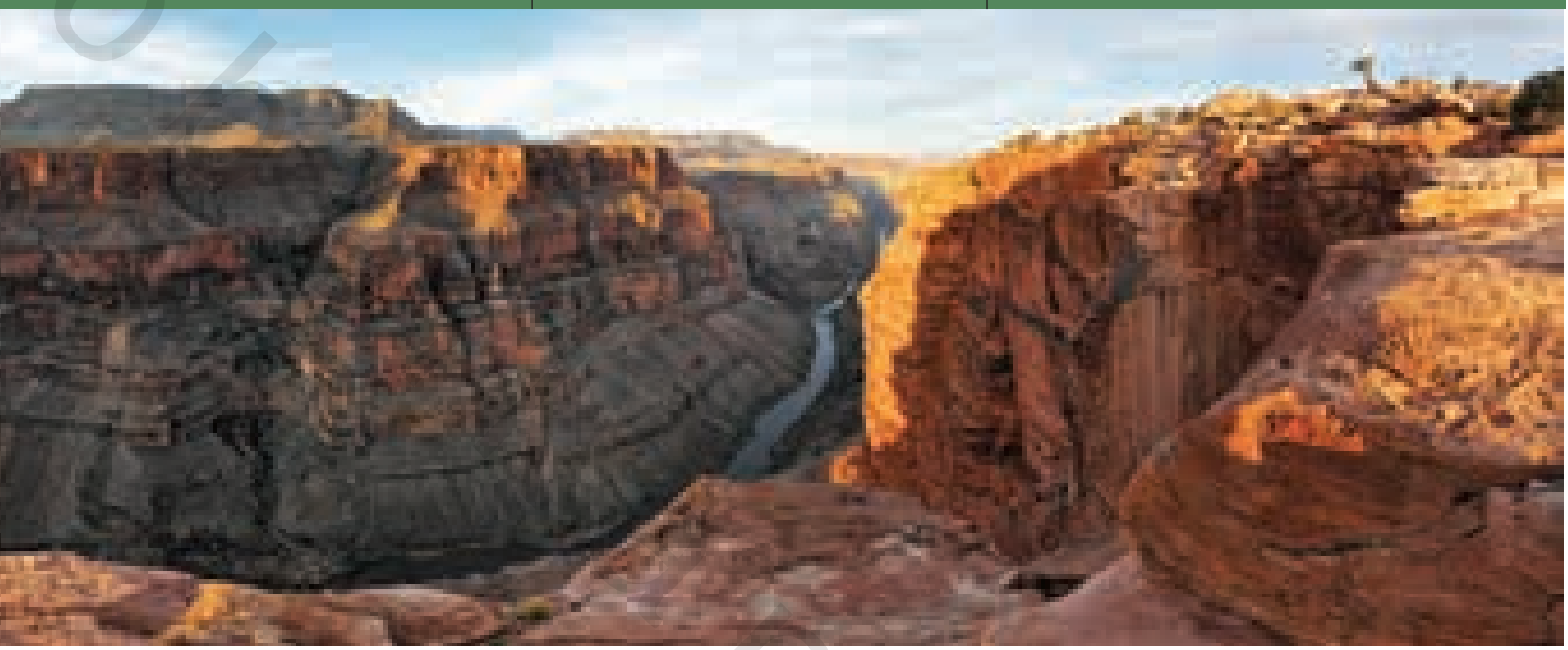
الجزء الأول

الفصل 1
الفلسفة والمفاهيم الرئيسة

الفصل 2
مواد الأرض وعملياتها

الفصل 3
أنواع التربة والبيئة

الفصل 4
البيئة والجيولوجيا



يمرّ نهر كولورادو عند نقطة ألـ (Toroweap) في خانق كولورادو العظيم كاشفاً أنواعاً مختلفة من الصخور الرسوبية. وتتكوّن الجروف شديدة الانحدار على يمين الصورة من صخور قوية ومقاومة مقارنة بتلك الموجودة في مركز الصورة قريباً من مجرى النهر (*Getty Images/Panoramic Images*).

أسس الجيولوجيا البيئية
Foundations of Environmental Geology

لقد أصبح اهتمامنا بالبيئة هذه الأيّام أكثر من أيّ وقت مضى بعد الثورة الصناعية، فقد صرنا ندرك أنّه على الرغم من أنّنا الآن في حالة مادية أفضل إلّا أنّ التزايد السريع في عدد السكان وتطوير الموارد ينهك نظام الدعم الطبيعي المُتمثِّل في النباتات. يقلقنا الاحترار العالمي، ومخزوننا من موارد الطاقة والموارد المائية وتلوّث الهواء والماء واليابسة، ونكافح من أجل تأمين مستقبل واعد لأطفالنا وأولادهم من خلال بيئة لها مواصفات جيّدة، تشتمل على ما يكفي من المساحات الفارغة، وتمايز كبير في أنماط حياتنا المشتركة على سطح هذا الكوكب. وباختصار فاننا نكافح لتطوير ما نطلق عليه مصطلح «الاستدامة».

توفّر الفصول (1–4) الإطار الفلسفي والمفاهيم الأساسيّة لبقية الكتاب، ونأمل أن تفتح شهيتك لتعلم المزيد عن الجيولوجيا البيئية. يناقش الفصل الأوّل ماهية الجيولوجيا البيئية، وكيف يعمل الجيولوجيون، والأسس الثقافية التي ينبع منها الاهتمام البيئي، وأخلاقيّات البيئة، والمفاهيم الرئيسة الضرورية المهمّة في دراسة الجيولوجيا البيئية. ويقدّم الفصل الثاني للبيئة الفيزيائية من خلال الدورة الجيولوجية، ويوكّد مصطلح الدورة أنّه على الرغم من أنّ معظم مواد الأرض، مثل الهواء والماء والمعادن والصخور تغيّرت فيزيائيّاً وكيميائيّاً، وانتقلت من مكان إلى آخر إلّا أنّ العمليات الجيولوجية الطبيعية تعيد نقلها والمحافظة عليها وتجديدها. ويقدّم الفصل الثاني كذلك المصطلحات الرئيسة والأساسيّة، والخواص الهندسية للمواد الأرضية باستثناء التربة. أمّا الفصل الثالث فيناقش موضوع التربة: تطوّراً وتصنيفاً وخواصّ هندسية، وكذلك العوامل الأخرى المهمّة في تخطيط استعمال الأراضي. ويربط الفصل الرابع بين الجيولوجيا والأنظمة البيئية بروابط لتصبح أكثر وضوحاً، وبطرق يمكن وصفها بالرائعة أو المدهشة أحياناً.

الفصل الأوّل 1

الفلسفة والمفاهيم الرئيسة

جزيرة إيستر (Easter): قصة ظهور واختفاء مجتمع أسرف في استخدام موارده (*Tom Till, Getty Images*)

الأهداف التعلّمية LEARNING OBJECTIVES

نناقش في هذا الفصل الجيولوجيا البيئية، ونعرّفها مركزين على مفهومي الثقافة والمجتمع المُهمّين، خصوصًا في موضوع العناية بالبيئة، ونقدّم بعض المفاهيم الأساسيّة لعلم البيئة التي توفّر الإطار الفلسفي لهذا الكتاب.

