



هيئة البيئة - أبوظبي
Environment Agency - ABU DHABI



an initiative of



مبادرة أبوظبي العالمية للبيانات البيئية
Abu Dhabi Global Environmental Data Initiative

التقييم المنهجي لآثار المناخ: محلي، إتحادي، وإقليمي

دراسة تمهيدية لارتفاع مستوى سطح البحر



أعدّ هذه الدراسة التمهيدية جوهان هينكل من منتدى المناخ العالمي وروبرت آرثر من الجامعة الأمريكية في رأس الخيمة وزي إدسون من معهد علوم المحيطات بجامعة ساو باولو وبيل دوجيرتي من المجموعة البحثية المعنية بتغير المناخ.

التقييم المنهجي لآثار المناخ: محلي، إتحادي، وإقليمي 2013-2016

الموارد المائية 2015 2016	المناطق الساحلية 2015 2016	البيئة 2015	تغير المناخ الإقليمي 2013 2014	النظم الإجماعي و الإقتصادي 2014 2015
موارد المياه بمدينة العين	مؤشر التأثيرات الساحلي	التنوع البيولوجي البري	نمذجة الغلاف الجوي	فوائد تقليل غازات الدفيئة على الصحة العامة
إدارة الموارد المائية	ارتفاع مستوى سطح البحر	التنوع البيولوجي البحري	نمذجة منطقة الخليج العربي	الأمن الغذائي
المياه الجوفية عبر الحدود				إمدادات المياه المحلاة

محلي-أبوظبي إتحادي- دولة الإمارات إقليمي-الخليج العربي
5 مجاللت أساسية 3 مستويات مكانية 12مشروع فرعية
12مشروع فرعية
تقييم التأثيرات وسرعة التأثر والتكيف مع تغير
المناخ في شبه الجزيرة العربية

تم إعداد هذا التقرير لعرض العمل الذي ترعاه مبادرة أبوظبي العالمية للبيانات البيئية. ولا تقدم مبادرة أبوظبي العالمية للبيانات البيئية أي ضمان، سواء كان صريحاً أو ضمنياً، أو تتحمل أي التزام قانوني أو مسؤولية فيما يتعلق بدقة المعلومات المنصوص عليها في هذا التقرير أو اكتمالها أو جدواها. ولا تعبر وجهات نظر المؤلفين أو آرائهم الواردة في هذا التقرير بالضرورة عن تلكم الآراء ووجهات النظر التي تتبناها هيئة البيئة أو مبادرة أبوظبي العالمية للبيانات البيئية.

كافة الصور المستخدمة في هذا الإصدار تظل مملوكة لحامل حقوق الملكية الأصلي، مبادرة أبوظبي العالمية للبيانات البيئية.

الناشر: مبادرة أبوظبي العالمية للبيانات البيئية 2016.

الاقْتباس المقترح: مبادرة أبوظبي العالمية للبيانات البيئية 2017.
دراسة تمهيدية لارتفاع مستوى سطح البحر. البرنامج المحلي والوطني والإقليمي في مجال التغير المناخي (LNRCCP).
المجموعة البحثية المعنية بتغير المناخ/منتدى المناخ العالمي/الجامعة الأمريكية في رأس الخيمة/معهد علوم المحيطات.

تعمل هيئة البيئة - أبوظبي مع مبادرة أبوظبي العالمية للبيانات البيئية (أجيدى) على الترويج لأفضل الممارسات العالمية في مجال البيئة، والتي يتم تطبيقها أيضاً في نشاطات الهيئة والمبادرة. تم طباعة هذا الإصدار على ورق قابل للتحلل الحيوي، إذ تهدف سياساتنا الخاصة بالتوزيع إلى تقليل بصمتنا البيئية.



قدّم كثير من الأشخاص الدعم والتوجيه والمساهمة القيّمة في مشروع المؤشر الوطني لقابلية تأثر السواحل (CVI). ويود المؤلفون أن يُعربوا عن بالغ عرفانهم وعميق امتنانهم فيما يتعلق بالمراجعة التي أجراها هؤلاء الأفراد بتقديم التعليقات و/أو التعقيبات و/أو البيانات تجاه العديد من المُسلمات ضمن عملية المشروع ويشمل ذلك:

السيد/ ديفيد روبنسون، دائرة الشؤون البلدية والنقل (DMAT)

الدكتور/ فهد الحمادي، وزارة التغير المناخي والبيئة (MOCCA)

الدكتور/ فريدريك لونييه، هيئة البيئة – أبوظبي (EAD)

الدكتور/ جون بيرت، جامعة نيويورك أبوظبي (NYUAD)

السيدة/ ماريا كورديرو، هيئة البيئة – أبوظبي (EAD)

السيدة/ ناوكو كوبو، وزارة التغير المناخي والبيئة (MOCCA)

السيد/ بيتر براين فيبينجير، هيئة البيئة – أبوظبي (EAD)

الدكتور/ ريتشارد بييري، هيئة البيئة – أبوظبي (EAD)

الدكتور/ سيمون بيرسون، هيئة البيئة – أبوظبي (EAD)

كما نعرب أيضاً عن امتناننا الجزيل لما قدمه فريق هيئة البيئة – أبوظبي وفريق جمعية الإمارات للحياة الفطرية – الصندوق العالمي لصون الطبيعة من مساهمة ووقت وجهد من خلال مشاركتهم في العديد من الاجتماعات والحوارات.



في أكتوبر 2013، أطلقت مبادرة أبوظبي العالمية للبيانات البيئية (AGED) البرنامج المحلي والوطني والإقليمي في مجال التغير المناخي (LNRCCP) من أجل بناء وتوسيع وتعميق الاستيعاب بشأن قابلية التعرض للآثار الناجمة عن تغير المناخ وكذلك تحديد الاستجابات التكيفية العملية على الصعيد المحلي (أبوظبي) والوطني (دولة الإمارات العربية المتحدة) والإقليمي (شبه الجزيرة العربية). وكان تصميم البرنامج موجهاً بواسطة الشركاء، حيث تضمنت جهات نظر ما يزيد عن 100 من الشركاء المحليين والوطنيين والإقليميين في صياغة 12 مشروعاً فرعياً بحثياً عبر 5 موضوعات استراتيجية. يهدف المشروع الفرعي "الدراسة التمهيدية لارتفاع مستوى سطح البحر" ضمن هذا البرنامج إلى تحديد ومناقشة قضايا وتحديات السياسة الرئيسية المرتبطة بالتكيف مع ارتفاع مستويات سطح البحر نتيجة التغير المناخي.

يتمثل الغرض من الدراسة التمهيدية في عرض مناقشة شاملة لما تم التوصل إليه في سياق تنفيذ الأنشطة البحثية التي تنطوي عليها الدراسة. وباختصار، يرمي هذا التقرير إلى تزويد القارئ بنظرة عامة على المخاطر المرتبطة بارتفاع مستوى سطح البحر الناتج عن التغير المناخي، مدعوماً بمناقشة للطرق والأطر المتاحة لمساعدة مخططي السواحل في تقييم سبل الاستجابة المناسبة فيما يتعلق بالتكيف لمواجهة عدم التيقن.

¹ لمزيد من المعلومات حول البرنامج المحلي والوطني والإقليمي في مجال التغير المناخي، يُرجى التواصل مع جين جلافان (lnrclimatechange@ead.ae).

35	4.2.3	عجمان
36	5.2.3	أم القيوين
37	6.2.3	رأس الخيمة
38	7.2.3	الفجيرة
39	4.	الإطار الخاص بعملية صناعة القرار
39	1.4	تدابير التكيف في المناطق الساحلية
40	1.1.4	تدابير الحماية
42	2.1.4	تدابير التكيف
44	3.1.4	تدابير التراجع
45	2.4	أطر التكيف
46	1.2.4	طار المخاطر وعدم التيقن وصناعة القرار الخاص ببرنامج UKCIP
47	2.2.4	أداة دعم التكيف الخاصة بالمنصة الأوروبية للتكيف مع المناخ
48	3.2.4	إطار حوكمة المخاطر الخاص بمجلس IRGC
49	3.4	نُهج إدارة المخاطر
50	1.3.4	نواع القرارات الساحلية
51	2.3.4	أطر صناعة القرار
52	3.3.4	اختيار إطار مناسب لصناعة القرار
54	4.3.4	اختيار السيناريوهات المناسبة الخاصة بارتفاع مستوى سطح البحر
55	5.	الخطوات التالية
57	6.	قائمة المراجع
70	7.	About

5	نبذة عن هذه الدراسة التمهيدية لارتفاع مستوى سطح البحر
8	جدول المحتويات
8	قائمة الأشكال التوضيحية
8	قائمة الجداول
8	قائمة الأطر
10	مسرد المصطلحات المُختار
11	1. مقدمة
13	2. فهم ارتفاع مستوى سطح البحر
13	1.2. الارتفاع الحالي في مستوى سطح البحر
15	1.1.2. التأثيرات الحرارية
16	2.1.2. تأثيرات الانحسار الجليدي
18	3.1.2. تأثيرات الجاذبية
19	4.1.2. التأثيرات الأخرى
20	5.1.2. ملخص
20	2.2. ارتفاع مستوى سطح البحر في المستقبل
21	1.2.2. التقدم المُحرز والقيود الرئيسية للنمذجة السابقة لارتفاع مستوى سطح البحر
23	2.2.2. التحديات الرئيسية للنمذجة
24	3.2.2. التقدم المُحرز في النماذج المقترنة للجليد-المحيط-الغلاف الجوي
26	3. ارتفاع مستوى سطح البحر والمناطق الساحلية
26	1.3. سياق البيئة الساحلية الإقليمية
30	2.3. سياق البيئة الساحلية الوطنية لدولة الإمارات العربية المتحدة
32	1.2.3. أبوظبي
33	2.2.3. دبي
34	3.2.3. الشارقة



المناخ والنظم البيئية بالقارة القطبية الجنوبية	ACE
مبادرة أبوظبي العالمية للبيانات البيئية	AGEDI
تقرير التقييم	AR
تحليل التكلفة والمنفعة	CBA
المجموعة البحثية المعنية بتغير المناخ	CCRG
تحليل فعالية التكلفة	CEA
نموذج النظام الأرضي المجتمعي	CESM
نموذج الصفائح الجليدية المجتمعي	CISM
مشروع المقارنة البيئية للنماذج المُقترنة	CMIP
مستوى سطح البحر الديناميكي	DSL
هيئة البيئة – أبوظبي	EAD
الوكالة الأوروبية للبيئة	EEA
الاتحاد الأوروبي	EU
مجلس التعاون الخليجي	GCC
نموذج الدوران العام	GCM
التمدد الحراري العالمي	GTE
المجلس الدولي لحوكمة المخاطر	IRGC
الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ	IPCC
كيلومتر	Km
البرنامج المحلي والوطني والإقليمي في مجال التغير المناخي	LNRCCP
مليمتر	mm
مسار التركيز التمثيلي	RCP
مشروع المقارنة البيئية لنماذج البحر-الجليد	SIMIP
ارتفاع مستوى سطح البحر	SLR
الإمارات العربية المتحدة	UAE
برنامج المملكة المتحدة بشأن تأثيرات المناخ	UKCIP
حركة الأرض العمودية	VLM

قائمة الأشكال التوضيحية

الشكل 2-1: الأسباب وراء تغير مستوى سطح البحر (IPCC، 2007) [الشروح الحمراء خاصتنا]	14
الشكل 2-2: ارتفاع مستوى سطح البحر بسبب التمدد الحراري العالمي (الأعلى: المحيط الهندي؛ الأسفل: المحيطات العالمية) للفترة 1955-2010. خط الاتجاه الخطي والتباين المئوي موضح باللون الأحمر (مقتبس من ليفيتس وآخرون 2012)	15
الشكل 2-3: توضيح تأثير الجاذبية الذاتية (مُقتبس من كيرشن وويك 2014)	18
الشكل 2-4: نطاق توقعات IPCC العالمية لارتفاع متوسط مستوى سطح البحر في عام 2100 في ضوء السيناريوهات مرتفعة الانبعاثات (جيفيرجيفا وآخرون 2014)	21
الشكل 3-1: إعصار جونو المداري يضرب ساحل عمان. (المصدر: مرصد الأرض التابع لوكالة NASA)	28
الشكل 3-2: مجالات سرعة تدفق الثلج المرصودة والمُتمذجة في الأنهار الجليدية في جرينلاند (برابيس وآخرون 2011)	29
الشكل 3-3: منطقة رياح شمالية غربية أقوى من العادية (رياح الشمال) وأمواج عالية ناجمة عن الرياح (فينسيل وكلين 2009)	30
الشكل 3-4: خريطة المناطق الساحلية الإماراتية الواقعة على	30
الشكل 4-1: تدابير التكيف الممكنة لمعالجة ارتفاع مستوى سطح البحر. المصدر: (براون وآخرون، 2013)	39
الشكل 4-2: أمثلة على تدابير حماية الخطوط الساحلية	40
الشكل 4-3: عملية حوكمة المخاطر. المصدر: IRGC (2005)	46
الشكل 4-4: الخطوات الثمانية لإطار التكيف الخاص ببرنامج UKCIP (المصدر: ويلوس وكونيل 2003)	48
الشكل 4-5: نوع مختلف من قرارات التكيف الساحلية من حيث الإحجام عن المخاطر وأفق القرار	50
الشكل 4-6: إمكانية تطبيق إطار صناعة القرار من حيث خاصيتي قرارات التكيف	52

قائمة الجداول

الشكل 2-1: الإسهامات في ارتفاع المتوسط العالمي لمستوى سطح البحر خلال الفترة 1993-2010 (مُقتبس من تشيرش وآخرون 2013؛ الجدول 13.1).	19
---	----

قائمة الأطر

الإطار 2-1: ديناميات الانحسار الجليدي (مقتبس من المركز القومي لبيانات الثلوج والجليد)	16
الإطار 4-1: مشروع مصب نهر التاييمز 2100	55



كما هو الحال مع جميع الدول الأخرى التي تمتلك خطوطاً ساحلية واسعة النطاق، تواجه الإمارات العربية المتحدة ضرورة الاستعداد لارتفاع مستوى سطح البحر.

تُمثل مهمة التخطيط لارتفاع مستوى سطح البحر تحدياً على عدة مستويات. فهي مُعقدة علمياً، من ناحية، حيث أن نماذج الدوران العام الحالية غير قادرة على دمج التفاعلات بين الجليد والهواء والمحيط في ظل تزايد تركيزات غازات الدفيئة في الغلاف الجوي. ومن ناحية أخرى، يُعتبر حجم وتوقيت الآثار غير مؤكد. ومن ثم، فإن المواقف المختلفة للتصدي للمخاطر الناجمة عن ارتفاع مستوى سطح البحر ستكون ملائمة لمختلف المناطق في الإمارات العربية المتحدة.

مع ارتفاع مستويات سطح البحر، سيواجه المخططون وصناع القرار في الإمارات العربية المتحدة تحديات جديدة.

فارتفاع مستوى سطح البحر يعني أن المد والجزر والأمواج والعواصف من الممكن أن تصل إلى الأجزاء الداخلية أكثر من ذي قبل، مما يؤدي إلى حدوث الفيضانات والتآكل وتراجع الخطوط الساحلية وتدهور جودة المياه الجوفية (داسجوبتا وآخرون 2007؛ كيرشن وويك 2014). وتعتمد قابلية تأثر المناطق الساحلية بارتفاع مستويات سطح البحر على عدة عوامل تشمل ارتفاع الخط الساحلي وتضاريس الأرض وقاع البحر ووجود الحواجز الطبيعية وغيرها من الخصائص المحلية. كما تلعب الآثار الأخرى الخاصة بالتغير المناخي، مثل تغير أنماط الرياح وهطول الأمطار، دوراً هاماً، مثل تزامن غزارة الأمطار مع عرامة العاصفة، مما يؤدي إلى تضخيم الآثار الناجمة عن ارتفاع مستويات سطح البحر.



© Edwin Grandcourt

إزالة الثلج والجليد من كتلة الجليد من خلال الجريان السطحي للمياه المُذابة أو التسامي أو التعرية بفعل الرياح أو الفصال الجليدي (التجزئة والفصل الميكانيكي).

زيادة كتلة الجليد من خلال النمو القاعدي في حالة الجليد العائم أو ضغط الثلج في الجليد أو تجميد المياه التي تتجمع داخل الجليد أو تتبلور في الثلوج نتيجة المطر أو المياه الذائبة أو فيضان مياه البحار/البحيرات الأنهار.

إضافة الثلوج والجليد إلى كتلة الجليد من خلال تساقط الثلوج وترسب الصقيع وهطول الأمطار التي تتجمد على/في كتلة الجليد وإعادة تجميد المياه الذائبة وترسب الثلوج التي تذروها الرياح والانهيال الثلجي.

يُعتبر المصطلح "Cryosphere" مشتق من الكلمة الإغريقية "krios" وتعني البرودة. وهو يشير إلى الجزء المائي المتجمد من النظام الأرضي. ويعد الجليد الموجود على ظهر الأرض أحد جزأي الغلاف الجليدي، بما في ذلك صفائح الجليد القارية الموجودة في جرينلاند والقارة القطبية الجنوبية وكذلك القمم الجليدية والأنهار الجليدية ومناطق الثلوج والجليد الدائم. بينما يكمن الجزء الآخر من الغلاف الجليدي في الجليد الموجود في المياه بما في ذلك الأجزاء المتجمدة من المحيط، كالمياه المحيطة بالقارة القطبية الجنوبية والمنطقة القطبية الشمالية.

أي مزيج من الإضافات أو التغييرات أو التعديلات الإنشائية أو غير الإنشائية التي يتم إجراؤها على أحد المباني بغرض تقليل أو منع إضرار الفيضانات بهيكل المبنى و/أو محتوياته.

كتلة جليدية أرضية دائمة تُمثل دليلاً على الحركة/التشوه بفعل الجاذبية.

المنطقة الانتقالية بين الجليد الثابت والجليد العائم.

كتلة ضخمة (أي قارية النطاق) من نهر جليدي تسيطر على تضاريس القاعدة الصخرية المحلية، حيث يتحكم تكوين الغطاء الجليدي نفسه في اتجاه تدفق الجليد.

نهر جليدي تدفق إلى أحد المحيطات أو البحيرات ولا يزال يتدفق، غير مدعوم بالقاعدة.

صفحة من نهر جليدي في بيئة ذات جبال عالية لا يكون الجليد فيها سميكاً بما يكفي للسيطرة على تضاريس القاعدة الصخرية المحلية، ولكنه يغطيها ويلتف حولها؛ وتعمل التضاريس القاعدية على تحديد اتجاهات تدفق النهر الجليدي بالحقل الجليدي.

جليد عائم مكوّن من مياه البحار المتجمدة.

هطول البلورات الجليدية الذي يتراكم على السطح.

الجليد الموجود على التربة الصقيعية.

التذرية

تنامي الجليد

تراكم الجليد

الغلاف الجليدي

"Cryosphere"

مقاوم للفيضانات

النهر الجليدي

خط الأساس الجليدي

الصفحة الجليدية

الجرف الجليدي

الحقل الجليدي

الجليد البحري

الثلج

الجليد الدائم

2. فهم ارتفاع مستوى سطح البحر

جميع الملاحظات الخاصة بمستوى سطح البحر، يتبين أن البحار لا ترتفع فقط، ولكنها تسرع في الارتفاع (IPCC، 2007؛ ACE CRC، 2009).



على مدى آلاف السنين، دار مناخ الأرض بين عصور جليدية وفترات بين جليدية حارة (تشيرش وآخرون 2013؛ كازناف وآخرون 2014؛ تشيرش وآخرون 2010).

على الرغم من أن مناخ الأرض كان مستقرًا نسبيًا على مدار الألفيات المتعددة الماضية، إلا أنه يشهد الآن تغييرًا سريعاً. فزيادة تركيزات ثاني أكسيد الكربون وغيره من غازات الدفيئة في الغلاف الجوي تتسبب الآن في الاحتباس الحراري وهناك أدلة قوية على أن المناخ قد بدأ الاستجابة لتلك التركيزات. ويُعتبر ارتفاع مستوى سطح البحر أحد التبعات الرئيسية والمؤكدة الناجمة عن التغيير المناخي. ويقدم هذا القسم من الدراسة التمهيدية نظرة عامة حول الفهم الحالي للآليات المختلفة التي تسهم في ارتفاع مستوى سطح البحر في ظل التغيير المناخي، إلى جانب تقييم لقدرة مجموعة النماذج الحالية على استيعاب تلك الآليات على نحو سليم بدرجة كافية للثقة في التوقعات الخاصة بارتفاع مستوى سطح البحر في المستقبل. وتصف الأقسام الفرعية التالية أهم العوامل التي يجب أن تكون الإمارات العربية المتحدة على دراية بها فيما يخص ارتفاع مستوى سطح البحر نتيجة تغيير المناخ.

2.1. الارتفاع الحالي في مستوى سطح البحر

تعمل زيادة تركيزات ثاني أكسيد الكربون وغيره من غازات الدفيئة في الغلاف الجوي على احتباس الحرارة وقد بدأ المناخ في الاستجابة لتلك التركيزات.

وتشمل التبعات الرئيسية والمؤكدة لذلك ارتفاع مستوى سطح البحر، وهي عملية بدأت تحدث بالفعل. قبل التسعينيات من القرن الماضي، كان مستوى سطح البحر يُقاس في الأساس بمقاييس مَدّ وجزر مثبتة على مبانٍ ساحلية تركز على الأرض الصلبة، وقد أظهرت تلك المقاييس في القرنين الماضيين ارتفاعاً لا يتجاوز حوالي 1 ملليمتر سنوياً. وبدءاً من تسعينيات القرن الماضي، وفرت الأقمار الصناعية تغطيةً بثبة عالمية لقياس ارتفاعات المحيط. ومنذ ذلك الحين، أشارت كل من الأقمار الصناعية ومقاييس المد والجزر إلى وجود ارتفاع في مستوى سطح البحر يبلغ حوالي 3.2 ملليمتر سنوياً (تشيرش وآخرون 2013). وباعتبار

نظرة عامة على منطقة الخليج العربي بوجه عام – والإمارات العربية المتحدة بوجه خاص – فيما يتعلق بالبنية التحتية المعرضة للخطر جراء الارتفاع في مستوى سطح البحر على طول الخليج العربي وخليج عمان. ويهدف هذا القسم في المقام الأول إلى تحديد السمات الخاصة بأنواع البنى التحتية (مثل الطاقة والنقل والبنى التحتية الأخرى) التي ستكون معرضة لارتفاع مستوى سطح البحر وفي المقام الثاني إلى تحديد السمات الخاصة بالموائل الطبيعية المعرضة للخطر (مثل أشجار القرم والمحميات). وأخيراً، يُركز القسم 4 على مجموعة أدوات لصناع القرار، مع تخصيص جزء لاستعراض إطار التكيف الأساسي على النحو المُستخدم في العديد من البيئات الإقليمية ويتضمن الجزء المتبقي مناقشة حول نهج إدارة المخاطر المتاحة للتخطيط في السياق الإماراتي.



تهدف هذه الدراسة التمهيدية لارتفاع مستوى سطح البحر إلى دعم صناعة القرار فيما يتعلق بارتفاع مستوى سطح البحر.

ترمي هذه الدراسة التمهيدية إلى أن تكون أداة وصل مفيدة بين ارتفاع مستوى سطح البحر، ذلك الموضوع الفني متعدد الأوجه بدرجة كبيرة، وصناع القرار والشركاء الآخرين في الإمارات العربية المتحدة ومنطقة الخليج العربي ممن يهتمون بتنمية السواحل وحمايتها. وتتركز الدراسة على ثلاثة (3) جوانب رئيسية:

- زيادة الفهم العلمي لمعنى ارتفاع مستوى سطح البحر وكيفية التنبؤ به وحالة الجهود البحثية العالمية الرامية إلى تحسين نماذج الدوران العام لكي تعكس ديناميات الغلاف الجوي والمحيط والجليد؛
- تحديد كيف سيؤثر ارتفاع مستوى سطح البحر على البنية التحتية المعرضة للخطر في شبه الجزيرة العربية بوجه عام والإمارات العربية المتحدة بوجه خاص، على أساس كل إمارة على حدة؛ و
- وضع مجموعة من أدوات وخيارات التخطيط (أي مجموعة أدوات التخطيط) لمساعدة المخططين في الجهود المبذولة لدمج اعتبارات ارتفاع مستوى سطح البحر في الخطط البحرية.

باختصار، يمكن اعتبار هذه الدراسة التمهيدية مجموعة أدوات عمل لمواجهة ارتفاع مستوى سطح البحر.

من الضروري أيضاً الإشارة إلى العناصر التي لا تشملها هذه الدراسة التمهيدية – فهي لم تتنبأ بزيادة مستوى سطح البحر في الخليج العربي كما لم تشمل أي تحليل لحجم الأثر المترتبة على سيناريوهات ارتفاع مستوى سطح البحر بالنسبة للمناطق الساحلية في الإمارات العربية المتحدة.

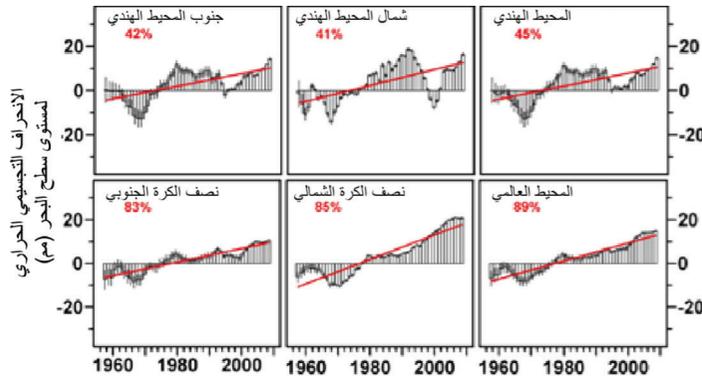
ينقسم الجزء المتبقي من هذه الدراسة التمهيدية إلى ثلاثة أجزاء.

يُقدم القسم التالي خلفية علمية حول ارتفاع مستوى سطح البحر، بما في ذلك استعراضاً لأسباب الارتفاع الحالي في مستوى سطح البحر ونظرة عامة على الوضع والتحديات المتعلقة بالجهود الدولية لنمذجة ارتفاع مستوى سطح البحر. ويقدم القسم 3



تحليل مُفصل لبيانات درجة حرارة المحيط السابقة من 1955 حتى 2010 باستخدام بيانات مقياس المد والجزر وبيانات الأقمار الصناعية وتوصلوا إلى أن التمدد الحراري للمحيط قد أدى إلى وصول متوسط مُعدل ارتفاع مستوى سطح البحر إلى حوالي 0.04+0.41 مليمتر سنوياً للطبقة العليا البالغة 700 متر بمحيطات العالم. وهذا يمثل زيادة بمقدار 25% تقريباً عن التقديرات السابقة التي أجراها أنتونوف وآخرون (2005) ويعكس استخدام البيانات الإضافية المتوفرة من الأقمار الصناعية. وكما هو موضح في الشكل 2-2، تُشير مقارنة الاتجاهات في المحيط الهندي ومحيطات العالم إلى أن هناك تنوع مكاني كبير في المعدل العالمي لارتفاع مستوى سطح البحر، فضلاً عن حالة عدم اليقين المرتبطة بالمعدل التقديري لارتفاع مستوى سطح البحر. وتشير التقديرات في الوقت الحالي إلى أن ما بين ثلث ونصف ارتفاع مستويات سطح البحر في القرن الماضي يمكن أن يكون مرتبطاً ببساطة بشغل المحيطات الأكثر احتراراً لحيز أكبر (جريفيس وجريتباتش 2012؛ ليفيتس وآخرون 2012؛ ين 2012).

الشكل 2-2 : ارتفاع مستوى سطح البحر بسبب التمدد الحراري العالمي (الأعلى: المحيط الهندي: الأسفل: المحيطات العالمية) للفترة 1955-2010. خط الاتجاه الخطي والتباين المئوي موضح باللون الأحمر (مقتبس من ليفيتس وآخرون 2012)



2.1.1. التأثيرات الحرارية

تؤثر التأثيرات الحرارية على مستويات سطح البحر حيث تتمدد المياه مع تزايد درجات الحرارة (تشيرش وآخرون 2013؛ IPCC، 2007؛ ين 2012؛ أنتونوف وآخرون 2005؛ لومبارد وآخرون 2005).

