تآكل السواحل

توم سبنسر

الفصل الثامن من كتاب

الجغرافيا التطبيقية : المبادئ والممارسة

أ. م. مانيون

ترجمة بتصرف

أ.د. مضر خليل عمر

مقدمة

في عام ١٩٨٥، قدّم بيرد تقريرًا عن مشروعٍ قامت به لجنة البيئة الساحلية التابعة للاتحاد الجغرافي الدولي : وقد وجد هذا المشروع أن ٧٠٪ من سواحل العالم الرملية تتعرض لتآكل صافٍ . ونظرًا لأن ٦٠٪ من سكان العالم (أو ما يقرب من ٣ مليارات نسمة) يعيشون في المناطق الساحلية للكوكب ، وأن ثلثي مدن العالم التي يبلغ عدد سكانها ٢,٥ مليون نسمة أو أكثر تقع في سواحل مفتوحة أو مواقع مصبات الأنهار (فايلز وسبنسر ١٩٩٥) ، فإن إحصائية بيرد (١٩٨٥) تُحدد مشكلة بيئية رئيسية . وهي مشكلةٌ راسخةٌ بالفعل في ضمائر العديد من المجتمعات المحلية والوطنية . ويمكن أن تنشأ صراعاتٌ قويةٌ في معالجة تآكل السواحل بين السكان المحليين ، والهيئات التنظيمية المحلية والإقليمية والوطنية ، وجماعات المصالح .

علماء استشاريون: إن تفاعل العمليات الفيزيائية والقوى الاقتصادية والاجتماعية والسياسية يجعل تآكل السواحل مشكلة جغرافية بالغة الأهمية . علاوة على ذلك ، يجب أن تأخذ أي دراسة ساحلية في الحسبان التنوع الكبير في البيئات الساحلية ودور التغير البيئي على مدى العشرة آلاف عام الماضية في تحديد مورفولوجيا الخط الساحلي المعاصر (ينظر الملحق 8.1). وقد تزايد القلق في العقد الماضي من أن السواحل معرضة للخطر وتحت ضغط . وقد تم تحديد مجموعتين عريضتين من العمليات ، وكلاهما يحتمل أن تتسارع . تتعلق المجموعة الأولى بتأثير ارتفاع مستوى سطح البحر على مدى المائة عام القادمة نتيجة لتغير المناخ العالمي الناجم عن أنشطة الإنسان . ويمثل الشكل حوالي ما يزال من الشائع في الأدبيات العلمية توقع تغير في مستوى سطح البحر يتراوح بين 100 و150 سم بحلول عام 2100 ميلادي ، لكن التقديرات الحالية "التقريبية" لهذه الفترة تبلغ 49 سم ، وهو تعديل تنازلي كبير للأرقام السابقة (ينظر واريك وآخرون، 1996 ، لمناقشة مفصلة، وفرينش وآخرون، 1995أ، للآثار الجيومورفولوجية والبيئية).

ومع ذلك ، ينبغي وضع عدة تحذيرات على هذا الانخفاض الذي يبدو مُطمئنًا . أولًا ، ما تزال هناك شكوك كبيرة في تنبؤات التغير البيئي العالمي . ثانيًا، ليس من الواضح كيف يمكن أن يؤثر التأثير الرئيسي لارتفاع مستوى سطح البحر على مجموعة من التأثيرات الثانوية ، مثل تغير أحجام وتواتر الأعاصير المدارية ومناخات الأمواج في خطوط العرض المتوسطة ، والتي قد يكون لها في حد ذاتها تأثير أكبر على المجتمعات الساحلية من ارتفاع مستوى سطح البحر في حد ذاته . ثالثًا، على الرغم من أن ارتفاع مستوى سطح البحر المتوقع للمائة عام القادمة أقل بكثير مما كان متوقعًا سابقًا ، إلا أنه ما يزال يمثل زيادة كبيرة مقارنة بالمائة عام السابقة . يُحوَّل حجم ارتفاع مستوى سطح البحر المتوقع إلى متوسط معدل ارتفاع يبلغ 4.5 ملم/سنة .

على الرغم من صعوبة تحديد رقم واحد لمعدل ارتفاع مستوى سطح البحر على مدى المائة عام الماضية، إلا أن واريك وآخرون (1996) يقترحون متوسط معدل ارتفاع يبلغ 1.8 ملم/سنة . وبالتالي ، من المتوقع حاليًا أن تكون المعدلات المستقبلية أعلى بمرتين ونصف من معدلات المائة عام الماضية . وسيحدث

أي تغير مستقبلي في مستوى سطح البحر على خلفية المجموعة الثانية من العمليات الرئيسية التي تؤثر على سواحل العالم . وتتمثل هذه العمليات في إنشاء سواحل "اصطناعية" معدلة للغاية نتيجةً للتعديل البشري المستمر، ولكن على نطاق أوسع ، للمنطقة الساحلية واستخدامها . عادةً ما تتمتع 30-40% من السواحل المفتوحة في الدول المتقدمة (مثل الولايات المتحدة الأمريكية وإنجلترا واليابان) بحماية من الفيضانات والتآكل ، وخطر الملاحة (نوردستروم 1994)، حيث يصل هذا الرقم إلى ما يقرب من 100% في بعض المناطق (مثل ساحل بلجيكا) .

تُناقش أدناه الآثار العميقة لهذه الهياكل الهندسية على العمليات الساحلية والتآكل . يرى هذا الفصل أن التعامل مع التآكل الساحلي يتطلب تقييمًا لموقعه في المخطط الأوسع لديناميكيات السواحل (التآكل ليس سوى أحد مكونات الميزانية الرسوبية لأي خط ساحلي) ، وأنه فقط من خلال فهم الوضع الساحلي المتغير، والسماح به ، يمكن تحقيق إدارة ساحلية مستدامة حقًا . تركز هذه المراجعة ، المحدودة بالمساحة ، على مشاكل السواحل الرملية والموحلة في العالم المتقدم (الرسم 8.1) ؛ ومع ذلك ، فإن الضغوط الناتجة عن التآكل الساحلي في البلدان النامية هائلة . على سبيل المثال ، في بنغلاديش ، يضطر سكان الريف الفقراء ، الذين يتزايد عددهم بسرعة ، إلى مواجهة ليس فقط ساحل سهل فيضي نشط تكتونيًا وسريع الحركة ، معرضًا لفيضانات نهرية كبيرة وعواصف كارثية ، بل أيضًا للمشاكل البيئية الناتجة عن بناء خطوط دفاعية ضد الفيضانات مصممة هندسيًا بصرامة ، فرضتها وكالات خارجية (مثل برامر، 1993). وقد تناول نيكولز وليذرمان (1995) المشاكل الساحلية المتنوعة التي تواجهها البلدان النامية بشكل جيد.

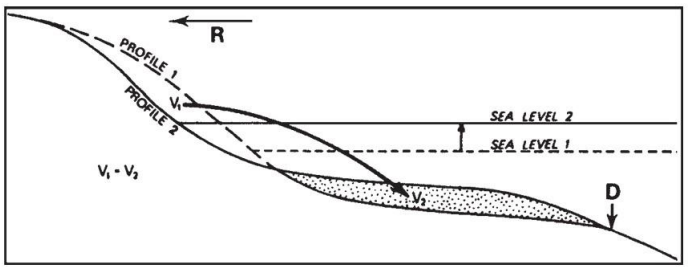


Figure 8.1 The 'Bruun Rule'. On sea level rise (sea level 1 to 2) sediment is transferred from the shoreface sediment store (V_1) to the nearshore zone (V_2) to re-establish an equilibrium water depth. The coastline will retreat (R) until stability is re-established. Point D is the 'closure depth', the outer limit of profile adjustment.
Source: After Bird 1993.