يتعيّن عليك بعد قراءة هذا الفصل أن تكون جاهزاً لمناقشة:

- الجيولوجيا والجيولوجيا البيئية بصفتها علماً.
- عدد سكان الأرض المتسارع هو المشكلة البيئية الرئيسة.
- مفهوم الاستدامة والعوامل المهمّة المرتبطة بالأزمة البيئية.
- الأرض بصفتها نظاماً والتغيّرات التي تطرأ على الأنظمة.
- مفاهيم الاتحاد البيئي والنّسقيّة (uniformitarianism) (الحاضر هو مفتاح الماضي) وسبب أهمّيتها بالنسبة إلى جيولوجيا البيئة.
- العمليات الجيولوجية الخطرة.
- المعرفة والقيم العلمية.
- الطريقة العلمية.
- الزمن الجيولوجي وأهمّيته.
- مبدأ الوقاية.
- صعوبة حلّ المشكلات البيئية.

obeikan.com

دراسة حالة CASE HISTORY

جزيرة إيستر: نحن سكان الأرض، هل نسير على المسار نفسه؟

Easter Island: Are We on the Same Path at a Global Scale?

جزيرة إيستر (Easter) التي تبلغ مساحتها $140\ km^2$ هي جزيرة بركانية صغيرة مثلّثة الشكل، تبعد بضعة آلاف من الكيلومترات عن الجزء الغربي من أمريكا الجنوبية، وتتمتع بمناخ شبه استوائي. وقد كان البولينيسيون قبل 1500 سنة تقريباً هم أوّل من وصل إلى الجزيرة، فاستقبلتهم – آنذاك – بمساحات شاسعة خضراء مغطاة بالغابات وأشجار النخيل. وفي مطلع القرن السادس عشر، تراوح عدد الذين يعيشون على الجزيرة بين 15000–30000 نسمة، وكوّنوا مجتمعاً مركّباً يتوزّع على قرى صغيرة، فقام سكانها بتنويع غذائهم الطبيعي المعتاد والمكوّن من الأسماك والثدييات البحرية وطيور البحر، وذلك بزراعة المحاصيل وتربية الدواجن. ولأسباب دينية، فقد نحتوا تماثيل ضخمة في الصخور البركانية على صورة جذع الإنسان (دون رأس أو أذرع أو سيقان) ورؤوس ذات غطاءات من الحجر، وأطلقوا عليها اسم (moai)، وقد بلغ طول معظمها 7 m، ومنها ما زاد طوله على 20 m، وقد نقلت هذه التماثيل إلى أمكنتها المختلفة في الجزيرة باستخدام الحبال ودحرجتها على سيقان الأشجار.

كان عدد سكان الجزيرة عندما وصلها الأوروبيون في القرن السابع عشر 2000 نسمة فقط، وقد شكّلت التماثيل التي كان معظمها متداعياً وفي حالة مزرية الرموز الرئيسة للحضارة التي كانت مزدهرة ذات يوم. لم تعد الأشجار تنمو على الجزيرة، وأصبح سكّانها يعيشون وسط بيئة متدهورة.

لماذا انهار مجتمع الجزيرة؟

Why Did the Society Collapse?

هناك أدلّة على أنّ المجتمع انهار خلال عقود قليلة إثر تدهور الموارد الطبيعية المحدودة للجزيرة، فمع تزايد عدد سكان الجزيرة، زادت الأراضي التي خصّصت للزراعة، واستخدم ما تبقى من الأشجار وقوداً وفي نقل التماثيل إلى أمكنتها في الجزيرة. لقد كانت التربة قبل ذلك محمية بغطاءٍ من أشجار الغابات، فاحتفظت برطوبتها في هذه البيئة شبه الاستوائية، وزوّد الغبار المنقول عن طريق الرياح من مسافات تبعد آلاف الكيومترات عن الجزيرة التربة بالأغذية اللازمة لها.

وبعد قطع أشجار الغابات تسارع حتّ التربة، ونقص المورد الأساسي للغذاء في الجزيرة المتمثل في الزراعة، ونتج عن فقدان الغابة فقدان في نواتجها الضرورية المستخدمة في بناء البيوت والقوارب ما دفع الناس إلى العيش في الكهوف، ولم يعد الناس يعتمدون في غذائهم على السمك الذي هو مصدر البروتين الرئيس لهم بسبب عدم توافر القوارب. ومع ازدياد حدّة المشكلات في هذه البيئة التي استنزفت من مواردها الطبيعية نشأت الحروب بين القرى وكذلك العبودية وأكل لحوم البشر.

الدروس المستفادة Lessons Learned

قصة جزيرة إيستر قصة محزنة توضّح ما يمكن أن يحصل عندما تحرم منطقة منعزلة من مواردها بسبب أنشطة البشر ونقص الموارد الطبيعية، ما يحول دون استمرارها في إعالة مجتمع يتزايد عدد أفراده بسرعة كبيرة. وعلى الرغم من أنّ أهل هذه الجزيرة استنزفوا مواردها، إلّا أنّ انهيار مجتمعها له علاقة بعوامل لم يستطيعوا فهم كنهها أو معرفتها، فالبيئة الطبيعية في جزيرة إيستر كانت ذات طبيعة هشة مقارنة بالجزر الأخرى التي استعمرها البولينيسيون.

- كانت الجزيرة صغيرة ومعزولة لذلك لم يتوقع سكانها أيّ معونة من الجزر الأخرى القريبة في الأوقات الصعبة.
- كانت التربة البركانية خصبة في البداية، لكن الحت الناجم عن الزراعة مثّل مشكلة، وإنّ عوامل تكوّن التربة في الجزيرة كانت بطيئة مقارنة بأكثر الجزر قربًا من خط الاستواء، كذلك فإنّ مدخول التربة ما تحتاج إليه من الغذاء الذي مصدره الغبار الجوي المنقول من آسيا كان قليلاً.
- كانت البراكين الثلاثة في الجزيرة خامدة (غير نشطة)؛ لذا لم تتكوّن أيّ كمّيات جديدة من الغبار البركاني الذي كان من الممكن أن يشكّل مصدر تغذية للتربة، إضافة إلى ذلك، فقد كانت التضاريس قليلة والمنحدرات منخفضة الميول، فالجبال الشاهقة ذات الانحدارات الكبيرة هي التي تولّد الغيوم والمطر والمياه الجارية التي يمكن أن تغذي الأراضي المنخفضة.
- بلغت كمّية الأمطار السنوية قرابة 80 cm؛ وذلك للمناخ شبه الاستوائي الذي تتمتع به الجزيرة، وعلى الرغم من وفرة الأمطار إلّا أنّ انسياب الماء من خلال التربة إلى الصخور البركانية المسامية كان سريعاً.
- لا يوجد في الجزيرة أيّ شعاب مرجانية يمكن أن تشكل موارد بحرية وفيرة.

هناك تخوّف هذه الأيّام من أنّ كوكبنا الذي هو جزيرة معزولة في الفضاء في طريقه إلى الوصول إلى المصير نفسه الذي واجه أهل جزيرة إيستر، حيث إنّنا نواجه تناقصاً في الموارد المختلفة، مثل التربة والمياه العذبة والغابات والمراعي ومصايد الأسماك المحيطية. والسؤال الرئيس الذي يطرح نفسه من وجهتي النظر البيئية وتاريخ البشر على سطح الأرض هو «هل سندرك مدى محدودية موارد الأرض قبل فوات الأوان للحيلولة دون تدهور أو فناء المجتمع البشري على مستوى الكرة الأرضية؟» لا توجد صعد جديدة على الأرض هذه الأيّام ولدينا الآن نظام اقتصاديّ متكامل تقريبًا. إن الدرس الرئيس المستفاد من جزيرة إيستر واضح: وهو أن نطوّر نظامًا اقتصاديًّا متكاملًا ومستديمًا يضمن بقاء قاعدتنا من الموارد الأساسيّة وبقاء الكائنات الأخرى التي تعيش على الأرض، وإلّا فعلينا تحمّل العواقب أو مواجهتها.