ببساطة، مع ارتفاع درجات الحرارة الجوية نظراً لزيادة تركيزات غازات الدفيئة، تعمل المحيطات كوعاء للحرارة تمتص تلك الحرارة الزائدة وتعمل على موازنة ارتفاع مستوى سطح البحر للحفاظ على التوازن بين الغلاف الجوي والمحيط. وبعبارة أخرى، كلما ارتفعت درجة حرارة المحيط، تمدد المحيط وشغل حيزاً أكبر.

هناك فارق زمني بين التغيير في درجات حرارة سطح البحر وارتفاع مستوى سطح البحر.

أي أن السعة الحرارية للمحيط كبيرة جداً لدرجة أنه سيكون هناك تأخير قبل الوصول إلى التوازن الحراري ومن ثم قبل ظهور تأثيرات الاحتباس الكاملة على مستويات سطح البحر (بو 2004؛ IPCC، 2007؛ تشيرش وآخرون 2013؛ حسن زاده وآخرون 2007). وسيستمر ارتفاع درجات الحرارة في الغلاف الجوي سبباً في ارتفاع مستويات البحر حتى بعد التوصل إلى أي مُخطط عالمي لاستقرار انبعاثات غازات الدفيئة ودرجات الحرارة اللاحقة. ونظراً لأن المحيط يقوم بتخزين كمية كبيرة من حرارة المناخ السابق، فستكون استجابته للاحتباس الحراري غير خطية عموماً (دي فريس وآخرون 2014). وتمثل هذه الظاهرة، التي يُطلق عليها "التمدد الحراري العالمي (GTE)" مشكلة نظرية مُعقدة من منظور النمذجة ومسألة بحثية مستمرة تحاول معالجة تأثيرات الكثافة المتنوعة داخل المحيط (جريفيس وأدكروفت 2008؛ جريفيس وجريتباتش 2012).

هناك تقديرات حالية جيدة لحجم ارتفاع مستوى سطح البحر الذي يمكن نسبته إلى التمدد الحراري العالمي.

قدم ليفيتس وآخرون (2012) تحديثاً للتقديرات السابقة التي أجراها أنتونوف وآخرون (2005) فيما يتعلق بالتغيير في مستوى سطح البحر بسبب التمدد الحراري العالمي. فقد قاموا بإجراء



تأثيرات الانحسار الجليدي: تنتقل المياه بين المحيط والأنهار/الصفائح الجليدية، فيما يُعرف باسم التدرية

تأثيرات الجاذبية: تنتج التحولات في مجال جاذبية الأرض عن التغييرات في توزيع الكتلة على الأرض (تأثير الجاذبية الذاتية أو التأثير الثابت) وديناميات المحيط والغلاف الجوي (تأثير الديناميات).

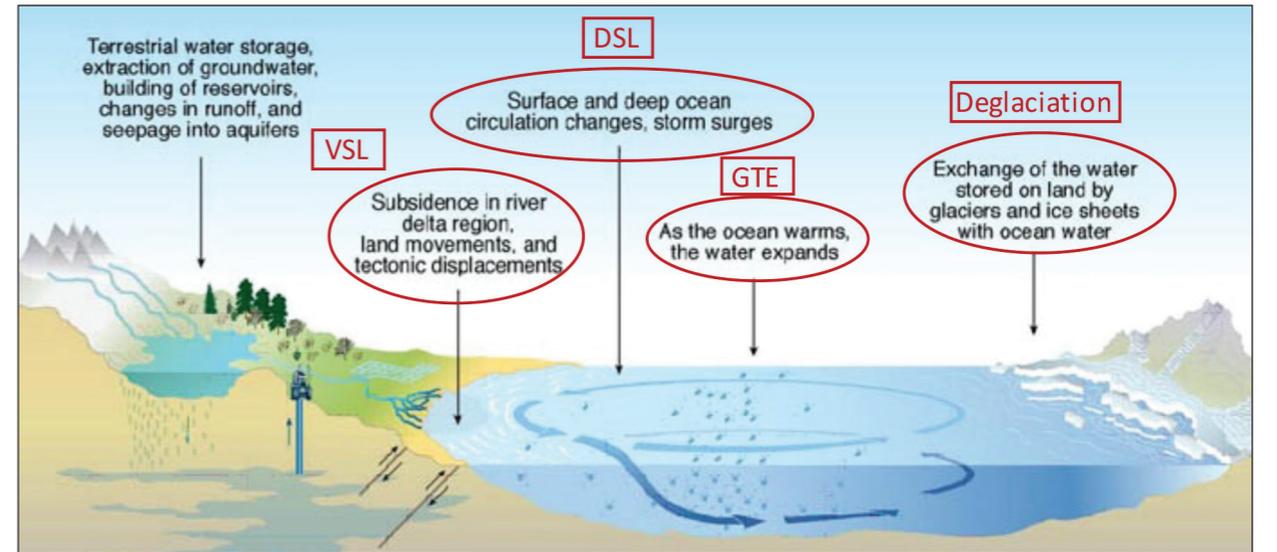
التأثيرات الأخرى: تشمل تأثيرات حركة الأرض العمودية التي ترتبط بالتعديل الجليدي المتوازن أو النشاط التكتوني أو تعدين المياه الجوفية أو استخراج المواد الهيدروكربونية؛ فضلاً عن تخزين المياه الأرضية.

يُعتبر فهم الأسباب الأساسية لارتفاع مستوى سطح البحر الذي لوحظ في العقود الماضية بدايةً مهمة.

ثمة مجموعة كبيرة متنوعة من العمليات التي تتسبب في تغيير مستوى سطح البحر في نطاقات زمنية تتراوح من ساعات إلى ألفيات، ونطاقات مكانية تتراوح من مناطق إقليمية إلى عالمية (تشيرش وآخرون 2013؛ كيرشن وويك 2014). وقد تم تحديد هذه العمليات في النقاط الواردة أدناه وتوضيحها في الشكل 2-1 ومناقشتها في الأقسام الفرعية التالية.

التأثيرات الحرارية: ارتفاع درجة حرارة المحيطات أو انخفاضها (لأن كثافة المياه ترتبط ارتباطاً وثيقاً بدرجة حرارتها).

الشكل 2 - 1: الأسباب وراء تغيير مستوى سطح البحر (IPCC، 2007) [الشروح الحمراء خاصتنا]





الجليدية الأخرى (أي بما لا يشمل الصفيحتين الجليديتين بجرينلاندي والقارة القطبية الجنوبية) مسؤولاً عن حوالي 30% من الارتفاع الملحوظ في مستوى سطح البحر، وأضحت الصفيحتين الجليديتين بجرينلاندي والقارة القطبية الجنوبية مسؤولتان عن حوالي 10% لكل منهما (تشيرش وآخرون 2013). ولهذه الأسباب، يُعتبر التغير المناخي الإقليمي الذي يحدث الآن في غرب القارة القطبية الجنوبية مصدر قلق مُلح بالنسبة لارتفاع مستوى سطح البحر. فقد يعمل الانهيار الانهياي بغرب القارة القطبية الجنوبية على تغيير خطوط الساحل، مما يؤثر على البنية التحتية وسبل العيش في المناطق ذات الكثافة السكانية العالية في جميع أنحاء العالم. وقد يُهدد الفيضان أيضاً النظم البيئية الهشة مثل أشجار القرم والشعاب المرجانية ومروج الأعشاب البحرية والمستنقعات المالحة - وجميعها توفر سبل العيش للعديد من المجتمعات الساحلية (بارنس وكايزر 2009؛ بيلشير 2009).



© Edwin Grandcourt

يمكن أن تكون عمليات الانحسار الجليدي غير متوقعة أيضاً، كما أظهرت الأبحاث الأخيرة في ديناميات الصحائف الجليدية (ستريليكي وآخرون 2015؛ روبل وتسيبرمان 2016)

على سبيل المثال، عندما ينمو الجرف الجليدي في المساحة والسّمك، فمن الممكن أن يدعم الغطاء الجليدي الداخلي، مما يؤدي إلى تدفقه للخارج. وإذا حدث ذلك، فمن الممكن أن يستقر خط الأساس الجليدي³ أو يتقدم، مما يعمل بدورة على إبطاء ارتفاع مستوى سطح البحر. وعلى الجانب الآخر، إذا انحسر خط الأساس الجليدي، تاركاً الغطاء الجليدي الداخلي عائماً بشكل زائد، قد يبدأ الجرف الجليدي في الانهيار الجارف. وكلما انخفضت مساحة السطح الثابت من النهر الجليدي المُتدفق للخارج، انخفض كذلك الاحتكاك مع القاعدة الصخرية، مما يسمح للجرف بالتدفق بصورة أكثر سهولة. وقد تقصّر أيضاً عندما يبدأ الجبل الجليدي في الفصل للخارج، مما يُحتمل أن يؤدي إلى التفكك الكامل للجرف الجليدي. وهذا يسمح بتسريع تدفق الغطاء الجليدي الداخلي إلى داخل المحيط - ويعمل على تسريع ارتفاع مستوى سطح البحر. وفي الواقع، عندما انهيار الجرف الجليدي لارسن بي بالقارة القطبية الجنوبية في أوائل فترة الألفينات، زادت سرعة تدفق الغطاء الجليدي الداخلي حوالي عشرة أضعاف (ليندساي 2002). وقد تم توثيق الانحسار السريع لخطوط الأساس الجليدية لأنهار باين أيلاند وثويتس وهابنز وسميث وكوهلر بغرب القارة القطبية الجنوبية منذ أوائل التسعينيات من القرن الماضي، حيث يشير ذلك التراجع إلى الترقق السريع وعدم استقرار الصفائح الجليدية البحرية التي ستسهم بشكل كبير في ارتفاع مستوى سطح البحر في العقود القادمة (ريجنوت وآخرون 2014).

تُعتبر الإسهامات من الصفيحتين الجليديتين بجرينلاندي والقارة القطبية الجنوبية هي أكثر ما يثير القلق نظراً لكميات المياه العذبة المخزنة الكبيرة للغاية.

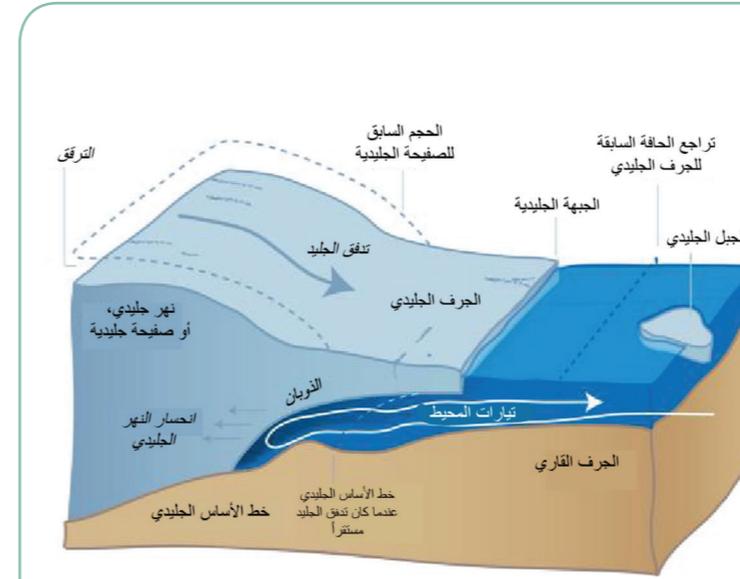
تُشكل هاتان الصفيحتان مجتمعتين ما يُعادل ٦٤ متر تقريباً من ارتفاع مستوى سطح البحر؛ ٥٨ متراً للصفحة الجليدية بالقارة القطبية الجنوبية و ٤ أمتار للصفحة الجليدية بجرينلاندي (بامبر وآخرون 2001، NSIDC، 2014). ومنذ 1992، أضحت ذوبان الأنهار

³ "خط الأساس الجليدي" هو النقطة التي عندها تأخذ الأنهار الجليدية في الطفو (انظر الإطار 1).



يؤدي ذوبان وفصال الجليد الموجود على اليابسة إلى نقل المياه والجليد من اليابسة إلى المحيطات.

ويعتبر هذا النقل للمياه إلى المحيطات مساهماً رئيسياً في المتوسط العالمي لارتفاع مستوى سطح البحر وقد تجاوز مساهمة التمدد الحراري على مدار العقد الماضيين (NRC، 2012؛ تشيرش وآخرون 2013). وتعتبر عملية الذوبان والفصال مُعقدة، ويرد وصفها بشكل موجز في الإطار 2-1. وقد حصل إدراك العامة لملاحظات فقدان السريع للكتلة بالتغير الديناميكي في الصفائح الجليدية من خلال سلسلة مختلفة من الأحداث المخيفة للفصل الجليدي التي تم نشرها في الصحف (انظر على سبيل المثال <http://www.businessinsider.com/largest-ice-glacier-filmed-calving-2015-1>).



2.1.2. تأثيرات الانحسار الجليدي

ترتفع أيضاً مستويات سطح البحر بسبب عملية تُعرف باسم الانحسار الجليدي (تشيرش وكلارك 2013).

تشير هذه العملية إلى عدد كبير من عمليات الذوبان والفصال² (تشيرش وكلارك 2013 ب) ويمكن ربطها تقريباً بعمليات ذوبان الجليد المتعلقة بالأنهار الجليدية والجرف الجليدي بالقارة القطبية الجنوبية والصفائح الجليدية بجرينلاندي. فكلما ارتفعت درجات الحرارة، انحسرت الأنهار الجليدية إلا إذا زاد هطول الثلوج للتعويض عن الذوبان الإضافي. وقد تم التعويل على التراجع في الجليد البحري بالمنطقة القطبية الشمالية على مدار العقود العديدة الماضية، سواءً من حيث الحجم أو السّمك، باعتباره دليلاً على سرعة التغير المناخي (تشيرش وكلارك 2013؛ تشيرش وكلارك 2013 ب).

الإطار 2 - 1: ديناميات الانحسار الجليدي (مقتبس من المركز القومي لبيانات الثلوج والجليد)

ترتكز الصفيحة الجليدية البحرية على قاعدة صخرية، تحت سطح البحر. وتنمو الصفيحة الجليدية من خلال تلقي مزيد من الثلوج المتساقطة على سطحها بصورة أكبر مما تفقده عن طريق الذوبان والتدفق الخارجي. وعندما تنمو بكميات كبيرة، تبدأ الجاذبية في سحبها إلى المنحدر ومن ثم إلى داخل المحيط. وفي النهاية تُشكل الحافة الرئيسية جرفاً جليدياً مرتكزاً على طرف واحد يطفو على الماء ولكنه يظل موصولاً بالجزء المُثبت من الصفيحة الجليدية (حنا وآخرون ٢٠١٣؛ هولاند وهولاند ٢٠١٥). ويُطلق على التحول من صفيحة جليدية مُثبتة إلى جرف جليدي عائِم "خط الأساس الجليدي" (انظر الشكل أدناه). ويسهم الغطاء الجليدي الداخلي والمياه المُذابة التي تتدفق في اتجاه البحر من خط الأساس الجليدي على الصفيحة الجليدية إسهاماً مباشراً في ارتفاع مستوى سطح البحر. ولا يسهم الجليد الذي يذوب أو ينفصل من الجرف الجليدي إسهاماً فعالاً في ارتفاع مستوى سطح البحر لأن الجليد عائِم بالفعل.

² يشير "الفصال" إلى التحرير والانفصال المفاجئ لكتلة جليدية عن النهر الجليدي أو الجبل الجليدي أو الجبهة الجليدية أو الجرف الجليدي.



الجدول 1-2: الإسهامات في ارتفاع المتوسط العالمي لمستوى سطح البحر خلال الفترة 1993-2010 (مقتبس من تشيرش وأخرون 2013؛ الجدول 13.1).

العامل المساهم في ارتفاع مستوى سطح البحر	ارتفاع مستوى سطح البحر (مليمتر/السنة)	الحصة (%)
التأثيرات الحرارية	1.1	34%
تأثيرات الانحسار الجليدي (القارة القطبية الجنوبية، جرينلاند)	0.6	19%
تأثيرات الانحسار الجليدي (الأنهار الجليدية الأخرى)	0.9	27%
تأثير الجاذبية والتأثيرات الأخرى	0.6	12%
"غير موضح"	0.3	8%
الارتفاع الملحوظ في المتوسط العالمي لمستوى سطح البحر	3.2	100%

مستوى سطح البحر. وعلى الجانب الآخر، تعمل زيادة تخزين المياه في الخزانات والبحيرات الاصطناعية على تقليل تدفق المياه إلى البحر. وبينما ساعد بناء السدود خلال القرن العشرين في زيادة المخزون الأرضي من المياه بشكل كبير، إلا أن استخراج المياه الجوفية يُعادل أو يزيد في الوقت الحالي عن تخزين المياه السطحية الممتدة، مما ينتج عنه عدم وجود مساهمة إيجابية على الإطلاق أو وجود مساهمة إيجابية صغيرة في ارتفاع مستوى سطح البحر في السنوات الأخيرة جراء التغييرات في تخزين المياه الأرضية (NRC، 2012؛ تشيرش وأخرون 2013).

2.1.4. التأثيرات الأخرى

هناك عاملان آخران يُسهمان بشكل ضئيل في ارتفاع متوسط مستوى سطح البحر.

ينتج عن حركات الأرض العمودية المحلية والإقليمية تغييرات إقليمية في مستوى سطح البحر النسبي (تشيرش وأخرون 2013؛ أوبري وإمري 2013). وتعتبر حركة الأرض العمودية (VLM) مصطلحاً عاماً يشمل جميع العمليات التي تؤثر على الارتفاع في موقع مُعين (الحركات التكتونية، الانخساف، استخراج المياه الجوفية)، مما يتسبب في تحرك الأرض صعوداً أو هبوطاً. وهذه عادة ما تكون عملية بطيئة يتراوح حجمها في الغالب بين 10- (الهبوط) و+10 (الارتفاع) مليمتر/السنة (CLIMsystems, 2016). وتصبح حركة الأرض العمودية المحلية ذات صلة إذا نظرنا إلى التأثيرات المحلية لارتفاع مستوى سطح البحر. ويمكن أن تعمل حركة الأرض العمودية على تخفيف ارتفاع مستوى سطح البحر الذي تتم مواجهته في مكان ساحلي مُعين. ففي المكان الذي تكون فيه حركة الأرض العمودية متجهة لأعلى (وينج 2014)، يكون ارتفاع مستوى سطح البحر أقل. وعندما تكون حركة الأرض العمودية متجهة لأسفل مثل مدينة مانيلا (أوبري وإمري 2013)، يكون ارتفاع مستوى سطح البحر الذي تتم مواجهته محلياً أقوى.⁴

يمكن أن تؤثر التغييرات في تخزين المياه البرية أيضاً على مستويات سطح البحر (كيرشن وويك 2014؛ جورنتز 2000).

لقد أثرت التغييرات واسعة النطاق التي طرأت على سطح الأرض من خلال الأنشطة البشرية خلال العقود الماضية على جريان النهر على مستوى النطاقات القارية. وهذا من الأهمية بمكان لأن الانخفاض في كمية المياه المُخزنة في القارات ينتج عنه زيادة المياه المُخزنة في المحيطات. ويرتبط انخفاض كميات المياه المُخزنة فوق اليابسة باستخراج المياه الجوفية أو استنزاف الأراضي الرطبة أو حدوث تغييرات أخرى في الغطاء الأرضي تقلل من رطوبة التربة (على سبيل المثال إزالة الغابات) مما يؤدي في نهاية المطاف إلى تدفق كميات إضافية من المياه إلى المحيط وارتفاع

⁴ انظر القسم 3.2 لمراجعة حركة الأرض العمودية لشبه الجزيرة العربية.



العنصر في شرح بعض الاختلافات المكانية الشائعة في تسجيلات مستوى سطح البحر، فضلاً عن فهم تفاصيل أثره في المستقبل (متروفيكا وأخرون 2001). وقد كان تضمين هذه الأنماط، التي تُسمى "البصمات"، في التفسيرات الخاصة بالتسجيلات السابقة لمستوى سطح البحر عنصراً جوهرياً في فهم التسجيلات التي كان يصعب التوفيق بينها قبل ذلك (كيرشن وويك 2014).

يرتبط التأثير الآخر للجاذبية بديناميات المحيط (هوارد وأخرون 2014؛ ليفرمان وأخرون 2005).

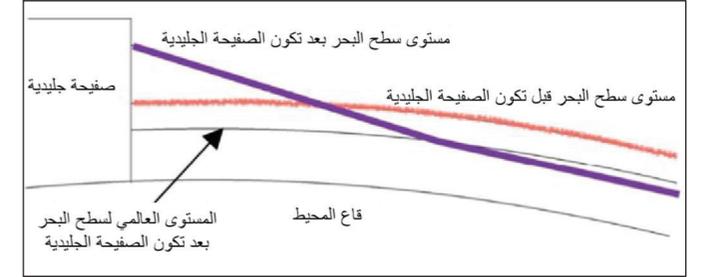
تفسر هذه التأثيرات الديناميكية متوسط ارتفاع مستوى سطح البحر الذي يمكن أن يختلف من موقع لآخر على مستوى النطاقات المكانية المحلية. وهذا يرجع إلى أن إضافة المياه العذبة من الأنهار والصفائح الجليدية إلى المحيط تؤدي إلى زيادة فورية في المتوسط العالمي لمستوى سطح البحر، ولكن نظراً لأنها يتم نقلها حول أحواض المحيط من خلال التعديل الديناميكي، فإنها لا تكون موحدة عالمياً بشكل فوري (كاواس 1987؛ كين 1989). ويُحتمل أن يتأثر هذا التغيير في التباين المكاني بالتفاعل بين التغييرات في ديناميات المحيط والتباينات المكانية في كثافة مياه البحر بسبب احترارها (هوارد وأخرون 2014)، فيما يُعرف بالتغيير في المستوى الديناميكي لسطح البحر (DSL). فبالنسبة لأي مكان مُعين، يتكون المستوى الديناميكي لسطح البحر من عنصر عالمي مرتبط بمتوسط ارتفاع مستوى سطح البحر وعنصر مرتبط بالتغييرات في التباين المكاني لمستوى سطح البحر مقارنة بالمتوسط العالمي (على سبيل المثال ميلن وأخرون 2009؛ باردينز وأخرون 2011). وترتبط التغييرات في المستوى الديناميكي لسطح البحر بالحالة الديناميكية للسائل في المحيط مثل التيارات والكثافة والتدفقات الحدودية للكثلة وقابلية الطفو (جريفيس وجريبتاتش 2012) وتمثل جزءاً صغيراً من ارتفاع مستوى سطح البحر، عادة ما يكون أقل من 15% من ارتفاع مستوى سطح البحر الإقليمي (بين 2012).

2.1.3. تأثيرات الجاذبية

ثمة تأثيران هامان للجاذبية يؤثران على مستويات سطح البحر.

أولهما، تأثير الجاذبية الذاتية أو التأثير الثابت الذي يُفسر الخصائص المحلية للأرض والجليد والمياه. فنظراً لأن كلاً من الجليد والماء يمثلان كتلة، سيقوم الجليد والماء الموجود على اليابسة بجذب مياه المحيطات، مما يعمل حرفياً على سحب المحيط نحو الصفيحة الجليدية، مثلاً، عند تكوينها. ومن ثم، سيكون مستوى سطح البحر أكثر ارتفاعاً بالقرب من الصفيحة الجليدية بدلاً من أن يكون بعيداً بشكل كبير عنها، ولن تتأثر الظروف الأخرى. وهذا موضح في الشكل 2-3.

الشكل 2-3: توضيح تأثير الجاذبية الذاتية (مقتبس من كيرشن وويك 2014)



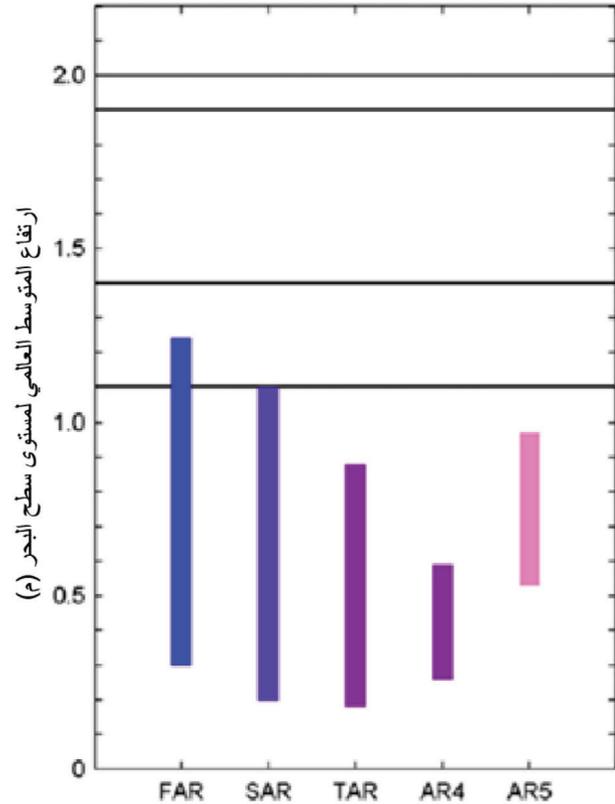
على الجانب الآخر، عندما يذوب الجليد القاري وتُضاف كتلة المياه إلى المحيط، يرتفع مستوى سطح البحر بمقدار صغير متوسط في جميع أنحاء الكرة الأرضية.

على الرغم من ذلك، بالقرب من الكتلة الجليدية ذاتها (في حدود 3,000 كم تقريباً)، قد يتسبب في انخفاض مستوى سطح البحر بانخفاض تأثير الجاذبية الذاتية على النحو الموضح في الشكل 2-3. وقد تم تجاهل أثر الجاذبية الذاتية على التوقعات المُستقبلية لمستوى سطح البحر في تقارير تقييم الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (IPCC) (كيرشن وويك 2014؛ كو 2006). وقد أسفرت بحوث لاحقة عن زيادة استيعاب مدى مساعدة هذا



نتج عن كل تقرير من هذه التقارير مجموعة كبيرة من التوقعات الخاصة بمستوى سطح البحر بحلول عام 2100. وفي تقرير التقييم الرابع، كانت هناك أربع عمليات فيزيائية رئيسية لم تتناولها النماذج المستخدمة بشكل كافٍ، وهي استجابة الجروف الجليدية العائمة للتغير المناخي، والترابط بين الجروف الجليدية العائمة والتدفق في الصفائح الجليدية؛ وطبيعة التدفق السريع في الجداول الجليدية والأنهار الجليدية المتدفقة للخارج؛ وتأثير المياه عند قاعدة الصفيحة الجليدية على تدفق الجليد (ACE, 2009).

الشكل 2-4: نطاق توقعات IPCC العالمية لارتفاع متوسط مستوى سطح البحر في عام 2100 في ضوء السيناريوهات مرتفعة الانبعاثات (جيفريجيفا وآخرون 2014)



2.2.1. التقدم المُحرز والقيود الرئيسية للنمذجة السابقة لارتفاع مستوى سطح البحر

كان التنبؤ بالتغيرات المستقبلية في متوسط مستوى سطح البحر يقوم على نماذج الدوران العام المقترنة للغلاف الجوي والمحيط.

تتيح هذه النماذج للمناخ المُتصوّر التكيف مع التغيرات في المؤثرات المناخية، مثل تزايد ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي. ولم تراعي النماذج المناخية، حتى مطلع التسعينيات، ديناميات الجليد والصفائح الجليدية المعالجة على أنها حقول ثلجية ضحلة ذات تضاريس تمثيلية محددة، إلى جانب أنها أهملت الجليد الدائم بالكلية (بيتز ومارشال 2013). تطورت نمذجة الغلاف الجليدي (أي الماء المتجمد الموجود على اليابسة وفي البحر) بصورة متوازية مع، ولكن مستقلة عن، نماذج المناخ العالمية للتنبؤ بارتفاع مستوى سطح البحر.

كان فيليب هويبريتشتس هو أول من وضع نموذجاً تنفيذياً ميكانيكياً حرارياً ثلاثي الأبعاد للصفائح الجليدية في أواخر الثمانينيات (هويبريتشتس وبي وأوبرليمانس 1988، هويبريتشتس 1990).