طبيعة المشكلة

تُعدّ الشواطئ والمناطق الساحلية المجاورة لها حواجز فعّالة للغاية ضد طاقة الأمواج الواردة ، حيث يُخفّض قياس الأعماق البحرية طاقة الأمواج الواردة بنسبة 95-99% (كارتر ووودروف، 1994). ونظرًا لارتفاع نسبة القوة إلى المقاومة ، ولأنّ المُدخلات المُتغيّرة تُؤدي إلى تغيّر مورفولوجي واضح ، فقد كان تطبيق نهج قائم على العمليات في الدراسات الساحلية (الذي يُروّج له بشكل كبير من خلال علم المحيطات والهندسة الساحلية وعلم الرواسب بدلًا من علم الجيومورفولوجيا) ناجحًا للغاية ، حيث تطور من دراسات مجلس تآكل الشواطئ في الولايات المتحدة في فترة ما بعد الحرب العالمية الثانية مباشرةً ، و وصل إلى أقصى تعبير له في دليل حماية خط الشاطئ الموسوعي (CERC، 1984).

وهكذا ، أصبح التنبؤ بأحوال أمواج المياه العميقة من خلال المتغيرات الجوية وغيرها ، وتعديل أمواج المياه العميقة بواسطة قياس الأعماق بالقرب من الشاطئ ، وطبيعة الأمواج المتكسرة ، وحركات المياه والرواسب داخل منطقة الكسارة ، أمرًا معروفًا جيدًا (على سبيل المثال، كومار 1976) . ولطالما تم إدراك الحالة المتغيرة لملامح الشواطئ القريبة من المد والجزر والمناطق الضحلة تحت المد والجزر، مع استخدام

مصطلحات مثل شواطئ "الشتاء" و"الصيف" (على سبيل المثال، دراسات شيبارد الكلاسيكية (1950) في جنوب كاليفورنيا) أو أنواع ملامح "العاصفة" و"الانتفاخ" (كومار 1976). وقد أثبتت فكرة التحولات بين حالات الشواطئ المتوازنة جاذبيتها بشكل خاص عند توسيع نطاقها لتشمل الآثار المحتملة لارتفاع مستوى سطح البحر . وعلى وجه الخصوص ، ثبت أن ما يسمى بـ "قاعدة برووون" (برووون 1962؛ دين 1991) مفهوم معيب ولكنه ثابت بشكل ملحوظ .

ينطلق هذا من فرضية وجود عمق متوازن للمياه قبالة الساحل . مع ارتفاع مستوى سطح البحر، يزداد عمق المياه ، ويجب أن يحدث ترسب في قاع البحر لاستعادة عمق التوازن ؛ ويتحقق ذلك من خلال تآكل الشاطئ وتراجع خط الشاطئ (الشكل 8.1). يمكن بسهولة صياغة هذه المعلمات في صيغة رياضية بسيطة ، وبالتالي حساب درجة تحول خط الشاطئ من تقديرات ارتفاع مستوى سطح البحر. على الرغم من صعوبة تحديد نقاط الانغلاق العلوية ، وخاصةً البحرية ، للمقاطع المدروسة ؛ وقبول التغيرات المفاجئة بدلًا من التدريجية في مستوى سطح البحر؛ وفي غياب مراعاة العمليات الساحلية في التحكم في خصائص المقاطع (ينظر Pilkey et al. 1993، على سبيل المثال، لمزيد من المعلومات) ، فقد تم الاستشهاد بقاعدة برووون على نطاق واسع ، وإن كان ذلك عادةً بالإشارة إلى دراسة أجريت على البحيرات العظمى ، حيث تتميز الجيولوجيا والتضاريس وقياس الأعماق ومناخ البحيرة المحلية بخصائص غريبة يصعب نقلها إلى السواحل المفتوحة .

حاولت تحليلات أكثر تطورًا تحديد الارتباطات بين حالات الشاطئ وخصائص الأمواج المتكسرة؛ وما هو نطاق هذه الحالات ؛ وكيف يمكن التنبؤ بمعدل واتجاه التغير بين الحالات . وبفضل جهود "المدرسة الأسترالية" إلى حد كبير، تم تحديد ستة مجالات مميزة (الشكل 8.2) . يصف مصطلح "انعكاسي" عنصرًا نهائيًا واحدًا : الشواطئ شديدة الانحدار ، الضيقة ، ذات الحبيبات الخشنة ، والتي غالبًا ما تتميز بتضاريس ساحلية إيقاعية ، حيث تكون طاقة الأمواج تنعكس الأمواج من الشاطئ وتُحاصر داخل منطقة الكسر. على النقيض من ذلك ، تُظهر الشواطئ "المبددة" مناطق أمواج منخفضة الزاوية ، و واسعة ، وذات حبيبات دقيقة تُضعف بشدة طاقة الأمواج الواردة (رايت وشورت 1984؛ ماسيلينك وشورت 1993).

وقد أظهر فحص السلاسل الزمنية الطويلة أن هذه الحالات الطرفية نادرة جدًا وغير مستقرة ، وأن معظم السواحل ذات الطاقة المتوسطة إلى العالية تتناوب بين النطاقات الوسيطة الأربعة (رايت وآخرون 1985؛ وينظر سونو وجيمس (1973) للاطلاع على مصفوفات الانتقال ونمذجة سلسلة ماركوف لهذه العمليات). وعلى الرغم من فائدة هذا النهج المورفوديناميكي ، إلا أنه الأنسب للسلوك الساحلي قصير المدى نسبيًا ، ونادرًا ما تم تمديده على طول امتدادات طويلة من الساحل . في هذا الصدد ، يكتسب مفهوم الخلية الساحلية أو الساحلية ، المفتوحة لتدفق الطاقة ، ولكنها أكثر انغلاقًا فيما يتعلق بنقل الرواسب ، أهمية خاصة (كارتر ووودروف، 1994).