ويعتقد أنّ بعض جوانب تاريخ جزيرة إيستر تشكل الآن جانبًا بسيطًا من القصة فقط، وبالتأكيد، فإنّ إزالة الغابات أدت دورًا في فقدان الأشجار، وإنّ الفئران التي وصلت مع البولينيسيين كانت مسؤولة عن أكل بذور أشجار النخيل ومنعت تكاثر النخيل. والتفسير الآخر أنّ عدد البولينيسيين في جزيرة إيستر عند اتصالهم مع الأوروبيين عام 1722م كان قرابة 3000 نسمة. وقد يكون هذا أقصى رقم وصل إليه تعداد السكان وقريباً من عددهم عام 1350م. وقد نتج عن الاتصال مع الأوروبيين أن تفشت الأمراض والعبودية ما أدّى إلى نقصان عدد سكان الجزيرة ليصل إلى 100 نسمة في نهاية عام 1870م.

مع تكشف المزيد من قصة جزيرة إيستر التي أظهرتها الدراسات العلمية والاجتماعية، فإن تأثيرات البشر في استغلال الموارد، وانتشار الفئران، والاتصال بالأوروبيين أصبحت أكثر وضوحاً. وسوف تؤدي الدروس البيئية المستفادة من هذا الانهيار إلى فهم أفضل لكيفية المحافظة على ثقافتنا البشرية على كوكب الأرض.

obeikandl.com

1 - 1 مقدّمة في الجيولوجيا البيئية
INTRODUCTION TO ENVIRONMENTAL GEOLOGY

لكل شيء بداية ونهاية، وقد بدأت أرضنا قبل 4,6 بلايين سنة من سحابة مكوّنة من الغازات بين النجمية تعرف بالسديم الشمسي، التي أدّت إلى تكوّن النجوم الأوّلية وأنظمة الكواكب عند انقشاعها (انظر إلى نظرة متفحصة: مكان الأرض في الفضاء). بدأت الحياة على الأرض قبل 3,5 بلايين سنة، ومنذ ذلك الوقت ظهرت أعداد وفيرة من الكائنات المتميزة، التي ما فتئت أن ازدهرت، ثم ماتت مخلفة وراءها أحافير بوصفها شواهد على وجودها في أثناء التاريخ الجيولوجي. وقد أعدّ أسلافنا العدّة (المسرح) منذ بضعة ملايين من السنوات فقط لسيادة الجنس البشري في الوقت الحاضر، ومثلما نحن متأكّدون من أنّ شمسنا ستموت، فكذلك سنختفي نحن في نهاية المطاف، وقد يبدو أنّ دورنا لا أهمية له في تاريخ الأرض، مقارنة بتاريخها الطويل المتمثل في بلايين السنين، لكن بالنسبة إلى من يعيش منا الآن ولأطفالنا، فإنّ تأثيرنا في البيئة مهم بالتأكيد.

نظرة متفحّصة A CLOSER LOOK

مكان الأرض في الكون Earth's Place in Space

كتب الجيولوجي المشهور بريستون كلاود (Preston Cloud):

> ولدت من حطام النجوم، وانضغطت إلى حالة صلبة بقوة جاذبيتها، وتحرّكت بحرارة الجاذبية والإشعاع، ولبست رداءً خفيفًا من الهواء والماء المنبعث من البخار الحار في البراكين، حيث تشكلت، وتمعدنت خلال 4,6 بلايين سنة من تطوّر قشرتها، دفّأتها الشمس وأعدّتها لتصلح للحياة، فهذه الكرة الأرضية المطواعة المتناهية الحدود، هي كل ما على جنسنا أن يحافظ عليها إلى الأبد[3].

في هذا القول البليغ والمختصر ينقلنا كلاود من نشأة الأرض إلى مفهوم الاستدامة الذي يقع اليوم في مقدمة ما نفكر فيه بالنسبة إلى البيئة وإلى مستقبلنا.

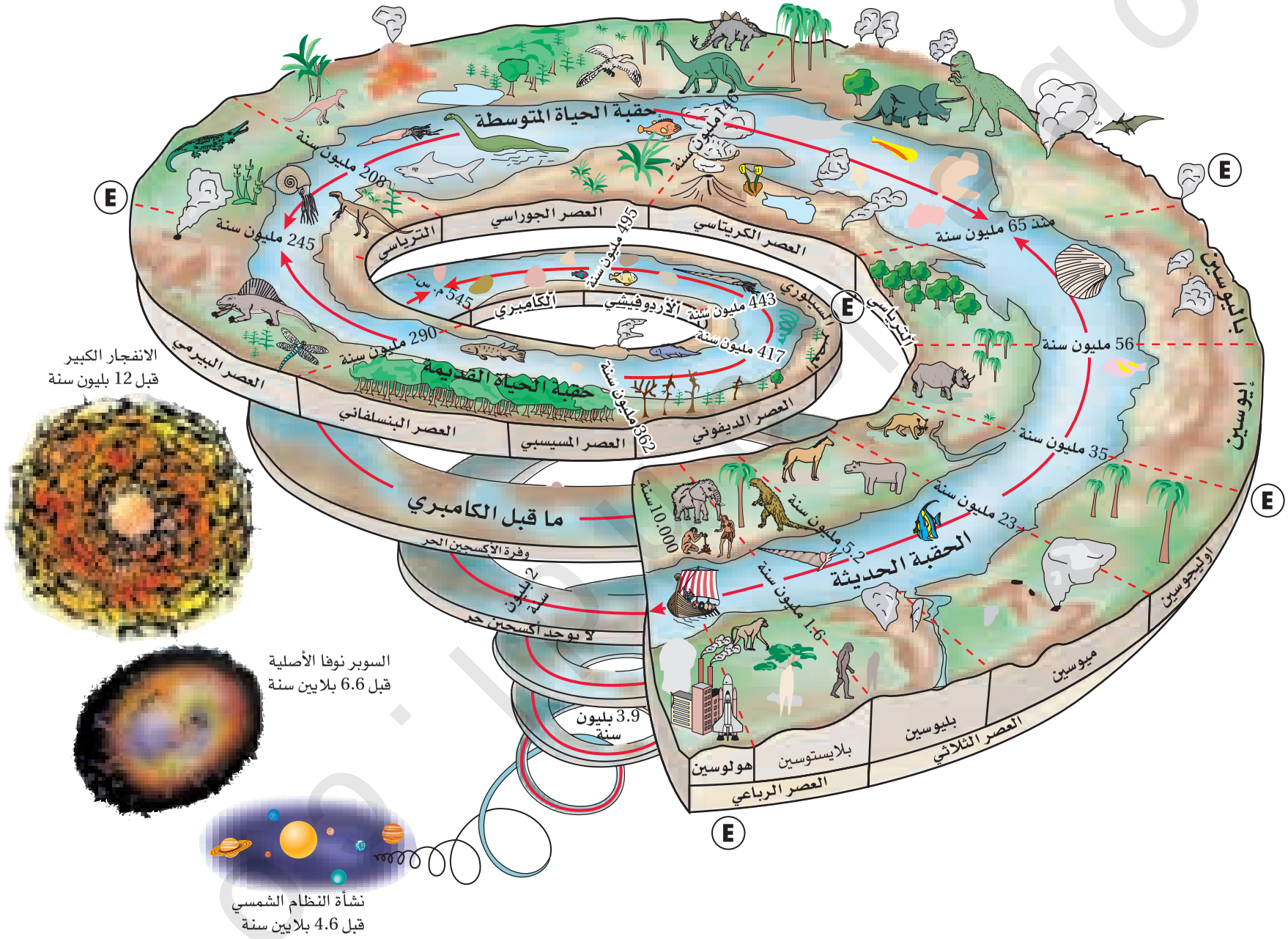
لنا الحق في أن نكون هنا مكانة البشر في الكون صاغها ديسيديراتو جيّدًا: «أنت ابن الكون، لست أقلّ من النجوم أو الأشجار، لك الحق أن تكون هنا. وسواء كان واضحاً لك أم لا، لا شكّ في أنّ الكون يمتد أو ينبسط» قد يبدو للبعض أنّ هذه الكلمات في غير موضعها من ناحية علمية، لكن كما أكّد كلاود لا يستطيع الناس تجاهل حقيقة أنّنا قطعة أو جزء من أجزاء الغلاف الحيوي، وعلى الرغم من أنّنا نقف في مكان مرتفع منه إلّا أنّنا لسنا فوقه.