وقد تم استخدام نموذج هويبريتشتس لدراسة ووصف الصفائح الجليدية في جرينلاند والقارة القطبية الجنوبية وتعزيز التوقعات بشأن استجابة الصفائح الجليدية للتغير المناخي في تقارير الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (بيتز ومارشال 2013). وقد تم حالياً تطوير نماذج مماثلة في العديد من الفرق البحثية كما أجريت تجارب المقارنة البيئية للبحر-الجليد لتقييم مواطن القوة والضعف في النموذج (بايين وآخرون 2000).

وقد ضمت تقارير التقييم الخمسة الخاصة بالهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ نتائج جهود النمذجة الناتجة من عملية CMIP.

وقد جمعت توقعات مستوى سطح البحر في التقارير الخمسة جميعها باستخدام طرق تقليدية لتقدير ارتفاع مستوى سطح البحر - وذلك عن طريق محاكاة الإسهامات من المكونات الفردية لمستوى سطح البحر، مثل التمدد الحراري، وذوبان الجليد من الأنهار الجليدية والصفائح الجليدية (جيفريجيفا وآخرون 2014). وكما هو موضح في الشكل 2-4،



2.2. ارتفاع مستوى سطح البحر في المستقبل

يعد التنبؤ بارتفاع مستوى سطح البحر في المستقبل مسألة مهمة ذات صلة وثيقة باستمرار تراكم تركيزات غازات الدفيئة في الغلاف الجوي.

وتهيمن الصفائح الجليدية في جرينلاند والقارة القطبية الجنوبية، التي يُحتمل أن تتسبب في ارتفاع مستوى سطح البحر حوالي 70 متراً في حالة ذوبانها تماماً، على أوجه عدم اليقين بشأن التغير المتوقع في مستوى سطح البحر (ألبي وآخرون 2005، كوب وآخرون 2014، تشيرش وآخرون 2013). ويتطلب تفسير تغيرات البحار في الماضي والتنبؤ بالتغيرات المستقبلية نمذجة عددية متطورة باستخدام نماذج دوران عام مقترنة للجليد والغلاف الجوي والمحيط. وعلى الرغم من إحراز تقدم كبير، إلا أن هذه النماذج معروفة على نطاق واسع بتمثيلها الرديء للتفاعلات المعقدة بين الغلاف الجوي والصفائح الجليدية وبيئة المحيطات (ألبي وآخرون 2005، تشيرش وآخرون 2013؛ هولاند وهولاند 2015). ويستعرض هذا القسم التقدم المُحرز والقيود الرئيسية لنهج النمذجة السابقة، وبعض أهم التحديات المقبلة، وتحديث الحالة الراهنة للنماذج المقترنة للجليد والمحيط والغلاف الجوي.





عن طريق الذوبان (لوثي وآخرون 2013)، فإن ما يُعرف عن فيزياء الفصل الجليدي أقل من ذلك بكثير (باثولوماوس وباسيس 2014، موراي وآخرون 2015). وثمة جدل مستمر حول نسبة فقدان الكتلة بالقارة القطبية الجنوبية بسبب الفصل الجليدي (مقارنة بالذوبان حيث تلتقي الأنهار الجليدية بالمحيط). ومع ذلك، توجد أدلة مستفيضة وإجماع واسع على أنها نسبة كبيرة (مثل النهر الجليدي جاكوبشافن في جرينلاند والذي أراح ١٢ كيلومتر مربع من الجليد في يوم واحد). ومع هذا الانحسار السريع للأنهار الجليدية، من المرجح أن يُعزى جزء كبير من فقدان إلى الفصل الجليدي. ونظرًا لضعف فهم عملية الفصل الجليدي، تظل نمذجة تلك العملية تحديًا ينجم عنه توقعات غير يقينة بشأن مستوى سطح البحر (هولاند وهولاند 2015).

يتمثل التحدي الرئيسي الثالث ببساطة في العبء الحسابي لنمذجة التفاعلات بين الجليد والمحيط.

تدل القيود الحسابية على ضرورة استخدام الاستبانة المكانية الشبكية الأوسع (أي حوالي 100 كم)، وهذا ما أدى إلى التمثيل الخاطئ للجدول الجليدية (هولاند 2000). ونظرًا لأن الجليد المتدفق بصورة أبطأ لا يمكنه المساهمة بصورة سريعة في تغيير مستوى سطح البحر، فإنه يمكن لهذا التوزيع الشبكي المكاني الواسع أن يتسبب في استجابة النماذج بشكل أبطأ من الصفائح الجليدية الفعلية. علاوة على ذلك، تنقل الصفائح الجليدية الفعلية اضطرابات الضغط الطولي (أي على طول محور الطول) بشكل فوري غالبًا، ولكن نماذج الجليد الداخلي لا تعمل على تضمين هذا التأثير بشكل جيد. وتبعًا لذلك، قد تقوم نماذج الجليد-الصفائح هذه بتقدير المعدلات الفعلية للتغيير بمعدل أقل. وأخيرًا، لمحاكاة تراجع الصفائح الجليدية والفصل الجليدي بشكل مناسب، يجب تغيير النطاقات الرأسية والأفقية للمحيطات التي تتم محاكاتها عندما يغزو المحيط الحيز الذي تشغله الصفائح الجليدية ويتلقى المياه الذائبة من النهر الجليدي (تشاربوت وآخرون 2002). وهذا يتطلب إعادة هندسة شاملة لنماذج المناخ العالمية الموجودة (هولاند وهولاند 2015)، فضلًا عن الحاجة إلى قدرة حاسوبية أكبر بكثير (كورنפורد وآخرون 2012).

2.2.1. التحديات الرئيسية للنمذجة

تركز الجهود الحالية المبذولة لتطوير نمذجة الجليد والمحيط على حلول عالية الترتيب لديناميات الجليد وأنظمة الضغط والتوتر في الأنهار الجليدية (باتين وآخرون 2008، برايس وآخرون 2008؛ جاروش 2008).

بالتوازي، ووفقًا لما سيتم توضيحه في القسم الفرعي التالي، توجد برامج على نطاق المجتمع تسعى إلى ربط مزيد من نماذج الصفائح الجليدية المعقدة عالية الاستبانة داخل نماذج مناخ عالمية بناءً على نموذج الصفائح الجليدية Glimmer الذي تم تطويره في جامعة بريستول وأماكن أخرى (روت وآخرون 2009). على الرغم من ذلك، تُجدر الإشارة إلى أن نماذج المناخ العالمية المقترنة تمامًا لا تزال في مهدها نظرًا لتحديات النمذجة المعقدة التي تواجهها (بيتز ومارشال 2013).

وعلى وجه التحديد، توجد ثلاثة تحديات رئيسية متعلقة بالنمذجة المقترنة للجليد والمحيط الخاصة بـ ذوبان الصفائح الجليديتين جرينلاند والقارة القطبية الجنوبية (ريتشاردسون وآخرو؛ 2011؛ هولاند وهولاند 2015؛ تشيرش وآخرون 2010).

أولاً، لم تكتمل أنواع بيانات الرصد المطلوبة لبناء نماذج الجليد والمحيط المقترنة حتى الآن. وبينما ساعد الاستشعار عن بعد باستخدام الأقمار الصناعية على تيسير مهمة رصد أسطح الأنهار الجليدية بصورة كبيرة، إلا أن الحصول على البيانات المتعلقة بطبيعة القاع الذي ترتكز عليه الصفائح الجليدية تبين أنه أكثر صعوبة. وهذا أمر هام حيث أنه يرصد القوى المؤثرة على تحرك خط الأساس الجليدي من مكانه وعدم استقرار الصفائح الجليدية البحرية لاحقاً (بايين وآخرون 2000؛ كالوف وآخرون 2010). علاوة على ذلك، تعذر الحصول على الملاحظات المتعلقة بمياه المحيط عند سطح الأنهار الجليدية وتحتها (فوجان 2013؛ هولاند 2013).

ثانياً، هناك فجوة في المعرفة المتعلقة بفيزياء انحسار الجليد.

وفي حين يبدو أن هناك فهم جيد على نحو معقول للطريقة التي تنفك بها مصبات الأنهار الجليدية الممتدة إلى المحيط



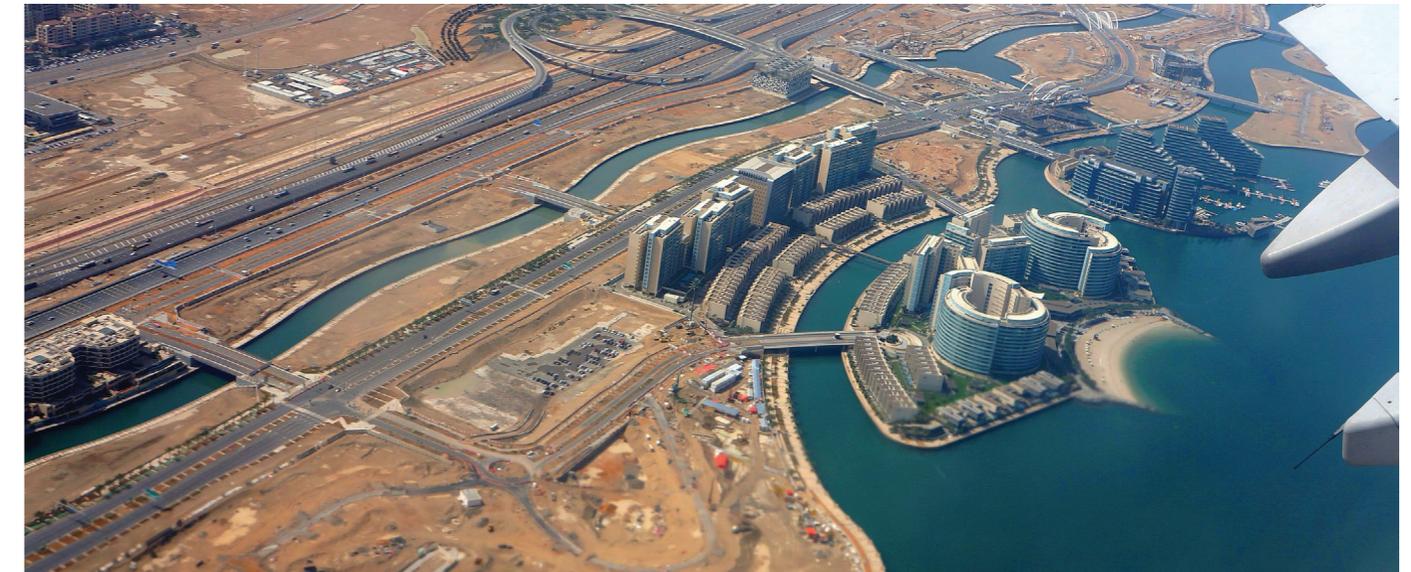
الصفائح الجليدية، وهو ما لا يتناسب تماماً مع الجروف الجليدية والجدول الجليدية وحواف الصفائح الجليدية. وهذا هو السبب في تصنيف توقعات IPCC الخاصة بارتفاع مستوى سطح البحر على أنها "متوسطة الثقة"، وهو ما يعني ضمناً احتمالية خروج ارتفاع مستوى سطح البحر في المستقبل عن النطاق المحدد بنسبة 33%. وكما هو مشار إليه أعلاه، يرجع السبب في هذا بدرجة كبيرة إلى الصعوبات التي تواجه توقع فقدان الكتلة الجليدية من الصفائح الجليديتين في جرينلاند والقارة القطبية الجنوبية، ولكنه يرجع أيضاً إلى صعوبة تمثيل الإسهامات الناتجة عن 120,000 نهر جليدي حول العالم. ومع وجود تقدم كبير في مجال البحث في تغيير مستوى سطح البحر بشكل عام منذ صدور تقرير التقييم الخامس، لا تزال النمذجة العددية للتفاعلات بين الأنهار الجليدية والمحيط في مرحلة مبكرة وستتطلب إجراء مزيداً من الدراسة (هولاند وهولاند 2015؛ ليتل وآخرون 2014، ليو وآخرون 2013).

في تقرير التقييم الخامس، استمر وجود الصعوبات في نمذجة فقدان الكتلة الجليدية من الصفائح الجليديتين جرينلاند والقارة القطبية الجنوبية.

وقد أسفر هذا عن إقرار صريح في التقرير ذاته بأن: ". انهيار القطاعات البحرية للصفائح الجليدية بالقارة القطبية الجنوبية قد يتسبب، إذا بدأ، في ارتفاع مستوى سطح البحر بشكل كبير عن المستوى المحتمل في القرن الحادي والعشرين. ولا يمكن قياس حجم هذا الإسهام الإضافي المحتمل بشكل دقيق ولكن هناك مستوى متوسط من الثقة بأنه لن يتعدى عشرات الأمتار من ارتفاع مستوى سطح البحر" (تشيرش وآخرون 2013).

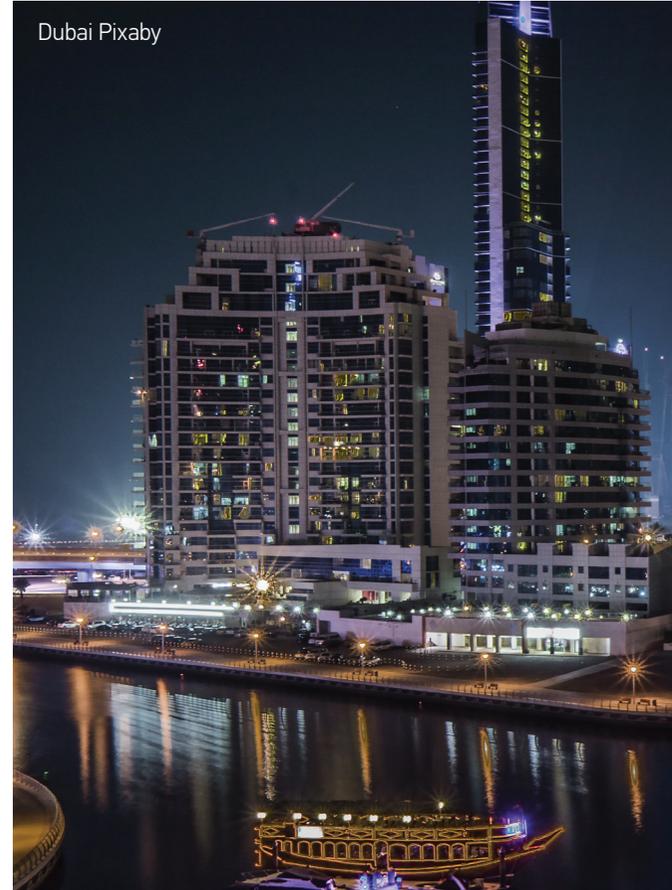
يتسم الوضع في الوقت الحالي بعدم وجود نموذج قوي موثوق يتناول تفاعل الصفائح الجليدية الذائبة مع المحيط، من أجل تحسين تقديرات ارتفاع مستوى سطح البحر (هولاند وهولاند 2015؛ بيتز ومارشال 2013).

تقوم النماذج متدنية الترتيب للأنهار الجليدية، والتي تم تطبيقها في نماذج مناخية عالمية حتى تاريخه، على تمثيل مبسط لتدفق





الصفائح الجليدية Glimmer الذي قام بتطويره روت وآخرون (2009). وقد تم استخدام النموذج في التجارب لمحاكاة التغيرات الديناميكية المرصودة على أكبر ثلاث أنهار جليدية متدفقة للخارج بجرينلاند وهي جاكوبشافن إيسبرا وهيليم جلاشير وكانجردلوجسك جلاشير خلال العقد الأول من الألفية الثالثة. وكما هو موضح في الشكل 2-5، يوجد اتفاق جيد بشكل معقول بشأن سرعة تدفق الجليد كما هو مرصود (على اليسار) ومنمذج (على اليمين).



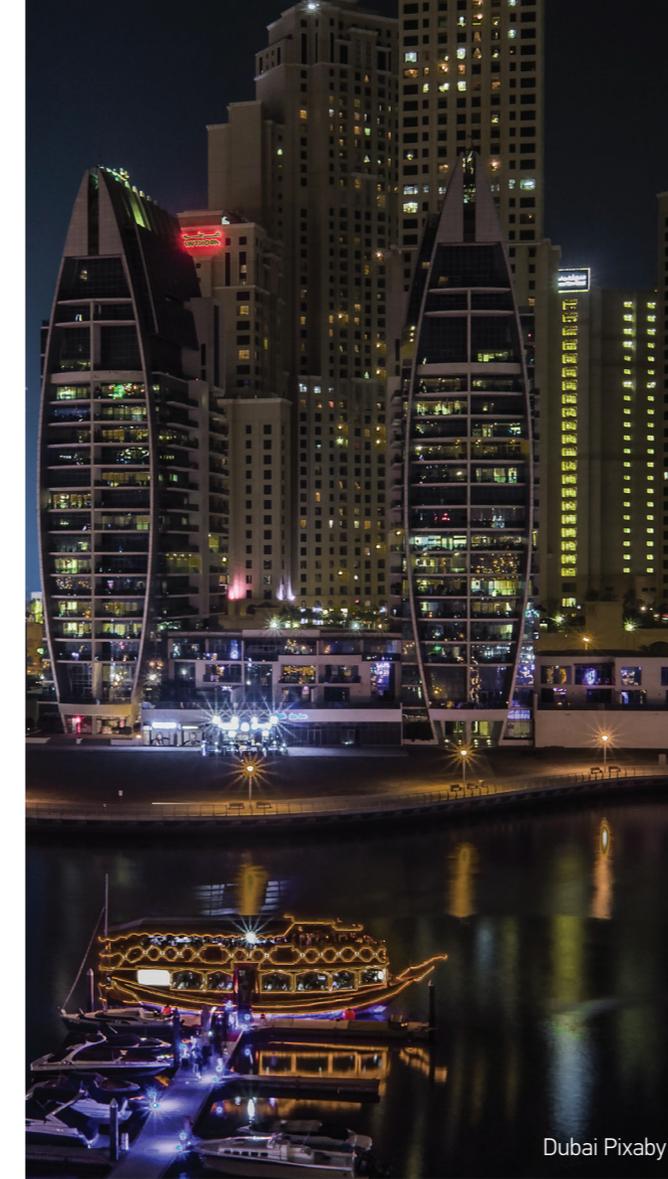
Dubai Pixaby

ويجري حالياً تطبيق مشروع SIMIP، وهو يسعى للجمع بين عمليات محاكاة النماذج مع الملاحظات من أجل فهم أفضل للتفاعلات بين الجليد والهواء والمحيط في النماذج.

وتهدف الخطة إلى مقارنة نتائج النمذجة مع سجل الرصد. ومن شأن هذا أن يمكن الاستنتاجات القائمة على البيانات الخاصة بما إذا كانت عمليات محاكاة النماذج تستوعب السلوك المرصود في العالم الواقعي، وفي حالة انتفاء ذلك، تحديد الطرق التي يمكن من خلالها تحسين أطر الاتفاق. وفي النهاية، تهدف نتائج عملية SIMIP إلى توفير مزيد من عمليات المحاكاة الواقعية للغطاء الجليدي البحري بما في ذلك مزيد من التوقعات القوية بشأن تطوره وعلاقته بارتفاع مستوى سطح البحر في المستقبل. وخلال عام 2016، ركز عمل مشروع SIMIP على عقد سلسلة من ورش العمل للجمع بين نمذجة الجليد-البحر وخبرات الرصد معاً. ومن الأهمية بمكان الإشارة إلى أن العملية قد بدأت بشكل أساسي للتو. ويُتوقع أن يتم تضمين نتائج عملية SIMIP في تقرير التقييم الخاص بهيئة IPCC، تقرير التقييم السادس، والذي من المتوقع أن يصدر عن مساهمات ثلاثة من الفرق العاملة خلال الفترة الزمنية 2020-2021 (IPCC، 2016). مع نشر التقرير المُتضمن موجزاً لصانعي السياسات في وقت ما من عام 2022.

وتشير النتائج التمهيديّة المحصّلة من أنشطة النمذجة المختلفة الجارية حالياً ضمن عملية SIMIP إلى تحسن بعض النماذج في نمذجة تفاعلات الجليد-المحيط.

على سبيل المثال، يُعد نموذج الصفائح الجليدية المُجمعي (CISM) نموذجاً للصفائح الجليدية من الجيل القادم، يُستخدم في التنبؤ بتطور الصفائح الجليدية وارتفاع مستوى سطح البحر في المناخ المتغير (برايس وآخرون 2015). ويتوفر النموذج، الذي تم تطويره في قسم ديناميات الموائع وميكانيكا الجوامد بمختبر لوس الأموس الوطني، مجاناً لمجتمعات نمذجة الظواهر الجليدية والمناخ، كما يعمل بمثابة المكون لديناميات الجليد في نموذج النظام الأرضي المجتمعي (CESM) أحد نماذج الدوران العام المضمّنة في عملية CMIP. يقوم نموذج CISM على نموذج



Dubai Pixaby

2.2.3. التقدم المُحرز في النماذج المقترنة للجليد-المحيط-الغلاف الجوي

بدأ مشروع المقارنة البيئية للنماذج المقترنة (CMIP) في سنة 1995 لتنسيق جهود نمذجة الدوران العام للغلاف الجوي-المحيط وتطور بمرور الوقت.

في تقرير التقييم الخامس (AR5)، تصف بروتوكولات CMIP-5 والمنشورات ذات الصلة الصادرة عن IPCC حالة بحثية معقدة إلى حد ما بشأن نمذجة ارتفاع متوسط مستوى سطح البحر موضحة استخدام مزيج من النُهج الهيدروديناميكية لنمذجة بعض المتغيرات ومزيج من النُهج شبه التجريبية والإحصائية لنمذجة متغيرات أخرى (تشيرش وكلاارك 2013 ب؛ جريفيز وجريتباتش 2012؛ ين 2012). ولم تكن الصفائح الجليدية، فيما سبق، تُدرج بشكل صريح في عملية CMIP وكان يجب استخدام دراسات نمذجة منفصلة لإجراء التوقعات بإسهاماتها المستقبلية المؤثرة على مستوى سطح البحر، مما أدى إلى ظهور حالات من عدم التطابق بين البيانات المناخية المستخدمة للتأثير على هذه النماذج والإصدار المعاصر من توقعات CMIP (نويكي 2016).

وقد تسبب فقدان الكتلة السريع للصفائح الجليدية الذي بات الحديث عنه منتشراً بصورة كبيرة في زيادة اقتران الصفائح الجليدية مع بقية النظام المناخي.

يمثل الفهم الأفضل للدور الذي يؤديه الجليد البحري في التغير المناخي على الكوكب أحد الأهداف المحورية للمرحلة الجارية من هذه العملية - المشروع التشخيصي السادس للمقارنة البيئية للنماذج المقترنة (CMIP6). يوجد ضمن مشروع CMIP6 فريق عامل معتمد يركز بشكل حصري على التفاعلات بين الجليد والمحيط فيما يسمى بمشروع المقارنة البيئية لنماذج البحر-الجليد (SIMIP). يرمي مشروع SIMIP إلى فهم أفضل لكيفية عمل الجليد البحري وتطوره في النظام المناخي المقترن للكوكب (نوتز وآخرون 2016؛ نويكي وآخرون 2016).⁵

⁵ تتوفر مزيد من التفاصيل على <http://www.climate-cryosphere.org/activities/targeted/simip>

3. ارتفاع مستوى سطح البحر والمناطق الساحلية

يقيم الغالبية العظمى من سكان منطقة الخليج العربي في الأماكن الساحلية كما تقام معظم الأنشطة الاقتصادية في المراكز الحضرية المعرضة للغمر والتي تكون مُعرضة أيضاً لمخاطر هذه الآثار.

قد يوجد الكثير من السكان الساحليين وتُقام العديد من الأنشطة الاقتصادية في المناطق التي يتم ردمها واستصلاحها من البحر بغرض مشاريع التنمية. وتعتبر هذه المناطق ممتلكات تجارية قيّمة وهي معرضة للتأثر بشكل خاص بالآثار الناجمة عن ارتفاع مستوى سطح البحر وذلك بسبب ارتفاع سطح أرضها عن مستوى سطح البحر بنسبة قليلة. وعلاوة على ذلك، من المرجح أن تتواصل أنماط النمو السكاني والسياحة بالمناطق الساحلية، التي تزداد بالفعل بشكل سريع، مما يؤدي إلى زيادة قابلية تأثر المنطقة الساحلية بظاهرة تغير المناخ.

تاريخياً، كان مستوى سطح البحر في منطقة الخليج العربي الضحلة يرتفع بمعدلات تتجاوز المتوسط العالمي.

استناداً إلى بيانات مقياس المد والجزر التي تم تحليلها في تقرير التقييم الرابع لهيئة IPCC، بلغ متوسط المعدل العالمي لارتفاع مستوى سطح البحر خلال الفترة 1961-2003 ما يقرب من 1.8 مم/سنة (IPCC, 2007). وبينما لا تتوافر التقييمات الشاملة لمنطقة الخليج العربي بأكملها، يوضح تحليل لبيانات مقياس المد والجزر في الجزء الغربي من الخليج العربي بالقرب من البحرين أن متوسط معدل ارتفاع مستوى سطح البحر يبلغ ما يقرب من 2.27 مم/سنة خلال الفترة 1989-2008 (أيهان والعثمان 2009). وتعتبر التضاريس شديدة الانخفاض أحد السمات البارزة للشريط الساحلي الواقع بطول الساحل الغربي والجنوبي من الخليج، ما يقرب من 35 سم لكل كيلو متر فقط، مما يزيد من تأثير ارتفاع مستوى سطح البحر حتى بشكل طفيف. ويتضح ذلك من خلال وجود المناطق المدنية الواسعة والمسطحات الملحية الساحلية (السبخة)، تمتد غالباً لعدة كيلومترات عرضاً والعديد من الكيلومترات طولاً.



يمثل ارتفاع مستوى سطح البحر في المستقبل تهديداً رئيسياً على البنية التحتية بما في ذلك الطرق وأنظمة الاتصالات السلكية واللاسلكية والمباني والمنشآت الصناعية، والتي تعتبر جميعها عناصر ذات أهمية بالنسبة للبيئة المبنية الحالية والمخطط لها.

قد تكون الإمارات العربية المتحدة ودول الخليج أكثر تأثراً بارتفاع مستوى سطح البحر عن معظم مناطق العالم وذلك بسبب ارتفاع التركزات السكانية والأنشطة الاقتصادية بصفة خاصة في المناطق الساحلية. ويقدم هذا القسم من الدراسة التمهيدية نظرة عامة على البيئة الساحلية الإقليمية، مع التركيز على منطقة الخليج العربي، إلى جانب نظرة عامة موجزة على العناصر الرئيسية للبنية التحتية في كل إمارة في دولة الإمارات العربية المتحدة.

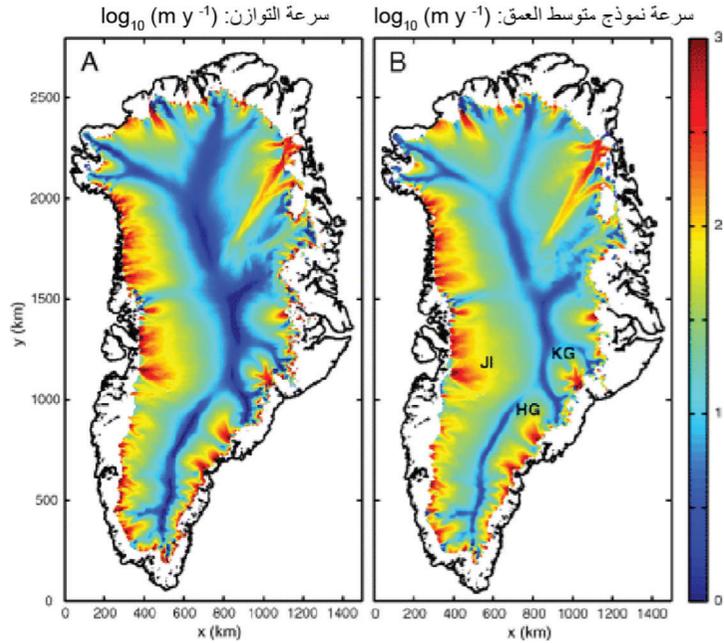
3.1. سياق البيئة الساحلية الإقليمية

يمكن تصنيف عواقب الآثار المادية لارتفاع مستوى سطح البحر على نطاق واسع إلى ثلاثة فئات: التعرية والفيضان وتسرب المياه المالحة (نيكولس وكازيناف 2010؛ تيتوس وبارث 2001؛ نيكولس وآخرون 2011؛ حسين وجافاد 2016).