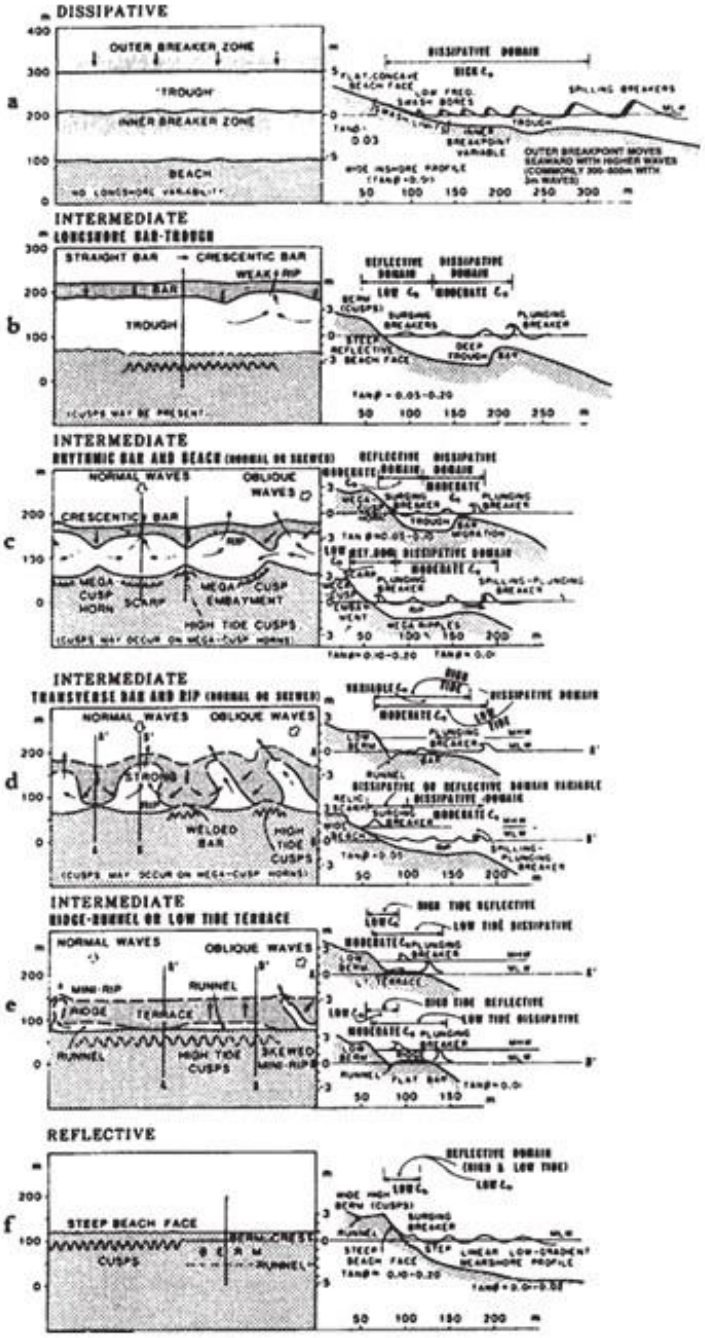


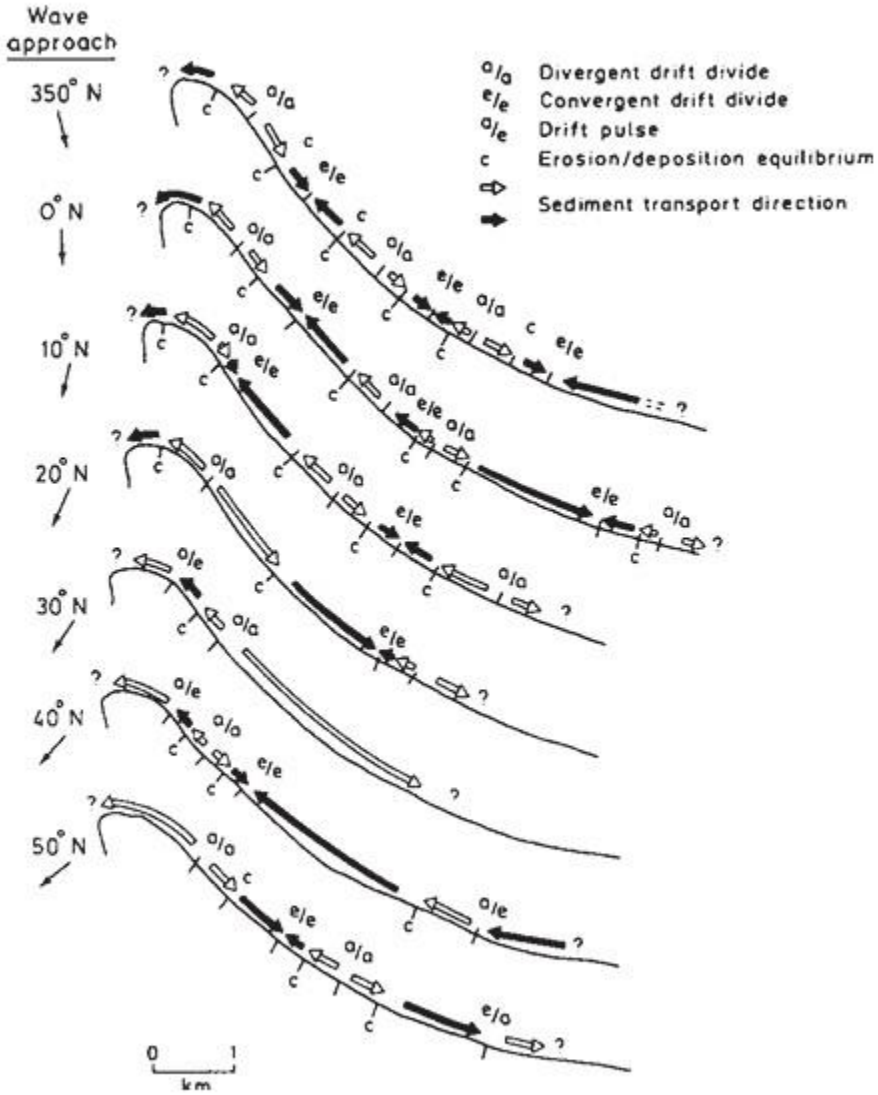
Figure 8.2 Plan and profile configurations of the six major beach states observed on the Australian coast. a = dissipative; b=longshore bar-trough; c=rhythmic bar and beach; d = transverse bar and rip; e=ridge runnel; f=reflective.
Source: After Wright and Short 1984.

Source: After Wright and Short 1984.

قد تكون حدود الخلية ثابتة عند الحدود الطبوغرافية (مثل الرؤوس أو مصبات الأنهار أو الدلتا)، أو ، بشكل أكثر جدلًا، قد تكون متحركة بحدود حرة محددة بتدفق الأمواج الموازية للشاطئ أو معدلات الانجراف الساحلي (كارتر، 1988) على السواحل المفتوحة . ومع تغير اتجاهات الأمواج على هذه السواحل ، يتغير هيكل الخلية مع الهجرات والاندماجات (الشكل 8.3؛). بمرور الوقت ، قد تصل الخلايا إلى حالة توازن ثابت

، إما أن يكون الساحل في جميع الأماكن موازيًا لانكسار الموجة المقتربة (أو "محاذاة مع التيار") ، أو حيث تُلغى التيارات الساحلية ("محاذاة مع الانجراف") ، أو حيث تُصنف رواسب الشاطئ بطريقة لا تصل أبدًا إلى عتبة انجراف الجسيمات (المرجع نفسه) .

Figure 8.3 Variations in coastal cell structures and boundary positions with varying wave approach, Magilligan Point, Northern Ireland.



Source: After Carter 1988.

ومع ذلك ، تُظهر معظم الخلايا أنماطًا من تبادل الرواسب بمرور الوقت ، بين الشواطئ وأنظمة التلال والكثبان الرملية ، وبين مصبات الأنهار والسواحل ، وبين البيئات الساحلية والبحرية . يمكن إضفاء الطابع الرسمي على هذه التبادلات من خلال حساب ميزانيات الرواسب ، على الرغم من أن هذا أسهل نظريًا

منه عمليًا ؛ إذ يبدو أن القليل من الميزانيات المنشورة تحقق التوازن . مع الانتقال إلى نطاقات زمنية أكبر، يصبح دور الأحداث المتطرفة مهمًا : ففي شاطئ مورويا ، جنوب شرق أستراليا ، أُجبر النطاق "الطبيعي" لاستجابة الشاطئ على الانتقال إلى حالة مختلفة تمامًا ، استغرق التعافي منها ست سنوات (توم وهول، 1991). ومع ذلك، ما يزال هذا العمل يشير إلى شكل من أشكال التوازن . ومع ذلك ، فقد بدأت الأبحاث الحديثة في دراسة فكرة أن سلوك الشاطئ قد يكون غير خطي (مثل فيليبس، 1992) ، مع التركيز على مجموعة من الأفكار تحت عنوان السلوك الساحلي واسع النطاق (LSCB؛ دي فريند وآخرون، 1993) ، وتطبيقها على نطاقات زمنية تصل إلى عقود ومسافات تصل إلى عشرات الكيلومترات حيث تُحدد الظروف الحدودية بالزمن الجيولوجي (راجع الملحق 8.1).