أصل الكون يعرض الشكل (1 أ) تصوّراً مثاليّاً لتاريخ الكون يوكّد نشأة نظامنا الشمسي والأرض، ويؤمن العلماء الذين يدرسون النجوم بأنّه قبل 12 بليون سنة وقع انفجار هائل سمّي الانفجار الكبير (Big Bang)، نتج عنه جسيمات ذرية كوّنت فيما بعد المجرات، والنجوم، والكواكب، ويعتقد أنّه قبل 7 بلايين سنة تعرض أحد الأجيال الأوائل من النجوم العملاقة إلى انفجار ضخم سمّي السوبر نوفا، حيث أطلق كميات هائلة من الطاقة، وأنتج سحابة سديمية شمسية يُعتقد أنّها سحابة مغزلية من الغبار والغاز، ونتيجة لعمليات الجاذبية، فقد تكاثفت هذه السحابة، ثم تكونت شمسنا في المركز، لكن بعض الجسيمات يمكن أن تكون قد احتجزت في مدارات شمسية حلقية تشبه تلك التي نلاحظها حول كوكب زحل. وهناك أدلّة على أنّ كثافة الجسيمات في الحلقات المختلفة غير ثابتة، لذلك فإنّ الجسيمات الأعلى كثافة في الحلقات تجذب جسيمات أخرى، وذلك أدّى إلى تحطّمها، وتكوّن نظام الكواكب الذي لدينا الآن. وهكذا تميّز التاريخ المبكر لكوكبنا الأرضي والكواكب الأخرى في نظامنا الشمسي بالقذف الشديد للنيازك، وقد رافق هذا القذف عمليات نمو أو عمليات بانية، أي التحام جسيمات مختلفة الأحجام تتراوح في حجمها من الغبار إلى النيازك والكويكبات الحجرية والمذنبات الغنية بالجليد التي تبلغ أقطارها نحو بضعة كيلومترات، والتي نشأت منها الأرض قبل 4,6 بلايين سنة. وهذا هو الجزء من تاريخ الأرض الذي يشير إليه كلاود عندما يقول: ولدت من حطام النجوم، وانضغطت إلى حالة صلبة بقوة جاذبيتها، إذ تولدت الحرارة في أعماق الأرض، وصاحب ذلك هبوط للمعادن الأثقل، مثل الحديد بسبب الجاذبية، وذلك أدّى إلى تمايز كوكب الأرض إلى البنية الطبقية التي نراها اليوم (انظر الفصل الـ 2).

نشأة الغلاف الغازي والماء على الأرض لقد أنتج الماء الآتي من أنوية المذنبات والغازات المنبعثة من البراكين، مثل ثاني أكسيد الكربون وبخار الماء والعمليات الأخرى والغلاف الغازي والمائي المبكر. وظهرت قبل 3,5 بلايين سنة تقريبًا أوّل أشكال الحياة البدائية على الأرض في بيئة فقيرة بالأكسجين، وبدأت بعض هذه الكائنات الأوّلية بإنتاج الأكسجين من خلال عملية التمثيل الضوئي، التي أثّرت بشكل عميق في الغلاف الغازي للأرض، وربما كانت الحياة البدائية المبكرة المنتجة للأكسجين في المحيط بعيداً عن تأثير الأشعة فوق البنفسجية، إلّا أنّه مع نشوء الغلاف الغازي وازدياد الأكسجين نتجت طبقة من الأوزون في الغلاف الغازي، وشكّلت درعاً واقياً من تأثير الإشعاعات الضارة، ونشأت نباتات استعمرت سطح الأرض، نتج عنها الغابات والمروج والحقول والبيئات الأخرى التي جعلت نشوء الحياة الحيوانية على الأرض أمراً ممكناً.

توضّح حلزونة الحياة العامة في الشكل (1 أ) تطوّر تغيّر الحياة من البساطة إلى التعقيد خلال بضعة بلايين من السنين في تاريخ الأرض، وتظهر فيها أسماء الحقب (eras)، والعصور (periods)، والأحيان (epochs) التي يستعملها الجيولوجيون لتقسيم الزمن الجيولوجي معطاة مع مداها بملايين أو بلايين السنين من الوقت الحاضر (الجدول 1-1). وإذا قررت الاستمرار في دراسة الجيولوجيا، فستصبح هذه الأسماء مألوفة لك مثلما تألف أشهر السنة. تعتمد الحدود بين الأحقاب والعصور والأحيان على دراسة كل ما كان حيّاً في ذلك الوقت المحدد والأحداث الجيولوجية الكونية المهمّة في تاريخ الأرض كلّه.

openkan.com



الشكل 1 أ تاريخ الأرض، شكل حلزوني مثالي لتاريخ الكون والأرض، مع التأكيد على التطور البيولوجي للأرض من أشكال حياة بسيطة فيما قبل الكمبري وصولاً إلى الحياة البشرية هذه الأيام. يمتد ما قبل الكامبري من 4600 إلى 545 مليون سنة قبل الآن. الأسهم الحمراء هي حدود الأحقاب Eras (الشكل 1-1) E هي حدث إنقراض جماعي.

(Modified after U.S. Geological Survey; and Cloud, P. 1978. Cosmos, Earth and Man. New Haven, CT: Yale University Press).

الجدول (1–1): الزمن الجيولوجي مع ذكر الأحداث المهمة.

الحقبة	العصر	الحين	مليون سنة قبل الآن	الأحداث: الحياة	الأحداث: الأرض	مليون سنة قبل الآن	مقياس صحيح مليون سنة قبل الآن
الحقبة الحديثة	الرباعي	هولوسين Holocene	0.01	• حدث انقراض • البشر الحاليون • البشر الأوائل	العصر الجليدي — تكون السلاسل الجبلية المستعرضة في كاليفورنيا		Cenozoic الحقبة الحديثة
		بلايتوسين Pleistocene	1.65			1.65	
	الثلاثي	بليوسين Pliocene	5.2		تكون جبال الأنديز		
		ميوسين Miocene	23	• الأعشاب • الحيتان	تصادم الهند مع آسيا		
		أوليجوسين Oligocene	35	• حدث انقراض • انتشار الثدييات	تكون جبال الهملايا وهضبة التبت		
		إيوسين Eocene	56		تكون جبال الرّوكي		
		باليوسين Paleocene	65	• حدث انقراض الديناصورات [1]		65	Mesozoic الحقبة المتوسطة
الحقبة المتوسطة	الكريتاسي (الطباشيري)		146	• النباتات الزهرية	تكون جرانيت سييرا نيفادا (متنزه يوزامايت الوطني)		
	الجوراسي		208	• الطيور			
	الترياسي			• الثدييات • الديناصورات	• بدء تحطم قارة بانجايا العملاقة		
			245			245	Paleozoic الحقبة القديمة
الحقبة القديمة	البيرمي		290	• حدث انقراض • الزواحف	• العصر الجليدي		
	الكربوني		363	• الأشجار (مستنقعات الفحم) • حدث انقراض			
	الديفوني		417		تكون جبال الأبالاش		
	السيلوري		443	• النباتات الأرضية • حدث انقراض			
	الأردوفيشي		495	• الأسماك			
	الكامبري		545	• انتشار الكائنات ذات الأصداف		545	Precambrian ما قبل الكامبري
ما قبل الكامبري			2500	• الكائنات متعددة الخلايا	• العصر الجليدي		
			3500	• أكسجين حرّ في الجو وطبقة الأوزون في الستراتوسفير	• العصر الجليدي		
			4000	• الحياة البدائية أول المستحاثات	• أقدم الصخور		
			4600		• عمر الأرض	4600	4600

