2.3.2 مبررات تغيير موقع المصبّ وتصميمه

بعد إنجاز مسح بايثميتري تفصيلي وتحليل بيانات المسح ومواصلة تطوير التصميم، أعاد مقاول الهندسة والتوريد والإنشاء (EPC) تقييم منهجيات الإنشاء الموصوفة في تقييم الأثر البيئي والاجتماعي لعام 2025 المُفصّل عنه. وقد حدّدت إعادة التقييم عدداً من القيود الفنية والآثار الإضافية التي لم تكن متوقعة وقت إعداد تقييم الأثر البيئي والاجتماعي لعام 2025 المُفصّل عنه:

- سيتمتد حفر الخندق من عمق 15 م إلى عمق 60 م، وسيُزرَم زيادة عرض منطقة حفر الخندق من 5 م إلى 75 م كحدّ أقصى
- سيلزَم تجريف مصطبة في قاع البحر لدعم تركيب المصبّ وتوفير سطح مستوٍ
- سيُطرَح استخدام ستائر احتجاز الرواسب في هذه الأعماق المائية التي تصل إلى 15 م تحديات تتعلق بالأداء والتشغيل، مما يقلّل من فعاليتها ويحدث أثراً خارج منطقة حفر الخندق والتجريف
- سيُطلَب تركيب المصبّ والناشر سفناً محدودة التوفر في السوق، والغوص في أعماق مائية تزيد على 35 م، وهو ما يتجاوز حدّ عمق الغوص المعتمد في المشروع (إذ تقتصر جميع أعمال الغوص على أعماق 35 م أو أقل). وسيُطلَب العمل خارج هذا الحدّ اللجوء إلى الغوص بالتشبيّع، بما ينطوي عليه من تعقيد فني ومخاطر مرتبطة به
- ستكون سفن دعم التركيب البحري اللازمة للأعمال على مقربة شديدة من وحدة التخزين العائمة وإعادة التوجيه (FSRU)

الشكل 2-3 انعكاسات تطوير التصميم على آثار إنشاء المصبّ الوارد في تقييم الأثر البيئي والاجتماعي لعام 2025 المُفصّل عنه على قاع البحر. وتجدر الإشارة إلى أن مخرجات النمذجة المبيّنة في الشكل 2-3 متّسقة مع تقييم الأثر البيئي والاجتماعي لعام 2025 المُفصّل عنه؛ إذ لم تُعد النمذجة باستخدام ديناميكا الموائع الحسابية (CFD) وبيانات قياس الأعماق عالية الدقة المعروضة في القسم 5.

الشكل 2-3: تحديث تصميم المصبّ الوارد في تقييم الأثر البيئي والاجتماعي لعام 2025 المُفصّل عنه مع عمود الانتشار بنسبة 2%



تُلخّص آثار البصمة على قاع البحر قبل التخفيف² الناجمة عن حفر الخندق في الجدول 2-1، الذي يتضمن أيضاً عمود انتشار الرجيع الملحي كما عُرض في تقييم الأثر البيئي والاجتماعي لعام 2025 المُفصّل عنه. ويفترض التقدير الكمي لمساحة الإنشاء إمكانية نشر ستائر احتجاز الرواسب وفعاليتها في أعماق مائية تصل إلى 15 م، وعدم فعاليتها فيما يتجاوز هذا العمق.

الجدول 2-1: مساحة الأثر على قاع البحر قبل التخفيف (تحديث تصميم المصبّ الوارد في تقييم الأثر البيئي والاجتماعي لعام 2025)

جانب الأثر	مساحة الأثر على قاع البحر قبل التخفيف (م ²)
الإنشاء	
حفر الخندق	12,536
مصطبة الناشر	1,225
مراسي سفينة التركيب/قواعد أرجل التثبيت	614
ستارة احتجاز الرواسب	11,751

² لدعم المقارنة بين التغييرات في موقع المصبّ وتصميمه، تُعرض آثار البصمة على قاع البحر قبل التخفيف دون مراعاة نوع الركيزة أو الغطاء المرجاني أو غطاء الأعشاب البحرية أو تدابير التخفيف المتمثلة في نقل المرجان؛ وتُعرض المساحة الإجمالية للأثر على قاع البحر دون إدراج أي متغيرات أخرى.

جانب الأثر	مساحة الأثر على قاع البحر قبل التخفيف (م ²)
إجمالي مساحة الإنشاء (م ²)	26,126
عمود الانتشار	
عمود الانتشار بنسبة 2%	9,076
الإنشاء وعمود الانتشار	
المساحة الإجمالية (م ²)	35,202

في ضوء هذه التحديات الفنية والبيئية، أصبح من الضروري تغيير موقع المصبّ وتصميمه. وقد جرى تحليل بديلين جديدين على النحو المبين أدناه.

2.3.3 تحليل البدائل

بعد التوصل إلى أن المصبّ الوارد في تقييم الأثر البيئي والاجتماعي لعام 2025 المُفصّل عنه غير مجدٍ من الناحية الفنية، جرى تقييم بديلين:

- البديل 1: المصبّ داخل الأخدود البحري مع تغيير تصميم المصبّ
- البديل 2: خيار الحفر النفقي الدقيق دون تغيير تصميم المصبّ

استند تحليل البدائل، تعزيزاً له، إلى مجموعة من الدراسات وأنشطة التشاور الداخلية والخارجية. فقد أسهمت المسوحات الباثيمترية والهيدروغرافية والمسوحات بالغوص المُحدّثة في تحسين دقة خرائط الأصول القائمة تحت سطح البحر وتضاريس قاع البحر، بما في ذلك خط أنابيب الغاز ومصبّ الفوسفات، وفي تحديد القيود المادية على اختيار المسار. كما أكد التنسيق المستمر مع سلطة منطقة العقبة الاقتصادية الخاصة (ASEZA) ووزارة البيئة ومشغلي المنشآت المجاورة وشركة السمرا لتوليد الكهرباء (SEPCO) وسلطة الموانئ قابلية التنفيذ ومناطق حظر الإنشاء واحتياطات السلامة. ووسّع تحليل التقنيات البديلة، الذي ركّز على الحفر النفقي الدقيق، نطاق الخيارات الهندسية التي جرى النظر فيها. ووفّرت مسوحات خط الأساس الإضافية، والدراسة المكتنبة لقدرة المرجان والأعشاب البحرية على تحمل الملوحة، والنمذجة الإضافية لعمود انتشار الرجيع الملحي، أساساً بيئياً متيناً لاتخاذ قرار نهائي.

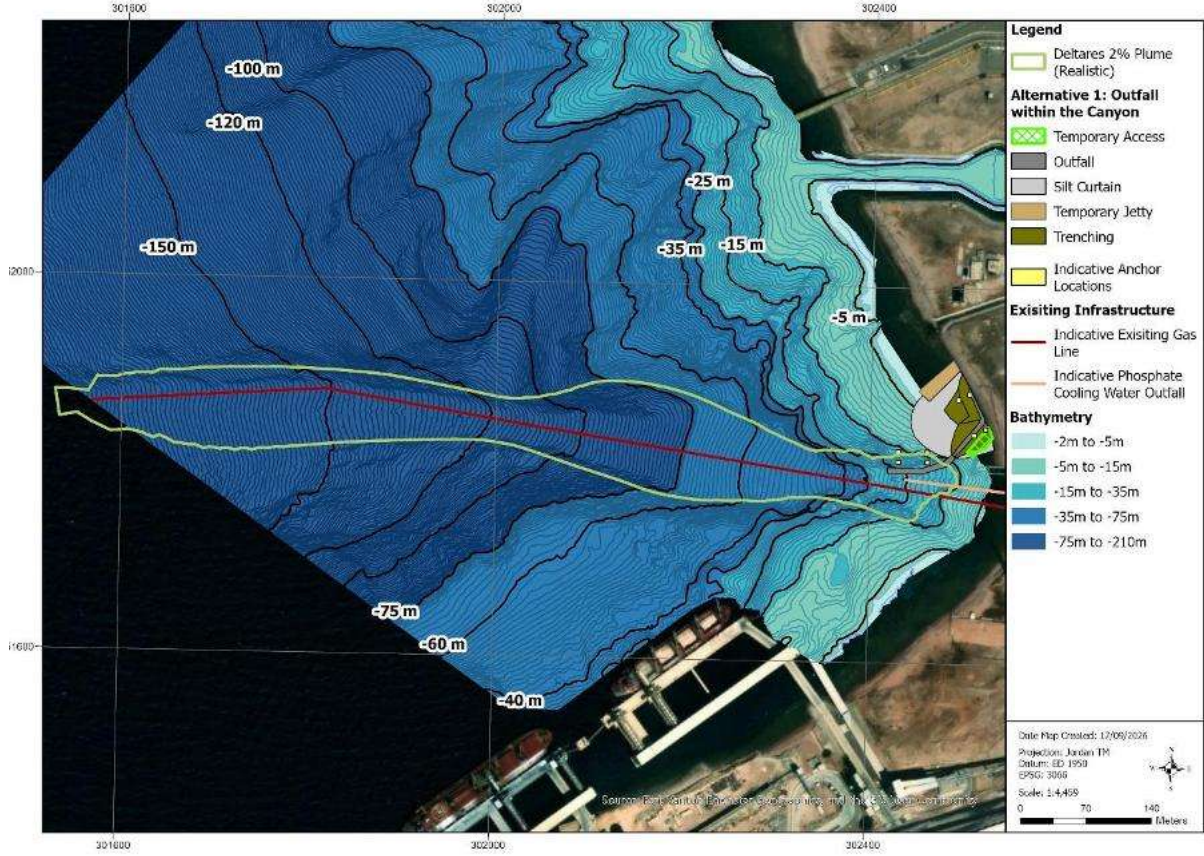
2.3.3.1 البديل 1: المصبّ داخل الأخدود البحري

ينقل هذا الخيار البديل المصبّ إلى موقع جديد داخل المَعلم الأبرز في قاع البحر ضمن المنطقة الصناعية، وهو أخدود بحري طبيعي التكوّن (الشكل 2-4) يتميز بنسبة أعلى بكثير من الركيزة الرخوة (التي لا تدعم نمو المرجان) مقارنةً بمسار المصبّ الوارد في تقييم الأثر البيئي والاجتماعي لعام 2025 المُفصّل عنه. وبالتالي، يتيح الأخدود فرصة للاستفادة من مَعلم طبيعي يقلّل إلى أدنى حدٍّ من أعمال الإنشاء ضمن المناطق ذات الوفرة المرجانية الأعلى، ويحدّ من الآثار المحتملة على موائل الشعاب المرجانية.

يمثّل موقع الناشر المختار أعرق موضع عملي (من 16 م إلى 27 م) داخل الأخدود يظل الوصول إليه ممكناً لأغراض التركيب باستخدام أنظمة الغوص التقليدية بالهواء، وذلك انسجاماً مع قرار المشروع بتجنّب أساليب الغوص الأكثر تعقيداً في المياه العميقة. كما عُيِّل تصميم الناشر في هذا الموقع ليتضمن عدداً أقل من الفتحات.

خلافاً للناشر الوارد في تقييم الأثر البيئي والاجتماعي لعام 2025 المُفصّل عنه، الذي صُمِّم لتحقيق أقصى قدر من الخلط في المجال القريب، جرى تغيير تصميم الناشر لتوجيه عمود انتشار الرجيع الملحي عمداً داخل الأخدود وتعزيز انتقاله عبر هذا المَعلم الطبيعي نحو المياه الأعرق حيث يكون وجود المرجان ووفرنه في أدنى مستوياتهما. ويحدّ هذا النهج من امتداد عمود الانتشار صعوداً على جدران الأخدود وإلى منطقة الشعاب المرجانية الهامشية، حيث تكون المجتمعات المرجانية أكثر وفرة، مما يقلّل من نطاق تعرّض المرجان، ويتجنّب في الوقت ذاته إحداث اضطراب في موائل الشعاب أثناء الإنشاء.

الشكل 2-4: البديل 1: المصب داخل الأخدود البحري مع عمود الانتشار بنسبة 2%



يرد التقدير الكمي لآثار البصمة على قاع البحر قبل التخفيف للبديل 1 في الجدول 2-2. ويقسم القسم 6 هذه الآثار بالتفصيل، بما في ذلك عتبة الملوحة المناسبة لعمود انتشار الرجيع الملحي.

الجدول 2-2: مساحة الأثر على قاع البحر قبل التخفيف (البديل 1: المصب داخل الأخدود البحري)

جانب الأثر	مساحة الأثر على قاع البحر قبل التخفيف (م ²)
الإنشاء	
حفر الخندق	2,065
المصب	789
الرصيف البحري المؤقت	683
مسار الوصول المؤقت	31
ستارة احتجاز الرواسب	2,787
المراسي	86
إجمالي مساحة الإنشاء (م ²)	6,441
عمود الانتشار	
عمود الانتشار بنسبة 2%	69,027

جانب الأثر	مساحة الأثر على قاع البحر قبل التخفيف (م ²)
الإنشاء وعمود الانتشار	
المساحة الإجمالية (م ²)	75,468

2.3.3.2 البديل 2: إنشاء المصبّ بالحفر النفقي الدقيق

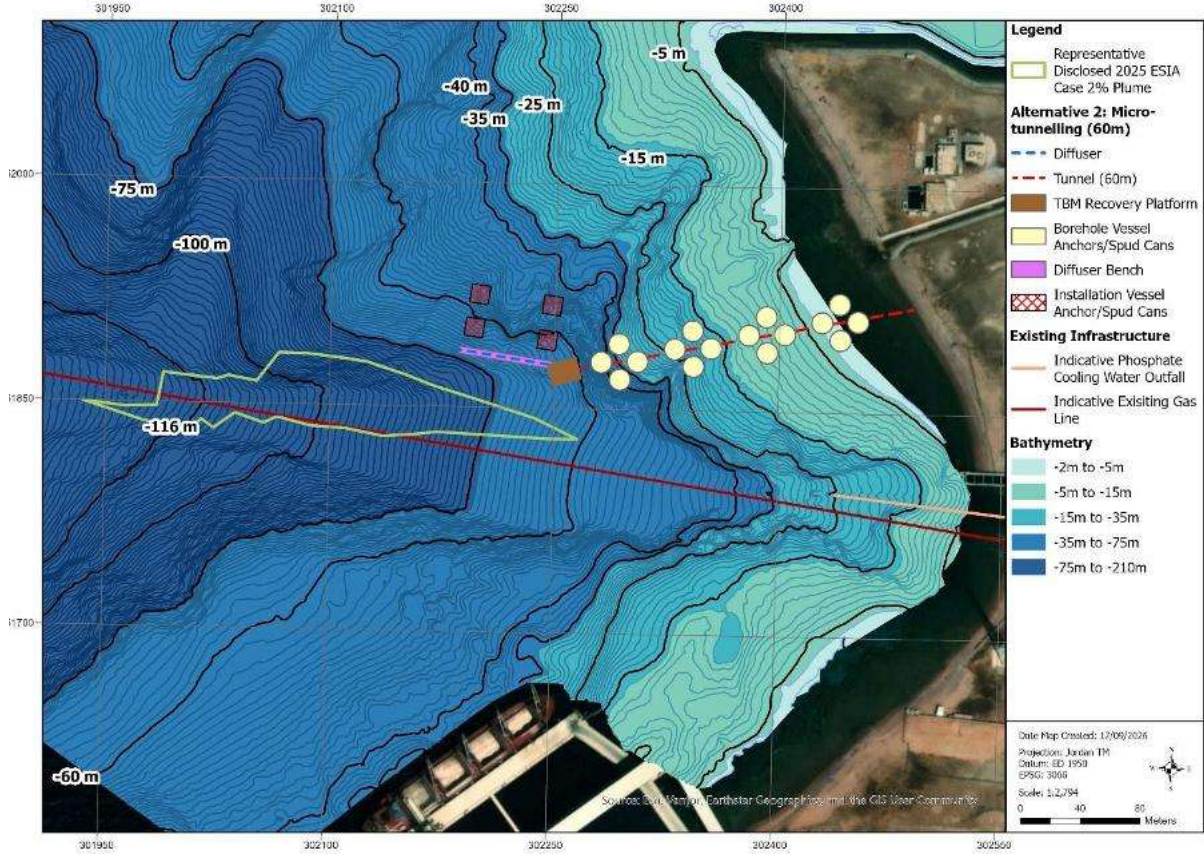
قاد المستشار الفني لمشروع AAWDCP دراسةً لبدائل الحفر النفقي الدقيق بهدف تركيب المصبّ أسفل الشعاب المرجانية بدلاً من مده عبرها. وجرى النظر في ثلاثة مسارات للحفر النفقي الدقيق، تقع نقاط خروجها البحرية على أعماق مائبة تبلغ نحو 25 م و 60 م و 120 م، على ألا تقل المسافة بينها وبين خط أنابيب الغاز القائم عن 50 م. واعتُبرت نقطة الخروج على عمق 60 م مسار النفق الدقيق ذا الأثر البيئي الأدنى.

ستتطلب أعمال الحفر النفقي الدقيق آلة حفر أنفاق دقيقة تعمل بتقنية الدرع الطيني (slurry shield) بقطر 3.4 م، لتركيب خط أنابيب المصبّ المصنوع من البولي إيثيلين عالي الكثافة (HDPE) بقطر خارجي 2.8 م على امتداد مسار حفر يبلغ طوله نحو 220 م، وفق انحدار هابط بنسبة 6% من بئر إطلاق على اليابسة إلى نقطة خروج بحرية على عمق مائي يبلغ نحو 60 م. وسيُوضع خط الأنابيب أسفل الشعاب بدلاً من وضعه في خندق مجرّف، مما يجنب الآثار المرتبطة بذلك على قاع البحر. ولا يُتيح خيار الحفر النفقي الدقيق تجنب آثار الإنشاء بنسبة 100%؛ إذ جرى تحديد ثلاثة أنواع من الآثار (انظر الشكل 2-5) وتقديرها كمياً في الجدول 2-3:

- مراسي التركيب الخاصة بسفينة تركيب الناشر
- مراسي سفينة المسح الجيوتقني
- تجريف مصطبة الناشر

لم تُستكمل لهذا البديل نمذجة تفصيلية خاصة بالموقع لانتشار عمود الرجيع الملحي عند نقطة الخروج على عمق مائي 60 م؛ إلا أنه جرت، دعماً لتقييم الأثر البيئي والاجتماعي لعام 2025 المُفصّل عنه، نمذجة عدد من سيناريوهات عمود الانتشار، ويرد السيناريو التمثيلي في الشكل 2-5. وتُعدّ بصمة عمود الانتشار مماثلة لتلك الواردة في تقييم الأثر البيئي والاجتماعي لعام 2025 المُفصّل عنه، وأصغر من عمود الانتشار الخاص بالبديل 1.

الشكل 2-5: البديل 2: إنشاء المصبّ بالحفر النفقي الدقيق (60 م) مع عمود الانتشار بنسبة 2%



الجدول 2-3: مساحة الأثر على قاع البحر قبل التخفيف (البديل 2: إنشاء المصبّ بالحفر النفقي الدقيق - 60 م)

جانب الأثر	مساحة الأثر على قاع البحر قبل التخفيف (م ²)
الإنشاء	
مراسي سفينة حفر الجسات/قواعد أرجل التثبيت	2,463
مصطبة الناشر	309
مراسي سفينة التركيب/قواعد أرجل التثبيت	613
منصة استرجاع آلة حفر الأنفاق (TBM)	298
إجمالي مساحة الإنشاء (م ²)	3,683
عمود الانتشار	
عمود الانتشار بنسبة 2%	9,076
الإنشاء وعمود الانتشار	
المساحة الإجمالية (م ²)	12,759

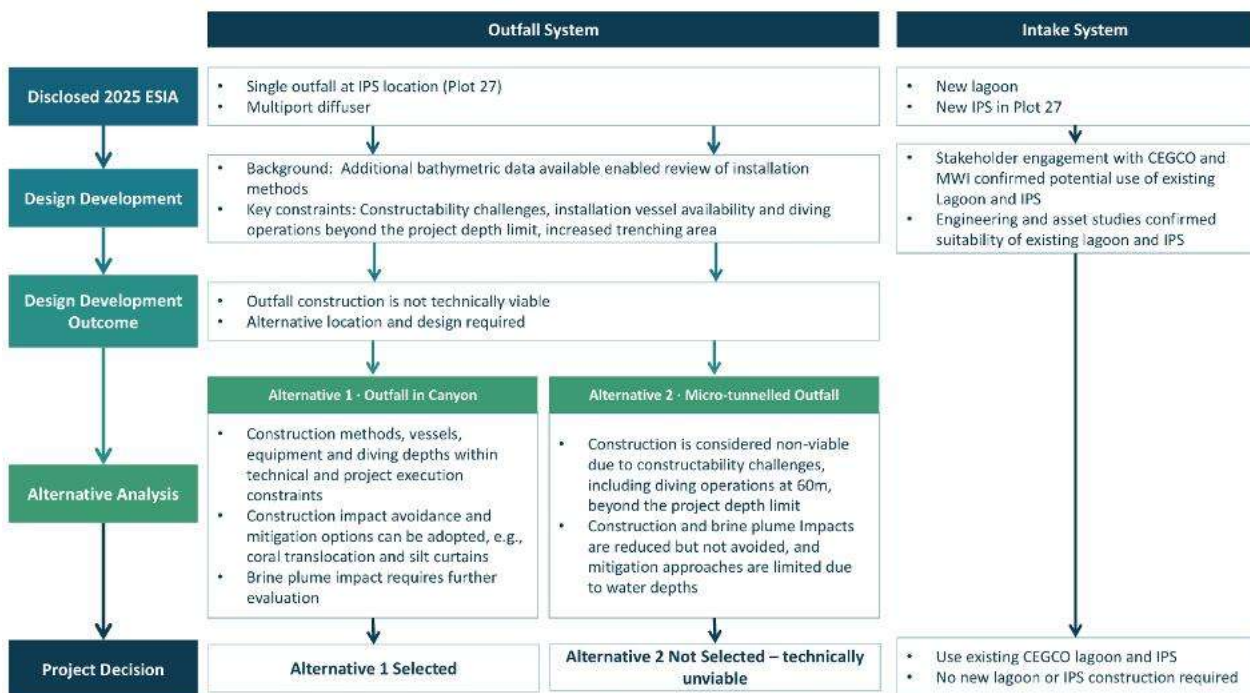
غير أن الانخفاض في آثار الإنشاء وفي بصمة عمود الانتشار مقارنةً بالبديل 1 تفوقه سلسلة من القيود الفنية التي تجعل هذا الخيار غير مجدي:

- ستعمل الآلة عند عمق الحفر تحت ضغوط على واجهة الحفر في حدود 6 بار، وهو ما يتجاوز نطاق معدات الحفر النفقي الدقيق القياسية، ومن ثم سيتطلب الأمر اختيار آلة خاصة بالمشروع أو تكيفها أو تصميمها حسب الطلب، مما ينطوي على مهلة توريد طويلة وتكلفة ومخاطر فنية كبيرة
- سيتمتد بئر الإطلاق من منسوب سطح الأرض الحالي إلى منسوب يبلغ نحو -47 م، وسيطلب إنشاء جدران حاجزة (diaphragm walls)، نظراً لعدم قدرة الخوازيق المتقاطعة (secant piles) على تحقيق الرأسية اللازمة لضمان منع تسرب المياه على مثل هذا العمق، إلى جانب نزح مستمر للمياه ومعالجتها قبل أي تصريف إلى البحر
- سينتج عن حفر البئر وحده ما بين 10,000 و12,000 م³ من نواتج الحفر، وهي كمية تتجاوز، إلى جانب نواتج حفر النفق الدقيق، السعة التخزينية لقطعة الأرض رقم 27
- سيلزم الغوص بالتشبع للعمقين -60 و-120 م؛ وهذا يتجاوز الحد الفني للمشروع

2.4 خلاصة تطوير التصميم وتحليل البدائل

ترد لمحة عامة عن عملية تطوير التصميم وتحليل البدائل التي جرت منذ الإفصاح عن تقييم الأثر البيئي والاجتماعي لعام 2025 في الشكل 2-6.

الشكل 2-6. ملخص تطوير التصميم وتحليل البدائل



الجدول 2-4 أدناه أثار البصمة على قاع البحر قبل التخفيف الناجمة عن الإنشاء لكامل الخيارات التي جرى تقييمها خلال مرحلة تطوير التصميم منذ تقييم الأثر البيئي والاجتماعي لعام 2025 المُفصّل عنه.

الجدول 2-4: ملخص مساحات الأثر على قاع البحر قبل التخفيف

الخيار	إنشاء المأخذ م ²	إنشاء المصب م ²	إجمالي إنشاء المأخذ والمصب م ²	مساحة عمود الانتشار م ²	إجمالي مساحة الأثر على قاع البحر قبل التخفيف م ²
تقييم الأثر البيئي والاجتماعي لعام 2025 المفصّل عنه	3,500	2,646	6,146	9,076	15,222
البديل 1: المصب داخل الأخدود البحري	0	6,441	6,441	69,027	75,468
البديل 2: النفق الدقيق	0	3,683	3,683	9,076	12,759

اختير البديل 1 بوصفه الخيار الفني الوحيد المجدي، مع الإقرار بأن الموقع والتصميم الجديدين للمصب سيتطلبان الدراسات الإضافية التالية لدعم مواصلة التصميم وتخطيط الإنشاء، بما في ذلك:

- نمذجة انتشار الرجيع الملحي، انظر القسم 5
- التشاور مع مشغل خط أنابيب الغاز
- مسوحات إضافية لخط الأساس البيئي ضمن منطقة عمود الانتشار، ودراسات مخبرية حول تعرّض المرجان، انظر القسم 3.1، لدعم وضع الصيغة النهائية لخطة الرصد البيئي طويلة الأمد
- وضع الصيغة النهائية لخطة عمل التنوع الحيوي
- وضع الصيغة النهائية لخطة الإدارة التكيفية

2.5 منهجية إنشاء المصب الجديد

يعرض هذا القسم منهجية إنشاء أعمال المصب البحري المختارة في أعقاب خلاصة تحليل البدائل (يُرجى الرجوع إلى القسم 2.4). ولن تُحدث التعديلات على بحيرة المأخذ ومحطة ضخ المأخذ القائمتين التابعتين لشركة SEPCO أثراً مادية على الموائل البحرية؛ ولذلك لا يتناول هذا القسم منهجية إنشاء نظام مأخذ مياه البحر. تستند المنهجية الموضّحة في هذا القسم إلى منهجية الإنشاء الاسترشادية لمقاول الهندسة والتوريد والإنشاء (EPC) التي وردت في آب 2026، وهي قابلة لمزيد من التطوير خلال مرحلة التصميم التفصيلي وبعد تعيين المقاول الفرعي للأعمال البحرية. ولم تُطوّر بالتفصيل بعض الجوانب، مثل خطط المراسي ومواقعها وعددها، أو كيفية ربط مقاطع المصب ببعضها، وقد أدرجت المعلومات المتاحة في تقييم الأثر. وعلى الرغم من أن أساليب التنفيذ النهائية واختيار المعدات وتسلسل الأعمال قد تختلف عما هو موصوف، فمن المتوقع أن يظل النطاق العام للإنشاء ودرجة تعقيده وأثار المشروع المرتبطة به ضمن حجم مماثل. وستتألف استراتيجية إدارة مواد التجريف من التدابير التالية:

- إعادة استخدام مواد الحفر المناسبة في ردم الخندق، حيثما كان ذلك ممكناً من الناحية العملية
- التخزين المؤقت لمواد الحفر ومناولتها ونقلها وفقاً لمنهجية الإنشاء العامة
- نقل فائض مواد الحفر إلى موقع التخلص المحدد على اليابسة

2.5.1 لمحة عامة عن أعمال المصب البحري

تشمل أعمال المصب البحري تركيب خط أنابيب للمصب من البولي إيثيلين عالي الكثافة (HDPE) بقطر اسمي DN2800 يمتد باتجاه البحر من نقطة الربط بمحطة التحلية عند الشاطئ، إلى جانب أعمال التجريف والفرشة والتثقيب والردم والحماية الصخرية اللازمة لتثبيتته. وسيتألف خط الأنابيب من سلاسل أنابيب مُجهّزة مسبقاً، ومقطع انحناء مُجمّع مسبقاً، وعنصر انتقالي مسبق الصب، تُربط جميعها بوصلات شفّات (فلنجات) مثبتة بالبراغي وتزوّد بكتل تثقيب. وستُنظّم الأعمال حسب المسافة التراكمية (أي المسافة بالأمتار على امتداد خط الأنابيب): إذ تُنفذ الأعمال من المسافة التراكمية 0 إلى 60 من الشاطئ، ومن المسافة التراكمية 60 إلى 110 في البحر انطلاقاً من صندل مزوّد برافعة، مع مواصلة مدّ خط الأنابيب باتجاه البحر حتى المسافة التراكمية 195 تقريباً.

يتألف الأسطول البحري المُستخدَم من سفينة تجريف، وصنادل رافعة وصنادل ذات سطح مستوٍ، وقاطرات بحرية أمامية وخلفية، وفريق غوص، مع دعم مادي ولوجستي من ميناء القوة البحرية الملكية الواقع على بُعد نحو 1.5 ميل بحري من موقع المشروع.

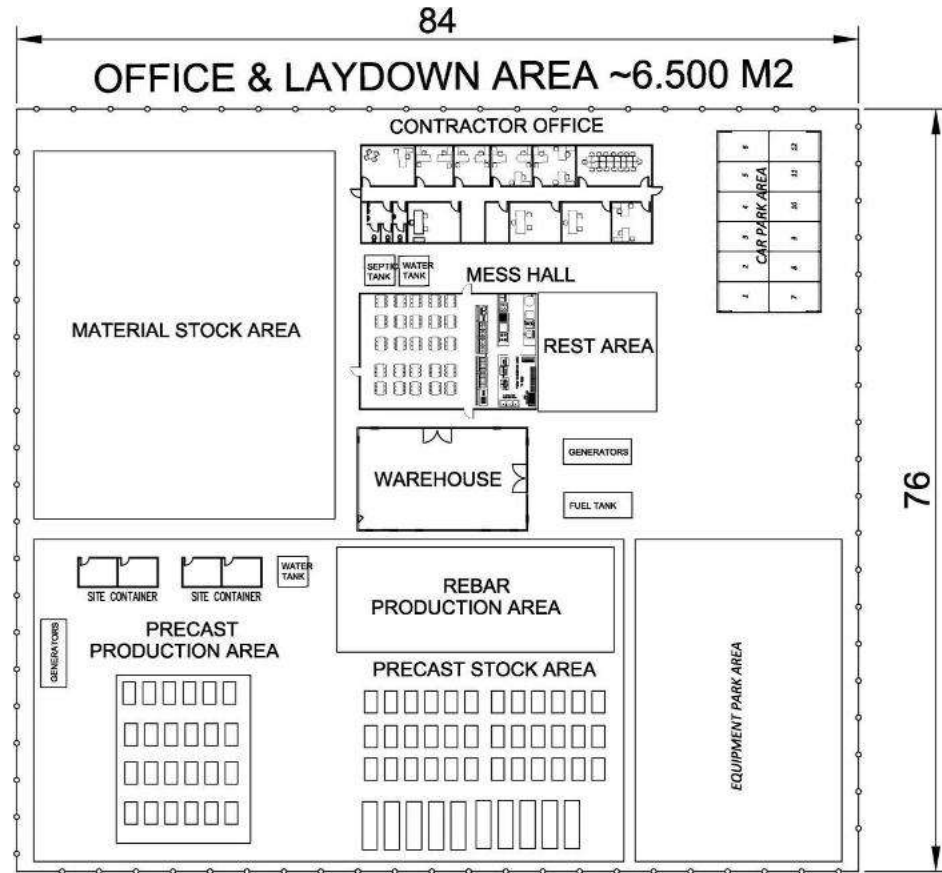
2.5.2 المرافق المؤقتة والخدمات اللوجستية للميناء

سيُقدَّم الدعم على اليابسة من خلال مكتب مؤقت ومنطقة تشوين تبلغ مساحتهما نحو 6,500 م² على رقعة أبعادها نحو 84 م × 76 م، وتضم مكتب المقاول وقاعة الطعام ومنطقة الاستراحة والمستودع ومنطقة تخزين المواد، ومناطق إنتاج العناصر مسبقة الصب وتخزينها، ومنطقة لتجهيز حديد التسليح، وساحة للمعدات وموقف للسيارات، ومولدات كهربائية، وخزان وقود، وخزانات للمياه وأخرى للصرف الصحي (الشكل 2-7).

لا تزال ترتيبات الخدمات اللوجستية البحرية داخل ميناء القوة البحرية الملكية قيد النقاش؛ ومع ذلك، ستبقى جميع المرافق المخطط لها ضمن حدود موقع ميناء القوة البحرية الملكية. وتتألف الخدمات اللوجستية البحرية من ثلاث مناطق في ميناء القوة البحرية الملكية (الشكل 2-8):

- المنطقة A-12 المخصصة لتخزين الأنابيب وتجهيزها، بما في ذلك منطقة اللحام التي تُجمَع فيها الأنابيب في مقاطع طويلة متصلة
- المنطقة B-12 المخصصة لتخزين العناصر مسبقة الصب
- المنطقة C-12 المخصصة لتحميل الصخور وتفريغها، حيث تعمل حفارة ذات ذراع طويلة من فوق حافة الرصيف لتحميل البارجة المسطحة

الشكل 2-7: المرافق المؤقتة



الشكل 2-8: الخدمات اللوجستية البحرية في ميناء القوة البحرية الملكية



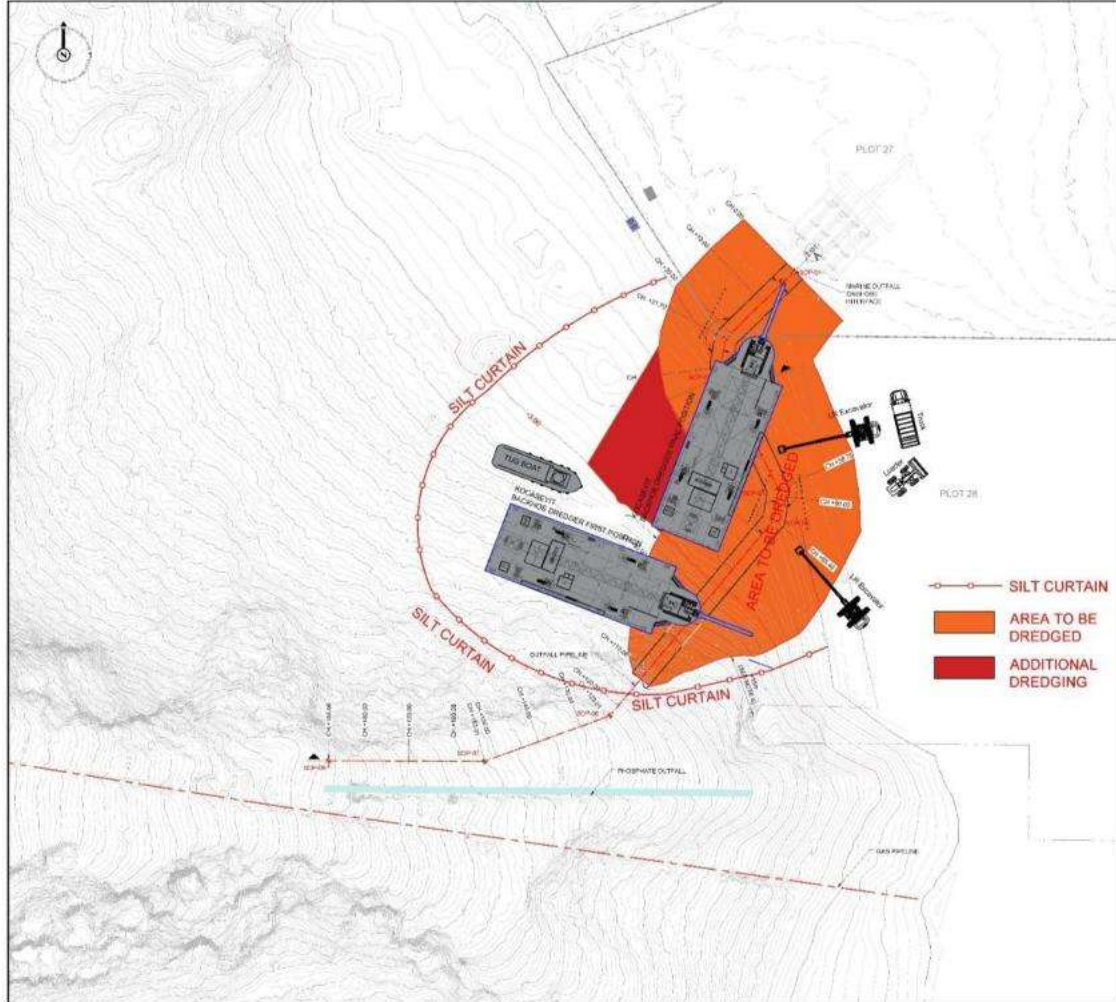
2.5.3 التجريف ومناولة مواد التجريف

سيُنفَّذ التجريف باستخدام كَرَآكة مزوَّدة بملحق تكسير يعمل تحت الماء في المواقع التي يكون فيها قاع البحر صلباً أو صخرياً. وستُركَّب ستارة احتجاز الرواسب حول منطقة العمل ويُحافظ عليها طوال فترة الأنشطة الإنشائية للحدّ من العكارة وحماية البيئة البحرية. وقبل البدء بالتجريف، سيقوم المشروع بإزالة المرجان الصلب الواقع ضمن البصمة التي ستُحاط بستانة احتجاز الرواسب ونقله، انظر الشكل 2-9.

تُقدَّر الكمية الإجمالية للمواد المطلوب حفرها لتكوين المصبّ البحري، وفق تقدير متحفّظ، بنحو 20,000 م³. واستناداً إلى التحريات الجيوتقنية المتاحة، يُتوقَّع أن تتكوّن المواد المحفورة في معظمها من رواسب شاطئية رملية كثيفة ورواسب ذات منشأ مرجاني. ولم تُصادَف أي طبقات صخرية ضمن مقطع الأعماق الذي شملته التحريات، وبناءً على ذلك لا يُتوقَّع إجراء أي تجريف في الصخور الصلبة. ومن ثم يُتوقَّع أن تتألّف المواد المحفورة أساساً من رواسب حبيبية غير متماسكة. ومن إجمالي الكمية المحفورة، يُتوقَّع إعادة استخدام نحو 8,500 م³ كمّواد ردم للخندق بعد تركيب خط أنابيب المصبّ. وتُعدّ المواد الأصلية مناسبة لهذا الغرض، ولا تُعتبَر خصائصها الهندسية حرجة، نظراً لأن الردم لا يؤدي وظيفة إنشائية. أما الكمية الفائضة المتبقية من المواد المحفورة، والبالغة نحو 11,500 م³، فسيُوزع التخلص منها خارج الموقع في موقع التخلص البري المحدد لهذا الغرض.

سيُعتمد الحجم النهائي لمواد التجريف على التصميم التفصيلي، والمنهجية الإنشائية النهائية للمقاول من الباطن، وظروف التربة الفعلية التي تُصادَف أثناء الإنشاء.

الشكل 2-9: المنطقة المجرّفة



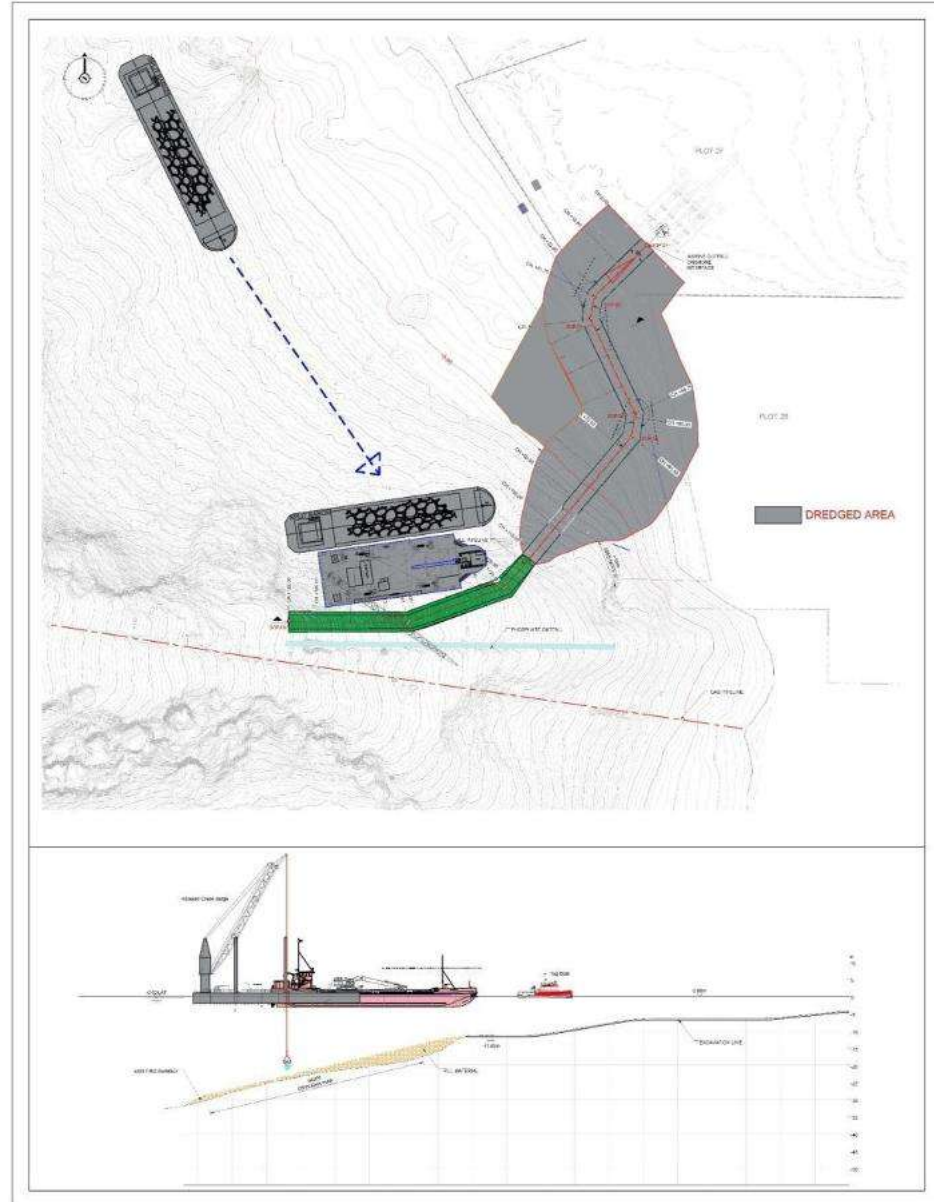
ستُنقل مواد التجريف إلى الشاطئ، حيث ستقوم حفّارة ذات ذراع طويلة بتفريغها أو تكديسها أو تحميلها على الشاحنات للتخلص منها في منطقة التخزين البرية أو لإعادة استخدامها، مع استخدام آلية تحميل (لودر) لدعم إدارة أكوام المواد.

2.5.4 تركيب خط الأنابيب

2.5.4.1 وضع فرشاة الحصى

ستُحمّل فرشاة الحصى، التي توفّر أساساً مستقراً ودعماً لخط الأنابيب عند مدّه على قاع البحر، على البارجة المسطحة في ميناء القوة البحرية الملكية وتُنقل إلى عرض البحر، حيث تُوضّع البارجة المسطحة بمحاذاة بارجة الرافعة (الشكل 2-10). وستنقل بارجة الرافعة الحصى باستخدام كباشة صدفية هيدروليكية وتضعه تحت الماء على امتداد المسار، مع التحكم في العملية وضبطها استناداً إلى بيانات المسح.

الشكل 2-10: وضع فرشاة الحصى



2.5.4.2 الأنابيب الأول والأنبوب المنحني وبقيّة خط الأنابيب

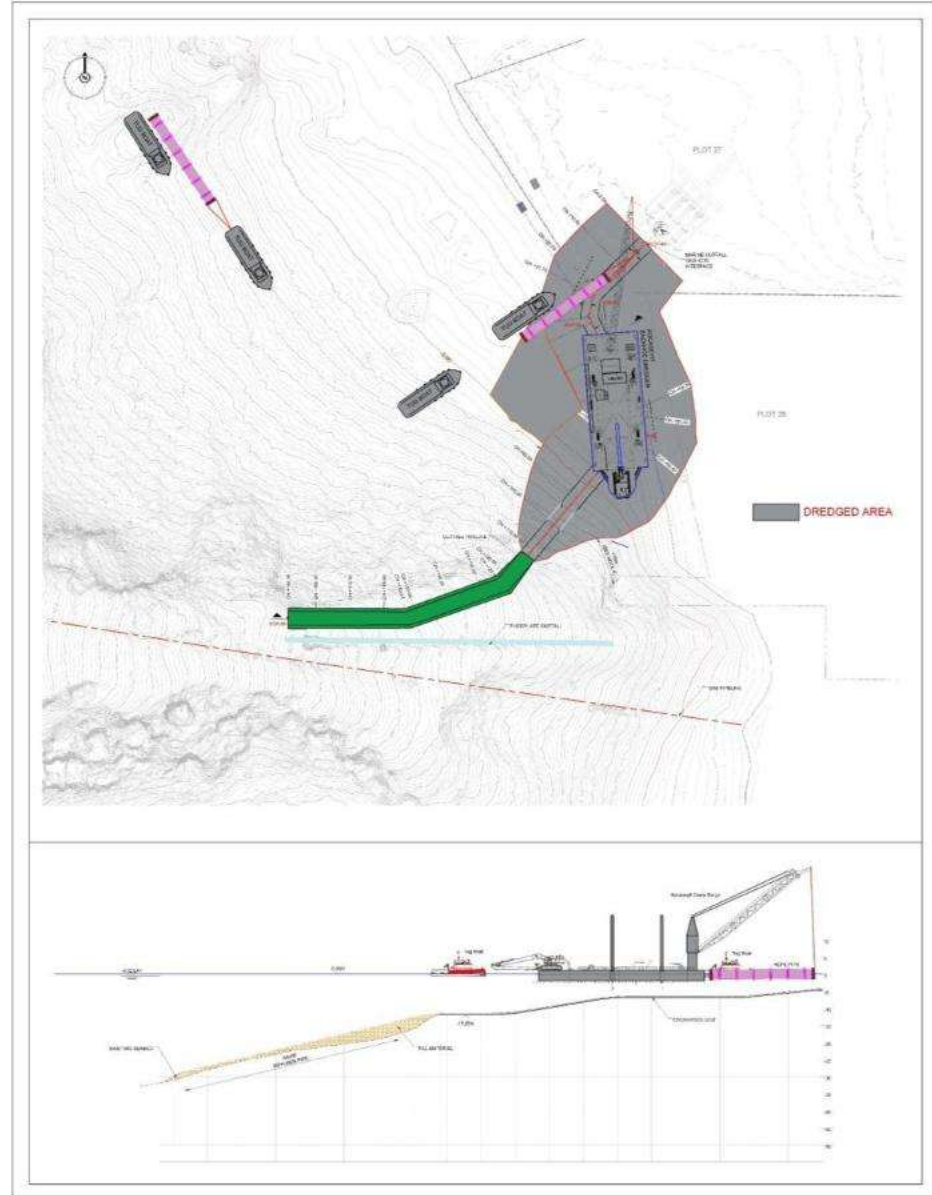
سيُقطر أول مقطع أنابيب مُجهّز من البولي إيثيلين عالي الكثافة (HDPE) من ميناء القوة البحرية الملكية إلى منطقة الربط بواسطة قاربي قطر أمامي وخلفي. وعند الوصول، سيُسَلَّم قارب القطر الأمامي حبل السحب إلى بارجة الرافعة المتمركزة داخل الخندق المُجَرَّف بالقرب من نقطة الربط مع محطة التحلية. وستقوم بارجة الرافعة وقارب القطر الخلفي بمحاذاة مقطع الأنابيب المُثَقَّل، الذي سيُغمر بعد ذلك تدريجياً ويُربط بواجهة الربط مع محطة التحلية (الشكل 2-11).

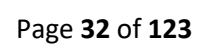
سيُورّد مقطع الانحناء المُجمّع مسبقاً، مع كتل الثقل الخاصة به ومواد الفرشة الواقعة أسفله، بواسطة البارجة المسطحة، ثم ترفعه بارجة الرافعة وتُنزله إلى موضعه بمساعدة الغواصين (الشكل 2-12).

سُتَرْكَب مقاطع خط الأنابيب المتبقية، المَزوَّدة مسبقاً بكتل الثقل، باتِّباع الطريقة ذاتها (الشكل 2-13). وستُنزَل بارجة الرافعة كل مقطع من مقاطع الأنابيب وتُحاذيه تحت الماء، مع قيام الغواصين بدعم عمليات تحديد الموضع والربط، وتطبيق ضوابط ورصد مُعزَّزين في المياه الأعماق.

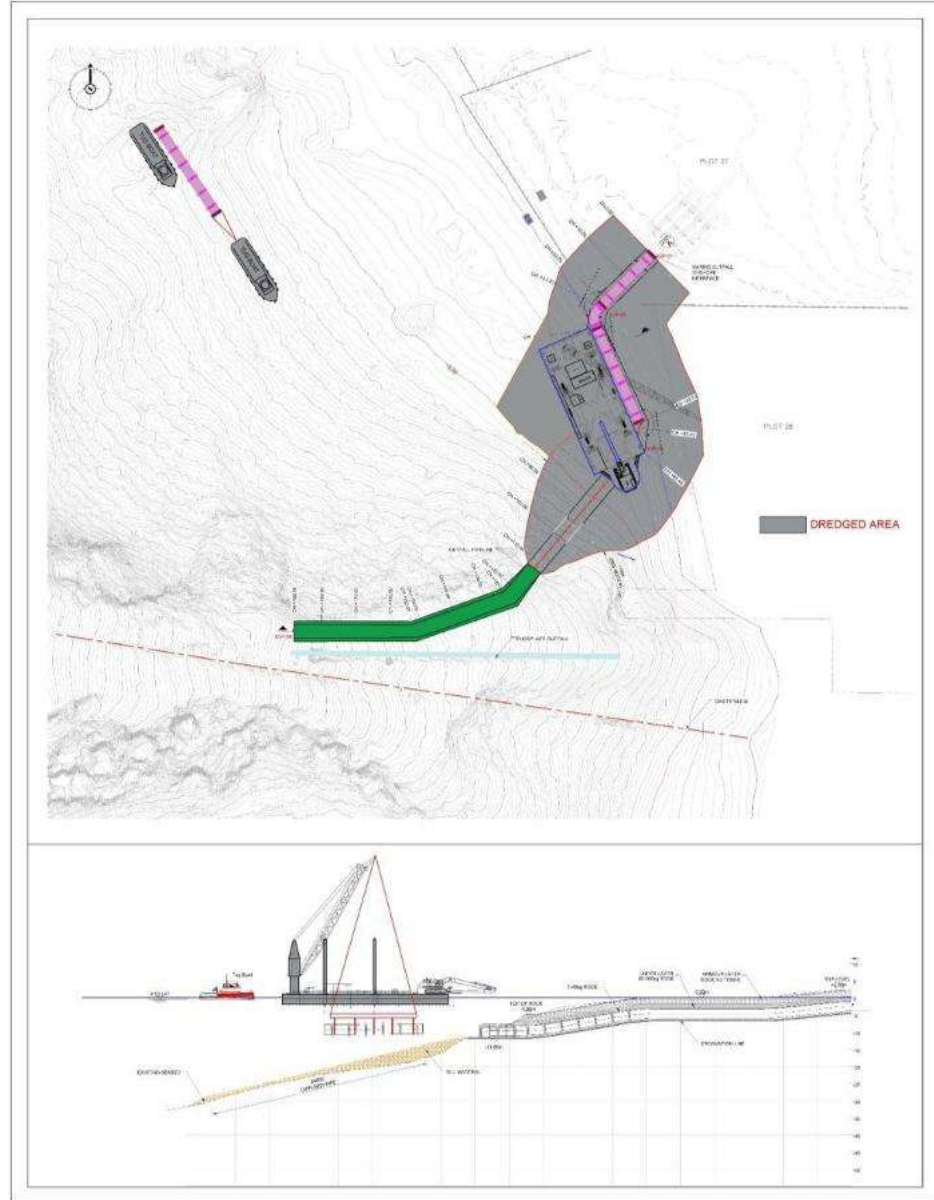
سيُجمَع نظام خط الأنابيب باستخدام وصلات شَقِيَّة (فلنجات): إذ سَتُرَبَط مقاطع الأنابيب المنفردة وقطع الانحناء والقطع الانتقالية عبر وصلات شَقِيَّة مُنْبَتَّة بالبراغي، مما يُتيح تركيباً مُحكَّماً في عرض البحر ويُسهِّل المحاذاة أثناء التجميع.