عندما تتوفر مجموعات بيانات عالية الجودة ، مثل قاعدة بيانات JARKUS الهولندية لقياس الأعماق ، تبدأ هذه المناهج في توفير صورة دقيقة ومفصلة لتعقيدات المكان والزمان في المنطقة القريبة من الشاطئ (Wijnberg and Terwindt 1995) ، وبالتالي ، أنماط التعرية والترسيب على الشاطئ . توفر الخلايا ، وحركات الرواسب داخل الخلايا وفيما بينها ، إطارًا مفيدًا ضمن والتي يجب مراعاتها في الاضطرابات البشرية للعمليات الطبيعية . يزيل تعدين الرمال (إيرني 1990) الرواسب مباشرةً ، لاستخدامها في بناء الكتل ، وتحسين التربة ، وتعدين المعادن الثمينة (مثل تعدين الماس على ساحل ناميبيا). ومع ذلك ، فإن التأثير الأكثر انتشارًا على الساحل هو التداخل بين العمليات البرية والبحرية ، والعمليات الساحلية، والهياكل القريبة من الشاطئ.

تُشير ديناميكيات التشكل الساحلية إلى أن مقاطع الشاطئ تتمدد وتنكمش مع تغير مدخلات طاقة الأمواج . ومع ذلك ، فإن وضع الجدران البحرية يمنع التمدد الطبيعي لمقاطع الشاطئ إلى حالة تبديد كاملة في ظل ظروف العواصف . تؤدي الكميات الكبيرة من المياه على الشواطئ إلى هيمنة ظاهرة الغسل العكسي ، وتمشيط الرواسب ، وانهيارات أرضية شبيهة بالانهيارات الأرضية لرواسب الشاطئ المشبعة . تم توثيق التضييق والانخفاض الناتج عن ذلك في الشواطئ المدعمة بالهياكل ، بالمقارنة مع مقاطع الشواطئ المجاورة غير المحمية ، على نطاق واسع (على سبيل المثال : كراوس وبيلكي 1988؛ لويزيانا ، الولايات المتحدة الأمريكية : ناكاشيما وموسى 1991؛ تكساس، الولايات المتحدة الأمريكية : مورتون 1988). ومع استمرار فقدان رواسب الشاطئ ، تتعرض الجدران لخطر التقويض ، مما يؤدي إلى بدء دورة من الدفاعات المتزايدة الحجم مع قواعد لمستويات أدنى وأكثر اتجاهًا نحو البحر على مقطع الشاطئ (على سبيل المثال : تاريخ الجدران البحرية في بورثكول ، المملكة المتحدة: كارتر 1988).

وثمة مشكلة أخرى تتمثل في أن التآكل المتسارع غالبًا ما يكون سمة مميزة للطرف المنحدر للهيكل الدفاعي ؛ وبالتالي ، فإن الإغراء يكمن في تمديد الهيكل تدريجيًا نحو المنحدر، حتى يصل في النهاية إلى مئات الكيلومترات من الخط الساحلي المحمي . في أماكن أخرى على طول الساحل ، تنشأ أنماط الترسيب والتآكل نتيجةً لانقطاع نقل الرواسب الساحلية ؛ وهذه الأنماط معروفة جيدًا (ينظر Viles and Spencer 1995 للمراجعة) . تُحفز الأرصفة (الهياكل الساحلية الطبيعية التي تمتد باتجاه البحر إلى ما بعد منطقة الكسارة) تراكم التيار الصاعد والانجراف الهابط . على الشاطئ نفسه ، تُستخدم حواجز الأمواج الساحلية الطبيعية للحفاظ على أحجام الشاطئ المتبقية أو لالتقاط الرواسب المتحركة على طول الساحل .

وبالمثل ، يمكن أن تؤدي حقول حواجز الأمواج إلى مشاكل تآكل التيار الهابط ، على الرغم من أنه بمجرد امتلائها ، يعود الانجراف الساحلي إلى مكانه مع تجاوز الرواسب للهيكل عند حدوده البرية أو البحرية . وبالتالي ، تُعد حقول حواجز الأمواج عنصرًا أساسيًا في الحفاظ على الشواطئ على العديد من السواحل

(مثل المملكة المتحدة: Bray et al. 1992؛ اليابان: Walker and Mossa 1986). يحدث انقطاع مختلف نوعًا ما لانجراف الشاطئ مع وجود حواجز الأمواج البحرية : فهي تقلل من طاقة الأمواج ، وبالتالي من معدلات نقل الرواسب الشاطئية ، مما يؤدي إلى تراكم الرواسب في المناطق التي تحميها من الرياح (والحاجة إلى التجريف في الموانئ ومنشآت المرافئ) . وتتمثل النتيجة المتكررة لهذا التآكل البشري في محاولة التخفيف من هذه المشاكل عن طريق إعادة تأسيس حركات الرواسب الطبيعية بشكل مصطنع . ومن الأمثلة على ذلك ضخ الرواسب عبر المداخل للحفاظ على نقل الرواسب الهابطة (مثل فورت وورث ، تكساس ، الولايات المتحدة الأمريكية) وتجريف وإلقاء الرواسب البحرية لتجديد الشواطئ المحرومة من إمدادات الرواسب بواسطة حواجز الانجراف الصاعد (مثل سانتا باربرا ، كاليفورنيا ، الولايات المتحدة الأمريكية) .

في العقود الأخيرة ، أصبحت مخططات تغذية الشواطئ حلاً مفضلاً بشكل خاص لفقدان حجم الشاطئ . ومع ذلك ، يجب أيضًا النظر إلى هذه الأنشطة في سياق توصيل الرواسب إلى السواحل . تقديرات المدخلات النهرية المعاصرة للمنطقة الساحلية غير معروفة جيدًا ، ولكن ربما يُسهم ما نسبته 10-15% من إجمالي المدخلات ، والبالغة 10-17 طنًا ، في تدهور السواحل . وتُعد الاختلافات الإقليمية كبيرة ، ويتحكم فيها جزئيًا ضوابط الصفائح التكتونية على خصائص أحواض الصرف ، وجزئيًا النظام المناخي (ميليمان وميد 1983؛ ميليمان وسيفيتسكي 1992) . ومع ذلك ، فقد كان النشاط البشري ، وما يزال ، جزءًا من الضوابط داخل أحواض الصرف المغذية . وقد لعب توقيت وأسلوب تعديل مستجمعات المياه دورًا مهمًا في تحديد إمدادات الرواسب واستجابة خط الساحل .

على سبيل المثال ، في البحر الأبيض المتوسط ، يبدو أن نبض الرواسب بدأ في عصور ما قبل الكلاسيكية وتسارع مع تعديل المظاهر الطبيعية اليونانية الرومانية – وبالتالي ، كانت شواطئ شمال البحر الأبيض المتوسط أحفورية إلى حد كبير لألف عام أو أكثر (فيتا فينزي 1964) ، وبالتالي تمكنت بشكل كبير من الاحتفاظ بما هو موجود من الرواسب . أما نبض تدفق الرواسب / نقص الرواسب في أمريكا الشمالية فكان أحدث بكثير (IGBP 1993) . وحتى في الآونة الأخيرة ، في مصر ، استُبدل التوسع السابق لدلتا النيل بانحسار سريع مع إزالة مخزون الرواسب بعد اكتمال وإغلاق السد العالي في أسوان عام ١٩٦٤ (ستانلي ووارن ١٩٩٣) . وأخيرًا ، في الوقت الحاضر، تُشكّل إزالة الغابات الاستوائية أحدث بؤرة جغرافية في المناطق الاستوائية النامية لتدفقات الرواسب والتقدم الساحلي . ويبدو من المرجح أن يتبع ذلك النمط المألوف من مشاكل خط الساحل : صعوبات أولية في الملاحة وترسب الطمي ، حيث تُعطّل رواسب الأنهار المستوطنات والبنية التحتية الساحلية ؛ ووضع تدابير للتحكم في الرواسب ؛ والتآكل الذي ينجم عن مزيج من توقف مدخلات الرواسب المتسارعة وتدخل الهياكل في العمليات الطبيعية لإعادة توزيع الرواسب.