(1) يعتقد بعض العلماء أن الديناصورات جميعها لم تنقرض، ولكن بعضها تطور إلى طيور.

تعتمد أعمار الصخور النسبية على مجموعات الأحافير؛ أي أدلّة الحياة الماضية، مثل: الأصداف، والعظام، والأسنان، والأوراق، والبذور التي توجد في الصخور والرسوبيات. ينصّ القانون العام في الجيولوجيا المعروف بقانون المجموعات الحيوانية (Fauna) على أنّ الصخور ذات الأحافير المتشابهة تكون –على الأغلب– ذات أعمار متشابهة. على سبيل المثال، إذا وجدنا عظام ديناصور في صخر ما، فهذا يعني أنّ هذا الصخر يعزى إلى الحقبة المتوسطة. توفّر الصخور أعماراً نسبية للصخور (رقمية، أو مطلقة)، وتعتمد التواريخ على مجموعة مختلفة من التقنيات الكيماوية المعقدة. تسمح هذه التقنيات للجيولوجيين –أحياناً– بتحديد أعمار الصخور التي تحتوي على أحافير بدقة يبلغ الخطأ فيها بضعة ملايين من السنين.

التطور بوصفه عملية إنّ العملية التطورية –كما يمكن استنتاجها من سجل الأحافير– لم تكن عملية سلسة دائماً، وشابها بين فترة وأخرى ظهور أجناس جديدة بكميات كبيرة في بعض الأوقات، وانقراض بعضها في أوقات أخرى. يبين الشكل (1 أ) خمس حوادث انقراض جماعي.

ويُعدّ تطور الأجناس وانقراضها عمليات طبيعية، لكن عندما تنقرض أجناس عدّة في الوقت نفسه تقريبًا، فإننا نستخدم مصطلح انقراض جماعي (mass extinction). فالديناصورات مثلًا انقرضت قبل (65) مليون سنة، ويعتقد بعض الجيولوجيين أنّ هذا الانقراض الجماعي نتج عن تغيرات مناخية وبيئية طبيعية في الأرض، بينما يعتقد آخرون أنّ الأرض اصطدمت بما يعرف بنجم الموت، وهو كويكب قطره (6 mi)(10 km) فتحطّم هذا الكويكب، وكوّن ما يعرف الآن بشبه جزيرة يوكاتن في المكسيك. يعتقد أنّ اصطداماً مشابهاً آخر سينتج عواصف من النار وغيوماً عملاقة من الغبار التي ستحيط بالأرض في الغلاف الجوي مدّة طويلة من الزمن، وسيؤدي هذا إلى إعاقة مرور أشعّة الشمس ما يسبّب إيقافًا كلّيًا، أو يحدّ بنسبة كبيرة من عملية التمثيل الضوئي، وسيؤدّي ذلك في النهاية إلى انقراض جماعي لكل الأجناس التي تعيش على النباتات، وتلك التي تعيش على المفترسات التي تتغذى بآكلات النباتات.

يمكن تخيل أنّ حجم الكويكبات التي تسبّبت في انقراض الديناصورات ليست هي الحادثة الوحيدة، وأنّ اصطدامات كارثية أخرى شبيهة قد حدثت في أوقات أخرى من تاريخ الأرض، وتُعدّ مثل هذه الأحداث من أكبر الأخطار الجيولوجية التي يمكن أن تؤدّي تأثيراتها إلى انقراض جماعي آخر، وربما يؤثر في الجنس البشري أيضاً (انظر الفصل الـ 11). ولحسن الطالع، فإنّ احتمال وقوع مثل هذه الأحداث خلال بضعة آلاف من السنين المقبلة هو احتمال ضئيل، أضف إلى ذلك أنّ العلم يطوّر الآن تقنيات ليتعرّف إلى الكويكبات، وربما أيضاً إمكانيّة حرفها عن مسارها قبل أن تضرب الأرض. يتّضح من ذلك أنّ تاريخ نظامنا الشمسي والأرض يُعدّ قصة رائعة للتطور البيولوجي وتطور الكواكب. ماذا سيحدث في المستقبل؟ لا نعرف بلا ريب، ولكن بالتأكيد سيتخلله تغير، ومع استمرار العمليات التطورية، فسنتطوّر أيضاً ربما لجنس جديد، ويبدو أنّ البشر يتسببون من خلال عمليات التلوث والزراعة والتحضر والتصنيع والاستعمال المفرط للغابات الاستوائية في تسريع انقراض الأجناس الحيوانية والنباتية، وتقلل هذه الأنشطة البشرية بشكل كبير من التمايز الحيوي الأرضي – أعداد وأنواع الأجناس في الزمان والمكان– ويعتقد أنّها ستشكل مشكلة بيئية رئيسة؛ لأنّ كثيرًا من الكائنات الحية الأرضية بما فيها الإنسان تعتمد على البيئة، وما تتميز به من تمايز في أشكال الحياة اللازمة لبقائها.