الشكل 2-11: تركيب الأنابيب الأول





الشكل 2-13: تركيب بقية خط الأنابيب



يجري النظر في طريقة بديلة قائمة على الجاذبية المتعادلة، يُحتفظ فيها بمقطع الأنابيب في حالة طفو متعادل باستخدام وحدات طفو مُتحكَّم بها وعوامات مملوءة بالهواء ومُنظَّمة. وعند اقترانها بالرصد الآني باستخدام النظام العالمي لتحديد المواقع (GPS)، تتيح هذه الطريقة تحكماً دقيقاً في المحاذاة والمنسوب، مع تقليل الاعتماد على معدات الرفع الثقيلة.

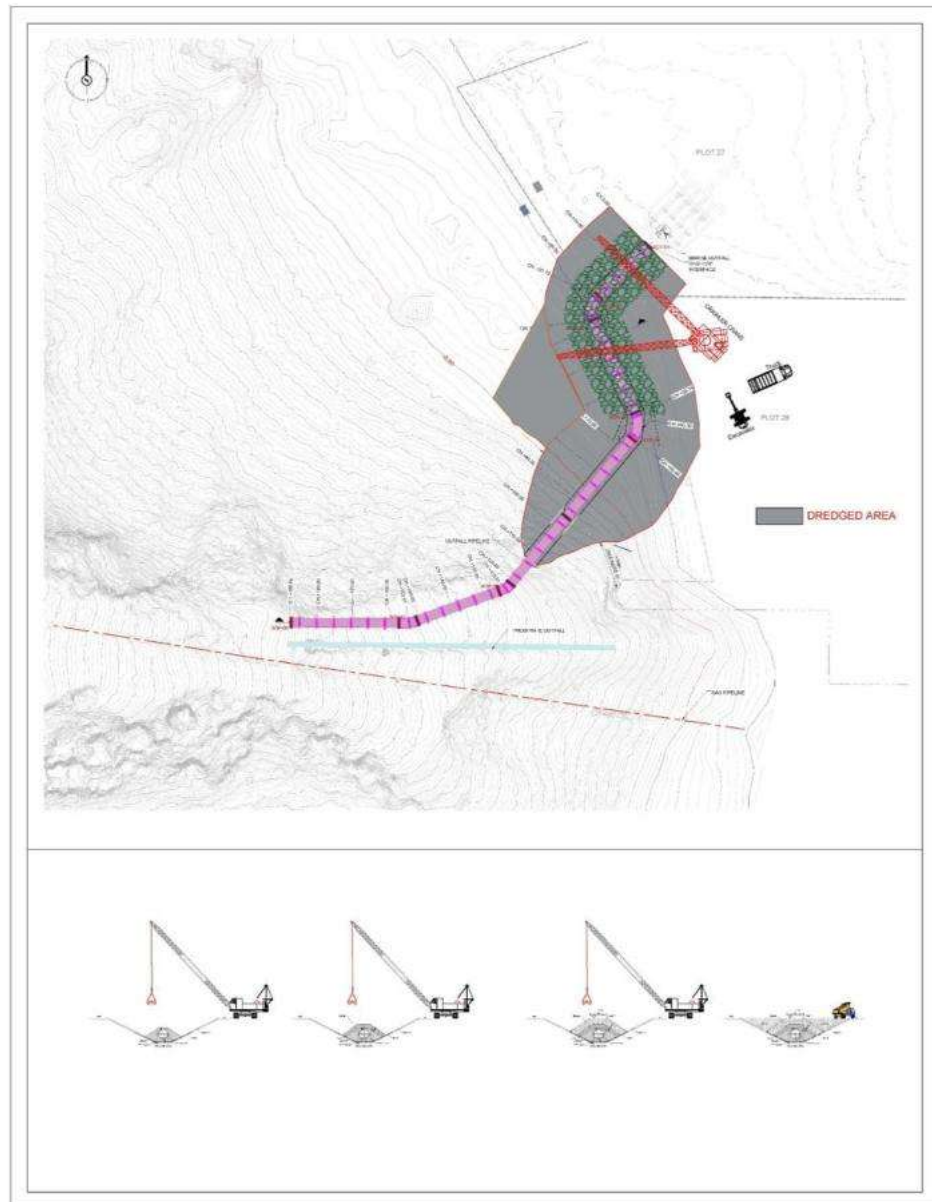
2.5.5 الردم والحماية الصخرية والمنشآت الانتقالية

بين نقطتي المسافة الطولية 0 و60، تُوضَع الحماية الصخرية ومواد الردم من الشاطئ باستخدام رافعة مجهزة مزودة بكباشة صدفية أو ملقط، حيث تُنقل المواد من أكوام التخزين بالشاحنات وتُناول بدعم من حفارة، وتُمسَح مناطق الوضع مسبقاً، وتُنَفَّذ الأعمال ضمن المسار والتفاوتات المسموح بها المحددة (الشكل 2-14).

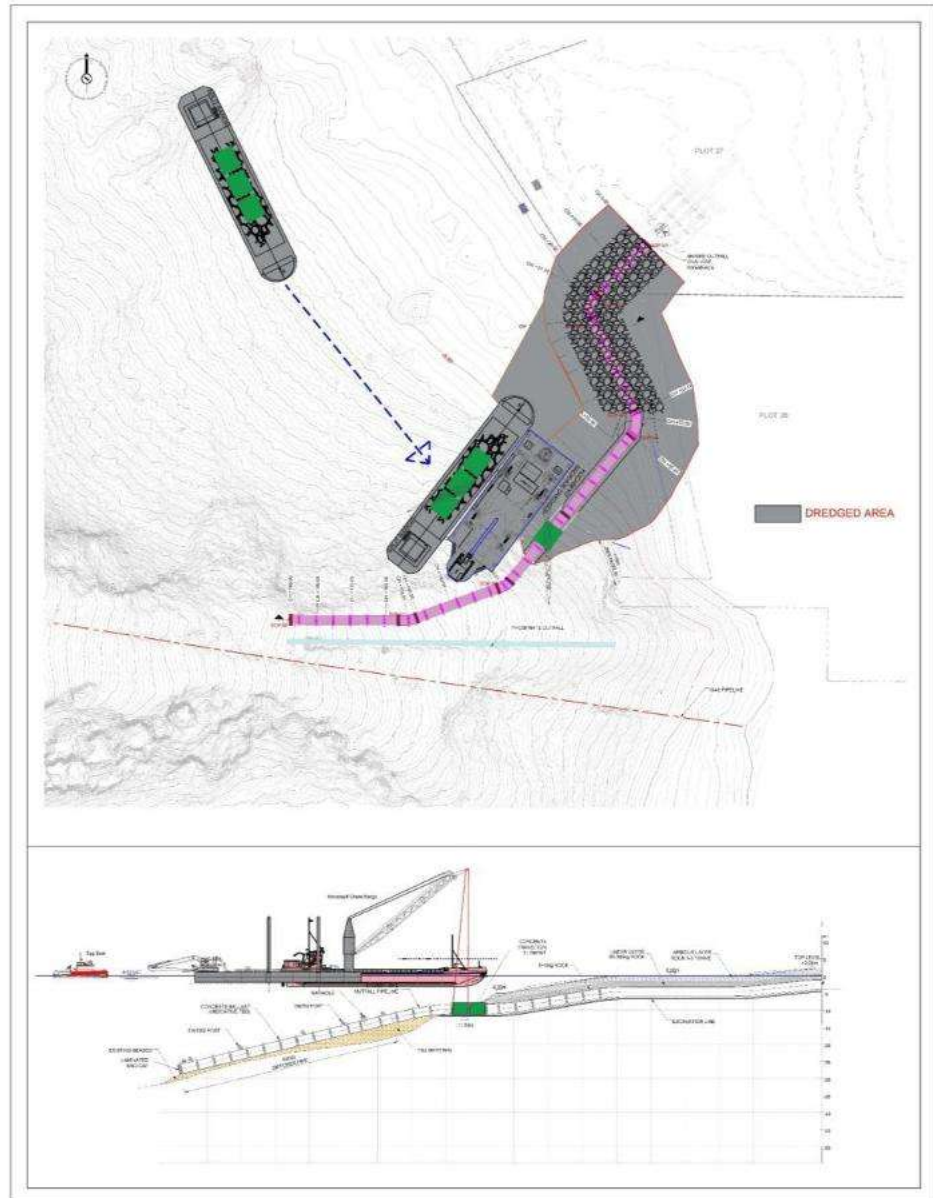
سيُنقل العنصر الانتقالي مسبق الصب من ميناء القوة البحرية الملكية بواسطة البارجة المسطحة، ثم ترفعه بارجة الرافعة وتنزله إلى موضعه، ويُثبت بمساعدة الغواصين (الشكل 2-15).

بين نقطتي المسافة الطولية 60 و110، تُنَفَّذ الأعمال المماثلة في عرض البحر انطلاقاً من بارجة الرافعة، حيث تُجلب المواد بواسطة البارجة المسطحة وتُوضَع تحت الماء تحت رقابة المسح (الشكل 2-16).

الشكل 2-14: الحماية الصخرية والردم (المسافة الطولية 0-60)



الشكل 2-15: تركيب العنصر الانتقالي مسبق الصب





3 معلومات خط الأساس

3.1 القيود والخطوات التالية

يُلخّص الجدول 3-1 أدناه أعمال المسوحات والدراسات البيئية المخطط لها لتوفير بيانات إضافية لخط الأساس قبل الإنشاء. وقد صُمّمت هذه المعلومات لتعزيز بيانات خط الأساس للتنوع الحيوي، وستوفر المعلومات اللازمة لتحسين تقييم الأثر، والتخطيط لإجراءات التنوع الحيوي، وإدارة الموائل، وخطة الرصد البيئي طويل الأمد، وخطة إدارة الأعمال الإنشائية البحرية (التي ستركّز على إدارة التجريف وفعالية الضوابط مثل ستائر الرواسب)، كما ستدعم خطة الإدارة التكيفية الموضحة في القسم 7.

الجدول 3-1: ملخص المسوحات والدراسات البيئية الإضافية قبل الإنشاء

النشاط	الحالة	ملخص النطاق	كيفية دعمه للتقييم
رصد عيّنات الرواسب والمياه	يُستكمل المسح في الربع الرابع من عام 2026	- أخذ عيّنات الرواسب والمياه - إنشاء محطات رصد طويلة الأمد	توفير بيانات إضافية لخط الأساس عن الخصائص الفيزيائية والكيميائية للرواسب والمياه
مسح عمود انتشار الرجيع الملحي باستخدام المركبة المُشغّلة عن بُعد (ROV) – لدعم المسح بالفيديو المُنزّل الذي تم إنجازه	- المركبة المُشغّلة عن بُعد (ROV) قيد الإصلاح - يُستكمل المسح في الربع الرابع من عام 2026	- مقاطع مسحية بالتصوير تحت الماء - إنشاء محطات رصد طويلة الأمد	- جمع بيانات تفصيلية وقابلة للقياس الكمي لخط الأساس عن حالة الركيزة والمرجان وصحته، لدعم التقدير الكمي للأثر بدقة أعلى وتقييم الخسارة/المكسب ضمن خطة عمل التنوع الحيوي (BAP) - إنشاء مواقع رصد طويلة الأمد للأثار التشغيلية - وتحديد الحاجة إلى الإدارة التكيفية في حال تجاوزت الآثار المرصودة تلك المتوقعة
دراسة مخبرية لتعرّض المرجان	- الدراسة: تبدأ في الربع الرابع من عام 2026 - التحليل السريع: تتوفر النتائج المرحلية في أواخر الربع الرابع - التحليل التفصيلي: في الربع الرابع من عام 2027	- اختيار أنواع المرجان/أشكال نموه من داخل نطاق عمود انتشار الرجيع الملحي المُمنّج، وإعداد منظومات الاختبار/ظروف الاختبار المخبرية - رصد استجابة المرجان باستخدام مؤشرات غير إتلافية على فترات مخطط لها ومنتظمة	تقييم قدرة المرجان على تحمّل مستويات الملوحة وتراكيز الحديد البيئية المتوقعة ضمن عمود انتشار الرجيع الملحي، والتأكد من قدرته على التحمّل
دراسة ميدانية لاستقرار المرجان	- الدراسة: تبدأ في الربع الرابع من عام 2026 - التحليل السريع: تتوفر النتائج المرحلية في أواخر الربع الرابع - التحليل التفصيلي: في الربع الرابع من عام 2027	- تركيب ألواح الاستقرار داخل بحيرة المآخذ ومنطقة أثر عمود انتشار الرجيع الملحي، وفي محطات المراقبة الضابطة - رصد استقرار المرجان على فترات مخطط لها ومنتظمة	- التحقق مما إذا كانت هناك تقلبات موسمية في تكاثر المرجان - تسجيل أنماط استقرار المرجان في منطقة الدراسة، مع التركيز على منطقة أثر الانجراف إلى المآخذ والآثار طويلة الأمد لعمود انتشار الرجيع الملحي على استقرار المرجان وبقائه

يهدف رسم خرائط منطقة عمود انتشار الرجيع الملحي بالفيديو المُنزَل إلى تمثيل التوزيع العام واسع النطاق لموائل قاع البحر ضمن منطقة مسح عمود انتشار الرجيع الملحي، ولا ينبغي تفسيره على أنه تحديد دقيق لمستعمرات المرجان المنفردة أو التواءات الشعابية المعزولة أو يقع الرواسب الصغيرة. وكما هو مُقرّر به في مواضع أخرى من رسم خرائط الموائل الخاص بالمشروع، ينبغي اعتبار حدود الموائل المتوقعة حدوداً انتقالية لا فاصلة حادة، كما تزداد درجة عدم اليقين في المناطق الواقعة بين مواقع أخذ العينات التي رُصدت مباشرة.

يفترض رسم الخرائط أن الصور الثابتة الثلاث إلى الخمس المختارة في كل محطة من محطات المسح بالفيديو المُنزَل (DDV) تُمثّل الموئل الذي رُصد في تلك المحطة، وأن تصنيف الموئل الناتج يُمثّل على نحو كافٍ الطابع السائد لقاع البحر في ذلك الموقع. وبالتالي، قد لا يكون عدم التجانس على النطاق الصغير الواقع خارج الصور المختارة ممثلاً كاملاً ضمن التصنيف المُسنَد إلى المحطة. كما أن الاقتصار على استخدام المعلومات المستمدة من مسبار الصدى متعدد الحزم ومؤشر وعورة التضاريس (TRI) كمتغيرات تنبؤية يعني أن التنبؤ بالموائل يستند بالدرجة الأولى إلى مورفولوجيا قاع البحر وتعقيده البنيوي. ولم تُدمج في هذا التصنيف بشكل صريح متغيرات بيئية أخرى قد تؤثر في توزيع الموائل القاعية، مثل خصائص الرواسب، أو الانحدار، أو شدة التشتت المرتد، أو العمق، أو الظروف الهيدروديناميكية، أو جودة المياه، ما لم تكن ممثلة بصورة غير مباشرة ضمن مجموعات البيانات المُدخلة. ولذلك ينبغي تفسير الخريطة على أنها تنبؤ قائم على العلاقة بين الموائل المرصودة والمتغيرات الجيوفيزيائية المتاحة، وليس تمثيلاً حتمياً لوجود الموائل.

يُتوقع أن تكون درجة عدم اليقين في خريطة الموائل في أعلى مستوياتها بين محطات المسح بالفيديو المُنزَل (DDV) المتباعدة، وحول مناطق الانتقال بين أنواع الموائل، وحيث قد يختلف موقع الكاميرا على قاع البحر اختلافاً جوهرياً عن موقع السفينة المُسجّل بواسطة النظام العالمي لتحديد المواقع (GPS)، وحيث تتشابه خصائص الموائل المختلفة من حيث بيانات مسبار الصدى متعدد الحزم (MBES) أو وعورة التضاريس.

وإجمالاً، توفر هذه الطريقة وسيلة قابلة للتكرار لدمج الملاحظات المنفصلة المستمدة من المسح بالفيديو المُنزَل (DDV) مع المعلومات المستمرة عن قاع البحر المستمدة من مسبار الصدى متعدد الحزم (MBES)، بهدف إعداد خريطة موائل واسعة النطاق لمنطقة عمود انتشار الرجيع الملحي. والخريطة ملائمة لتحديد التوزيع المكاني الرئيسي لفئات موائل المياه العميقة التي جرى رسم خرائطها، ولتوجيه التقييم المرحلي لتعرض الموائل ضمن نطاق عمود الانتشار المتوقع. وينبغي تحسينها، حيثما كان ذلك مناسباً، حال توفر معلومات التحقق الميداني الإضافية من مسح المركبة المُشغلة عن بُعد (ROV) المخطط له.

3.2 نظام مأخذ مياه البحر

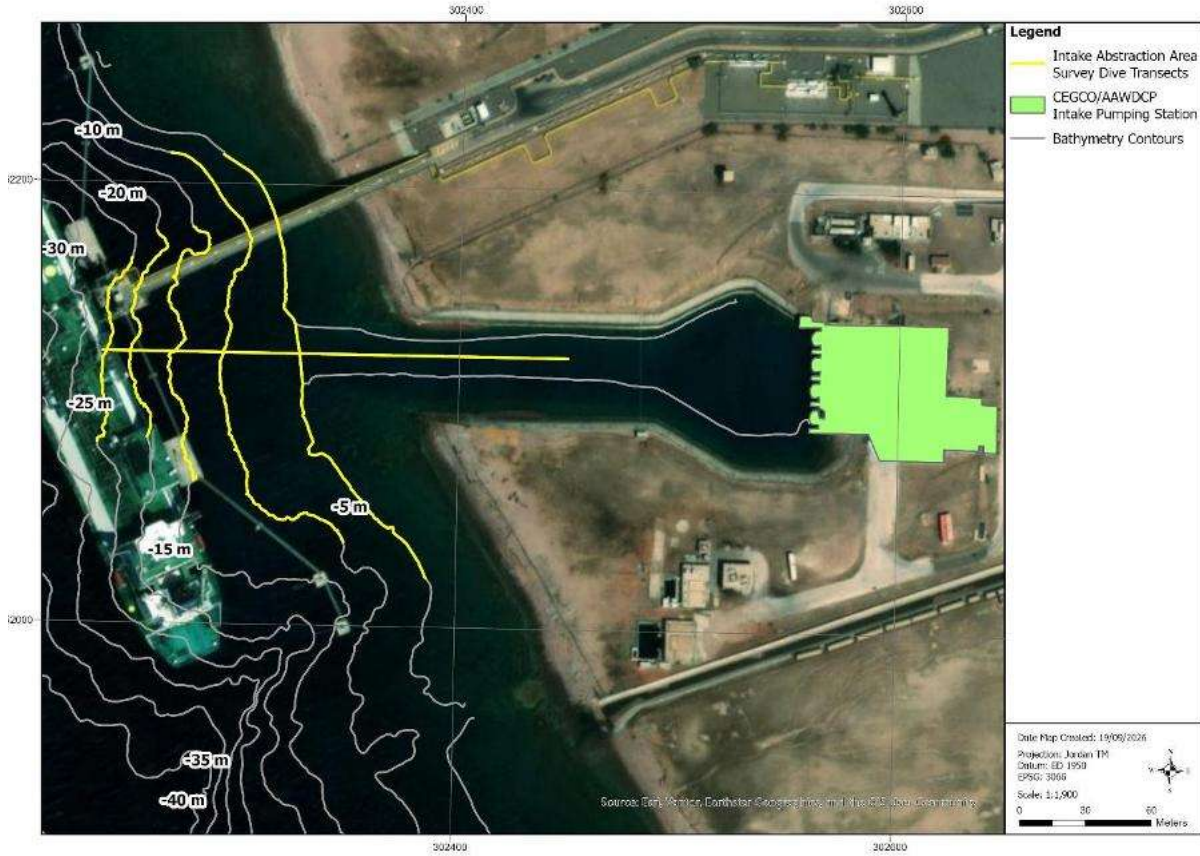
يعرض هذا القسم ملخصاً للنهج المتبع والنتائج المستخلصة من مسح المقاطع المسحية بالغوص الذي أُنفِذ في تموز 2026 (الشكل 3-1)، والذي ركّز على منطقة سحب المياه التابعة لنظام مأخذ مياه البحر. وسيصدر تقرير فني لخط الأساس. وقد اتبع المسح خطة منظمة لتصنيف خصائص الكائنات الحية الموجودة عبر المنطقة التي شملتها نمذجة منطقة السحب عند المأخذ؛ انظر الشكل 3-2. وقد أتاح هذا التصميم المنظم جمع بيانات عن الكائنات الحية الموجودة من مواقع وأعماق معروفة بالنسبة إلى مناطق معدلات التدفق المختلفة التي حددتها النمذجة.

جمعت محطة العلوم البحرية التابعة للجامعة الأردنية بيانات رسم خرائط الموائل باستخدام مقاطع مسحية بالغوص: أربعة خطوط كنتورية للأعماق (5–20 م) إضافة إلى مقطع مسحي متعامد في البحيرة يمتد عبر جميع مناطق التدفق عند المأخذ. وقد صُوّر الغواصون مربعات عيّينات بأبعاد 0.5 م كل 2 م، ومربعات عيّينات مُسنّدة جغرافياً بأبعاد 1 م كل 10 م. وأنفِذ التحليل باستخدام برنامج BIIGLE، وأُجريت عمليات ضمان الجودة للتحقق من فئات الموائل المُسنّدة وتقديرات النسب المئوية للغطاء.

جرى التنبؤ بتوزيع الموائل عبر بحيرة المأخذ والمياه المجاورة من خلال الربط الإحصائي بين عيّينات التحقق الميداني والطبقات الجيوفيزيائية. وقد قيّمت صور المسح البالغ عددها 521 صورة من حيث الغطاء المرجاني وغطاء الأعشاب البحرية ونوع الركيزة، ثم أُسندت يدوياً إلى إحدى الفئات الست التالية: المرجان، والمرجان والأعشاب البحرية، والصخور، والركيزة المختلطة، والرمل، والأعشاب البحرية، بما يعكس الموئل السائد بدلاً من الاعتماد على عتبات ثابتة. وولدت مناطق التدريب ذات النطاقات العازلة بصمات إحصائية، وأنتجت أداة التعلم الآلي «تصنيف الغابة العشوائية (Random Forest)» الخريطة النهائية.

تمثّلت الاستراتيجية الشاملة لتفسير البيانات في تقييم كيفية تأثير معدلات التدفق على الكائنات الحية داخل بحيرة المأخذ ومنطقة السحب. وتمثّل عنصر إضافي في إنشاء سلسلة من مواقع المسح الدائمة التي يمكن رصدها دورياً لتحديد أي آثار طويلة الأمد لسحب المياه بعد بدء تشغيل محطة ضخ المأخذ (IPS).

الشكل 3-1: المقاطع المسحية في منطقة السحب عند المأخذ

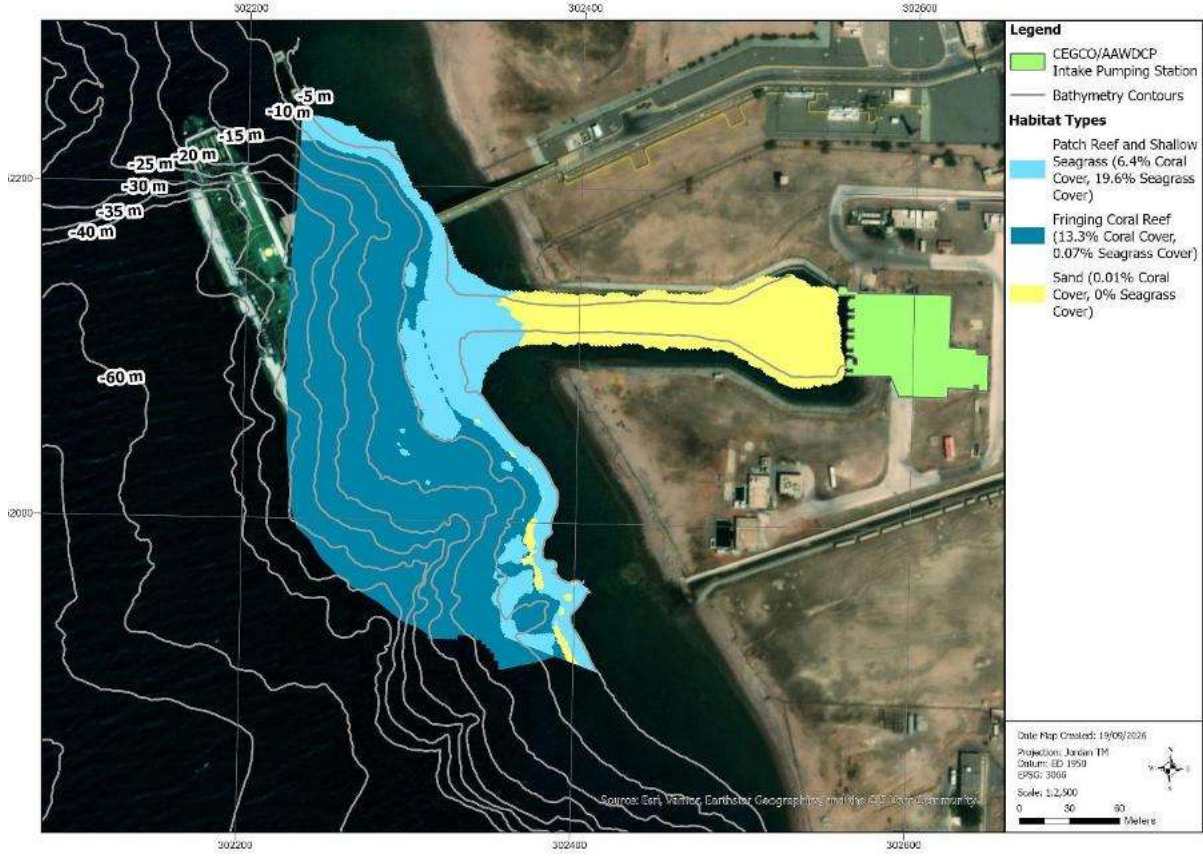


3.2.1 نتائج المسح

يرد التفسير الناتج للموائل في الشكل 3-2. وقد حُدِّت ثلاثة موائل ضمن منطقة السحب عند المأخذ:

- الرمل، ويبلغ متوسط الغطاء المرجاني فيه 0.01%، في حين كان غطاء الأعشاب البحرية صفراً
- الشعاب المرجانية البقعية والأعشاب البحرية الضحلة، ويبلغ متوسط الغطاء المرجاني فيها 6.4%، في حين بلغ غطاء الأعشاب البحرية 19.6%
- الشعاب المرجانية الهامشية، ويبلغ متوسط الغطاء المرجاني فيها 13.3%، في حين بلغ غطاء الأعشاب البحرية 0.07%

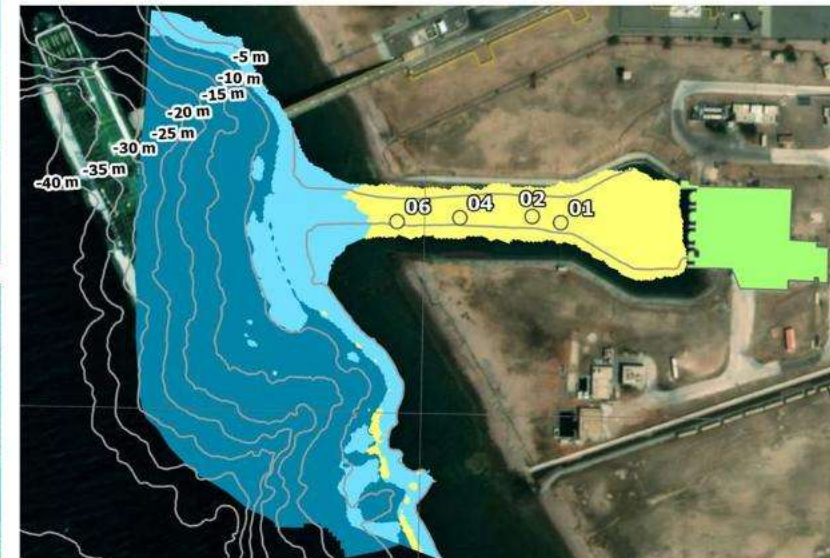
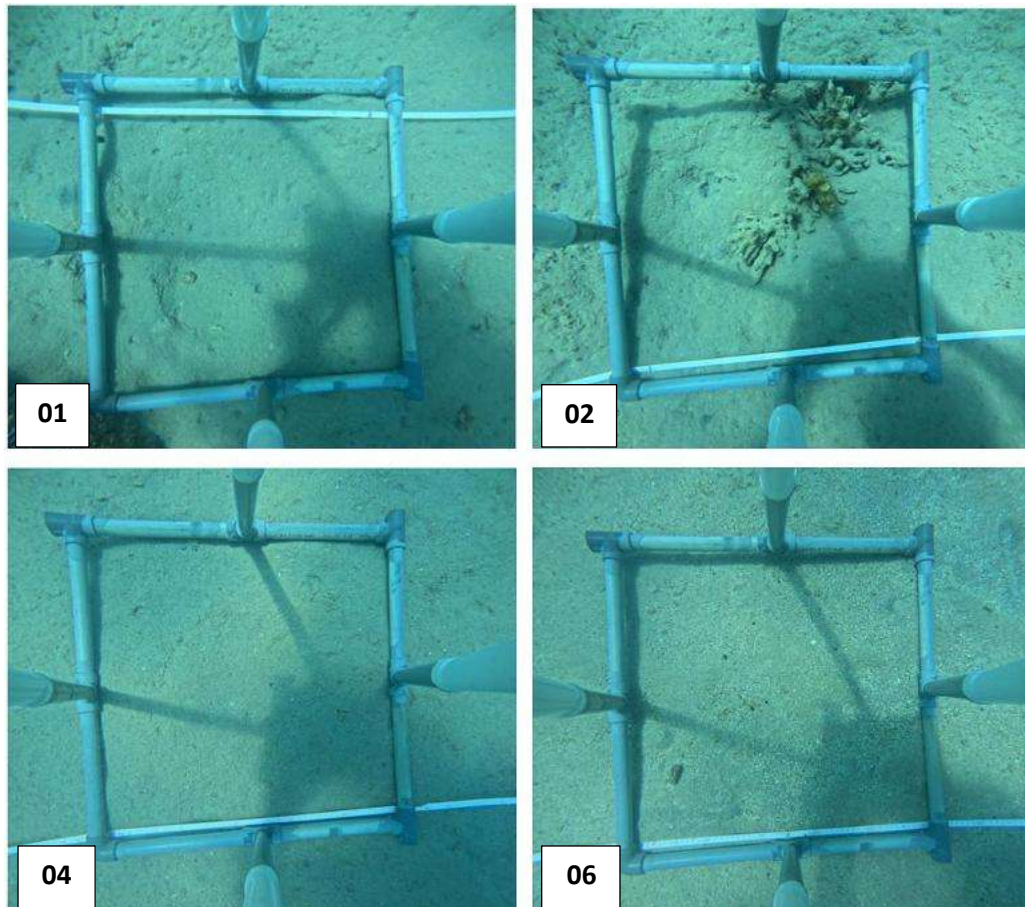
الشكل 3-2: رسم خرائط الموائل في منطقة السحب عند المأخذ



3.2.1.1 الرمل

تميّز الموئل الرملي بقاع بحري غير متماسك بالكامل تقريباً، إذ بلغ متوسط الركيزة الرخوة $1.4 \pm 99.8\%$ ، في حين لم تتجاوز الركيزة الصلبة $1.4 \pm 0.2\%$. وغابت الأعشاب البحرية عن جميع العينات المُسندة إلى هذا الموئل، ليبُلغ متوسط غطائها 0% . كما كان المرجان الصلب غائباً فعلياً، إذ لم يتجاوز متوسط الغطاء المرجاني الإجمالي $0.12 \pm 0.01\%$ ، ولم يُسجَل المرجان إلا في صورة واحدة من أصل 63 صورة. ورغم أن نسبة إشغال المرجان المحسوبة للركيزة الصلبة المتاحة بلغت نحو $6.6 \pm 4.7\%$ ، فإنها استندت إلى عيّنتين فقط تحتويان على أي ركيزة صلبة، ولذلك فهي لا تُمثّل الموئل بوجه عام. وبالتالي، فإن أفضل توصيف لهذه الفئة هو أنها قاع بحري رملي أجرد في معظمه ذو بنية حيوية محدودة جداً. وترد أدناه صور نموذجية ومواقع هذه الصور في الشكل 3-3.

الشكل 3-3: صور توضّح فئة المونيل الرملي



3.2.1.2 الشعاب المرجانية البقعية والأعشاب البحرية الضحلة

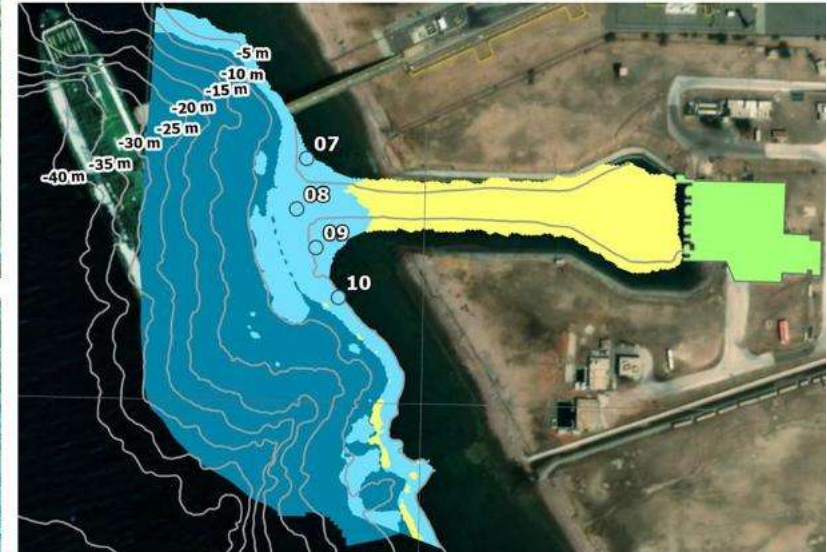
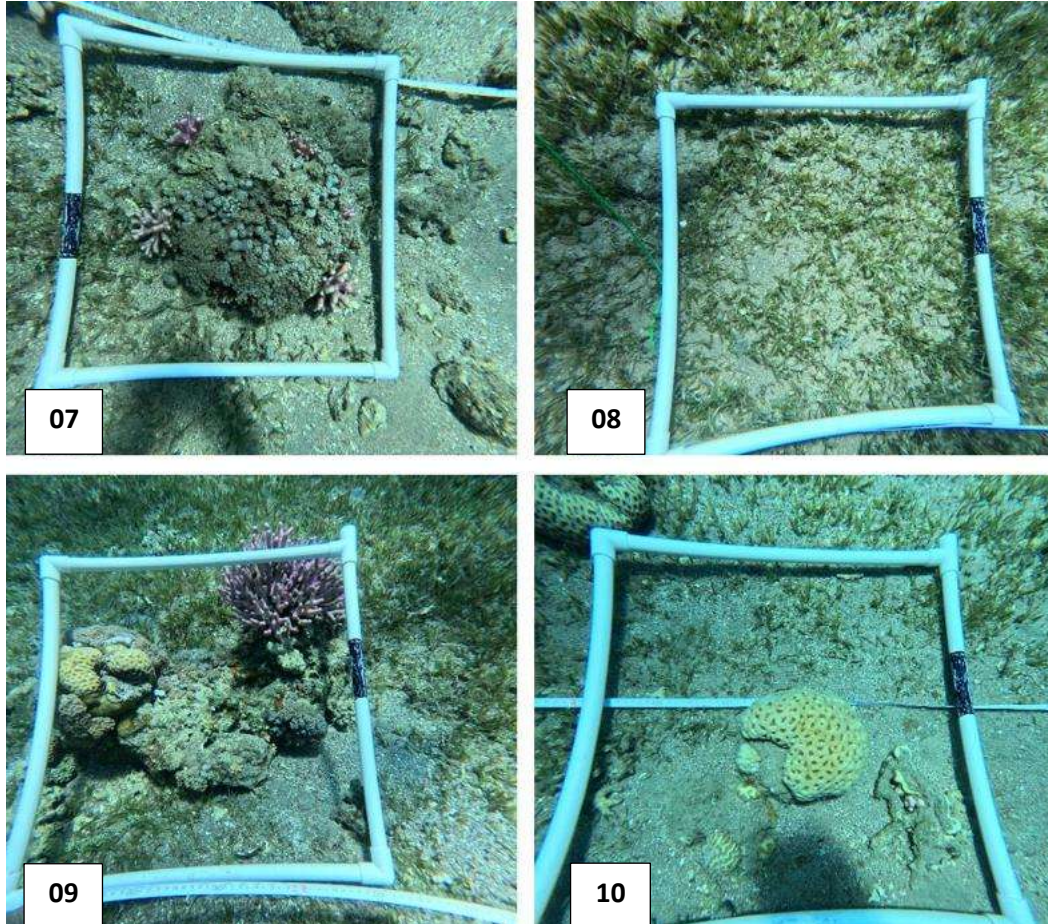
شكّل موئل الشعاب المرجانية البقعية والأعشاب البحرية الضحلة فسيفساء غير متجانسة في المياه الضحلة، تتألف في معظمها من ركيزة رخوة تتخللها بقع متفرقة من الركيزة الصلبة. وشكّلت الركيزة الرخوة في المتوسط $29.6 \pm 80.5\%$ من مساحة الصورة، في حين بلغ متوسط الركيزة الصلبة $29.6 \pm 19.5\%$.

شكّلت الأعشاب البحرية مكوّناً مميّزاً لهذا الموئل، إذ بلغ متوسط غطائها الإجمالي $22.3 \pm 19.6\%$ ، وإن كان تباينها الكبير يعكس التوزيع المتقطع للأعشاب البحرية ضمن المنطقة التي جرى رسم خرائطها.

سجّل المرجان الصلب متوسط غطاء إجمالي أدنى بلغ $13.2 \pm 6.4\%$ ، إلا أنه كان متطوراً بصورة جيدة محلياً على البقع الشعابية المتاحة. وحيثما وُجدت الركيزة الصلبة، شغل المرجان في المتوسط $26.4 \pm 32.9\%$ من الركيزة الصلبة المتاحة، في حين شغلت الأعشاب البحرية $23.5 \pm 22.5\%$ من الركيزة الرخوة المتاحة.

وبذلك يُمثّل هذا الموئل تجمّعاً مختلطاً ومتبايناً مكانياً من موائل الأعشاب البحرية الضحلة مع شعاب مرجانية بقعية متناثرة حاملة للمرجان، بدلاً من أن يكون مرجأ متصلاً من الأعشاب البحرية أو شعاباً متصلة. وترد أدناه صور نموذجية ومواقع هذه الصور في الشكل 3-4.

الشكل 3-4: صور توضح فئة موئل الشعاب المرجانية البقية والأعشاب البحرية الضحلة



3.2.1.3 الشعاب المرجانية الهامشية

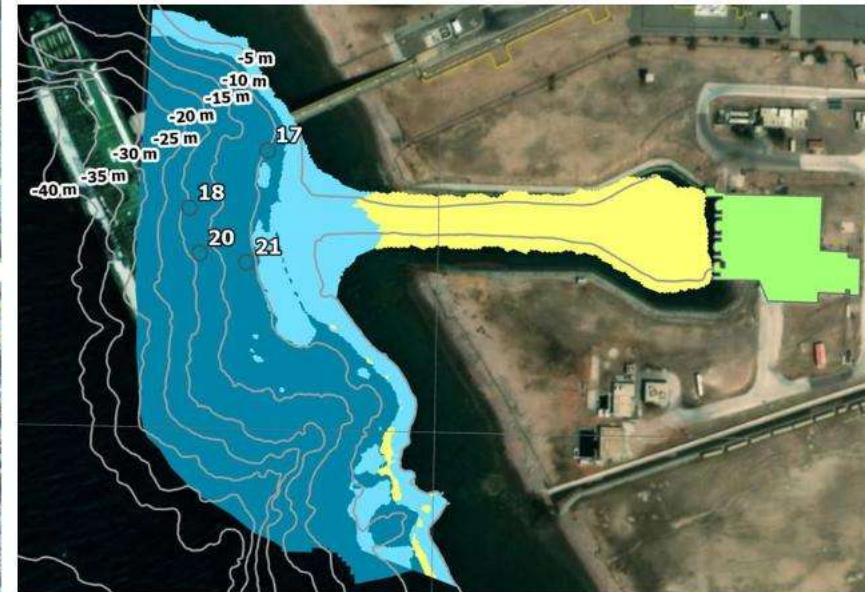
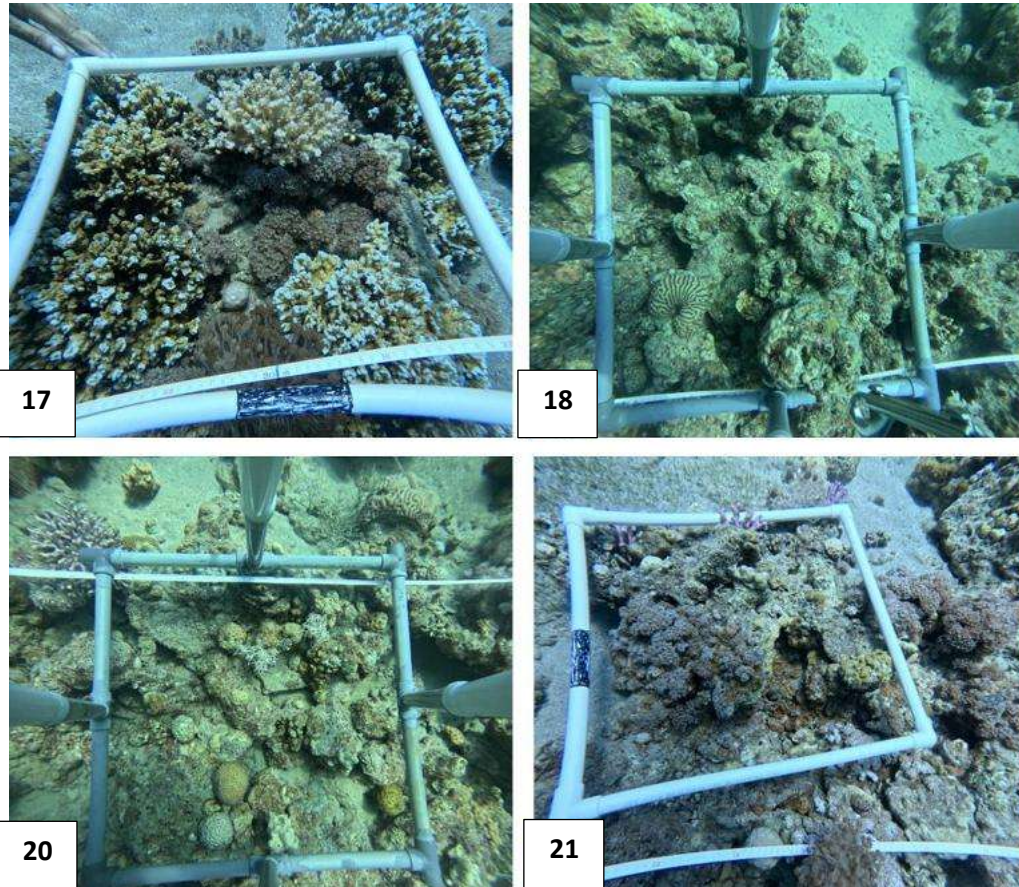
مثل موئل الشعاب المرجانية الهامشية الموئل الرئيسي الذي تهيم عليه الشعاب، واحتوى على نسبة أكبر بكثير من الركيزة الصلبة المكشوفة بلغ متوسطها $37.8 \pm 45.8\%$ ، في حين بلغ متوسط الركيزة الرخوة $37.7 \pm 54.0\%$ بين التكوينات الشعابية وداخل المنخفضات المملوءة بالرواسب.

كان المرجان الصلب واسع الانتشار، إذ بلغ متوسط غطائه الإجمالي $14.5 \pm 13.3\%$ ، وسُجِّل وجود المرجان في نحو 68% من العينات. وحيثما وُجدت الركيزة الصلبة، شغل المرجان في المتوسط $19.9 \pm 30.0\%$ من الركيزة الصلبة المتاحة.

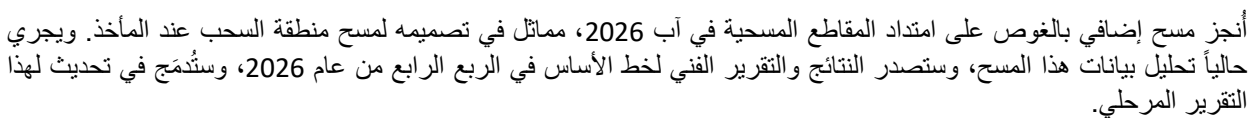
وفي المقابل، كانت الأعشاب البحرية غائبة فعلياً، إذ لم يتجاوز متوسط غطائها الإجمالي $0.70 \pm 0.07\%$ ، ولم تُسجَّل إلا في أربع صور فقط من أصل 279 صورة.

وبذلك يُمثِّل هذا الموئل بيئة شعابية حاملة للمرجان متصلة نسبياً، تتميز بتوفر أكبر للركيزة الصلبة وبغطاء مرجاني إجمالي أعلى بكثير مقارنة بفئات الموائل الأخرى التي جرى رسم خرائطها. وترد أدناه صور نموذجية ومواقع هذه الصور في الشكل 3-5.