دراسات الحالة

الرواسب الخشنة

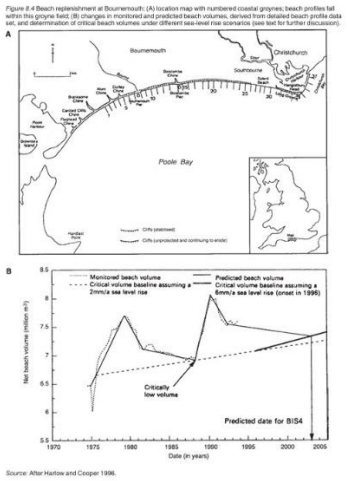
يتضح من المناقشة السابقة أن الشاطئ المتين يُعدّ شكلاً ممتازًا للدفاع الساحلي ، وأن هناك فوائد إدارية كبيرة من الحفاظ على واجهة الشاطئ أو تحسينها من خلال تغذيته / تجديده . وتتمثل مزايا هذا النهج في ثلاثة جوانب . أولًا، تتميز هذه الدفاعات الطبيعية بنشاط مورفوديناميكي ، وبالتالي ، يمكنها التكيف مع ظروف الرياح والأمواج المتغيرة ، وهو ما لا يمكن تحقيقه باستخدام خط دفاع ثابت . ثانيًا، يتم تقليل ارتفاع الأمواج والفيضانات خلف خطوط الدفاع ، نتيجةً لانعكاس طاقة الأمواج أو تبديدها ، دون الحاجة إلى وضع هياكل احتجاز للرواسب ، مما يؤدي بدوره إلى نقص في الرواسب في الساحل ومشاكل التعرية . ثالثًا، غالبًا

ما توفر تغذية الشاطئ فائدة إضافية تتمثل في إعادة إنشاء مورد ترفيهي وترفيهي قيّم . يمكن ملاحظة جاذبية هذا الشكل من تحسين الخط الساحلي للجهات المسؤولة عن التشغيل من خلال الزيادة السريعة في اعتماد مخططات التغذية ، التي طُبقت لأول مرة في الولايات المتحدة الأمريكية في عشرينيات القرن الماضي ، بدءًا من سبعينيات القرن الماضي فصاعدًا (بيلكي 1995).

ومع ذلك ، كان أداء جهود تجديد الشاطئ الفردية متباينًا (ديفيدسون وآخرون 1992) ، ولا يمكن تفسير كل هذه الاختلافات بالاختلافات الإقليمية واسعة النطاق في نوع الخط الساحلي أو تغير مستوى سطح البحر (ليونارد وآخرون 1990) . وهكذا ، من بين 110 مخططات من هذا القبيل في خليج المكسيك ، وُجد أن 23% منها استمرت لأكثر من خمس سنوات ، و54% لمدة تتراوح بين سنة وخمس سنوات ، و23% لأقل من عام واحد (ديكسون وبيلكي 1989) . ومن المفيد النظر في مشاريع تغذية الشاطئ الفاشلة ؛ يُحدد الكثيرون نقص المعرفة بجيومورفولوجية السواحل كعامل رئيسي في الفشل . تُنفَّذ الغالبية العظمى من مخططات تغذية الشواطئ بسبب فقدان الشاطئ الحالي ؛ لذا من الضروري معرفة سبب تآكل الشاطئ ومكان بالوعة الرواسب ، سواءً باتجاه اليابسة أو باتجاه البحر أو بمحاذاة الشاطئ . وبالتالي ، يجب وضع أي شاطئ على حدة في سياقه الإقليمي ، من حيث مورفولوجية الشاطئ (الطبيعية والاصطناعية) وأنظمة الرياح والأمواج والمد والجزر (بما في ذلك دور الظواهر المتطرفة ، إن وُجد). من المفترض أن يُساعد هذا التخطيط المسبق في تحديد طبيعة وحجم وموقع وضع الرواسب . الدرس الثاني من فشل المخطط هو الحاجة إلى مراقبة أداء إعادة تغذية الشاطئ بعد وضع الرواسب ، كما توضح دراسة الحالة التالية.

<u>شاطئ بورنماوث، جنوب إنجلترا</u>

يُشكل شاطئ بورنماوث القسم المركزي من خليج بول العريض الذي يبلغ طوله 30 كيلومترًا على ساحل جنوب إنجلترا (الشكل 8.4أ). الاتجاه السائد للموجة هو من الجنوب الغربي ، بالتزامن مع أقصى ارتفاع لها من المحيط الأطلسي . يُحيط بالخليج منحدرات منخفضة قابلة للتآكل ، مستقرة بدرجات متفاوتة ؛ أما رواسب الشاطئ المميزة فهي رمال ناعمة غربًا ، لكنها تتحول إلى حصى خشنة باتجاه رأس هينجيستبري شرقًا (مايو 1990). تعتمد مدينة بورنموث على شواطئها الرملية لدعم صناعة سياحية مهمة اقتصاديًا ، وقد دأبت على استخدام تدابير حماية السواحل القياسية ، المتمثلة في الجدران البحرية وحقول المصدات ، لمنع الفيضانات الحضرية والحفاظ على رواسب الشاطئ .



Source: After Harlow and Cooper 1996.

ومع ذلك ، في ستينيات القرن الماضي ، بدأ هذا النظام بالفشل ، مع انخفاض منسوب مياه البحر وتزايد الأضرار التي لحقت بهياكل الجدران البحرية . وفي عام ١٩٧٠ ، تم تنفيذ مشروع تجريبي لتغذية الشواطئ (مشروع تحسين الشواطئ(BIS))، حيث تم وضع ٨٤,٥ × ١٠٣ متر مكعب من الرمال المجروفة على طول واجهة بطول ١,٨ كيلومتر . وأعقب ذلك مشروع واسع النطاق2 BIS في الفترة ١٩٧٤-١٩٧٥، حيث تم ضخ ٦٥٤ × ١٠٣ متر مكعب من الرمال مباشرةً على الشواطئ على طول واجهة بطول ٨,٥ كيلومتر، مع ما يُقدر بـ ٧٤٩ × ١٠٣ متر مكعب إضافية من المواد، كـ "تسرب" من عملية الضخ، والتي تترسب في المنطقة الضحلة القريبة من الشاطئ.

أُجريت عملية وضع ثالثة (BIS 3) بين عامي 1988 و1990، بإضافة 999×103 متر مكعب من الردم المستخرج من مدخل ميناء بول (هارلو وكوبر، 1996) . تتضح أسباب هذه المرحلة الثالثة من تجديد الشاطئ من خلال تجميع البيانات المتعلقة بديناميكيات الشاطئ ، والتي جُمعت من ما يقرب من أربعين خطًا لملف الشاطئ في حوالي خمسين مناسبة منذ عام 1974 (الشكل 8.4ب). ارتفع إجمالي حجم الشاطئ من أدنى مستوى له وهو 6×106 متر مكعب في عام 1975 إلى ذروة بلغت 7.7×106 متر مكعب في عام 1979، نتيجةً لكلٍ من وضع مواد الشاطئ مباشرةً وهجرة المواد "المتسربة" إلى الشاطئ . بعد ذلك ، انخفض حجم الشاطئ إلى 6.9×106 متر مكعب في عام 1988، مما أدى إلى تضييق الشواطئ وهجرة متوسط ارتفاع المد إلى الشاطئ ، مما استلزم تطبيق مخطط .BIS 3 أعاد هذا حجم الشاطئ إلى أكثر من 8×106 متر مكعب في عام 1990 .