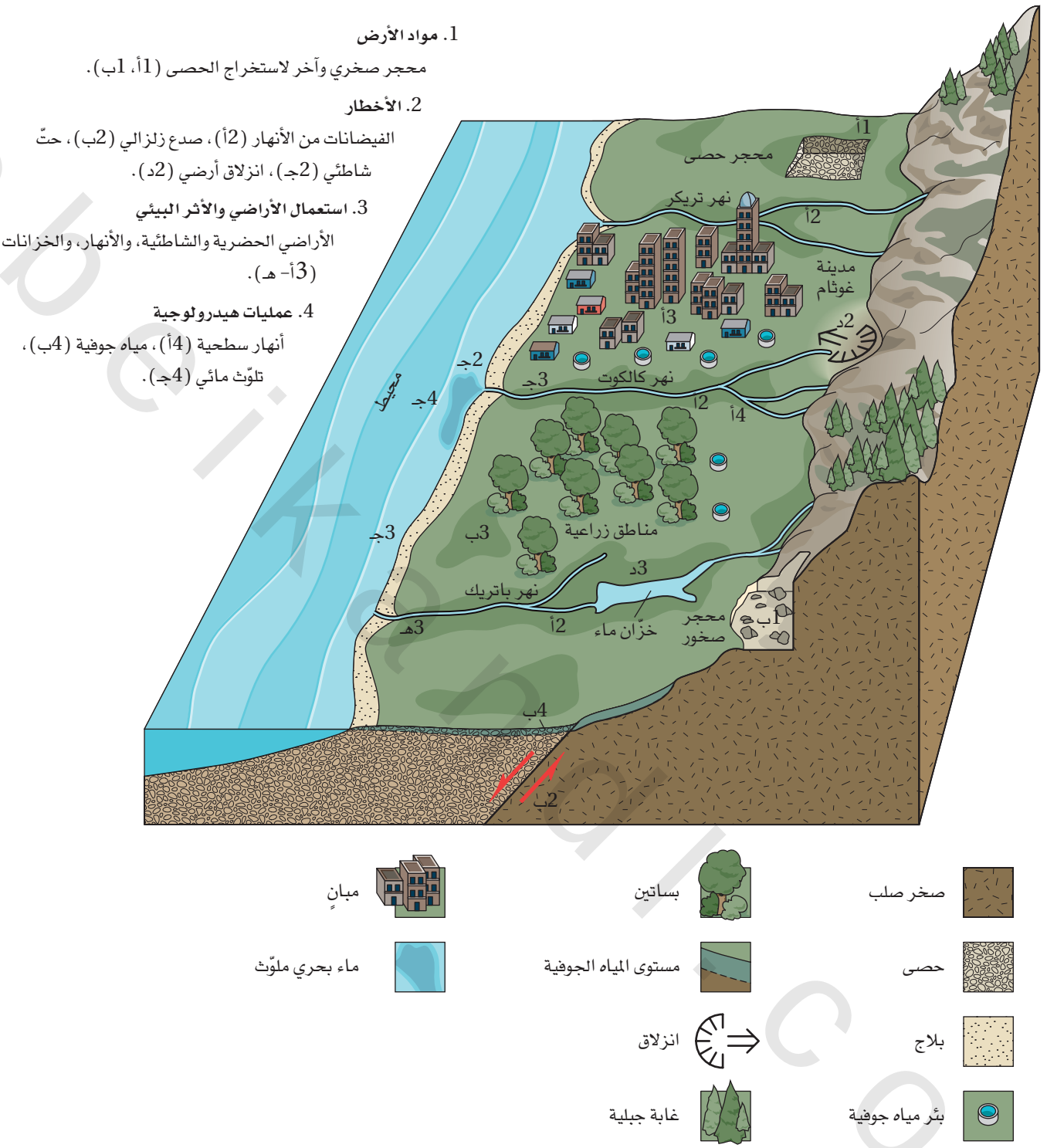
جيولوجيّاً، فنحن البشر موجودون على سطح الأرض منذ مدة قصيرة جدّاً. لقد سيطرت الديناصورات على الأرض على سبيل المثال، مدّة تزيد على (100) مليون سنة، وعلى الرغم من أنّنا لا نعرف بالضبط كم سيطول بقاؤنا، إلّا أنّ السجل الأحفوري يشير إلى أنّ الأجناس كلّها ستنقرض في النهاية. فكيف سيتكشف تاريخ جنسنا؟ ومن سيكتبه؟ نأمل أن نخلّف وراءنا أشياء أكثر من الأحافير تشير إلى الوقت القصير الذي ساد فيه الجنس البشري الأرض، ونأمل أنّه مع ازدياد تطورنا أن نستمرّ في الاهتمام بالبيئة، ونجد طرقاً للعيش تتوافق مع كوكبنا.

الجيولوجيا علم العمليات المرتبطة بمكونات الأرض وبنيتها وتاريخها والحياة عليها، وتطبّق فيها مبادئ علوم أخرى متعددة، مثل الكيمياء (مكونات مواد الأرض)، الفيزياء (القوانين الطبيعية)، والأحياء (فهم أشكال الحياة).

الجيولوجيا البيئية جيولوجيا تطبيقية، وهي بالتحديد استخدام المعلومات الجيولوجية للمساعدة على حلّ المشكلات المتعلقة باستعمال الأراضي، وكذلك تقليل التدهور البيئي إلى أقل درجة ممكنة، وتعظيم فوائد استخدام بيئاتنا الطبيعية والمعدلة. يشمل تطبيق الجيولوجيا في هذه المشكلات دراسة ما يأتي:

1. مواد الأرض، مثل المعادن والصخور والتربة؛ لتحديد كيفية تكونها واستعمالاتها المحتملة بصفتها موارد أو مواقع للتخلص من النفايات، وتأثيراتها في صحة البشر.
2. الأخطار الطبيعية، مثل الفيضانات والانزلاقات والزلازل والأنشطة البركانية؛ لتقليل الخسائر في الأرواح والممتلكات.
3. تقييم الأرض من حيث اختيار الموقع، وتخطيط استعمال الأراضي، وتحليل الأثر البيئي.
4. العمليات الهيدرولوجية للمياه الجوفية والسطحية؛ لتقييم الموارد المائية ومشكلات التلوث المائي.
5. العمليات الجيولوجية، مثل توضّع الرسوبيات في قيعان المحيطات، وتكوّن الجبال، وحركة الماء فوق سطح الأرض وتحته؛ لتقييم التغيرات على المستوى المحلي والإقليمي والعالمي.

obeikandl.com



الشكل (1-1): مكوّنات الجيولوجيا البيئية: شكل مثالي يوضّح الحقول الدراسية الأربعة في الجيولوجيا البيئية. إذ تضمّ العمليات الجيولوجية الحقول الأربعة كلّها، وتوفّر فرص عمل للجيولوجيين والمهندسين والهيدرولوجيين.

آخذين في الحسبان التطبيقات الكثيرة للجيولوجيا البيئية، فنستطيع أن نعرّفها على أنّها فرع علوم الأرض الذي يدرس (الطيف الذي يمثل) تفاعلات البشر كلّها مع البيئة الفيزيائية، الجيولوجيا البيئية في هذا السياق فرع من علم البيئة، وهو العلم الذي يربط بين العمليات الفيزيائية والبيولوجية والاجتماعية في دراسة بيئتنا.

2-1 المفاهيم الرئيسة في جيولوجيا البيئة

FUNDAMENTAL CONCEPTS OF ENVIRONMENTAL GEOLOGY

قبل أن نبدأ في استكشاف الأوجه المتعددة للجيولوجيا البيئية التي نعرضها

في هذا الكتاب المقرر، نحتاج إلى أن نقدّم خمسة مفاهيم أساسيّة تساعد على تشكيل إطار مفهومي يُبنى عليه بقية الكتاب، ومع قراءتك لكتاب الجيولوجيا البيئية، ستلاحظ أنّ هذه المفاهيم تتكرر في أكثر من موضع فيه. وهي:

1. ***نمو عدد السكان.***
2. ***الاستدامة.***
3. ***الأرض بصفتها نظاماً.***
4. ***العمليات الأرضية الخطرة.***
5. ***المعرفة العلمية والقيم.***

لا تشكّل المفاهيم الخمسة المعروضة هنا قائمة لكل المفاهيم المهمة للجيولوجيين البيئيين، ولا يفترض فينا أن نحفظها عن ظهر قلب، إلّا أنّ الفهم العام لكل مفهوم سيساعدنا على استيعاب مادة هذا الكتاب وتقييمها.

المفهوم الأوّل: نمو عدد السكان

Concept One: Human Population Growth

المشكلة البيئية الرئيسة هي الزيادة المطردة في عدد سكان العالم، ففي معظم تاريخنا البشري كانت أعدادنا على الأرض قليلة، وكذلك مداخيلنا، ومع تقدّم الزراعة والصحة والأدوية الحديثة ومصادر الطاقة الرخيصة، مثل النفط أصبحت حياتنا أكثر رخاءً وسهولة إلى درجة أن أصبح عددنا مشكلة، ويقدّر التأثير البيئي الكلي للبشر بتأثير كل شخص مضروبًا في عدد السكان؛ لذلك يزيد التأثير الكلّي أيضًا مع ازدياد عدد السكان، فمع ازدياد عدد السكان نحتاج إلى موارد أكثر، وبأخذ التكنولوجيا الحالية في الحسبان ينتج اختلال بيئي أكبر، وهناك احتمال حدوث المجاعات، عندما تزداد كثافة السكان محليّاً خلال التوترات السياسية والحروب (الشكل 1–2).