الشكل 3-5: صور توضح فئة موئل الشعاب المرجانية الهامشية



الشكل 3-6: محطات أخذ العينات بالمركبة المشغلة عن بُعد (ROV)/الغواصين في مسح أيار 2026

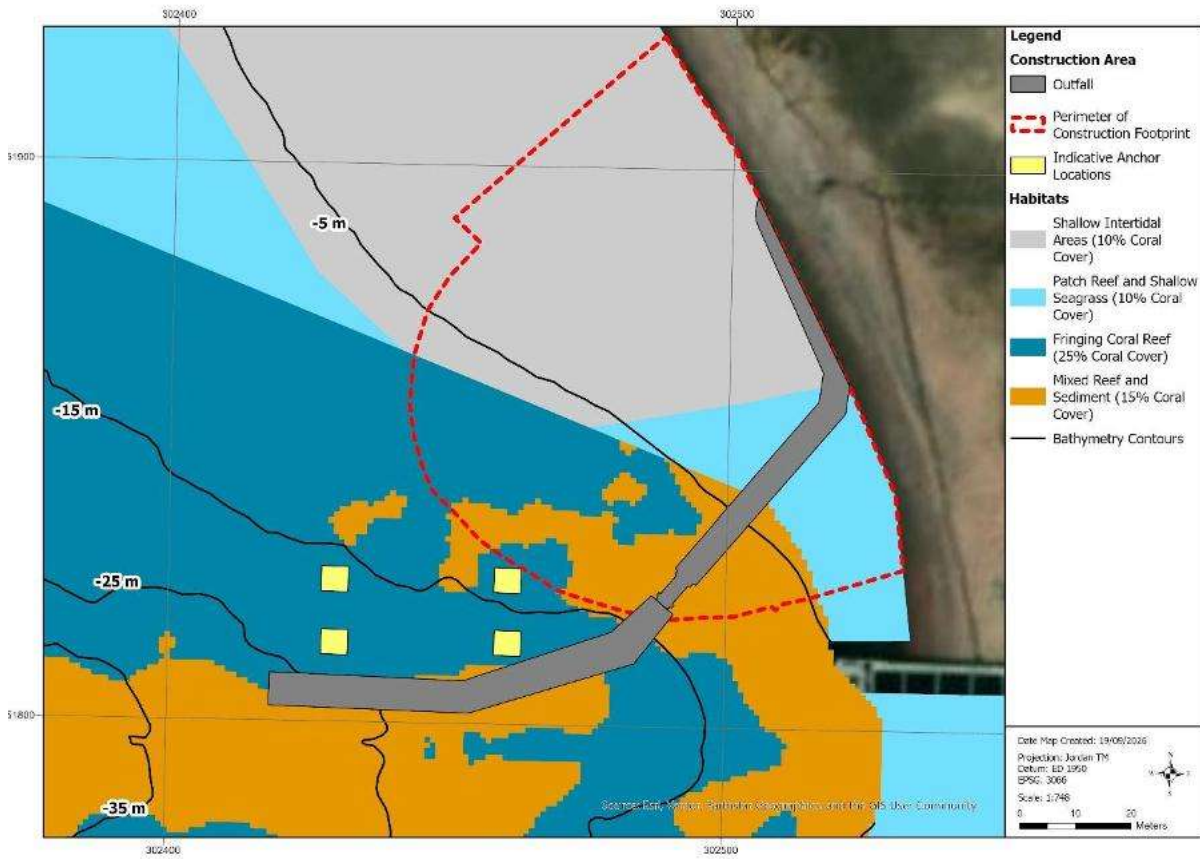


3.3.1 نتائج المسح

Page 46 of 123

- موئل منطقة المد والجزر الضحلة: تتألف بيئة منطقة المد والجزر في منطقة الإنشاء من خط ساحلي تهيمن عليه الحصى والصخور وتحده منشآت صناعية، مع موائل مرجانية مجزأة. ويوصى بإجراء مزيد من المسوحات قبل الإنشاء في هذه المنطقة. ويبلغ متوسط الغطاء المرجاني 10%.
- الشعاب المرجانية البقعية والأعشاب البحرية الضحلة: تتخلل مروج الأعشاب البحرية الضحلة مناطق رملية وبقع مرجانية منخفضة الارتفاع على الركاب، لتفسح المجال لمنطقة انتقالية يهيمن فيها المرجان ويُشكّل فسيفساء متداخلة من البقع. وتشير الرواسب المحفورة بالجحور إلى نشاط الكائنات الحية المستوطنة داخل الرواسب. ويبلغ متوسط الغطاء المرجاني 10%.
- الشعاب المختلطة: انظر أدناه، استناداً إلى المعلومات المستقاة من مسح أيار 2026. يبلغ متوسط الغطاء المرجاني 15%. وترد صور من المسح الذي أنجز في أيار 2026 في القسم 3.3.1.1
- الشعاب المرجانية الهامشية: انظر أدناه، استناداً إلى المعلومات المستقاة من مسح أيار 2026. يبلغ متوسط الغطاء المرجاني 25%. وترد صور من المسح الذي أنجز في أيار 2026 في القسم 3.3.1.2

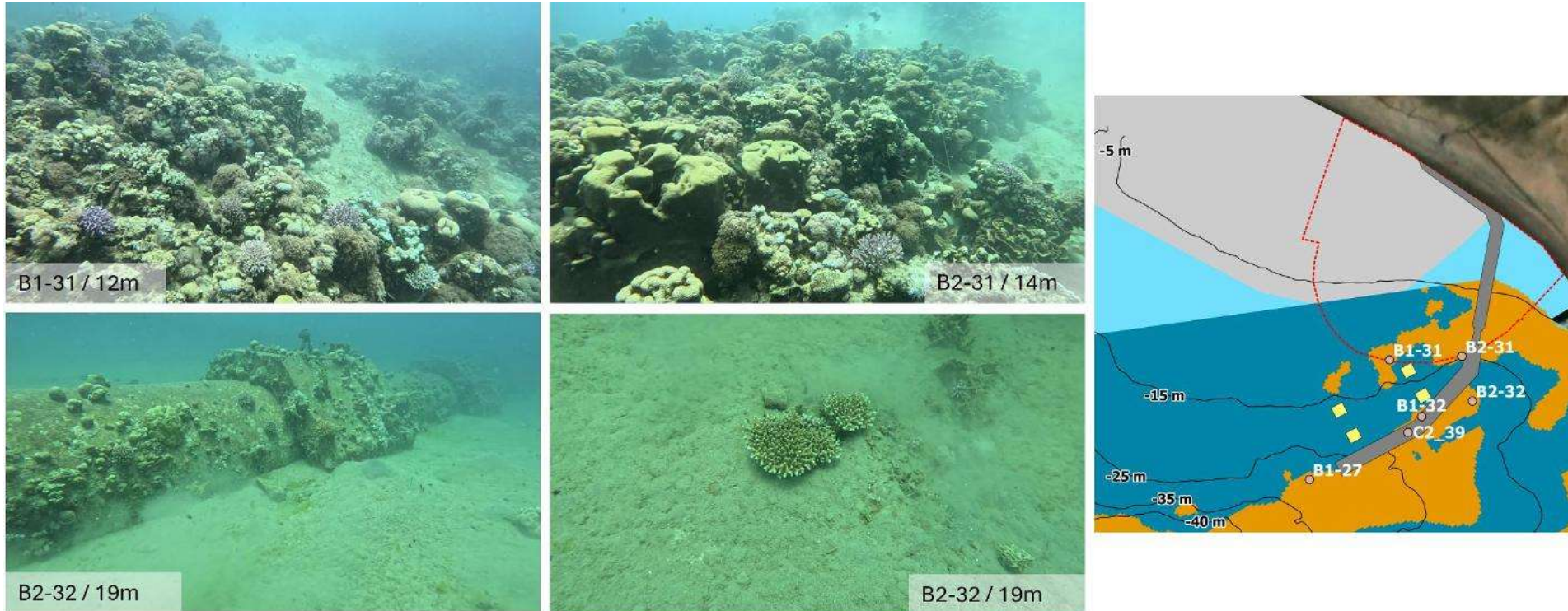
الشكل 3-7: خريطة الموائل المُحدّثة ومنطقة الإنشاء



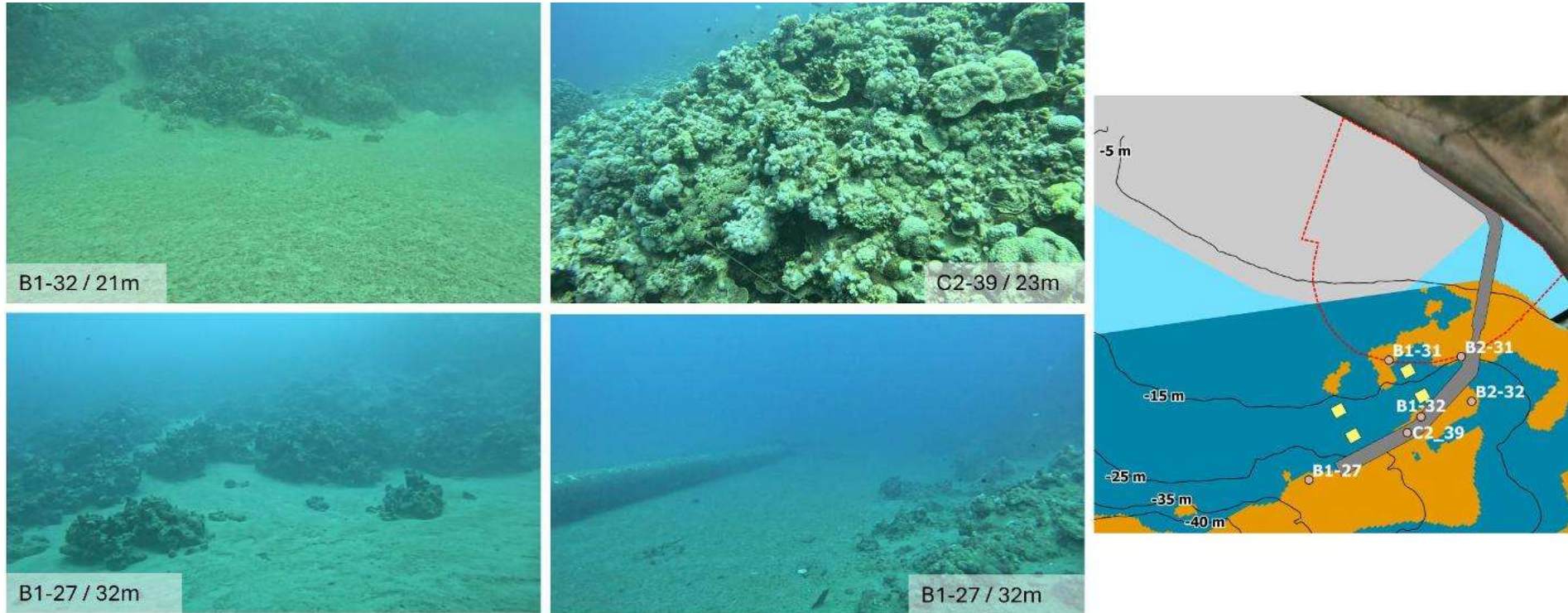
3.3.1.1 الشعاب المختلطة

في منطقة الأخدود الضحلة، تألف قاع البحر من مزيج من القاع الرملّي العاري والنتوءات المرجانية المتناثرة. وتفاوتت كثافة المرجان بين مستعمرات معزولة في وسط الأخدود، كما في المحطة B2-32، ومنتوءات صخرية أكثر امتداداً في محطات منها B1-32 و C2-39. وقد ازدادت هذه النتوءات عدداً وتلاصقاً باتجاه الحدود مع الشعاب المرجانية الهامشية، ولوحظ أنها تدعم تنوعاً أكبر في أنواع المرجان وأحجام المستعمرات والغطاء المرجاني. وترد صور تمثيلية في الشكل 3-8 والشكل 3-9.

الشكل 3-8: صور توضّح فنة موند الشعاب المختلطة (19-12 م)



الشكل 9-3: صور توضّح فئة موئل الشعاب المختلطة (21-39 م)



3.3.1.2 الشعاب المرجانية الهامشية

تألفت الشعاب المرجانية الهامشية الضحلة عموماً من ركيزة شعابية صلبة تتخللها منخفضات رملية متفرقة، وتقع حافة الشعاب عند منسوب يقارب -20 م. وقد دعم الجانب الشمالي من الأخدود، بما في ذلك المحطتان B1-26 و A2-21، تنوعاً عالياً من المرجان الصلب والمرجان الرخو بأحجام مستعمرات متفاوتة. أما الجانب الجنوبي من الأخدود، بما في ذلك المحطتان B1-34 و B1-29، فقد دعم غطاءً مرجانياً وتنوعاً أقل نسبياً، مع ميل المستعمرات إلى أن تكون أصغر حجماً. وترد صور تمثيلية في الشكل 3-10.

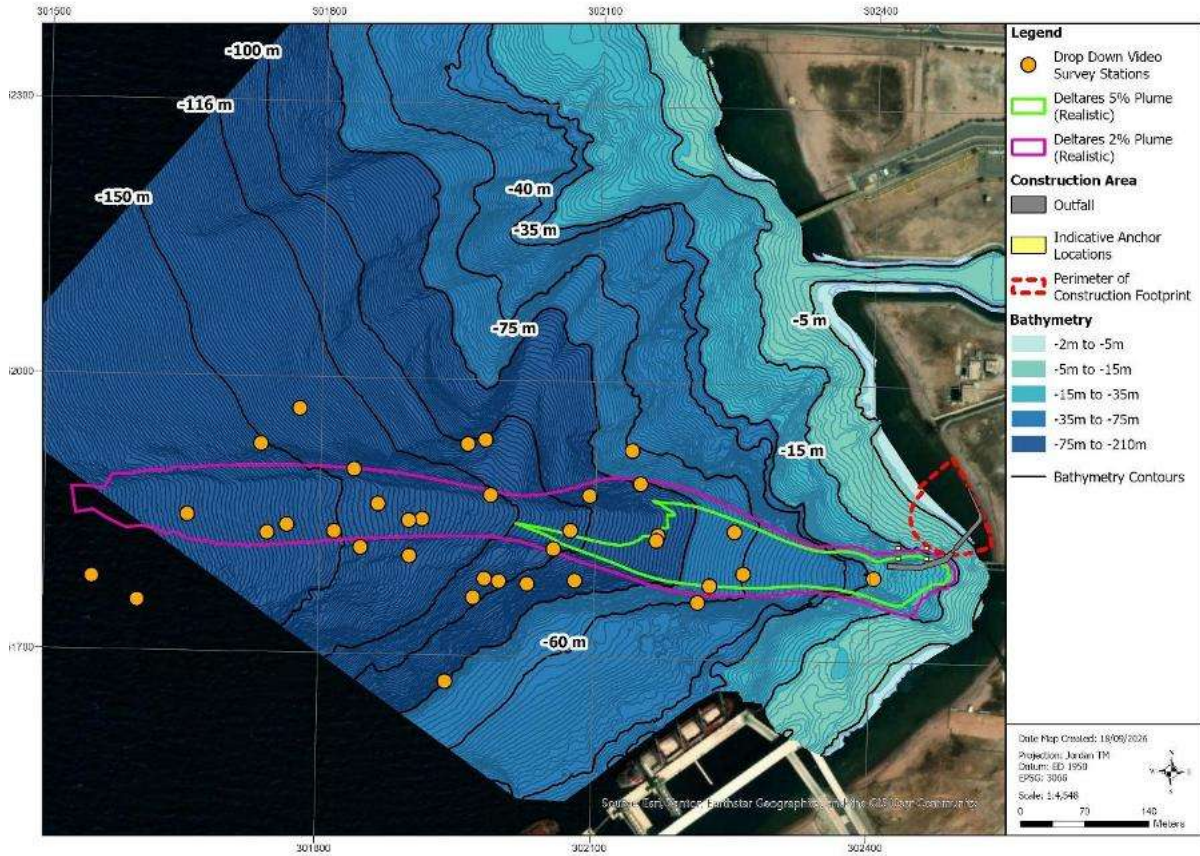
الشكل 3-10: صور توضح فئة موئل الشعاب المرجانية الهامشية الضحلة (21-16 م)



3.4 المسح بالفديو المُنزَل لمنطقة عمود انتشار الرجيع الملحي

من المقرر أن يبدأ المسح في 13 أيلول؛ ويُراد من نتائج المسح أن تتيح تأكيد أنواع الركيزة وأن توفر معلومات أفضل لتقييم الآثار الناجمة عن عمود الانتشار. وترد منطقة المسح في الشكل 3-11.

الشكل 3-11: مواقع المسح بالفديو المُنزَل



3.4.1 نتائج المسح

تشير خريطة الموائل الناتجة إلى قاع بحر غير متجانس ضمن منطقة مسح عمود انتشار الرجيع الملحي، إذ تشكّل فئات الموائل الثلاث المرسومة على الخريطة نطاقات واسعة يتداخل بعضها في بعض تدريجياً، بدلاً من وحدات منفصلة ذات حدود واضحة وحادة:

- الرمال، ويبلغ متوسط الغطاء المرجاني 0.05%
- الرمال/الرواسب العميقة والنتوءات الشعابية المعزولة، ويبلغ متوسط الغطاء المرجاني 0.07 %
- الشعاب المختلطة والرواسب، ويبلغ متوسط الغطاء المرجاني 3.79 %

وبوجه عام، يتسم نمط الموائل بفسيفساء من قاع بحري رسوبي ومناطق تزداد فيها درجة تعقيد قاع البحر، بدلاً من تدرّج نطاق بسيط من الشاطئ باتجاه عرض البحر؛ انظر الشكل 3-12. وتتبع الحدود الرئيسية للموائل على نحو عام معالم قاع البحر المستطيلة الظاهرة في بيانات التضاريس المستمدة من مسبار الصدى متعدد الحزم (MBES)، مما يشير إلى أن مورفولوجيا قاع البحر ووعورته من العوامل المهمة المتحكم في التصنيف التنبؤي. ويتسق وجود الأشرطة الضيقة والبقع المتخللة مع ملاحظات المسح بالفديو المُنزَل (DDV) التي بيّنت قاعاً بحرياً تغلب عليه الرواسب ويحتوي على كميات متفاوتة من النتوءات الشعابية.

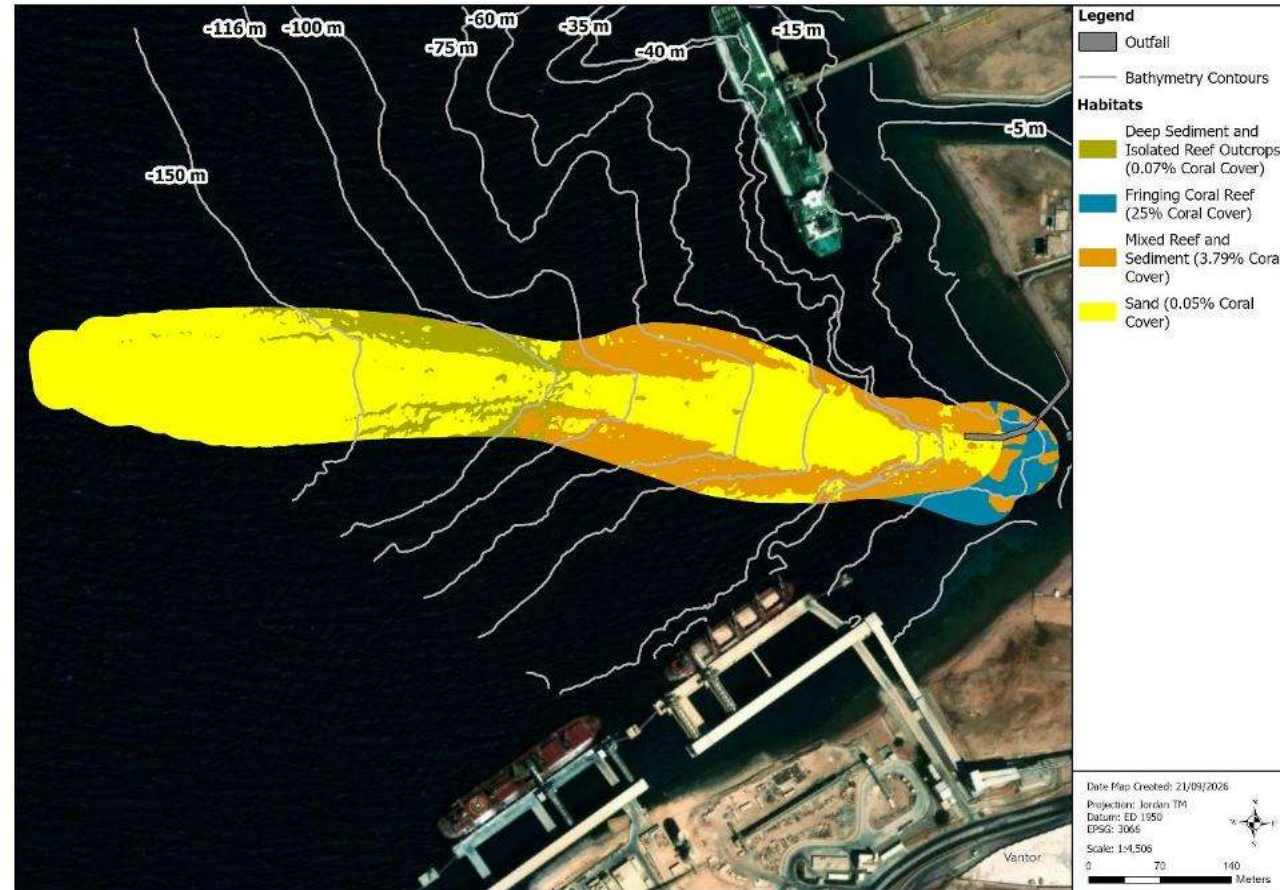
ينبغي اعتبار الحدود المرسومة على الخريطة حدوداً انتقالية لا حدوداً إيكولوجية دقيقة. وعلى وجه الخصوص، يحدّد التصنيف الموئل السائد المتوقّع استناداً إلى العلاقة بين ملاحظات المسح بالفيديو المُنزَل (DDV) وبيانات MBES ووعورة التضاريس. ومن ثمّ فهو يمثل التوزيع واسع النطاق لأنواع الموائل، ولا ينبغي تفسيره على أنه يشير إلى وجود النتوءات الشعابية أو غيرها من معالم الركيزة الصلبة بشكل متصل في جميع أنحاء المناطق المصنّفة ضمن فئتي الموائل المرسومتين على الخريطة «الرمال/الرواسب العميقة والنتوءات الشعابية المعزولة» أو «الشعاب المختلطة والرواسب».

في الأجزاء الأعمق من منطقة المسح التي لم تتوفر فيها تغطية كاملة بمسبار الصدى متعدد الحزم (MBES)، رُسمت خريطة توزيع الموائل بصورة تنبئية باستخدام ملاحظات المسح بالفيديو المُنزَل (DDV) المتاحة من أعماق وبيانات قاع بحر مماثلة. وقد اتّسمت مواقع العينات الأعمق هذه باستمرار بقاع بحري تغلب عليه الرمال، مع محدودية التباين الطبوغرافي أو الركيزة الصلبة المكشوفة. وعلى هذا الأساس، صُنّفت المناطق غير الممسوحة الواقعة على أعماق مماثلة على أنها رمال. ويُعدّ هذا التفسير متسقاً مع الطابع المتجانس عموماً لقاع البحر الأعمق الذي لوحظ في صور الفيديو المُنزَل، وإن كان ينبغي اعتبار هذه المناطق ذات مستوى أعلى من عدم اليقين في رسم الخرائط مقارنةً بالمناطق التي تستند فيها تنبؤات الموائل مباشرةً إلى كلّ من ملاحظات التحقق الميداني وبيانات التضاريس المتصلة المستمدة من MBES.

في الأقسام الأقرب إلى الشاطئ والأقل عمقاً من منطقة الدراسة التي لم تُؤخذ منها عينات خلال المسح الحالي بالفيديو المُنزَل (DDV)، جرى تمثيل توزيع الموائل باستخدام خرائط الموائل التي أُعدت بناءً على برنامج مسح أيار 2026. وقد وُفّر ذلك المسح ملاحظات بصرية مباشرة من الغواصين ومن تسجيلات الفيديو بواسطة المركبات التي تُشغّل عن بُعد/الفيديو المُنزَل (ROV/DDV)، واستُخدم لتحسين التفسير المكاني لموائل الشعاب الضحلة والشعاب المختلطة والرواسب ضمن منطقة الإنشاء والمناطق القريبة من الشاطئ. وقد جُمعت لاحقاً بيانات مسح أكثر تفصيلاً من هذه المناطق الأقل عمقاً، بما في ذلك مسح الخطوط المقطعية الإضافي بالغوص الذي أنجز في آب 2026، إلا أن تحليل هذه البيانات لم يُستكمل بعد. ولذلك ينبغي اعتبار خرائط الموائل المقدّمة في هذه المرحلة خرائط مرحلية. وستتم مراجعتها وتحديثها عقب استكمال معالجة العينات المتبقية وتحليلها، بحيث تتضمن خريطة الموائل النهائية جميع بيانات التحقق الميداني المتاحة من منطقتي المسح في المياه الضحلة والمياه العميقة على حدٍ سواء.

قُصرت خريطة الموائل الخاصة بمنطقة عمود انتشار الرجيع الملحي مكانياً على محيط عمود الانتشار المُنمذج، وذلك لتركيز التفسير على المنطقة ذات الصلة بتقييم الأثر. غير أن مواقع عينات المسح بالفيديو المُنزَل (DDV) الواقعة خارج امتداد عمود الانتشار المرسوم على الخريطة استُخدمت كذلك أثناء إعداد الخريطة. وقد وُفّرت هذه الملاحظات الإضافية مزيداً من معلومات التحقق الميداني عبر نطاق أوسع من الأعماق وظروف قاع البحر، واستُخدمت للمساعدة في تفسير مجموعات بيانات MBES ووعورة التضاريس على النطاق الأوسع. ورغم أن مواقع العينات هذه لا تظهر ضمن الامتداد النهائي لعمود الانتشار المرسوم على الخريطة، فقد أسهمت في تحديد العلاقة بين فئات الموائل المرصودة والخصائص الجيوفيزيائية المستخدمة في عملية رسم الخرائط التنبئية.

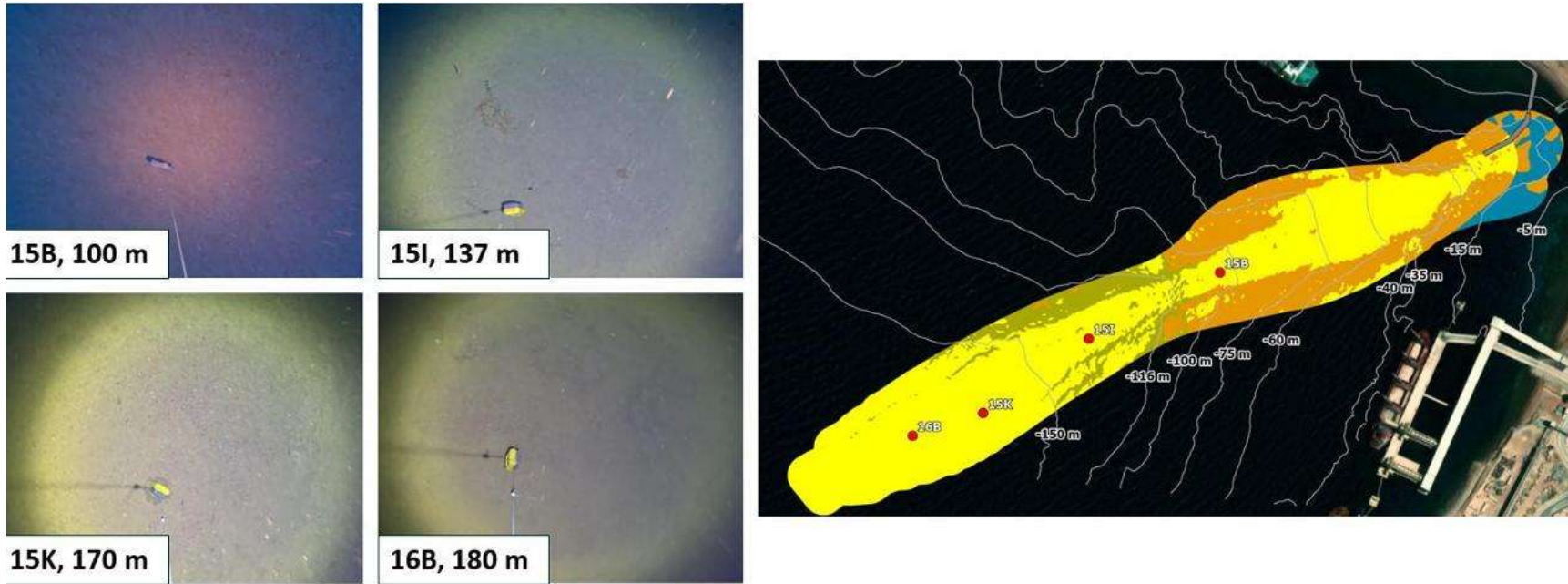
الشكل 3-12: خرائط الموانئ في منطقة عمود انتشار الرجيع الملحي



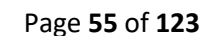
3.4.1.1 الرمل

يشكل موئل الرمال مكوناً واسع الانتشار من المنطقة المرسومة على الخريطة. وهو منتشر بشكل خاص في الجزء الغربي الأبعد عن الشاطئ من نطاق المسح، حيث يشكل منطقة متصلة نسبياً، كما يوجد على هيئة ممر/وادي عريض يمتد من الشرق إلى الغرب عبر الأجزاء الوسطى والشرقية من منطقة المسح. وتتخلل مساحات أصغر من الرمال فئات الموائل الأخرى، ولا سيما باتجاه وسط النطاق المرسوم على الخريطة. وترد أدناه أمثلة على الصور ومواقع هذه الصور في الشكل 3-13.

الشكل 3-13: صور توضّح فئة موئل الرمال (100-180 م)



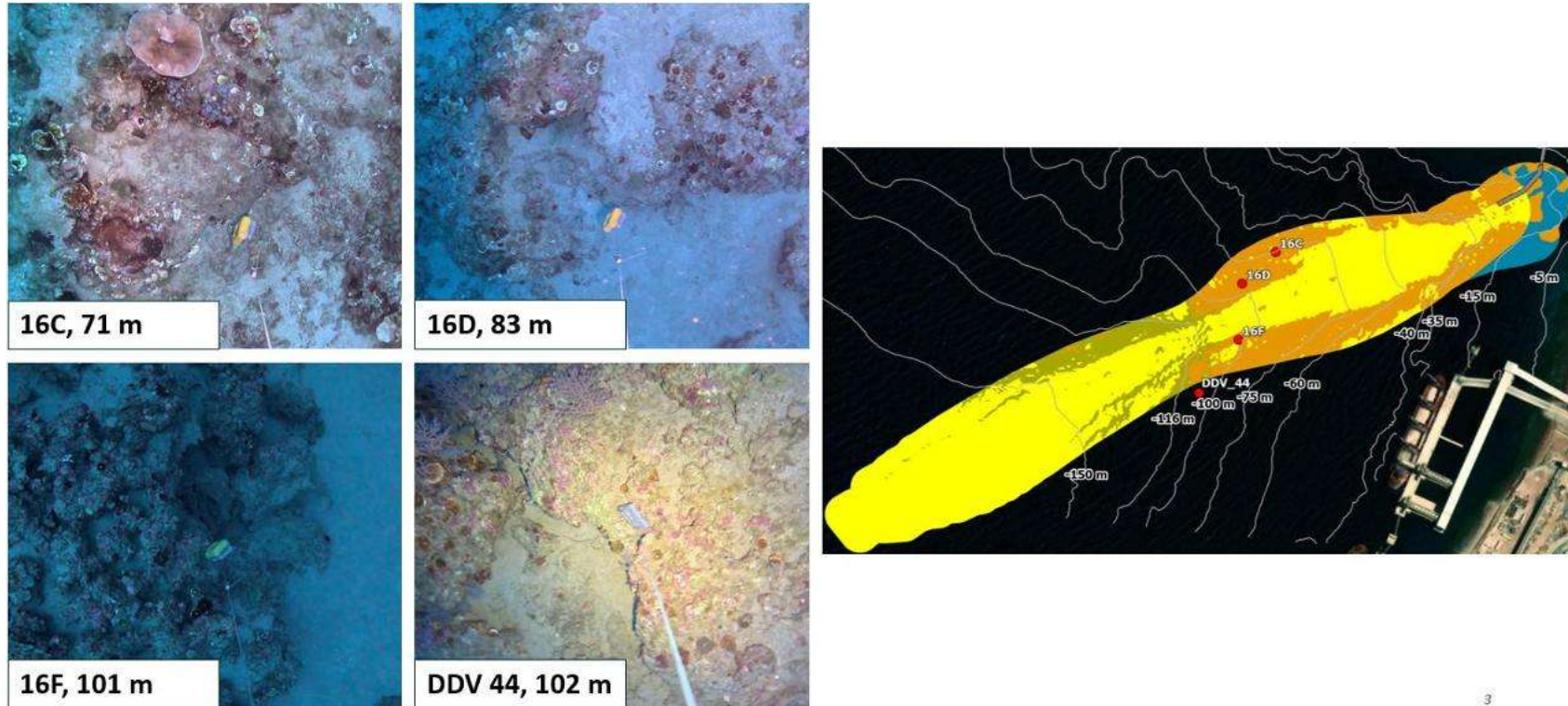
الشكل 3-14: صور توضّح فئة موئل الرمال/الرواسب العميقة والتنوعات الشعبانية المعزولة (100-137 م)



3.4.1.3 الشعاب المختلطة والرواسب

أما موائل الشعاب المختلطة والرواسب فهي أقل امتداداً، وتنتوزع على نحو أكثر محدودية وتجزؤاً. وتوجد في الغالب في الأجزاء الغربية الوسطى والشمالية الغربية من المنطقة المرسومة على الخريطة، وترتبط عموماً بمناطق الانتقال بين موائل الرمال وموائل الرمال/الرواسب العميقة والتنوءات الشعابية المعزولة الأوسع امتداداً. كما توجد بقع أصغر منها ضمن الجزء الأوسط من منطقة المسح. ويشير توزيعها إلى أن هذه الفئة تمثل أساساً قاع بحر انتقالياً توجد فيه ركيزة صلبة أو معالم شعابية، إلا أنها لا تشكل الطابع الفيزيائي السائد عبر مساحات أكبر. وترد أدناه أمثلة على الصور ومواقع هذه الصور في الشكل 3-15.

الشكل 3-15: صور توضّح فئة موئل الشعاب المختلطة والرواسب (71-102 م)



4 الدراسة المكتبية للملوحة

4.1 الخلفية

عرض تقييم الأثر البيئي والاجتماعي لمشروع AAWDCP لعام 2025 المفصّل عنه نتائج نمذجة عمود انتشار الرجيع الملحي باستخدام تغيّر في الملوحة بنسبة 2% فوق مستوى الخلفية بوصفه مؤشراً مرجعياً، لا معياراً للامتثال. وفيما يلي مقتطف من الفصل 9.2.5 من تقييم الأثر البيئي والاجتماعي:

- بالنسبة للملوحة، استندت المعايير المطبّقة عند حدود منطقة الخلط في تقييم الأثر البيئي والاجتماعي لمشروع AAWDCP لعام 2022 إلى عدم تجاوز التركيز الطبيعي السائد في المياه المستقبلية بأكثر من 2%؛ ومع ذلك:
 - لم يرد في تقييم الأثر البيئي والاجتماعي لمشروع AAWDCP لعام 2022 أي مرجع محدد لقيمة الـ 2% هذه.
 - يُفهم أن مستوى الـ 2% هذا يشير على الأرجح إلى متوسط الملوحة الشهري في البيئة المحيطة الوارد في الضوابط البيئية الخاصة بالتطوير الصناعي في الجبل وبنبع (وهي حالة خاصة في المملكة العربية السعودية)
 - يتطلب تطبيق معيار الـ 2% ألا تزيد الملوحة بأكثر من 0.82 ppt (0.82 psu) على قيمة المتوسط الشهري. وهذه القيمة أقل من التباين الطبيعي المقاس في الملوحة، وتُعدّ متحفظة للغاية
- بالنسبة للمكونات الكيميائية الأخرى في تصريف الرجيع الملحي (باستثناء الملوحة): اعتمد نهج متّسق مع الولايات القضائية الأخرى في خليج العقبة. واستندت المعايير المطبّقة عند حدود منطقة الخلط إلى اشتراط عدم تجاوز التراكيز الطبيعية السائدة في منطقة الخلط بأكثر من 5%

يتوافق اعتماد مؤشر مرجعي بنسبة 2% مع المعايير البيئية المتحفظة الرامية إلى حماية الأنواع الحساسة؛ إلا أن النطاق السنوي الطبيعي للملوحة البالغ 2.8% (psu 1.17) سيجعل رصد قيم ملوحة مياه البحر واستقراءها لتحديد التغيّر الإيكولوجي في الأنواع الحساسة، مقارنةً بتغيّرات الخلفية، أمراً غير موثوق. وبنبغي تحديد معايير الرصد البيئي خارج نطاق التباين السنوي الطبيعي من أجل الكشف عن التلوث بدقة وعزل الأثر عن الضوضاء الخلفية. وسيتعين مقارنة أي تغيّر إيكولوجي يحدث ضمن عمود الانتشار بالظروف الإيكولوجية في مناطق معروف أنها تقع خارج عمود انتشار الرجيع الملحي؛ ومع ذلك، يظل هناك خطر الحصول على نتائج إيجابية كاذبة وإغفال أضرار إيكولوجية إذا طُبّق معيار امتثال بنسبة 2% لتوصيف أي تغيّر يُعزى حصراً إلى عمود الانتشار الملحي.

دعماً لاختيار عتبة ملوحة لتقييم آثار الرجيع الملحي لمشروع AAWDCP المرتبطة بتغيير موقع المصبّ وتصميمه، ودعماً لتخطيط مشاريع الرصد والتعويض، أُنجزت مراجعة مكتبية؛ وستُدعم هذه المراجعة بدراسات مخبرية في محطة العلوم البحرية الأردنية.

نوقشت عتبة الملوحة مع سلطة منطقة العقبة الاقتصادية الخاصة (ASEZA) في اجتماع لفريق العمل عُقد بتاريخ 16 نيسان 2026. وكانت مخرجات الاجتماع على النحو الآتي:

- سلطة منطقة العقبة الاقتصادية الخاصة (ASEZA): أكدت أن هذا نوع جديد من المشاريع، وأنه لا يوجد معيار وطني محدد لعتبات الزيادة المقبولة في الملوحة
- محطة العلوم البحرية الأردنية (MSS): أشارت إلى أن حدود الملوحة المقبولة تختلف باختلاف الموقع، وأن لخليج العقبة ظروفاً بيئية فريدة تستلزم تقييماً خاصاً بالموقع
- محطة العلوم البحرية (MSS) / شركة مشروع الناقل الوطني (NCPC) / الخبراء الاستشاريون البحريون: كان من المقرر أن يُجرى دراسة مكتبية لحساسية المرجان للملوحة
 - أُنجز ذلك؛ انظر القسم 3.1
- شركة مشروع الناقل الوطني (NCPC) / الخبراء الاستشاريون البحريون: إجراء نمذجة انتشار الرجيع الملحي لعمود انتشار الرجيع الملحي
 - أُنجز ذلك؛ انظر القسم 5
- شركة مشروع الناقل الوطني (NCPC) / محطة العلوم البحرية (MSS) / الخبراء الاستشاريون البحريون: وضع واقتراح عتبات ملوحة مقبولة بالمشروع استناداً إلى الآثار المقيّمة لكل سيناريو من سيناريوهات زيادة عمود الانتشار:

- أنجزت الدراسة المكتبية؛ انظر القسم 4
- شركة مشروع الناقل الوطني (NCPC) (بالتنسيق مع محطة العلوم البحرية والخبراء الاستشاريين البحرين): إعداد وتنفيذ برنامج رصد شامل يغطي مرحلتى الإنشاء والتشغيل
- العمل جارٍ على ذلك

4.2 مقدمة

أُجريت مراجعة لتقييم مدى تحمل المرجان والمجتمعات الشعبانية المرتبطة به التي يُحتمل أن تتعرض لتصريف الرجيع الملحي مفرد الملوحة الصادر عن مشروع AAWDCP، ولدعم اشتقاق عتبات ملوحة توقّر الحماية الإيكولوجية لأغراض التقييم البيئي. وقد جمعت الدراسة بين المعلومات الخاصة بالمشروع حول الخصائص المتوقعة لعمود الانتشار ومراجعة منهجية للأدبيات العلمية المنشورة وتقييمات الأثر البيئي ووثائق الإرشادات التنظيمية وبيانات الرصد الإقليمية.

يُسجّل تقرير التقييم البيئي للساحل الأردني من خليج العقبة، البحر الأحمر، لعام 2024 الصادر عن البرنامج الوطني للرصد في الأردن أن الملوحة تراوحت بين حد أدنى قدره 40.13 psu وحد أقصى قدره 41.30 psu، مما يعطي متوسطاً للملوحة السائدة قدره 40.7 psu، وهو المتوسط الذي استُخدم في نمذجة عمود انتشار التصريف الملحي. ويمثّل ذلك تبايناً بنسبة 1.5% في مستويات الملوحة حول المتوسط، ولا يوجد ما يشير إلى أن هذا التباين يؤدي إلى أي أثر ضار على المرجان والشعاب المرجانية والكائنات الحية الأخرى، سواء ضمن السنة الواحدة أو من سنة إلى أخرى.

إن المرجان في الجزء الأردني من خليج العقبة متأقلم مع مستويات ملوحة تتراوح عادةً بين 40 psu و 41 psu، وهي أعلى مما هي عليه في الشعاب المرجانية في المناطق الأخرى، حيث تتراوح الملوحة في الغالب بين 32 psu و 35 psu. وتحدد قدرة المرجان على التأقلم مع مستويات الملوحة المرتفعة بحدوده الفسيولوجية وبتعرّضه السابق للملوحة. وتشير الأدبيات إلى أن المرجان في مياه البحر المحيطية النموذجية (32-35 psu) يمكنه البقاء على قيد الحياة عند تعرّضه لمستويات ملوحة تصل إلى 42 psu (أي نحو 17% فوق الحدود القصوى السائدة). ومن الأمثلة المتطرفة على تحمل المرجان وتأقلمه مع الملوحة المرتفعة ما هو موجود في الخليج العربي، حيث توجد مستعمرات مرجانية ومنظومات شعبانية سليمة تبلغ فيها مستويات الملوحة ما بين 48 psu و 50 psu. ولا تنسحب قدرة المرجان في المناطق الأخرى على البقاء عند التعرّض لملوحة مرتفعة تزيد بنسبة 17% على المستوى السائد بصورة مباشرة على قدرة المرجان المتأقلم أصلاً مع مستويات ملوحة أعلى.

ومع ذلك، فقد ثبت في الاختبارات المخبرية أن المرجان من خليج العقبة يبقى على قيد الحياة عند تعرّضه لملوحة 42 psu، كما أن بعض الأنواع في مناطق محلية متأثرة بتصريف الرجيع الملحي الناتج عن التحلية قد بقيت على قيد الحياة عند مستويات ملوحة يتراوح متوسطها بين 41.8 و 49.4 psu. ويشير التقييم المستند إلى الأدبيات بقوة إلى أن المرجان في الجزء الأردني من خليج العقبة سيبقى على قيد الحياة على الأقل عند التعرّض لملوحة 42 psu (أي 3% فوق المتوسط السائد البالغ 40.7 psu)، ويُتوقع أن تمتلك بعض الأنواع القدرة على البقاء حتى عند مستويات ملوحة أعلى من ذلك. وسيُختبر ذلك من خلال رصد عمود انتشار الرجيع الملحي، ومن خلال تجارب تعريض خاضعة للتحكم المخبري تُجرى على المجموعات التصنيفية للمرجان الأكثر تعرّضاً لعمود انتشار الرجيع الملحي.

استندت المراجعة إلى الأدبيات المتاحة الخاضعة للتحكيم الأقران، بما في ذلك دراسات حول مرجان البحر الأحمر والخليج العربي، وأثار الرجيع الملحي الناتج عن التحلية، وإيكولوجيا الشعاب متوسطة الإضاءة (الميزوفوتية)، وتكيف الميكروبيوم المرجاني، وحساسية الأعشاب البحرية، وسمية الفلزات النزرة. وشملت المصادر الرئيسية أبحاثاً حول تحمل مرجان خليج العقبة للملوحة، ودراسات تكيف الميكروبيوم، والتجارب الموقعية المتعلقة بالتعرّض لأعمدة انتشار رجيع التحلية، والمراجع الإقليمية في إيكولوجيا المرجان، والمراجعات الحديثة لأثار محطات التحلية على النظم البيئية البحرية. وأخذت المراجعة في الاعتبار الأدلة المستمدة من التجارب المخبرية والملاحظات الميدانية والأوراق الاستعراضية التي تعالج التعرّض الحاد والمزمن على حدٍ سواء للملوحة المرتفعة. واستُكملت معلومات خط الأساس الإقليمية ببيانات الرصد البحري الأردنية ومسوحات الموانئ الخاصة بالمشروع. ويرد التقرير الكامل في المرفق بهذا التقرير، ويُقدّم ملخص له أدناه.

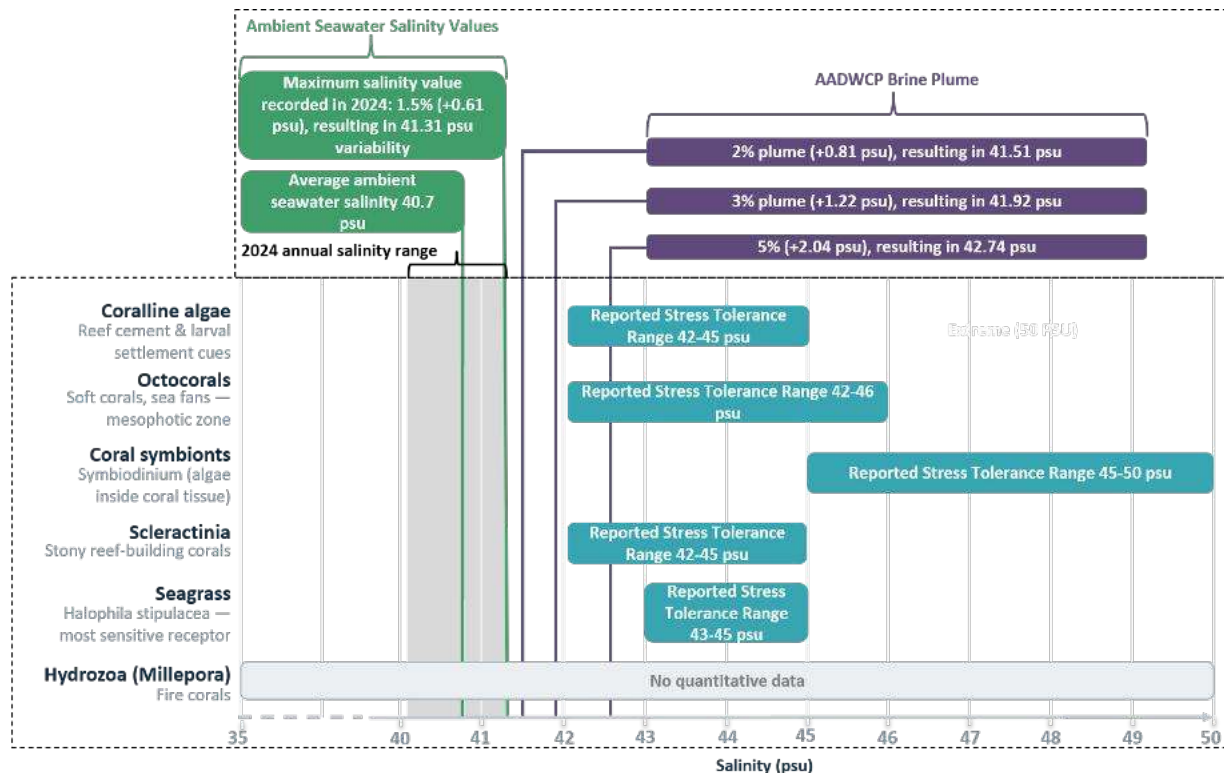
4.3 ملخص المراجعة

بوجه عام، تشير الأدبيات إلى أن المرجان يُبدي حدود تحمّل واسعة للملوحة، وهو ما يتّسق مع الأدلة التي تشير إلى أن الأداء الأيضي للمرجان ضعيف الحساسية للتغيرات في هذا المتغيّر³ إلى أن ترتفع مستويات الملوحة بمقدار 2 إلى 4 psu فوق المستوى السائد. ويمثّل ذلك زيادةً إلى ما بين 42.7 (3.3%) و44.7 (7.6%) psu فوق الحدود القصوى السنوية في المياه الأردنية.

تُبيّن الأدبيات أن ارتفاع الملوحة فوق مستويات التحمّل يمكن أن يؤثر في فسيولوجيا المرجان وعمليات الأيض والنمو والتكاثر وبنية المجتمعات. وتشمل الاستجابات المُبلّغ عنها ابيضاض المرجان، وتلف الأنسجة، وانخفاض معدلات التكلس، واختلال عملية البناء الضوئي، وتغيّر المجتمعات الميكروبية، وانخفاض القدرة على الصمود أمام عوامل الإجهاد البيئية الأخرى. وتشير الدراسات التجريبية إلى أن كثيراً من أنواع المرجان في خليج العقبة أكثر تحملاً للملوحة المرتفعة من مجموعات المرجان في أماكن أخرى، وذلك بفضل التأقلم طويل الأمد. وتشير الدراسات قصيرة الأمد إلى أن بعض أنواع المرجان الباني للشعاب يمكنها تحمّل ملوحة تبلغ نحو 48–50 psu، في حين يحدث الابيضاض والإجهاد الشديد عموماً عند تجاوز 51–55 psu.

غير أن الإجهاد الفسيولوجي القابل للقياس يبدأ عادةً عند زيادات في الملوحة تبلغ نحو 5–10% فوق الظروف السائدة. وقد حُدّدت الأعشاب البحرية على أنها يُحتمل أن تكون أكثر حساسية من المرجان، إذ سجّلت استجابات إجهاد عند نحو 5% فوق الملوحة السائدة، وحدثت أضرار كبيرة عند ما يقارب 10% فوق الملوحة السائدة. وخلصت المراجعة إلى أنه في حين قد يكون النفوق الحاد ضمن عمود الانتشار المُنمّج منخفضاً حتى 5% فوق الظروف السائدة، وإن كان ذلك يختلف باختلاف الأنواع، فإن الآثار المزمّنة دون المميتة تبقى مصدر قلق في حالة التعرّض طويل الأمد. ويلخّص الجدول 1-4 حدود تحمّل الملوحة الكمية وظروف التعرّض والاستجابات الفسيولوجية المرصودة الواردة في الأدبيات، مع التركيز على الدراسات ذات الصلة بخليج العقبة والبيئات المماثلة، فيما يُقدّم عرض عام لذلك في الشكل 1-4.

الشكل 1-4: عرض عام لقيم الملوحة السائدة وعمود انتشار الرجيع الملحي وحدود تحمّل المرجان والأعشاب البحرية



Guan Y, Hohn S, Merico A (2015) Suitable Environmental Ranges for Potential Coral Reef Habitats in the Tropical Ocean. PLOS ONE 10(6): e0128831. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0128831>.

4.4 أبرز القيود

من القيود الرئيسية التي حدّتها المراجعة غيابُ الدراسات الميدانية طويلة الأمد التي تبحث في التعرّض المزمن للملوحة المرتفعة. إذ إن معظم الأدلة المتاحة مستمدة من تجارب مخبرية قصيرة الأمد تتراوح مدتها بين بضع ساعات وشهر واحد، مع قدرة محدودة على محاكاة الظروف الإيكولوجية الطبيعية. كما تشخّ المعلومات المتعلقة بمجتمعات الشعاب متوسطة الإضاءة الأعمق (على عمق <60 م)، والهيدريات، وعدد من المجموعات التصنيفية القاعية التي يُرجّح وجودها بالقرب من المصبّ المقترح. ولا تزال حدود التحمّل الخاصة بكل نوع غير مؤكدة، لا سيما في ظل التعرّض المشترك للملوحة وتغيّرات درجات الحرارة وموانع الترسّب والفلزات النزرة. علاوة على ذلك، كان التركيب والتوزيع التفصيليان لتجمعات المرجان داخل الأخدود وموائل الشعاب الأعمق التي يُحتمل أن تتأثر بعمود الانتشار لا يزالان قيد التوصيف وقت إجراء المراجعة، ومن المرجّح أن يؤثر في الاستنتاجات النهائية المتعلقة بحساسية الأنواع والنظم البيئية.

4.5 التوصيات

تشير المراجعة إلى أن ملوحة الخلفية الطبيعية في المياه الأردنية تتذبذب حول متوسط يبلغ نحو 40.7 psu ضمن نطاق سنوي دوري صغير، بلغ في عام 2024 مقدار 1.17 psu بين حد أدنى قدره 40.13 psu وحد أعلى قدره 41.3 psu، وهو ما يمثّل نطاقاً سنوياً يبلغ نحو 2.8%. ويدل ذلك على أن المرجان متأقلم مع تباين الملوحة ضمن السنة الواحدة (أي التغيرات في الملوحة من شهر أو فصل إلى آخر خلال السنة ذاتها) بنسبة تقارب 3%، وقادر على تحمّله. وتشير الأدبيات إلى أن مرجان خليج العقبة يمكنه تحمّل التعرّض لملوحة لا تقل عن 42 psu، أي 3% فوق المستوى السائد، وأنه ينبغي إبقاء إجهاد الملوحة الإضافي دون 10% فوق المستوى السائد (نحو 45 psu).

توصي المراجعة باعتماد عتبة ملوحة احترازية لا تتجاوز 5% فوق الظروف المحيطة (أي ما يقارب 42–43 psu في ظل الظروف النموذجية لخليج العقبة) لحماية النظم البيئية الحساسة للشعاب المرجانية. إذ تقع نسبة 5% بين مستويات التحمّل المعروفة والقيم القصوى المقترحة لإجهاد الملوحة لدى مرجان خليج العقبة في الأردن، ومن المرجّح أن تكون الآثار البيئية التي تتجاوز التباين الطبيعي في الظروف الخلفية قابلة للتمييز. كما يوصى بإجراء مسوحات بيئية إضافية لتوصيف المجتمعات الحيوية الموجودة داخل الأخدود وفي موائل الشعاب الأعمق التي قد تتأثر بالتصريف.