وبحلول أواخر عام 1993، انخفض حجم الشاطئ إلى 7.9×106 متر مكعب ، مما يشير إلى ضرورة المرحلة التالية من تجديد الشاطئ ، مع الأخذ في الحسبان عامل ارتفاع مستوى سطح البحر المحتمل في المستقبل القريب ، قبل عام 2003 (الشكل 8.4 ب) . الاستنتاج المهم من هذه الدراسة هو الحاجة ليس فقط إلى تخطيط معقول قبل وضع التغذية ، ولكن أيضًا إلى أهمية المراقبة المستمرة بمجرد وضع التغذية . يجب أن تكون المراقبة منتظمة ومستدامة لتحديد اتجاهات تغير حجم الشاطئ من الدرجة العالية من التباين بين المسوحات الفردية المتتالية ، وأن تمتد بعيدًا بما يكفي عن الشاطئ لتشمل التغيرات الضحلة تحت المد والجزر، وكذلك التغيرات بين المد والجزر . لا يمكن "ضبط" تقنية تغذية الشواطئ بدقة لتحقيق الأداء الأمثل إلا من خلال التزام إداري مستمر من هذا النوع ، وبالتالي تجنب ممارسة التصميم التقليدية والمكلفة والبدائية المتمثلة في "الإفراط في الملء" (غالبًا بنسبة 40%؛ فيرهاجن 1992) للشواطئ المغذية للسماح بفقدان غير مراقب.

<u>الرواسب الدقيقة</u>

لا توفر الشواطئ فقط مناطق عازلة ساحلية طبيعية مهمة . بل تؤدي أيضًا المسطحات الطينية المدية ومستنقعات المانغروف النباتية والمستنقعات المالحة وظائف مماثلة في تبديد الطاقة (بيثيك 1992) . على المستوى الساحلي ، تقلل المستنقعات المالحة داخل مصبات الأنهار من نطاق المد والجزر واحتمالات الفيضانات من خلال السحب الاحتكاكي على أسطح المياه ، ومن خلال السماح بوصول المياه إلى مرحلة المد العالي على أسطح المستنقعات (بيرد 1995) . أظهرت القياسات الميدانية الحديثة أن أسطح المستنقعات يمكن أن تبدد ما بين 47 و99% من طاقة الأمواج الساقطة على مسافات 200 متر أو أقل (مولر وآخرون، 1996) ، مما يقلل من خطر ارتفاع الأمواج وتجاوزها على الدفاعات البحرية المواجهة للمستنقعات . ومع ذلك ، فقد

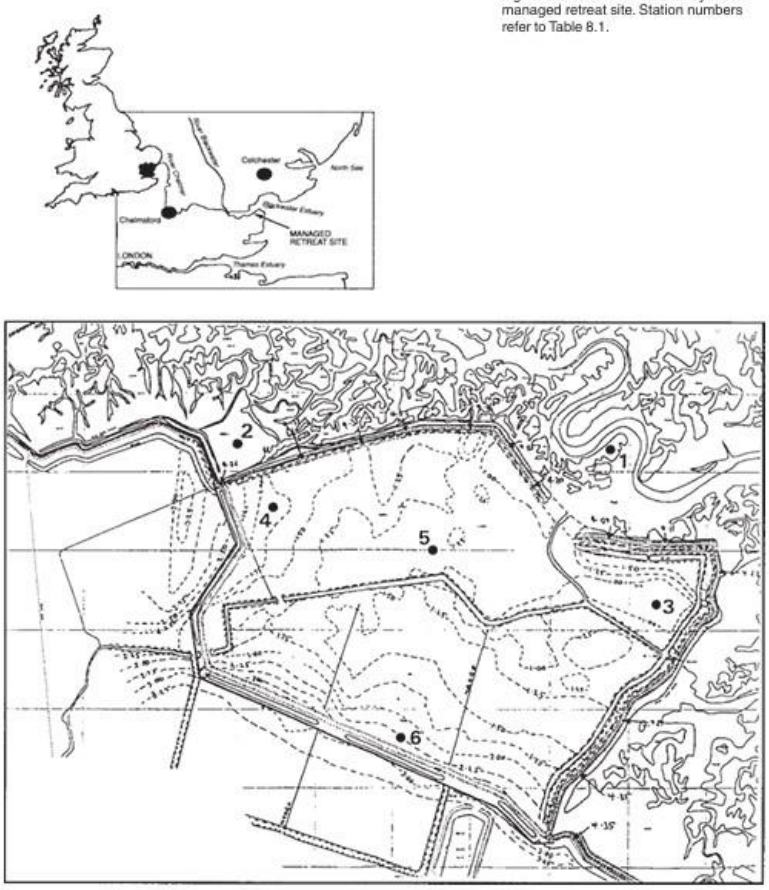
أدى استصلاح الأراضي في العديد من السواحل ، في أسوأ الأحوال ، إلى إزالة هذه المستنقعات المواجهة ، وفي أحسن الأحوال إلى تقليل عرضها .

علاوة على ذلك ، هناك أدلة في العديد من المناطق على أن المستنقعات المتبقية قد تعرضت لفقدان متسارع في العقود الأخيرة ، ربما نتيجة لارتفاع مستوى سطح البحر . على السواحل الطبيعية ، تهاجر المستنقعات نحو اليابسة مع ارتفاع مستوى سطح البحر للحفاظ على موقعها في إطار المد والجزر . ومع ذلك ، على السواحل المحمية ، يتم منع هذه الهجرة من خلال خط دفاعي باتجاه اليابسة ، ولا يمكن الحفاظ على أحجام المستنقعات . يؤدي فقدان المستنقعات المالحة المواجهة إلى زيادة تأثير الأمواج ضد الدفاعات ، ويزيل الدعم الميكانيكي من مقدمتها ؛ إن احتمالية تقويض خط الدفاع وانهياره تُولّد طلبًا على إعادة هندسة مكلفة له . ومع ذلك ، هناك نهج بديل يتمثل في "التراجع المُدار" (المعروف أيضًا باسم "التراجع الساحلي" أو "إعادة تنظيم خط الساحل") ، حيث يُعاد وضع خط الدفاع في موقع أكثر انفتاحًا على اليابسة .

تُعد هذه المخططات جذابة لأسباب مادية ، إذ تُنشئ منطقة مُبددة للطاقة مباشرةً أمام خط الدفاع الجديد، ولأسباب بيئية / حفظية ، كموائل بديلة للمد والجزر . يعوض عن الأراضي الرطبة المدية المفقودة في أماكن أخرى . لذلك ، تُنفذ حاليًا تجارب التراجع المُدار في مواقع عدة ، بما في ذلك المملكة المتحدة والسواحل الشمالية الغربية لكاليفورنيا والمحيط الهادئ للولايات المتحدة الأمريكية . في المملكة المتحدة ، تُحمي مقاطعة إسيكس في شرق إنجلترا 430 كيلومترًا من الجدران البحرية ، وهو نظام دفاعي عُزز في أعقاب فيضانات عام 1953 الكارثية ، ولكنه الآن في نهاية عمره التصميمي . حوالي 60% من هذه الجدران البحرية محمية بمستنقعات ملحية مواجهة ، لكن تآكل هذه المستنقعات تسارع منذ سبعينيات القرن الماضي . ولذلك ، تُجرى في هذه المنطقة العديد من تجارب التراجع المُدار، بما في ذلك دراسات رصد عمليات تبادل المياه والرواسب والمغذيات ؛ والتغيرات الفيزيائية والكيميائية للتربة ؛ وإعادة تأهيل الغطاء النباتي ؛ وعمليات الترسيب / التراكم .