الشكل (1-2) : المجاعة، مخيم كورم – أثيوبيا 1984م. نتيجة للأنشطة السياسية والعسكرية، فقد أجبر الجوع الناس على ترك منازلهم وتجمّعهم في مخيمات مثل هذه. وقد تسوء حالة الأراضي المحيطة بسبب الرعي الجائر للماشية، وتجميع الحطب لإشعال النار، وكذلك تركز الكثير من الناس ضمن منطقة ضيقة، والنتيجة هي المجاعة.

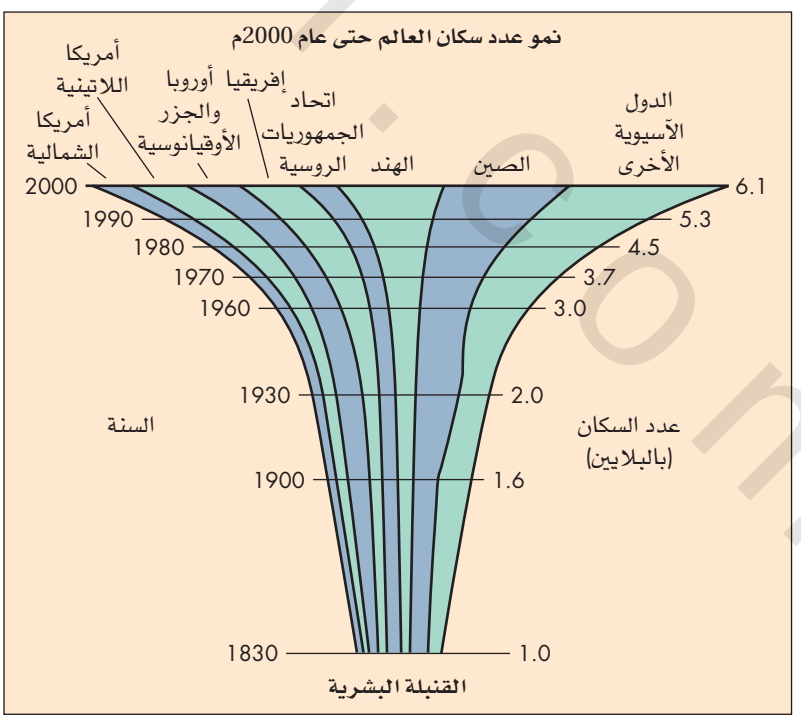
(*David Burnett/Contact Press Images, Inc*).

النمو الأسي Exponential Growth

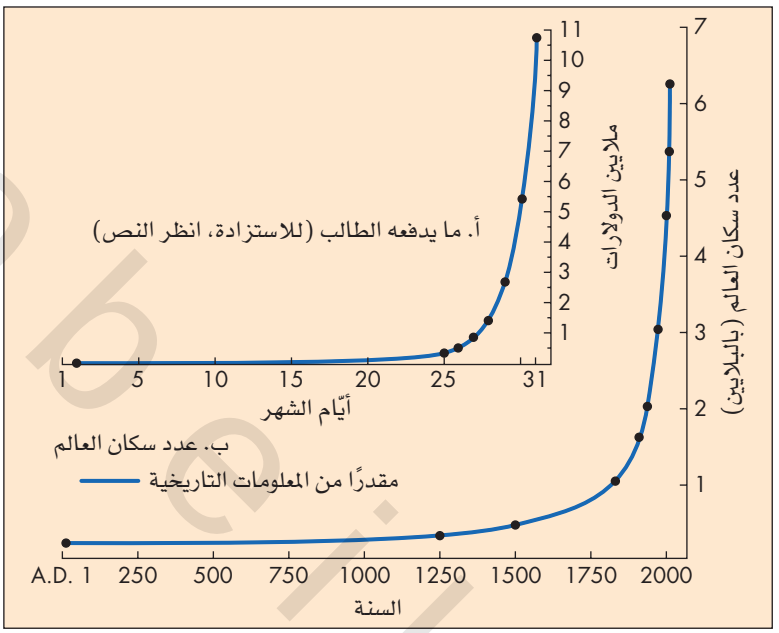
ما المقصود بالقنبلة البشرية؟

What Is the Population Bomb?

كان الانفجار السكاني مشكلة في بعض بقاع الأرض منذ بضع مئات من السنين، إلّا أنّه أصبح الآن مشكلة عالمية، فقد تضاعف عدد سكان العالم منذ عام (1830م) – (1930م) من بليون إلى بليونين، وبقدوم سنة 1970م تضاعف مرّة أخرى تقريبًا، وسنة 2000م كان عدد سكان الأرض 6 بلايين.



الشكل (1-3) : القنبلة البشرية. بلغ عدد سكان العالم 6.6 بلايين نسمة عام 2006 م والرقم في ازدياد.



الشكل (1-4): النمو الأسي أ. مثال على ما يدفعه الطالب بدءاً من 1¢ في أوّل يوم عمل، ثم مضاعفاً ما يدفعه مدة (31) يوماً. ب. سكان العالم. لاحظ أنّ كلّاً من المنحنيين يشبهان حرف J بزيادة بطيئة في البداية يتبعها زيادة سريعة. يعتمد الشكل الفعلي للمنحنى على مقياس الرسم المستخدم، ويظهر أحياناً على شكل حافة لوحة التزحلق.
(Population data from US Department of State).

تدعى هذه المشكلة أحياناً بالقنبلة البشرية؛ وذلك لأنّ النمو الأسي لعدد السكان من البشر ينتج عنه زيادة انفجارية في أعداد الناس (الشكل 1–3). يعني النمو الأسي للبشر أنّ الأعداد الجديدة التي تضاف كل عام إلى عدد السكان الأصلي غير ثابتة، بل تشكل نسبة مئوية ثابتة من عدد السكان الحالي تضاف كل سنة، وهذا يشبه جزئيّاً حساب توفير عالي المردود يدفع فائدة 7% سنويًّا، فإذا بدأت بـ 100 دولار، سيكون لديك في نهاية السنة الأولى 107 دولارات، أي إنّك تكون قد حصلت على 7 دولارات فائدة، وفي نهاية السنة الثانية تكون الـ 7% من 107 دولارات هي 7.49 دولارات، أي إنّ ميزانيّتك ستصبح 107 زائد 7.49 أو 114.49 دولارًا، وتكون الفائدة في السنة الثالثة 7% من الـ 114.49 دولارًا، ويصبح حسابك 122.51 دولارًا. وبذلك تكون قد وفرت خلال 30 سنة 800 دولار. واصل القراءة لتجد كيف عرفت هذا.

هناك جانبان مهمّان للنمو الأسي:

- سرعة النمو التي تقاس بوصفها نسبة مئوية.
- وقت المضاعفة أو الوقت اللازم لأيّ شيء ينمو أو يتضاعف.

يوضّح الشكل (1–4) مثالين للنمو الأسي، وما نهتم به في كل حالة، (ما يدفعه الطالب أو عدد سكان العالم) ينمو ببطء في البداية، ثم يبدأ بالزيادة بشكل أسرع، ثم يستمر في الزيادة بسرعات عالية جدّاً. حتى سرعات النمو المنخفضة في البداية تنتج في النهاية زيادات كبيرة فيما ينمو.