كما توصي الدراسة بما يلي:

- إجراء تجارب تعريض مخبرية وميدانية موجهة باستخدام أنواع المرجان الموجودة محلياً في ظل ظروف إضاءة وكيمياء مياه تمثيلية، من أجل فهم أفضل للحساسية على المدى الطويل وإمكانية التأقلم والمخاطر البيئية، انظر القسم 3.1
- تنفيذ برنامج رصد تشغيلي للتحقق من تنبؤات النموذج، وتقييم الآثار الفعلية، ودعم الإدارة التكيفية لنظام المصبّ، انظر القسم 7

الجدول 4-1: تقييم عتبات تحمّل الملوحة والاستجابات لدى المجموعات التصنيفية الرئيسية للشعاب

المجموعة	نطاق تحمّل الإجهاد المُبْلَغ عنه (psu)	نوع الدليل ومدته	الأثر المُلاحَظ	جودة الدراسات وقيوها	قابلية التطبيق على مشروع AAWDGP	وزن الأدلة	الدلالة بالنسبة إلى العتبة
Scleractinia (المرجان الباني للشعاب)	عتبة الإجهاد 42 إلى psu 45	مختبرية + حضان قصير الأمد (ساعات-1 شهر)	انخفاض التكلّس (حتى $\times 8$)، وإفراز المخاط، والابيضاض، والنفوق عند $10+ \%$	قاعدة تجريبية قوية لكن لفترات قصيرة؛ تحقق ميداني محدود على المدى الطويل	مرتفع (البناءة المهيمنون للشعاب متوسط (على المدى الطويل)	مرتفع (على المدى القصير)، متوسط (على المدى الطويل)	يبدأ الإجهاد المزمّن عند $5+ \%$ ؛ ويصبح الخطر كبيراً عند $10+ \%$ يتداخل نطاق التحمّل مع قيمة عمود الانتشار المتوقعة ($44 \sim \text{psu}$)، إلا أن خطر التعرّض طويل الأمد لا يزال غير مؤكد
متكافلات المرجان (Symbiodinium)	عتبة الإجهاد 45 إلى psu 50	دراسات مختبرية	تحمّل مرتفع؛ يدعم تكيّف العائل	مختبرية؛ أعلى القيم ذات صلة بينية غير مباشرة	مرتفع (تتحكم في قدرة المرجان على الصمود)	متوسط	يُشكّل تكيف المتكافلات الأساس لتحمّل المرجان في خليج العقبة (GoA) يوسّع نطاق التحمّل لكنه لا يُلغي عتبات الإجهاد لدى المرجان
المرجان ثُماني اللوامس	عتبة الإجهاد 42 إلى psu 46	تجريبية (قصيرة الأمد)	قدرة عالية على الصمود؛ متكافلات قابلة للحياة عند 50 psu	عتبات كمية محدودة للفوق؛ قلة الدراسات طويلة الأمد	متوسط-مرتفع (موجود في المناطق متوسطة الإضاءة (mesophotic))	متوسط	يُرجّح أن يكون تحمّلها مساوياً لتحمّل المرجان الباني للشعاب، وربما أعلى منه، في ظل الظروف نفسها يُرجّح أن تتحمّل قيماً < قيم عمود الانتشار المُنمّذج؛ ليست المستقبل المُحدّد
Hydrozoa (Millepora)	لا توجد بيانات كمية	رصدية	يُستدلّ على مرونة عالية	فجوة كبيرة في البيانات؛ لا توجد عتبات للملوحة	غير معروف	منخفض	عدم يقين—لا يمكن تحديد العتبة
الطحالب المرجانية	عتبة الإجهاد 42 إلى psu 45	دراسات مختلطة (مختبرية + ميدانية)	تحافظ على وظيفتها في ظل الملوحة المرتفعة	بيانات عامة عن الطحالب؛ ليست جميعها خاصة بالشعاب	متوسط (دور في تثبيت الشعاب)	متوسط	بعض الأدلة على قدرتها العالية على الصمود؛ وقد تزداد هيمنتها في ظل الاضطراب
الأعشاب البحرية	تحمّل الإجهاد 43 إلى psu 45	مختبرية + متوسطة الأمد (أسابيع)	إجهاد تأكسدي، ضعف في البناء الضوئي، ونفوق	بيانات تجريبية جيدة؛ ومدة الدراسات ذات صلة إلى حدّ ما	متوسط (في المناطق الأقل عمقاً بشكل رئيسي)	مرتفع	أكثر حساسية من المرجان؛ والموائل الضحلة هي الأكثر عرضة للخطر مستقبل حساس: يُرجّح أن تكون العتبة $5+ \%$

5 نتائج النمذجة والتقدير الكمي للأثر

5.1 مقدمة

يقدم هذا القسم ملخصاً للتقرير النهائي الصادر عن Deltares في أيلول 2026. وقد عُرضت النتائج على الجهات المُقرضة ومستشاريها في تموز 2026. وأجرت Deltares نمذجة للمصبّ الجديد بهدف التقدير الكمي لأثار ملوحة عمود الانتشار، باستخدام أحدث بيانات قياس الأعماق (البائيمترية) وموقع المصبّ والمدخلات المقدّمة من مقاول الهندسة والتوريد والإنشاء (EPC)، بما في ذلك تصميم المصبّ الملخّص أدناه في الجدول 5-1.

الجدول 5-1: معاملات المصبّ المعتمدة في النمذجة

المعامل	المصبّ وفق تقييم الأثر البيئي والاجتماعي لعام 2025	المصبّ الجديد
معدل التدفق	11.7 م ³ /ث	11.7 م ³ /ث
الزيادة في الملوحة (psu)	+34.8 psu	+34.8 psu
الزيادة في درجة الحرارة (°س)	1+ °س	1+ °س
طول الناشر (م)	261	60
العمق عند الناشر	من حوالي 50 م بالنسبة إلى متوسط مستوى سطح البحر (MSL) إلى 80 م بالنسبة إلى MSL	من حوالي 16 م بالنسبة إلى MSL إلى 27 م بالنسبة إلى MSL
طول خط أنابيب المصبّ (م)	~230	~60
عدد الأنابيب الصاعدة	16 (عدد 2 خط ناشر، يضم كلٌّ منهما 8 أنابيب صاعدة)	6
عدد الفتحات لكل أنبوب صاعد	عدد 2 فتحة لكل أنبوب صاعد	عدد 1 فتحة لكل أنبوب صاعد
الاتجاه الأفقي للفتحات	اتجاه بزاوية 45° نحو الغرب بالنسبة إلى أنبوب الناشر	3 فتحات من جهة الشاطئ: 45°، بقطر 1 م، 30% من التدفق 3 فتحات من جهة البحر: 45°، بقطر 0.75 م، 70% من التدفق
الاتجاه الرأسي للفتحات	60°	45°
قطر الفتحة	0.29 م	0.75 م (أول 3 فتحات)، 1 م (آخر 3 فتحات)

يفصل تقرير Deltares تقييم النمذجة الذي أُجري لتقييم الناشر المقترح وسلوك عمود الانتشار في المجال القريب، ويقارن بين مناهج النمذجة باستخدام نتائج CFD التفصيلية التي أعدتها ATM لمنطقة المصبّ المباشرة، ونموذج Delft3D-FM الخاص بـ Deltares للانتشار عمود الرجيع الملحي على النطاق الأوسع في المجال البعيد. ويشمل ذلك تحليل الحساسية للانتشار المتوقع لعمود الرجيع الملحي، لاختبار مدى تأثير المعاملات العددية والفيزيائية على الامتداد المتوقع لعمود الانتشار، ولا سيما خطوط الكنتور الخاصة بزيادة الملوحة بنسبة 2% و5%. ويستند هذا العمل إلى نمذجة المجال البعيد الأصلية بأسلوب التقييم السريع باستخدام Delft3D-FM التي أُجريت في الربع الرابع من عام 2025، ويتضمن تحليلاً إضافياً لتقييم متانة تنبؤات عمود الانتشار، ومدى ملائمة تصميم الناشر المقترح، ومدى الاتساق بين نمذجة المجال البعيد التي أجرتها Deltares ونمذجة CFD التفصيلية التي أجرتها ATM.

تطوّرت أعمال النمذجة بشكل تدريجي على امتداد دورة حياة المشروع التي بدأت في تشرين الأول 2025، استجابةً للمتطلبات التي طرحتها الجهات الراعية للمشروع والجهات التنظيمية، ولدعم صاحب المشروع (شركة مشروع الناقل الوطني) في الحصول على الموافقات البيئية اللازمة. وقد أعدت في البداية كتقييم سريع استناداً إلى المعلومات المتاحة في حينه، بهدف تقديم مؤشر مبكر على سلوك عمود الانتشار. ومع تطوّر تصميم المشروع، برزت تساؤلات إضافية بشأن موقع مختلف لمصبّ الناشر وتصميم مختلف له، وأداء الناشر، والسلوك في المجال القريب، والتفاعل مع باثيمتريّة الأخدود البحري، والامتداد المحتمل للانتشار في المجال البعيد. ولذلك جرى توسيع نطاق التقييم ليشمل تحليلاً منهجياً للحساسية، ومقارنة مع محاكاة CFD التي أجرتها ATM، ومحاكاة إضافية بالنموذج تحدّد إعدادات النموذج «الأكثر واقعية» و«المتحفظة» وتستخدمها لتقييم السلوك النهائي لعمود الانتشار، بما في ذلك التوغّل على المنحدرات الجانبية، والانتقال باتجاه عرض البحر، والآثار العابرة للحدود، ومخاطر إعادة الدوران.

اقترح مقال الهندسة والتوريد والإنشاء (EPC) مفهوم المصبّ الذي تُدرس في هذا المشروع وقّده، ويتألف هذا المفهوم من ناشر متعدد الفتحات بصرف داخل أخدود بحري، انظر الجدول 5-1. وتهدف فلسفة التصميم لدى مقال EPC إلى إبقاء عمود الرجيع الملحي الكثيف محصوراً إلى حدّ كبير داخل الأخدود، مما يقلّل من احتمال تفاعله مع مجتمعات المرجان القريبة الواقعة خارج الأخدود. ويتألف الناشر من ست فتحات، ثلاث منها أصغر حجماً من جهة الشاطئ وثلاث أكبر حجماً من جهة البحر. ويشير تحليل المجال القريب إلى أن التصريف يخضع لخلط أولي مدفوع بالزخم بالقرب من الناشر، قبل أن ينهار عانداً نحو قاع البحر ويواصل تحركه نزولاً على المنحدر على شكل تيار جاذبي كثيف. ويُعدّ هذا الانتقال من سلوك النفط في المجال القريب إلى سلوك تيار الكثافة في المجال البعيد محورياً في تفسير نتائج النمذجة.

يوفّر نموذج CFD الخاص بـ ATM تمثيلاً تفصيلياً لمنطقة المصبّ المباشرة (في العشرات الأولى من الأمتار حول المصبّ)، حيث يهيمن زخم النفط والطفو السالب وسحب المياه المحيطة إلى النفط (entrainment) على سلوك عمود الانتشار. أما نموذج Delft3D-FM الخاص بـ Deltares فيوفّر منهج النمذجة الهيدروديناميكية ونمذجة انتقال الملوحة الأوسع نطاقاً اللازم لتقييم الانتقال والانتشار فيما يتجاوز تلك المنطقة.

طُوّر نموذج Delft3D-FM مبسّط بالتوازي مع النموذج الكامل لاختبار الحساسيات العددية والفيزيائية والتشغيلية الرئيسية بكفاءة، وذلك بعد التأكد من أنه يعيد إنتاج سلوك عمود الانتشار ذي الصلة بدقة كافية؛ ثم استُخدمت النتائج لتحديد إعدادات النموذج الأكثر واقعية، التي يُقصد بها تقديم أفضل تقدير للسلوك المتوقع لعمود الانتشار وانتشاره وتوغّله على المنحدرات الجانبية.

تشير النتائج الإجمالية إلى أن سلوك عمود الانتشار محكوم في المقام الأول بالطبيعة الكثيفة لتصريف الرجيع الملحي وبالشكل الهندسي للأخدود المحلي وانحداره. ويؤدي الناشر المقترح إلى تخفيف أولي بالقرب من المصبّ، يتبع بعده عمود الانتشار قاع البحر نزولاً على المنحدر على شكل تيار كثافة. ويؤدي الأخدود دوراً مهماً كعنصر متحكم في انتقال عمود الانتشار، إذ يساعد على توجيهه نحو المياه الأعماق. وتجدر الإشارة إلى أن سرعات تيار الكثافة المحسوبة البالغة نحو 1 م/ث قد تؤدي إلى تحريك مواد القاع الناعمة، مما قد يسبب تغيرات موضعية في مورفولوجيا قاع البحر وتولّد رواسب عالقة، علماً بأن ذلك لم يُقدّر كمياً في هذه الدراسة وقد يتطلب مزيداً من التقييم لأغراض التقييم البيئي (سيخضع لمزيد من التقييم، انظر القسم 9.1 الخطوات التالية). وتُظهر المقارنة بين نتائج Delft3D-FM ونتائج CFD تنبؤاً متسقاً بشكل عام لسلوك عمود الانتشار في منطقة التداخل، مما يدعم متانة منهج النمذجة.

يُعدّ نموذج CFD الأكثر ملاءمة للتطبيق في المنطقة المجاورة مباشرة للناشر، حيث تكون العمليات التفصيلية على مستوى النفط مهمة. أما على مسافة أبعد من الناشر (اعتباراً من نحو 100 م)، فإن نموذج Delft3D-FM يكون أكثر ملاءمة لأنه يمثل بصورة أفضل الباثيمتريّة الأوسع نطاقاً، والتطيق، والدورة المائية المحيطة، وسلوك تيار الكثافة في المجال البعيد. ولذلك فإن الاستخدام المشترك للأداتين يوفّر أساساً أقوى للتقييم مقارنة بما قد يوفره أيّ من النموذجين منفرداً. وعلى الرغم من أن لنموذج CFD قيوداً في تقييم الانتشار لمسافات طويلة، فإنه يظل مرجعاً مستقلاً قيماً للمقارنة فيما يخص السلوك في المجال القريب ومنطقة الانتقال.

تشكّل محاكاة النموذج الكامل النهائية، باستخدام إعدادات النموذج الأكثر واقعية المستخلصة من تحليل الحساسية، الأساس لتقييم الامتداد المتوقع لعمود الانتشار عند مستويات زيادة الملوحة البالغة 2% و5% فوق ملوحة الخلفية. واستناداً إلى نتائج النمذجة، يشير التقييم إلى أنه من المتوقع أن يبقى عمود الانتشار بصورة رئيسية ضمن مسار الأخدود. كما تدعم هذه المحاكاة تقييم الانتقال المحتمل العابر للحدود (زيادة تبلغ نحو 0.1 إلى 0.15 psu (أي بمعامل تخفيف يبلغ نحو 250-350)، بما يعادل نحو 0.25% إلى 0.35% من ملوحة الخلفية)، وإعادة الدوران نحو المأخذ (زيادة > 0.1 psu).

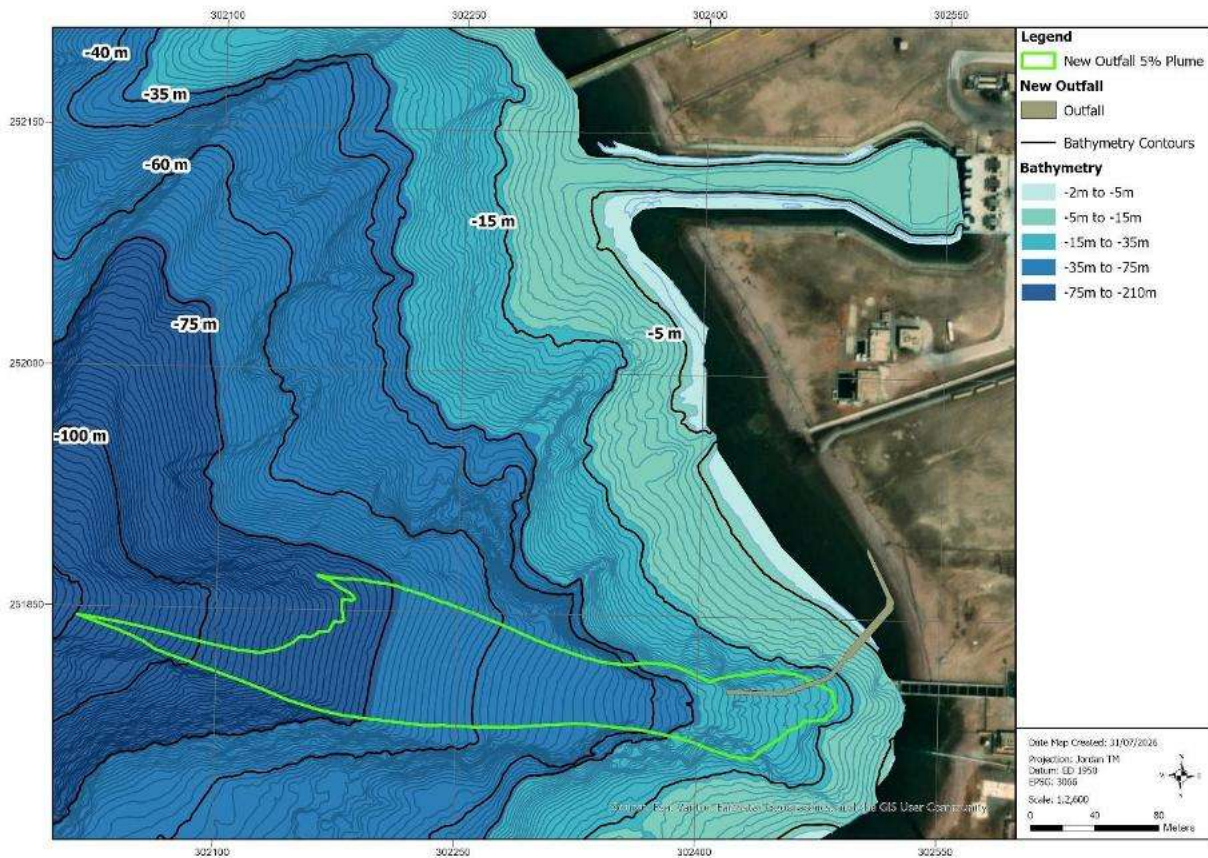
وإجمالاً، ثبتت متانة نتائج النمذجة من خلال تحليل حساسية شامل لنموذج Delft3D-FM ومقارنة مستقلة مع محاكاة CFD التفصيلية التي أجرتها ATM. وفي حين أن التحقق المباشر بالمقارنة مع القياسات الميدانية غير ممكن بعد لأن المصبّ لم يُنشأ أو يُشغّل، فإن الدراسة تستفيد من فرصة فريدة للمقارنة بين منهجين مختلفين جوهرياً للنمذجة العددية. ونادراً ما تتوافر مثل هذه المقارنات التفصيلية بين النماذج خلال مرحلة ما قبل الإنشاء في مشاريع البنية التحتية الكبرى. ولذلك فإن المستوى القوي من التوافق بين تنبؤات Delft3D-FM وتنبؤات CFD يوفّر درجة عالية من الثقة في موثوقية نتائج النمذجة والسلوك المتوقع لعمود الرجيع الملحي، وفي دعمها للتقييم البيئي للتصريف المقترح.

5.2 نتائج النمذجة

الشكل 5-1 عمود الرجيع الملحي المُنمذج للتكوين الأكثر واقعية، ويُظهر خط الكنتور القريب من القاع للملوحة التي تزيد بنسبة 5% على الملوحة المحيطة. وفي هذا التكوين الأكثر واقعية، يتشابه امتداد عمود الانتشار على المنحدرات الجانبية على طول جدران الأخدود إلى حدٍ كبير مع نتائج CFD في منطقة الانتقال. أما الامتداد باتجاه عرض البحر الذي تنتبأ به جميع سيناريوهات Delft3D-FM فهو أكبر من ذلك الذي ينتبأ به نموذج CFD، ويُعزى ذلك إلى مخطط طبقات سيغما (sigma-layer) الأقل انتشاراً عددياً، وإلى الاختلافات بين النموذجين في مخططات الخط العددي.

في إعدادات النموذج الأكثر واقعية، يقتصر الارتفاع الأقصى لخط الكنتور الخاص بزيادة الملوحة بنسبة 5% فوق الملوحة المحيطة صعوداً على منحدر الأخدود على نحو 1 إلى 2 م في منطقة الانتقال. ويمتد خط كنتور عمود الانتشار الخاص بزيادة الملوحة بنسبة 5% فوق الملوحة المحيطة باتجاه عرض البحر حتى عمق يبلغ نحو 116 م.

الشكل 5-1: مساحة عمود الرجيع الملحي التي تتجاوز فيها الملوحة المحيطة بنسبة 5%



5.2.1 الآثار التراكمية المحتملة لمصب مياه التبريد التابع لـ KEMPACO

جرى اختبار الأثر التراكمي المحتمل لمصب مياه التبريد التابع لـ KEMPACO كجزء من تحليل الحساسية، لتحديد أثر عمود مياه البحر الألفاً من المياه المحيطة الصادر عن نظام KEMPACO على عمود الرجيع الملحي لمشروع AAWDCP. وتُظهر النتائج أن التصريف الصادر عن مصب KEMPACO لا يؤثر بشكل كبير في سلوك عمود انتشار تصريف مشروع AAWDCP، وبالتالي لا يُتوقع حدوث تفاعل تراكمي جوهري بين التصريفين.

5.2.2 مدة النمذجة

استُخدم تحليل السلاسل الزمنية لنتائج النمذجة لتحديد مدة المحاكاة اللازمة لوصول عمود الرجيع الملحي لمشروع AAWDCP إلى ظروف مستقرة؛ وقد شُغل نموذج Deltares لعدة أسابيع. ويصل تيار الكثافة ومستويات الملوحة المرتبطة به داخل عمود الرجيع الملحي لمشروع AAWDCP إلى حالة التوازن خلال فترة تتراوح بين بضع دقائق وعدة ساعات أو أيام بعد بدء التصريف، تبعاً للمسافة من المصب. ولا يُتوقع حدوث تراكم ملحوظ للتصريف: فنظراً لأن المياه المصرفة أعلى كثافة من مياه البحر المحيطة، فإنها تهبط وتتحرك نزولاً على المنحدر إلى أعماق تبلغ عدة مئات من الأمتار، وتختلط بالمياه المحيطة إلى أن يتناقص فرق الكثافة فتستقر عند عمق ثابت، حيث تنقلها التيارات الطبيعية تدريجياً وتنتشرها على مساحة واسعة. ولذلك، لا يُتوقع حدوث تراكم موضعي كبير للملوحة حتى على مدى فترات تشغيل طويلة.

5.2.3 الآثار العابرة للحدود

قيمت النمذجة الآثار المحتملة العابرة للحدود لعمود الرجيع الملحي لمشروع AAWDCP عند الحدود البحرية داخل خليج العقبة. فعند الحدود بين المملكة العربية السعودية والأردن، تبلغ الزيادة القصوى المحسوبة في الملوحة نحو 0.1 إلى 0.15 psu، أي ما يعادل نحو 0.25% إلى 0.35% من ملوحة الخلفية. والمحاكاة النموذجية ديناميكية وتشمل التيارات المحيطة والمد والجزر والرياح. وحيثما يكون تيار الكثافة قوياً في مناطق المجال القريب، يكون تأثير هذه الظروف المحيطة على النتيجة ضئيلاً. غير أنه في المناطق الأبعد، يكون عمود الانتشار قد تخفّف بدرجة كبيرة، ويصبح انتشاره محكوماً بمجال التدفق المحيط بدلاً من كثافته الذاتية. وبما أن تلك الظروف المحيطة تتغير مع الزمن، فإن إشارة عمود الانتشار التي تصل إلى الحدود تتغير كذلك، مما ينتج عنه معاملات تخفيف تتذبذب بين نحو 250 و350 بدلاً من أن تستقر عند قيمة واحدة.

أما عند الحدود مع إسرائيل ومصر، فتقل الزيادة في الملوحة عن 0.02 psu. وتقع هذه القيم العابرة للحدود ضمن رتبة المقدار نفسها للقيم الواردة في تقييم الأثر البيئي والاجتماعي لعام 2025 المُفصّل عنه، وتُعدّ غير ذات أهمية وتقع بوضوح ضمن نطاق التباين الطبيعي.

5.2.4 إعادة الدوران

تُظهر النمذجة باستخدام كلٍّ من CFD وDelft3D-FM أن التصريف يتدفق باتجاه عرض البحر ونزولاً على المنحدر على شكل تيار كثافة؛ وبالتالي لا يُتوقع حدوث إعادة دوران للتصريف الملحي نحو مأخذ مياه البحر. وتقل الزيادة القصوى المحسوبة في الملوحة عند المأخذ عن 0.1 psu.

6 تقييم الأثر

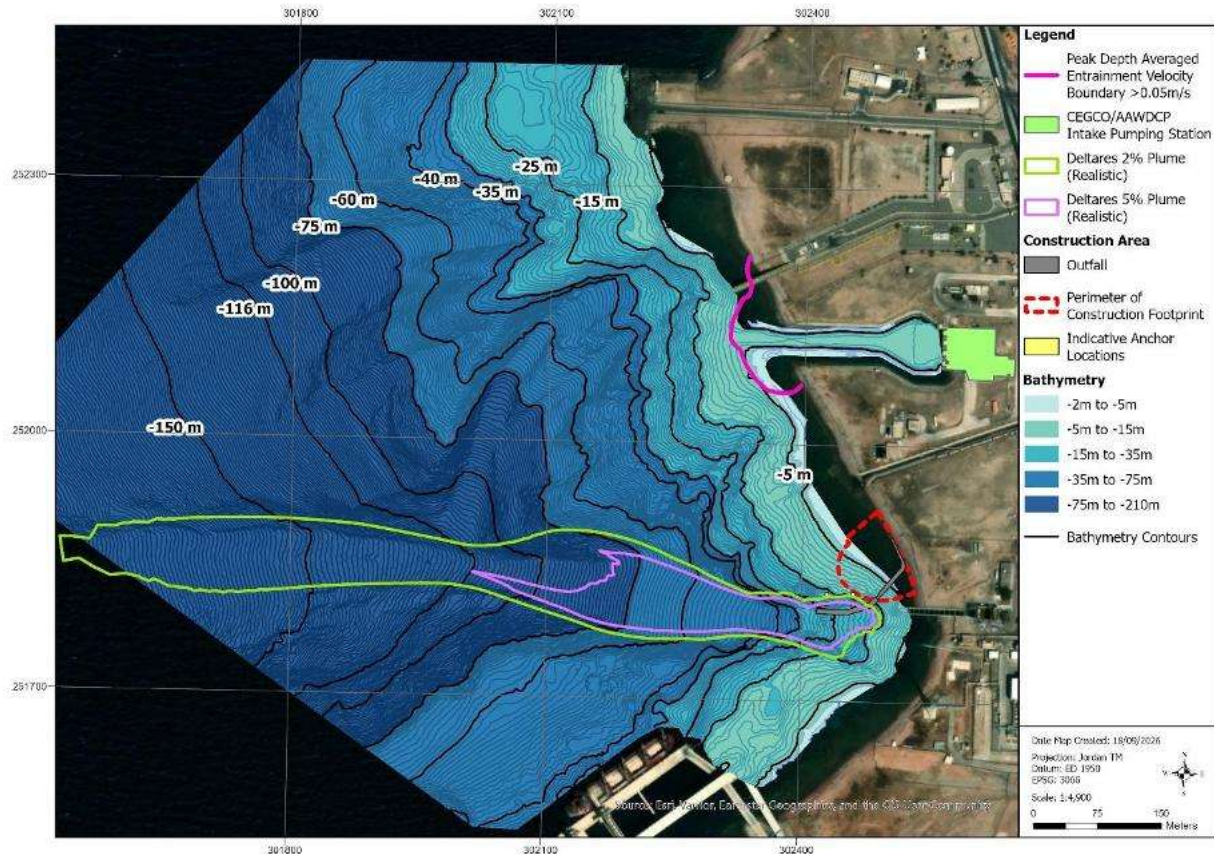
6.1 منهجية التقدير الكمي للأثر

اعتمدت المنهجية ذاتها المعروضة في تقييم الأثر البيئي والاجتماعي لعام 2025 المُفصّل عنه للتقدير الكمي للأثار، باستخدام المعلومات الواردة أدناه لتقييم مساحة الأثار على قاع البحر:

- جرى التقدير الكمي لمساحة قاع البحر المتأثرة بعمود الرجيع الملحي استناداً إلى مخرجات نمذجة Deltares
 - مع ملاحظة أنه منذ الإفصاح عن تقييم الأثر البيئي والاجتماعي لعام 2025، جرى تنقيح النمذجة للمصبّ الجديد في الأخدود، واستُخدمت الحالة الواقعية لنموذج Deltares وقورنت بمخرجات النمذجة الواردة في تقييم الأثر البيئي والاجتماعي لعام 2025 المُفصّل عنه
 - جرى التقدير الكمي لمساحة قاع البحر المتأثرة بنظام مأخذ مياه البحر باستخدام نمذجة سرعة السحب عند المأخذ
 - استُخدمت النمذجة ذاتها المستخدمة في تقييم الأثر البيئي والاجتماعي لعام 2025 المُفصّل عنه، نظراً لعدم تغيّر بيانات المدخلات
 - كما استُخدمت أنواع الموائل والنسب المئوية للغطاء المرجاني، والنسب المئوية لغطاء الأعشاب البحرية حيثما توافرت
 - استندت أرقام النسب المئوية للغطاء وتوزيع الموائل في المواقع الجديدة لمأخذ مياه البحر وإنشاء المصبّ وعمود الرجيع الملحي إلى بيانات المسوحات المتاحة في عام 2026، والتي لم تُستخدم في تقييم الأثر البيئي والاجتماعي لعام 2025 المُفصّل عنه
 - استُخدمت أحدث البيانات المقدّمة من مقاول EPC بشأن منطقة الإنشاء، وتشمل ما يلي:
 - حفر خندق المصبّ، على افتراض أن المواد المحفورة ستُخزّن مؤقتاً على اليابسة، وليس في البيئة البحرية، وستُستخدم في ردم الخندق
 - افترض استخدام ستائر احتجاز الرواسب لاحتواء آثار عمود الانتشار، وأن المنطقة الواقعة داخل الستائر ستأثر، مع نقل المرجان الصلب منها
 - إلقاء مراسي سفن التركيب داخل ستائر احتجاز الرواسب، إضافة إلى أربعة مواقع إضافية لإلقاء المراسي لدعم تركيب المصبّ
 - لا توجد آثار إنشائية مرتبطة باستخدام بحيرة الشركة المركزية لتوليد الكهرباء (CEGCO)
 - جرى تقييم الأثار التشغيلية الناجمة عن سحب مياه البحر
 - مراجعة التصميم الحالي لمحطة التحلية لاستنتاج تراكيز الحديد في الرجيع الملحي في ظروف التشغيل العادية وغير العادية للمحطة
 - استخدم تقييم الأثر البيئي والاجتماعي لعام 2025 المُفصّل عنه سابقاً معيار امتثال، فيما تدعم أعمال تطوير التصميم المنجزة حتى تاريخه اعتماد تركيز أكثر واقعية للحديد يستند إلى نطاق من ظروف تشغيل المحطة
 - وفقاً لتقييم الأثر البيئي والاجتماعي لعام 2025 المُفصّل عنه، يُفترض أن يُنفذ نقل المرجان في أعماق المياه التي تقل عن 35 م بمعدل بقاء يبلغ 80%؛ أما في أعماق المياه التي تزيد على 35 م، فإن النقل غير ممكن
- جرى التقدير الكمي للأثار باستخدام تعريفيين:
- مساحة الأثر على قاع البحر قبل التخفيف:
 - دون مراعاة نوع الركيزة أو الغطاء المرجاني أو غطاء الأعشاب البحرية أو تدبير التخفيف المتمثل في نقل المرجان.
 - تُقدّم المساحة الإجمالية للأثر على قاع البحر دون إدراج أي متغيرات أخرى
 - الأثر المتبقي:

- يأخذ في الاعتبار الغطاء المرجاني أو غطاء الأعشاب البحرية وتدابير التخفيف المتمثل في نقل المرجان:
 - سيُنقل كل المرجان الصلب الموجود ضمن نطاق الأثر في أعماق المياه التي تقل عن 35 م. ويُفترض أن يحقق المرجان المنقول معدل بقاء يبلغ 80%، ما ينتج عنه فقدان صافٍ بنسبة 20% من المرجان الصلب الموجود
- تظهر الآثار التي جرى تقييمها في هذا القسم على الشكل 6-1 وهي مُدرّجة أدناه:
 - نظام مأخذ مياه البحر
 - بيانات المدخلات الرئيسية: نمذجة سرعة الانجراف إلى المأخذ، والمسح البيئي بالغوص على طول المقاطع العرضية المُنجز في تموز 2026
 - إنشاء المصبّ في موقع الأخدود الجديد
 - بيانات المدخلات الرئيسية: منهجية الإنشاء الاسترشادية لمقاولة الهندسة والتوريد والإنشاء (EPC) التي وردت في آب 2026 والملخصة في القسم 2، والمسح البيئي بالغوص المُنجز في أيار 2026
 - تصريف الرجيع الملحي
 - بيانات المدخلات الرئيسية: نموذج Deltares الصادر في أيلول 2026، والمسح البيئي بالغوص المُنجز في أيار 2026، والمسح البيئي بالفديو المُنزل المُنجز في أيلول 2026

الشكل 6-1: منطقة إنشاء المصبّ الجديد وبحيرة السحب



يستفيد التقدير الكمي للآثار في هذا القسم من بيانات تصميم وبيانات خط أساس بيئي لمرحلة ما قبل الإنشاء ونمذجة أكثر متانة واكتمالاً، بما يعكس المسار الطبيعي لإعداد تقييم الأثر البيئي والاجتماعي بالتوازي مع أعمال تخطيط المشروع وتصميمه الجارية: فمع نضوج

التصميم واستمرار جمع بيانات خط الأساس، يُستعاض تدريجياً عن القيم المفترضة بقيم مستندة إلى التصميم وقيم مقيسة، وتُحدَّث النمذجة تبعاً لذلك لدعم تقييم أكثر دقة وصرامة.

6.2 نظام مأخذ مياه البحر

يجب النظر في احتمال أن يكون لمعدلات تدفق نظام مأخذ مياه البحر أثر على النظم البيئية الموجودة في سياق الظروف السائدة في خليج العقبة، والتي تتسم بما يلي:

- مياه فقيرة بالمغذيات (oligotrophic) بشكل عام
- تراكيز منخفضة من المغذيات
- تيارات محيطية منخفضة بشكل عام تبلغ نحو 0.05 م/ث وتجري موازية لخط الشاطئ (Marine Science Station, 2024)
- تغيرات متقطعة في التيارات
- مجتمعات مرجانية متكيفة مع ظروف تجدد مائي جيد نسبياً

تُعَدُّ حركة المياه المعتدلة للشعاب المرجانية والأعشاب البحرية عموماً في حدود 0.08-0.20 م/ث تقريباً (Koch et al., 2007, Lentz et al., 2017 and Comeau et al., 2014). ويوفّر هذا النطاق عادةً حركة مياه كافية لتعزيز تبادل الأكسجين، وإيصال المغذيات، وإزالة الفضلات، ونقل الرواسب، وانتشار اليرقات، دون التسبب في إجهاد فيزيائي كبير للمرجان أو المستعمرات اليافعة المُجنّدة أو مروج الأعشاب البحرية.

بالنسبة إلى الشعاب المرجانية، يُعَدُّ التدفق المعتدل مرغوباً عادةً لأنه:

- يعزّز تنفّس المرجان وعملية التكلّس
- يحسّن إيصال العوالق والمغذيات
- يقلّل من الطبقات الحدية الدقيقة المرتبطة بالحرارة والملوحة
- يحدّ من تراكم الرواسب على أسطح المرجان
- يدعم قدرة الشعاب على الصمود وعمليات تعافيتها
- بالنسبة إلى يرقات المرجان، يوفّر التدفق المعتدل أفضل توازن بين:
 - الاستقرار والاحتباس على المستوى المحلي
 - الانتشار على المستوى الإقليمي والترابط بين الشعاب

تزيد التيارات الضعيفة جداً من الاحتباس، ولكنها قد تقلّل من الترابط، في حين أن التدفقات التي تزداد شدتها تعزّز الانتشار على حساب الاحتباس المحلي.

بالنسبة إلى الأعشاب البحرية، يعزّز التدفق المعتدل ما يلي:

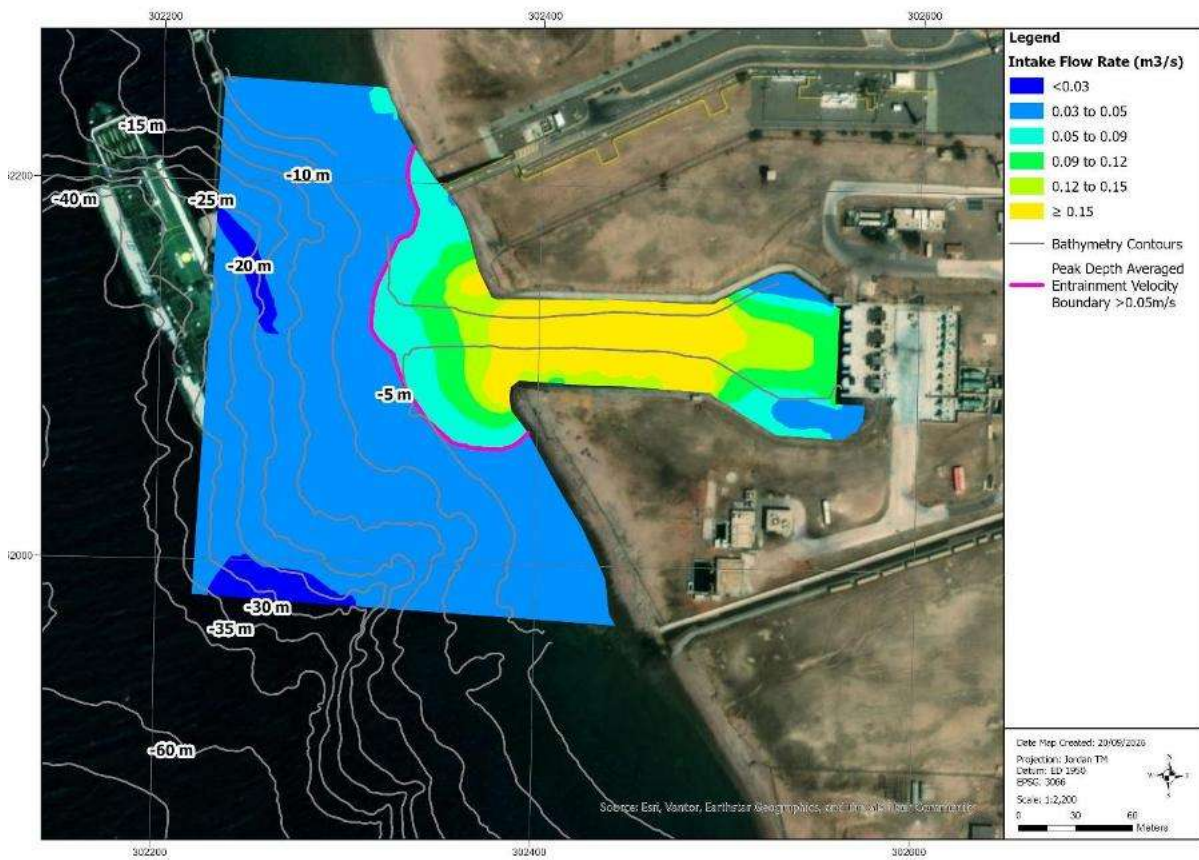
- أكسجة الرواسب
- إزالة الطحالب الفوقية النامية على الأوراق
- تبادل المغذيات
- منع التراكم المفرط للرواسب الناعمة

على الرغم من أن معدلات التدفق المتوقعة عند المأخذ تقع ضمن نظام تدفق معتدل ملائم للنظام البيئي بوجه عام، فقد تنشأ بعض المخاطر الإيكولوجية التي تستلزم الرصد نتيجةً للانجراف إلى المأخذ، وتغيّر جودة المياه، وأثار الإنشاء المرتبطة بذلك. وتنشأ هذه المخاطر إذا أدى معدل التدفق عند المأخذ إلى حرف اليرقات وغيرها من الكائنات الحية المنقولة بالمياه عن مسارها الموازي للساحل باتجاه بحيرة المأخذ. وتُبيّن درجة الانحراف المرجحة، في ضوء معدلات التدفق المتوقعة عند المأخذ وتدفق التيار المحيط، في الجدول 6-1 والشكل 6-2.

الجدول 6-1: زوايا الانحراف حسب نطاقات معدل التدفق عند المآخذ

سرعة السحب عند المآخذ (م/ث)	زاوية الانحراف
0.03	31.0°
0.05	45.0°
0.09	60.9°
0.12	67.4°

الشكل 6-2: سرعات سحب المياه عند المآخذ



استناداً إلى زوايا الانحراف المرجحة، ومع مراعاة تأثير التيارات المائية المحيطة، يرد ملخص للاستجابة المتوقعة للمرجان والأعشاب البحرية لزوايا الانحراف في الجدول 6-2.

الجدول 6-2: استجابة الأعشاب البحرية والمرجان لزوايا الانحراف

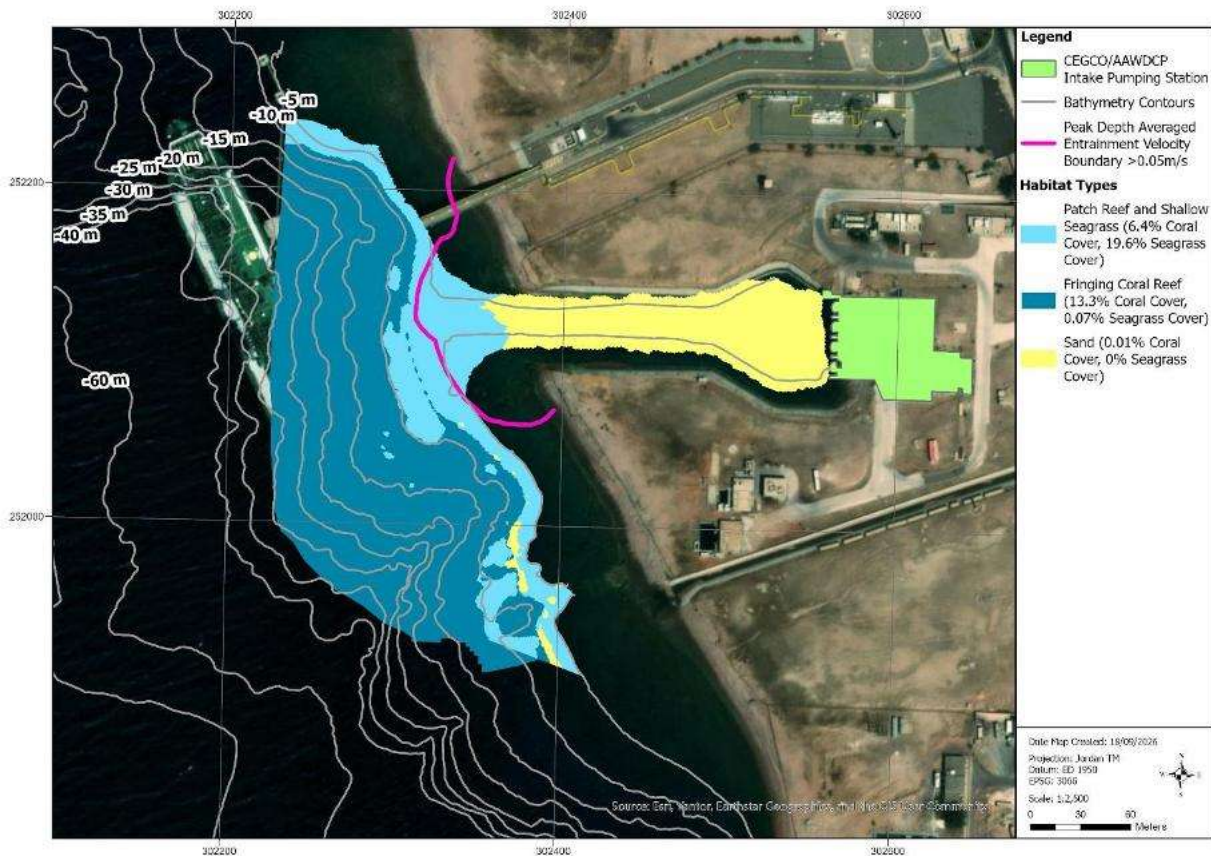
تيار المآخذ (م/ث)	الأثر على المرجان البالغ	الأثر على يرقات المرجان	الأهمية الإيكولوجية
<0.03	ضئيل. لا يوجد تأثير قابل للقياس على النمو أو البقاء أو الغطاء المرجاني	ضئيل-طفيف. يُحافظ على أنماط الانتشار الطبيعية	ضئيلة
0.03-0.05	ضئيل إلى طفيف. زيادة بسيطة في تبادل المياه، وهي مفيدة بوجه عام	طفيف. تغيرات صغيرة في مسارات الانتقال؛ ويبقى التجنيد (تجدد المستعمرات) غير متأثر إلى حد كبير	ضئيلة إلى طفيفة

تيار المآخذ (م/ث)	الأثر على المرجان البالغ	الأثر على يرقات المرجان	الأهمية الإيكولوجية
0.05-0.09	ضئيل-طفيف. تحسّن في تجدد المياه (الغسل) وإزالة الرواسب؛ ولا يُتوقع حدوث إجهاد فيزيائي	طفيف-متوسط. بعض التغيير في مسارات اليرقات ومواقع استقرارها	طفيفة
0.09-0.12	طفيف. تأثير محدود على حالة المستعمرات البالغة	متوسط. تعديل ملحوظ في مسارات التجنيد (تجدد المستعمرات) والترابط المحلي	منخفضة-متوسطة
> 0.12	طفيف-متوسط. قد تؤثر التغيرات طويلة الأمد في الظروف الهيدروديناميكية على بنية المجتمع الأحيائي	متوسط-مرتفع. ستتغير أنماط التجنيد (تجدد المستعمرات) على نحو قابل للقياس؛ مع إزاحة ممر انتقال اليرقات	متوسط

لأغراض التقدير الكمي للأثر، تُعدّ موانئ قاع البحر المعرضة لسرعات سحب عند المآخذ تزيد على 0.05 م/ث، وفقاً للنمذجة، خاضعةً لتغيّر قابل للقياس في حركة المياه يمكن أن يحرف بصورة جوهرية اليرقات وغيرها من أشكال الحياة العوالقية المرتبطة بالأعشاب البحرية عن مسار انتقالها الطبيعي الموازي للساحل. وبناءً عليه، تُعرّف المساحة التي تتجاوز هذه العتبة بأنها مساحة الأثر القابلة للتقدير الكمي؛ انظر الشكل 3-6.

يُعدّ التقدير الكمي للأثر الوارد هنا تقديراً احترازياً؛ إذ لا يُتوقع أن يكون لنظام سحب المياه أي أثر جوهري مباشر على مجتمع المرجان القائم، ومن ثم يُتوقع أن يحافظ الغطاء المرجاني واستقرار اليرقات على الموئل المرجاني القائم. ويُوصى برصد استقرار المرجان قبل التشغيل وأثناءه، إلى جانب رصد الموانئ القاعية، للتحقق من الآثار الناجمة عن تشغيل بحيرة المآخذ.

الشكل 3-6: بحيرة السحب مع خريطة الموانئ وحدود سرعة الانجراف إلى المآخذ < 0.05 م/ث



الجدول 3-6 مساحة الأثر على قاع البحر قبل التخفيف (دون مراعاة نوع الركيزة أو الغطاء المرجاني أو غطاء الأعشاب البحرية أو إجراء التخفيف المتمثل في نقل المرجان) والأثر المتبقي (مع مراعاة الغطاء المرجاني وغطاء الأعشاب البحرية وبافتراض تنفيذ نقل

المرجان). ويُلاحظ، كما هو موضح في القسم 6.7، أن مستعمرات المرجان الموجودة في منطقة الأثر المتبقي لن تُنقل، إذ إنها سُنديم المونل المرجاني القائم وتحافظ عليه. ومع ذلك، ومن باب الاحتياط، سيأخذ حساب التعويض في الاعتبار الأثر المتبقي على المرجان الوارد في الجدول 6-3.

الجدول 6-3: التقدير الكمي للأثار الإنشائية والتشغيلية لبحيرة السحب الجديدة

نوع المونل	الغطاء المرجاني %	غطاء الأعشاب البحرية %	مساحة الأثر على قاع البحر قبل التخفيف (م ²)	مساحة الأثر المتبقي على الأعشاب البحرية (م ²)	مساحة الأثر المتبقي على المرجان (م ²)
الشعاب المرجانية البقية والأعشاب البحرية الضحلة (بعمق > 35 م)	6.4%	19.6%	2,393	469	30.6
الرمال (بعمق > 35 م)	0.01%	0%	7,522	0	0.15
إجمالي المساحات (م ²)					
			9,915	469	31

لا يمكن إجراء مقارنة مباشرة للآثار المتبقية بين تقييم الأثر البيئي والاجتماعي لعام 2025 المُفصّل عنه والتقييم المُنفّج لبحيرة المأخذ، نظراً لأن مجموعة بيانات خط الأساس المستخدمة في تقييم الأثر البيئي والاجتماعي لعام 2025 المُفصّل عنه لم تتضمن معلومات عن غطاء الأعشاب البحرية. علاوة على ذلك، فإن منهجية تقييم الأثر المطبقة في هذا القسم أكثر تفصيلاً ومتانة، إذ تتضمن بيانات الغطاء المرجاني وغطاء الأعشاب البحرية الخاصة بكل مونل، فضلاً عن معلومات المسوحات المحدثة. وفي المقابل، قدّر تقييم الأثر البيئي والاجتماعي لعام 2025 المُفصّل عنه الآثار كمياً بصورة رئيسية من خلال الانخفاضات المتوقعة في تجنيد أمشاج المرجان والمحار العملاق. ولم تُرصد أي أمشاج للمحار العملاق خلال مسح منطقة المأخذ الذي أجري عام 2026. ومع ذلك، ترد مقارنة بين آثار مرحلة التشغيل الواردة في تقييم الأثر البيئي والاجتماعي لعام 2025 المُفصّل عنه والآثار المرتبطة بالموقع المُنفّج لبحيرة المأخذ في الجدول 6-4.