إحدى هذه التجارب في تولسبري فليت على مصب بلاكووتر، وهو موقع مساحته 21 هكتارًا أُعيد غمره في أغسطس 1995 بعد خرق مُتحكم فيه لجدار البحر القديم . تقسم قناة تصريف سابقة ، تؤدي إلى سدٍّ مُعطل الآن ، على الجانب الشرقي من الموقع ، الموقع إلى منطقة شمالية سفلية كانت مزروعة سابقًا بالبرسيم ، ومنطقة جنوبية أعلى ومنحدرة كانت مزروعة سابقًا بمحاصيل الحبوب (الشكل 8.5). هناك الكثير من الغموض حول الأداء طويل المدى لمثل هذه المخططات . تدور مجموعة من الأسئلة الحاسمة حول الملاحظة التي مفادها أن تبادل المد والجزر الجديد عادةً ما يُعيد تنشيط أسطح المستنقعات المالحة السابقة التي حُوّلت إلى استخدامات زراعية في منطقة مُحاطة بالبحر . تعني التغيرات في عمليات تجفيف المياه ، والضغط ، وكيمياء التربة عند عزلها عن البيئة البحرية أن الأسطح التي أُعيد غمرها من المرجح أن تكون مختلفة كثيرًا عن أسطح المستنقعات الطبيعية (بورتنوي وجيبلين 1997). علاوة على ذلك ، ستستمر المستنقعات المجاورة خارج المناطق المستصلحة في التراكم عموديًا ، وبالتالي من المرجح أن تكون هناك فروق في الارتفاع - ربما تتراوح بين 1.0 و1.5 متر في الأنظمة التي تهيمن عليها الرواسب غير العضوية (بيثيك وبورد 1995) - بين أسطح المستنقعات الطبيعية الأعلى والأسطح المنخفضة المعاد تنشيطها . لذلك ، يتمثل أحد التحديات التي تواجه تصميم مواقع التراجع المُدارة في ضمان إزالة هذه الفروق في الارتفاع من خلال الترسيب السريع.

Figure 8.5 Location of Tollesbury Fleet managed retreat site. Station numbers refer to Table 8.1.



ولا يمكن تحقيق ذلك إلا من خلال فهم سليم لعمليات تطوير المستنقعات المالحة وكيفية إدارتها لأغراض الإدارة . في تولسبري ، بلغ متوسط المعدلات الطبيعية لتغير الارتفاع ، المقاسة على أسطح المستنقعات المالحة المغطاة بالنباتات الطبيعية خارج موقع التراجع المُدارة ، حوالي 5 مم سنويًا منذ بدء الرصد في عام 1995 (الموقعان 1 و2، الشكل 8.5 ؛ الجدول 8.1) ، وهو رقم يتوافق مع مواكبة الأسطح لارتفاع مستوى سطح البحر المقدر محليًا . (حيث يُعد تراكم المواد العضوية المدخل الرئيسي)، تُظهر دراسات تطور المستنقعات على المدى الطويل مكاسب سريعة في الارتفاع الرأسي ، والتي تتباطأ مع مرور الوقت (غالبًا بعد حوالي 100 عام) حيث تُغمر أسطح المستنقعات الأعلى تدريجيًا بتدفقات مدية أقل فأقل (فرينتش 1993).

Table 8.1 Average rates of surface elevation change, 1995–7, outside and inside the managed retreat site at Tollesbury Fleet, Blackwater estuary, Essex, UK.

*Station**	*Outside/inside the site**	*Rate of elevation change (mm a^{-1})***
1	Outside	6.6
2	Outside	4.2
3	Inside	35.7
4	Inside	16.1
5	Inside	8.5
6	Inside	–0.4

Notes: *See Figure 8.5 for station locations.
**Negative numbers indicate surface lowering. Work forms part of an ongoing collaborative project with the US Geological Survey (Dr D.Cahoon), Louisiana Universities' Marine Consortium (Dr D.J.Reed) and University College, London (Dr J.R.French).

ومع ذلك ، في إطار هذا السلوك ، تمكنت الدراسات الحديثة التي أجريت على مقاييس زمنية تتراوح من المد الفردي إلى المد الشهري من حل تفاصيل ديناميكيات الترسيب على نطاق أصغر (مثل فرينش وآخرون 1995ب؛ ليونارد 1997) ، مما يُظهر أن القرب من قنوات تغذية المد والجزر، أو "الجداول" ، هو عنصر تحكم رئيسي في أنماط ترسب الرواسب . وبالتالي ، قد تتمثل إحدى طرق زيادة توصيل الرواسب إلى موقع تراجع مُدار وداخله في إعادة حفر الجداول المدية القديمة أو بناء شبكة جديدة من الجداول الاصطناعية ، مع الأخذ في الحسبان قواعد التصميم من جيومورفولوجية الأنهار . بما أن قنوات المستنقعات المالحة تُساعد أيضًا على نمو النباتات من خلال تصريف الركيزة وتجفيفها ، فينبغي النظر بجدية في مثل هذه الأساليب (فرينش، ١٩٩٥).

ومع ذلك ، يجب توخي الحذر في هذا العمل : فالشبكات سيئة التصميم قد تُعزز التعرية بدلًا من الترسيب (مثل هالتينر وآخرون، ١٩٩٧) ، وقد يكون لتصميم القنوات أيضًا آثار على ديناميكيات المياه داخل القناة وتبادل المغذيات (مثل إيمرسون وآخرون، ١٩٩٧) . في تولسبري ، يبدو أن إحدى مشاكل تصميم الموقع هي صعوبة استقبال الأجزاء النائية منه لمدخلات الرواسب (ينظر الشكل ٨,٥، الجدول ٨,١). من المتوقع أن يُوفر الرصد المستمر على مدى السنوات القليلة القادمة معلومات قيّمة حول الأنماط الزمنية والمكانية المتغيرة في الترسيب ، وحول نمو النباتات وديناميكيات الغطاء النباتي اللاحقة . أخيرًا ، وبينما ركزت المناقشة أعلاه على الحاجة إلى فهم أفضل للديناميكيات الداخلية لمواقع التراجع المُدارة ، ينبغي إدراك أن التوسع في تبني هذه المخططات ، وإنشاء مناطق تراجع مُدارة أكبر حجمًا تدريجيًا ، سيولد حاجةً لفهم كيفية تأثير هذه المخططات على هيدروديناميكية المصب بأكمله والترسيب على نطاق أوسع.