وتتمثل العواقب الأكثر وضوحاً لارتفاع مستوى البحر في الفيضان (الغمر) الدائم للمناطق المنخفضة عن سطح الأرض. وقد تمثل التعرية أو انحسار الخط الساحلي تهديداً على المناطق الساحلية ذات الارتفاع الكافي لتجنب الغمر. ويعمل أي ارتفاع في مستوى سطح البحر على تغيير العلاقة بين شكل الشاطئ ومستوى سطح المياه. فعند اجتماعه مع عرامة العاصفة، يكون بإمكان ارتفاع مستوى سطح البحر تعرية الخطوط الساحلية غير المحمية بشكل حاد. وسيؤدي الارتفاع التدريجي والفوري في مستوى سطح البحر أيضاً إلى عمليات تسرب مياه البحر في شبكات المياه الجوفية الساحلية مع اختلاف مستويات غمر سطح الأرض.



الشكل 3-2: مجالات سرعة تدفق الثلج المرصودة والمُنمذجة في الأنهار الجليدية في جرينلاند (برايس وآخرون 2011)



في تقرير التقييم الرابع، كانت IPCC حذرة فيما يتعلق بالتغير المحتمل في تكرار الأنشطة الإعصارية في ظل تغير المناخ (IPCC, 2013).

وكان ذلك منسوبا إلى توافر بعض البيانات ذاتها والمسائل الأخرى التي تمت مناقشتها في القسم السابق من هذه الدراسة التمهيدية. أي أن، "... هناك ثقة ضعيفة في نسبة التغيرات الحادثة في أنشطة الأعاصير المدارية إلى التأثير البشري. ويرجع ذلك إلى أدلة المراقبة غير الكافية وعدم الفهم المادي للروابط بين دوافع المناخ البشرية ونشاط الإعصار المداري، والمستوى المنخفض للتوافق بين الدراسات فيما يتعلق بالأهمية النسبية للتقلبات الداخلية، والمؤثرات الطبيعية والبشرية." (IPCC, 2013). ومع ذلك، تتابع IPCC مشيرة إلى أنه "... سيكون من المرجح بشكل أكبر زيادة تكرار العواصف الأكثر شدة في بعض الأحواض..." بما في ذلك منطقة غرب آسيا حيث تقع دول مجلس التعاون الخليجي. ومع ذلك، في حين أنه لا يوجد قول حاسم في الوقت الحالي بخصوص التغيرات المحتملة في تكرار الأعاصير في المنطقة، فمن المؤكد تقريباً أن ارتفاع درجة حرارة سطح البحر ستكون مصحوبة بزيادة مطابقة في كثافة الإعصار، نظراً للحرارة الإضافية المتراكمة في نظام الهواء-المحيط.

قد يؤدي ارتفاع درجة حرارة سطح البحر إلى ارتفاع عرامات العواصف إلى أقصى درجة وزيادة أخطار الكوارث الساحلية.

قد تكون التغيرات في كل من الاستقرار الثابت الرطب للغلاف الجوي ودرجة حرارة سطح البحر الأساسية بمثابة العوامل المُحددة الحرجة للتباينات الممكنة في الكثافة القصوى المحتملة للرياح الشمالية الغربية الأقوى من العادية المعروفة باسم "رياح الشمال". يعتبر تولد الإعصار المداري الشمالي، المتمثل في تولد الرياح شديدة السرعة وحتى الأعاصير من رياح الشمال العاتية، عاملاً آخر في عرامات العواصف والتي قد تحدث في قطر بقدر كبير في ظل تغير المناخ (انظر الشكل 3-1). خلال ظاهرة من ظواهر رياح الشمال الشتوية المحددة بشكل جيد في الماضي، ارتفعت مستويات سطح البحر بمقدار 10-20 سم في النصف الشرقي

من الخليج العربي، وصحبا ارتفاع مستويات سطح البحر بنسبة 20-30 سم في المناطق الضحلة الساحلية لدولة الإمارات العربية المتحدة (توبيل وهوجان 2010). ويمكن أن تؤدي أنظمة رياح الشمال، بالاقتران مع التغيرات المناخية في الضغط الجوي ودرجة حرارة سطح البحر والتضاريس الساحلية وتأثيرات المد والجزر إلى زيادة عرامات العواصف إلى أقصى درجة وزيادة المخاطر الناتجة عن الكوارث الساحلية. ولن تزداد الأخطار الناتجة عن عرامات العواصف سوءاً إلا إذا ارتفع مستوى سطح البحر وازدادت التجمعات السكانية في المناطق الساحلية.

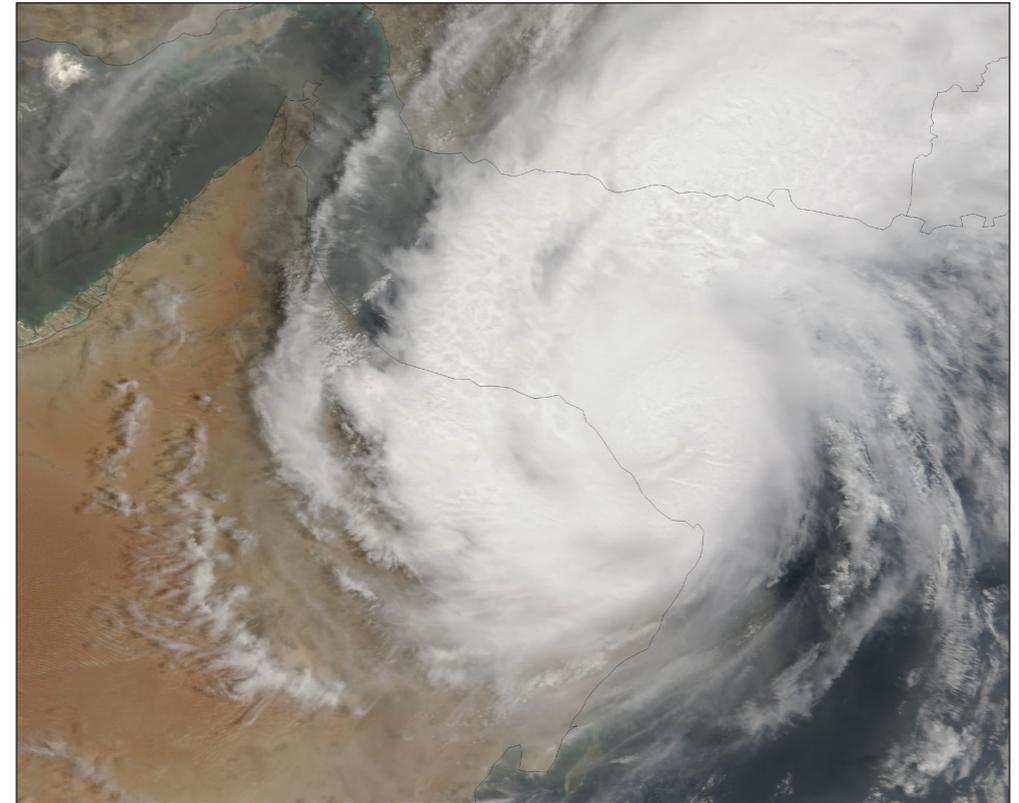


أضراراً بالغة (وكالة ناسا 2007). وفي ظل تغير المناخ، قد تُشكل كثافة تولد الأعاصير الإقليمية وتكرارها ونطاقها الجغرافي إلى جانب عرامات العواصف اللاحقة مخاطر نظامية جديدة على المناطق الساحلية في شبه الجزيرة العربية. وقد يكون وضع استراتيجيات جديدة لإدارة مخاطر الكوارث، كما يتم مناقشته في القسم التالي من هذه الدراسة التمهيدية، أمراً ضرورياً لمواجهة هذه الأخطار الناشئة.

قد تكون ظواهر العواصف العاتية التي حدثت مؤخراً في منطقة شبه الجزيرة العربية بمثابة إرهابات لتغير المناخ في المستقبل.

في 2007، شهد الخليج أقوى إعصار مسجل بالنسبة لبحر العرب، إعصار جونو (انظر الشكل 3-1). وبلغت سرعة الرياح في إعصار جونو، المصنف من الفئة 5، ما يقرب من 240 كم/ساعة، مما نتج عنه هطول أمطار غزيرة بالقرب من الشريط الساحلي الشرقي لعُمان، حيث وصلت إلى 610 ملم، وأدى إلى حدوث فيضان ووقوع

الشكل 3-1: إعصار جونو المداري يضرب ساحل عمان. (المصدر: مرصد الأرض التابع لوكالة NASA)





(SONEL المتاحة على: <http://www.sonel.org>). وتهدف مبادرة SONEL إلى توفير قياسات متواصلة عالية الجودة لمستويات البحر والأرض على الساحل من مقاييس المد والجزر (مستويات سطح البحر النسبية) ومن الأساليب الحديثة الجيوديسية (حركة الأرض العمودية ومستويات سطح البحر المطلقة) لإجراء دراسات عن اتجاهات مستوى سطح البحر على المدى الطويل، ولكن أيضًا لمعايرة عمليات قياس الارتفاع بواسطة الأقمار الصناعية.⁸

يعتبر تعرض دولة الإمارات العربية المتحدة المحتمل للأثار الناجمة عن ارتفاع مستوى سطح البحر، نظرًا للظروف الاجتماعية والاقتصادية الحالية والزيادات السكانية المتوقعة في المناطق الساحلية، مسألة ذات أهمية.

من المحتمل أن يؤثر ارتفاع مستوى سطح البحر على النطاق الكامل للبيئة الطبيعية والمبنية الواقعة على طول الساحل بدولة الإمارات العربية المتحدة. ويُرجح أن تكون تدابير حماية الخط الساحلي الحالية المعنية بحماية البنية التحتية الحيوية غير كافية في ظل ارتفاع مستوى سطح البحر في المستقبل إذ صُممت هذه التدابير في ظل ظروف مناخية مستقرة. ومن المرجح أيضًا أن تتأثر الموائل الطبيعية (مثل الأعشاب البحرية وأشجار القرم) تأثيرًا سلبيًا. وتتضمن الشواطئ المنخفضة والضحلة على طول الشريط الساحلي للخليج العربي خطر الغمر العالي على البيئة الطبيعية والمبنية. وعلاوة على ذلك، يُشكل ارتفاع مستوى سطح البحر إلى جانب ارتفاع حجم عرامات العواصف على طول الشريط الساحلي لخليج عمان تهديدًا على البيئة المبنية. وإذا ما تناولنا هذه العوامل معًا، يثير ارتفاع مستوى سطح البحر تساؤلات لسياسات هامة على الصعيد الوطني بشأن خطط التنمية والقرارات الاستثمارية الحالية والمستقبلية لكل إمارة. ويتم مناقشة نطاق البنية التحتية الساحلية المعرضة للخطر جزءًا من ارتفاع مستوى سطح البحر بشكل موجز في الأقسام الفرعية أدناه الخاصة بكل إمارة. وباستثناء أبوظبي، تركز المناطق المظللة باللون الأحمر على خرائط التوجيه في بداية كل قسم فرعي على المدى الساحلي الذي يتم اعتباره بأنه يضم أعلى نسبة من السكان والبنية التحتية المعرضة للخطر في كل إمارة على حدة. وفي الأقسام الفرعية أدناه، يتم تناول الإمارات كل على حدة حيث لا تُطبّق سياسات محددة لكل إمارة بشأن ارتفاع مستوى سطح البحر.

⁸ يقع المقياسان الأقرب لدولة الإمارات العربية المتحدة في البحرين وعمان. وكلاهما يُظهر أن اتجاهات حركة الأرض العمودية تتراوح بين -0.5 مم/سنة و 0.5 مم/سنة؛ وهو ما يُعد غير حاسم في الأساس.

تختلف خصائص الشريط الساحلي على الخليج العربي بشكل كبير عن خصائص الشريط الساحلي على خليج عمان (هيلير وأسبينال 2005).

يعتبر الشريط الساحلي على طول الخليج العربي أطول بكثير وعادة ما يتميز بالسبخات الساحلية المنخفضة الرملية والجزر بينما يعتبر الساحل الموجود على طول خليج عمان صخري. وعلاوة على ذلك، كان يوجد نمو اقتصادي اجتماعي قوي منذ تأسيس دولة الإمارات العربية المتحدة عام 1971، مع تركيز معظم هذه التنمية على طول الشريط الساحلي للخليج العربي.

يعتبر الخليج العربي في حد ذاته مسطحًا مائيًا داخليًا متصلًا، عن طريق مضيق هرمز، بخليج عمان المفتوح على المحيط الهندي.

في ظل تغير المناخ، من المتوقع أن يشهد الخليج العربي زيادات كبيرة في درجات حرارة سطح البحر وكذلك تغيرات في درجة الملوحة وأنماط الدوران. وقد تمت نمذجة مدى هذه التغيرات باعتبار ذلك جزءًا من مشروع فرعي منفصل متعلق ببرنامج LNRCCP وهذه النمذجة متاحة على الإنترنت في أداة فحص النمذجة الإقليمية للمحيطات (Regional Ocean Modeling Inspector). وإضافة إلى ذلك، تمت نمذجة آثار تحلية المياه على مياه الخليج العربي باعتبار ذلك جزءًا من مشروع فرعي آخر متعلق ببرنامج LNRCCP وهي متاحة في أداة الفحص الخاصة بتحلية المياه وتغير المناخ (Desalination and Climate Change Inspector) عبر الإنترنت.⁷ في المستقبل، يكون الانحسار الجليدي والتمدد الحراري العالمي هما العاملان الرئيسيان لارتفاع مستوى سطح البحر واللذان سيكون لهما التأثير الأكبر على المياه المحيطة بدولة الإمارات العربية المتحدة. من المتوقع أن تكون آثار الجاذبية (أي التحولات في مجال الجاذبية الأرضية الناجمة عن إعادة توزيع كتلة الأرض وديناميات المحيط/الغلاف الجوي) ضئيلة، كما عُلّم ذلك من خلال المشروع الفرعي للنمذجة الإقليمية للمحيطات ببرنامج LNRCCP. ومن المتوقع أن تكون أيضًا حركة الأرض العمودية (VLM) ضئيلة، حسبما أفادت التقارير من الملاحظات المحدودة في المنطقة من مبادرة نظام مراقبة مستوى المياه الساحلية "Système d'Observation du Niveau des Eaux Littorales"

⁷ للحصول على مزيد من المعلومات بشأن المشروعين الفرعيين الخاصين بالنمذجة الإقليمية للمحيطات وتحلية المياه وتغير المناخ وصلتهما بتغير الخواص المادية للخليج، بما في ذلك ارتفاع مستوى سطح البحر الديناميكي، يُرجى التواصل مع الفريق المعني بتغير المناخ في AGEDI على: lnrclimatechange@ead.ae.



3.2. سياق البيئة الساحلية الوطنية لدولة الإمارات العربية المتحدة

تتأخم دولة الإمارات العربية المتحدة كلاً من الخليج العربي وخليج عمان (انظر الشكل 3-4).

ويقع الساحل الغربي لدولة الإمارات العربية المتحدة بمحاذاة النهاية الجنوبية الشرقية من الخليج العربي، ويقع على الجانب الشرقي لدولة الإمارات العربية المتحدة ساحل صغير على طول خليج عمان. ويبلغ طول الشريط الساحلي لدولة الإمارات العربية المتحدة بأكمله، الواقع على طول كل من الخليج العربي وخليج عمان، ما يقرب من 1,318 كم. وهذا لا يشمل الشريط الساحلي للعديد من الجزر البحرية، ولا يشمل الطول الإضافي للساحل الناتج عن العديد من مشاريع التنمية التي تضم الأراضي المستصلحة من المحيط.

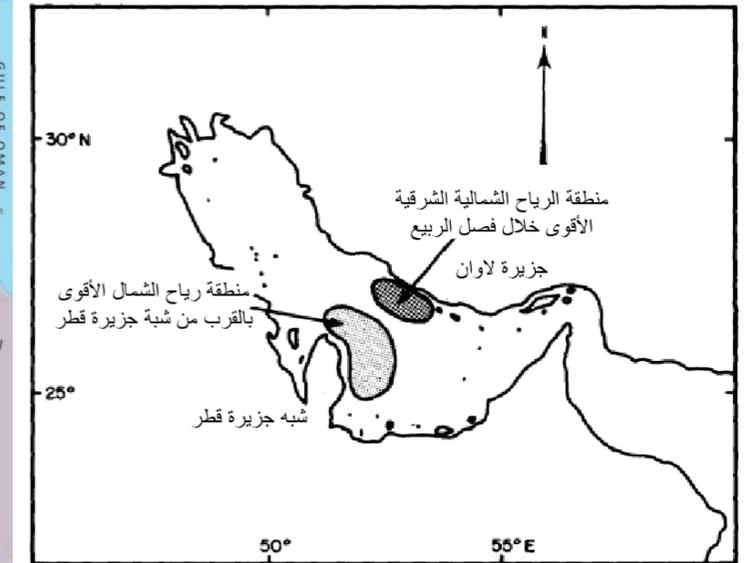
الشكل 3-4: خريطة المناطق الساحلية الإماراتية الواقعة على الخليج العربي وخليج عمان (المصدر: www.zu.ac.ae)



في جميع أنحاء منطقة الخليج العربي، ثمة مجموعة متنوعة من أنواع تدابير الحماية الساحلية يتم تطبيقها.

ويتم تحديد بعض تدابير وخيارات الحماية الساحلية "الصلبة" ومناقشتها في القسم 4 من هذه الدراسة التمهيدية. ومع ذلك، يوجد أنواع عديدة من الموائل الطبيعية، التي عادة ما توصف بأنها تدابير "ليننة"، توفر خدمات الحماية الساحلية الهامة في ظل ارتفاع مستوى سطح البحر الحالي وفي المستقبل. وقد تمت مناقشة مدى وقدرة الموائل الطبيعية على حماية السواحل وتوثيق ذلك في مشروع فرعي منفصل تابع لبرنامج LNRCCP وهي متاحة على الإنترنت في أداة فحص قابلية تأثر السواحل (Coastal Vulnerability Inspector).⁶

الشكل 3-3: منطقة رياح شمالية غربية أقوى من العادية (رياح الشمال) وأمواج عالية ناجمة عن الرياح (فينسيل وكلين 2009)



⁶ للحصول على مزيد من المعلومات بشأن المشروع الفرعي الخاص بمؤشر قابلية تأثر السواحل وصلته بارتفاع مستوى سطح البحر، يُرجى التواصل مع الفريق المعني بتغير المناخ في AGEDI على lnrclimatechange@ead.ae.



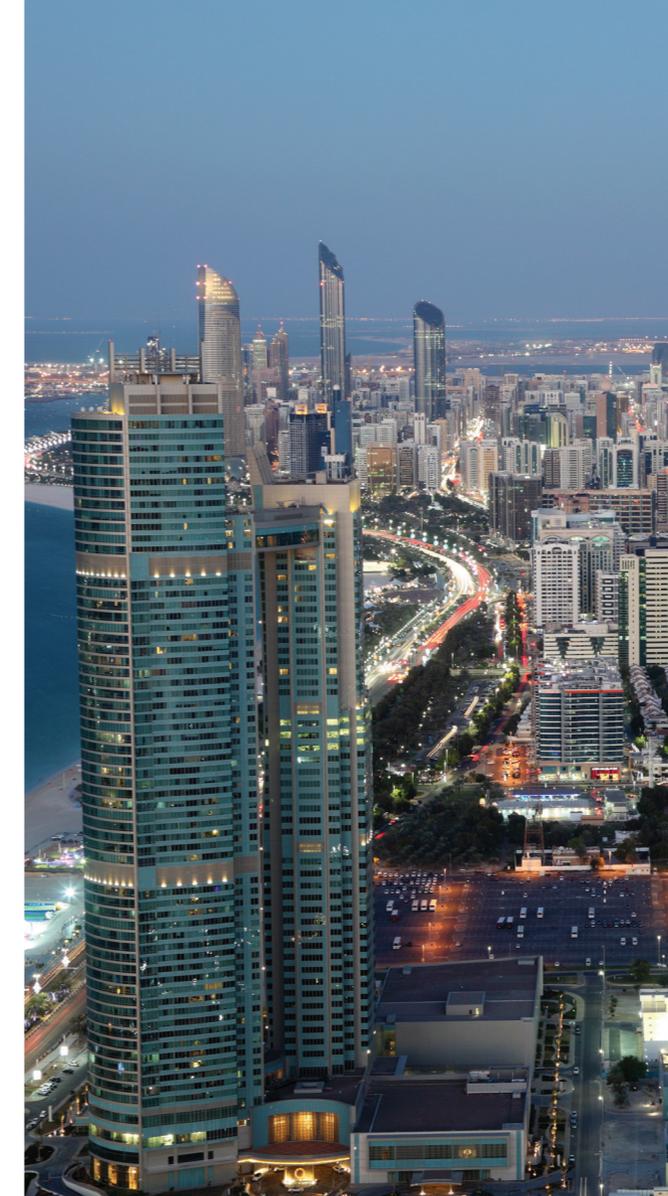
3.2.2. دبي

يعتبر الخط الساحلي لإمارة دبي أقصر من مثيله في أبوظبي.

يبلغ الطول الكلي للخط الساحلي في دبي حوالي 60 كم، رغم أنه من المتوقع أن تضيف المشروعات البحرية الجديدة مزيدًا من الخط الساحلي الذي قد يكون عرضة لآثار ارتفاع مستوى سطح البحر (مثل مشروع واجهة دبي البحرية، ونخلة جبل علي). وقد تم تطوير معظم الخط الساحلي بدبي، بدءًا من ميناء جبل علي في الجنوب حتى مدينة دبي في الشمال. ولم يتم تطوير منطقة أقصى الجنوب من ساحل دبي جنوب جبل علي إلى جانب محمية دبي البحرية الواقعة على الحدود بين دبي وأبوظبي. نخلة الجميرا هي مجموعة جزر صناعية برزت في الخليج العربي وبدأ إنشائها في عام 2001، مع تركيز شديد على البنية التحتية السكنية والسياحية. ويبلغ ارتفاع مستوى الجزيرة أربعة أمتار فوق متوسط ارتفاع المد والجزر، إلى جانب ارتفاع مستوى سطح البحر البالغ 50 سم والذي أدخل في تصميمها، إضافة إلى وجود حاجز إضافي للحماية من المد والجزر وعرافات العواصف وأعالي البحار (موريس 2010).

يقع الكثير من البنية التحتية والمباني في دبي إما على الخط الساحلي أو في الخليج وستكون معرضة لارتفاع مستوى سطح البحر في المستقبل.

ويقع كل من ميناء راشد وميناء جبل علي والأحواض الجافة العالمية بدبي وفندق برج العرب الأيقوني ومستشفى دبي الحكومي والعديد من الفنادق/المنتجعات على الواجهة البحرية مباشرة. في حين يقع مطار دبي الدولي على بعد ما يقرب من 3 كم عن الخط الساحلي. ومع ذلك، يحاط هذا المطار وغيره من البنى التحتية على طول الساحل بهياكل الحماية الساحلية الصلبة (أي حواجز الأمواج) التي يبلغ ارتفاعها من 3 أمتار إلى 4.25 متر فوق مستوى سطح البحر. ورغم ذلك، تقع الممتلكات والبنية التحتية التي تقدر قيمتها بمئات ملايين الدراهم في مكان عرضة للخطر نظرًا للشكوك المتعلقة بارتفاع مستوى سطح البحر.



3.2.1. أبوظبي

تعتبر أبوظبي أكبر الإمارات ولذلك فهي تمتع بأطول خط ساحلي من أي إمارة أخرى.

وتقع الإمارة على الجانب الجنوبي والغربي، بدءًا من حدود دولة الإمارات العربية المتحدة مع المملكة العربية السعودية وتمتد حتى الناحية الجنوبية من جبل علي في دبي. وتمتّع أبو ظبي بالعديد من الجزر الشاطئية والموائل الطبيعية التي يمكن أن تحمي الساحل من عرامات العواصف وظروف الأمواج الشديدة. وتستضيف العديد من هذه الجزر الشعاب المرجانية التي تعمل أيضًا على حماية الشريط الساحلي عن طريق تثبيت طاقة الأمواج. وثمة العديد من الشعاب البحرية على طول الطرف الغربي من الساحل. ويوجد عدد قليل من أشجار القرم في الجانب الذي يهب نحوه الريح من هذه الجزر، مع وجود مجموعة كبيرة من أشجار القرم حول مدينة أبوظبي. وتوجد أيضًا الأعشاب البحرية في المياه الأكثر هدوءًا بين الجزر والخط الساحلي.

يوجد تركيز كبير من البنية التحتية العامة على طول الشريط الساحلي لإمارة أبوظبي والذي سيكون عرضة لارتفاع مستوى سطح البحر في المستقبل.

يمتد الطريق السريع الساحلي E 11 على طول الساحل من الحدود مع المملكة العربية السعودية مرورًا بأبوظبي ومنها إلى دبي. ويقع معظم نظام الطريق السريع هذا بالقرب من الخط الساحلي للخليج (أي على بعد 3 كم). وفي المنطقة الغربية، توجد مصفاة تكرير الرويس، وهي أحد مجمعات التكرير الكبرى في العالم، وتقع على الساحل مباشرة. تقع مدينة أبوظبي ذاتها على جزيرة منخفضة عن مستوى سطح الأرض تعلو عن مستوى سطح البحر بما يقرب من 7 أمتار. وشهدت العديد من الجزر (على سبيل المثال جزيرة ياس وجزيرة السعديات) تطورًا سريعًا في السنوات الأخيرة، وكذلك الخط الساحلي خلف أبوظبي والاتجاه الشمالي الشرقي على طول الساحل. وتشمل البنية التحتية المعرضة للخطر جزءًا تغير المناخ مباني المكاتب والبنائيات السكنية الشاهقة والمدارس ومحطات تحلية المياه وتوليد الكهرباء ومراكز التسوق والمستشفيات.



3.2.4. عجمان

أصغر الإمارات كلها، بُنيت مدينة عجمان، عاصمة الإمارة، حول خور عجمان وتمتد على طول الشريط الساحلي بأكمله.

وشهدت عجمان أيضاً، مستفيدة بذلك من قربها من دبي والشارقة، تطوراً سريعاً يتسم بوجود العديد من المباني الشاهقة والبنى التحتية السياحية. وتوجد أشجار القرم الكبيرة في الطرف الشمالي من خور عجمان إلى جانب كونه محاطاً بالحد الأدنى من مشروعات تطوير البنية التحتية. وتُحاط هذه المنطقة بطرق نقل رئيسية تبعد عنها بمسافة تقل عن 200 متر. ويقع في الجنوب أراضي غير مطورة في الوقت الحالي، بينما يوجد على الجانب الآخر الشريط الجنوبي من الخور والذي يضم مرافق الموانئ والصناعات الملحقة، بما في ذلك مناطق التخزين مثل الأحواض الجافة بعجمان، ومنطقة عجمان الحرة. ويوجد بالشاطئ الجنوبي من عجمان العديد من المنتجعات الكبيرة، وقد تم تطويره على نطاق واسع بالمباني السكنية ومباني المكاتب ومباني البيع بالتجزئة في المنطقة المجاورة للخط الساحلي مباشرةً.



3.2.3. الشارقة

تعتبر الشارقة الإمارة الوحيدة التي تطل على كل من الخليج العربي وخليج عمان.

وهي تحيط أيضاً بإمارة عجمان، مما يؤدي إلى وجود خطين ساحليين منفصلين على طول الخليج العربي. ويعتبر الخط الساحلي الجنوبي بين عجمان ودبي مطوراً بشكل كامل. ويحتوي الساحل الجنوبي بين عجمان وأم القيوين على بنية تحتية أقل، على الرغم من وقوع مدينة الحميرة في هذه المنطقة. ومثل معظم ساحل الخليج العربي في دولة الإمارات العربية المتحدة، تقع الشارقة على سهل سبخات ساحلية حول الخليج، خور خيل الذي ينتهي في بحيرة ساحلية. ويوجد بحيرتان أخرتان عند الطرف الجنوبي من الشارقة، بحيرة الخان وبحيرة الممزر.