الجدول 6-4: مقارنة بين الآثار التشغيلية الواردة في تقييم الأثر البيئي والاجتماعي لعام 2025 المُفصّل عنه والآثار التشغيلية لبحيرة المأخذ الجديدة

الحالة المرجعية	مساحة الأثر على قاع البحر قبل التخفيف (م ²)	مساحة الأثر المتبقي (م ²)
تقييم الأثر البيئي والاجتماعي لعام 2025 المُفصّل عنه	35,946	21,447
بحيرة المأخذ الجديدة	9,915	500 (تشمل الأعشاب البحرية)

سيتم الإبقاء على تدابير التخفيف التالية الواردة في تقييم الأثر البيئي والاجتماعي لعام 2025 المُفصّل عنه والموضّحة في القسم 2:

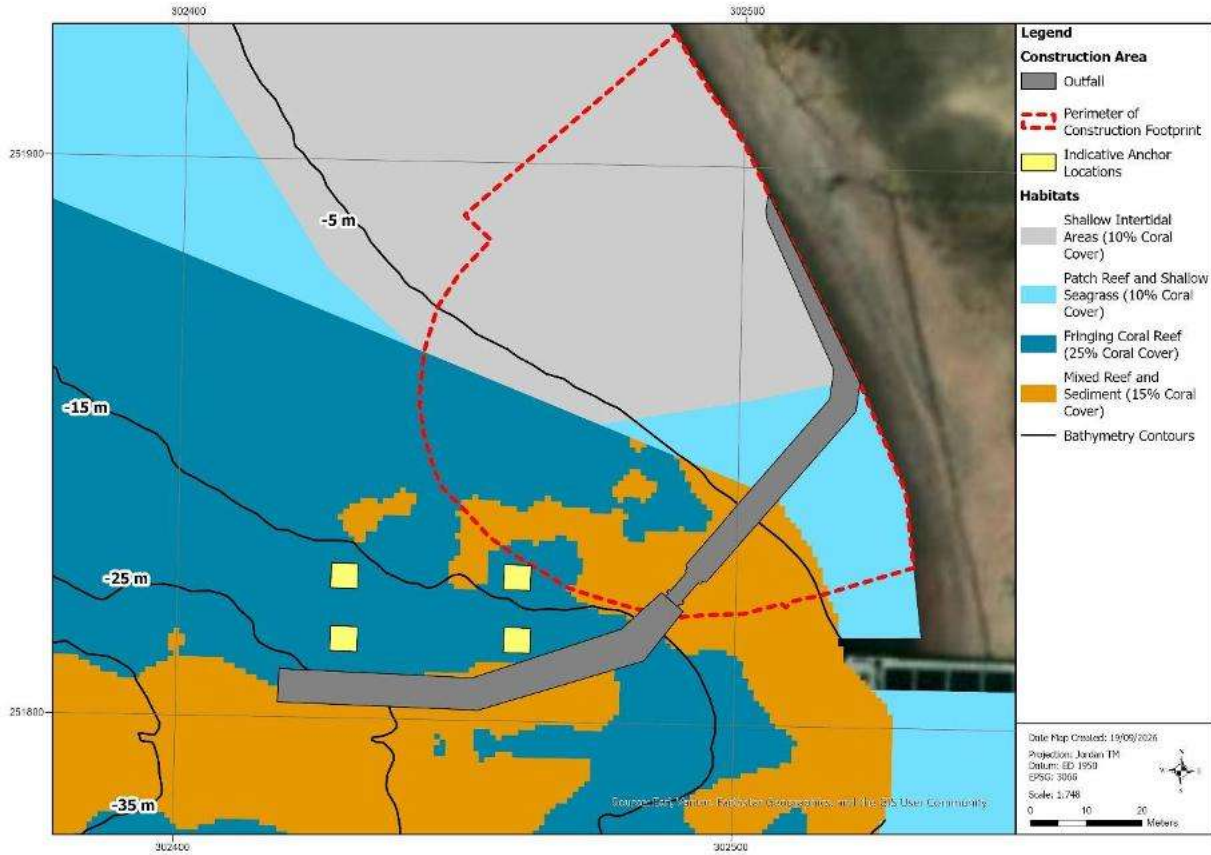
- حاجز عائم للنفط لحماية محطة ضخ المأخذ (IPS) وجودة المياه الداخلة من التلوث الناجم عن انسكابات النفط
 - نظام ستارة فقاعات عند فم البحيرة لحماية المأخذ من قناديل البحر، والحدّ كذلك من انجراف الكائنات البحرية المتحركة الأخرى إلى المأخذ
 - نظام لالتقاط الأسماك وإعادتها لمنع الأسماك من التسبّب في انسداد نظام المأخذ
- ستوفّر دراسات استقرار المرجان بيانات إضافية لدعم خطة الإدارة التكيفية والتحقّق من الآثار المعروضة في هذا القسم.

6.3 الإنشاء

سيؤدي إنشاء المصبّ إلى إحداث اضطراب في قاع البحر من خلال التجريف، ووضع فرشاة الحصى، وتمديد خط الأنابيب، وإلقاء المراسي، والردم، والحماية الصخرية، وأعمال الإنشاء المؤقتة. وستُستخدم في هذه الأعمال كِزّاة تجريف، وبارجة رافعة، وبارجة ذات سطح مستوٍ، وقاطرات بحرية، وغوّاصون، على أن تُنقل مقاطع خط الأنابيب من ميناء القوة البحرية الملكية وتُنزل إلى مواضعها تحت المراقبة المساحية. كما ستُجرّف مساحة إضافية لتحسين قدرة السفن على المناورة.

لأغراض التقدير الكمي للأثر، اعتمدت مساحة قاع البحر المحصورة داخل ستارة احتجاز الرواسب بوصفها نطاق الأثر الإنشائي؛ انظر الشكل 4-6. ويوفر ذلك أساساً متحفظاً لأنه يشمل المساحة التي يُحتمل أن تتأثر بالأعمال المباشرة واضطراب الرواسب. وستُركَّب ستارة احتجاز الرواسب حول منطقة العمل ويُحافظ عليها طوال فترة الإنشاء للحدّ من انتشار الرواسب العالقة والعكارة.

الشكل 4-6: منطقة إنشاء المصبّ الجديد



قبل بدء الإنشاء، سيُزال كل المرجان الصلب الموجود داخل المساحة المحصورة بستارة احتجاز الرواسب ويُنقل إلى مناطق مستقبلية مناسبة. وسيحدّ هذا الإجراء من الفقد المباشر لمستعمرات المرجان ضمن نطاق الأثر الإنشائي. وستُنقل مواد التجريف إلى البرّ لتخزينها في أكوام بصورة مضبوطة أو إعادة استخدامها أو التخلص منها، في حين ستوضع الحصى ومواد الردم والحماية الصخرية وفق المسار والتفاوتات المسموح بها المحددة.

يتضمن تقييم الأثر البيئي والاجتماعي لعام 2025 المُفصّل عنه التزامات تُلزم مقاول الهندسة والتوريد والإنشاء (EPC) باختيار مواد الإنشاء البحري، بما فيها الركام ومواد الردم والخرسانة، والتعامل معها على نحو يحول دون رشح الملوثات ويتجنب الآثار السلبية على جودة المياه، بما في ذلك العكارة.

الجدول 5-6 مساحة الأثر على قاع البحر قبل التخفيف (دون مراعاة نوع الركيزة أو الغطاء المرجاني أو غطاء الأعشاب البحرية أو إجراء التخفيف المتمثل في نقل المرجان) والأثر المتبقي (مع مراعاة الغطاء المرجاني وغطاء الأعشاب البحرية وبافتراض تنفيذ نقل المرجان)، كما يقدّم مقارنة مع تقييم الأثر البيئي والاجتماعي لعام 2025 المُفصّل عنه. ويقلّ الأثر المتبقي للمصبّ الجديد بشكل طفيف عمّا ورد في تقييم الأثر البيئي والاجتماعي لعام 2025 المُفصّل عنه، ويُعزى ذلك أساساً إلى أن المصبّ الجديد يقع في مياه أقل عمقاً يمكن للغواصين الوصول إليها لنقل المرجان.

الجدول 6-5: التقدير الكمي للأثر الإنشائية

الآثار الإنشائية وفق تقييم الأثر البيئي والاجتماعي لعام 2025 المفصّل عنه		الآثار الإنشائية للمصبّ الجديد		نوع المونل	
مساحة الأثر المتبقي (م ²)	مساحة الأثر على قاع البحر قبل التخفيف (م ²)	مساحة الأثر المتبقي (م ²)	مساحة الأثر على قاع البحر قبل التخفيف (م ²)	الغطاء المرجاني %	
63	3,125	15	754	10%	المناطق الضحلة الواقعة بين حدي المدّ والجزر (بعمق > 35 م)
19	954	10	491	10%	الشعاب المرجانية البقعية والأعشاب البحرية الضحلة (بعمق > 35 م)
59	1,185	32	396	تقييم الأثر البيئي والاجتماعي = 40% المصبّ الجديد = 25%	الشعاب المرجانية الهامشية (بعمق > 35 م)
35	1,177	0	0	15%	الشعاب المختلطة والرواسب (بعمق > 35 م)
0	0	113	752	15%	الشعاب المختلطة والرواسب (بعمق < 35 م)
0	0	38	253	15%	الرمال العميقة والتنوّات الشعابية المعزولة (بعمق < 35 م)
176	6,441	207	2,646		إجمالي المساحات (م ²)

6.4 التقدير الكمي لأثر عمود الانتشار وفق الحالة الواقعية لنمذجة Deltares

يستند التقدير الكمي للأثر في هذا القسم إلى سيناريو نمذجة الحالة الواقعية الذي أعدته Deltares والموضّح في القسم 5، وقد استُخدمت فيه أحدث خريطة لموائل منطقة عمود الانتشار مستمدة من المسح بالفيديو المُنزّل، إلى جانب بيانات نسبة الغطاء المرجاني (%) المرتبطة بها ضمن منطقة عمود الانتشار. وترد في الشكل 6-5 خريطة لمنطقة عمود الانتشار تعرض خطّي كنتور الملوحة عند 5% و2% فوق خط الكنتور المحيط. ويرد التقدير الكمي للأثر في الجدول 6-6 لكلّ من مساحة الأثر على قاع البحر قبل التخفيف (دون مراعاة نوع الركيزة أو الغطاء المرجاني أو غطاء الأعشاب البحرية أو إجراء التخفيف المتمثل في نقل المرجان) والأثر المتبقي (مع مراعاة الغطاء المرجاني وغطاء الأعشاب البحرية وبافتراض تنفيذ نقل المرجان).

إن نطاق عمود الانتشار المُنمذج المرتبط بالمصبّ الجديد أكبر بكثير من النطاق الوارد في تقييم الأثر البيئي والاجتماعي لعام 2025 المفصّل عنه عند تقييمه باستخدام عتبة الملوحة البالغة 2%، إذ يزداد من 9,076 م² إلى 69,027 م². غير أن الزيادة في مساحة عمود الانتشار لا تُترجم إلى زيادة متناسبة في الأثر الإيكولوجي، لأن التقييم المُنفّج يستند إلى خرائط موائل جديدة وبيانات عن الغطاء المرجاني جُمعت ضمن منطقة عمود الانتشار. ويُظهر المسح بالفيديو المُنزّل أن جزءاً كبيراً من النطاق الموسّع لعمود الانتشار يقع فوق موائل رملية عميقة ومناطق عميقة تغلب عليها الرواسب ولا تدعم إلا القليل جداً من المرجان. وعلى وجه الخصوص، يقع 51,444 م² من أصل 69,027 م² من نطاق عمود الانتشار عند عتبة 2%، أي ما يمثل نحو 75% من إجمالي مساحة عمود الانتشار، ضمن موئل الرمال العميقة حيث لا يتجاوز متوسط الغطاء المرجاني 0.05%.

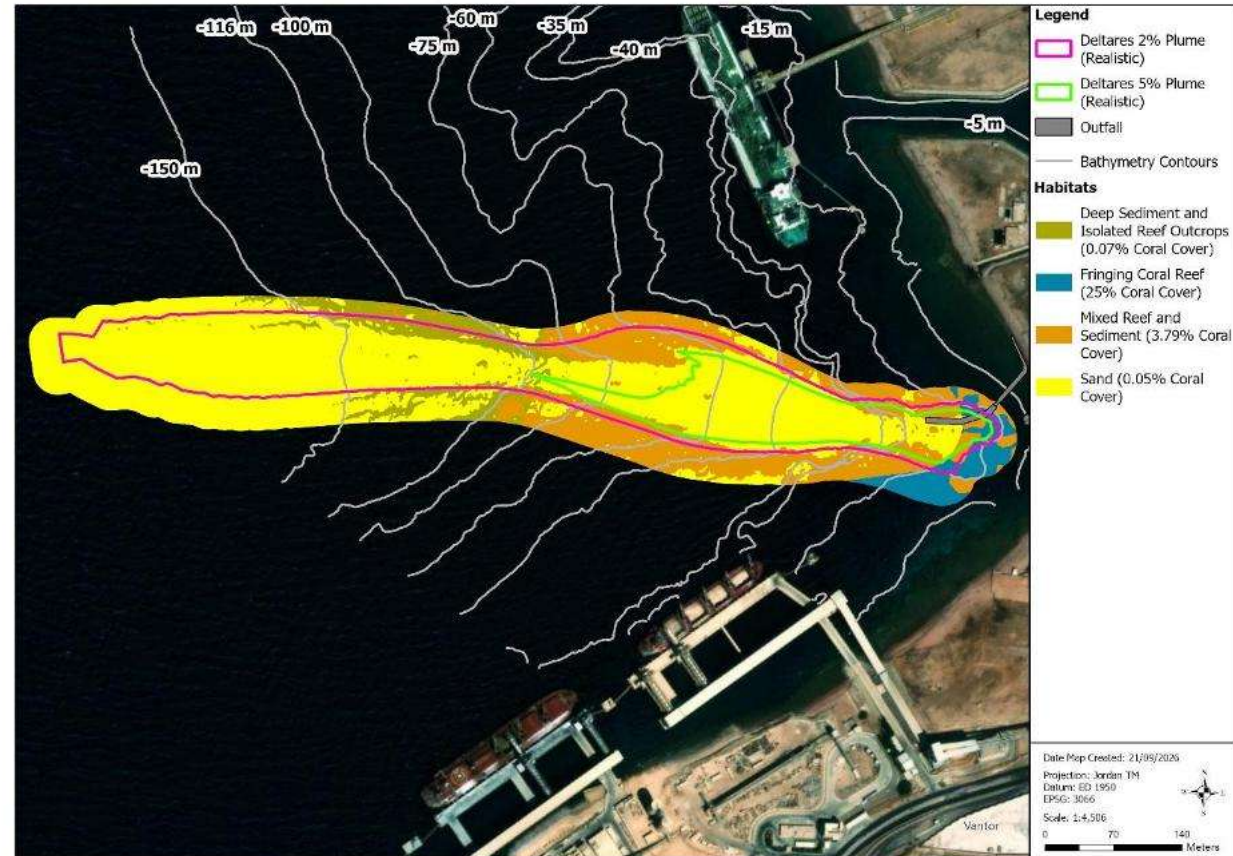
ونتيجة لذلك، وعلى الرغم من أن نطاق الأثر قبل التخفيف أكبر بنحو 7.6 مرة من النطاق الذي جرى تقييمه في تقييم الأثر البيئي والاجتماعي لعام 2025 المفصّل عنه، فإن الأثر المتبقي أقل بكثير، إذ ينخفض من 1,362 م² إلى 396 م². ويعكس هذا الانخفاض قيم الغطاء المرجاني المنخفضة بدرجة كبيرة التي سجّلت ضمن منطقة عمود الانتشار الجديدة مقارنةً بالافتراضات المطبقة في تقييم الأثر

البيئي والاجتماعي لعام 2025 المُفصّل عنه، ولا سيما في موانئ المياه الأعمق. ويرتبط الجزء الأكبر من نطاق عمود الانتشار الجديد إما بموانئ تتسم بغطاء مرجاني منخفض جداً (0.05% في الموانئ الرملية و0.07% في الرمال/الرواسب العميقة والنتوءات الشعابية المعزولة)، أو بموانئ تقع خارج نطاق الأعماق التي يمكن للغواصين الوصول إليها حيث تكون وفرة المرجان محدودة.

يؤدي تطبيق عتبة الملوحة البالغة 5%، التي تُعدّ أنسب من عتبة الملوحة البالغة 2% المستخدمة في تقييم الأثر البيئي والاجتماعي المُفصّل عنه، إلى تقليص نطاق عمود الانتشار بدرجة أكبر ليصل إلى 20,108 م²، وتقليص الأثر المتبقي إلى 66 م² فقط.

بوجه عام، تشير مسوحات الموانئ المحدّثة إلى أن التصميم المُنفّذ للمصبّ يوجّه عمود الانتشار بصورة رئيسية نحو مناطق أعمق تغلب عليها الرواسب ويكون وجود المرجان فيها محدوداً جداً، مما يعني أن الزيادة في مساحة عمود الانتشار لا تصاحبها زيادات مماثلة في الأثر على موانئ المرجان.

الشكل 6-5: مساحة عمود انتشار الرجيع الملحي التي تتجاوز فيها الملوحة المستوى المحيط بنسبة 2% و 5%، وخريطة الموانئ



الجدول 6-6: جدول ملخص آثار عمود انتشار الرجيع الملحي، بما في ذلك عمود انتشار عند ملوحة 2% و5%

آثار عمود الانتشار عند 2% للمصبّ الجديد		آثار عمود الانتشار عند 5% للمصبّ الجديد		آثار عمود الانتشار عند 2% وفق تقييم الأثر البيئي والاجتماعي لعام 2025 المفصّل عنه			
مساحة الأثر المتبقي (م ²)	مساحة الأثر على قاع البحر قبل التخفيف (م ²)	مساحة الأثر المتبقي (م ²)	مساحة الأثر على قاع البحر قبل التخفيف (م ²)	مساحة الأثر المتبقي (م ²)	مساحة الأثر على قاع البحر قبل التخفيف (م ²)	الغطاء المرجاني %	نوع المونل
16	314	52	1,038	0	0	المصبّ الجديد = 25%	الشعاب المرجانية الهامشية (بعمق > 35 م)
14	1,842	23	2,989	0	0	المصبّ الجديد = 3.79%	الشعاب المختلطة والرواسب (بعمق > 35 م)
28	730	292	7,702	46	305	حالة تقييم الأثر البيئي والاجتماعي = 15% المصبّ الجديد = 3.79%	الشعاب المختلطة والرواسب (بعمق < 35 م)
0.004	6	3	4,105	1,316	8,771	حالة تقييم الأثر البيئي والاجتماعي = 15% المصبّ الجديد = 0.07%	الرمال/الرواسب العميقة والتنوّعات الشعبانية المعزولة (بعمق < 35 م)
0.2	1,690	0.2	1,749	0	0	المصبّ الجديد = 0.05%	الرمال (بعمق > 35 م)
8	15,526	26	51,444	0	0	المصبّ الجديد = 0.05%	الرمال (بعمق < 35 م)
66	20,108	396	69,027	1,362	9,076		إجمالي المساحات (م ²)

6.5 الحديد

قد يحتوي الرجيع الملحي المُصرّف من محطة التحلية على حديد ذائب نتيجةً لكميائيات المعالجة وإدارة مخلفات المعالجة. وقد تُستخدم مواد تختير قائمة على الحديد في مرحلة المعالجة الأولية لتعزيز إزالة المواد الصلبة العالقة والمواد العضوية ولحماية عمليات المعالجة اللاحقة، بما فيها أنظمة التناضح العكسي. ومن المتوقع، خلال التشغيل، أن يُحتجز معظم الحديد المرتبط بكميائيات المعالجة في مخلفات المعالجة، مثل الحمأة، ومياه الغسيل العكسي للمرشحات، وغيرها من تيارات إدارة المواد الصلبة. ومع ذلك، قد تبقى تراكيز متبقية منخفضة من الحديد في تيارات المياه الموجهة إلى التصريف. وبناءً على ذلك، يُتوقع وجود كميات نزرة من الحديد في المياه المُصرّفة، وهو أمر مأخوذ بالحسبان ضمن برنامج رصد المحطة الذي يتضمن رسداً روتينياً للحديد الكلي في مياه التصريف. وقد راجع مهندس المالك لمشروع AAWDCP معلومات التصميم الحالية لتحديد تراكيز الحديد المتوقعة في الرجيع الملحي المُصرّف في ظل ظروف التشغيل الروتينية وغير الروتينية.

إن تركيز الحديد البالغ 0.23 ملغم/لتر في الرجيع الملحي المُصرّف خلال التشغيل الروتيني للمحطة مستمد من حالة التصميم الخاصة بمقاوم الهندسة والتوريد والإنشاء (EPC) التي تمثل أقصى حالة واقعية متوقعة للمواد الصلبة العالقة الكلية (TSS) في مياه البحر في ظل التشغيل الاعتيادي. ويفترض هذا السيناريو تركيزاً للمواد الصلبة العالقة الكلية (TSS) في مياه البحر يبلغ 10 ملغم/لتر، وأغشية تناضح عكسي متقدمة، ومتطلبات جرعات كلوريد الحديد المقلبة قبل مرشحات الضغط ثنائية الوسط. ويبلغ تركيز الحديد المحسوب الناتج في تيار التصريف المجموع 0.23 ملغم/لتر. ولذلك تُعدّ هذه القيمة أساساً فنياً مناسباً للتشغيل الروتيني، لأنها تعكس حالة تشغيل متحفظة ضمن نطاق التصميم الاعتيادي، لا حدثاً استثنائياً أو عابراً.

أما تركيز الحديد الأعلى البالغ 0.37 ملغم/لتر فمستمد من حالة التصميم القصوى الخاصة بمقاوم الهندسة والتوريد والإنشاء (EPC)، التي تفترض تركيزاً للمواد الصلبة العالقة الكلية (TSS) في مياه البحر يبلغ 50 ملغم/لتر. ولا تُعدّ هذه الحالة ممثلةً للتشغيل الروتيني للمحطة، ومن المفهوم أنها محدودة المدة. ولذلك ينبغي وصفها بأنها حالة مرتفعة للتشغيل غير الروتيني. كما تنطوي هذه القيمة على قدر أكبر من عدم اليقين، نظراً لأن العلاقة بين جرعة كلوريد الحديد وتركيز TSS أقل تحديداً عند تراكيز TSS المرتفعة.

سيُخفّض إلى الحد الأدنى ما يدخل إلى الرجيع الملحي المُصرّف من مغذيات أخرى، وذلك من خلال تحسين جرعات الكيماويات، والاختيار الدقيق لكميائيات المعالجة، والإدارة الفعالة لمخلفات العمليات. ويشترط تصميم محطة التحلية رسداً مستمراً لمياه التصريف، بما في ذلك التحليل اليومي للنيتروجين الكلي والفوسفور الكلي.

يُعدّ الحديد من المغذيات الدقيقة الأساسية لعملية البناء الضوئي والأبيض الخلوي، إلا أن المرجان لا يكون عموماً محدوداً بشدة بتوافر الحديد. ويتسم خليج العقبة وشمال البحر الأحمر بطبيعتهما بفقر المغذيات، وغالباً ما يكونان فقيرين بالحديد. ويبلغ تركيز الحديد الذائب المحيط في خليج العقبة نحو 0.00194 ملغم/لتر، ضمن نطاق نموذجي يتراوح من 0.00056–0.00444 ملغم/لتر (Chase et al., 2006; Al-Taani et al., 2020).

من الأنسب النظر إلى الحديد بوصفه عاملاً محتملاً لتعزيز النمو، لا سبباً وحيداً للإثراء الغذائي. وقد يكون للإثراء المعتدل بالحديد بعض الأثر التسميدي على العوالق أو الطحالب أو الميكروبات، إلا أن الدراسات المتاحة عن المرجان في البحر الأحمر تشير إلى أن الحديد لا يبدو عاملاً محدداً بقوة لإنتاجية المرجان ذاتها.

بالنسبة إلى الإثراء طويل الأمد بالحديد الذائب بتركيز تقل عن 0.05 ملغم/لتر (50 ميكروغرام/لتر) في بيئات الشعاب المرجانية، تشير الأدلة إلى أن حدوث سمية مباشرة للمرجان (نفوق مباشر، أو آثار على التكلس، أو ابيضاض للمرجان يُعزى إلى الحديد وحده) أمر غير مرجح، ولكن قد توجد بعض الآثار الإيكولوجية غير المباشرة على مستوى النظام البيئي، لا على شكل سمية على مستوى الكائن الحي (Kelly et al., 2012; da Silva Fonseca et al., 2025; Fukushima et al., 2025).

استُخدمت نمذجة عمود انتشار الرجيع الملحي التي أجرتها Deltares لتقييم الآثار المحتملة للحديد، وذلك بتحديد درجة التخفيف (تمدد التركيز) اللازمة لخفض تراكيز الحديد إلى 0.050 ملغم/لتر، وهي العتبة الدنيا التي قد يحدث عندها إجهاد سمي محتمل:

- التشغيل الروتيني: يلزم تخفيف بمقدار خمسة أضعاف كحد أدنى
- التشغيل غير الروتيني: يلزم تخفيف بمقدار ثمانية أضعاف كحد أدنى

تشير النمذجة إلى أن التخفيف بمقدار ثمانية أضعاف يتحقق عند الحدّ الفاصل بين نموذجي المجال القريب والمجال البعيد، على بُعد نحو 15 إلى 25 م من فتحات الناشر. وفيما يتجاوز هذه المسافة، يُتوقع أن تنخفض تراكيز الحديد إلى ما دون العتبة الدنيا، ومن ثم يُعدّ الإجهاد السمي المحتمل والآثار المرتبطة بالحديد ضئيلة. ولا يُتوقع حدوث إثراء بالمغذيات من مصادر أخرى غير قائمة على الحديد، استناداً إلى التصميم الحالي للمحطة والمعايير الحالية. ومن المتوقع أن تكون تراكيز الحديد أقل من المستويات المحيطة عند الحدود بين المملكة العربية السعودية والأردن.

ستتحقق دراسات تعريض المرجان المخبرية المُخطَّط لها من صحة هذا التقييم. وستتضمن خطة الإدارة التكيفية النهائية تدابير محددة للرصد والضبط والاستجابة فيما يتعلق بالحديد، ولمنع المصادر الأخرى للمغذيات في الرجيع الملحي.

6.6 ملخص التقييم الكمي للأثر

يُبين التقييم الكمي للأثر أن التصميم المُنفَّح للمأخذ والمصبّ يؤدي إلى انخفاض كبير في الآثار البيئية المتبقية مقارنةً بتلك الواردة في تقييم الأثر البيئي والاجتماعي لعام 2025 المُفصَّح عنه، على الرغم من بعض الزيادات في إجمالي مساحة نطاق الأثر قبل التخفيف. ويعكس التقييم الفائدة المتحققة من الموقع المُنفَّح للمأخذ، والتصميم المُحدَّث للمصبّ، وتحسين بيانات مسوحات خط الأساس، بما في ذلك إدراج معلومات الغطاء المرجاني وغطاء الأعشاب البحرية الخاصة بكل موئل.

يتعلق الانخفاض الأبرز في الأثر بنظام مأخذ مياه البحر. ففي تقييم الأثر البيئي والاجتماعي لعام 2025 المُفصَّح عنه، ارتبط نظام المأخذ بمساحة أثر على قاع البحر قبل التخفيف بلغت 35,946 م²، ومساحة أثر متبقي بلغت 21,447 م². ويؤدي الترتيب المُنفَّح للمأخذ، إلى جانب النهج المُنفَّح لتقييم الأثر القائم على بيانات مسوحات خط أساس أكثر تفصيلاً وذات طابع كمي، إلى خفض نطاق الأثر قبل التخفيف بنحو 72% ليصل إلى 9,915 م²، في حين ينخفض الأثر المتبقي بنحو 98% ليصل إلى 500 م² فقط. ويعكس هذا الانخفاض استخدام البحيرة ومحطة ضخ المأخذ القامتين، مما يُعني عن إنشاء بحيرة مأخذ جديدة ويتجنب الآثار المرتبطة بذلك.

تزداد مساحة الأثر على قاع البحر قبل التخفيف المرتبطة بإنشاء المصبّ الجديد من 2,646 م² إلى 6,441 م²، لأن منهجية الإنشاء المُنفَّحة تتضمن نهجاً جديداً أكثر تحفظاً لتحديد منطقة الإنشاء (إذ يأخذ النهج الجديد في الاعتبار كامل المساحة الواقعة داخل ستارة احتجاز الرواسب). ومع ذلك، وعلى الرغم من اتساع نطاق الأثر الإنشائي، ينخفض الأثر المتبقي انخفاضاً طفيفاً من 207 م² إلى 176 م². وتعكس هذه النتيجة موقع المصبّ الجديد داخل الأخدود الرملي، وإمكانية نقل المرجان من جميع المناطق المتأثرة، نظراً لأن نطاق الأثر الإنشائي يقع الآن بالكامل ضمن أعماق يمكن للغواصين الوصول إليها.

يتعلق الفرق الأكبر بين تقييم الأثر البيئي والاجتماعي لعام 2025 المُفصَّح عنه والمأخذ والمصبّ الجديدين بعمود الانتشار الرجيع الملحي في مرحلة التشغيل والآثار المرتبطة بارتفاع الملوحة فوق ملوحة مياه البحر المحيطة البالغة 40.7 psu. وباستخدام عتبة الملوحة البالغة 2% فوق المستوى المحيط (أي ما يعادل نحو 41.5 psu)، تزداد مساحة الأثر على قاع البحر قبل التخفيف لعمود الانتشار من 9,076 م² في تقييم الأثر البيئي والاجتماعي لعام 2025 المُفصَّح عنه إلى 69,027 م² للمصبّ الجديد. غير أن الأثر المتبقي ينخفض من 1,362 م² إلى 396 م². ويُعزى هذا الانخفاض إلى خرائط الموائل المُحدَّثة، التي تُظهر أن نحو 75% من نطاق عمود الانتشار الجديد يقع فوق موئل رملي يبلغ متوسط الغطاء المرجاني فيه 0.05% فقط. وبالتالي، ورغم أن المساحة المعرضة لزيادات في الملوحة تتجاوز عتبة الـ 2% فوق المستوى المحيط أكبر بكثير، فإن معظم عمود الانتشار يقع ضمن موائل لا تدعم إلا القليل جداً من المرجان، مما يؤدي إلى أثر إيكولوجي أقل بكثير مما قُدِّر في تقييم الأثر البيئي والاجتماعي لعام 2025 المُفصَّح عنه.

الجدول 6-7 مقارنة موحدة لإجمالي مساحة الأثر على قاع البحر قبل التخفيف والآثار المتبقية المرتبطة بتصميم المأخذ والمصبّ الوارد في تقييم الأثر البيئي والاجتماعي لعام 2025 المُفصَّح عنه، وتصميم المأخذ والمصبّ الجديد الذي جرى تقييمه في هذا التقرير. ويرد تعريف مصطلحي «مساحة الأثر على قاع البحر قبل التخفيف» و«الآثار المتبقية» في القسم 6.1، ونوجزه فيما يلي:

- مساحة الأثر على قاع البحر قبل التخفيف: إجمالي المساحة التي يُحتمل أن تتأثر بأنشطة المشروع، دون مراعاة نوع الموئل أو الغطاء المرجاني أو غطاء الأعشاب البحرية، أو الفوائد المتحققة من نقل المرجان وغيره من تدابير التخفيف
 - الأثر المتبقي: الأثر الإيكولوجي المُقدَّر المتبقي بعد مراعاة الغطاء المرجاني وغطاء الأعشاب البحرية الخاصين بكل موئل، وتطبيق إجراء التخفيف المتمثل في نقل المرجان، مع افتراض معدل بقاء يبلغ 80% للمرجان المنقول، وما يترتب على ذلك من فقدان صافي بنسبة 20% من الغطاء المرجاني المتأثر
- وإجمالاً، ومع الأخذ في الاعتبار جميع مكونات مشروع AAWDCP والآثار المرتبطة بها:

- يرتفع إجمالي نطاق الأثر قبل التخفيف من 47,668 م² في تقييم الأثر البيئي والاجتماعي لعام 2025 المُفصَّح عنه إلى 85,383 م² عند تطبيق عتبة عمود الانتشار عند 2%، في حين يبلغ 36,464 م² عند تطبيق عتبة عمود الانتشار عند 5%، وذلك باستخدام تصميم المصبّ والمأخذ الجديد
- باستخدام عمود الانتشار عند 2%، ينخفض إجمالي الأثر المتبقي من 23,016 م² في تقييم الأثر البيئي والاجتماعي لعام 2025 المُفصَّح عنه إلى 1,072 م²، منها 603 م² من المرجان و469 م² من الأعشاب البحرية. ويمثل ذلك انخفاضاً بنسبة 95% تقريباً

- باستخدام عمود الانتشار عند 5%، يبلغ إجمالي الأثر المتبقي 742 م²، منها 273 م² من المرجان و469 م² من الأعشاب البحرية. وبقل ذلك بمقدار 330 م² عن تقييم عمود الانتشار عند 2%، ويمثل انخفاضاً بنسبة 97% تقريباً مقارنةً بالأثر المتبقي الوارد في تقييم الأثر البيئي والاجتماعي لعام 2025 المفصّل عنه
- تشير هذه النتائج إلى أن التصميم المُنفّج للمأخذ والمصبّ يقلّل الأثر على موائل الشعاب المرجانية بدرجة كبيرة، على الرغم من اتساع مساحات عمود الانتشار المُمنّجة، وذلك لأن الجزء الأكبر من عمود الانتشار يتجه نحو موائل أعمق تهيم عليها الرواسب ويكون الغطاء المرجاني فيها منخفضاً جداً.

الجدول 6-7: جدول ملخص الآثار، بما في ذلك عمود انتشار الملوحة عند 2% و5%

مكوّن المشروع		آثار المأخذ والمصبّ وفق تقييم الأثر البيئي والاجتماعي لعام 2025 المفصّل عنه		آثار المأخذ والمصبّ الجديدين	
	مساحة الأثر على قاع البحر قبل التخفيف (م ²)	مساحة الأثر المتبقي (م ²)	مساحة الأثر على قاع البحر قبل التخفيف (م ²)	مساحة الأثر المتبقي (م ²)	
نظام مأخذ مياه البحر	35,946	21,447	9,915	500 (الأعشاب البحرية 469، المرجان الصلب 31)	
الإنتشاء	2,646	207	6,441	176	
عمود انتشار الرجيع الملحي - عمود الانتشار عند 2% (عمود الانتشار عند 5% بين قوسين)	9,076	1,362	69,027 (20,108)	396 (66)	
إجمالي المساحات (م ²) - عمود الانتشار عند 2% (عمود الانتشار عند 5% بين قوسين)	47,668	23,016	85,383 (36,464)	انظر أدناه	
الأثر المتبقي - عمود الانتشار عند 2%					
• إجمالي الأعشاب البحرية = 469 • الإجمالي للمرجان = 603					
الأثر المتبقي - عمود الانتشار عند 5%					
• الإجمالي للأعشاب البحرية = 469 • الإجمالي للمرجان = 273					

6.7 تقييم نقل المرجان

يرد أدناه في الجدول 6-8 والجدول 6-9 ملخص لإجمالي المساحة المطلوب نقل المرجان الصلب منها، بالنسبة إلى عمودي انتشار الملوحة عند 2% و5%. ولا يشمل النطاق المُقدّر لمساحة النقل، البالغ 10,287 إلى 12,217 م² والوارد في الجدولين، مساحة الأثر الخاصة بمأخذ مياه البحر. وستبقى مستعمرات المرجان القائمة ضمن منطقة المأخذ في موقعها الأصلي، إذ لا يُتوقع أن يكون لتشغيل المأخذ أثر مباشر جوهري على تجمّعات المرجان الراسخة. وسيساعد الإبقاء على هذه المستعمرات في المحافظة على موائل المرجان القائمة، في حين سيتحقق رصد استقرار المرجان ورصد الموائل القاعية من أن سحب المياه لا يؤثر سلباً في التجنيد (تجدد المستعمرات) أو في حالة مجتمع الشعاب القائم. ويرتبط الأثر المحتمل المتصل بالمأخذ بصورة رئيسية بانحراف يرقّات المرجان وانجرافها إلى المأخذ، لا بالفقدان المادي للمستعمرات الراسخة؛ وبالتالي، فإن نقل المرجان القائم ليس مطلوباً ولا يُعدّ ملائماً.

يمكن استيعاب متطلبات النقل المُقدّرة بسهولة ضمن القدرة الاستيعابية المحتملة للمناطق المستقبلية المرشّحة الموضّحة في القسم 8.6.2. إذ يوفّر موقع الكورنيش ما يقارب 8,000 إلى 10,000 م²، في حين يوفّر النادي الملكي لليخوت ما يقارب 15,000 م²، إضافةً إلى 3,000 إلى 5,000 م² أخرى قد تكون متاحة في موقع بيرنيس. وتوفّر هذه المواقع مجتمعةً قدرة استيعابية تفوق متطلبات النقل بكثير، ومساحة إضافية كافية لاستيعاب أعمال النقل أو غيرها من تدابير استعادة الموائل اللازمة لتعويض الآثار المتبقية على المرجان.

الجدول 6-8: ملخص مساحة نقل المرجان (عمود الانتشار عند 2%)

نوع المونل	الغطاء المرجاني	مساحة الأثر على قاع البحر قبل التخفيف (م ²)
الإنتشاء		
المناطق المديّة الضحلة (بعمق أقل من 35 م)	10%	3,125
الشعاب المرجانية البقية والأعشاب البحرية الضحلة (بعمق >35 م)	10%	954
الشعاب المرجانية الهامشية (بعمق أقل من 35 م)	25%	1,185
الشعاب المختلطة والرواسب (بعمق أقل من 35 م)	15%	1,177
عمود الانتشار بنسبة 2%		
الشعاب المرجانية الهامشية (بعمق أقل من 35 م)	25%	1,038
الشعاب المختلطة والرواسب (بعمق أقل من 35 م)	3.79%	2,989
الرمال (بعمق >35 م)	0.05%	1,749
متوسط الغطاء المرجح بالمساحة	10.3%	
إجمالي مساحة عمود الانتشار عند 2% ومنطقة الإنتشاء (م ²)		12,217

الجدول 6-9: ملخص مساحة نقل المرجان (عمود الانتشار عند 5%)

نوع المونل	الغطاء المرجاني	مساحة الأثر على قاع البحر قبل التخفيف (م ²)
الإنتشاء		
المناطق المديّة الضحلة (بعمق أقل من 35 م)	10%	3,125
الشعاب المرجانية البقية والأعشاب البحرية الضحلة (بعمق >35 م)	10%	954
الشعاب المرجانية الهامشية (بعمق أقل من 35 م)	25%	1,185
الشعاب المختلطة والرواسب (بعمق أقل من 35 م)	15%	1,177
عمود الانتشار عند 5%		
الشعاب المرجانية الهامشية (بعمق أقل من 35 م)	25%	314
الشعاب المختلطة والرواسب (بعمق أقل من 35 م)	3.79%	1,842
الرمال (بعمق >35 م)	0.05%	1,690
متوسط الغطاء المرجح بالمساحة	10%	
إجمالي مساحة عمود الانتشار عند 5% ومنطقة الإنتشاء (م ²)		10,287

6.8 التقدير الكمي للتعويض

يُعدّ التقدير الكمي للتعويض الوارد في هذا القسم أولياً، إذ يقدّم تقديراً مبدئياً لمتطلبات التعويض المحتملة استناداً إلى الفهم الحالي للآثار المتبقية، بهدف دعم التخطيط المبكر للتعويض وفرز المواقع، لا لتحديد الالتزام النهائي بتعويض التنوع الحيوي.

ينطوي التقييم على عدد من الافتراضات والقيود. ولا تزال أعمال المسح والدراسات الإضافية المحددة في القسم 3.1 قيد التنفيذ، بما في ذلك مواصلة رسم خرائط الموائل، والمسح بواسطة مركبة تُشغّل عن بُعد (ROV) لمنطقة عمود انتشار الرجيع الملحي، ودراسات تعرّض المرجان، ورصد استقرار المرجان.

بدأت عملية اختيار مواقع التعويض. وقد جرى تحديد مواقع مستقبلية مرشحة وإخضاعها لتقييم أولي؛ إلا أنه يلزم إجراء مزيد من التحقيقات وتقييمات الملاءمة وإشراك أصحاب العلاقة قبل تأكيد مواقع التعويض المفضّلة. ويصف القسم 8.6 النهج المقترح لإعداد التعويض واختيار المواقع والتنفيذ، فيما ترد الخطوات التالية في القسم 8.6.3.

ستتضمن خطة عمل التنوع الحيوي النهائية تقديراً كمياً محدثاً للآثار المتبقية يأخذ في الاعتبار نتائج المسوحات والدراسات الإضافية، وافتراضات تقييم الأثر بعد تنقيحها، ومنهجية لمحاكاة التنوع الحيوي قائمة على نهج الهكتار المعدّل بالجودة (quality hectare).

يعرض القسمان 6.8.2 و 6.8.3 متطلبات مساحة تعويض المرجان المُقدّرة لنطاق أعمال الإنشاء مقترناً بسيناريوهي الأثر لعمود الانتشار عند 2% و 5% على التوالي. وقد حُسبت متطلبات التعويض باستخدام كلا سيناريوهي معدل بقاء المرجان المنقول البالغين 80% و 60% الموضّحين أعلاه. ويعرض القسم 6.8.4 متطلبات تعويض الأعشاب البحرية المُقدّرة.

6.8.1 نهج التقدير الكمي لتعويض المرجان

فُدّرت متطلبات التعويض الأولية لموائل الشعاب المرجانية استناداً إلى إجمالي الفقد المتبقي في المرجان الصلب بعد تطبيق تدابير التخفيف. ويشمل ذلك:

- الآثار المتبقية ضمن المناطق التي يزيد فيها عمق المياه على 35 م، حيث لا يُعدّ نقل المرجان ممكناً
- الآثار المتبقية بعد تنفيذ برنامج نقل المرجان المقترح. ولمراعاة عدم اليقين المتعلق بأداء عمليات النقل، جرى النظر في سيناريوهين لمعدل البقاء بعد النقل: معدل بقاء 80% ومعدل بقاء 60%.

يمثل سيناريو معدل البقاء 80% حالة التقييم الأساسية، ويُعدّ نتيجة واقعية للمشروع استناداً إلى الظروف البيئية المواتية في خليج العقبة، وتوافر مواقع مستقبلية ملائمة، والتنفيذ الناجح لتقنيات نقل المرجان المعتمدة، بما في ذلك عمليات الجمع والمناولة والنقل والتثبيت والرصد بعد النقل على النحو الملائم. وقد أفادت مبادرات نقل المرجان السابقة المُنفّذة في الأردن في كثير من الأحيان بمعدلات بقاء تتجاوز 85% (Kotb et al., 2015; Kotb, 2016)، وهو ما يعكس الجودة البيئية العالية للمواقع المستقبلية والقدرة النسبية لمرجان خليج العقبة على الصمود.

يُعدّ سيناريو معدل البقاء 60% أكثر تحفظاً، ويراعي عدم اليقين المتعلق بأداء عمليات النقل. ويتسق هذا الافتراض مع الأدبيات العالمية المتعلقة باستعادة المرجان، التي تشير إلى متوسط معدلات بقاء يبلغ نحو 64% في مشاريع استعادة المرجان الدولية (Boström-Einarsson et al, 2009)، وفي مشاريع استعادة النظم الإيكولوجية البحرية التي تشمل المرجان (Bayraktarov et al, 2015). وعليه، يوفّر معدل البقاء البالغ 60% معياراً احترازياً يعكس نتائج الاستعادة المرصودة عالمياً، ويتيح اختبار متانة استراتيجية التعويض في ظل معدل نجاح أدنى لعمليات النقل.

لكل سيناريو من سيناريوهي معدل البقاء، حُسب الفقد المتبقي في المرجان بوصفه نسبة الغطاء المرجاني المتأثر التي لم تتوطّن بنجاح ضمن المواقع المستقبلية بعد النقل. ثم استُخدمت مساحة الفقد المتبقي في المرجان الناتجة عن ذلك لتقدير متطلبات التعويض استناداً إلى موئل مستقبل مستهدف يبلغ متوسط الغطاء المرجاني فيه 25%. وبموجب هذا الافتراض، يحتوي كل متر مربع من الموئل المستقبل على نحو 0.25 م² من المرجان الحي. وبالتالي، تعادل المساحة المطلوبة للتعويض نحو أربعة أضعاف مساحة الفقد المتبقي في المرجان، بما يضمن استعادة كمية مكافئة من المرجان الحي ضمن موقع التعويض.

6.8.2 الأثر المتبقي على المرجان – سحب المياه والإنشاء وعمود الانتشار عند 2%

الجدول 6-10 متطلبات مساحة التعويض المُقدّرة لمنطقة سحب المياه ونطاق أعمال الإنشاء وسيناريو عمود الانتشار عند 2%، استناداً إلى معدلي بقاء مفترضين للمرجان المنقول يبلغان 80% و 60%.

الجدول 6-10: متطلبات مساحة تعويض المرجان (م²) لسحب المياه والإنشاء وعمود الانتشار عند 2%

افتراض معدل بقاء المرجان المنقول	إجمالي الأثر المتبقي (م ²)	نسبة الغطاء المرجاني المستهدفة %	إجمالي المساحة المطلوبة للتعويض (م ²)
80%	603	25%	2,412
60%	884	25%	3,536

6.8.3 الأثر المتبقي على المرجان – سحب المياه والإنشاء وعمود الانتشار عند 5%

الجدول 6-11: متطلبات مساحة التعويض المقدرة لمنطقة سحب المياه ونطاق أعمال الإنشاء وسيناريو عمود الانتشار عند 5%، استناداً إلى معدل بقاء مفترضين للمرجان المنقول يبلغان 80% و 60%.

الجدول 6-11: متطلبات مساحة تعويض المرجان (م²) لسحب المياه والإنشاء وعمود الانتشار عند 5%

افتراض معدل بقاء المرجان المنقول	إجمالي الأثر المتبقي (م ²)	نسبة الغطاء المرجاني المستهدفة %	إجمالي المساحة المطلوبة للتعويض (م ²)
80%	273	25%	1,092
60%	509	25%	2,036

6.8.4 الأعشاب البحرية (منطقة سحب المياه)

تستند متطلبات تعويض الأعشاب البحرية الحالية إلى الفقد المتوقع في موانئ الأعشاب البحرية ضمن منطقة سحب مياه البحر فقط. واستناداً إلى نطاق الموانئ المتأثرة التي جرى تحديدها حتى تاريخه، سيلزم توفير نحو 469 م² من موانئ الأعشاب البحرية المستعادة أو موانئ التعويض للتعويض عن الفقد المتبقي.

يُعدّ هذا التقدير أولياً، ولا يتضمن حالياً أي آثار محتملة على الأعشاب البحرية مرتبطة بنطاق الأعمال الإنشائية البحرية أو بنطاق عمود الانتشار. وعليه، ستراجع متطلبات التعويض وتُحدّث حال تأكيد مساحات الأثر النهائية المرتبطة بالإنشاء وإدراجها في التقييم.

6.8.5 مبادرات التعويض الأخرى

فيما يتعلق بالسّمات المؤهّلة الأخرى للموانئ الحرجة المرتبطة بموانئ المرجان والأعشاب البحرية أو المعتمدة عليها، فسيجري تناولها من خلال إجراءات التعويض المقترحة لدعم الركيزة الشعابية الحية إلى جانب مستعمرات المرجان. إذ تُوفّر الركيزة الحية طيفاً من الموانئ الدقيقة التي تدعم الكائنات المصاحبة والوظائف الإيكولوجية، بما في ذلك وظائف الحضانة والتغذية والمأوى والملاذ لأنواع الأخرى. وبناءً على ذلك، لن تقتصر إجراءات التعويض على مستعمرات المرجان المستهدفة بمعزل عن غيرها، بل ستحافظ، قدر الإمكان عملياً، على المجتمعات الحيوية المصاحبة التي تستوطن الركيزة الحية أو تستخدمها.

وعليه، ستُعدّ إجراءات التعويض الرامية إلى دعم الصخور الحية وتعزيزها مكوناً أساسياً من تدابير التعويض. وسيساعد الحفاظ على هذه الركائز الحية والمجتمعات المصاحبة لها في الإبقاء على الوظائف الإيكولوجية وسمات الموانئ التي تدعمها بنية الشعاب. كما ستُدرج حالة الصخور الحية والمرجان والكائنات المصاحبة ومعدلات بقائها ضمن برنامج رصد تدابير التعويض.

علاوةً على ذلك، يُتوقع أن يوفّر الإدخال المُخطّط لهياكل الشعاب الاصطناعية، كجزء من أنشطة التعويض، موانئ إضافية لأنواع والمجتمعات المرتبطة بالشعاب، على أن تتطور هذه الموانئ وتزداد استيطاناً بالكائنات الحية بمرور الوقت. ويدعم هذا النهج ما اكتسب من خبرة في عمليات نشر الشعاب الاصطناعية السابقة داخل المحمية البحرية. فعلى سبيل المثال، تطورت هياكل الشعاب الاصطناعية المعروفة باسم «Reef Arabisc»، الواقعة قبالة محطة العلوم البحرية، لتصبح موانئاً راسخاً لطائفة من الكائنات المرتبطة بالشعاب، بما في ذلك مرجان حديث التجنيد وغيره من حيوانات الشعاب. ومن ثمّ، فإن إدراج هياكل الشعاب الاصطناعية ضمن برنامج التعويض الخاص بالمشروع يوفّر مكوناً إضافياً يمكن أن يسهم في تطوير موانئ جديدة مرتبطة بالشعاب، ويعزّز القيمة الإيكولوجية الإجمالية لتدابير التعويض المقترحة.

إلى جانب موانئ الشعاب المرجانية، يُقرّ مشروع AAWDCP بأن الأعشاب البحرية تمثل مستقبلاً إيكولوجياً مهماً، وتسهم في الأثر المتبقي الإجمالي على التنوع الحيوي الذي حدده التقييم. وبناءً على ذلك، ستتناول خطة عمل التنوع الحيوي الخاصة بالمشروع الآثار

المتبقية على كلٍّ من الشعاب المرجانية والأعشاب البحرية. وسيُعدّ المشروع مبادرات مخصصة لاستعادة الأعشاب البحرية والتعويض عنها، بهدف التعويض عن الفقد المتبقي في الأعشاب البحرية. وقد تشمل التدابير المحتملة استعادة موائل الأعشاب البحرية المتدهورة، وتعزيز مروج الأعشاب البحرية القائمة، وغيرها من إجراءات الحماية المصممة لتحقيق فوائد إيكولوجية طويلة الأمد.

سيُحدّد في خطة عمل التنوع الحيوي النهائية مدى الحاجة إلى دعم تجمعات المحار العملاق كجزء من مبادرة تعويض، مع الإشارة إلى أنه لم يُرصد سوى 3 أفراد في بيانات مسح المقاطع الخطية بالغوص التي جرى تحليلها حتى وقت إعداد هذا التقرير، وذلك بعد تحليل أكثر من 1,000 مربع معيّنة.

6.9 الأثر المتبقي في سياق الامتداد الكلي للشعاب المرجانية في الأردن

الجدول 6-7 نطاق الأثر المُقدَّر لكل مكوّن من مكونات أنشطة المشروع، والنطاق الإجمالي التراكمي للأثر لعمود الانتشار عند 2% و5%. وفيما يتعلق بإجراءات تقييم الموائل الحرجة، تُقيّم الأهمية عادةً قياساً إلى المستقبل الإيكولوجي موضع الاهتمام، وهو في هذه الحالة الفقد في الغطاء المرجاني المتأثر فعلياً، لا المساحة الإجمالية قبل التخفيف، وهو ما توفّره مساحة الأثر المتبقي.