الخلاصات

يتضح من هذه المراجعة وجود تباينات جوهرية بين الطريقة التي تم بها تعديل العديد من السواحل وصيانتها لاحقًا ، والطريقة التي تعمل بها العمليات الطبيعية ؛ وغالبًا ما تتجلى هذه التباينات في مشاكل تآكل ساحلي حادة . هذه الصعوبات خطيرة بما يكفي دون المشاكل الإضافية التي تسببها الأطر الإدارية التي تميل إلى تجزئة إدارة السواحل إلى وحدات صغيرة وتدعم المصالح المحلية على حساب الاهتمامات الإقليمية والأوسع نطاقًا . لذلك ، ينبغي للدول ، بل والتجمعات الاقتصادية الإقليمية ، في المقام الأول ، العمل على وضع خطط إدارة ساحلية متكاملة وواسعة النطاق . من الواضح أنه مع محدودية الموارد ، سيتطلب الأمر تحديدًا للأولويات . ويجب على أي امتداد ساحلي ممتد الاختيار بين إحدى الاستراتيجيات الثلاث الاتية :

1-"الحفاظ على الخط الساحلي" من خلال توفير دفاعات قوية وموثوقة؛

2 -"استيعاب" تغيرات خط الساحل من خلال السماح باستمرار الإشغال مع اتخاذ تدابير تكيفية، بما في ذلك تعديل الفيضانات الدورية عن طريق تعديل المباني وطرق الوصول أو قبول الفيضانات الدورية؛ و

3- "إعادة تنظيم" مُدار للخط الساحلي من خلال التخلي التدريجي عن الأراضي والهياكل الدفاعية، وإعادة إنشاء موائل مدية قيّمة بيئيًا فُقدت سابقًا بسبب تآكل السواحل.

حتى الآن، ولأسباب سياسية ، كان هناك تردد ملحوظ من جانب الحكومات على جميع المستويات في الدول المتقدمة في تبني الخيار الثالث . ومع ذلك ، فإن التكلفة الباهظة لتعزيز الدفاعات البحرية القائمة في مواجهة الارتفاع المتسارع في مستوى سطح البحر خلال القرن المقبل قد تُجبر على دراسة هذا الخيار بجدية أكبر من ذي قبل . إذا كان الأمر كذلك ، فينبغي أن يكون لخبير جيومورفولوجية السواحل دور مهم في صياغة قواعد تصميم الخطوط الساحلية الجديدة "شبه الطبيعية" من خلال دمج فهمها لديناميكيات المكان

والزمان للعمليات الساحلية . وبالطبع ، فإن التقييم الاجتماعي والاقتصادي الأوسع لجميع هذه الخيارات ليس مباشرًا . التقييمات مرتبطة ارتباطًا وثيقًا بالوقت والمنطقة : فعلى سبيل المثال ، قد لا يكون المخطط الذي قد يكون مستدامًا على أفق تخطيطي يمتد لعشرين عامًا مقبولًا على مدى عامين ، كما أن الإجراءات التي قد تكون معقولة في سياق تغير خط الساحل الإقليمي قد تُنتج آثارًا محلية غير مقبولة .

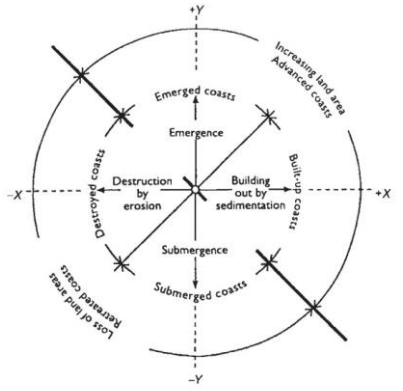
كما يتطلب التنفيذ تحديد أولويات خيارات إدارة السواحل سنويًا ؛ ومن بين طرق وضع قائمة أولويات تقييم مستويات المخاطر التي تواجه المجتمعات الساحلية . بالإضافة إلى ذلك ، ستكون هناك حاجة لصياغة سياسات تكيفية طويلة الأجل لتقليل مخاطر الفيضانات وتآكل السواحل على الأشخاص والممتلكات . وستحتاج هذه الخطط إلى تقديم تعويضات للأفراد الذين يضحون بممتلكاتهم وأصولهم من الأراضي من أجل تحسين الدفاعات الطبيعية ضد الفيضانات في أماكن أخرى . ومن الواضح أن بناء مثل هذا الإطار سيُمثل تحديًا كبيرًا في بداية القرن الحادي والعشرين لجميع المعنيين بفهم المظاهر الطبيعية الساحلية وسكانها.

المرلحق 8.1

تصنيف السواحل وتآكلها

تُتحكم ديناميكيات السواحل ، بما في ذلك التآكل ، على نطاق واسع بمجموعتين من العوامل ، إحداهما تاريخية (بالمعنى الأوسع) والأخرى معاصرة . في المجموعة الأولى ، يتحكم وضع الصفائح التكتونية في نوع الساحل ، مما يوفر تصنيفًا واسعًا للظهور/ الغمر . ويضاف إلى ذلك عوامل تاريخية أكثر مباشرة ، لا سيما طبيعة تغير مستوى سطح البحر على مدى العشرة آلاف عام الماضية من عصر ما بعد الجليد . وقد نتجت الاختلافات الخاصة بالموقع في مستوى سطح البحر في هذه الفترة عن تفاوت مساهمة عوامل التوازن الإقليمي (التي تؤثر على حركة السطوح الأرضية) والتوازن العالمي (التي تؤثر على حجم المحيطات) في تغير مستوى سطح البحر . وهكذا ، فإن اختلاف تواريخ مستويات سطح البحر في أستراليا، على سبيل المثال ، حيث بلغ مستوى سطح البحر الحالي قبل 6000 عام ، وفي كندا القطبية الشمالية ، حيث انخفض مستوى سطح البحر منذ بداية ذوبان الجليد ، تُشكل عنصرًا أساسيًا في تفسير مورفولوجيا الخط الساحلي.

ثم تُبنى هذه الخلفية التاريخية على الاختلافات العالمية الحالية في طاقة الأمواج ، ونظام المد والجزر، وبالنسبة للنظم البيئية الساحلية النباتية ، والأنماط والعمليات الجغرافية الحيوية . في عام 1952، جمع فالنتين هذه العوامل في مخطط تصنيف ساحلي أنيق . في مخطط فالنتين ، يُمثل المحور الصادي المكونات التاريخية ، ويُمثل المحور السيني المكونات المعاصرة . وتُشير التركيبات المتغيرة لهذين العاملين إلى تقدم أو تراجع الساحل . يفصل الخط المتصل الذي يمر عبر مركز المخطط من أعلى اليسار إلى أسفل اليمين جميع الخطوط الساحلية المتراجعة (أسفل اليسار) عن جميع الخطوط الساحلية المتقدمة (أعلى اليمين).



دليل لمزيد من القراءة

هناك نصان منظمان جيدًا ومدعمان بحجج قوية حول العمليات الجيومورفولوجية الساحلية ، وهما كتابا كومار (1976) وبيثيك (1984) ، على الرغم من أن كليهما بدأ يظهر عليه التقدم في السن . يتميز كتاب كارتر (1988) بشموليته العالية ، بينما يغطي كتاب فايلز وسبنسر (1995) البيئات الاستوائية ؛ وكلاهما يتضمنان تفاعلًا قويًا مع قضايا إدارة السواحل . ولعرض أكثر تفصيلًا لتعقيدات تطور الخط الساحلي ، يحتوي كتاب كارتر ووودروف (1994) على الكثير من المواد الممتازة .

تُعد مجلة أبحاث السواحل الدورية الأكثر سهولة في الوصول والأكثر فائدة بشكل عام لمواكبة أحدث التطورات في قضايا أبحاث السواحل .

يقدم التقرير السادس للجنة الزراعة المختارة بمجلس العموم البريطاني (1998) نظرة ثاقبة رائعة حول قضايا إدارة السواحل المعاصرة في المملكة المتحدة: ما إذا كان بمثابة حافز للتغيير أم أنه يبقى سرًا في أرشيفات لم تُزر من قبل، يبقى أن نرى.