يعتبر الساحل الشمالي من الشارقة عبارة عن شاطئ وسبخة رملية، مع وجود مشروع ممرات مائية داخلية كبير يمتد على الحدود بين الشارقة وأم القيوين.

يقع العديد من المنتجعات والفنادق على شواطئ الشارقة فضلاً عن المواقع الثقافية الهامة. وتشمل هذه المواقع السوق المركزي ومتحف الشارقة للفنون ومنطقة التراث ومبنى الفنون والثقافة الإسلامية وكريستال بلازا. ويعتبر كل من ميناء خالد وطريق دبي - الشارقة السريع عرضة للخطر حيث يمتد الطريق السريع على مقربة من البحيرات الثلاث. وخلال العاصفة الأخيرة، غمرت المياه كورنيش الشارقة نتيجة لأثر الأمواج العالية التي يبلغ ارتفاعها 3 أمتار مما أدى إلى إغلاق الطريق (آرثر وجارلاند 2016). وتضم مدينة الحميرة ناحية الشمال الميناء ومحطة الكهرباء وسلطة المنطقة الحرة الخاصة بها، وتعتبر هذه المنشآت عرضة لخطر أحداث الفيضانات الناجمة عن ارتفاع مستوى سطح البحر. ويحد الخليج الرئيسي بمراسي السفن ويحاط بمستودع وأحواض بناء السفن ومنشآت صناعية. ويقع خور الحميرة إلى الشمال مباشرة من هذا الخليج وتحيط به العقارات السكنية وبيع التجزئة.



3.2.6. رأس الخيمة

يوجد بإمارة رأس الخيمة الخط الساحلي الأكثر تعقيداً من الناحية الجيولوجية نتيجة لقرب جبال الحجر مما يعمل على إضافة الرواسب والمراوح الغرينية إلى السهل الساحلي.

يتم تغطية الجزء الجنوبي الأوسع من السهل بالكثبان الرملية، ويضيق السهل باتجاه الشمال حيث تلتقي جبال الحجر في النهاية مع الخليج (جودي وآخرون 2000). وربطت مشاريع استصلاح الأراضي في الجنوب جزيرة صغيرة، تقع بها بلدة الجزيرات، بالبر الرئيسي. ويعتبر مشروع استصلاح الأراضي في جزيرة المرجان مشابهاً لبعض مناطق التنمية الحضرية الكبيرة الموجودة بأماكن أخرى في دولة الإمارات العربية المتحدة، وتعمل العديد من الجزر الحاجزة على حماية أشجار القرم وجزء من مدينة رأس الخيمة.

تم بناء مدينة رأس الخيمة القديمة على امتداد منخفض من الرمال التي خلفها خور رأس الخيمة.

وينتهي هذا الخليج في بحيرة ساحلية كبيرة تحتوي على غابة كبيرة من أشجار القرم. وتعتبر جزر سرايا جزراً حاجزة طويلة بالقرب من الشاطئ تمتد شمالاً لما يقرب من 7 كم، وتحمي الأحياء الشمالية لرأس الخيمة من العواصف خلال أحداث رياح الشمال. وتحيط مدينة رأس الخيمة البحرية بخليج اصطناعي مع ميناء صقر، الذي يعد أكبر مرفق ميناء في المنطقة. ويضيق السهل الساحلي بدءاً من الميناء حتى الحدود مع عمان. ويوجد عدد من أشجار القرم التي تحيط بها البنية التحتية للنقل والبناء، ويعتبر ساحل رأس الخيمة مطوراً بشكل كبير من خلال المباني الحكومية والمدارس والمسكن ومشاريع التنمية التجارية والمنتجات التي ستكون معرضة للخطر بسبب ارتفاع مستوى سطح البحر في المستقبل.



تحمي الجزر الحاجزة معظم الخط الساحلي لإمارة أم القيوين من الأمواج العالية التي تنشأ أثناء أحداث رياح الشمال خلال فصل الشتاء.

وتغطي العقارات السكنية والتجارية والسياحية شبه الجزيرة في حين يمر الطريق السريع E-11 من على بُعد كيلومتر واحد عن الخط الساحلي في عدة أماكن. وتسمح الجسور الجديدة للطريق السريع E-11 بالمرور فوق مسطحات المد والجزر مما يسهل من تدفق المياه الطبيعية من أجل دعم سلامة مسطحات المد والجزر في المنطقة. ويكون أحد مرافق الميناء الصغيرة الذي تم إنشاؤه لحماية أشجار القرم والجزر الحاجزة عرضة لمخاطر ارتفاع مستوى سطح البحر.

3.2.5. أم القيوين

تقع إمارة أم القيوين في شبه جزيرة صغيرة ومنخفضة تمتد شمالاً حتى الخليج العربي وتقع شمال الحدود مع إمارة الشارقة مباشرة.

ويوجد، خلف منطقة العاصمة، ما يقرب من 25 كم من الخط الساحلي المفتوح في الغالب والذي يتكون من مناطق السيخة ومسطحات المد والجزر والمستنقعات المالحة. كلما تدفقت التيارات شمالاً وشرقاً على طول الساحل، تُركت الرواسب وراء شبه الجزيرة هذه مكونةً جزراً حاجزة رملية بالقرب من الشاطئ، مثل جزيرة السينية التي تحمي إحدى مناطق المد والجزر واسعة النطاق التي تم الاعتراف بأهميتها الدولية للطيور المائية المهاجرة (UAE Interact).



Google Image



4.1. تدابير التكيف في المناطق الساحلية

تتوافر مجموعة متنوعة من تدابير التكيف في المناطق الساحلية.

على المستوى الأساسي، تتوافر ثلاثة أنواع من تدابير التكيف، كما هو موضح في الشكل 4-1 وعلى النحو الموضح في النقاط الواردة أدناه (كلاين وآخرون، 2001؛ نيكولز وآخرون، 2007):

- تدابير الحماية، هي تدابير دفاعية وأنشطة أخرى تعمل على حماية المناطق بشكل طبيعي من الغمر وفيضان المد والجزر وآثار الأمواج على البنية التحتية وتآكل الشواطئ وتسرب الملوحة وفقدان الموارد الطبيعية. وقد تكون تدابير الحماية عبارة عن حلول هيكلية "صلبة" أو "لينة" (انظر القسم 4.1.1).

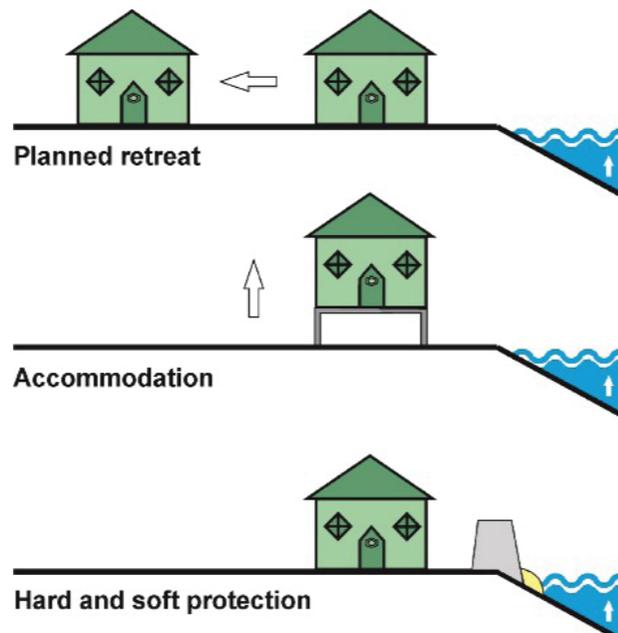
- تدابير التكيف، هي تدابير تنطوي على الإشغال والاستخدام المستمر للمناطق الساحلية ولا تقي الأرض من الغمر بالمياه. وبدلاً من ذلك، تزيد تدابير التكيف من قدرة الأفراد على التعامل مع الآثار الناجمة عن الظواهر المناخية الشديدة. وتشمل تدابير التكيف إنشاء ملاجئ من الفيضان في حالات الطوارئ أو رفع المباني على ركائز أو تحويل الزراعة إلى زراعة الأسماك أو زراعة المحاصيل من الفيضانات أو المحاصيل المتحملة للملوحة. وتبعد غالبية المزارع في دولة الإمارات العربية المتحدة عن الخطوط الساحلية الموجودة بها.

- تدابير التراجع، وهي تدابير تنطوي على الانسحاب من الساحل. وقد يكون هذا إما بشكل استباقي ومخطط له وإما بشكل رجعي وغير مخطط له في شكل تراجع اضطراري. وتقلل تدابير التراجع من الآثار المحتملة الناجمة عن التعرية أو الفيضان وذلك من خلال الحد من التعرض الساحلي (أي السكان والأصول والبنية التحتية وما إلى ذلك في السهل الفيضي). وقد تنطوي هذه المسألة على الحيلولة دون التنمية في المناطق الساحلية أو السماح بإجراء التنمية بشرط أن يتم التخلي عنها إذا لزم الأمر.

يعرض هذا القسم من الدراسة التمهيديّة مجموعة أدوات لصانعي القرارات المتعلقة بالمناطق الساحلية المكلفين بوضع الخطط المستقبلية في ظل التهديد الذي يشكله ارتفاع مستوى سطح البحر

وتنقسم مجموعة الأدوات إلى ثلاثة أقسام فرعية. يعرض القسم الفرعي الأول لمحة عامة عن تدابير وسياسات التكيف شائعة الاستخدام. ويعرض القسم الفرعي الثاني لمحة عامة عن عملية التكيف ويوضح ذلك من خلال إطارين من أطر التكيف على النحو المستخدم في العديد من الأماكن الإقليمية. بينما يركز القسم الفرعي الثالث على خطوة واحدة من عملية التكيف، وهي تقييم خيارات التكيف. ويقدم أطر اتخاذ القرارات ذات الصلة بتقييم خيارات التكيف في المناطق الساحلية.

الشكل 4-1: تدابير التكيف الممكنة لمعالجة ارتفاع مستوى سطح البحر. المصدر: (براون وآخرون، 2013)



3.2.7. الفجيرة

تقع إمارة الفجيرة على طول الشاطئ الشرقي لدولة الإمارات العربية المتحدة.

تتميز التضاريس، المواجهة لخليج عمان، بالرواسب الرسوبية من جبال الحجر مع كمية كبيرة من التربة الصخرية وقليل من الرمال. ويطل هذا الشريط الساحلي على بحر العرب. وتندرج جبال الحجر إلى الساحل من خلال الشرائط الضيقة للسهل الساحلي المستخدم لأغراض التنمية. وتعد الفجيرة المدينة الكبيرة الوحيدة التي تقع على طول هذا الساحل، وبها مرافق الموانئ التي يمكن أن تستوعب السفن السياحية وسفن الحاويات وناقلات النفط. وقد أدى خط الأنابيب الذي يمتد من أبوظبي إلى الفجيرة إلى توسيع هذا المرفق الهام، وبإمكان السفن، من خلال المرفق الذي تم إنشائه على الساحل الغربي، تجنب مضيق هرمز الضيق والذي يعتبر بالفعل أحد أكثر ممرات السفن ازدحاماً في العالم.

شهد السهل الساحلي الضيق الكثير من التنمية؛ ويوجد العديد من المنتجعات واسعة النطاق على الساحل الشمالي بالقرب من مدينة دبا.

إضافة إلى الميناء، تضم مدينة الفجيرة العديد من المرافق الهامة التي قد تكون عرضة للخطر بسبب ارتفاع مستوى سطح البحر في خليج عمان. وتشمل هذه المرافق خزانات كبيرة للنفط ومرافق تصدير ومخزن ومشروعات تنمية صناعية موجودة حول الميناء. وتقع المحطة المتكاملة لتوليد الكهرباء وتحلية المياه الكبيرة في الفجيرة على الساحل عند الطرف الشمالي من الفجيرة والتي تعد أكبر محطة لتحلية المياه المختلطة في العالم. وقد تأثر هذا الساحل بشكل كبير بسبب إعصار جونو المداري الذي اجتاز خليج عمان في عام 2007 مما تسبب في فيضانات شديدة بمجرد وصوله إلى الفجيرة. وتم إغلاق الطريق من الفجيرة إلى كلباء بسبب الفيضانات، وذكرت تقارير أن ارتفاع الأمواج بلغ 10 أمتار. ومع ارتفاع مستوى سطح البحر، سيشكل هذا النوع من عرامات العواصف مخاطر أعلى من الفيضانات وغيرها من الأضرار المصاحبة للعواصف.





تعتمد اقتصاديات البدائل اللينة في مقابل البدائل الصلبة على عدة عوامل.

وتتضمن هذه العوامل معدل التآكل التاريخي والحجم الحبيبي النسبي لمادة الردم وحجم المقطع العرضي لردم الشاطئ وطوله. وتهدف البدائل اللينة إلى الحفاظ على مرونة موقع الخط الساحلي والظروف الطبيعية للشواطئ حتى مع انتهاء عمر التصميم، وبذلك تحافظ على العديد من خدماتها البيئية والترفيهية.



• **بوابات المد والجزر والفيضانات:** البوابات هي مصدات فيضانات قابلة للضبط تُستخدم للسيطرة على تدفق المياه. ويمكن غلق البوابات عند الطلب لوقف تدفق المياه أثناء الظواهر الشديدة.

• **حواجز منع تسرب المياه المالحة:** حواجز تدفق للسيطرة على تسرب مياه البحر في أنظمة المياه الجوفية الساحلية. ويمكن بناء هذه الحواجز تحت السطح.

وبينما تمنع المصدات الصلبة القوى الطبيعية من التفاعل مع المنطقة المحمية، يتم دمج التقنيات الهندسية النظرية في العمليات الطبيعية لتجنب الآثار السلبية للمصدات الصلبة.

وبينما تكون التدابير العملية رد فعل مخصص غالباً للأخطار الساحلية، فإن التدابير النظرية تكمن في التحول نحو نهج أكثر شمولية وفعالية. وتوضح النقاط التالية بعض التدابير اللينة الرئيسية:

• **تغذية الشواطئ:** تغذية الشواطئ هي إضافة مصنعة لرواسب ذات جودة مناسبة إلى منطقة شاطئية بها نقص في الرواسب. وكأحد تدابير التكيف، تستخدم تغذية الشواطئ بشكل رئيسي لمقاومة تآكل الخط الساحلي. ومع ذلك، قد يكون انخفاض الفيضانات ميزة إضافية لصيانة الشواطئ.

• **تجديد الكثبان و/أو إنشاءها:** تُشير عملية تجديد الكثبان و/أو إنشاءها إلى إعادة الكثبان الطبيعية أو المصطنعة إلى حالة وظيفية عامة أفضل، وذلك لتحقيق أقصى قدر من الحماية الساحلية. وبعد إنشاء الكثبان المصطنعة وإعادة تأهيلها من التقنيات التي تهدف إلى الحد من تآكل السواحل ومن الفيضانات على المناطق المنخفضة القريبة من السواحل.

• **تجديد الأراضي الرطبة و/أو إنشاءها:** تشيع عملية تجديد الأراضي الرطبة و/أو إنشاءها للحماية الساحلية في المستنقعات المالحة وأشجار القرم. ويهدف تجديد الأراضي الرطبة، كما هو حال تجديد الكثبان، إلى الحد من تآكل السواحل والفيضانات على حد سواء.



• **جميع أشكال الحواجز أو الأرصفة البحرية:** تتمثل الوظيفة الأساسية للحواجز البحرية في حماية المناطق الساحلية المنخفضة سواءً من غمر مؤقت خلال الظواهر الشديدة لمستوى سطح البحر (عرامات العواصف والأعاصير المدارية وما إلى ذلك) أو غمر دائم بسبب ارتفاع مستوى سطح البحر.

• **الجدران البحرية والتكسية والحواجز:** على العكس من الحواجز، تتمثل الوظيفة الأساسية للجدران البحرية في منع حدوث مزيد من تآكل الخط الساحلي. ومع ذلك، فإن لها وظيفة ثانوية وهي أنها تعمل كمصدات للفيضانات الساحلية.

• **كاسرات الأمواج:** تعمل كاسرات الأمواج على حماية السواحل من التآكل. وفي حين أنه يتم بناء الجدران البحرية بمحاذاة الخط الساحلي، إلا أن كاسرات الأمواج تُبنى بشكل متعامد. وعلى العكس من الجدران البحرية، لا تحقق هذه الكاسرات فائدة إضافية لصد الفيضانات.

• **ملاطم الأمواج المنفصلة:** ملاطم الأمواج المنفصلة هي هياكل يتم بناؤها بمحاذاة الخط الساحلي لصد الأمواج. ويتم بناؤها داخل البحر بعكس الجدران البحرية. وتتمثل الوظيفة الأساسية لملاطم الأمواج في كسر الأمواج وبالتالي منع تآكل البنية التحتية الساحلية الأساسية الهشة وحمايتها (مثل المراسي). يتم تمييز الملاطم البعيدة عن الشاطئ والملاطم الساحلية والملاطم الشاطئية بحسب بعدها عن الخط الساحلي والذي يمكن أن يتفاوت بين 10 إلى 1,000 متر.

الشكل 4-2: أمثلة على تدابير حماية الخطوط الساحلية





تتضمن تدابير التكيف الصلبة جميع التدابير التي تُعزز الفهم والوعي بالمخاطر الساحلية وتمكن سكان المناطق الساحلية من اتخاذ الاستجابات المناسبة تجاه الأحوال المتقلبة.

يسعى هذا القسم من الدراسة التمهيدية إلى تسليط الضوء على مجموعة الخيارات؛ ويسعى القسم التالي من الدراسة التمهيدية إلى توفير إطار للاختيار من بينها، وذلك بالنظر إلى الظروف الوطنية. وتوضح النقاط التالية بعض التدابير اللينة الأكثر بروزاً:

- **رسم خرائط لأخطار الفيضانات:** يحدد رسم الخرائط الخاصة بأخطار الفيضانات تلك المناطق المعرضة لخطر الفيضانات في ظل الأحوال المتقلبة. وتهدف بشكل أساسي إلى الحد من آثار الفيضانات الساحلية، وذلك على الرغم من إمكانية تحديد المناطق المعرضة لمخاطر التآكل أيضاً. ويعزز رسم الخرائط الخاصة بأخطار الفيضانات الوعي بمخاطر الفيضانات ويقدم المزيد من تدابير التكيف بالمناطق المعرضة للمخاطر العالية.
- **أنظمة التحذير من الفيضانات:** أنظمة التحذير من الفيضانات هي وسائل للكشف عن حالات الفيضان قبل وقوعها. وبالتالي يتم تحذير عامة الأفراد بحيث يتمكنوا من اتخاذ الإجراءات المناسبة للحد من التعرض للفيضانات الساحلية.
- **أنظمة التأمين:** تُعتبر أنظمة التأمين أحد تدابير التكيف التي تهدف إلى تمكين سكان المناطق المعرضة للمخاطر من التعامل مع الآثار الاقتصادية للفيضانات. ويمكن دمج أنظمة التأمين مع تدابير التكيف الأخرى. فعلى سبيل المثال، قد يحصل ملاك المنازل على تخفيض في تكاليف التأمين، إذا قاموا بتنفيذ تدابير مقاومة الفيضانات في ممتلكاتهم. ومع ذلك يمكن استخدام التأمين كتدبير تراجع. فعلى سبيل المثال، يزيد التأمين القائم على المخاطر تكلفة التأمين بالنسبة لأصحاب الممتلكات المعرضة بشكل أكبر لمخاطر الفيضانات، وبالتالي، تقديم حوافز لإقامة الممتلكات خارج سهل الفيضان.



4.1.2. تدابير التكيف

تشمل تدابير التكيف الإشغال والاستخدام المستمرين للمناطق المنخفضة عن طريق زيادة قدرة المجتمعات المحلية على التعامل مع الأحوال المتقلبة.

ويجب تنفيذ تدابير التكيف بشكل استباقي لأنها تتطلب تخطيطاً مسبقاً. وكما هو الحال في تدابير الحماية، يمكننا أن نُميز بين تدابير التكيف الصلبة واللينة. تتضمن التدابير الصلبة جميع التقنيات التي تنطوي على إحداث تغييرات فيزيائية للتكيف مع تزايد الفيضانات والتآكل. وقد تم توضيح هذه التقنيات في النقاط التالية.

- **رفع مستوى الأرض:** يهدف رفع مستوى الأرض أو استصلاحها في المقام الأول إلى إنشاء مناطق مقاومة للفيضانات، ويكون ذلك عادةً عن طريق ردم المناطق المنخفضة بالرمال أو التربة، مثلاً.
- **مقاومة المباني والبنية التحتية للفيضانات:** تهدف عملية مقاومة الفيضانات بشكل أساسي إلى الحد من آثار الفيضانات الساحلية على المباني أو البنية التحتية أو حتى تجنبها. وتتضمن تدابير مقاومة الفيضانات الارتفاع بحالة المباني/الهيكل، من خلال توظيف تصميمات ومواد بناء تجعلها أكثر صموداً في مواجهة آثار الفيضانات ومقاومة المياه. وغالباً ما يتم دمج عملية مقاومة الفيضانات مع التأمين، الذي يمكن تصميمه لتقديم حوافز للأسر أو الشركات لاتخاذ تدابير لمقاومة الفيضانات.
- **تحسين أنظمة الصرف:** تهدف عملية إدخال أو تحسين أنظمة الصرف إلى إنشاء مناطق مقاومة للفيضانات عن طريق الحد من الغمر الناجم عن تشبع الأرض بالماء. تعتبر عملية تحسين أنظمة الصرف جزءاً لا يتجزأ من أي استراتيجية للتكيف. راجع على سبيل المثال: <http://www.ucsusa.org/global-warming/global-warming-impacts/tidal-flooding-sea-level-rise-miami-dade-county-florida#.WH5u8xsrKUk>



- **تحديد تدابير التكيف.** تهدف هذه المرحلة إلى تحديد تدابير التكيف التي يحتمل تطبيقها.
 - **تقييم خيارات التكيف.** يتمثل الهدف من هذه المرحلة في الاختيار من بين خيارات أو استراتيجيات التكيف البديلة (أي مجموعات التدابير).
 - **تخطيط خيارات التكيف وتنفيذها.** تستهدف هذه المرحلة تنفيذ الخيارات.
 - **المراقبة والتقييم.** تهدف هذه المرحلة إلى مراقبة عملية التنفيذ والنتائج التي يتم تحقيقها وتقييم ما يتم إنجازه والاستفادة من الخبرات المكتسبة.
- سنقوم فيما يلي بتوضيح هذه المراحل الواسعة بمساعدة ثلاثة أطر تكيف بارزة وتبسيط الضوء على بعض من خصائصها والتأكيد عليها.

4.2. أطر التكيف

تم وضع مجموعة واسعة من الأطر لعملية التكيف وتم تطبيقها في بيئات إقليمية متنوعة.

وعلى الرغم من هذا التنوع، هناك اتفاق واسع النطاق بأن هذه العملية هي عملية تعلم متكررة تشمل عدة مراحل عامة يمكن تلخيصها على النحو التالي (برنامج PROVIA، 2013):

- **تحديد متطلبات التكيف (قابلية التعرض والأثار المحتملة والقدرة على التكيف).** تهدف هذه المرحلة إلى الحصول على مزيد من المعلومات حول المخاطر والفرص التي تتم مواجهتها في سياق معين. ما هي الأثار المتوقعة في ظل التغير المناخي؟ هل الأطراف الفاعلة المعرضة للخطر على دراية بالتهديد؟ ما هي القرارات الرئيسية التي تلزم معالجتها؟



في المقابل، تحاول تدابير التراجع الاستباقية توجيه التطوير بعيداً عن المناطق الساحلية لتجنب الإنشاء في مناطق متعرضة للمخاطر والتي ستكون عرضة لخطر الفيضانات أو التآكل في ظل ارتفاع مستوى سطح البحر (SLR) في المستقبل.

وتتضمن هذه التدابير ما يلي:

- **مناطق الارتداد:** تحدد عمليات الارتداد الساحلي مسافة محددة لعلامة ساحلية (على سبيل المثال أعلى خط ساحلي خلال المد التام)، يكون التطوير فيها محدوداً أو محظوراً بموجب التشريعات (كامبرز 1998؛ روشيت وآخرون 2010). ويمكن تحديد مناطق الارتداد من حيث المسافة الأفقية (للحد من مخاطر التآكل) أو الارتفاع (للحد من مخاطر الفيضانات).
- **خطط استخدام الأراضي:** يمكن أن تأخذ تدابير التراجع شكل تغييرات في خطط استخدام الأراضي. فإذا أعيد تصنيف الأراضي الساحلية، التي كان من المخطط لها سابقاً أن تكون مناطق سكنية، كأراض زراعية، يتم تجنب إجراء مزيد من أعمال التطوير وبالتالي الحد من التعرض للظواهر الساحلية.

- **التخطيط للطوارئ:** يهدف التخطيط للطوارئ إلى التعامل مع حالات الفيضان فور حدوثها. وعادة ما يتم دمجها مع أنظمة التحذير من الفيضانات. فبينما ينذر نظام التحذير من الفيضانات بالظاهرة قبل حدوثها، تعمل خطة الطوارئ على الحد من التعرض لهذه الظاهرة.

4.1.3. تدابير التراجع

تشمل تدابير التراجع جميع أشكال الانسحاب من الساحل وبالتالي الحد من التعرض للفيضان والتآكل

وتعمل تدابير التراجع على الحد من التأثيرات المحتملة لظواهر التآكل أو الفيضان. ويمكن تنفيذ الانسحاب بشكل تفاعلي كاستجابة للتهديدات القائمة وكذلك بشكل استباقي كتكيف مع الظروف المستقبلية. وتتضمن تدابير التراجع التفاعلي ما يلي:

- **التراجع غير المخطط له استجابةً للأحوال المتقلبة:** يعتبر التراجع غير المخطط استجابةً للأحوال المتقلبة. يغادر السكان المناطق المغمورة بالمياه ولا تُسكن مرة أخرى.
- **التعديلات المنظمة:** التعديلات المنظمة هي عملية مقصودة لتغيير مصدات الفيضانات للسماح بغمور مناطق كانت محمية بالمصدات فيما مضى. وتتضمن هذه العملية غالباً نقل المنازل والبنى التحتية بالإضافة إلى تركيب مصدات جديدة. وغالباً ما تتحول الأراضي المهجورة إلى أراض رطبة (مستنقعات مالحة). وبالتالي تحد عملية التعديلات المنظمة عادةً من مخاطر الفيضانات أيضاً من خلال تعزيز حماية السواحل.



Dubai Pixaby





4.2.2. أداة دعم التكيف الخاصة بالمنصة الأوروبية للتكيف مع المناخ

شاركت المفوضية الأوروبية والوكالة الأوروبية للبيئة (EEA) في إعداد المنصة الأوروبية للتكيف مع المناخ (Climate-ADAPT).

وتحتوي المنصة على أداة لدعم التكيف تهدف إلى "مساعدة المستخدمين في تطوير سياسات للتكيف مع تغير المناخ من خلال تقديم توجيهات وروابط للمصادر ذات الصلة والأدوات المخصصة لذلك." (الوكالة الأوروبية للبيئة، 2013). وتعتمد أداة الدعم على نموذج مراحل لدورة السياسة، وتؤكد على أن التكيف عملية متكررة مما يعني حث المستخدمين على إعادة النظر في الخطوات المختلفة حسب الضرورة. ويتم إجراء ذلك "لضمان أن تكون قرارات التكيف قائمة على بيانات ومعرفة وسياسات حديثة [...] وسيسمح أيضاً بمراقبة حالات النجاح والإخفاق وتقييمها في الحال وتشجيع التعلم التكيفي." (الوكالة الأوروبية للبيئة، 2013).

تعتمد الأداة على معالج التكيف الخاص ببرنامج UKCIP ومختلف أطر تقييم المخاطر وتستمد منها.

تتمثل خطوات أداة دعم التكيف فيما يلي:

- 1) الشروع في العمل؛
- 2) تقييم المخاطر وقابلية التعرض لتغير المناخ؛
- 3) تحديد خيارات التكيف؛
- 4) تقييم خيارات التكيف؛
- 5) التنفيذ؛
- 6) المراقبة والتقييم.