6.9.1 التقييم السياقي باستخدام أطلس ألين للمرجان (Allen Coral Atlas)

لتحديد أهمية فقد المرجان بوصفه مورداً إيكولوجياً لبيئة الشعاب في الأردن، يجب النظر إليه كنسبة من إجمالي المورد الإيكولوجي متاح. ويستخدم أطلس ألين للمرجان (<https://allencoralatlas.org>) (Allen Coral Atlas) صور الأقمار الصناعية عالية الدقة والتحليلات المتقدمة لرسم خرائط الشعاب المرجانية في العالم⁴. ويغطي الأطلس الشعاب المرجانية الاستوائية الضحلة حتى عمق أقصى يبلغ 15 م، ويرسم خرائط امتداد موائل الشعاب. وقد استُخدمت فئة «الشعاب» في الأطلس لتقديم تقدير إجمالي لامتداد الشعاب في الأردن:

- المساحة بوحدة م²: 2,630,834

- المساحة بالهكتار: 263.08

تفرض القيود المرتبطة بأطلس ألين للمرجان (Allen Coral Atlas) عدداً من التحفظات المهمة عند تفسير الامتداد المُقدَّر لمورد الشعاب المرجانية في الأردن. إذ يعتمد الأطلس على صور الأقمار الصناعية البصرية، ومن ثمّ يقتصر عموماً على رسم خرائط الموائل المرئية من السطح، مما يحصر التغطية في عمق مياه يبلغ نحو 15 م. ونتيجة لذلك، لا يرصد الأطلس أنظمة الشعاب الأعمق الواقعة دون العمق الفعلي لاختراق صور الأقمار الصناعية، وقد يبالغ أيضاً في تقدير الغطاء المرجاني في مواقع محدودة توجد فيها ركانز بشرية/منشأة هندسية في المناطق الصناعية.

كما يوفّر الأطلس مجموعتي بيانات متميزتين لكنهما متكاملتان، وينبغي اعتبار كليهما تقديرات متحفظة. الأولى هي «الشعاب المرجانية الضحلة (امتداد الشعاب)»، وهي تحدد البنية الجيومورفولوجية الأوسع للشعاب، وتشمل في الأردن نظام الشعاب الهامشية المتصل الذي يمتد على طول معظم الخط الساحلي. وتتضمن مجموعة البيانات هذه منصة الشعاب الضحلة الممتدة من منطقة المد والجزر حتى المنحدر الخارجي للشعاب. أما الثانية فهي «موائل المرجان (الغطاء القاعي)»، وهي لا ترسم إلا خرائط المناطق المحددة بوصفها موائل للمرجان الحي وموائل للمرجان والطحالب ضمن البنية الأوسع للشعاب. ولأن الأطلس يعمل بدقة مكانية تبلغ نحو 5 م، فقد لا تُرصد مستعمرات المرجان الأصغر حجماً والشعاب المرجانية البقعية ومعاليم الشعاب الضيقة، في حين تُستبعد المناطق الرملية ومروج الأعشاب البحرية ومناطق الركام من طبقة موائل المرجان المرسومة على الخريطة.

وفيما يخص الأردن تحديداً، يُرجّح أيضاً أن يقلل الأطلس من تقدير الامتداد الإجمالي للشعاب، نظراً لأن جدران الشعاب شديدة الانحدار وشبه العمودية تظهر مضغوطة أو تُغفل في صور الأقمار الصناعية الملتقطة من الأعلى. فضلاً عن ذلك، فإن المجتمعات المرجانية الموجودة على أعماق تزيد على نحو 15 م غير ممثلة في مجموعات بيانات الأطلس، علماً بأنها تشكل مكوّناتاً مهماً من أنظمة الشعاب في خليج العقبة، ويُرجّح أنها تمثل نسبة كبيرة من إجمالي مساحة الشعاب. وبالتالي، ينبغي اعتبار تقديرات امتداد الشعاب وموائل المرجان المستمدة من أطلس ألين للمرجان (Allen Coral Atlas) خطوط أساس متحفظة، ومن المتوقع أن يكون الامتداد الفعلي لمورد الشعاب المرجانية في الأردن أكبر بكثير مما يُظهره الأطلس.

⁴ يُعرّف الأطلس امتداد الشعاب بأنه معالم الشعاب المرجانية الضحلة المرئية عموماً من الأقمار الصناعية، ويجعل هذه الطبقة عن قصد أكثر شمولاً من خرائط الموائل التفصيلية الخاصة به. ويمكن أن تشمل هذه الطبقة منحدر الشعاب، ومسطح الشعاب، والموائل المرجانية، والركام، والبقع الرملية، والطحالب، والأعشاب البحرية، وغيرها من الركانز المرتبطة بمنظومة الشعاب.

لتحديد حجم فقد المرجان الناجم عن أنشطة المشروع نسبةً إلى امتداد الشعاب في الأردن، يمكن مقارنة الأثر المتبقي بإجمالي امتداد الشعاب في الأردن وبمساحة فئة موائل المرجان/الطحالب التي قدرها أطلس ألين للمرجان (Allen Coral Atlas)؛ وقد اعتمد النهج التالي:

• عمود الانتشار عند 2%:

○ امتداد الشعاب: (مشروع AAWDCP – الأثر المتبقي لعمود الانتشار عند 2% / إجمالي امتداد الشعاب) $\times 100 =$ نسبة الفقد (%)

○ $(603 / 2,630,834) \times 100 = 0.023\%$

• عمود الانتشار عند 5%:

○ امتداد الشعاب: (مشروع AAWDCP – الأثر المتبقي لعمود الانتشار عند 5% / إجمالي امتداد الشعاب) $\times 100 =$ نسبة الفقد (%)

○ $(273 / 2,630,834) \times 100 = 0.010\%$

على الرغم من أن الأثر المتبقي لمشروع AAWDCP سيؤدي إلى انخفاضات موضعية في موائل الشعاب قد يكون لها أثر محلي على التعقيد البيئي ووظائف الحضانة المرتبطة به ضمن نطاق الأثر، فإن المساحة المتأثرة تمثل نحو 0.023% في حالة عمود الانتشار عند 2% ونحو 0.010% في حالة عمود الانتشار عند 5% من مورد الشعاب المرجانية المرسوم على الخرائط في الأردن.

وبالتالي، يُستبعد أن يؤدي الأثر إلى انخفاض قابل للقياس في ترابط الشعاب أو انتشار اليرقات أو توافر موائل الحضانة أو الأداء الإيكولوجي على مستوى الساحل الأردني. وما لم يثبت أن الموائل المتأثر يدعم وظائف إيكولوجية فريدة أو أنواع موائل نادرة أو تجمعات مصدرية ذات أهمية غير متناسبة، فإن الأثر المتبقي على الترابط وموائل الحضانة سيُعدّ عموماً ضئيلاً إلى طفيف على المستوى الوطني، وطفيفاً على المستوى الإقليمي لخليج العقبة.

ويجد هذا الاستنتاج ما يسوّغه في ضوء موقف الاتحاد الدولي لصون الطبيعة (IUCN) وغيره من الهيئات الدولية المعنية بالحماية، التي تعدّ فقدان الموائل وتدهور المناطق المهمة للتنوع الحيوي الاعتبار ذا الصلة عند تقييم الآثار على سلامة النظم الإيكولوجية، لا حجم نطاق الأثر بحد ذاته. ويُسهم المرجان الذي سيُفقد من منطقة الأثر، على المستوى المحلي، في الوظائف الإيكولوجية للشعاب، بما في ذلك توفير المأوى ومناطق التغذية وموائل الحضانة للأنواع المرتبطة بالشعاب؛ غير أن الأثر يشكل نسبة ضئيلة جداً من مورد الشعاب الوطني. وتشير الإرشادات الدولية بشأن الترابط الإيكولوجي إلى أن الآثار الجوهرية على الترابط ترتبط عموماً بتجزؤ الموائل أو فقدان الممرات الإيكولوجية أو انقطاع مسارات التنقل، ولا يتوقع حدوث أي منها نتيجة فقدان هذه المساحة الصغيرة والمعزولة نسبياً.

6.9.2 التقييم السياقي باستخدام سجلات ترشيح محمية العقبة البحرية

تُقدّر سجلات ترشيح محمية العقبة البحرية أن القطاع الأردني من خليج العقبة يضم نحو 350 كم² من الموائل البحرية وموائل قاع البحر، منها نحو 4 كم² (4,000,000 م²) من موائل الشعاب المرجانية. وتوفّر هذه الأرقام معياراً مرجعياً إضافياً على المستوى الإقليمي يمكن في ضوءه النظر في أهمية الآثار المتبقية للمشروع. وخلافاً للتقييم القائم على أطلس ألين للمرجان (Allen Coral Atlas)، المستمد من رسم خرائط الموائل بالاعتماد على الأقمار الصناعية والمحدود بعمق المياه ودقة الصور، تمثل أرقام محمية العقبة البحرية تقديراً أشمل لمورد الشعاب ضمن المياه الأردنية، وتوفّر مرجعاً سياقياً مفيداً لتقييم حجم فقدان الموائل قياساً إلى النظام الإيكولوجي للشعاب ككل.

باستخدام قيم الأثر المتبقي على المرجان الواردة في الجدول 6-7، يمكن التعبير عن الأثر المتبقي للمشروع على المرجان كنسبة من إجمالي مساحة الشعاب المرجانية المعترف بها ضمن سجلات ترشيح محمية العقبة البحرية. ففي سيناريو عمود الانتشار بنسبة 2%، يمثل الأثر المتبقي على المرجان البالغ 603 م² ما نسبته 0.015% تقريباً من مورد الشعاب المرجانية المقدّر بـ 4,000,000 م². أما في سيناريو عمود الانتشار بنسبة 5%، فيمثل الأثر المتبقي على المرجان البالغ 273 م² ما نسبته 0.007% تقريباً من مورد الشعاب المرجانية المقدّر.

تشير هذه النسب إلى أن الفقدان المتبقي لموائل المرجان المرتبط بالمشروع يمثل نسبة ضئيلة جداً من إجمالي موائل الشعاب المرجانية الموجودة ضمن المياه الأردنية في خليج العقبة. وعليه، يدعم التقييم الاستنتاج بأنه، على الرغم من أن آثاراً موضعية ستقع على موائل المرجان، فمن غير المرجح أن تؤدي المساحة المتأثرة إلى انخفاض قابل للقياس في امتداد الشعاب، أو الترابط الإيكولوجي، أو توافر موائل الحضانة، أو عمليات انتشار اليرقات، أو الأداء الوظيفي للنظام البيئي، سواء على مستوى الساحل الأردني أو على مستوى خليج العقبة الأوسع.

وإجمالاً، يفضي التقييم السياقي المستند إلى سجلات ترشيح محمية العقبة البحرية إلى استنتاج مماثل لذلك المستخلص من التقييم المستند إلى أطلس ألين للمرجان (Allen Coral Atlas)، وهو أن فقدان المتبقي لموائل المرجان يمثل نسبة ضئيلة جداً من إجمالي مورد الشعاب المرجانية في الأردن، ومن ثمّ فمن غير المرجح أن يؤدي إلى آثار جوهريّة على سلامة النظام البيئي للشعاب الأوسع أو على أدائه الوظيفي.

7 لمحة عامة عن نظام الإدارة البيئية والاجتماعية وخطه الإدارية التكيفية

7.1 لمحة عامة عن نظام الإدارة البيئية والاجتماعية

طُوّر مشروع AAWDCP نظاماً للإدارة البيئية والاجتماعية (ESMS)، انظر الشكل 7-1، بهدف تحديد المخاطر البيئية والاجتماعية وتقييمها والتخفيف منها ورصدها طوال دورة حياة المشروع كاملةً، بما يشمل مرحلتَي الإنشاء والتشغيل. وسبَّجَه نظام الإدارة البيئية والاجتماعية هذا جميع الأطراف (شركة مشروع الناقل الوطني (NCPC)، ومقاولي الهندسة والتوريد والإنشاء (EPC)، ومقاولي التشغيل والصيانة) في إدارة المخاطر البيئية والاجتماعية (E&S) خلال مرحلتَي التصميم والتوريد، مروراً بالإنشاء، وصولاً إلى التشغيل طويل الأمد لمحطة التحلية ونظام النقل.

تشمل الأغراض الرئيسية لنظام الإدارة البيئية والاجتماعية في دعم النطاق البحري للمشروع ما يلي:

- تحديد المخاطر والآثار البيئية البحرية المرتبطة بنظام مأخذ مياه البحر وأنشطة الإنشاء البحري وتصريف الرجيع الملحي وغيرها من أنشطة المشروع وتقييمها، طوال مراحل التصميم والتوريد والإنشاء والتشغيل التجريبي والتشغيل
 - تطبيق هرمية التخفيف من خلال تضمين تدابير التجنب في تصميم المشروع، وتنفيذ تدابير تقليل الأثر والاستعادة خلال الإنشاء، وتوفير تدابير التعويض وجبر الأضرار حيثما تبقى آثار متبقية
 - وضع ضوابط إدارية واضحة وبرامج رصد ومعايير أداء وعمليات إدارة تكميلية لحماية الشعاب المرجانية وموائل الأعشاب البحرية وجودة المياه وغيرها من عناصر التنوع الحيوي البحري
 - تحديد المسؤوليات والإجراءات وآليات الضمان للتحقق من التنفيذ الفعال للالتزامات البيئية وتدابير التخفيف طوال دورة حياة المشروع. وإشراك الجهات التنظيمية والجهات المُقرضة والمختصين في الشؤون البحرية والجهات المنفذة للمشروع وغيرهم من أصحاب العلاقة في تخطيط تدابير الإدارة البيئية البحرية وتنفيذها ورصدها ومراجعتها
 - ضمان الامتثال للمتطلبات التنظيمية المعمول بها ومعايير الجهات المُقرضة والتزامات المشروع وأهداف التنوع الحيوي
 - رصد الأداء البيئي، وتقييم فعالية تدابير التخفيف، وتنفيذ استجابات الإدارة التكميلية حيثما يشير الرصد إلى أن الآثار تختلف عن تلك المتوقعة
 - توفير الإطار اللازم لتدابير التجنب في التصميم، والمسوحات السابقة للإنشاء وأنشطة نقل المرجان، وضوابط الإنشاء، والرصد التشغيلي، والإدارة التكميلية
- وللحفاظ على فعالية تدابير الإدارة ومواءمتها مع المخاطر والآثار البيئية والاجتماعية المتغيرة، سيعتمد المشروع نهجاً إدارياً متوافقاً مع دورة «خطّ – نفذ – تحقق – صحّح» الواردة في معيار المنظمة الدولية للتوحيد القياسي (ISO 14001:2015).

الشكل 7-1: هيكل نظام الإدارة البيئية والاجتماعية (ESMS)



7.2 الإدارة التكيفية

يحدد هذا القسم إطار إعداد خطة الإدارة التكيفية التي ستستخدمها شركة NCPC لإدارة الأداء البيئي البحري لمحطة التحلية التابعة لمشروع AAWDCP خلال مرحلة التشغيل. ويوضح كيف ستقوم شركة NCPC بتحديد القضايا البيئية البحرية وتقييمها ورصدها والاستجابة لها، ويقدم خطة عمل مرتبطة بالتصميم التفصيلي والتوريد وإجراءات التشغيل والتشغيل التجريبي، وبالمسوحات والدراسات الإضافية لخط الأساس البيئي اللازمة لإعداد الخطة بصيغتها النهائية.

في وقت إعداد هذا التقرير، لا يزال المشروع في المرحلة السابقة لتاريخ بدء المشروع؛ إذ لم يبدأ التصميم التفصيلي بعد، وستطور هذه الخطة مع تقدم المشروع. وسيتبع النهج دورة «خطّط - نفذ - تحقق - صحّح» التي يشترطها معيار الأداء 1 الصادر عن مؤسسة التمويل الدولية (IFC) (وسياسات الجهات المقرضة الأخرى المعمول بها) لنظام الإدارة البيئية والاجتماعية، وممارسة الإدارة التكيفية التي يشترطها معيار الأداء 6 الصادر عن مؤسسة التمويل الدولية (IFC) (وسياسات الجهات المقرضة الأخرى المعمول بها) لدعم الإدارة طويلة الأمد لنتائج التنوع الحيوي. وستدمج هذه الخطة هزيمة التخفيف التي تتضمن عملية تحسين قائمة على التغذية الراجعة.

7.2.1 البنية

ستعالج الإدارة التكيفية حالات عدم اليقين والتغيير من خلال وضع عتبات بيئية واضحة لتحقيق الأهداف المحددة في خطة عمل التنوع الحيوي النهائية. وستستخدم هذه العتبات لتقييم نتائج الرصد، ومن ثم تحديد تدابير التخفيف المطلوبة (مثل تعديل العمليات التشغيلية وبرامج التعويض حيثما تختلف الآثار عن التوقعات) من خلال تكرار دورة «خطّط - نفذ - تحقق - صحّح» الموصوفة أعلاه. وسيميّز هذا النهج بين الأنواع المختلفة للانحراف عن العتبة المحددة، ويتيح تحديد خيار الاستجابة المطلوب على النحو المناسب. وتتألف خطة الإدارة التكيفية من أربعة مكونات:

- مجموعة من المعاملات والعتبات القابلة للقياس تصف جودة الموائل البحرية من الناحية البيئية، بما في ذلك حالة الشعاب والرواسب والأعشاب البحرية وعمود الماء وصحتها، ويُتفق عليها قياساً إلى الأهداف البيئية للمشروع
- عملية رصد تشغيلي تحدد معاملات وعتبات قابلة للقياس لتحديد الأداء المقبول للعمليات
- عملية تدخّل تحدد الإجراءات الاستجابية في حال تجاوز إحدى العتبات، والجهة المسؤولة عن تنفيذ هذه الإجراءات
- إجراء للتقييم والتعلّم لمقارنة الظروف المرصودة بالظروف المنشودة، واتخاذ القرار بشأن ما إذا كان ينبغي تعديل تشغيل المحطة أو العتبات أو الرصد
- تصف الأقسام أدناه كيفية تطوير إطار الإدارة التكيفية وتنفيذه لإدارة حالات عدم اليقين المرتبطة بالآثار على التنوع الحيوي البحري الناجمة عن نظام مأخذ مياه البحر وإنشاء المصبّ وتصريف الرجيع الملحي، وإدارة المطابقة مع معايير المشروع. ويرتكز الإطار على مسوحات خط الأساس الإضافية، ودراسات تعرّض المرجان واستقراره، وأنشطة الضمان الهندسي، والرصد البيئي والتشغيلي، وآليات الاستجابة المحددة بوضوح. وتوفر هذه العناصر مجتمعة قاعدة الأدلة اللازمة لوضع عتبات الآثار، والتحقق من افتراضات التقييم، والكشف عن الآثار غير المتوقعة، وتنفيذ الإجراءات التصحيحية عند الضرورة، بما يضمن تحقيق أهداف التنوع الحيوي البحري والتزامات المشروع طوال العمر التشغيلي للمشروع.

7.2.2 المسح والدراسات الإضافية للتنوع الحيوي السابقة للإنشاء

أنجزت Deltares نمذجة عمود انتشار الرجيع الملحي، التي حددت حدود تراكيز التعرّض من خلال رسم خرائط عمود انتشار الرجيع الملحي. ويتمثل العمل المتبقي في استكمال المسح والدراسات الإضافية للتنوع الحيوي البحري لعام 2026. وتُعدّ هذه ضرورية لتحويل تراكيز التعرّض الناتجة عن النمذجة إلى عتبات بيولوجية، ومن ثم يمكن وضع عتبات رقمية للمعاملات البيولوجية والمعاملات الفيزيائية الكيميائية للظروف المحيطة. ويتألف عمل المسح والدراسة للتنوع الحيوي البحري لعام 2026 من ثلاثة مكونات، ويرد وضعها الحالي في الجدول 1-7:

- مسوحات إضافية لخط الأساس البحري وإنشاء محطات رصد طويلة الأمد
- دراسة لتعرّض المرجان لتأكيد نطاقات تحمّل المرجان المستوطن للحديد والملوحة، تمتد لمدة لا تقل عن 3 أشهر وتصل إلى 12 شهراً
- دراسة لاستقرار المرجان لتأكيد أنماط الاستقرار الطبيعية وتباينها على مدى فترة 12 شهراً، على أن تتوفر النتائج الأولية خلال أول 3 أشهر

وبعد استكمال هذه الأعمال، سيُجرى تقييم نهائي للأثر المتبقي، وستوضع العتبات بالاستفادة من نتائج النمذجة المكتملة إلى جانب تصميم المشروع بعد تطويره بصورة أكبر. وترد المعالم الرئيسية في الجدول 7-1 أدناه.

الجدول 7-1. المعالم الرئيسية للتنوع الحيوي

الحالة	ما يوفّره	المعالم الرئيسية
مكتمل	تراكيز التعرّض لمصفوفات التجارب المخبرية؛ وتأكيّد بصمة عمود الانتشار لدعم اختيار مواقع محطات الرصد طويلة الأمد؛ وتحديد منطقة الخلط	نمذجة Deltares للرجيع الملحي والمجال القريب
لتأكيد الافتراضات المستخدمة في التقدير الكمي الحالي لعمود الانتشار في أعماق المياه التي تتجاوز 60-70 م، يجري حالياً تنفيذ مسوحات إضافية بالفيديو المنزّل ثم بالمركبات المشغّلة عن بُعد (ROV)، إلى جانب أخذ عينات الرواسب والمياه، والتحليل النهائي للبيانات. ومن المخطط الانتهاء منها في الربع الثالث، وربما في الربع الرابع	خرائط الموائل، ومحطات الرصد طويلة الأمد، وخط الأساس للمياه والرواسب، ومواقع المراقبة الخاصة بتصميم BACI	المسح الإضافي لخط الأساس البحري
من المقرر البدء في الربع الثالث، على أن تصدر النتائج الأولية في الربع الرابع من عام 2026	المؤشرات والعتبات التي يبدأ عندها المرجان المحلي بإظهار إجهاد قابل للقياس	دراسة تعرّض المرجان (الملوحة والحديد)
من المقرر البدء في الربع الثالث، على أن تصدر النتائج الأولية في الربع الرابع من عام 2026	تحدد ما إذا كان التكاثر والتجنيد (تجدد المستعمرات) مستمرين، كما تحدد موسمية التنبويض	دراسة استقرار المرجان
قيد التنفيذ، ومن المقرر إصدارها في الربع الرابع من عام 2026	توفر التقدير الكمي للأثر المتبقي، وخيارات التعويض ومعايير، وتدابير التعويض المختارة، ومؤشرات الرصد، وإجراءات المشاركة، والميزانيات، والجدول الزمنية، وخطط إدارة التنوع الحيوي الداعمة.	خطة عمل التنوع الحيوي وتخطيط التعويض

7.2.3 رصد التنوع الحيوي

يجري حالياً إعداد برنامج رصد التنوع الحيوي. وسيُبنى البرنامج وفق تصميم قبل-بعد/مراقبة-أثر (BACI)، الذي يوفر الإطار اللازم للتمييز بين التغيرات المرتبطة بالمشروع والتباين الطبيعي. ويستند التصميم إلى أربعة مكونات أساسية:

- قبل: جمع بيانات خط الأساس في كل من مواقع الأثر ومواقع المراقبة قبل أي تدخل
- بعد: مواصلة جمع بيانات الرصد بعد تنفيذ الإجراء الإداري أو وقوع الاضطراب
- المراقبة: الإبقاء على مواقع مرجعية غير خاضعة للتدخل لمراعاة الاتجاهات البيئية الطبيعية العامة بمرور الوقت
- الأثر: رصد الموقع المحدد الخاضع للتدخل الإداري أو للنشاط البشري

ضمن دورة الإدارة التكيفية، يؤدي تصميم BACI ثلاثة أدوار:

- اختبار الفرضيات: التحقق صراحةً مما إذا كانت النتائج المتوقعة لاستراتيجية الإدارة تتطابق مع الاستجابات الإيكولوجية ضمن الموائل المتأثرة
- الحد من عدم اليقين: استخدام المقارنات بين مواقع المراقبة ومواقع الأثر لتوفير أساس للمقارنة بين آثار المشروع والتباين البيئي الخلفي والتغير
- التعديل التشغيلي: تغذية نتائج الرصد مباشرةً في عملية صنع القرار لتعديل الإجراءات الإدارية أو إيقافها أو توسيع نطاقها في حال تجاوز العتبة (العتبات) المُحدّدة

سيُعدّ الإصدار الأول من برنامج الرصد لدعم خطة عمل التنوع الحيوي النهائية في الربع الرابع من عام 2026.

7.2.4 ضمان أعمال الهندسة والتوريد والإنشاء

تتمثل الأولوية في هذه المرحلة في التأكد من قدرة أعمال الهندسة والتوريد على تحقيق أداء تصريف ثابت ضمن معايير المشروع المتفق عليها وقدرات الرصد الداعمة. ويبيّن الجدول 7-2 بوابات الضمان المستخدمة في مرحلة التخطيط.

لضمان امتثال التصميم للمعايير المعمول بها والالتزامات تقييم الأثر البيئي والاجتماعي لمشروع AAWDCP لعام 2025، سيُعدّ سجل التحقق من التصميم لتوجيه عملية التحقق من الضوابط الهندسية المتعلقة بجودة الرجيع الملحي ومنع التلوث. وسيظل سجل التحقق من التصميم وثيقة «حية» تُحدّث بانتظام قبل بدء التشغيل. وسيركّز السجل على الأنظمة والحزم الهندسية في جميع جوانب المحطة، بما في ذلك المصبّ والناشر ومعالجة المياه والتنظيف الموضعي وإزالة الكلور وأجهزة رصد المياه. ويوفر السجل الأساس لنظام تحقق يؤكد ملائمة العناصر الحرجة قبل اكتمال التصميم، وليس بعد التشغيل التجريبي.

الجدول 7-2: بوابات الضمان في مرحلة التخطيط

بوابة الضمان	الغرض البيئي	المخرَج الرئيسي
دراسة تحديد المخاطر (HAZID)	تحديد المخاطر البيئية والعناصر التي تضبطها؛ وتحديد المعدات الحرجة بيئياً	سجل المعدات الحرجة بيئياً، وتأكيّد معيار الأداء وجدول الصيانة وفلسفة المعدات الاحتياطية
دراسة المخاطر وقابلية التشغيل (HAZOP) للتصميم استناداً إلى مخططات الأنابيب والأجهزة (P&IDs)	اختبار مسارات التصريف والحقن الكيميائي والتعادل والتلوث في مواجهة الانحرافات؛ وتأكيّد إعدادات الإنذار والإيقاف التلقائي لحماية البيئة المستقبلية، وليس المحطة فحسب	إغلاق الإجراءات الناتجة عن دراسة HAZOP
مراجعات حزم الموردين	تأكيّد متطلبات نطاق أجهزة التحليل ودقتها وانحرافها ومعاييرها الخاصة بلوحة المصبّ؛ وتأكيّد أن مانع الترسيب يحقق معايير الفوسفور والنيتروجين؛ وتأكيّد مواصفات التنظيف الموضعي (CIP) والمبيدات الحيوية	الاستفسارات الفنية؛ وبيانات الموردين المعتمدة، ومتطلبات الصيانة والمعايرة، وفلسفة المعدات الاحتياطية
مراجعات النموذج ثلاثي الأبعاد (3D) عند 30 و60 و90%	تأكيّد إمكانية الوصول لأخذ العينات، وموقع لوحة أجهزة التحليل، وإمكانية الوصول لأعمال المعايرة والصيانة عند خزان الموازنة والمصبّ	إجراءات مراجعة النموذج
اختبار القبول في المصنع	تأكيّد وحدات الحقن الكيميائي المجمّعة ولوحات أجهزة التحليل وحلقة التحكم في الموازنة وتبديد الطاقة مقارنة بمعايير أدائها	سجلات اختبار القبول في المصنع (FAT) مقارنة بمعايير أداء المعدات الحرجة بيئياً (ECE)
اختبار القبول في الموقع وما قبل التشغيل التجريبي	التأكد من أن الأجهزة المركّبة وأنظمة الإقفال البيئي والتسلسل الهرمي لعتبات الإنذار تعمل في الموقع وفق التصميم	فحوصات حلقات التحكم؛ وسجل ترشيد الإنذارات
التشغيل التجريبي واختبار الأداء	تحديد البصمة الفعلية لخصائص التصريف من حيث الملوحة والمؤكسد المتبقي والمغذيات والحديد والعكارة عبر مراحل الإنتاج	مجموعة البيانات البيئية للتشغيل التجريبي؛ والنطاق التشغيلي المؤقت
جاهزية التشغيل والصيانة (O&M) والتسليم	دمج النسخة النهائية من هذه الخطة في إجراءات التشغيل وجدول الرصد والكفاءات وخطوط رفع التقارير	إجراءات التشغيل والصيانة (O&M)؛ ودليل الإدارة التكيفية

7.2.5 عتبات الرصد البيئي والتشغيلي

7.2.5.1 عتبات الرصد البيئي

سيضع المشروع هيكلاً للعتبات البيئية من مستويين، تُوضع فيه عتبات المستوى 1، وهي عتبات بسيطة نسبياً وسهلة القياس، عند الطرف الأدنى (الضغط) من مسار الضغط/الاستجابة البيئي لتوفير إنذار مبكر. أما عتبات المستوى 2 فتُوضع عند الطرف الأعلى (الاستجابة) من مسار الضغط/الاستجابة، ويدل تجاوزها على وجود خطر غير مقبول على البيئة ويستلزم استجابة إدارية.

لم تُحدّد هذه المعايير بشكل ثابت في هذه المرحلة؛ إذ سيجري اشتقاقها واختبارها وتحسينها تدريجياً من خلال الدراسات الجارية حالياً، وستُعمد بصيغتها النهائية قبل التشغيل التجريبي لمحطة التحلية.

ستعمل المسوحات الإضافية لخط الأساس البحري على توسيع مجموعة البيانات الحالية لتشمل مواسم ومواقع مرجعية إضافية، بما يتيح توصيف الظروف المحيطة والتباين الطبيعي للمؤشرات موضع الاهتمام. وتشمل هذه المؤشرات العكارة وتوهين الضوء والملوحة ودرجة الحرارة والمغذيات والعناصر الفلزية النزرة، بما فيها الحديد. كما تشمل الكلوروفيل A والغطاء المرجاني وتركيبية المجتمعات الأحيائية وحالتها في المواقع المرجعية المتأثرة وغير المتأثرة. وستوفر مجموعة البيانات الناتجة الأساس الإحصائي والإرشادات اللازمة لاعتبارات المستويين 1 و2، وللتمييز بين التغيرات المرتبطة بالمشروع والمؤثرات الطبيعية وغير المرتبطة بالمشروع.

ستحدد دراسة تعرّض المرجان، القائمة على التعريض المضبوط لأنواع المرجان المحلية لمكونات التصريف موضع الاهتمام، ولا سيما الحديد والملوحة المرتفعة كلّ على حدة ومجتمعين، التركيز الذي لا يحدث عنده أي أثر قابل للقياس والتركيز الذي تظهر عنده استجابة ضارة. أما دراسة استقرار المرجان فتتناول أكثر مراحل حياة المرجان حساسية؛ إذ يوفر نجاح استقرار اليرقات والتجنيد المبكر نقطة نهاية دون ممية ذات دلالة إيكولوجية، بما يضمن أن تحمي عتبات المستويين 1 و2 تعافي الشعاب وتجديدها، وليس بقاء المستعمرات البالغة فحسب.

ستُدمج هذه المخرجات مع نمذجة التخفيف في المجالين القريب والبعيد لتأكيد إمكانية تحقيق كل معيار عند حدود منطقة الخلط المحددة، وإمكانية قياس المعايير في مواقع المراقبة، حيثما ينطبق ذلك. وستُضمّن المعايير النهائية وتصميم الرصد ومنطق التصعيد في خطة الإدارة التكيفية النهائية، ويتفق عليها مع أصحاب العلاقة المعنيين قبل التشغيل التجريبي.

في تقييمات الشعاب المرجانية، غالباً ما تكون المؤشرات البيولوجية أكثر أهمية من المؤشرات الكيميائية، لأنها تُظهر ما إذا كان النظام البيئي للشعاب يتأثر فعلياً بعوامل الإجهاد مثل المغذيات أو الترسيب أو درجة الحرارة أو الملوحة أو الملوثات. ومن المقاييس التي يمكن اختيارها لتسجيلها ضمن استراتيجية الرصد ما يلي:

- غطاء الطحالب الكبيرة (%) - غالباً ما يكون المؤشر الأول على الإثراء بالمغذيات
- وفرة الطحالب العشبية القصيرة - قد تزداد قبل أن تصبح التغيرات في الغطاء المرجاني قابلة للكشف
- كثافة تجنيد المرجان - حساسة للتنافس المزمّن مع الطحالب
- ملاحظات صحة المرجان - الابيضاض، الأمراض، النفوق الجزئي
- تركيز الكلوروفيل-a - على الرغم من كونه أحد معاملات جودة المياه، فإنه يُستخدم كثيراً كمؤشر على الإنتاجية البيولوجية وكإذار مبكر بحدوث التخثث
- ستُقدّر جميع المعاملات بظروف خط الأساس وبمواقع المراقبة لاستبعاد التباين الخلفي والتغيرات على مستوى المنطقة ككل، بهدف وضع الهيكل ثنائي المستويات والعتبات البيئية:
- المستوى 1: إنذار مبكر. رصد تغيرات في معاملات الرصد دون أن تتجاوز التغيرات و/أو النطاقات الملحوظة في مواقع خط الأساس/المواقع المرجعية، مع عدم وجود آثار ضارة قابلة للكشف على البنية والوظيفة الإيكولوجية.
- المستوى 2: الاستجابة مطلوبة. رصد تغيرات في معاملات الرصد تتجاوز التغيرات و/أو النطاقات الملحوظة في مواقع خط الأساس/المواقع المرجعية، مع وجود آثار ضارة قابلة للكشف على البنية والوظيفة الإيكولوجية.

يرد أدناه مثال على مؤشرات المستويين 1 و2 في الجدول 3-7.

الجدول 3-7: أمثلة على المؤشرات

المؤشر	المستوى 1	المستوى 2
زيادة الملوحة بنسبة +5% عن الملوحة المحيطة	≤42.7psu	psu <42.7 بشكل مستمر
ابيضاض المرجان	متزايد وضمن النطاق المرجعي	زيادة ذات دلالة إحصائية مقارنةً بخط الأساس والنطاق المرجعي
تجنيد المرجان	متناقص وضمن النطاق المرجعي	متناقص وخارج نطاق خط الأساس والنطاق المرجعي
الغطاء المرجاني الحي	متناقص وضمن النطاق المرجعي	متناقص وخارج نطاق خط الأساس والنطاق المرجعي

المؤشر	المستوى 1	المستوى 2
غطاء الطحالب الكبيرة	ضمن النطاق المرجعي	زيادة مقارنةً بالمرجع
الكلوروفيل a	ضمن النطاق المرجعي	زيادة مقارنةً بالمرجع

7.2.5.2 العتبات التشغيلية

سُطِّور مؤشرات الرصد التشغيلي لمحطة التحلية في مرحلة التخطيط لتأكيد روتين الرصد ومواقع ونطاقات البيانات التي يمكن تطويرها إلى عتبات تشغيلية. وستنصب مجالات التركيز الرئيسية خلال مرحلة التخطيط على الملوثات المحتملة المدرجة في الجدول 4-7. وسُطِّور عتبات تشغيلية على مستويين:

سُتوضع عتبات المستوى 1 عند الطرف الأدنى من نطاق الرصد التشغيلي لتوفير إنذار مبكر.

سُتوضع عتبات المستوى 2 عند الطرف الأعلى من نطاق الرصد التشغيلي؛ ويدل تجاوزها على وجود خطر غير مقبول على البيئة ويستلزم استجابة إدارية

الجدول 4-7: الملوثات المحتملة

الملوث	التصميم الحالي وأدوات الضبط	الإجراء المطلوب في مرحلة التخطيط
المغذيات	- خُدِّت مواصفات مانع الترسب بحيث يكون خالياً من الفوسفور والنيتروجين؛ ويُستخدم البوليمر في عمليتي التثقيب ونزع المياه - رصد النيتروجين الكلي والفوسفور الكلي في خزانات المعادلة/عند التصريف	- التأكد من الامتثال لمواصفة مانع الترسب الخالي من الفوسفور والنيتروجين من خلال عملية التوريد - التأكد من مدى الحاجة إلى ضوابط إضافية للمغذيات وإلى أخذ عينات إضافية - تحديد العتبات التشغيلية
الكلور المتبقي والنواتج الثانوية	- يُضاف غاز الكلور بجرعة تتراوح بين 1.0 و 1.5 ملغم/لتر إلى المياه المُحلاة، وليس إلى المآخذ. - يتضمن خط أنابيب المآخذ البري تجهيزاً يتيح الحقن مستقبلاً، مع استخدام ببسلفيت الصوديوم كعامل اختزال احتياطي عند تغذية وحدات التناضح العكسي (RO) وفي خزان التعادل. - محللات الكلور الحر وجهد الأكسدة والاختزال، مع نقاط ضبط $0.5 \geq$ ملغم/لتر عند مخرج محطة ضخ المآخذ (IPS) و 0.05 ملغم/لتر عند تغذية وحدات التناضح العكسي (RO) - محلل للكلور المتبقي على لوحة المصب	- البت في استخدام الكلورة الصدمية المتقطعة للمآخذ من عدمه. - ضوابط إزالة الكلور ورصدها، ورصد النواتج الثانوية المُهلجنة - تحديد العتبات التشغيلية
الحديد والمواد الصلبة والعكارة	- تُزال المواد الصلبة بالترويق الصفانحي والطررد المركزي، مع إعادة السائل الطافي إلى خزان المعادلة - قياس العكارة في خزان المعادلة، مع إطلاق إنذار عند تجاوز 5 NTU وتحديد نقطة الضبط عند تجاوز 10 NTU - نقطة ضبط الرقم الهيدروجيني (pH) عند انخفاضه عن 7.0 أو ارتفاعه عن 9.0 - رصد مُخطَّط للحديد في خزانات المعادلة/عند التصريف	- سيُقيَّم التعرض للحديد خلال دراسة تعرّض المرجان - مراجعة نتائج دراسة الحديد وتقييم نهج الضبط والرصد - تحديد العتبات التشغيلية

7.2.5.3 آلية الاستجابة

7.2.5.3.1 الأحداث المُحفّزة والإجراءات الافتراضية

سيُوضع جدول زمني للرصد يحدد وتيرة الرصد البيئي والتشغيلي، والفترات الفاصلة بين التقارير، ومعايير تحديد متى يُعدّ أن عتبة ما قد تم تجاوزها. وسيُرصّد بعض المعاملات بصورة مستمرة أو بوتيرة أعلى؛ وفي هذه الحالات سيُطبّق نهج ترجيح (حسب الزمن أو التدفق أو الأهمية) بحيث لا تُعامل التقلبات قصيرة الأمد التي تقع ضمن الحدود المقبولة على أنها حالات تجاوز.

ستستند الإجراءات الافتراضية في الموقع إلى النهج المبين في الجدول 5-7 أدناه لإجراء التحقيق واتخاذ الاستجابة المناسبة. وسيجري، في المراجعات اللاحقة لهذه الخطة، تطوير إطار الحوكمة والأدوار والمسؤوليات ليشمل الجهات المسؤولة والخاضعة للمساءلة عن تشغيل محطة التحلية، إضافة إلى الجوانب التنظيمية. ولا يتضمن الجدول 5-7 أدناه رفع التقارير إلى أصحاب العلاقة الخارجيين أو الجهات التنظيمية أو الجهات المُقرضة؛ ويقدم القسم 7.2.5.3.2 أدناه مزيداً من التفاصيل.

الجدول 5-7: الأحداث المُحفّزة

درجة الحدث	الحدث المُحفّز البيئي	الحدث المُحفّز التشغيلي	الإجراء الافتراضي في الموقع
الدرجة 1	تجاوز عتبة المستوى 1 للرصد البيئي (دون حدوث تغيير في موقع المراقبة)	تجاوز عتبة المستوى 1 للرصد التشغيلي	الحدث المُحفّز البيئي: - التحقق من معايرة أجهزة الرصد البيئي (بما في ذلك مواقع المراقبة) والرصد التشغيلي الحدث المُحفّز التشغيلي: - التحقق من معايرة أجهزة القياس التشغيلية وتأكيد حالة العملية التي تسببت في الانحراف - فحص نتائج الرصد البيئي المقابلة، بما في ذلك مواقع المراقبة الإجراء المشترك: - زيادة وتيرة الرصد التشغيلي و/أو البيئي، عند الحاجة
الدرجة 2	استمرار تجاوزات عتبة المستوى 1 للرصد البيئي خلال فترات إبلاغ متعاقبة	استمرار تجاوزات عتبة المستوى 1 للرصد التشغيلي خلال فترات إبلاغ متعاقبة	الإجراء المشترك: - إجراء تحقيق رسمي من قبل فريقَي التشغيل والبيئة، وإعداد خطة إجراءات تصحيحية وجدول زمني لتنفيذها - مراجعة الإدارة لتقرير التحقيق وخطة الإجراءات التصحيحية والجدول الزمني واعتمادها
الدرجة 3	تجاوز عتبة المستوى 2 للرصد البيئي	تجاوز عتبة المستوى 2 للرصد التشغيلي	الإجراء المشترك: - تدخل تشغيلي فوري - إجراء تحقيق رسمي من قبل فريقَي التشغيل والبيئة، وإعداد خطة إجراءات تصحيحية وجدول زمني لتنفيذها - مراجعة الإدارة لتقرير التحقيق وخطة الإجراءات التصحيحية والجدول الزمني واعتمادها

7.2.5.3.2 الاستجابة اللاحقة للتحقيق

يحدد هذا القسم تسلسلاً هرمياً متدرجاً من ستة خيارات للاستجابة، يُختار منها ما سيُنَفَّذ بعد استكمال الإجراءات الافتراضية في الموقع والتحقق في الحدث المُحفّز (أو الأحداث المُحفّزة). ويوفّر هذا التسلسل الهرمي لفريق التشغيل وإدارة شركة NCPC وأصحاب العلاقة

الخارجيين أساساً مشتركاً لاتخاذ القرار بشأن الإجراءات ووصفها، كما يحول الأحداث المُحفّزة الثلاثة الواردة في الجدول 5-7 إلى استجابة محددة ومتناسبة.

حُدّدت حالياً ستة خيارات للاستجابة، ويرد وصف الظروف التي يُستخدم فيها كل منها في الجدول 6-7. وسيكون مقال التشغيل والصيانة مسؤولاً عن تنفيذ الاستجابة في محطة التحلية. ولا يشمل ذلك فترة مسؤولية مقال الهندسة والتوريد والإنشاء (EPC) عن العيوب أو ضمان المورد وما يرتبط بهما من مسؤوليات المساءلة عن معالجة العيوب، كما أن الجهات المعنية بالموافقة والإخطار لم تُحدّد بصورة نهائية بعد، وينبغي اعتبارها استرشادية في الجدول 6-7.

تُعدّ خيارات الاستجابة الواردة في الجدول 6-7 استرشادية في هذه المرحلة، وستقيّم شركة NCPC مدى الحاجة إلى نفقات و/أو تمويل إضافي، بالتنسيق مع أصحاب العلاقة المعنيين. وستؤكّد خيارات الاستجابة بالتزامن مع عتبات المستوى 1 والمستوى 2 البيئية والتشغيلية، على أن يُنقّق مع أصحاب العلاقة المعنيين، قبل التشغيل التجريبي، على الترتيبات النهائية للحوكمة وخطوط رفع التقارير الواردة في خطة الإدارة التكميلية النهائية التي ستصدر قبل التشغيل التجريبي.

الجدول 6-7. خيارات الاستجابة

خيار الاستجابة	النطاق والتدابير النموذجية	الإطار الزمني الاسترشادي والحوكمة الداخلية
1. تعديل تشغيلي وتكثيف الرصد	تعديل ضمن حدود التصميم والتشغيل المعتمدة، مقدّماً برصد إضافي للتأكد من أثره تشمل التدابير النموذجية: تعديل معدلات الجرعات ونقاط الضبط الخاصة بمانع الترسيب والكلور وبيسلفيت الصوديوم؛ وإعادة معايرة أجهزة التحليل والتحقق منها؛ وإعادة جدولة عمليات التنظيف الموضعي وغيرها من التصريفات المتقطعة؛ وزيادة وتيرة أخذ العينات البيئية أو عدد محطاتها أو المعاملات المشمولة بها	من فوري إلى بضعة أيام دون تكاليف رأسمالية، وقابل للعكس بالكامل يأذن به مدير عمليات المحطة ويُسجّل لدى الوحدة البيئية
2. تغيير طفيف في التصميم	تعديل على المعدات أو أجهزة القياس المركبة أو نظام التحكم، لا يغيّر تهيئة المحطة أو ترتيب التصريف تشمل التدابير النموذجية: تغيير مواصفات المواد الكيميائية؛ وإضافة أجهزة تحليل أو تغيير مواقعها؛ وتحسين أنظمة حقن الجرعات والتعادل؛ ومراجعة قيم الإنذار والإيقاف التلقائي ونقاط الضبط ضمن فلسفة التحكم في العمليات يُنقّد وفق إجراءات إدارة التغيير، ويُعاد التحقق منه مقابل سجل التحقق من التصميم الموضح في القسم 7.2.4	من أسابيع إلى أشهر تكاليف رأسمالية محدودة، وقابل للعكس تعتمد إدارة الهندسة والتشغيل في شركة NCPC موافقة وزارة المياه والري (MWI)
3. تدابير إضافية للتعويض وجبر الضرر	يُطبّق حينما يؤكد الرصد وجود أثر متبق على التنوع الحيوي البحري يتعدّى منعه بالتدابير التشغيلية والتصميمية تشمل التدابير النموذجية: توسيع نطاق تدابير التعويض الواردة في خطة عمل التنوع الحيوي؛ وإنشاء مشتل إضافي للمرجان؛ وجهود نقل المرجان أو إعادة تأهيل الشعاب؛ وتمديد التزامات الرصد طويل الأمد؛ ودعم إدارة محمية العقبة البحرية أو غيرها من مبادرات صون البيئة البحرية بهدف تحقيق مكسب صافٍ قابل للقياس الكمي يتبع نهج التوسيع المشروط الجاري إعداده لخطة عمل التنوع الحيوي النهائية	من أشهر إلى سنوات تعتمد الإدارة العليا لشركة NCPC يتطلب اعتماد الميزانية موافقة وزارة المياه والري (MWI) تعتمد سلطة منطقة العقبة الاقتصادية الخاصة (ASEZA) ومحمية العقبة البحرية يُرفع إلى الجهات المُقرضة وتعتمد
4. تغيير جوهري في التصميم	تعديل تهيئة المحطة أو ترتيب التصريف، حينما يثبت أن التجاوز المستمر ناجم عن طبيعة التصميم ذاته تشمل التدابير النموذجية: تعديل الناشر أو فتحات المصب؛ وإضافة مرحلة معالجة أو تعزيزها، مثل وحدة مخصصة لإزالة الحديد أو المواد الصلبة، أو زيادة قدرة إزالة الكلور؛ وتوفير سعة إضافية للمعادلة أو المزج أو التخفيف	من ستة إلى أربعة وعشرين شهراً تكاليف رأسمالية كبيرة تعتمد الإدارة العليا لشركة NCPC موافقة وزارة المياه والري (MWI)

خيار الاستجابة	النطاق والتدابير النموذجية	الإطار الزمني الاسترشادي والحوكمة الداخلية
	يتطلب أعمالاً هندسية تفصيلية واستصدار التصاريح، وحيثما ينشأ أثر جديد أو متغير، إعداد ملحق لتقييم الأثر البيئي والاجتماعي لعام 2025 لمشروع AAWDCP	موافقة الجهة التنظيمية والجهات المفوضة
5. إيقاف جزئي للمحطة	خفض معدل الإنتاج، أو إخراج جزء من المحطة من الخدمة، مثل خط واحد أو أكثر من خطوط التناضح العكسي، بحيث يعود التصريف إلى ضمن عتباته ريثما يُعد خيار الاستجابة 2 أو 3 أو 4 ويُنفذ قد يُطبق لفترة محددة	من فوري إلى بضع ساعات، ولمدة تحددها خطة الإجراءات التصحيحية. تبعات على إمدادات المياه وعلى استلام المياه من قبل الجهة المشترية. تعتمد الإدارة العليا لشركة NCPC موافقة وزارة المياه والري (MWI) موافقة الجهة التنظيمية والجهات المفوضة
6. إيقاف كامل للمحطة	وقف الإنتاج والتصريف، ويقتصر اللجوء إليه على حالات وجود خطر جسيم مؤكد أو وشيك بالحاق الضرر بالبيئة المستقبلية لا يمكن السيطرة عليه بأي خيار استجابة أدنى يُنفذ وفق إجراءات إيقاف المحطة، إما تلقائياً عند بلوغ قيمة ضبط الإيقاف التشغيلي، أو بقرار من الإدارة تتطلب إعادة التشغيل إثبات تصحيح السبب، والاتفاق على شروط إعادة التشغيل	فوري تعتمد الإدارة العليا لشركة NCPC بالتنسيق مع وزارة المياه والري (MWI) والجهة التنظيمية وسلطة منطقة العقبة الاقتصادية الخاصة (ASEZA) والجهات المفوضة

7.2.5.3.3 مبادئ اختيار الاستجابة

سيخضع اختيار خيار الاستجابة للمبادئ التالية:

- التناسب:
 - تتناسب الاستجابة مع شدة الأثر المرصود واستمراريته وقابليته للعكس، لا مع مجرد حدوث تجاوز
 - الاستجابة الفعالة الأقل تدخلاً:
 - يُطبق أولاً أدنى خيار قادر على إعادة المعامل المرصود إلى ضمن عتبه، بحيث تُستنفذ التدابير القابلة للعكس قبل اللجوء إلى تدابير غير قابلة للعكس أو تؤثر على إمدادات المياه
- ترتيب هرمية التخفيف:
 - يُعطى التجنب والتقليل من خلال خيارات الاستجابة 1 و2 و4 و5 و6 الأولوية على التعويض
 - يعالج خيار الاستجابة 3 (تدابير إضافية للتعويض وجبر الضرر) الآثار المتبقية التي تظل قائمة بعد تطبيق تدابير جميع خيارات الاستجابة الأخرى، ولا يُعد بديلاً عنها
- تحديد الإسناد قبل التصعيد:
 - تُستخدم بيانات مواقع المراقبة والمواقع المرجعية المستمدة من تصميم BACI الموضح في القسم 7.2.3 لتأكيد أن التغير المرصود مرتبط بالمشروع قبل اللجوء إلى خيارات الاستجابة من 3 إلى 6
 - حيثما يظل إسناد التغير غير مؤكد، مع تجاوز عتبة المستوى 2، يُعتمد الموقف الاحترازي ولا تُؤجل الاستجابة
- التصعيد حين لا تعالج الاستجابة التجاوز:

- حيثما لا يعود المعامل البيئي أو التشغيلي إلى ضمن عتبته خلال الفترة التي تحددها خطة الإجراءات التصحيحية، يُصعد خيار الاستجابة إلى الخيار التالي المنطبق
- معايير إنجاز محددة
- ستتضمن كل استجابة معايير إنجاز محددة، وأدلة رصد، والفترة اللازمة قبل تأكيد الإنجاز، أو، في الحالات الاستثنائية، الظروف التي يتعدّر فيها تحقيقه، بحيث لا تبقى المحطة إلى أجل غير مسمى في حالة تشغيل مخفضة أو معدلة

7.2.5.3.4 إغلاق الاستجابة

سيطلب كل حدث مُحفّر تطبيق أحد خيارات الاستجابة الواردة في الجدول 6-7، إلى جانب التصعيد الواجب اتباعه إذا لم يُفصّل ذلك الخيار الافتراضي إلى العودة إلى ضمن العتبة المنطبقة خلال الفترة التي تحددها خطة الإجراءات التصحيحية.