Abu Dhabi Pixaby



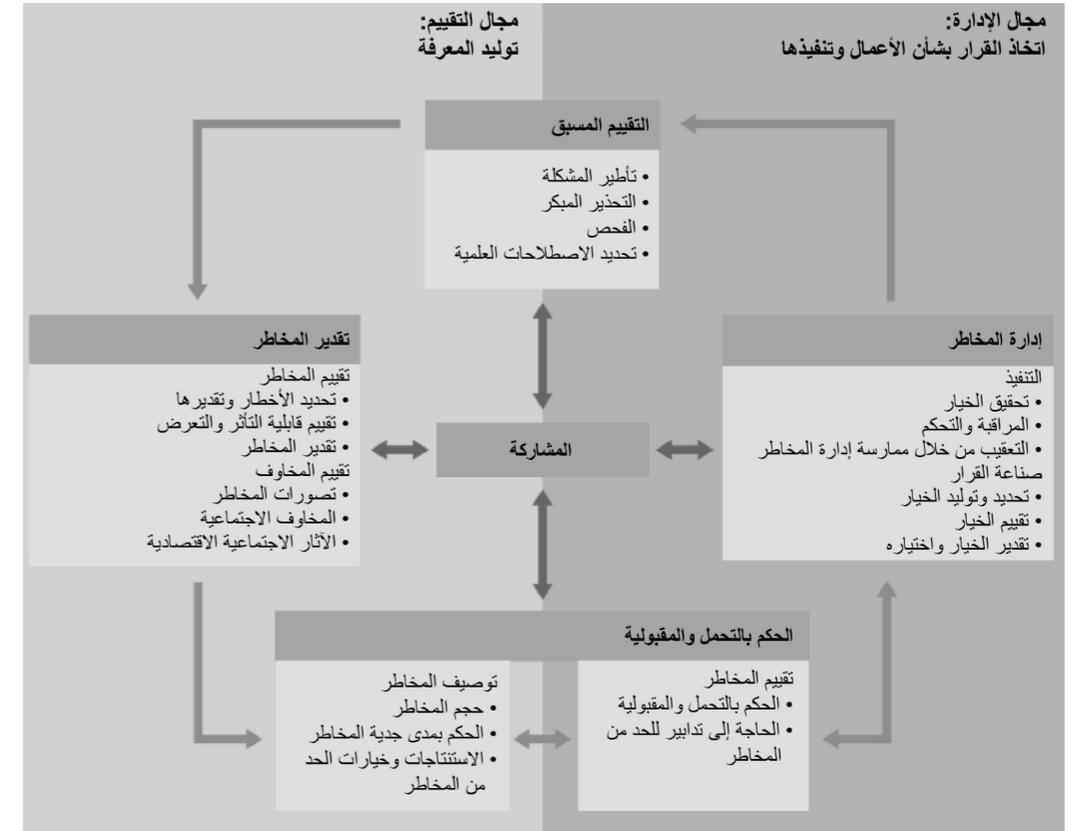
تكرار التقييم كلما توفرت معلومات جديدة. ويتم تشجيع التعقيب والتكرار، وبالتالي يمكن صقل المشكلة والهدف ومعايير صناعة القرار. وتهدف المراحل 3 و4 و5 إلى تمكين صانع القرار من التفريق بين العوامل المناخية وغير المناخية وتحديد ما إذا كان من الضروري إجراء تحليل أكثر تفصيلاً.

4.2.1. أطار المخاطر وعدم التيقن وصناعة القرار الخاص ببرنامج UKCIP

يعتبر إطار المخاطر وعدم التيقن وصناعة القرار الخاص ببرنامج UKCIP (UKCIP, 2003) أحد أبرز الأطر المخصصة بشكل خاص للتكيف مع تغير المناخ (أنظر الشكل 4-3).

هناك العديد من الخصائص الهامة للإطار. فهو دائري، ويقترح

الشكل 4-3: عملية حوكمة المخاطر. المصدر: IRGC (2005)





4.3. نُهج إدارة المخاطر

استعراض القسم الفرعي السابق أطر العمل التي تغطي عملية التكيف برمتها.

والآن يركز القسم الفرعي الحالي على ما يطلق عليه أطر إدارة المخاطر أو صناعة القرار والتي قد تكون ملائمة لخطوة تقييم خيارات التكيف الساحلي في سياق تخطيط الإمارات العربية المتحدة. وتتناول جميع الأقسام الفرعية الأربعة المضمنة في هذا القسم جانباً مهماً من إدارة المخاطر. ويتم عرض معالجتها على مستوى تأسيسي (أي غني بالمعلومات وليس مستفيضاً).

بشكل عام، يتعين تقييم خيارات التكيف في ضوء جميع المعارف المتوفرة.

وهذا يشتمل على جميع أوجه عدم التيقن والغموض بين آراء الخبراء ونهجهم المختلفة، لأن مراعاة عدم التيقن والغموض بشكل جزئي فقط قد يؤدي إلى تضليل القرار المتعلق بخيارات التكيف مما قد يؤدي بدوره إلى سوء التكيف (جونز وآخرون 2014؛ رين 2008). وفي حالة اتخاذ القرارات الساحلية طويلة المدى التي تُفسر ارتفاع مستوى سطح البحر في المستقبل، يلزم مراعاة بُعدين رئيسيين لعدم التيقن هما:

- عدم التيقن بشأن التغيرات المتوسطة والقصوى لمستوى سطح البحر، بما في ذلك ارتفاع متوسط مستوى سطح البحر الناتج عن تغير المناخ عالمياً وإقليمياً وحركة الأرض العمودية المحلية (بسبب التعديل الجليدي المتوازن والحركات التكتونية وهبوط الأرض) وتغيرات المد والجزر والعرامات والأمواج.
- عدم التيقن بشأن التطور الاجتماعي الاقتصادي بما في ذلك تطور السكان والنمو الاقتصادي وسعر رأس المال المستخدم في الاستثمارات، وما إلى ذلك.

• تهدف مرحلة **تقدير المخاطر** إلى توفير قاعدة معرفية للقرار المجتمعي المتعلق بكيفية التعامل مع المخاطر. وهي تتألف على حد سواء من تقييم علمي للخواص الفيزيائية للمخاطر (الأخطار، وقابلية التعرض للمخاطر، وقياس المخاطر) بالإضافة إلى تقييم المخاوف والتساؤلات الاجتماعية المرتبطة بها.

• تهدف مرحلة **توصيف المخاطر وتقييمها** (تسمى "الحكم بإمكانية التحمل والمقبولية" في الشكل 3) إلى تقرير ما إذا كانت المخاطر مقبولة أو يمكن تحملها. يشير مصطلح توصيف المخاطر إلى الأدلة العلمية المعنية، ويشير تقييم المخاطر إلى الحكم التقديري للشركاء المعنيين.

• أخيراً، تهدف **مرحلة إدارة المخاطر** إلى تحديد خيارات إدارة المخاطر المناسبة وتنفيذها. ويتم تقييم خيارات إدارة المخاطر مقابل مجموعة واسعة النطاق من المعايير مثل الفعالية والكفاءة والآثار الجانبية الخارجية والاستدامة والإنصاف ومدى القبول الأخلاقي والقبول العام.

تعتبر مشاركة المخاطر أمراً وثيق الصلة بجميع المراحل الأربعة لتعزيز الفهم المتبادل بين جميع الأطراف الفاعلة المشاركة وكذلك تقبل وجهات النظر المتعارضة.

ومن الأهمية بمكان الإشارة إلى أن إطار IRGC ليس إطاراً موحد الحجم بحيث يناسب جميع الصفات ولكنه عبارة عن مجموعة من الاستراتيجيات والوسائل والأدوات التي تعتمد قابليتها للتطبيق على السياق، نظراً لأن عملية حوكمة المخاطر يجب أن تتسم بالمرونة وأن تكون مفتوحة للتكيف مع السياق الخاص بكل مخاطرة (رين 2008).



ويستند هذا الإطار إلى مؤلفات وخبرات تمتد لعقود من بحث المخاطر وممارسة إدارتها ويأتي استجابة لتزايد التحديات المعقدة والمتشابكة، المرتبطة بالمخاطر الرئيسية التي تواجه المجتمعات. ويضع المجلس تصوراً مفاهيمياً لحوكمة المخاطر في المراحل الأربعة المتكررة التالية (انظر الشكل 4-4):

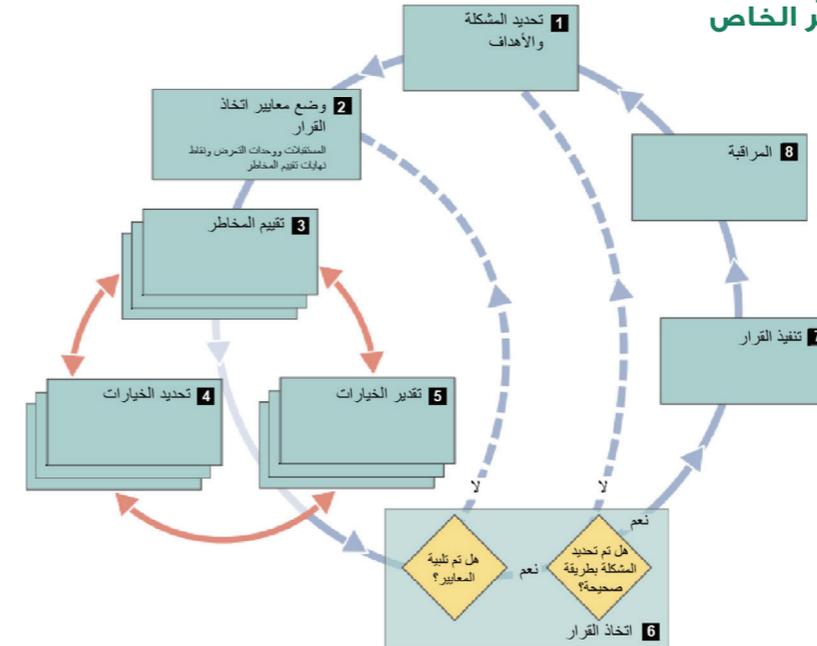
• تهدف مرحلة **التقييم المسبق** إلى جمع مجموعة القضايا المرتبطة بإحدى المخاطر وإرساء فهم مشترك لها بين جميع الأطراف الفاعلة المعنية، مع التأكيد بشكل خاص على التأطير المتنوع لهذه القضايا. وتتضمن هذه الخطوة أيضاً تحليل مؤسسات حوكمة المخاطر والترتيب المستخدم حالياً مثل شبكات الرصد وأنظمة التحذير المبكر وفرق الطوارئ وخطط مواجهة الطوارئ وأنظمة التعويض والتأمين، وما إلى ذلك.

4.2.3. إطار حوكمة المخاطر الخاص بمجلس IRGC

تمتد حوكمة المخاطر إلى ما وراء التأطير العادي لإدارة المخاطر والتكيف مع تغير المناخ حيث أنها تشمل أيضاً السياق المجتمعي والمؤسسي والثقافي الأوسع نطاقاً والذي تقع فيه المخاطر ويتم فيه التكيف.

ويُطبق هذا الإطار مبادئ الحوكمة الرشيدة (مثل الشفافية والفعالية والكفاءة والمقبولية) في مجال إدارة المخاطر (جايجر وآخرون 2001) كما يؤكد على مدى تنوع تفكير الأفراد فيما يتعلق بالمخاطر والاستجابة لها (سلوفيك 1987). ومن ثم، فإن شرط الحوكمة "الرشيدة" للمخاطر يعني فهم "الشبكة المعقدة التي تضم الأطراف الفاعلة والقواعد والاصطلاحات والعمليات والآليات المعنية بكيفية تجميع معلومات المخاطر ذات الصلة وتحليلها والإبلاغ عنها وكيفية اتخاذ القرارات الإدارية." (رين/ 2008 ص 9).

أدت المخاوف بشأن الافتقار إلى القدرة على مواكبة هذه الكوارث الرئيسية إلى تأسيس المجلس الدولي لحوكمة المخاطر (IRGC) ووضع إطار حوكمة المخاطر الخاص بالمجلس (IRGC, 2005).



الشكل 4-4: الخطوات الثمانية لإطار التكيف الخاص ببرنامج UKCIP (المصدر: ويلوس وكونيل 2003)



والمنافع أو نسبة فعالية التكلفة. لاحظ أن استخدام نسبة التكاليف والمنافع أو نسبة فعالية التكلفة لتقييم خيار ما في ضوء سيناريو واحد لا تتطابق في تطبيق تحليل CBA أو تحليل CEA بوصفها طريقة لتحليل القرار من أجل الاختيار من بين الخيارات كما هو موضح أعلاه.

- **مرونة الخيارات في ضوء جميع السيناريوهات:** هناك معيار آخر لصناعة القرار يصبح ذو صلة بصناعة القرار في ضوء حالة عدم التيقن البالغة ألا وهو المرونة، والتي ترمي إلى إبقاء الخيارات المستقبلية متاحة عن طريق تفضيل الخيارات المرنة على غير المرنة (هاليجيت 2009). يوصف الخيار بأنه مرن إذا سمح بالتحول، بتكلفة منخفضة، إلى خيارات أخرى قد تكون مُحبذة في المستقبل بمجرد توافر مزيد من المعلومات حول المناخ المتغير. على سبيل المثال، تعتبر تغذية الشواطئ خياراً مرناً للحد من مخاطر الفيضان، نظراً لإمكانية هجرها، دون تكلفة كبيرة، في أي وقت في المستقبل. وعلى النقيض من ذلك، يعد بناء الحواجز أقل مرونة نظراً للتكاليف الاستثمارية الكبيرة المدفوعة مقدماً. تُعد صناعة القرار الذي يتسم بالمرونة قابلاً للتطبيق في حال أمكن تقسيم القرار إلى خطوات (بمعنى أنه لا يلزم اتخاذ قرار بشأن جميع الأمور في الحال)، وقد تتوفر معلومات إضافية في المستقبل وهذه هي الحال في كثير من القرارات طويلة المدى الخاصة بارتفاع مستوى سطح البحر. في الواقع، لا تكون هناك حالة في الغالب إلى حصولنا في الوقت الحالي على المعلومات الكاملة حول ارتفاع مستوى سطح البحر في القرن الحادي والعشرين (هينكل وآخرون 2015). وبينما يستغرق بناء المصدات وإنشاء غيرها من تدابير التكيف وقتاً كبيراً، فإنه عادة ما تُنفذ هذه التدابير أسرع من ارتفاع مستويات سطح البحر. وهكذا، يمكن انتهاز استراتيجيات سليمة من أجل (1) الاستثمار في التدابير التي تحافظ على أمان منطقة ما على المدى القريب (مثلاً، حتى عام 2030) وتتيح خيارات أطول أمداً؛ (2) رصد مستوى سطح البحر وظهور ارتفاع علمي جديد لمستوى سطح البحر بمرور الوقت، والاعتماد على هذا الأساس؛ (3) تحديث التقييم وتنفيذ خيارات أطول أمداً، حسب الاقتضاء.

4.3.2. أطر صناعة القرار

يعد تحليل القرار مجالاً واسعاً يشمل مجموعة كبيرة من الطرق التي يمكن تطبيقها لتقييم خيارات التكيف.

وفي هذا المقام نتقيد بعرض أربعة معايير عامة والأطر المرتبطة بها ذات الصلة بتقييم خيارات التكيف الساحلي.

- **تحقيق أقصى قدر من الاستفادة المتوقعة:** تقوم النهج واسعة الانتشار لصناعة القرار في ظل عدم التيقن على تحقيق أقصى قدر من الاستفادة المتوقعة من نوع ما. وتتضمن هذه النهج تحليل التكاليف والمنافع (CBA)، وتحليل فعالية التكلفة (CEA) وتحقيق الحد الأدنى من صافي القيمة الحالية، وما إلى ذلك. وتقوم هذه النهج التي يتم تطبيقها في ظل عدم التيقن على احتساب التوقع الرياضي لآثار خيارات التكيف من حيث الحد من التكاليف والآثار والخسائر. وهذا يتطلب توافر إمكانية توزيع الاحتمالات على جميع النتائج المحتملة للخيار المحدد إما نقدي (بالنسبة لتحليل التكاليف والمنافع) أو خلافة (بالنسبة لتحليل فعالية التكاليف).
- **تقليل الخسائر أو الآثار المترتبة في ضوء سيناريو أسوأ الحالات إلى الحد الأدنى (أقصى حد أدنى):** ويوجد نهج بديل يتمثل في تقليل الخسائر أو الآثار إلى الحد الأدنى (أو تفاديها كلية) في ضوء سيناريو أسوأ الحالات الذي يمكن أن يحدث. وفي هذا النهج الذي يطلق عليه أقصى حد أدنى، تخضع جميع خيارات التكيف للتقييم في ضوء سيناريو أسوأ الحالات بدلاً من تقييمه في ضوء حالة متوسطة يمكن الحصول عليها باحتساب المنفعة المتوقعة وفقاً لما تم في النهج السابق.
- **متانة الخيارات في ضوء جميع السيناريوهات:** يوجد إطار بديل آخر لصناعة القرار في ظل حالة عدم تيقن بالغة (أي دون احتمالات) يتمثل في صناعة قرارات قوية تهدف إلى إيجاد خيارات تكيف قوية في ضوء جميع (أو أغلب) السيناريوهات (ليمبرت وشليسنجر 2001، 2000). وفي هذه الحالة، يتم تقييم كل خيار في ضوء كل سيناريو. وقد يستخدم التقييم مجموعة متنوعة من المعايير بما في ذلك نسبة التكاليف



4.3.1. أنواع القرارات الساحلية

من غير الممكن إعطاء وصفة عامة يعتمد عليها الإطار التحليلي للقرار الذي يُستخدم في تكيف السواحل نظراً لأن هذا يعتمد على قرار التكيف المحدد الذي تتم مواجهته (هينكل وبيسارو 2014؛ برنامج PROVIA، 2013).

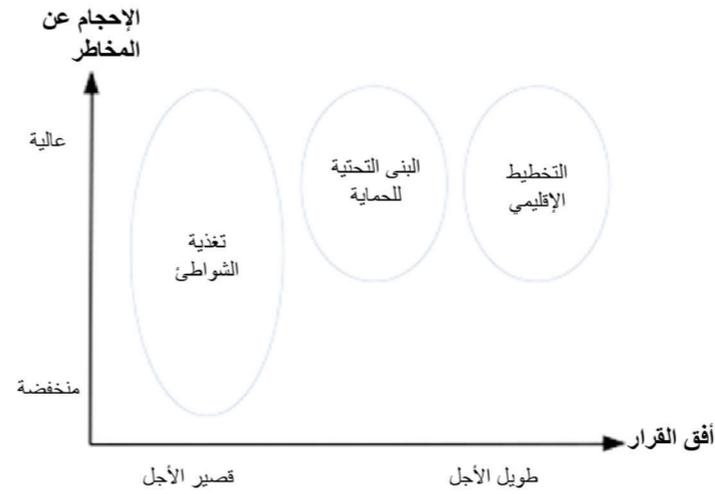
ومن أجل اختيار إطار ملائم لصناعة القرار، يلزم مراعاة المعيارين التاليين:

- **أفضليات المخاطر:** قد يكون لأولئك الذين يتخذوا القرار لأولئك الذين يتأثرون به أفضليات مختلفة تجاه المخاطر المناخية وينبغي أن تؤخذ هذه الأفضليات بعين الاعتبار عند اختيار أطر صناعة القرار والسيناريوهات المناخية والاجتماعية الاقتصادية ذات الصلة. فكلما زاد المحجمون عن المخاطر، زادت السيناريوهات القصوى وغير المرجحة التي يتعين مراعاتها في صناعة قرار التكيف. وعادة ما يكون الحال كذلك إذا كانت القيمة المعرضة للمخاطر عالية. على سبيل المثال، يكون أولئك الذين يعيشون في المناطق الساحلية كثيفة السكان والأصول محجمون عن المخاطر للغاية بصفة عامة. وبالتالي يجب أيضاً أن تراعي صناعة القرار سيناريوهات الارتفاع الأقصى لمستوى سطح البحر التي لا يرجح حدوثها (هينكل وآخرون 2015؛ لوي وآخرون 2009).

يصف الشكل 4-5 بعض القرارات الساحلية وفقاً لهذين المعيارين.

قد يستغرق تخطيط وتنفيذ أعمال المياه الساحلية الرئيسية مثل حواجز عرامات العواصف، على سبيل المثال، عقداً أو عقدين وقد يكون لقرارات تخطيط استخدام الأراضي والبنية التحتية الساحلية أثراً على مدار عدة عقود ماضية أو حتى لأكثر من قرن.

الشكل 4-5: نوع مختلف من قرارات التكيف الساحلية من حيث الإجماع عن المخاطر وأفق القرار



- **أفق القرار:** يعتمد اختيار السيناريوهات وأطر صناعة القرار أيضاً على طول أفق القرار. وتتطلب القرارات طويلة الأجل، وهي القرارات التي تنطوي على خيارات يطول أثرها وعمرها، نهجاً وسيناريوهات أكثر اختلافاً عن القرارات الأقصر أجلاً. فعلى سبيل المثال، قد تتجاهل القرارات الأقصر أجلاً حالة عدم التيقن بشأن سيناريو الانبعاثات ولكن ليس بالضرورة أن تتجاهل حالة عدم التيقن الاجتماعي الاقتصادي لأن الحالة السابقة لا تصبح ذات صلة إلا بعد مرور 30 عاماً في المستقبل.



بوجه عام، في حالة مواجهة قرارات عالية المخاطر، يُعد من غير المستحسن تطبيق نهج قائم على تحقيق أقصى قدر من الاستفادة المتوقعة.

يتمثل الهدف من صناعة القرار عالية المخاطر في تجنب الأضرار الرئيسية في ظل جميع الظروف. وقد لا يمكن لأي من استراتيجيات التكيف الموضوعة استنادًا إلى التقليل من التوقع الرياضي للأضرار، مثلاً، تحقيق هذا الهدف بالكامل. ولذلك يجب أن ينصب التركيز المحدد الخاص بصناعة القرار عالية المخاطر على المعالجات النهائية لما يُحتمل حدوثه في ظل تقلب المناخ وتغيره، وذلك من أجل التأكد من استعداد الناس في أسوأ الحالات القادمة. ويعتبر كلا من صناعة القرار القوية وأقصى حد أدنى نهجين مناسبين.

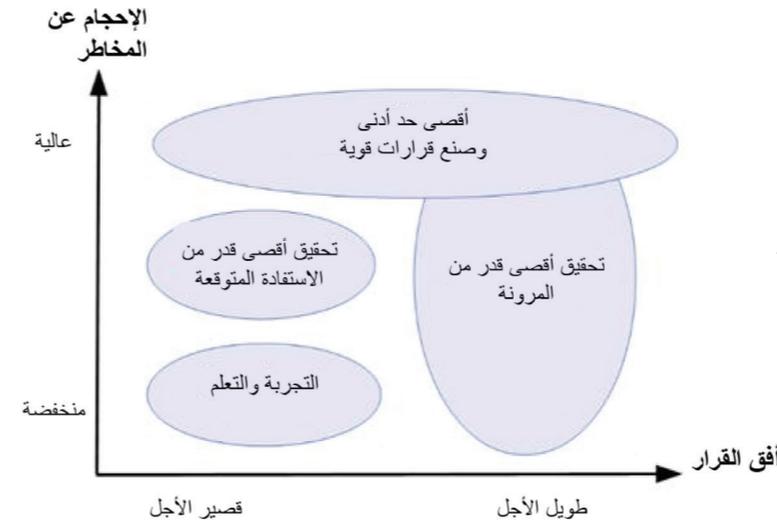


بالنسبة للقرارات طويلة المدى المتعلقة بالتكيف مع المناخ، لم يعد تحقيق أقصى قدر من الاستفادة المتوقعة ممكنًا وذلك لأن التنبؤات الاحتمالية لأخطار المناخ (في هذه الحالة، ارتفاع مستوى سطح البحر) لا تعد متاحة، وهو ما يعني أنه لا يُمكن حساب التوقعات الرياضية.

ولا يمكن تقديم المعلومات على المدى الطويل بشأن الأخطار المناخية إلا في شكل سيناريوهات (دون إرفاق احتمالات)، وذلك لأن حجم الخطر المناخي يعتمد على سيناريو انبعاثات غازات الدفيئة (GHG) المفترض ومن الصعب بالنسبة لهذه السيناريوهات، أو من غير المرغوب، استخلاص الاحتمالات، سواء من الناحية النظرية أو العملية (لمبرت وشليسنجر 2001، هاليجاتي 2009). وبالنسبة للقرارات قصيرة المدى، يُمكن تجاهل ذلك نظرًا لأن عدم التيقن الخاص بسيناريو غازات الدفيئة يُعد صغيراً. أما بالنسبة للقرارات طويلة المدى، يعتبر عدم التيقن الخاص بسيناريو غازات الدفيئة كبيراً ولا يُمكن تجاهله، وهو ما يعني أن التنبؤات الاحتمالية يمكن أن تتحقق وأنه لا يمكن تطبيق النهج الخاصة بالاستفادة المتوقعة. وبدلاً من ذلك، يجب استخدام نهج لصناعة القرار في ظل عدم التيقن البالغ (بدون الاحتمالات) مثل نهج أقصى حد أدنى (Minimax) أو صناعة القرار القوية. وإذا كان من الممكن تقسيم القرار إلى خطوات، فهناك اعتبار مهم آخر لصناعة القرار طويلة الأجل يتمثل في مرونة الخيارات المطبقة. وفي هذه الحالة، يعتبر نهج مسارات التكيف، الذي يجمع بين كل من معيار المتانة ومعيار المرونة، نهجًا مناسبًا.



الشكل 4-6: إمكانية تطبيق إطار صناعة القرار من حيث خاصيتي قرارات التكيف



بدلاً من ذلك، إذا كانت المخاطر منخفضة جداً وأفق القرار قصير جداً، قد يكون من الممكن خوض التجربة والتعلم دون تقييم خيارات التكيف المتوقعة من السابق.

والتجريب يعني اتخاذ إجراءات التكيف ورصد النتائج ثم ضبط الخيار بأثر رجعي فور وقوع الأثار. وبالعودة إلى المثال أعلاه الخاص بتغذية الشاطئ، يمكن للبلدية أيضاً ببساطة البدء بتطبيق كمية معينة من الرمال في السنة الأولى ثم بتحديث هذا الكمية في السنوات اللاحقة، استنادًا إلى الفعالية المرصودة للتغذية في السنوات السابقة. ويتمشى هذا النوع من أنواع النهج مع نموذج الإدارة التكييفية (هولينج 1978؛ والترز 1986)، وغالبًا ما يُطبق في إدارات النظم البيئية الساحلية (على سبيل المثال، والترز 1997).

• **مسارات التكيف:** يعمل نهج مسارات التكيف، على سبيل المثال، على الجمع بين معايير المتانة والمرونة على حد سواء. ويقوم هذا النهج بذلك من خلال التمييز بين الخيارات من حيث سمتان: 1) نقاط التحول الخاصة بالتكيف (ATP)، التي تفقد فعاليتها إذا تجاوزت الخيارات المحددة لها (كواديجك وآخرون 2010) و2) ما هي الخيارات البديلة المتاحة بمجرد التوصل إلى نقطة تحول (هاسنوت وآخرون 2012). والأهم من ذلك ليس الوقت الدقيق الذي يتم فيه التوصل إلى نقطة تحول، ولكن المرونة المتعلقة بوجود خيارات بديلة متاحة. وتشمل التطبيقات البارزة لهذا النهج مشروع مصب نهر التايمز 2100 (هيئة البيئة 2012، رانجر وآخرون 2013) وبرنامج دلتا هولندا (كابات وآخرون 2009، ستيف وآخرون 2011). ويتم مناقشة مشروع مصب نهر التايمز 2100 ونهج مسار التكيف المطبق في الإطار 1.

4.3.3. اختيار إطار مناسب لصناعة القرار

يلخص الشكل 4-6 إمكانية تطبيق أطر تحليل القرارات التي يتم استعراضها أعلاه استنادًا إلى خاصيتين وضع التكيف الذي تم عرضه في وقت سابق في هذا القسم من الدراسة التمهيدية.