لا تُعدّ الاستجابة مكتملة، ولا تُعاد محطة التحلية إلى حالة التشغيل السابقة، إلا حيثما تدعم أدلة الرصد ذلك:

- بالنسبة للأحداث المُحفّزة من الدرجة 1: الحصول على نتيجة رصد ضمن نطاق العتبة الخاص بها خلال فترة الإبلاغ ذاتها، مع تأكيد استقرار الحالة التشغيلية.
- بالنسبة للأحداث المُحفّزة من الدرجتين 2 و3، ولأي من خيارات الاستجابة 4 أو 5 أو 6: ستُحدّد معايير الإنجاز في خطة الإجراءات التصحيحية وتؤكد من خلال مراجعة الإدارة، على أن يعود المؤشر المتأثر إلى ضمن نطاق المستوى 1 الخاص به أو دونه، وبما يتسق مع مواقع المراقبة.

ستُسجّل كل استجابة، والأدلة التي استند إليها اختيارها، وقرار تأكيد إنجازها، بما يتيح تدقيق التسلسل الهرمي وإعادة النظر في العتبات حيثما تشير الأدلة إلى أنها حُدّدت بقيم غير صحيحة. وسيدعم هذا النهج دورة «خطّ - نفذ - تحقّق - صحّح»، وقد يؤدي إلى إجراء تغييرات على العتبات أو برنامج الرصد بدلاً من محطة التحلية.

7.2.5.3.5 سيناريو توضيحي: حدث مُحفّر مرتبط بالملوحة

يغطي السيناريو التوضيحي الافتراضي المعروف أدناه حدثاً مُحفّراً واحداً من الدرجة 1 بدءاً من رسده وحتى إغلاقه:

- عمود انتشار ملوحة لا يسلك النحو الذي تنبأت به النمذجة - تجاوز عتبة المستوى 1 في محطة رصد طويلة الأمد ضمن عمود الانتشار

تُستخدم عتبتان في جميع المراحل:

- عتبة المستوى 1 هي النقطة التي يُرصد عندها تغيّر دون وجود ضرر قابل للقياس على الشعاب؛ ويستخدم المثال قيمة 42.7 psu.
- عتبة المستوى 2 هي النقطة التي يقع عندها التغيّر خارج النطاق المرصود في خط الأساس والمواقع المرجعية، ويصبح عندها الأثر السلبي على الشعاب قابلاً للرصد.

7.2.5.3.6 تسلسل الأحداث

- الخطوة 1: قراءة واحدة أعلى من عتبة المستوى 1
 - يسجّل الرصد البيئي الروتيني في محطة رصد طويلة الأمد ضمن عمود الانتشار قراءة ملوحة تتجاوز عتبة المستوى 1 البالغة 42.7 psu
 - وفي الوقت ذاته، يُظهر الرصد التشغيلي لمحطة التحلية أن التصريف يقع ضمن العتبات التشغيلية المحددة
 - ونظراً لأن الرصد البيئي وحده يُظهر تجاوزاً، فلا يوجد في هذه المرحلة أي دليل على أن الخلل يعود إلى المحطة
 - يُصنّف التجاوز حدثاً مُحفّراً من الدرجة 1 ويُبلّغ عنه داخلياً
- الخطوة 2: تنفيذ الإجراءات الافتراضية في الموقع الخاصة بالحدث المُحفّر من الدرجة 1
 - تُعاد معايرة جهاز التحليل في المحطة المتأثرة ويُتحقق من بياناته

- تُقَارَن نتائج الرصد التشغيلي بسجل تشغيل المحطة، وتُزاد وتيرة أخذ العينات
- تُفَحَّص محطات المراقبة والمحطات المرجعية للرصد البيئي للتأكد من أن التغيّر ليس جزءاً من حدث طبيعي أوسع نطاقاً
- إذا كانت النتيجة في محطة الرصد البيئي المتأثرة ضمن نطاق العتبة الخاص بها خلال فترة الإبلاغ ذاتها، يُغلق الحدث عند هذه المرحلة
- الخطوة 3: استمرار التجاوز
 - إذا استمر تجاوز عتبة المستوى 1 خلال فترات إبلاغ متعاقبة، يصبح الحدث حدثاً مُحَفَّزاً من الدرجة 2
 - يُستكمل تحقيق رسمي، وتُعدّ خطة إجراءات تصحيحية تتضمن تاريخاً للإنجاز، وتُكثَّف أنشطة الرصد البيئي
 - تراجع الإدارة تقرير التحقيق والخطة وجدولها الزمني وتعتمدها.
- الخطوة 4: استناداً إلى نتائج التحقيق، تُطرح ثلاث استجابات محتملة، وتحدد نتائج التحقيق أيها ينطبق، مع ملاحظة أنه قد ينطبق مزيج منها:
 - خيار الاستجابة 1: يكمن السبب في طبيعة التصميم ذاته، إذ لا يحقق الناشر أو فتحات المصبّب التخفيف الذي افترضته النمذجة. ويتمثل العلاج في إجراء تغيير جوهري في التصميم: تعديل الناشر أو فتحات المصبّب، أو إضافة مرحلة معالجة أو تعزيزها، أو إضافة سعة للمعادلة أو المزج أو التخفيف.
 - ويتطلب هذا الخيار تكاليف رأسمالية كبيرة، وتعتمد الإدارة العليا لشركة NCPC بموافقة وزارة المياه والري (MWI) والجهة التنظيمية والجهات المقرضة، كما يتطلب إعداد ملحق لتقييم الأثر البيئي والاجتماعي لعام 2025 لمشروع AAWDCP حيثما ينشأ أثر جديد أو متغيّر.
 - خيار الاستجابة 2: أثار لم يتناولها تقييم الأثر البيئي والاجتماعي لعام 2025 لمشروع AAWDCP وخطة عمل التنوع الحيوي، ولا يمكن لأي تدبير تشغيلي أو تصميمي منعها. وفي هذه الحالة تُختار تدابير تعويض إضافية:
 - توسيع نطاق تدابير التعويض الواردة في خطة عمل التنوع الحيوي، ومن ذلك على سبيل المثال: إنشاء مشاتل إضافية للمرجان، وجهود نقل المرجان أو إعادة تأهيل الشعاب، وتمديد الرصد طويل الأمد، ودعم محمية العقبة البحرية.
 - ويتطلب ذلك اعتماد الميزانية وموافقة وزارة المياه والري (MWI) وسلطة منطقة العقبة الاقتصادية الخاصة (ASEZA) ومحمية العقبة البحرية، ويُرفع إلى الجهات المقرضة لاعتماده.
 - خيار الاستجابة 3: تعمل المحطة وفق ما صُمِّمت له، ويقع عمود الانتشار في الموضع الذي توقعته النمذجة. وتشير الأدلة إلى قيمة العتبة أو ترتيبات الرصد بدلاً من المحطة، وقد تكون النتيجة الصحيحة مراجعة قيم العتبات أو برنامج الرصد بدلاً من تغيير المحطة. ويُسجّل القرار مع الأدلة الداعمة له.
- الخطوة 5: التصعيد حين لا تعالج الاستجابة التجاوز
 - إذا تعدّد ضبط ملوحة تصريف الرجيع الملحي ضمن العتبات المقبولة خلال المدة التي تحددها خطة الإجراءات التصحيحية، يُصعّد خيار الاستجابة إلى خيار الاستجابة التالي المنطبق، ومن ذلك على سبيل المثال الإيقاف الجزئي وتدابير التعويض وجبر الضرر الإضافية.
- الخطوة 5ب: اعتبار الاستجابة مكتملة
 - سيُسجّل قرار تأكيد إنجاز الاستجابة بما يتيح تدقيق التسلسل الهرمي وإعادة النظر في العتبات حيثما تشير الأدلة إلى أنها حُدِّت بغير صحيحة. وسيدعم هذا النهج دورة «خطّط – نفّذ – تحقّق – صحّح»، وقد يؤدي إلى إجراء تغييرات على العتبات أو برنامج الرصد بدلاً من محطة التحلية.

7.3 خريطة الطريق: الخطوات التالية

سُتستكمل هذه الخطة على مراحل مع انتقال المشروع من مرحلة ما قبل تاريخ بدء المشروع، مروراً بالتصميم التفصيلي، وصولاً إلى التشغيل التجريبي. ويرد ملخص خطة العمل الحالية رفيعة المستوى في الجدول 7-7. ومع ورود نتائج المسوحات والدراسات، سيُصمّم برنامج رصد التنوع الحيوي استناداً إلى خط الأساس المكتمل باستخدام هيكلية BACI، وستُحدّد قيم العتبات، وسيُستكمل تقييم الأثر المتبقي. وبعد ذلك سيُحدّد متطلب التعويض ونهج توسيع نطاق التعويض ويُدمجان في خطة عمل التنوع الحيوي النهائية، بالتشاور مع سلطة منطقة العقبة الاقتصادية الخاصة (ASEZA) ومحمية العقبة البحرية.

وبالتوازي مع ذلك، ستدعم بوابات الضمان الخاصة بالهندسة والتوريد اختيار الضوابط التشغيلية، وبرنامج الرصد، وآليات الاستجابة وأطرها الزمنية. إضافة إلى ذلك، ستُستكمل ترتيبات الحوكمة ورفع التقارير لأصحاب العلاقة الداخليين والخارجيين.

الجدول 7-7: خريطة طريق الخطوات التالية

الرقم المرج عي	الإجراء المطلوب	الجدول الزمني
1	تأكيد المحطات الرئيسية لمراجعة التصميم، وتوقيت دراسة HAZOP، ومسؤوليات التحقق، وإعداد خطة استجابة متدرجة مُنقّحة	قبل دراسة HAZOP الخاصة بالتصميم
2	تحديد مواصفات حزمة رصد التصريف: مراجعة قياس المغذيات والحديد، وتأكيد نطاق قياس أجهزة التحليل وانحرافها ومتطلبات معايرتها	قبل تثبيت حزمة المورد
3	تأكيد استراتيجية الكلورة الصدمية للمأخذ، ومتطلبات إزالة الكلور المرتبطة بها، ورصد النواتج الثانوية	قبل تثبيت مجموعة نقاط الضبط
4	تصميم برنامج رصد التنوع الحيوي استناداً إلى خط الأساس المكتمل: محطات BACI، ومواقع المراقبة، والمعاملات، وتحليل مسبق (a priori) للقوة الإحصائية	عند استلام التحليل النهائي للمسوحات والنتائج المرحلية لدراسي الاستقرار وتعرض المرجان
5	تحديد قيم العتبات استناداً إلى نتائج دراسي التعرض والاستقرار، واستكمال تقييم الأثر المتبقي	عند استلام التحليل النهائي للمسوحات والنتائج المرحلية لدراسي الاستقرار وتعرض المرجان
6	تحديد مطلب التعويض ونهج التوسيع المشروط، ودمجهما في خطة عمل التنوع الحيوي النهائية، بالتشاور مع سلطة منطقة العقبة الاقتصادية الخاصة (ASEZA) ومحمية العقبة البحرية	بعد التقييم النهائي للأثر المتبقي
7	إصدار خطة الإدارة التكيفية النهائية لمرحلة التشغيل، بحيث تُدمج المعاملات المؤكدة، وقيم عتبات المستوى 1 والمستوى 2، وآليات الاستجابة، وخطوط الحوكمة ورفع التقارير ضمن إجراءات التشغيل، والجدول الزمني للرصد، وترشيذ الإنذارات	قبل التشغيل التجريبي، وبالاتفاق مع أصحاب العلاقة المعنيين
8	تأكيد سجل العتبات التشغيلية ودمجه، إلى جانب العتبات البيئية للمستويين 1 و2، في فلسفة التحكم في العمليات والتسلسل الهرمي للأعطال الخاص بها	قبل تثبيت مجموعة نقاط الضبط
9	تأكيد خيارات الاستجابة السريعة، وخيار الاستجابة الافتراضي، وتسلسل التصعيد، وصلاحيات اتخاذ القرار، ومعايير الإنجاز المحددة لكل حدث مُحفّز	بالتوافق مع البند 6 في هذا الجدول
10	تحديد الحوكمة والأدوار والمسؤوليات الخاصة بآليات الاستجابة، بما في ذلك مسارات الإخطار ورفع التقارير على المستوى الداخلي وإلى وزارة المياه والري (MWI) والجهة التنظيمية وسلطة منطقة العقبة الاقتصادية الخاصة (ASEZA) والجهات المُقرضة	قبل التشغيل التجريبي، وبالاتفاق مع أصحاب العلاقة المعنيين
11	اختيار تسلسل التصعيد مقابل مسودات إجراءات التشغيل والجدول الزمني للرصد، وتأكيد ترتيبات التسجيل والتدقيق لكل استجابة	عند بلوغ الجاهزية للتشغيل والصيانة (O&M) والتسليم، وقبل إصدار الخطة النهائية

8 استراتيجية نقل المرجان والتعويض

8.1 مقدمة

صُممت استراتيجية النقل والتعويض الخاصة بمشروع AAWDCP بما يدعم تطبيق هرمية التخفيف. وتهدف الاستراتيجية إلى تحقيق عدم وجود خسارة صافية كحد أدنى، ويُفضَّل تحقيق مكسب صافٍ، في التنوع الحيوي للشعاب المرجانية ووظائف نظامها البيئي. ويجري حالياً إعداد خطة عمل التنوع الحيوي النهائية، التي ستحوّل الاستراتيجية المعروضة في هذا القسم إلى برنامج تفصيلي يتضمن الإجراءات والمسؤوليات ومتطلبات الرصد وإعداد التقارير.

يركّز هذا القسم على اليتين رئيسيتين مقترحتين لمعالجة الآثار المرتبطة بالمشروع على موائل الشعاب المرجانية (الجدول 8-1).

- الآلية الأولى هي نقل المرجان، وهو تدبير تخفيف يُستخدم حيث تكون الآثار مؤقتة وقابلة للعكس. ويشمل النقل إنقاذ المرجان وما يرتبط به من كائنات بحرية حية وترحيلها مؤقتاً من المناطق المتأثرة بالأنشطة الإنسانية إلى موقع مستقبل ملائم. وبعد اكتمال أعمال الإنشاء واستعادة الظروف البيئية، يمكن إما إعادة المرجان المنقول إلى موقعه الأصلي أو إبقاؤه في الموقع المستقبل إذا كان ذلك يحقق نتيجة إيكولوجية أفضل على المدى الطويل
- أما الآلية الثانية فهي استزراع المرجان، الذي يشكّل جزءاً من استراتيجية التعويض الخاصة بالمشروع، ويُستخدم للتعويض عن الآثار المتبقية التي يتعذر تجنبها والتي تظل قائمة بعد تطبيق تدابير التجنب والتقليل والاستعادة والنقل. ويشمل الاستزراع توطين المرجان في مواقع ملائمة للاستعادة أو التعزيز بهدف استعادة موائل الشعاب المتدهورة، وتحقيق مكاسب قابلة للقياس في التنوع الحيوي، والتعويض عن الخسائر المتبقية في موائل المرجان ووظائفها الإيكولوجية
- على الرغم من أن التركيز الأساسي ينصبّ على موائل الشعاب المرجانية، يُدرك مشروع AAWDCP أهمية النظم البيئية المرتبطة بها، بما فيها موائل الأعشاب البحرية والمجتمعات الأحيائية الأخرى الداعمة للشعاب، ولذلك يعتمد نهجاً أوسع قائماً على النظام البيئي. ويوضح القسم التالي الفرق بين النقل والاستزراع، والأهداف الخاصة بكلٍ منهما، والظروف التي سيطبق فيها المشروع كل نهج منهما.
- يُقصد بالنقل الترحيل المادي لمستعمرات المرجان القائمة من موقع إلى آخر، وذلك عادةً لتجنب الضرر المباشر الناجم عن أنشطة المشروع. ويُطبّق النقل أساساً بوصفه تدبيراً للتجنب والتقليل والاستعادة، ومن ثمّ فهو ليس إجراء تعويضياً:
- يُزال المرجان والكائنات الحية الأخرى من منطقة ستعرض للآثر (مثل التجريف، أو تركيب المصبّ، أو إنشاء المأخذ) ويُنقل إلى بيئة بحرية آمنة ومماثلة
- تُنقل مستعمرات كاملة أو أجزاء كبيرة منها
- يتمثل الهدف في الإنقاذ والحفظ، أي إنقاذ المرجان القائم من التدمير الوشيك، بدلاً من العمل بنشاط على إنشاء شعاب جديدة من الصفر
- يُنفَّذ عادةً قبيل بدء أعمال الإنشاء مباشرة
- يُقاس النجاح بمدى بقاء المستعمرات المنقولة واستمرار نموها، وبمعدل بقائها عند إعادة زراعتها في الموقع بعد انتهاء أعمال الإنشاء
- يُقصد بالاستزراع الزراعة المقصودة لقطع المرجان أو المستعمرات المُستنبّطة في المشاتل على الشعاب، وغالباً ما يكون ذلك خارج الموقع، بهدف الاستعادة أو إعادة التأهيل أو التعويض عن الآثار التي لا يمكن تخفيفها (مثل عمود انتشار الرגיע الملحي). ومن ثمّ، فإن الاستزراع نشاط تعويضي يهدف إلى التعويض عن الأثر المتبقي الذي يتعذر تجنبه:
- قد يكون مصدر المرجان مستعمراتٍ مانحة أو مشاتلٍ للمرجان أو مستعمراتٍ جرى إنقاذها
- يشمل عادةً تثبيت قطع المرجان على الشعاب الطبيعية أو الركائز الاصطناعية أو كرات الشعاب (reef balls) أو هياكل الاستعادة
- يتمثل الهدف في استعادة الشعاب أو تعزيز الموائل
- يُنفَّذ غالباً كجزء من برنامج تعويض طويل الأجل
- يُقاس النجاح بالبقاء والنمو والتجديد (تجدد المستعمرات) وتطور موائل الشعاب

الجدول 8-1: الفروق الرئيسية بين النقل والاستزراع والأساس المنطقي لكلٍ منهما

الجانب	نقل المرجان	استزراع المرجان
الغرض الأساسي	إنقاذ المرجان القائم	استعادة موائل الشعاب أو تعزيزها
مصدر المرجان	المستعمرات القائمة في منطقة الأثر	الشعاب المانحة أو المشاتل أو المرجان الذي جرى إنقاذه
التوقيت	قبل حدوث الاضطراب	قبل حدوث الاضطراب أو أثناءه أو بعده
النطاق	محدود عادةً بمساحة نطاق الأثر	يمكن أن يكون أكبر بكثير من منطقة الأثر
النتيجة المنشودة	تجنب النفوق المباشر	زيادة الغطاء المرجاني ووظائف النظام البيئي
الاستخدام الشائع	تخفيف الأثر	التعويض (المقاصة) والاستعادة

ستُستخدم الآليات التالية في مشروع AAWDCP:

- النقل: لتخفيف فقدان المؤقت لمنطقة ما بسبب نشاط معين، وذلك بإزالة الكائنات الحية منها إلى موقع مؤقت لحفظها بأمان إلى حين التمكن من إعادتها إلى موقعها الأصلي؛ و
 - الاستزراع: لموازنة الآثار المتبقية والتعويض عنها
- بالنسبة لكلٍ من النقل والاستزراع، وبعد تقييم الأدبيات الدولية والأدلة الإرشادية الخاصة باستعادة المرجان، والتواصل مع فريق دعم المشروع المقيم في الأردن، يُوصى باتباع تسلسل المنهجية التالي:
1. تقييم الموقع ورسم الخرائط: تحديد مستعمرات المرجان ورسم خرائطها وفهرستها، مع تسجيل ركيزة المرجان ومواقع مستعمراته، بما في ذلك العمق والاتجاه (الموقع بالنسبة إلى معالم الشعاب/الموقع، ومعالم المرجان الأخرى)
 2. اختيار الموقع المستقبلي: تحديد موئل ذي ظروف بيئية - مثل العمق ودرجة حرارة المياه والضوء وتدفق التيارات - تطابق إلى حد كبير ظروف الموقع الأصلي. وستُعطى الأولوية للمواقع ذات التضاريس والركيزة المماثلة التي يوجد فيها مرجان قائم (مما يدل على ملائمة الموئل لنمو المرجان)
 3. جمع المرجان ونقله: فصل مستعمرات المرجان بأمان، بما في ذلك الركيزة القاعدية حيثما أمكن، والرؤوس المرجانية (bommies) بكاملها (ركيزة تحمل عدة مستعمرات مرجانية)، ونقلها فوراً إلى الموقع المستقبلي المُجهَّز
 4. طرق التثبيت المُحكَّم: تثبيت المرجان على الركيزة أو الهياكل الاصطناعية باستخدام الإسمنت البحري، وبوضعية واتجاه مماثلين قدر الإمكان لوضعيته واتجاهه في الموقع المانح
 5. الرصد: تسجيل المستعمرات ووسمها لأغراض الرصد بهدف تتبّع معدلات البقاء وسلامة الأنسجة واستجابات الابيضاض والتكيف الإيكولوجي. وسيشمل الرصد التغيرات في الكائنات الحية المرتبطة (الأسماك واللافقاريات) لإثبات نجاح الأداء الوظيفي الإيكولوجي

إلى جانب الإجراءات التي تركز على الشعاب المرجانية، ستُدرس إجراءات أخرى كجزء من خطة التعويض، انظر القسم 8.6.1:

- التعويض بحماية الموائل: يشمل ذلك حماية منطقة من الشعاب المرجانية والأعشاب البحرية وموائل أسماك الشعاب غير محمية حالياً لكنها معرضة لضغوط تنموية مستقبلاً. وتشمل الإجراءات المحتملة التي ستُدرس إنشاء منطقة لحماية الشعاب، وتقييد الرسو والصيد، وتركيب عوامات الإرساء، و/أو تمويل أعمال الإنقاذ والرصد على المدى الطويل
- تعويضات أخرى خاصة ببيئة الشعاب: يشمل ذلك استعادة مناطق الأعشاب البحرية، ووضع تدابير لتعزيز قدرة الشعاب على الصمود والتكيف مع تغير المناخ، و/أو تطوير المزيد من القدرات والإمكانات في مجال الإدارة البيئية في الأردن

8.2 البيئة التنظيمية

8.2.1 الإطار التنظيمي وإطار الموافقات

ستتمثل جميع أنشطة الترحيل للأنظمة الأردنية المعمول بها ولشروط حزم تقييم الأثر البيئي والاجتماعي (ESIA)/التصاريح المعتمدة. ويتطلب التنفيذ الحصول على موافقات خطية من السلطة المختصة على ما يلي:

- مخرجات مسح خط الأساس
- الموقع/المواقع المستقبلية
- بيان المنهجية وخطة المعدات
- خطة الرصد والجدول الزمني لإعداد التقارير

لن تبدأ أي أعمال ميدانية دون الحصول على تصريح من الجهات المعنية.

8.2.2 الحوكمة والأدوار والمسؤوليات

ستكون الأدوار الرئيسية متوائمة مع متطلبات سلطة منطقة العقبة الاقتصادية الخاصة (ASEZA) والممارسات الدولية الجيدة:

- المشرف العلمي على المرجان (CSS): أخصائي في علم الأحياء البحرية/المرجان معتمد من السلطة، يتولى الإشراف على عمليات الفصل والمناولة والتثبيت وعلى تصميم الرصد
- مقاليد الأعمال البحرية المتخصصة: يوفر الغواصين المحترفين، والسفن (سفينة قطر + زورق مرافقة)، والأقفاص، وأكياس الرفع، وإدارة الصحة والسلامة والبيئة (HSE)
- السلطة المختصة / إدارة المحمية: تعتمد المواقع والمنهجيات، وتتولى الإشراف المباشر، وتتسلم برنامج الرصد عند تسليمه

8.3 اختيار خيارات التدخل

تعتمد خيارات التدخل لكل منطقة متأثرة على ما إذا كان الأثر مستمراً أو عابراً و/أو ما إذا كانت المنطقة المتأثرة قابلة للوصول لأنشطة الغوص. وفي الوقت الراهن، يُتوقع وجود ثلاث فئات من مناطق الأثر:

1. بالنسبة للمناطق التي يتعذر على الغواصين الوصول إليها والمعرضة لأثار مستمرة، لا يُعد النقل خياراً متاحاً، وستفشل أي جهود لاستعادة الخسائر في الموقع نظراً للطبيعة المستمرة للأثر. وسيجري التعويض عن هذه المواقع خارج الموقع، وسيكون أحد عناصر ذلك استعادة مواقع متدهورة يمكن للغواصين الوصول إليها من خلال الاستزراع باستخدام مرجان مُستنبت و/أو مرجان من مواقع مانحة
2. بالنسبة للمناطق التي يمكن للغواصين الوصول إليها والمعرضة لأثار مستمرة، يُعد الاستزراع خياراً متاحاً. وفي هذه الحالة، سيجري إنقاذ المرجان والكائنات الحية الأخرى التي كانت ستفقد بشكل دائم لولا ذلك، واستخدامها لاستعادة منطقة متدهورة خارج الموقع
3. بالنسبة للمناطق التي يمكن للغواصين الوصول إليها والمعرضة لأثار غير مستمرة، يُعد النقل خياراً متاحاً. وفي هذه الحالة، سيُنقل المرجان والكائنات الحية الأخرى التي كانت ستعرض للتدمير أو التدهور بفعل نشاط ما إلى ملاذ آمن إلى حين التمكن من إعادتها إلى الموقع

8.3.1 التدخلات الموصى بها

استناداً إلى موقع الأثر وطبيعته، يمكن طرح النقل و/أو الاستزراع كجزء من مزيج تعويضي.

1. منطقة مأخذ مياه البحر: على الرغم من إمكانية وصول الغواصين إليها (يبلغ أقصى عمق متأثر 25 م)، فإن الطبيعة المستمرة للأثر (اتجاه انحراف تدفق التيار) وطبيعة المستقبل (برقات المرجان) تشير إلى أن التخفيف في الموقع غير ملائم. ويعود ذلك إلى أن المنطقة لا تعاني من محدودية الركيزة المتاحة لاستقرار البرقات، مما يشير إلى أن التجنيد الطبيعي و/أو معدلات البقاء منخفضة أصلاً؛ ومن ثم، فمن غير المرجح أن ينجح أي تدخل في الموقع. علاوة على ذلك، لا يُتوقع أن يحدث الأثر أي تأثير مباشر جوهري على مجموعة المرجان القائمة، ولذلك يُتوقع أن يحافظ الغطاء المرجاني واستقرار البرقات على موئل المرجان القائم. وتتمثل التوصية في رصد استقرار المرجان قبل التشغيل وأثناءه، إلى جانب رصد الموائل القاعية، للتحقق من الأثر الناجم عن عمليات سحب مياه البحر. ومع ذلك، ونظراً لأنه يُتوقع انجراف بعض برقات المرجان إلى المأخذ من مساحة صغيرة من الشعاب المواجهة لفوهة بحيرة المأخذ، يمكن حساب التعويض استناداً إلى المساحة المتأثرة ومعدل نجاح الاستقرار (أي الفقد المحتمل في الاستقرار) المستمد من رصد معدلات الاستقرار. وسيُحدد هذا الحساب الفقد المرجح في المستعمرات الجديدة لكل وحدة مساحة سنوياً في الموئل المتأثر، والذي يمكن التعويض عنه بإضافة الاستزراع في موائل مرجانية متدهورة مختارة. ويمكن تعزيز الاستقرار في هذا الموقع من خلال تركيب هياكل اصطناعية (أجهزة استقرار) مصممة لتوفير موائل

دقيقة ملائمة لاستقرار برقات المرجان وتجنيدها. ويمكن أن تتضمن هذه الهياكل شقوقاً صغيرة وأسطحاً محمية ينخفض فيها التدفق المحلي للمياه، مما يسهل احتباس البرقات واستقرارها. وبعد نجاح الاستقرار، يمكن أن توفر الموائل الدقيقة المحمية ظروفاً مواتية لتأسيس مستعمرات مرجانية جديدة ونموها المبكر، مما قد يزيد من فرص بقائها خلال مراحل الحياة المبكرة الحساسة.

2. منطقة الإنشاء: يمكن للغواصين الوصول إلى هذه المنطقة، ويتعرض جزء منها لأثر غير مستمر خلال فترة الإنشاء ولن يتأثر بعمود انتشار الرجيع الملحي، في حين قد يتعرض جزء ثانٍ منها للأثر الإنشائي المرتبط بتركيب الناشر، والذي سيتداخل مع الأثر المستمر الناجم عن عمود انتشار الرجيع الملحي؛ وسيجري التحقق من ذلك قبل بدء الإنشاء. وتتمثل الخيارات هنا في استخدام النقل للمنطقة المتأثرة بالنشاط الإنشائي فقط، واستخدام المرجان والكائنات الحية من المنطقة التي ستعرض أيضاً لعمود انتشار الرجيع الملحي بوصفها مرجاناً مُنقَذاً لأغراض الاستزراع بهدف استعادة موقع متدهور خارج الموقع. ويمكن ترحيل بعض المرجان المحدد للنقل داخل الموقع نفسه، ولا سيما إلى مناطق عازلة ملائمة بين منطقتي الإنشاء والمأخذ لا يُتوقع أن تتأثر بتصريف الرجيع الملحي أو بالأنشطة الإنشائية أو بسحب المياه. ومن شأن هذا النهج أن يُبقي المرجان ضمن بيئته الأصلية مع تقليل الحاجة إلى ترحيله إلى مواقع خارجية. علاوة على ذلك، يمكن أن يساعد النقل الداخلي في الحفاظ على التنوع الحيوي للمرجان داخل الموقع وتعزيزه، ودعم الاستمرارية الإيكولوجية لموئل الشعاب القائم.

3. يمكن تقسيم عمود انتشار الرجيع الملحي في هذه المنطقة إلى نطاقين منفصلين:

- (a) النطاق الذي يمكن للغواصين الوصول إليه: يمكن استخدام المنطقة الواقعة في أعماق مياه تتراوح من 30 م إلى 14 م كمصدر للمرجان المُنقَذاً لأغراض الاستزراع بهدف استعادة موقع متدهور خارج الموقع
- (b) النطاق الذي يتعذر على الغواصين الوصول إليه: في الأعماق التي تزيد على 30 م، لا يكون نقل المرجان والكائنات الحية الأخرى أو استزراعها ممكناً. وتشمل الخيارات هنا تحديد مواقع مانحة و/أو إنشاء قدرة على استنبات المرجان لاستعادة مساحة من الشعاب المتدهورة تعادل الفقد في موائل المرجان المتأثرة بعمود انتشار الرجيع الملحي.

8.4 خطة التنفيذ

يتطلب النقل والاستزراع مجموعة من الأنشطة الداعمة والمعلومات الأساسية.

8.4.1 مناطق النقل

يخفف النقل من فقدان المؤقت لمنطقة ما بسبب نشاط معين، وذلك بنقل الكائنات الحية إلى موقع مؤقت لحفظها بأمان، أي «ملاذ آمن»، إلى حين التمكن من إعادتها إلى موقعها الأصلي. ويشمل النقل أنشطة منفصلة في المنطقة «المانحة»، وهي في هذه الحالة منطقة الإنشاء، وفي منطقة «الملاذ الآمن»:

- منطقة الإنشاء حيث تكون الآثار مؤقتة: يلزم هنا إجراء مسوحات مكانية دقيقة لإعداد خريطة للموقع بهدف تحديد المرجان والركيزة الملائمين للنقل، مع التسجيل على وجه التحديد لما يلي:
 - عمق المستعمرات المرجانية والركائز كلّ على حدة واتجاهها
 - فهرس للصور/الفيديو (بزاوية ثابتة لكل مستعمرة حيثما أمكن) لتوفير جرد على مستوى المستعمرة (مُعَرَّف فريد، والوحدة التصنيفية/النمط الشكلي، وفئة الحجم، ودرجة الحالة الصحية، ونوع الركيزة)
- سيجري إعداد خطة لنقل المستعمرات/الركيزة من منطقة الإنشاء إلى منطقة الملاذ الآمن، يكون هدفها الرئيسي تقليل التعرض للهواء والوقت الذي تقضيه خارج الماء إلى أدنى حد؛ وستشمل هذه الخطة ما يلي:
 - الفصل والتعبئة تحت الماء: سيفصل الغواصون المستعمرات باستخدام أقل الأدوات إتلافاً بما يتناسب مع نوع الركيزة وشكل النمو. وستبقى المستعمرات مغمورة بالمياه في جميع الأوقات، وستوضع فوراً في أقفاص معدنية تحت الماء. وستستخدم فواصل حيثما لزم لمنع التآكل بالاحتكاك
 - التعليق بأكياس الرفع والقطر: بعد ملء الأقفاص، ستستخدم أكياس الرفع لرفع الأقفاص وتعليقها لأغراض النقل. وستُربط الأقفاص المعلقة بسفينة قطر كبيرة (قاطرة) ويرافقها قارب صغير يحمل غواصين. وستُخفّض سرعة القطر إلى أدنى حد لمنع التآرجح والضرر الناجم عن التلامس؛ وستُختار المسارات بحيث تتجنب التلامس مع الشعاب
- منطقة الملاذ الآمن: ستؤوي هذه المنطقة المرجان والكائنات الحية الأخرى خلال مرحلة الإنشاء إلى أن تسمح الظروف بإعادة المرجان والكائنات الحية الأخرى وإعادة توطينها. وسيكون الترحيل إلى الملاذ الآمن لمستعمرات مرجانية منفردة تتطلب ركيزة

(طبيعية أو اصطناعية) لوضعها عليها، أو لقطع كاملة من الركيزة يلتصق بها المرجان وكائنات حية أخرى وتحتاج إلى تثبيتها بشكل مستقر على قاع البحر. وسيهدف اختيار الموقع هنا إلى محاكاة الظروف الفيزيائية والهيدرولوجية لمنطقة الإنشاء بأكبر قدر ممكن من الدقة. وستكون المنطقة:

- موقعاً متدهوراً أزيل سبب/مصدر تدهوره، وكان يحتضن سابقاً مرجاناً سليماً وكائنات حية أخرى وشعاباً، أو
 - منطقة تضم مرجاناً سليماً وركيزة سليمة وتتوفر فيها مساحة لاستيعاب المواد المنقولة دون إزعاج الكائنات الحية المقيمة
- قبل النقل، سيجري تحديد المواضع الدقيقة للمستعمرات والركيزة المنقولة، وستوضع الركيزة الاصطناعية مسبقاً لاستقبال المستعمرات المنفردة التي ستثبت باستخدام الإسمنت البحري. وستُعد خطة لتسلسل نقل المستعمرات/الركيزة تشمل إجراءات التفريغ والتثبيت والتسجيل/التصوير بعد التثبيت مع الإحالة إلى المُعرّف الخاص بكل مستعمرة/ركيزة.

بمجرد توقف النشاط الإنشائي، ستُعاد المستعمرات والركيزة إلى منطقة الإنشاء من خلال عملية عكسية، مع ضمان إعادة تثبيتها في مواقعها الأصلية وباتجاهاتها الأصلية. وإذا لم يعد الموقع الأصلي موجوداً، فسيجري ترحيل تلك المستعمرات/الركيزة داخل الموقع و/أو اعتبارها مساهمة في خيارات الاستزراع. ولا يكون نجاح إعادة المستعمرات والكائنات الحية الأخرى والركيزة إلى نطاقها الأصلي ممكناً إلا إذا لم تُغيّر الأنشطة الإنشائية الخصائص البيئية للموقع بصورة جوهرية، وظلت الركيزة الأصلية على حالتها الأصلية.

تجدر الإشارة إلى وجود فصل مكاني وزمني بين منطقة الإنشاء ومنطقة المأخذ (سحب المياه). فمن المقرر أن تبدأ أنشطة الإنشاء والتجريف في بداية المشروع، في حين يُتوقع أن يبدأ تشغيل المأخذ بعد نحو أربع سنوات من بدء المشروع. وتتيح هذه الفترة الزمنية فرصة قد تكون قيمة للنقل المؤقت للمرجان من المناطق التي ستأثر بالأنشطة الإنشائية إلى مناطق ملائمة ضمن منطقة المأخذ المستقبلية. بعد الانتهاء من أنشطة الإنشاء والتجريف، يمكن إعادة المرجان المنقول إلى مواقع ملائمة ضمن موئله الأصلي، رهناً بظروف الموقع وحالة المستعمرات في ذلك الوقت. ومن شأن هذا النهج أن يتيح بقاء المرجان ضمن البيئة الأوسع نفسها، مع إزاحة مكانية محدودة نسبياً فقط خلال فترة الإنشاء.

يمكن لاستراتيجية النقل المؤقت هذه أن تقلل المسافة التي يلزم نقل المرجان عبرها، مما قد يقلل إلى أدنى حد من الإجهاد الناجم عن المناولة والتأقلم. كما قد تقلل من المتطلبات اللوجستية والوقت والتكاليف المرتبطة بالنقل الدائم إلى مواقع خارجية، مع إمكانية تحسين نجاح النقل من خلال إبقاء المرجان ضمن ظروفه البيئية الأصلية. ويمكن استخدام المرجان الفائض في أنشطة التعويض في مواقع أخرى.

8.4.2 مناطق الاستزراع

تتألف مناطق الاستزراع من موقعين منفصلين، هما:

- المنطقة/المناطق المتدهورة خارج الموقع المراد استعادتها، و
 - موقع/مواقع المشاتل المخصصة لاستنبات المرجان (وربما كائنات حية أخرى) تمهيداً لاستزراعه في المواقع المتدهورة لأغراض التعويض/الاستعادة التعويضية للموائل
- تشمل السمات الرئيسية التي ستؤخذ في الاعتبار عند التخطيط لأي نشاط استزراع ما يلي:

- حجم المستعمرة: تتحمل المستعمرات الأكبر حجماً بوجه عام إجهاد المناولة والنقل بشكل أفضل من القطع الصغيرة
- أشكال النمو: يتميز المرجان الكتلي والمرجان القشري بهياكل كلسية سميكة تقاوم الصدمات المادية وتحقق معدلات بقاء أعلى. وفي المقابل، ينمو المرجان المتفرع بسرعة لكنه يعاني من معدلات نفوق مرتفعة بعد الاستزراع بسبب هشاشته وتأثره بالصدمات البيئية
- إجهاد المناولة والنقل: تؤدي الصدمات المادية والتعرض للهواء وتغيرات درجة الحرارة أثناء النقل إلى الإجهاد وتخفّض معدلات البقاء
- طريقة التثبيت: يوفر التثبيت بالإسمنت على قاع البحر بوجه عام ثباتاً هيكلياً أفضل على المدى الطويل في مواجهة حركة الأمواج الشديدة مقارنةً بالأطر الاصطناعية المؤقتة
- عدم التطابق في النظام البيئي: يجب أن تتمتع المناطق المستقبلية بجودة مياه ونفاذية ضوء وطاقة أمواج مطابقة، وأن تقع، على النحو الأمثل، على مسافة آمنة من عمود انتشار الرواسب الناتج عن الإنشاء. ولا يؤدي نقل المرجان إلى موقع مستقبل إلى نقل الإطار الشعابي المعقد ثلاثي الأبعاد أو التنوع الحيوي المرتبط به، مما يجعله تعويضاً إيكولوجياً غير مكتمل

8.4.2.1 اختيار مواقع التعويض بالاستعادة

يلزم توفير مواقع تعويض خارج الموقع لأن الأثر لا يمكن تخفيفه (أي جعله أقل حدة أو أقل ضرراً)، ومن ثمّ تتطلب المنطقة داخل الموقع تعويضاً. ويعتمد اختيار المنطقة خارج الموقع على حجم المنطقة التي تتطلب التعويض ومدى ملائمة المنطقة خارج الموقع لتوفير احتمال مرتفع لنجاح الاستعادة. وستُستكمل الخطوات التالية خلال عملية اختيار موقع التعويض:

1. حساب المساحة المطلوب التعويض عنها: إن الكائنات الحية موضع الاهتمام هي المرجان. وستُحسب كمية المرجان التي يُحتمل فقدها على النحو التالي: المساحة المتأثرة $\times$ % الركيزة الصلبة $\times$ % الغطاء المرجاني = عدد الأمتار المربعة من المرجان المطلوب استعادتها خارج الموقع
2. تحديد المساحة المطلوب استعادتها: تحديد المساحة المطلوبة
3. استناداً إلى المساحة المطلوبة خارج الموقع، ستُفحص المواقع المتدهورة لتقييم مدى ملائمتها كمواقع مرشحة للاستعادة. والغاية من ذلك جمع معلومات كافية في كل موقع مرشح للحكم على مدى ملائمة لأعمال استعادة المرجان أو تعزيزه، وإتاحة مقارنة المواقع بشكل متسق. وسيُسجل المساحون النتائج وفق كل معيار من المعايير أدناه، إلى جانب صور فوتوغرافية أو مقاطع فيديو داعمة حيثما كان ذلك عملياً. والمعايير المطلوب تقييمها هي:
 - (a) المساحة الإجمالية: ستُسجل المساحة التقريبية للموقع قيد الدراسة بالمتري المربع. وحيثما لا تكون حدود الموقع محددة بوضوح بمعالم طبيعية، سيُدوّن الأساس الذي اعتمد عليه في تقدير امتداده (على سبيل المثال، من مقطع مسح بالسباحة، أو مسح بالكاميرا المنزلة، أو بيانات الخرائط البحرية المتوفرة) بحيث يمكن التحقق من هذا الرقم أو تنقيحه لاحقاً
 - (b) نطاق العمق: سيُسجل الحد الأدنى والأقصى للعمق في أرجاء الموقع. وحيثما يتباين العمق تبايناً كبيراً عبر المساحة، ستُدوّن المواضع التي توجد فيها أقل الأعماق وأكبرها، إذ يؤثر ذلك في نفاذ الضوء وطاقة الأمواج ونطاق أنواع المرجان التي يُرجح أن تكون ملائمة
 - (c) التضاريس ثلاثية الأبعاد: ستُدوّن ملاحظات حول ما إذا كان الموقع يتمتع بتضاريس بنوية بارزة، مثل الحواف المرتفعة أو الأجزاء الصخرية المتدلية أو الكتل المرجانية المنعزلة (bommies) أو الشقوق، أو ما إذا كان مستوياً في معظمه. ويدعم التعقيد البنوي عموماً تنوعاً حيوياً أعلى، وقد يؤثر في كيفية تحديد مواقع منشآت الاستعادة وتثبيتها، ولذلك سيُوصف هذا الجانب وصفاً تفصيلياً بدلاً من الاكتفاء بتسجيله على أنه موجود أو غير موجود
 - (d) نسبة الركيزة الصلبة إلى الركيزة الرخوة: ستُقدّم نسبة مئوية تقريبية لتوزع الركيزة بين الركيزة الصلبة (الصخور، والأرضية الشعابية المسطحة، والركام) والركيزة الرخوة (الرمال، والطين، والوحل). وستُقدّر هذه النسبة بصرياً على امتداد مقاطع المسح بدلاً من قياسها بدقة، إلا أن الأساس الذي يستند إليه التقدير سيُسجل
 - (e) ثبات الركيزة الصلبة: سيُجرى تقييم لمدى ثبات الركيزة الصلبة الموجودة أو قابليتها للحركة، كالركام المفكك الذي يتحرك بفعل الأمواج أو التيارات على سبيل المثال. وتكون الركيزة غير الثابتة عموماً غير ملائمة لالتصاق المرجان أو لتثبيت منشآت الاستعادة، ولذلك ستُعالج هذه النقطة بصورة مباشرة بدلاً من افتراضها استناداً إلى نسبة الركيزة وحدها
 - (f) سبب التدهور: سيُسجل سبب الضرر أو التراجع الذي حدث في الماضي. ويشمل ذلك الأضرار الناجمة عن العواصف، أو أضرار المراسي، أو الترسيب، أو الإجهاد الحراري، أو الأمراض، أو الإزالة المادية للبنية (على سبيل المثال، نتيجة حطام سفينة أو أي اصطدام آخر). وحيثما يكون السبب غير مؤكد، ستُدوّن فرضية العمل المعتمدة والأدلة التي تستند إليها
 - (g) ما إذا كان مصدر التدهور قد أزيل: سيُسجل ما إذا كان السبب الأصلي للتدهور لا يزال قائماً في الموقع أم أنه قد توقف. فالموقع الذي يستمر فيه الضغط، كاستمرار الترسيب أو تكرار الاضطراب المادي، يُعدّ مرشحاً ضعيفاً للاستعادة إلى حين معالجة ذلك الضغط، بصرف النظر عن مدى ملائمة المعايير الأخرى
 - (h) وجود المرجان: سيُسجل وجود أي مرجان حي، وحيثما وُجد، ستُدوّن إشارة تقريبية إلى نسبة الغطاء، والأجناس أو أشكال النمو السائدة المرصودة، وحالتها الظاهرة. وسيُرسى ذلك خط الأساس الذي ستُقاس مقابله أي أعمال تعويض أو استعادة، كما سيُبين أنواع المرجان المفضلة لعمليات الاستزراع
 - (i) غطاء الطحالب الكبيرة على الركيزة الصلبة: سيُسجل ما إذا كانت الطحالب الكبيرة موجودة على الركيزة الصلبة، وفي حال وجودها، ستُدوّن ملاحظات حول ما إذا كانت تبدو متكاثرة فوق الركيزة أو مغطيتها لها إلى حدٍ يجعلها تنافس المرجان على الاستقرار أو البقاء. ويُعدّ الغطاء الكثيف للطحالب الكبيرة مؤشراً مفيداً على ضغوط مرتبطة بالمغذيات أو بالرعي، وسيُشار إليه بوصفه قيداً محتملاً على ملائمة الموقع

(z) دلائل استقرار المرجان: سيُبحث عن علامات التجنيد الطبيعي (تجدد المستعمرات)، مثل مستعمرات المرجان اليافعة أو حالات الاستقرار الحديثة على الركيزة الصلبة أو الثابتة. ويُعد ذلك مؤشراً مفيداً على أن الظروف في الموقع لا تزال ملائمة للمرجان بصورة عامة، حتى في الحالات التي يكون فيها الغطاء الحالي منخفضاً، وسيُسجل بشكل منفصل عن وجود مستعمرات المرجان الراسخة

سيُسجل كل معيار لكل موقع باستخدام نموذج موحد، مدعوماً بصور فوتوغرافية مُرجعة جغرافياً، وبمقاطع فيديو على امتداد مسارات المسح حيثما أمكن. وسيُضاف حكم موجز بشأن الملاءمة الإجمالية بعد الانتهاء من تقييم جميع المعايير، إلا أنه سيُحفظ منفصلاً عن الملاحظات الأولية بحيث تبقى البيانات الأساسية صالحة للاستخدام في حال إعادة النظر في معايير التقييم لاحقاً.

8.4.2.2 إنشاء مشتل لتربية المرجان

يتمثل الهدف الرئيسي لمشتل المرجان في تربية قطع مرجانية سليمة في ظل ظروف ميدانية مضبوطة إلى أن تبلغ حجماً مناسباً لاستزراعها في مواقع الاستعادة. وتتطلب برامج المشاتل الناجحة تخطيطاً دقيقاً، واختياراً ملائماً للمواقع، وممارسات رعاية فعّالة، ورصدًا طويل الأمد لضمان تحقيق معدلات بقاء ونمو مرتفعة. وستُراعى الجوانب التالية:

- موقع المشتل: سيُنشأ المشتل في منطقة تحاكي، بأقرب درجة ممكنة، مواقع الاستعادة المختارة من حيث الظروف الحيوية-الفيزيائية والهيدرولوجية
- جمع المرجان المانح وصيانته: سيتوفر بعض المرجان المانح من منطقة موقع الإنشاء، إلا أن الجزء الأكبر منه سيُجمع من النظام البيئي للشعاب المحلية. وسيُولى اهتمام خاص لمواصلة الموانئ المانحة مع الموانئ المستقبلية، وللمحافظة على ظروف في المشتل تعكس بيئات الشعاب المحلية. وسيُمثل اختيار المستعمرات المانحة مزيجاً من أشكال النمو والمجموعات التصنيفية يحاكي بيئات الشعاب السليمة، مثل تلك التي شملها مسح خط الأساس للمشروع. وستكون المستعمرات المانحة متباعدة مكانياً، ولن يُزال سوى جزء صغير من كل مستعمرة للحد من الآثار على الشعاب الطبيعية. وسيُحفظ البرنامج بسجلات تفصيلية لمواقع المستعمرات المانحة وحالتها وأنواعها. ولن تُؤخذ القطع إلا من مستعمرات مانحة سليمة لا تظهر عليها أي دلائل على المرض أو الإفتراس أو الابيضاض. ويتراوح حجم القطع عادةً بين 5 و 15 سم للمرجان المتفرّع، وبين 3 و 6 سم للأنواع الكتلية. وستُستخدم في عملية الجمع معدات معقمة للحد من خطر انتقال الأمراض. وبعد الجمع، ستُنبت القطع على منشآت المشتل باستخدام أساليب تثبيت ملائمة، وتترك لتتعاوى وتنمو في ظل الظروف البيئية الطبيعية
- تصميم المشتل: ستكون منشآت المشتل ملائمة للبيئة التي تُركب فيها، مع مراعاة العمق والنباتات ونوع المرجان. وتُستخدم مشاتل الحبال ومشاتل الأشجار عادةً للمرجان المتفرّع، في حين تُستخدم مشاتل الطاولات في الغالب لأنواع المرجان الكتلي التي تتطلب ثباتاً أكبر. وستُنبت المنشآت تثبيتاً محكماً، ولن تُركب مباشرة على موانئ المرجان الحي. وستُوسم كل قطعة مرجانية وتُنبت ضمن قاعدة بيانات المشتل لإتاحة رصد مصدرها ونموها وبقائها
- تقييم نجاح المشتل: ستُقيم مؤشرات رئيسية، تشمل معدلات البقاء، ومعدلات النمو، وحجم المستعمرات، ومعدل حدوث الابيضاض، ومدى انتشار الأمراض، والحالة العامة للمرجان، وذلك لتقييم قابلية المرجان للحياة في المشتل. وسيُجرى التقييم شهرياً خلال الأشهر الستة الأولى من التشغيل، تليه تقييمات ربع سنوية بعد ذلك
- الحصاد والغرس: سيُحصَد المرجان بمجرد بلوغه حجماً مناسباً للاستزراع. وتتراوح مدة بقاء المرجان في المشتل عادةً بين 6 و 12 شهراً للمرجان المتفرّع سريع النمو، وتصل إلى 24 شهراً للأنواع الكتلية بطيئة النمو. وسيجري الغرس خلال فترات انخفاض الإجهاد الحراري وهدوء الأحوال الجوية. وخلال النقل إلى المواقع المتدهورة، سيُحفظ المرجان في مياه البحر وسيُقل أي تعرّض للهواء إلى الحد الأدنى. وسيُنبت المرجان في مواقع الاستعادة باستخدام الإسمنت البحري.
- تجدر الإشارة إلى أن لدى الخبراء المحليين في العقبة خبرة تراكمية كبيرة في ممارسات مشاتل المرجان ورعايته. فعلى سبيل المثال، تمتلك محطة العلوم البحرية (MSS) خبرة واسعة في تربية المرجان، سواء في موقعه الطبيعي (in situ) أو في أنظمة الأحواض الجارية (raceway) البرية داخل مرافقها المخبرية. وقد استخدمت مشاتل المرجان هذه لأغراض البحث العلمي، فضلاً عن استعادة الشعاب المرجانية المتضررة.
- إضافةً إلى ذلك، تُشغل سلطة منطقة العقبة الاقتصادية الخاصة (ASEZA) مشاتل للمرجان استخدمت لتربية قطع المرجان التي جُمعت من مناطق تأثرت بأنشطة إنشائية سابقة. وتوفّر هذه الخبرة المحلية الراسخة والبنية التحتية القائمة أساساً عملياً متيناً لإدراج مشاتل المرجان ضمن استراتيجية التعويض الخاصة بالمشروع. ومن شأن توفر الكوادر ذات الخبرة وتقنيات المشاتل المعتمدة محلياً أن ييسر تنفيذ أنشطة استعادة المرجان القائمة على المشاتل وإدارتها.