بالنسبة للمخاطر المنخفضة إلى المتوسطة والقرارات قصيرة المدى، يعتبر تحقيق أقصى قدر من الاستفادة المتوقعة نهجًا مناسبًا لصناعة القرارات، إذا كانت التنبؤات الاحتمالية لأخطار المناخ (في هذه الحالة، ارتفاع مستوى سطح البحر) وشيكة الحدوث. وفي هذه الحالة، يمكن حساب الخسائر المتوقعة أو الأثار أو صافي القيم الحالية ويمكن تطبيق نهج قياسية لعملية صناعة القرار في ظل عدم التيقن مثل CBA أو CEA. فعلى سبيل المثال، قم بدراسة اتخاذ قرار على مستوى البلدية بشأن تغذية الشواطئ لحمايتها من التعرية. وقد يكون هذا القرار مستنيرًا من خلال المعلومات الاحتمالية بشأن مستويات المياه الشديدة. واستنادًا إلى هذه المعلومات، يمكن محاكاة الأضرار الناجمة عن مختلف الظواهر المتطرفة لحساب فقدان الرمال المتوقع السنوي واستخلاص الطلب السنوي من الرمال ليتم تطبيقها في عملية التغذية.

5. الخطوات التالية

الإطار 4-1: مشروع مصب نهر التايمز 2100

يتم توضيح الاعتبارات الخاصة بصناعة القرارات والتخطيطات الساحلية عالية المخاطر في مشروع مصب نهر التايمز 2100 (TE2100) والذي عمل على وضع استراتيجيات للحفاظ على جفاف لندن خلال القرن الحادي والعشرين. وكان من بين الدوافع الرئيسية لإقامة المشروع الخوف من ألا يتيح تسارع ارتفاع مستوى سطح البحر الوقت الكافي لتحديث أو استبدال الحواجز الخاصة بمصب نهر التايمز، نظرًا لكون هذه المهام الهندسية الكبيرة تتطلب من 25-30 عامًا للتخطيط لها وتنفيذها (ونج وآخرون 2014). وقد تم بناء حواجز مصب نهر التايمز بعد وقوع فيضان بحر الشمال العنيف من أجل منع دخول عرامات العواصف إلى مصب نهر التايمز وغمر لندن بالمياه. وافترض هذا المشروع في بادئ الأمر ارتفاع مستوى سطح البحر في القرن الحادي والعشرين على الصعيد المحلي بمسافة 4 م باعتبار ذلك الحد الأعلى للقرار الذي تم التوصل إليه من خلال تقدير خبير استنادًا إلى الجمع الخطي بين التقديرات المتقدمة الحالية للمكونات الخاصة بارتفاع مستوى سطح البحر في القرن الحادي والعشرين (هيئة البيئة 2012، رانجر وآخرون 2013). وفي وقت لاحق، تم استبدال هذا الحد الأعلى والاستعاضة عنه بسيناريو متقدم بقيمة 2.7 م (يتضمن أيضًا السماح بالسيول الكبيرة خلال الظواهر الجوية الشديدة)، والذي تم التوصل إليه من خلال الجمع الواقعي بين الرؤى المتأتمية من عمليات رصد المعدل المتوسط لارتفاع مستوى سطح البحر خلال الفترة الجليدية الأخيرة المأخوذة منها (رولنج وآخرون 2008) والبراهين المادية الواردة فيها (بيفير وآخرون 2008) وكذلك أوجه عدم اليقين المتعلقة بتخفيض النطاق والعوامل الإقليمية والمحلية. ومن خلال تطبيق نهج مسارات التكيف، اكتشف المشروع وجود وقت كافٍ يسمح بإجراء القرار المتعلق بتحديث حواجز مصب نهر التايمز وذلك نظرًا لوجود مسار تكيف (أي سلسلة من التدابير) يمكن أن يتحقق حتى في أسوأ حالات ارتفاع مستوى سطح البحر السريع. وعلاوة على ذلك، اكتشف المشروع أيضًا إمكانية الوصول إلى مسارات تكيف بديلة أكثر جاذبية إذا أصبح ارتفاع مستوى سطح البحر منخفضًا.

قدمت الأقسام السابقة لمحة عامة عن مختلف العناصر المتعلقة بارتفاع مستوى سطح البحر الناجم عن تغير المناخ والذي من المرجح أن يواجهه المخططون في دولة الإمارات العربية المتحدة والمنطقة المحيطة في السنوات المقبلة.

من الأهمية أن نلاحظ أن الدراسة التمهيدية لارتفاع مستوى سطح البحر عبارة عن إعادة تصميم للغرض الأصلي من المشروع الفرعي رقم 8 من برنامج LNRCCP الذي دعا إلى دراسة إقليمية تركز على إجراء تقييم كمي لأثر ارتفاع مستوى سطح البحر على مدى غمر الأرض. ومن الناحية المثالية، كانت نتائج المشروع الفرعي رقم 2 بشأن النمذجة الإقليمية للمحيطات في منطقة الخليج العربي في ظل تغير المناخ بمثابة مدخلات مباشرة لأداة التحليل المتوخاة. ومع ذلك، لا يمكن أن تُقدّر الدراسة الخاصة بالنمذجة الإقليمية للمحيطات بشكل مباشر سوى مكون ارتفاع مستوى سطح البحر الديناميكي - أصغر العوامل المساهمة الثلاثة في ارتفاع مستوى سطح البحر (انظر المناقشة في القسم 2) - ولم تجد سوى ما يصل إلى 10 سم من ارتفاع مستوى سطح البحر الديناميكي بحلول أواخر القرن الحادي والعشرين. وبالتالي، فإن الخيار الأصلي لاستخدام هذه المخرجات من أجل العمل بشكل مباشر على نمذجة آثار ارتفاع مستوى سطح البحر على دول الخليج العربي يؤدي بالضرورة إلى آثار ضئيلة متأتية من ظاهرة تغير المناخ، وهو ما يعتبر نتيجة مضللة على أفضل تقدير. ومن ثم، وعلى مدى العديد من الاجتماعات الداخلية، تقرر إعادة تصميم المشروع الفرعي للتركيز على إعداد دراسة تمهيدية لارتفاع مستوى سطح البحر والذي سيهدف إلى تحسين الوعي لدى صانعي القرار والمخططين في منطقة الخليج العربي عمومًا، ودولة الإمارات العربية المتحدة على وجه التحديد، حول كيفية البدء في معالجة احتمالات ارتفاع مستوى سطح البحر في المستقبل، وذلك نظرًا للقيود الحالية في النمذجة الإقليمية للمحيطات. وكما أوضحت الأقسام السابقة، تعتبر هذه الدراسة التمهيدية بمثابة نهج غير كمي يتعلق بقضية ارتفاع مستوى سطح البحر ويركز على عرض مناقشة نوعية لمجموعة من القضايا المتعلقة بعملية التقييم والتخطيط.

والإقليمي/المحلي. ويمكن أيضًا أن يضيف صانع القرار المُحجم عن المخاطر هامش سلامة إضافي إلى جانب ذلك. وبوجه عام، كلما أحجم المخططون وصانعو القرارات عن المخاطر، اتسع نطاق السيناريوهات الخاصة بارتفاع مستوى سطح البحر التي ينبغي مراعاتها.

بالنسبة للمتوسط العالمي لارتفاع مستوى سطح البحر، قد يعني هذا مراعاة جميع عمليات التشغيل المعقولة الخاصة بالنماذج القائمة على العملية وكذلك النهج الأخرى للنماذج شبه التجريبية والقيود الفعلية على ديناميات الغطاء الجليدي والأدلة من الظواهر المناخية السابقة.

تم اتباع هذا النهج، على سبيل المثال، بواسطة نيكولز وآخرون (2014) لتطوير ما يُطلق عليه نطاق السيناريو H++، وهو ما يتضمن أسوأ حالة لارتفاع مستوى سطح البحر في القرن الحادي والعشرين بارتفاع 2.4 متر. وللاطلاع على وصف مفصل لأحد النهج الشاملة من أجل وضع سيناريو لأسوأ الحالات، بما في ذلك المكونات الخاصة بتغير متوسط مستوى سطح البحر الإقليمي والمحلي، وكذلك أقصى مستوى السطح البحر، يُرجى الرجوع إلى التقرير الخاص بمشروع مصب نهر التايمز 21000 (هيئة البيئة 2012)، والذي يرد وصفه بإيجاز في الإطار 1-4.

4.3.4. اختيار السيناريوهات المناسبة الخاصة بارتفاع مستوى سطح البحر

يعتبر اختيار سيناريو مناسب لارتفاع مستوى سطح البحر عنصرًا رئيسيًا في التخطيط الساحلي وصناعة القرار في ظل تغير المناخ.

بالنسبة لصناعة القرار منخفضة المخاطر، يُمكن تطبيق سيناريوهات ارتفاع مستوى سطح البحر التي تغطي المدى المتوسط لعدم التيقن الخاص بمستوى سطح البحر لكل سيناريو من سيناريوهات الانبعاثات، مثل سيناريوهات IPCC. ومع ذلك، بالنسبة لصناعة القرار طويلة الأجل ذات المخاطر العالية المتعلقة بارتفاع مستوى سطح البحر، فإن المعلومة الوحيدة الأكثر أهمية تتمثل في النهاية العليا لارتفاع مستوى سطح البحر المحتمل خلال أفق القرارات.

تحقيقًا لهذه الغاية، لا تعتبر سيناريوهات IPCC مفيدة، لأنها لم تُصمّم للقرارات عالية المخاطر (هينكل وآخرون 2015).

وكما ذكر قبل ذلك في هذه الدراسة التمهيدية، يشير النطاق المحتمل لسيناريوهات IPCC إلى وجود احتمالية بنسبة 0-33% من وقوع متوسط SLR خارج هذا النطاق، وهو ما لا يُعد مقبولاً من وجهة نظر المحجمين عن المخاطر. ولا يعتبر اشتقاق سيناريوهات ارتفاع مستوى سطح البحر المتقدمة من الممارسات المباشرة، لأنه لا توجد طريقة مقبولة عمومًا للقيام بذلك. وقد خلص مؤلفو AR5 إلى أن حالة المعرفة الحالية لا تسمح بالتوصل إلى سيناريو أسوأ الحالات من هذا النوع (تشارش وآخرون، 2013). وبالتالي يلزم المضي قدمًا في الإدارة عالية المخاطر من خلال مقارنة ذلك بشكل واقعي على أنه أسوأ الحالات. ويمكن القيام بذلك، على سبيل المثال، من خلال الجمع بين القيم القصوى لجميع مكونات ارتفاع مستوى سطح البحر على المستوى العالمي

and Tarasov, L., 2010. "Results from the Ice-Sheet Model Intercomparison Project-Heinrich Event INterCmparison (ISMIP HEINO)," Journal of Glaciology, Vol. 56, No. 197,

Cambers, G., 1998. Planning for Coastline Change: Coastal Development Setback Guidelines in Antigua and Barbuda. UNESCO, Paris.

Cazenave, A., Dieng, H., Meysignac, B., von Schuckmann, K., Decharme, B., and Berthier, E., 2014. "The rate of sea-level rise", Nature Climate Change, 4, 358-361

Charbit, S., Ritz, C., and Ramstein, G., 2002. "Simulations of Northern Hemisphere ice-sheet retreat: sensitivity to physical mechanisms involved during the Last Deglaciation," Quaternary Science Reviews Volume 21, Issues 1-3, January, Pages 243-265

Church, J. A., & Clark, P. U. (2013). Sea Level Change - executive summary. IPCC-AR5 - Executive Summary, Sea Level Change.

Church, J. A., & Clark, P. U. (2013). Sea Level Change - Supplementary Material. IPCC - 13SM, 1-8. Retrieved from www.climatechange2013.org

Church, J., Woodworth, P., Aarup, T., and Wilson, W., 2010. "Understanding Sea-level Rise and Variability," Wiley Press

Church, J.A., Gregory, J.M., Huybrechts, P., Kuhn, M., Lambeck, K., Nhuan, M.T., Qin, D. and Woodworth, P.L. (2001). Changes in Sea Level. In Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group 1 to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (eds. J.T. Houghton, Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P. van der Linden, X. Dai, K. Maskell and C.I. Johnson). Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge

Church, J.A., P.U. Clark, and others, 2013. "Sea Level Change.

Alley, R. B., Berntsen, T., Bindoff, N. L., Chen, Z., Chidthaisong, A., Friedlingstein, P., Somerville, R. (2007). IPCC- AR4 - Summary for Policymakers. Assessment Report 4 - IPCC.

Alothman, A. O., Ayhan, M. E., & Arabia, S. (n.d.). Detection of Sea Level Rise within the Arabian Gulf, using space pabsed CNSS Measurements and insitu Tide Gauge data: preliminary results (pp. 1-12).

Antarctic Climate & Ecosystems (ACE), 2009. "Position analysis: polar ice sheets and climate change: GLOBAL impacts," Cooperative research Centre.

Antarctic Climate & Ecosystems Cooperative Research Centre (ACE CRC), 2008, Position Analysis: Climate change, sea-level rise and extreme events: impacts and adaptation issues. PA01

Antonov, J., Levitus, S., and Boyer, T., 2005. "Thermosteric sea level rise, 1955— 2003", GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS, VOL. 32, L12602.

Bamber, J.L., Layberry, R., and Gogenini, S., 2001. "A new ice thickness and bed data set for the Greenland Ice Sheet 1: Measurement, data reduction, and errors", Journal of Geophysical Research, 106, 33,773-33,780.

Barnes, D. and Kaiser, S., 2009. "FISHERIES AND AQUACULTURE - Melting of Polar Icecaps: Impact on Marine Biodiversity", British Antarctic Survey, N.E.R.C., High Cross, Madingley Road, Cambridge, UK

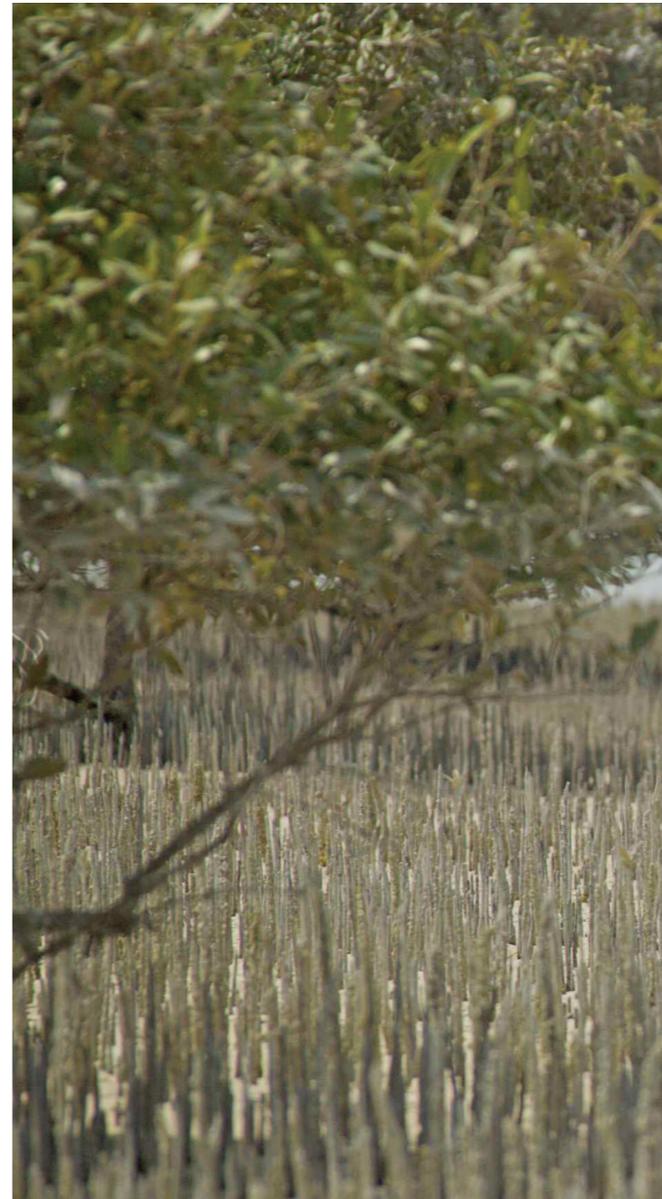
Brown, S., Nicholls, R.J., Woodroffe, C.D., Hanson, S.E., Hinkel, J., Kebede, A.S., Neumann, B., Vafeidis, A.T., 2013. Sea-level rise impacts and responses: a global perspective, in: C.W. Finkl (Ed.): Coastal Hazards. Springer, Netherlands, pp. 117-149.

Calov, R., Greve, R., Abe-Ouchi, A., Bueler, E., Huybrechts, P., Johnson, J., Pattyn, F., Pollard, D., Ritz, C., Saito, F.,

على الرغم من ذلك، تعتبر الأقسام السابقة خطوة أولى في إعداد المخططين الإقليميين لمواجهة ارتفاع مستوى سطح البحر في المستقبل.

باعتبار ذلك نقطة وصل بين ارتفاع مستوى سطح البحر - الموضوع الذي يعد فنياً بدرجة عالية ومتعدد الأوجه للغاية - والمخططين/صانعي القرار، ينبغي من الناحية المثالية اعتبار الدراسة التمهيدية بمثابة "وثيقة عمل". وبعبارة أخرى، كلما تنامت المعرفة بشأن نمذجة ارتفاع مستوى سطح البحر وأصبح حجم المخاطر التي تتعرض لها دولة الإمارات العربية المتحدة أكثر وضوحاً، يمكن تحديث الدراسة التمهيدية بما يعكس هذه المعلومات الجديدة. وعلى وجه التحديد، ثمة العديد من الأسئلة/المجالات الجديدة بالاهتمام خلال الأشهر والسنوات المقبلة، كما هو موضح باختصار أدناه.

- هل توجد أي فجوات بحثية ذات صلة على المستوى الإقليمي/المحلي؟ هل هناك حاجة إلى وضع جدول أعمال بحثي على الصعيد المحلي/الإقليمي لدعم التكيف؟ ما هي النماذج ذات الصلة التي يمكن تطبيقها؟
- ما هو الوضع الحالي لمراقبة ارتفاع مستوى سطح البحر محلياً/إقليمياً، والوضع الحالي للآثار الناجمة عنه؟ هل تستدعي الحاجة وضع برنامج مراقبة محلي/إقليمي (ربما على نطاق أوسع من البرنامج الخاص بارتفاع مستوى سطح البحر)؟ ما هي الاستراتيجيات التي يجري تطبيقها في أماكن أخرى؟
- استناداً إلى الأعمال الأخرى (النمذجة الإقليمية أو دراسة تحليلية المياه)، هل توجد أي أوجه ترابط ذات صلة فيما يتعلق بالملوحة أو نمذجة الأس الهيدروجيني أو ربما فقدان التنوع الحيوي والتي قد تكون ذات صلة لمراعاتها على المستوى المحلي/الإقليمي؟ فعلى سبيل المثال، هل هناك حاجة لتقييم الآثار التراكمية (ربما ضمن تقييمات المخاطر)؟
- ما هي بعض نماذج الحوكمة التي يجري تطبيقها لتنسيق التكيف مع ارتفاع مستوى سطح البحر (مثل برامج الإدارة المتكاملة للمناطق الساحلية، ومجالس علم المناخ)





Equations of Ocean Models. Geophysical Monograph Series 177, 281–318.

Griffies, S. M., & Greatbatch, R. J. (2012). Physical processes that impact the evolution of global mean sea level in ocean climate models. *Ocean Modelling*, 51, 37–72. doi:10.1016/j.ocemod.2012.04.003

Griffies, S. M., Adcroft, A. J., V. B., Danabasoglu, G., Durack, P. J., Gleckler, P. J., ... Taylor, K. E. (2014). Sampling the Physical Ocean in CMIP6 Simulations CLIVAR Ocean Model Development Panel (OMDP) (Vol. 6).

Griffies, S. M., Pacanowski, R. C., & Hallberg, R. W. (2000). Spurious Diapycnal Mixing Associated with Advection in a z -Coordinate Ocean Model. *Monthly Weather Rev.* (Levitus 1982), 538–564.

Haasnoot, M., Middelkoop, H., Offermans, A., Beek, E., van Deursen, W.A., 2012. Exploring pathways for sustainable water management in river deltas in a changing environment. *Climatic Change* 115, 795– 819. doi:doi:10.1007/s10584-012-0444-2

Hallegatte, S., 2009. Strategies to adapt to an uncertain climate change. *Global Environmental Change, Traditional Peoples and Climate Change* 19, 240–247. doi:10.1016/j.gloenvcha.2008.12.003

Hanna, E., Navarro, F., Pattyn, F., Domingues, C., Fettweis, X., Ivins, E., Nicholls, R., Ritz, C., Smith, B., Tulaczyk, S., Whitehouse, P., and Zwally, H., 2013. "Ice-sheet mass balance and climate change," *Nature*, 498, 51–59

Hassanzadeh, S., Kiasatpour, A., Hosseinibalam, F., 2007. "Sea-level response to atmospheric forcing along the north coast of Persian Gulf", *Meteorol. Atmos. Phys.* 95, 223–237

Hellyer and Aspinall (Editors), 2005. "The Emirates: A Natural History"



In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. http://www.climatechange2013.org/images/report/WG1AR5_Chapter13_FINAL.pdf

CLIMATICCHANGE45, 387–401 doi:10.1023/A:1005698407365

Cornforda, S., Martinb, S., Gravesb, D., Rankenc, D., Le Brocqd, A., Gladstonea, r., Paynea, A., Ngb, E., and Lipscombc, W., 2012. "Adaptive mesh, finite volume modelling of marine ice sheets," *J. Comput.Phys.*, 232, 529

Dasgupta, S., Laplante, B., Meisner, C., Wheeler, D., and Yan, J., 2007. "The Impact of Sea Level Rise on Developing Countries: A Comparative Analysis" *World Bank Policy Research Working Paper* 4136, February.

de Vries, H., Katsman, C. and Drijfhout, S., 2014. "Constructing scenarios of regional sea level change using global temperature pathways", *Environ. Res. Lett.* 9

Fencl, A., and Klein, R. (2008). *CLIMATE CHANGE, Impacts, Vulnerability & Adaptation – Coastal Zone*. Environment Agency - Abu Dhabi.

Environment Agency, 2012. *Managing flood risk through London and the Thames Estuary: TE2100 Plan*. Environment Agency, London, UK.

European Environment Agency, 2013. *Climate-ADAPT: European Climate Adaptation Platform*. : European Environment Agency. Copenhagen, Denmark.

French, P.W., 2001. *Coastal defences: Processes, Problems and Solutions*. Routledge, London, U.K.

Griffies, S. M., & Adcroft, A. J. (2008). *Formulating the*



Research, Volume 11, Pages 29–41

Huybrechts, P & Oerlemans, J., 1988. "Evolution of the east antarctic ice sheet: a numerical study of thermo-mechanical response patterns with changing climate. *Ann. Glaciol.* 11, 52–59.

Huybrechts, P., 1990. "A 3-d model for the antarctic ice sheet: a sensitivity study on the glacial-interglacial contrast. *Clim. Dyn.* 5, 79–82.

IPCC, 2007. "Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group 1 to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change", (eds. S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M.C. Marquis, K. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller). Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge and New York

IPCC, 2016, "PRESS RELEASE 14 April 2016 IPCC agrees special reports, AR6 workplan. Available at https://www.ipcc.ch/news_and_events/pdf/press/160414_pr_p43.pdf

IRGC, 2005. Risk governance - towards an integrative approach. White Paper no 1. International Risk Governance Council.

Jaeger, C.C., Renn, O., Rosa, E.A., Webler, T., 2001. Risk, Uncertainty, and Rational Action. Earthscan, London, UK.

Jarosch, A., 2008. "Icetools: A full Stokes finite element model for glaciers. *Computers and Geosciences* 34 (8), 1005–1014.

Jones, R.N., Patwardhan, A., Cohen, S.J., Dessai, S., Lammel, A., Lempert, R.J., Mirza, M.M.Q., von Storch, H., 2014. Foundations for decision making, in: Field, C.B., Barros, V.R., Dokken, D.J., Mach, K.J., Mastrandrea, M.D., Bilir, T.E., Chatterjee, M., Ebi, K.L., Estrada, Y.O., Genova, R.C., Girma, B., Kissel, E.S., Levy, A.N., MacCracken, S.,



Hillen, M.M., Jonkman, S.N., Kanning, W., Kok, M., Geldenhuys, M., Vrijling, J.K., Stive, M.J.F., 2010. Coastal Defence Cost Estimates. Case Study of the Netherlands, New Orleans and Vietnam. TU Delft, Delft, The Netherlands.

Hinkel, J., Bisaro, A., 2014. Methodological choices in problem-oriented adaptation research: a diagnostic framework. *Regional Environmental Change*. doi:10.1007/s10113-014-0682-0

Hinkel, J., Jaeger, C.C., Nicholls, R.J., Lowe, J., Renn, O., Peijun, S., 2015. Sea-level rise scenarios and coastal risk management. *Nature Climate Change*.

Holland, D., 2001. "An Impact of Subgrid-Scale Ice–Ocean Dynamics on Sea-Ice Cover," *American Meteorological Society, Journal of Climate*, Volume 14.

Holland, D., 2013. "Ocean Circulation and Climate: Chapter 16. The Marine Cryosphere" *International Geophysics Series*, Volume 103

Holland, D., and D. Holland (2015), On the rocks: The challenges of predicting sea level rise, *Eos*, 96, doi:10.1029/2015E0036667. Published on 19 October 2015.

Holling, C.S. (Ed.), 1978. Adaptive environmental assessment and management. Wiley, Chichester, New York.

Houghton, J. T., Ding, Y., Griggs, D. J., Noguer, M., van der Linden, P. J., X, D., ... Johnson, C. (2001). CLIMATE CHANGE 2001 - The Scientific Basis. Third Assessment Report (TAR) - IPCC.

http://www.lib.utexas.edu/maps/united_arab_emirates.html, accessed Oct. 29, 2016

Hussain, M. and Javad, A., 2016. "Assessing impacts of sea level rise on seawater intrusion in a coastal aquifer with sloped shoreline boundary," *Journal of Hydro-environment*



in the Netherlands. Wiley Interdisciplinary Reviews- Climate Change 1, 729–740. doi:doi:10.1002/wcc.64

Lempert, R., Schlesinger, M., 2000. Robust strategies for abating climate change - An editorial essay.

Lempert, R., Schlesinger, M., 2001. Climate-change strategy needs to be robust. NATURE 412, 375. doi:10.1038/35086617

Lindsey, R., 2002, "Collapse of the Larsen-B Ice Shelf", Earth Observatory, National Aeronautics and Space Administration (NASA), <http://www.earthobservatory.nasa.gov/Features/WorldOfChange/larsenb.php>

Linham, M.M., Green, C., Nicholls, R.J., 2010. AVOID Report on the Costs of adaptation to the effects of climate change in the world's large port cities. (No. AV/WS2/D1/R14).

Linham, M.M., Nicholls, R.J., 2010. Technologies for Climate Change Adaptation - Coastal Erosion and Flooding. UNEP Riso Centre on Energy and Climate and Sustainable Development, Roskilde, Denmark.

Little, C., Horton, R., Kopp, R., Oppenheimer, M., and Yip, S., 2014. "Uncertainty in Twenty-First-Century CMIP5 Sea Level Projections", JOURNAL OF CLIMATE VOLUME 28, pp838-852

Lombard, A., Cazenave, A., DoMinh, K., Cabanes, C., and Nerem, R., 2005. "Thermosteric sea level rise for the past 50 years; comparison with tide gauges and inference on water mass contribution", Global and Planetary Change, Volume 48, Issue 4, October, Pages 303–312

Lønne, I. and Lyså, A., 2005. "Deglaciation dynamics following the Little Ice Age on Svalbard: Implications for shaping of landscapes at high latitudes", Geomorphology, Volume 72, Issues 1–4, December 2005, Pages 300–319.

Lowe, J.A., Howard, T.P., Pardaens, A., Tinker, J., Holt, J., Wakelin, S., Milne, G., Leake, J., Wolf, J., Horsburgh, K.,



Mastrandrea, P.R., White, L.L. (Eds.), Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Kabat, P., Fresco, L.O., Stive, M.J.F., Veerman, C.P., van Alphen, J.S.L.J., Parmet, B.W.A.H., Hazeleger, W., Katsman, C.A., 2009. Dutch coasts in transition. Nature Geoscience 2, 450–452.

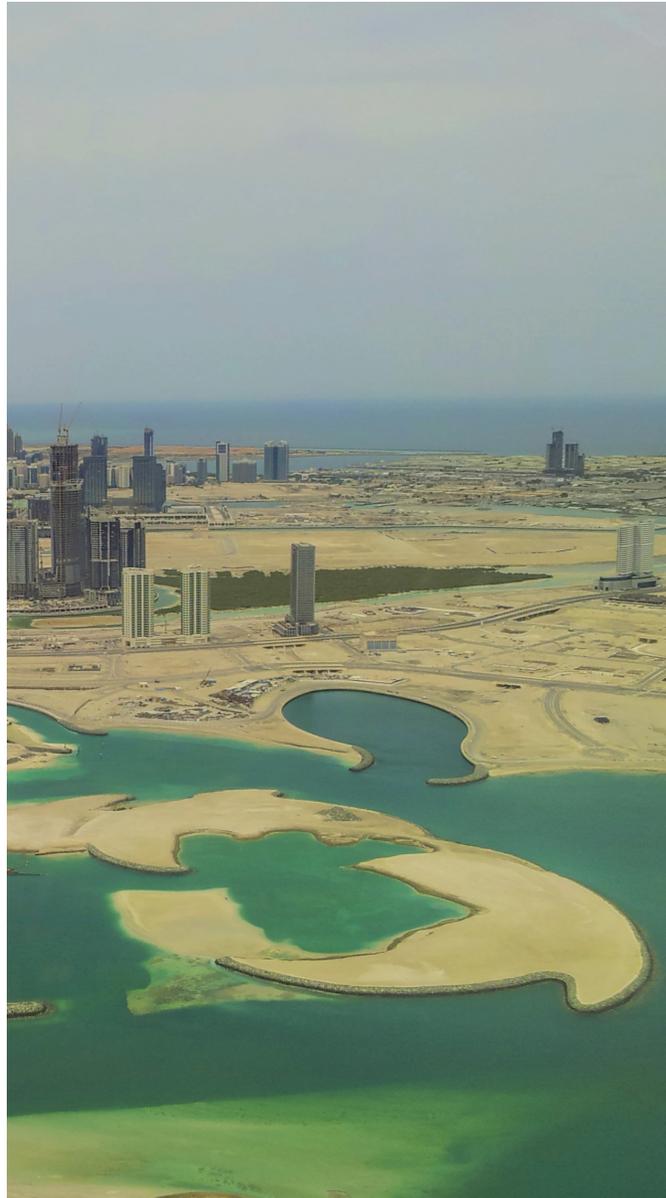
Kirshen, P., and Wake, C., 2014. "Sea-level Rise, Storm Surges, and Extreme Precipitation in Coastal New Hampshire: Analysis of Past and Projected Future Trends"

Klein, R.J.T., Nicholls, R.J., Ragoonaden, S., Capobianco, M., Aston, J., Buckley, E.N., 2001. Technological Options for Adaptation to Climate Change in Coastal Zones. Journal of Coastal Research 17, 531– 543.

Kopp, R. E., Horton, R. M., Little, C. M., Mitrovica, J. X., Oppenheimer, M., Rasmussen, D. J., Strauss, B. H., and Tebaldi, C., 2014. "Probabilistic 21st and 22nd century sea level projections at a global network of tide-gauge sites," Earth's Future, 2, 383–406.

Kuhn, M. Featherstone, W., Makarynskyy, O., and Keller, W. 2010. "Deglaciation-induced spatially variable sea level change: a simple-model case study for the Greenland and Antarctic ice sheets", International Journal of Ocean and Climate Systems. 1 (2): pp. 67-83

Kwadijk, J.C.J., Haasnoot, M., Mulder, J.P.M., Hoogvliet, M.M.C., Jeuken, A.B.M., van der Krogt, R.A.A., van Oostrom, N.G.C., Schelfhout, H.A., van Velzen, E.H., van Waveren, H., de Wit, M.J.M., 2010. Using adaptation tipping points to prepare for climate change and sea level rise: a case study



UK, pp. 315–356.

Nicholls, R., Marinova, N., Lowe, J., Brown, S., Vellinga, P., de Gusmão, D., Hinkel, J., Tol, R., 2011. "Sea-level rise and its possible impacts given a 'beyond 4°C world' in the twenty-first century," *Phil. Trans. R. Soc. A* (2011) 369, 161–181

NRC, 2012, "Sea-Level Rise for the Coasts of California, Oregon, and Washington: Past, Present, and Future. Washington, DC: The National Academies Press. http://www.nap.edu/catalog.php?record_id=13389

Pardaens, A. K., Gregory, J. M., and Lowe, J. A., 2011. "A model study of factors influencing projected changes in regional sea level over the twenty-first century", *Clim. Dynam.* 36, 2015–2033

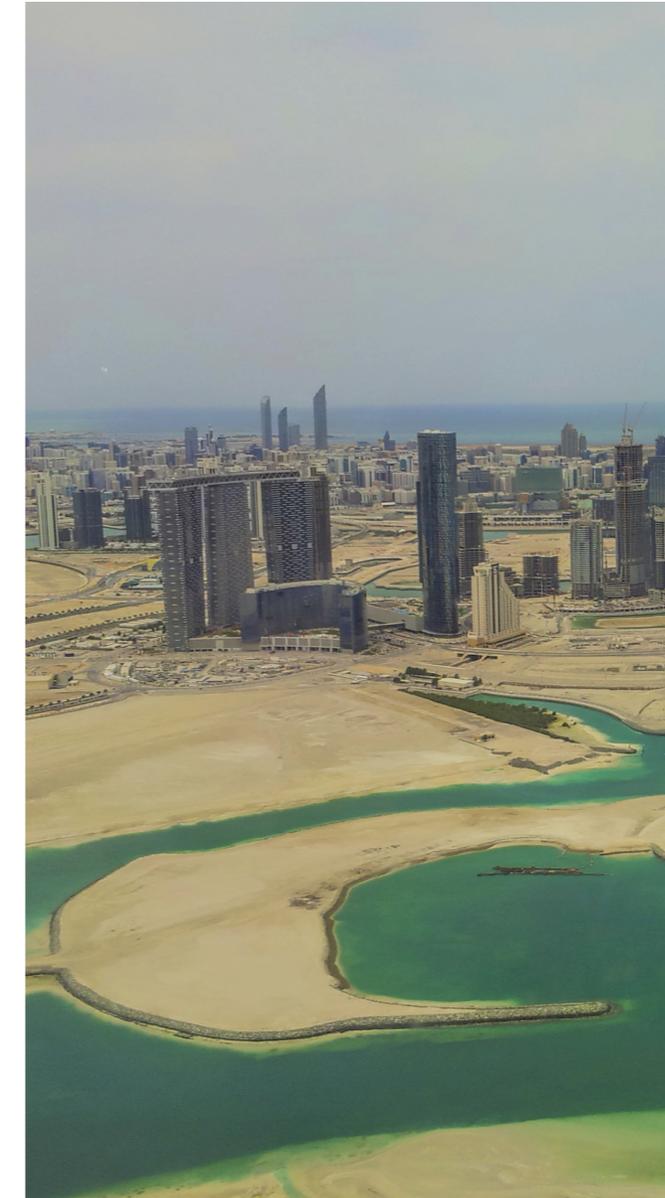
Pattyn, F., Perichon, L., Aschwanden, A., Breuer, B., De Smedt, B., et al., 2008. "Benchmark experiments for higher-order and full Stokes ice sheet models (ISMIP-HOM). The Cryosphere Discussions," *Copernicus*, 2008, 2 (1), pp.111-151.

Payne, A., Huybrechts, P., Abe-Oucm, A., CALOV, R., Fastook, F., Greve, R., Marshall, S., Marsiat, I., Ritz, C., Tarasov, L., and Thomassen, M., 2000. "Results from the EISMINT model intercomparison: the effects of thermomechanical coupling," *Journal of Glaciology*, Vol. 46, No. 153.

Price, P., Payne, A., Howat, I., and Smith, B., 2011. "Committed sea-level rise for the next century from Greenland ice sheet dynamics during the past decade," *Proceedings of the national academy of sciences of the United States of America*

Price, S. F., Conway, H., Waddington, E. D., & Bindshadler, R. A., 2008. "Model investigations of inland migration of fast-flowing outlet glaciers and ice streams," *J. Glaciol.* 54, 49–60.

Price, S., Lipscomb, W., Hoffman, M., Hagdorn, M., Rutt, I.,



Reeder, T., Jenkins, G., Ridley, J., Dye, S., Bradley, S., 2009. Marine and coastal projections, in: *UK Climate Projections Science Report*. Met Office Hadley Centre and Exeter, UK.

Milne, G. A., Gehrels, W. R., Hughes, C. W., and Tamisiea, M. E., 2009. "Identifying the causes of sea-level change, *Nature Geosci.*, 2, 471–478, 2009

Morris, L., 2010, "Developers plan to keep the sea at bay" *The National* published on January 18.

Murray, T., Nettles, M., Selmes, N., Cathles, L., Burton, J., James, T., Edwards, S., Martin, I., O'Farrell, T., Aspey, R., Rutt, I., and Baugé, T., 2015. "Reverse glacier motion during iceberg calving and the cause of glacial earthquakes", *Science*, 17 VOL 349 ISSUE 6245

National Snow and Ice Data Center. (n.d.). *Ice Shelves*. State of the Cryosphere. Retrieved April 6, 2010.

National Snow and Ice Data Center (NSIDC), (2014) <http://nsidc.org>

Nicholls, R. and Cazenave, A., 2010. "Sea-Level Rise and Its Impact on Coastal Zones," *Science*, Vol. 328, Issue 5985, pp. 1517-1520.

Nicholls, R.J., Hanson, S.E., Lowe, J.A., Warrick, R.A., Lu, X., Long, A.J., 2014. Sea-level scenarios for evaluating coastal impacts. *WIREs Climate Change* 5, 129–150. doi:doi:10.1002/wcc.253

Nicholls, R.J., Wong, P.P., Burkett, V.R., Codignotto, J.O., Hay, J.E., McLean, R.F., Ragoonaden, S., Woodroffe, C.D., 2007. Coastal systems and low-lying areas, in: Parry, M.L., Canziani, O.F., Palutikof, J.P., Linden, P.J. van der, Hanson, C.E. (Eds.), *Climate Change 2007: Impacts and Adaptation and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge,



Rignot, W., 2008. "Changes in West Antarctic ice stream dynamics observed with ALOS PALSAR data", *Geophysical Research Letters* 35, L12505,

Robel, A. and Tziperman, E., 2016. "The role of ice stream dynamics in deglaciation", *Journal of Geophysical research* Volume 121, Issue 8, Pages 1540–1554

Rochette, J., du Puy-Montbrun, G., Billé, R., 2010. Coastal setback zones in the Mediterranean: A study on Article 8-2 of the Mediterranean ICZM Protocol. IDDRI.

Rohling, E.J., Grant, K., Helmleben, C., Siddall, M., Hoogakker, B. a. A., Bolshaw, M., Kucera, M., 2008. High rates of sea-level rise during the last interglacial period. *Nature Geosci* 1, 38–42. *Nature Geoscience* 1, 38–42. doi:doi:10.1038/ngeo.2007.28

Rutt, I. C, Hagdorn, M, Hulton, N. R. J, & Payne, A. J., 2009. "The glimmer community ice sheet model," *J. Geophys. Res.* 114

Scambos, T. A., Bohlander, J., Shuman, C., & Skvarca, P. (2004). Glacier acceleration and thinning after ice shelf collapse in the Larsen B embayment, Antarctica. *Geophysical Research Letters*, 31(18).

Scambos, T. A., Hulbe, C., Fahnestock, M., & Bohlander, J. (2000). The link between climate warming and break-up of ice shelves in the Antarctic Peninsula. *Journal of Glaciology*, 46(154), 516-530.

Shows, E.W., 1978. "Florida's coastal setback line – an effort to regulate beachfront development", *Coastal Management* 4, 151–164.



Payne, T., Hebel, F., and Kennedy, J., 2015. "CISM 2.0.5 Documentation"

PROVIA (Ed.), 2013. PROVIA Guidance on assessing climate change vulnerability, impacts and adaptation.

Pugh, D., 2004. "Changing sea levels. Effects of tides, weather and climate", Cambridge University Press, 280pp.

Rahmstorf, S., 2012. "Modelling sea level rise", *Nature Education Knowledge* 3(10):4

Ranger, N., Reeder, T., Lowe, J.A., 2013. Addressing "deep" uncertainty over long-term climate in major infrastructure projects: four innovations of the Thames Estuary 2100 Project. *EURO Journal on Decision Processes* 1, 233–262. doi:doi:10.1007/s40070-013-0014-5

Renn, O., 2008. Risk governance: coping with uncertainty in a complex world. Earthscan.

Richardson, K., Steffen, W., and Liverman, D., (eds) 2011. "Climate Change: Global Risks, Challenges and Decisions," Cambridge university press.

Riebeek, H. (2009, April 8). Wilkins Ice Bridge Collapse. NASA's Earth Observatory. Retrieved April 7, 2010.

Rignot, E., Bamber, J. L., van den Broeke, M. R., Davis, C., Li, Y., van de Berg, W. J., & van Meijgaard, E. (2008). Recent Antarctic ice mass loss from radar interferometry and regional climate modelling. *Nature Geoscience*, 1(2), 106-110.

Rignot, E., Mouginot, J., Morlighem, M., Seroussi, H., and Scheuchl, B., 2014. "Widespread, rapid grounding line retreat of Pine Island, Thwaites, Smith, and Kohler glaciers, West Antarctica, from 1992 to 2011," *Geophys. Res. Lett.*, 41, 3502–3509, doi: 10.1002/2014GL060140.

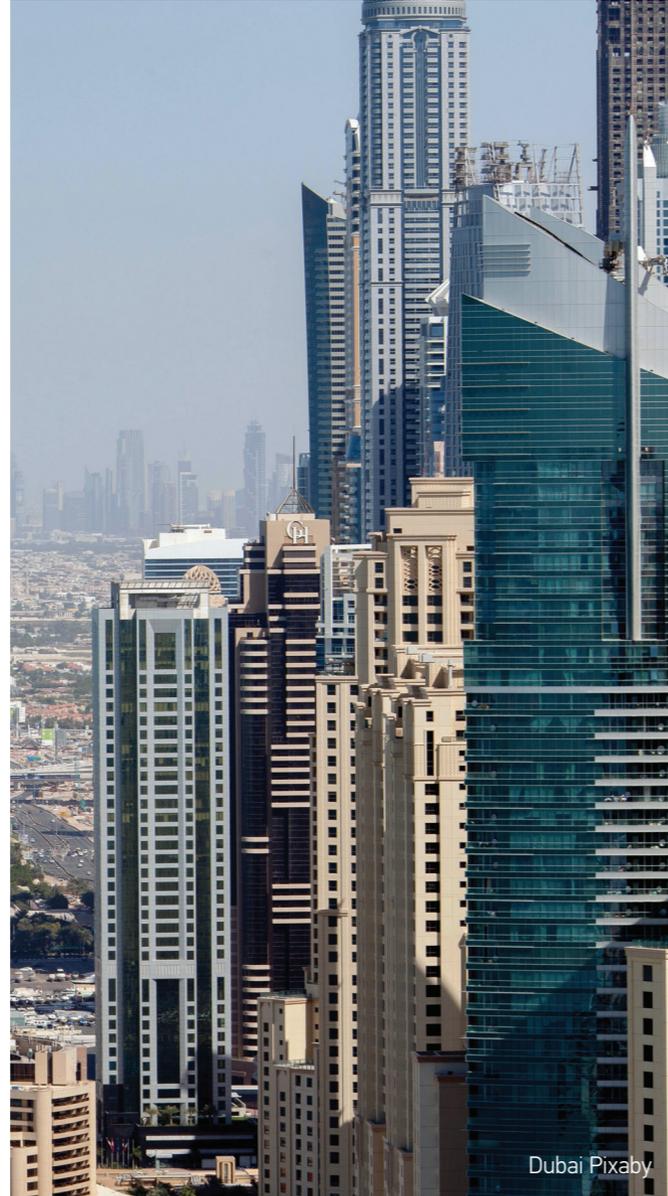


Walters, C., 1986. *Adaptive Management of Renewable Resources*. MacMillan, New York.

Willows, R. I. and Connell, R. K. 2003. *Climate adaptation: Risk, uncertainty and decision-making*. UKCIP Technical Report

Wong, P.P., Losada, I.J., Gattuso, J.-P., Hinkel, J., Khattabi, A., McInnes, K.L., Saito, Y., Sallenger, A., 2014. Coastal systems and low-lying areas, in: Field, C.B., Barros, V.R., Dokken, D.J., Mach, K.J., Mastrandrea, M.D., Bilir, T.E., Chatterjee, M., Ebi, K.L., Estrada, Y.O., Genova, R.C., Girma, B., Kissel, E.S., Levy, A.N., MacCracken, S., Mastrandrea, P.R., White, L.L. (Eds.), *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 361–409.

Yin, J. (2012). Century to multi-century sea level rise projections from CMIP5 models. *Geophysical Research Letters*, 39(17), n/a–n/a. doi: 10.1029/2012GL05294.



Slovic, P., 1987. Perception of risk. *Science* 236, 280.

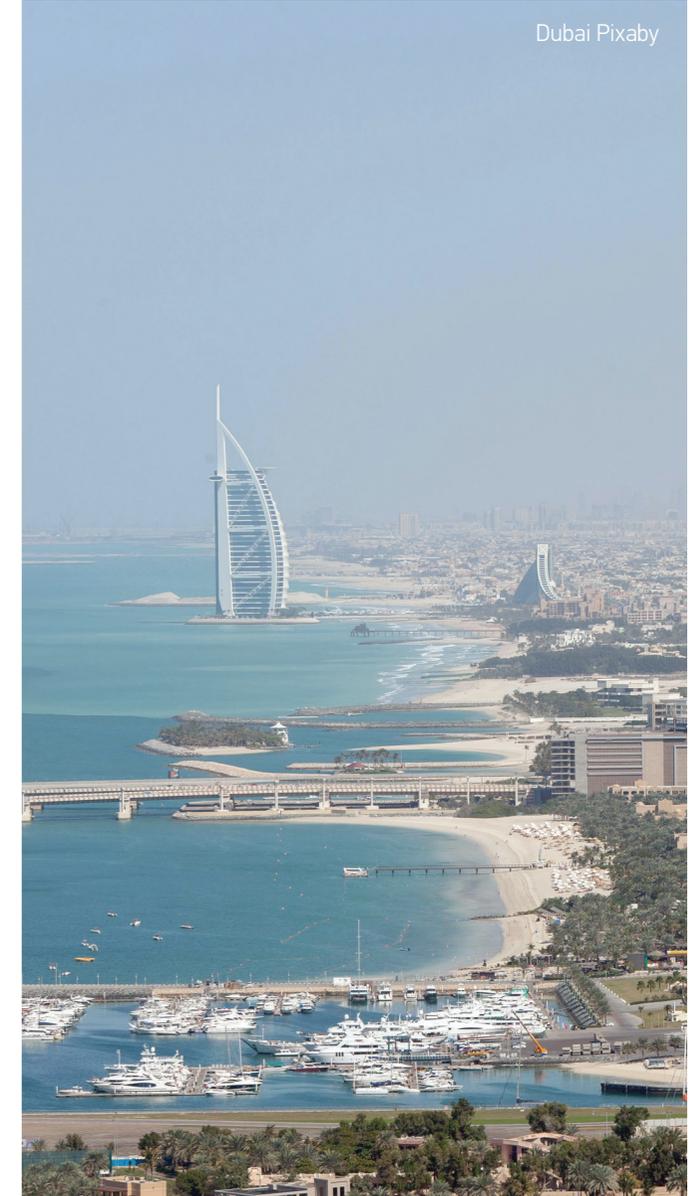
Stocker, T. F., Qin, D., Plattner, G., Tignor, M. M. B., Allen, S., Boschung, J., Midgley, P. M. (2013). IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change - The Physical Science Basis (p. 27). IPCC - AR4. Retrieved from http://www.climatechange2013.org/images/uploads/WGI_AR5_SPM_brochure.pdf

Tri, N.H., Adger, W.N., Kelly, P.M., 1998. Natural resource management in mitigating climate impacts: the example of mangrove restoration in Vietnam. *Global Environmental Change* 8, 49–61.

UKCIP, 2003. *Climate adaptation: Risk, uncertainty and decision-making*. UK Climate Impacts Programme. Walters, C., 1997. Challenges in adaptive management of riparian and coastal ecosystems.

Vaughan, D., 2008. "West Antarctic Ice Sheet collapse the fall and rise of a paradigm", *Climatic Change* 91(1):65-79

Vaughan, D.G., Comiso, J., Allison, I., Carrasco, J., Kaser, G., Kwok, R., Mote, P., Murray, T., Paul, F., Ren, J., Rignot, E., Solomina, O., Steffen, K., and Zhang, T., 2013. "Observations: Cryosphere. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.



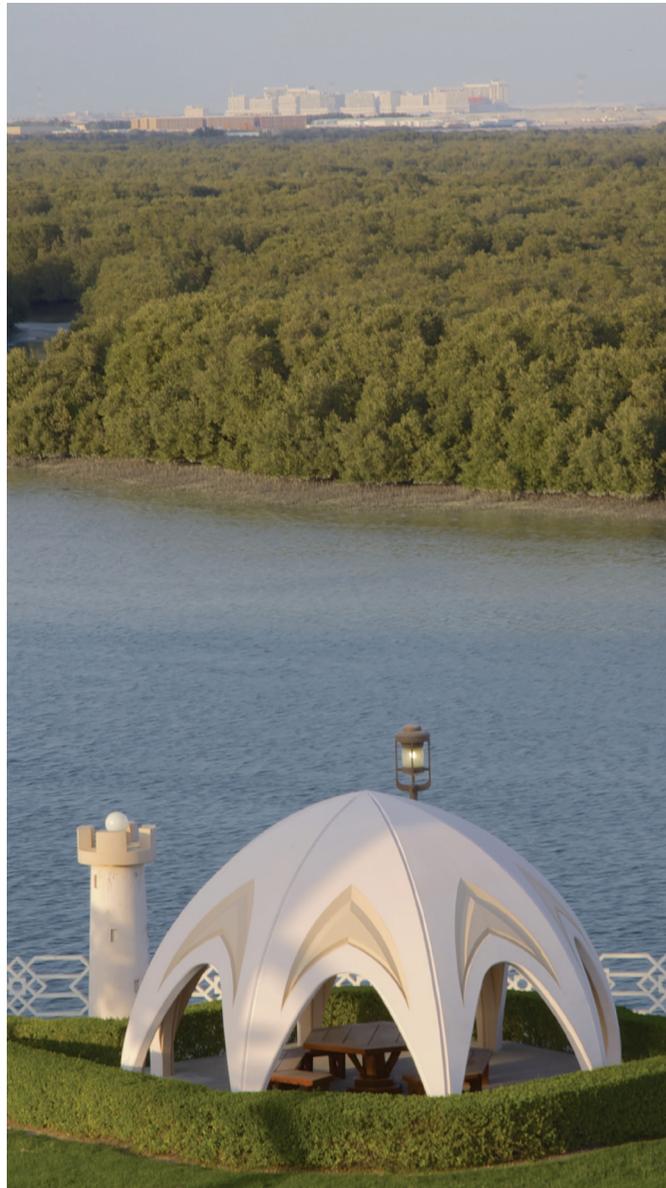


المجموعة البحثية المعنية بتغير المناخ (CCRG)

تُعتبر المجموعة البحثية المعنية بتغير المناخ (مجموعة CCR) شركة متخصصة في الأبحاث والاستشارات في مجال التنمية المستدامة والتي تركز جهودها على تداخل الطاقة والمناخ والتنمية. وتعمل شبكة الخبراء لدينا مع منظمات التنمية العالمية والحكومات الوطنية والمحلية وكذلك المؤسسات غير الحكومية لصياغة أطر السياسات والتقييمات الفنية وبرامج بناء القدرات. منذ تأسيس المجموعة في 2009، أصبح لدينا مشاريع رائدة في جميع أنحاء أفريقيا والشرق الأوسط وأوروبا الشرقية وآسيا والأمريكيتين. ونظرًا لكون كل عميل يواجه مجموعة فريدة من التحديات استنادًا إلى السياق المحلي، فإننا نتمتع بخبرة واسعة في وضع الاستراتيجيات للعديد من المجالات الموضوعية في إطار التنمية المستدامة.

وتشمل المجالات والخدمات الموضوعية للمجموعة ما يلي: استراتيجيات التكيف مع تغير المناخ؛ وتحليل تخفيف ظاهرة الاحتباس الحراري؛ وتغير المناخ وإدارة مخاطر الكوارث؛ وتغير المناخ والزراعة والأمن الغذائي؛ وتغير المناخ والأمن المائي؛ وتغير المناخ والصحة العامة؛ ونمذجة إمدادات الطاقة والتكامل المتجدد؛ ونمذجة ملوثات الهواء وسيناريوهات انبعاث الغازات الدفيئة؛ وبرامج تعزيز القدرات.

لمزيد من المعلومات، يُرجى زيارة www.ccr-group.org



هيئة البيئة - أبوظبي (EAD)

تم تأسيس هيئة البيئة - أبوظبي في عام 1996 للحفاظ على التراث الطبيعي في أبوظبي وحماية مستقبلنا ورفع الوعي بشأن القضايا البيئية. وتعتبر هيئة البيئة-أبوظبي إحدى الجهات التنظيمية البيئية الكائنة في أبوظبي والتي تعمل على تقديم المشورة للحكومة فيما يتعلق بالسياسة البيئية. وهي تعمل على إنشاء مجتمعات مستدامة، وحماية الحياة الفطرية والموارد الطبيعية والمحافظة عليها. وتعمل الهيئة أيضًا على ضمان الإدارة المتكاملة والمستدامة للموارد المائية من أجل ضمان هواء نظيف والتقليل من تغير المناخ وما ينجم عنه من آثار.

لمزيد من المعلومات، يُرجى زيارة www.ead.ae



مبادرة أبوظبي العالمية للبيانات البيئية (AGEDI)

تحت توجيه ورعاية سمو الشيخ خليفة بن زايد آل نهيان، رئيس دولة الإمارات العربية المتحدة، تشكلت مبادرة أبوظبي العالمية للبيانات البيئية في عام 2002 لمعالجة عمليات الاستجابة للحاجة الملحة للبيانات والمعلومات البيئية الدقيقة سهلة الوصول لجميع من هم في حاجة إليها.

باعتبار المنطقة العربية منطقة تركيز ذات أولوية، تعمل مبادرة أبوظبي العالمية للبيانات البيئية على تسهيل الوصول إلى البيانات البيئية الجيدة التي تزود صانعي السياسات بالمعلومات الكافية للتنفيذ في الوقت المناسب لإبلاغ وتوجيه القرارات الحاسمة. ويتم دعم مبادرة أبوظبي العالمية للبيانات البيئية بواسطة هيئة البيئة-أبوظبي (EAD) على الصعيد المحلي، وبواسطة برنامج الأمم المتحدة للبيئة (UNEP) على الصعيدين الإقليمي والدولي.

لمزيد من المعلومات، يُرجى زيارة www.agedi.org

كافة التقارير والمصادر متوفرة للتحميل على موقعنا الإلكتروني، www.agedi.org، وعلى البوابة الإلكترونية لمفتشي التغير المناخي <https://agedi.org/agedi-climate-inspectors/>



هيئة البيئة - أبوظبي
Environment Agency - Abu Dhabi

an initiative of



AGEDI

مبادرة أبوظبي العالمية للبيانات البيئية
Abu Dhabi Global Environmental Data Initiative

Abu Dhabi Global Environmental Data Initiative (AGEDI)

P.O Box: 45553

Al Mamoura Building A, Murour Road
Abu Dhabi, United Arab Emirates

Phone: +971 (2) 6934 444

Email : info@AGEDI.ae

AGEDI.org

LNRClimateChange@ead.ae