8.4.2.3 تهيئة مواقع الاستعادة

قبل الغرس من مشتل المرجان، سيُتحقق من ثبات الركيزة، وستُركَّب منشآت لتعويض أي تضاريس ثلاثية الأبعاد مفقودة. وستُركَّب المنشآت قبل وقت كافٍ من استقبال المستعمرات المانحة بحيث تكون أسطحها مهيأة. واستناداً إلى قاعدة بيانات المشتل، سيُوضع جدول زمني واضح للغرس للحد من الاضطراب ومن الفترة الزمنية الفاصلة بين المشتل وموقع الغرس.

8.5 الرصد

يلزم الرصد لكلٍ من أنشطة نقل المرجان واستزراع لإثبات نجاح الاستعادة. وسيُجرى الرصد بعد شهر واحد وثلاثة أشهر وستة أشهر واثنى عشر شهراً من الاستزراع، تليه تقييمات سنوية. وستشمل المؤشرات معدل البقاء، ونمو المستعمرات، والغطاء المرجاني، والتعقيد البيئي، وتجديد المرجان اليافع، ودلائل النشاط التكاثري. وستُصنّف معايير الرصد بما يحافظ على سلامة تصنيف «الهكتار النوعي» (Quality Hectare) مع مرور الوقت، وهو تصنيف يقيم الأنشطة مقابل مقاييس قائمة على الأهداف، انظر الجدول 2-8.

الجدول 2-8: مقاييس الرصد

المقياس	التركيز على المدى القصير (1-2 سنة)	التركيز على المدى الطويل (5-10+ سنوات)
البقاء والنمو	نجاح تثبيت القطع، والنمو الهيكلي الأولي	نمو ذاتي مستدام للمستعمرات، والخشونة البنيوية
وظيفة النظام البيئي	انخفاض منافسة الطحالب الكبيرة عند نقاط الغرس	التجديد الطبيعي للبرقات، وعودة الكتلة الحيوية للأسماك الراحية
القدرة على الصمود	الحد الأدنى من الابيضاض خلال الشذوذات الحرارية الطفيفة	التكيف والبقاء خلال موجات الحر البحرية الشديدة

8.5.1 تحديد النجاح

يتطلب تحديد النجاح تقييم خصائص الرصد مقابل أهداف و/أو معايير تتيح قياس المقاييس مقابل مؤشرات البقاء والجودة.

8.5.1.1 البقاء

أشارت دراسة تجميعية عالمية لمشاريع استعادة المرجان إلى أن معدل بقاء المرجان المعتاد على المدين القصير والمتوسط يستقر بين 60% و77%، وأنه يعتمد اعتماداً كبيراً على نوع المرجان وعلى ظروف الركيزة والظروف البيئية المحلية. ويمكن للمشاريع الخاضعة لتنظيم وإدارة صارمين أن تحقق معدلات بقاء أعلى، ومن الجدير بالذكر أن مشروعاً في حديقة العقبة البحرية حقق معدل بقاء بلغ 88% على مدى فترة مدتها 2 سنة. وبالنسبة لمشروع نقل المرجان، حيث تكون الظروف البيئية السائدة ملائمة عموماً لصحة المرجان ويُعاد المرجان إلى شعابه الأصلية بعد الإنشاء، يرد افتراض تخطيطي معقول لمعدلات النجاح في الجدول 8-3 (Kotb et al., 2015; Kotb, 2016).

الجدول 8-3: افتراضات معدل البقاء في عمليات نقل المرجان ضمن الظروف البيئية الملائمة المعتادة

النتيجة	معدل البقاء
تنفيذ ممتاز	90-95%
مشروع نموذجي جيد الإدارة	80-90%
ظروف صعبة	60-80%

لأغراض تقييم الأثر البيئي وحسابات التعويض، كثيراً ما تُعدّ الجهات التنظيمية أي معدل بقاء يتجاوز 80% بعد الإعادة دليلاً على نجاح برنامج نقل المرجان، على أن تُعَلَّ تدابير إضافية للاستبدال أو الاستعادة إذا انخفض معدل البقاء عن هذه العتبة.

بالنسبة لمشروع استزراع المرجان (حيث يُنقل المرجان بصورة دائمة إلى موقع مستقبل جديد بدلاً من إعادته إلى موقعه الأصلي)، تكون معدلات النجاح عادةً أدنى وأكثر تفاوتاً مقارنةً بالنقل المؤقت، نظراً لأن المرجان يتعين عليه التكيف مع بيئة وركيزة مختلفتين. ويرد افتراض تخطيطي معقول لمعدلات النجاح في الجدول 8-4.

الجدول 8-4: افتراضات معدل البقاء في عمليات استزراع المرجان عند نقله إلى موقع مستقبل

فئة الأداء	معدل البقاء خلال 1-2 سنة
مشروع ممتاز	80-95%
مشروع نموذجي جيد الإدارة	70-85%
نجاح متوسط	50-70%
سوء اختيار الموقع أو ارتفاع الإجهاد البيئي	<50%

تتوافق هذه النطاقات مع ما توصلت إليه الدراسات من أن المستعمرات المستزرعة يمكن أن تحقق معدلات بقاء مرتفعة عندما تكون ظروف المواقع المستقبلية مطابقة إلى حد كبير لظروف المواقع المانحة، في حين تتراجع معدلات البقاء عندما تكون الظروف البيئية دون المستوى الأمثل.

بالنسبة لكل من نقل المرجان واستزراعه، يرد افتراض تخطيطي معقول لمعدلات النجاح بحسب شكل نمو المرجان في الجدول 8-5.

الجدول 8-5: معدلات النجاح المفترضة لعمليات نقل المرجان واستزراعه بحسب شكل نمو المرجان

نوع المرجان	معدل البقاء المتوقع
المرجان الكتلي (Porites, Favia, Favites)	80-95%
المرجان القشري	75-90%
المرجان المتفرع (Acropora, Pocillopora)	60-85%
الأنواع المتفرعة الهشة	50-80%

غالباً ما تتمتع المستعمرات الأكبر حجماً بمعدلات بقاء أفضل على المدى الطويل مقارنةً بالقِطْع الصغيرة، وإن كانت مناوئتها أكثر تعقيداً.

8.5.1.2 مؤشرات الجودة

ستستند المقاييس المعتمدة لتحديد مؤشرات الجودة، بما يتجاوز معدل البقاء وحده، إلى أربع طبقات تشغيلية وبيئية أساسية:

1. مؤشرات المرجان (الصحة) لتقييم أداء المستعمرات المرجانية الفردية وسلامتها البنيوية:
 - a) معدل نجاح التثبيت: النسبة المئوية للمستعمرات التي تبقى مثبتة بإحكام على ركيزة الشعاب المستقبلية
 - b) مؤشر الابيضاض ونفوق الأنسجة: النسبة المئوية لمساحة سطح المرجان المنقول التي تظهر عليها علامات الابيضاض أو فقدان الأنسجة أو المرض
 - c) معدل النمو الخطي/الهيكل: متوسط التغير في حجم المستعمرة (الطول أو العرض أو الحجم) بمرور الوقت لتأكيد التكيف مع البيئة الجديدة
2. مؤشرات الجماعات والمجتمعات الأحيائية لقياس ما إذا كان المرجان المنقول يتوسع ليُشكّل نظاماً بيئياً فاعلاً:
 - a) التغير في غطاء المرجان الحي: الزيادة المطلقة في النسبة المئوية لغطاء المرجان الصلب عبر الشعاب المستقبلية
 - b) نسبة الطحالب الكبيرة إلى المرجان الصلب: نسبة الحيز القاعي الذي تشغله الطحالب اللحمية مقابل المرجان الحي، للدلالة على جودة البيئة
 - c) التبييض والخصوبة: حدوث إطلاق للأمشاج خلال أحداث التبييض المتزامن السنوية، للدلالة على التحول من مشروع مُدار إلى جماعة برية ذاتية الاستدامة
3. مؤشرات وظائف النظام البيئي للدلالة على استعادة خدمات النظام البيئي الأوسع:
 - a) التعقيد البنيوي (الخشونة ثلاثية الأبعاد): البنية المادية ثلاثية الأبعاد للموئل التي يُشكّلها المرجان المنقول
 - b) وفرة الأسماك وكتلتها الحيوية: لتأكيد أن المرجان يوفر موائل حرجة ومناطق حضانة

(c) التنوع الحيوي للآفقاريات والكائنات القاعية الخفية: يدل تجنيد الحيوانات الشعابية المرتبطة، مثل قنفاذ البحر والسرطانات وذوات المصراعين، على بنية شعابية سليمة وفاعلة

4. الإدارة التكيفية لتوفير الرعاية لعمليات نقل المرجان، على أن تشمل:

- (a) رصد نجاح التثبيت وإعادة التثبيت حسب الحاجة
- (b) عمليات كنس الطحالب لإزالتها يدوياً إذا تجاوز الغطاء الطحلي 20% حول المستعمرات المغروسة

8.6 اختيار التعويض

سيُقيم اختيار المناطق الواقعة خارج الموقع والملائمة للتعويض عن الآثار المتبقية أو جبرها وفقاً لتسلسل هرمي من الخيارات، بدءاً من تلك الأقرب بيئياً إلى الموئل المتأثر وصولاً إلى تلك التي توفر مكاسب أوسع على مستوى النظام البيئي.

8.6.1 تحديد النهج المفضل

سيُعطي التسلسل الهرمي الأولوية للتدابير التي تُعظم التكافؤ البيئي، واحتمالية النجاح، ونتائج الحماية طويلة الأمد:

- بيانات الشعاب المجاورة: حيثما تبقى خسائر متبقية بعد استعادة موقع الأثر، يُنفذ التحسين على الشعاب القريبة ضمن الوحدة البيئية ذاتها. ومن الأمثلة على ذلك:
 - استزراع المرجان في الشعاب المتدهورة المجاورة
 - إنتاج المرجان في المشاتل وغرسه
 - تثبيت الركاب
 - تعزيز التعقيد البنيوي للشعاب
 - إزالة عوامل الإجهاد المحلية
 - تشمل مزايا هذا النهج تشابه ظروف جودة المياه والظروف الهيدروديناميكية، والمحافظة على التنوع الجيني المحلي، وصون الوظيفة البيئية المحلية
- إنشاء الموانئ وإعادة تأهيل الشعاب: حيثما لا تتوفر فرص كافية للاستعادة في المناطق القريبة، يمكن إنشاء موانئ جديدة أو إعادة تأهيل موانئ متدهورة بشدة. ومن الأمثلة على ذلك:
 - نشر الشعاب الاصطناعية
 - استعادة مناطق الشعاب التاريخية
 - إنشاء ركيزة ملائمة لتجنيد المرجان
 - البستنة المرجانية والغرس على نطاق واسع
 - تشمل مزايا هذا النهج إمكانية تحقيق مكاسب كبيرة في الموانئ ودعم توسع الشعاب على المدى الطويل. أما تحديات هذا النهج فتشمل فترة تأخر زمني طويلة قبل تحقيق التكافؤ البيئي، ودرجة أكبر من عدم اليقين
- استعادة الموانئ الدائمة - استعادة الموانئ التي تدعم الوظيفة البيئية للشعاب المرجانية بصورة مباشرة. ومن الأمثلة على ذلك:
 - استعادة الأعشاب البحرية
 - تعزيز موانئ حضانة الأسماك
 - تدابير تحسين جودة المياه
 - يمكن أن يعود هذا النهج بالفائدة على مجتمعات أسماك الشعاب، ويدعم دورة المغذيات واحتجاز الرواسب، ويعزز القدرة الإجمالية للنظام البيئي على الصمود. غير أن هذا النهج لا يُعوّض موانئ المرجان بشكل مباشر، ويتطلب إثبات وجود ارتباط وظيفي

- إجراءات الحماية على مستوى المشهد الطبيعي أو المشهد البحري - حماية منظومات شعابية أكبر أو تعزيزها لتحقيق نتائج حماية قابلة للقياس. ومن الأمثلة على ذلك:
 - إنشاء مناطق يُحظر فيها إلقاء المراسي
 - توسيع المناطق البحرية المحمية
 - برامج مكافحة نجم البحر ذي التاج الشوكي
 - تركيب عوامات الإرساء
 - برامج إدارة مصايد الأسماك
 - غالباً ما يحقق هذا النهج منافع حماية مستدامة، وقد يُؤدّ مكاسب كبيرة في التنوع الحيوي. وتشمل قيود هذا النهج ضرورة إثبات الإضافية (additionality) وصعوبة التقدير الكمي للمنافع.
 - تعويضات التنوع الحيوي البحري من نوع مغاير (Out-of-Kind) - لا تُستخدم إلا عندما يثبت بشكل واضح عدم جدوى التعويضات المباشرة للشعاب المرجانية. ومن الأمثلة على ذلك:
 - حماية موائل بحرية أخرى
 - برامج واسعة النطاق لحماية التنوع الحيوي
 - مبادرات إقليمية لتعزيز قدرة النظم البيئية على الصمود
 - تشمل تحديات هذا النهج ضرورة توفير قيمة مكافئة من التنوع الحيوي، وتقديم مبررات علمية قوية، وتطبيق نسب تعويض مرتفعة في العادة.
 - من تدابير التعويض الإضافية التي يمكن النظر فيها الاستثمار في بناء القدرات المحلية وفي البحث العلمي المتعلق بحماية المرجان واستعادته. ويمكن أن يشمل ذلك دعم التدريب على مستوى الدراسات العليا في مجالات بيئة المرجان ورصده وتقنيات استعادته وإعادة تأهيله، فضلاً عن رعاية أبحاث علمية موجهة لتحسين ممارسات استعادة المرجان وتعميق فهم العوامل المؤثرة في صحة المرجان وتعافيه.
 - ومن شأن هذه المبادرات أن توفر منافع على المدى الأطول من خلال تعزيز القدرات العلمية المحلية، وإعداد جيل جديد من المتخصصين في حماية المرجان، ودعم مواصلة تطوير نهج فعالة لاستعادة المرجان وإعادة تأهيله وتطبيقها في خليج العقبة.
- لتقييم الخيارات عبر مستويات متعددة من التسلسل الهرمي، ستستخدم مصفوفة تقييم مرجحة لمقارنة البدائل.

8.6.2 اختيار الموقع

يشمل مشروع تحلية ونقل المياه من العقبة إلى عمان (AAWDGP) مجموعة من مناطق الأثر التي تضم بيئات ضحلة وأخرى في المياه العميقة. وتشير المسوحات الأولية لمنطقة عمود انتشار الرجيع الملحي العميقة إلى أنها قد تكون مغطاة بكميات كبيرة من الرواسب، مع صخور منخفضة التضاريس وغطاء أحيائي محدود. ومن المرجح أن يحد ذلك من أي إجراءات استعادة مباشرة في مواقع مماثلة (for-like)، وألا يحقق سوى مكاسب ضئيلة على صعيد الكائنات الحية و/أو الموائل. وعلى الرغم من أن الخيار المماثل هو الخيار المفضل، فإنه لم يُختَر، بالنسبة للمواقع في المياه العميقة، إجراء استعادة مباشرة في المياه العميقة بوصفه خيار التعويض المفضل، وذلك بسبب القيود الفنية الكبيرة، وانخفاض درجة اليقين في التنفيذ، ومحدودية النجاح المثبت للاستعادة على أعماق تتجاوز 30 م، وتراجع جدوى الرصد. وبدلاً من ذلك، جرى البحث عن مواقع تُمثّل فيها المواقع المتهورة فعلياً فجوات محتملة في موائل الشعاب الضحلة المترابطة بيئياً ضمن منظومة الشعاب الأردنية. واستند اختيار المواقع إلى تشابه الموائل، والترابط البيئي، وقيمة التنوع الحيوي، والقدرة على الصمود أمام تغيّر المناخ، والقدرة على تحقيق مكاسب في التنوع الحيوي قابلة للقياس الكمي تتجاوز الخسارة المتبقية المتوقعة ضمن منطقة عمود الانتشار في المياه العميقة.

إن دمج متطلبات التعويض/جبر الضرر الخاصة بالمياه العميقة فعلياً ضمن تقييم متطلبات الشعاب الضحلة وتقديرها يحقق التكافؤ البيئي من خلال استبدال وظيفة التنوع الحيوي للشعاب وقيمة خدمات النظام البيئي لمنظومات الشعاب الأردنية، بدلاً من الاستبدال الصارم للموائل بموائل مماثلة في العمق.

أُجريت مسوحات لستة مواقع مرشحة ملائمة لاستقبال المرجان المستزرع، قدّمتها سلطة منطقة العقبة الاقتصادية الخاصة (ASEZA).

8.6.2.1 موقع الكورنيش

تعرّض هذا الموقع لإنشاء منشأة سياحية تجارية تقع مباشرةً على خط الشاطئ (الشكل 8-1). وأفادت التقارير بأن المالكين استخدموا الصخور لردم جزء من الواجهة البحرية خلال عملية الإنشاء. وقد أدّى إلقاء الصخور في البحر إلى إلحاق ضرر كامل بجميع التراكيب الشعابية الواقعة ضمن الموقع.

الشكل 8-1: المنشأة السياحية في موقع الكورنيش



وتحت سطح الماء، يتّسم الموقع بانتشار واسع للمواد الصخرية الملقاة على امتداد قاع البحر، إذ تمتد التراكيب الصخرية من المنطقة الساحلية الضحلة حتى عمق مياه يبلغ نحو 30 م (الشكل 8-2). وأكدت المعاينة بالغوص أن نسبة كبيرة من أسطح الصخور المكشوفة توفّر ركيزة صلبة مستقرة ملائمة لاستزراع المرجان. كما يوفّر التركيب المعقّد نسبياً للصخور أسطحاً للتنشيط وواجهات عمودية ومائلة يُحتمل أن تستوعب مستعمرات المرجان المستزرعة.

الشكل 8-2: مساحة كبيرة من قاع البحر مغطاة بالكامل بالصخور الملقاة



يشير تقدير أولي إلى أن مساحة تبلغ نحو 8,000–10,000 م² قد تكون متاحة لأنشطة الاستزراع والتعويض المقترحة. غير أن المساحة المتاحة بدقة والتضاريس التفصيلية لقاع البحر تستلزمان مزيداً من التحقق من خلال مسوحات ميدانية إضافية وأعمال رسم خرائط. ويوفر الموقع تدرجاً واسعاً في الأعماق يمتد من خط الشاطئ حتى عمق 30 م تقريباً. ويُعد ذلك ميزة بالغة الأهمية لبرنامج استزراع المرجان المقترح، إذ يتيح استزراع المستعمرات المانحة في مناطق مستقبلية تقع على أعماق مماثلة لتلك التي جُمعت منها. ومن شأن الحفاظ على ظروف أعماق متشابهة بين المواقع المانحة والمواقع المستقبلية أن يقلل من الفروق البيئية ويسهل تأقلم المستعمرات المستزرعة وترسخها.

وخلال المعاينة باستخدام جهاز التنفس المستقل تحت الماء (SCUBA)، رُصدت عدة مستعمرات مرجانية على مقربة من المناطق الصخرية، منها مستعمرات تنمو هناك بصورة طبيعية أو نُقلت إلى الموقع. وأظهرت هذه المستعمرات عموماً خصائص شكلية وحالة أنسجة سليمة (الشكل 3-8). كما رُصدت مجتمعات من الأسماك تشغل الموقع، ويبدو أنها تستخدم التراكيب الصخرية ملاذاً وموئلاً محتملاً للحضانة، في حين يُعرف عن بعض الأنواع أنها تتغذى على الطحالب النامية على أسطح الصخور (الشكل 4-8). وتشير هذه الملاحظات إلى أن الركيزة الصخرية القائمة تؤدي بالفعل وظائف إيكولوجية وتستغلها الكائنات البحرية.

الشكل 3-8: مستعمرات مرجانية تنمو داخل الموقع، بما يدل على بيئة صحية داعمة لحياة المرجان



الشكل 4-8: مجتمعات الأسماك التي تستوطن المنطقة الصخرية



ومن الملاحظات المهمة خلال المعاينة وجود مستعمرات مرجانية يافعة جديدة استقرت بصورة طبيعية على أسطح الصخور الملقاة (الشكل 5-8). ويُعد وجود مستعمرات مرجانية يافعة مستقرة طبيعياً مؤشراً إيكولوجياً إيجابياً، إذ يبين أن المرجان يستعمر الركيزة الصلبة المتاحة في ظل الظروف البيئية السائدة. كما يشير التجنيد الطبيعي (تجدد المستعمرات) إلى أن الموقع قد يوفر ظروفاً ملائمة لاستقرار المرجان، وربما لترسخ مستعمرات المرجان المستزرعة حديثاً وبقيائها على المدى الطويل.

الشكل 8-5: مستعمرات مرجانية يافعة جديدة على أسطح الصخور سُكَّلت خلال المعاينة



ومن منظور استزراع المرجان، فإن اجتماع الركيزة الصلبة المستقرة، والأدلة على التجنيد الطبيعي للمرجان، ووجود مستعمرات مرجانية قائمة واستخدام الأسماك للموقع، والتدرّج الواسع في الأعماق، يجعل من موقع الكورنيش موقعاً مستقبلاً يُحتمل أن يكون ملائماً لأنشطة الاستزراع والتعويض. ومع ذلك، يُوصى قبل الاختيار النهائي بإجراء مزيد من التقييم الكمي، بما في ذلك تقييم استقرار الركيزة، وكثافة المستعمرات المرجانية اليافعة، وتركيب المجتمعات القاعية القائمة وغطائها، وتراكم الرواسب، وحركة المياه، والعكارة، وغيرها من المعايير البيئية ذات الصلة. وستدعم هذه التقييمات التقييم النهائي لملاءمة الموقع وتحديد أولويته مقارنةً بالمواقع المرشحة الأخرى.

8.6.2.2 موقع بيرنيس

يقع الموقع الثاني الذي جرت معاينته ضمن المحمية البحرية وبالقرب من منتجع يُدعى بيرنيس. وأشارت الملاحظات المستخلصة من الغوص (SCUBA) إلى أن المنطقة تضم بيئة قاعية غير متجانسة تشمل موائل شعاب مرجانية راسخة، ومروجاً متطورة من الأعشاب البحرية، ومناطق ذات قاع رملي (الشكل 8-6 والشكل 8-7).

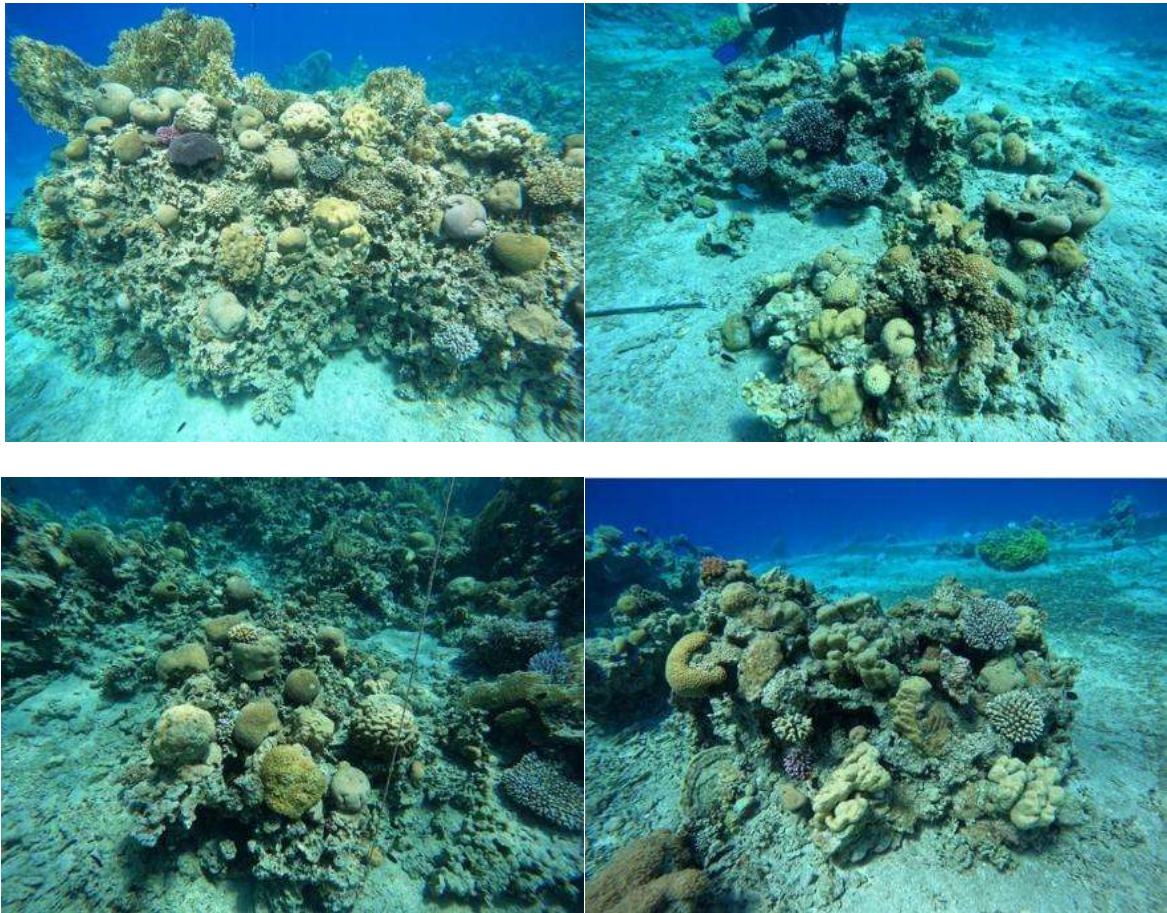
الشكل 8-6: تراكيب شعابية ضخمة وسليمة ذات مستعمرات كبيرة الحجم تُشاهد في الموقع



الشكل 8-7: قاع البحر الرملی ومروج الأعشاب البحرية الموجودة في الموقع



الشكل 8-8: المرجان المستزرع في الموقع يبدو بحالة صحية جيدة بعد 9 أشهر من نقله





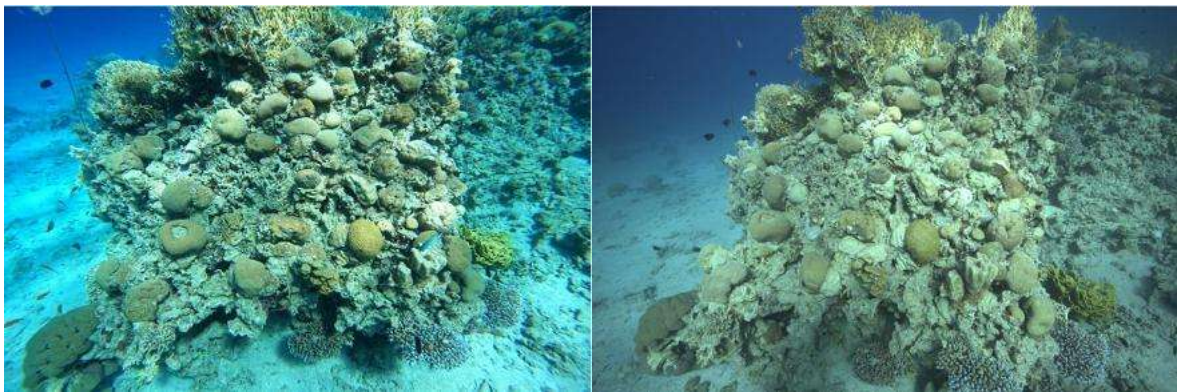
تشير مناطق الشعاب المرجانية القائمة إلى أن الموقع يدعم مجتمعات مرجانية راسخة في ظل الظروف البيئية السائدة. كما تُعدّ مروج الأعشاب البحرية السليمة سمة إيكولوجية مهمة، وسيؤخذ وجودها في الاعتبار عند تحديد مواقع الاستزراع لضمان عدم وضع هياكل الاستعادة داخل موائل الأعشاب البحرية القائمة، أو عدم إزعاج هذه الموائل دون داعٍ.

ويضم الموقع كذلك مناطق ذات قاع رملي قد تكون ملائمة لتركيب هياكل مخصصة لاستزراع المرجان. ويمكن أن تتيح هذه المناطق فرصة لإنشاء وحدات استزراع دون إجراء تعديل مباشر على مستعمرات المرجان أو مروج الأعشاب البحرية القائمة. ومن شأن استخدام هذه المناطق أن يتيح لنشاط الاستعادة زيادة الموئل المرجاني مع الحفاظ على سلامة الموائل الطبيعية القائمة.

ومن السمات المهمة الأخرى لهذا الموقع وجود مناطق سبق أن نُفِّذ فيها استزراع للمرجان (الشكل 8-8). وتتيح هذه المناطق فرصة لتقييم أداء أنشطة الاستزراع السابقة، بما في ذلك بقاء المستعمرات وتثبيتها ونموها، وتطور المجتمعات القاعية المرتبطة بها. ومن ثم، يمكن أن توفر مناطق الاستزراع السابقة معلومات خط أساس قيمة لتصميم تدخلات التعويض المستقبلية وتحسينها.

أجريت مقارنة بين مستعمرات المرجان التي استُزعت قبل نحو تسعة أشهر، في كانون الثاني 2026، والمستعمرات ذاتها التي رُصدت خلال المعاينة الحالية المُنفَّذة في أيلول 2026. وتشير الملاحظات الميدانية إلى أن المستعمرات المستزرعة حافظت عموماً على حالة جيدة، بمعدل بقاء يُقدَّر بأكثر من 90 % (الشكل 8-9). ويشير هذا التقييم الأولي إلى ارتفاع معدل البقاء ونجاح ترسخ المستعمرات المستزرعة خلال الأشهر التسعة الأولى التي أعقبت الاستزراع.

الشكل 8-9: مستعمرات المرجان المستزرعة خلال كانون الثاني 2026 (على اليسار) والمستعمرات ذاتها خلال أيلول 2026 (على اليمين)



8.6.2.3 النادي الملكي لليخوت (RYC)

تتشكّل الحدود البحرية للنادي الملكي لليخوت (RYC) أساساً من جدار كاسر أمواج مُدرّع بالصخور، يمتد على طول الواجهة البحرية للنادي (الشكل 8-10). ويُقدَّر أن تغطي المنطقة البحرية المرتبطة بالموقع نحو 15,000 م²، مع أعماق مياه تتراوح بين 2 م تقريباً قرب خط الشاطئ و20 م باتجاه عرض البحر.

الشكل 8-10: جدار كاسر الأمواج في موقع النادي الملكي لليخوت



يتكوّن قاع البحر ضمن المنطقة التي جرت معاينتها من مزيج من تراكيب قاع البحر المختلفة، تشمل ما يلي: (الشكل 8-11 إلى الشكل 8-13)

- موائل ذات قاع رملي
- مروج الأعشاب البحرية
- بقع متناثرة من المرجان الصلب
- تراكيب اصطناعية على هيئة كتل خرسانية

سيق أن جرى نشر الكتل الخرسانية داخل الموقع لتعمل كتراكيب شعاب اصطناعية. وهي موزّعة حالياً بصورة متفرقة نسبياً على قاع البحر، وتوفّر ركيزة صلبة إضافية ضمن موئل يتّسم، فيما عدا ذلك، بقاع رخو مختلط.

كما تُظهر أسطح الصخور المكوّنة لكاسر الأمواج استعماراً حيويّاً قائماً، يشمل نمو المرجان ووجود دلّائل على مستعمرات مرجانية يافعة جديدة (الشكل 8-14). ويدل ذلك على أن الركيزة الصخرية المتاحة قادرة على دعم استقرار المرجان ونموه في ظل الظروف البيئية السائدة.

الشكل 8-11: القاع الرملي (في الأعلى) ومروج الأعشاب البحرية (في الأسفل) الموجودة في موندل قاع البحر بموقع النادي الملكي لليخوت (RYC)



الشكل 8-12: استعمار الأسطح الصلبة بالمرجان وغيره من كائنات الشعاب



الشكل 8-13: استعمار الأسطح الصلبة بالمرجان وغيره من كائنات الشعاب



الشكل 8-14: وجود مستعمرات مرجانية يافعة جديدة يدل على بيئة صحية في الموقع



يمثل كاسر الأمواج الصخري ركيزة يُحتمل أن تكون قيمة لأنشطة استزراع المرجان. إذ توفر أسطحه الصلبة الواسعة نقاط تثبيت مستقرة بطبيعتها، في حين يشير نمو المرجان وتجنيد المرصودان إلى قدرة الركيزة على دعم ترسخ المرجان.

ويتيح اجتماع الموائل الطبيعية القائمة وتراكيب الشعاب الاصطناعية والركائز الصلبة الملائمة فرصة لمواصلة تطوير الموقع ليصبح منطقة مُدارة لتعزيز الشعاب والتعويض الإيكولوجي. كما تخطط سلطة منطقة العقبة الاقتصادية الخاصة (ASEZA) لنشر ركائز إضافية داخل الموقع لتعمل كشعاب اصطناعية. ويمكن وضع هذه التراكيب المخطط لها في مواقع مدروسة استراتيجياً بحيث تكمل الكتل الخرسانية وكاسر الأمواج القائمة، بما يزيد من الإتاحة الإجمالية للركيزة الصلبة الملائمة ويُنشئ موئلاً شعابياً أكثر اتساعاً.

ويمكن تطوير موقع RYC بما يتجاوز حالته الراهنة من خلال إضافة تراكيب للشعاب الاصطناعية ولاستزراع المرجان مصممة خصيصاً لهذا الغرض. ومن شأن هذا التطوير أن يزيد الموئل المرجاني، ويعزز التنوع الحيوي، ويوفر قيمة إيكولوجية إضافية ضمن بيئة ساحلية شديدة التعديل.

ونظراً إلى سهولة الوصول إلى الموقع، وتنوع أعماقه، ونمو المرجان القائم فيه، والنشر المخطط لتراكيب شعاب اصطناعية إضافية، فقد يكون من الممكن أيضاً تطويره ليصبح موقعاً جديداً للغوص الترفيهي. ومن شأن إنشاء منطقة شعاب اصطناعية جاذبة في موقع RYC أن يساعد على تحويل جزء من أنشطة الغوص بعيداً عن مناطق الشعاب المرجانية الطبيعية. وقد يوفر ذلك فائدة غير مباشرة على صعيد صون الطبيعة من خلال الحد من الإزعاج المادي وضغط الغوص على الشعاب الطبيعية الحساسة.

8.6.2.4 مقارنة أولية بين المواقع

استناداً إلى المعايير بالغوص (SCUBA)، أظهرت المواقع الثلاثة خصائص يمكن أن تدعم أنشطة استزراع المرجان والتعويض؛ إلا أن ظروفها الإيكولوجية وإمكانات الاستعادة فيها تتباين تبايناً كبيراً. وقد جرى تقييم المواقع ومقارنتها بناءً على حالتها الإيكولوجية الراهنة ومدى ملائمتها لتدخلات الاستعادة، على النحو الملخص في الجدول أدناه.

المعيار	موقع الكورنيش	بيرنيس (موقع المحمية البحرية)	النادي الملكي للبحوث
الركيزة الصلبة	ركيزة صخرية واسعة	شعاب قائمة؛ مع توفر مناطق رملية	كاسر أمواج صخري، وتراكيب خرسانية اصطناعية
إمكانية تثبيت المرجان	مرتفعة على الأسطح الصخرية المستقرة	مرتفعة على الشعاب وهياكل الاستزراع	مرتفعة على الأسطح الصخرية المستقرة
دلائل التجنيد الطبيعي	رُصدت مستعمرات مرجانية يافعة على الصخور	رُصدت مجتمعات مرجانية راسخة	رُصدت مستعمرات مرجانية يافعة على الصخور
نطاق العمق	من خط الشاطئ حتى ~30 م	موائل/أعماق متعددة	20-2 م

المعيار	موقع الكورنيش	بيرنيس (موقع المحمية البحرية)	النادي الملكي للبحوث
موانئ الأعشاب البحرية	لم تُرصد كسمة سائدة خلال المعاينة	مروج أعشاب بحرية متطورة	مروج أعشاب بحرية متطورة
الركيزة الرملية	محدودة/متغيرة	تتوفر مساحات واسعة	متوفرة
الاستزراع السابق	لم يُحدّد على وجه التحديد	توجد مناطق استزراع سابقة	لا يوجد
أولوية تنفيذ أنشطة التعويض والاستزراع	مرتفع القدرة الاستيعابية المحتملة: 8,000-10,000 م ²	منخفض القدرة الاستيعابية المحتملة: 3,000-5,000 م ²	مرتفع القدرة الاستيعابية المحتملة: 15,000 م ²

استناداً إلى نتائج التقييم الميداني، يُعدّ موقع الكورنيش موقعاً مرشحاً ذا أولوية عالية لأنشطة استزراع المرجان والتعويض البيئي. إذ يوفّر الموقع ركيزة صلبة ملائمة، ودلائل على التجنيد الطبيعي للمرجان، ومستعمرات مرجانية قائمة، وتدرّجاً واسعاً في الأعماق، مما يشير إلى إمكانات جيدة لدعم ترسخ المستعمرات المستزرعة واستمراريتها.

وفي المقابل، وعلى الرغم من أن موقع بيرنيس ملائم من الناحية الفنية لأنشطة استزراع المرجان والتعويض، فإن حالته الإيكولوجية الراهنة جيدة نسبياً، إذ يضم مجتمعات مرجانية راسخة وموائل شعابياً يؤدي وظائفه. وبناءً على ذلك، فإن المسوّغات لتنفيذ تدخلات نشطة للاستعادة أو التعويض في هذا الموقع أقل في الوقت الحالي. ومن ثمّ، ومن حيث أولوية الاستعادة، يُصنّف موقع بيرنيس موقعاً مرشحاً منخفض الأولوية، في حين يُوصى بموقع الكورنيش بوصفه الموقع ذا الأولوية القصوى بين الموقعين اللذين جرى تقييمهما.

واستناداً إلى معاينة الموقع، يتمتع موقع RYC بإمكانات جيدة لأنشطة استزراع المرجان والتعويض الإيكولوجي. إذ يوفّر كاسر الأمواج الصخري القائم ركيزة صلبة مستقرة واسعة، في حين يبيّن نمو المرجان وتجنيد المرصودان قدرة الركيزة على دعم استعمار المرجان.

وبتتيح النشر المخطط لركائز شعاب اصطناعية إضافية فرصة لمواصلة تعزيز الوظيفة الإيكولوجية للموقع. ومع التصميم والتموضع الملائمين، واستزراع المرجان، والرصد اللاحق، قد يكون من الممكن تطوير موقع RYC ليصبح موقعاً مخصّصاً لتعزيز الشعاب والغوص، بما يسهم في إنشاء موائل مرجانية وفي حماية الشعاب الطبيعية من خلال إعادة توزيع ضغط الغوص الترفيهي.

وبجري حالياً التحقق من مواقع مرشحة أخرى لتقييم مدى ملاءمتها لتنفيذ أنشطة استزراع المرجان و/أو التعويض.

8.6.3 الخطوات التالية

يمثّل النهج والإجراءات الأولية الموصوفة أعلاه خطوات أولى لتحديد الأنشطة اللازمة لتنفيذ التعويضات وإجراءات الحماية الإضافية والتخطيط لها وتنفيذها، والتي ستعوّض الآثار المتبقية الجسيمة على التنوع الحيوي، ولا سيما في الموائل الطبيعية/سمات التنوع الحيوي ذات الأولوية (التي تتطلب عدم تحقق أي خسارة صافية) أو الموائل الحرجة (التي تتطلب تحقيق مكسب صافٍ)، والتي تبقى قائمة بعد تطبيق جميع تدابير التجنب والتقليل والاستعادة الممكنة. وستُسهّم هذه المعلومات في إعداد خطة عمل التنوع الحيوي النهائية، التي ستؤكد المواقع، والإجراءات المحددة، والجهات المنفّذة، والبرنامج الزمني للتنفيذ، ورصد المكاسب، والتكاليف، وستُدمج في خطة الإدارة التكميلية النهائية.

9 الخطوات التالية والانعكاسات على التصاريح

9.1 الخطوات التالية

يمثل هذا الملحق المرحلي لتقييم الأثر البيئي والاجتماعي مرحلة مؤقتة في التطوير المستمر للمكون البحري لمشروع تحلية ونقل المياه من العقبة إلى عمان (AAWDGP). وقد استفاد التقييم من قاعدة أدلة محسنة بدرجة كبيرة مقارنة بتلك التي كانت متاحة خلال إعداد تقييم الأثر البيئي والاجتماعي لعام 2025 المُفصّل عنه؛ إلا أن عدة أنشطة إضافية لا تزال قيد التنفيذ لزيادة تعزيز فهم التنوع الحيوي البحري، وتأكيد افتراضات التقييم، ودعم تطبيق هرمية التخفيف الخاصة بالمشروع.

وتتمثل الأولوية العاجلة في استكمال برنامج المسوحات والدراسات الإضافية لخط الأساس. ويشمل ذلك المسح المخطط بالمركبة التي تُشغّل عن بُعد (ROV) لمنطقة عمود انتشار الرجيع الملحي، وأخذ عينات الرواسب ونوعية المياه، ودراسات تعريض المرجان المخبرية، ورصد استقرار المرجان. وستوفّر هذه الأنشطة مجتمعة معلومات إضافية عن توزيع الموائل، وحالة المرجان، والتباين البيئي، وأنماط تجنيد المرجان، ومدى تحمل أنواع المرجان الموجودة محلياً لمستويات الملوحة وتركيز الحديد المتوقعة ضمن عمود انتشار الرجيع الملحي. وستستخدم النتائج لتحسين رسم خرائط الموائل، وزيادة الثقة في التقدير الكمي للأثر، وتوفير أدلة إضافية لدعم الرصد والإدارة التكيفية على المدى الطويل.

وسيستمر التطوير الهندسي خلال مرحلة التصميم التفصيلي. ويشمل ذلك تأكيد منهجيات الإنشاء البحري، ووضع الصيغة النهائية لخطط المراسي، والتحقق من متطلبات الأداء البيئي، ومواصلة التواصل مع أصحاب العلاقة المعنيين بشأن لوجستيات الإنشاء، ونقاط التداخل مع البنية التحتية البحرية، والمتطلبات التشغيلية. وإضافة إلى ذلك، سيُجري المشروع مزيداً من التقييم لسرعة عمود انتشار الرجيع الملحي، مع مراعاة الجوانب البيئية والفنية والحاجة إلى تدابير تخفيف ملائمة.

كما سيواصل المشروع تطوير أنظمة الرصد البيئي والضوابط التشغيلية اللازمة للتحقق من الامتثال للالتزامات المشروع والأهداف البيئية.

وقد بدأ بالفعل التخطيط لنقل المرجان وتنفيذ تعويض التنوع الحيوي، وسيستمر مع توفّر معلومات إضافية من المسوحات. وقد جرى تحديد مواقع مستقبلية مرشحة ومعاينتها، وتأكيد توفّر قدرة استيعابية كافية لتلبية متطلبات النقل والاستعادة المحددة حالياً. وستُجرى تحريات إضافية للمواقع وأعمال لرسم الخرائط وللتخطيط للتنفيذ دعماً للاختيار النهائي للمواقع وتخطيط التنفيذ.

كما سيواصل المشروع تطوير خطة عمل التنوع الحيوي، ونظام الإدارة البيئية والاجتماعية، وخطة الإدارة التكيفية، لضمان الدمج الكامل لتدابير التخفيف، وبرامج الرصد، وآليات الاستجابة، وترتيبات الحوكمة في التصميم التفصيلي، وتخطيط الإنشاء، والإدارة التشغيلية.

وبوجه عام، تتركز الأعمال المتبقية على الحدّ من عدم اليقين، وتعزيز قاعدة الأدلة المتعلقة بالتنوع الحيوي، وتأكيد العتبات البيئية ومتطلبات الرصد، وضمان إمكانية تنفيذ تدابير التخفيف والنقل والاستعادة والإدارة التكيفية الموصوفة في هذا التقرير تنفيذاً فعالاً طوال فترة الإنشاء والعمر التشغيلي للمشروع.

9.2 الانعكاسات على التصاريح

لا تترتب على التصميم المعدّل أي انعكاسات على الموافقات البيئية التي سبق الحصول عليها من وزارة البيئة وسلطة منطقة العقبة الاقتصادية الخاصة (ASEZA). فهذه الموافقات نهائية وتشمل تعديلات التصميم والأعمال الإضافية المُنفّذة حتى تاريخه.

وفي مرحلة الإنشاء، سيتعيّن على مقاول الهندسة والتوريد والإنشاء (EPC) التنسيق مع الجهات المختصة والبلديات للحصول على التصاريح الاعتيادية اللازمة لتنفيذ الأعمال وإخطارها رسمياً، حسب مقتضى الحال.

- Al-Taani, A. A., Rashdan, M., Nazzal, Y., Howari, F., Iqbal, J., Al-Rawabdeh, A., Al Bsoul, A., & Khashashneh, S. (2020). Evaluation of the Gulf of Aqaba Coastal Water, Jordan. *Water*, 12(8), 2125. <https://doi.org/10.3390/w12082125>
- Bayraktarov E., Stewart-Sinclair P. J., Brisbane S. et al. (2019) Motivations, success, and cost of coral reef restoration. *Restoration Ecology* 27, 981–991. <https://doi.org/10.1111/rec.12977>.
- Boström-Einarsson L., Babcock R. C., Bayraktarov E. et al. (2020) Coral restoration – a systematic review of current methods, successes, failures and future directions. *PLoS One* 15, e0226631. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0226631>
- Chase, Z., A. Paytan, K. S. Johnson, J. Street, and Y. Chen (2006), Input and cycling of iron in the Gulf of Aqaba, Red Sea, *Global Biogeochem. Cycles*, 20, GB3017, doi:10.1029/2005GB00264.
- Comeau, S., Edmunds, P., Lantz, C. et al. Water flow modulates the response of coral reef communities to ocean acidification. *Sci Rep* 4, 6681 (2014). <https://doi.org/10.1038/srep06681>
- da Silva Fonseca, J.; Fukushima, L.M.; Bueno, J.V.L.; et al. (2025) Responses of Health- and Growth-Related Biomarkers in Corals Exposed to Iron. *Earth: Environmental Sustainability* 1(2), 366–382. <https://doi.org/10.53941/eesus.2025.100>.
- Fukushima, L. M., da Silva Fonseca, J., Vidal, T. J., Salvi, K. P., Lacerda, C. H. F., Costa, P. G., Mies, M., & Bianchini, A. (2025). Impact of iron exposure on Brazilian coral reefs: Acute vs. chronic stress responses. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 298(March), 118309. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2025.118309>
- Guan Y, Hohn S, Merico A (2015) Suitable Environmental Ranges for Potential Coral Reef Habitats in the Tropical Ocean. *PLOS ONE* 10(6): e0128831. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0128831>.
- International Finance Corporation (IFC) (2012). Performance Standard 1: Assessment and Management of Environmental and Social Risks and Impacts. Washington, DC: International Finance Corporation.
- International Finance Corporation (IFC) (2012). Performance Standard 6: Biodiversity Conservation and Sustainable Management of Living Natural Resources. Washington, DC: International Finance Corporation.
- Kelly, L. W., Barott, K. L., Dinsdale, E., Friedlander, A. M., Nosrat, B., Obura, D., Sala, E., Sandin, S. A., Smith, J. E., Vermeij, M. J., Williams, G. J., Willner, D., & Rohwer, F. (2012). Black reefs: iron-induced phase shifts on coral reefs. *The ISME journal*, 6(3), 638–649. <https://doi.org/10.1038/ismej.2011.114>
- Koch, E.W., Ackerman, J.D., Verduin, J., Keulen, M.v. (2007). Fluid Dynamics in Seagrass Ecology—from Molecules to Ecosystems. In: *SEAGRASSES: BIOLOGY, ECOLOGY AND CONSERVATION*. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-2983-7_8
- Kotb, M. M. A., Alouran, N. M., Awali, A. A., & Hararah, M. A. (2015). Coral Translocation: Mitigating Adverse Impact of Development Along the Aqaba Coastline, Jordan. *Biomedical and Pharmacology Journal*, 8(1).
- Kotb, M. M. A. (2016). Coral translocation and farming as mitigation and conservation measures for coastal development in the Red Sea: Aqaba case study, Jordan. *Environmental Earth Sciences*, 75, 439. <https://doi.org/10.1007/s12665-016-5304-3>

Lentz, S. J., K. A. Davis, J. H. Churchill, and T. M. DeCarlo, 2017: Coral Reef Drag Coefficients – Water Depth Dependence. *J. Phys. Oceanogr.*, 47, 1061–1075, <https://doi.org/10.1175/JPO-D-16-0248>.

Marine Science Station (2024) Environmental Appraisal of the Jordanian Coast of the Gulf of Aqaba, Red Sea for the Year 2024: Jordan's National Monitoring Program. Aqaba, Jordan: Marine Science Station, University of Jordan / Yarmouk University

المرفق 1: مراجعة قدرة المرجان على تحمّل فرط الملوحة

المرفق 2: نمذجة انتشار عمود الرجيع الملحي، وتحليل الحساسية، والمقارنة مع نمذجة ديناميكا الموائع الحسابية (CFD)

انظر مستند PDF المنفصل