ما السرعة التي يتضاعف بها عدد السكان؟
How Fast Does Population Double?

القاعدة العامة هي أنّ زمن المضاعفة (D) يساوي 70 تقريباً مقسومة على سرعة النمو (G):

$$D = 70/G$$

نجد باستخدام هذا التقريب أنّ مجتمعاً ينمو بسرعة 2% سنويّاً، فإنّه يتضاعف في 35 سنة تقريباً، ولو أنّه ينمو بسرعة 1% فسيتضاعف في 70 سنة (انظر بعض التطبيقات الرقمية: النمو الأسي).

توضّح كثير من الأنظمة في الطبيعة النمو الأسي لبعض الوقت، لذلك من المهم أن نكون قادرين على التعرف إلى مثل هذا النمو؛ لأنّه يستطيع أن ينتج في النهاية أرقامًا عالية جدًّا. وكمثال متطرف على النمو الأسي (الشكل 1–4أ) حالة الطالب الذي يحصل على عمل، ويطلب من صاحب العمل أجرة مقدارها سنت واحد في اليوم الأوّل، وسنتين في اليوم الثاني، وأربعة سنتات في اليوم الثالث، وهكذا. بمعنى آخر، فإنّ الدفعات تتضاعف يوميًّا. كم سيكون المجموع الكلي؟ حتى يحصل الطالب على أجر يومي يزيد على الدولار، فإنّ هذا يستغرقه 8 أيّام. في اليوم الحادي عشر سيبلغ دخله اليومي أكثر من 10 دولارات، وفي اليوم (16) سيدفع له أكثر من 300 دولار، وسيكون الطالب دخل في اليوم (31) من الشهر أكثر من 10 ملايين دولار. هذه حالة شاذة أو متطرفة؛ لأنّ نسبة الزيادة الثابتة 100% كل يوم، لكنها تبين أنّ النمو الأسي عملية ديناميكية جدّاً. فعدد السكّان يزداد بنسبة أقلّ كثيراً – 1,2 في المئة في السنة هذه الأيّام– لكن هذا النمو الأسي البطيء ينتج في النهاية زيادة كبيرة في عدد السكان (الشكل 1–4 ب). سيتمّ التطرق مرّة أخرى إلى النمو الأسي ضمن المفهوم الثالث عند الحديث عن الأنظمة والتغير.

عدد سكان العالم عبر التاريخ
Human Population through History

ما تاريخ نموّنا السكاني؟
What Is Our History of Population Growth?

قصة زيادة عدد سكان العالم موضّحة تاريخيّاً في الجدول 1–2. فعندما كنّا نجمع ما نصطاده كانت أعدادنا قليلة وسرعة نمونا أقلّ، ومع الزراعة، ازدادت سرعات نمو عدد السكان من البشر مئات المرات؛ وذلك لتوفر مصدرًا ثابتًا للغذاء، أمّا خلال عصر الصناعة المبكر (1600م–1800م بعد الميلاد) فقد تزايدت سرعات النمو مرّة أخرى (10) أضعاف. وازدادت سرعات النمو (10) أضعاف أخرى في عهد الثورة الصناعية؛ وذلك لتحسن الأحوال الصحية وتوافر الأدوية، ووصل عدد سكان الأرض إلى (6) بلايين نسمة عام 2000م، وسيصبح 7 بلايين نسمة عام 2013م و9 بلايين عام 2050م

obeikandi.com

PUTTING SOME NUMBERS ON بعض التطبيقات الرقمية

النمو الأسي Exponential Growth

النمو الأسي طريقة فعّالة لها علاقة بالتغذية الراجعة الإيجابيّة، حيث تنمو كمية الخاصية التي يتمّ تقييمها (على سبيل المثال، الزيادة في عدد السكان، استهلاك الموارد كالنفط والمعادن، أو نسبة الأرض التي يتمّ تخصيصها للإعمار) بسرعة ثابتة (نسبة مئوية) سنويّاً. النمو الأسي لعدد السكان عالميّاً مبين في الشكل (1–4).

حساب النمو الأسي سهل على غير المتوقع، ويشمل المعادلة البسيطة الآتية:

$$N = N_0 e^{kt}$$

حيث (N) هي القيمة المستقبلية لما يتمّ قياسه و(N_0) القيمة الحالية، (e) ثابت مقداره 2.71828، و(k) مساوية لسرعة الزيادة (بشكل عشري، وتمثل نسبة مئوية)، و(t) عدد السنوات التي سيتمّ حساب النمو خلالها. تعرّف سرعة النمو بأنّها تغير النسبة المئوية لوحدة الزمن: $K = R/100$. ويمكن حلّ هذه المعادلة باستخدام حاسبة يدوية بسيطة، وبناءً عليه يتمّ طرح كثير من الأسئلة المهمّة بيئيّاً. افترض على سبيل المثال أنّنا نريد معرفة كم سيكون عدد سكان العالم عام 2020م إذا علمت أنّ عددهم عام 2000م كان 6.1 بلايين نسمة، وأنّ عدد السكان ينمو بنسبة ثابتة مقدارها (1.2%) سنويّاً (تكتب عشريّاً 0.012). يمكن الحصول على الأرقام الدقيقة لسكان العالم وسرعات النمو من مصادر مختلفة من ضمنها مكتب الإحصاءات في الولايات المتحدة، وبافتراض أنّ عدد سكان العالم كان 6.1 بلايين نسمة عام 2000م ونسبة النمو (1.2) في المئة لكل سنة، نستطيع تقدير عدد سكان العالم عام 2020م بتطبيق المعادلة المذكورة أعلاه:

N (عدد سكان العالم في 2020 $(6.1\times 10^9)(e^{(0.012\times 20)})$

$$N = (6.1\times 10^9)(e^{0.24})$$

$$= (6.1\times 10^9)$$

$$(2.71828^{\,0.24})$$

$$= 7.75\times 10^9$$

$$= \text{بلايين نسمة } 7.75$$

يمكن ترتيب معادلة النمو الأسي، بحيث تبين الزمن الذي يبلغ فيه عدد سكان الأرض في المستقبل رقماً معيّناً، وفي هذه الحالة يجب علينا أن نفترض عدد السكان في البداية، وعدد السكان بعد زمن معين وسرعة النمو في عدد السكان. أي أن يمكن حلّها باستخدام المعادلة الآتية:

$$t = (1/k)\ \ln\ (N/N_0)$$

حيث عرفت كل الرموز سابقاً، و(ln) هنا هي اللوغاريتم الطبيعي للأساس 2.71828، فإذا استخدمنا مثالنا السابق، وطرحنا السؤال الآتي: إذا بقيت سرعة النمو في عدد السكان ثابتة عند (1.2%) في السنة، وكان عددهم عام 2000م 6.1 بلايين نسمة، ففي أي سنة سيصل إلى 7.75 بليون؟ فإنّنا نحصل بتعويض هذه القيم في المعادلة على جواب مقداره عشرين سنة $t = (1/0.012)\ ln\ (7.75\times 10^9/6.1\times 10^9)$.

كلمة تحذيرية حول استعمال النمو الأسي، فهو يفترض نسبة نمو ثابتة، وفي محاولة وضع نقاط جدل حول النمو الأسي ضمن إطار من التفكير الناقد، من المهم معرفة أنّ الافتراضات التي نفترضها هي عبارات نعدّها صحيحة دون برهان على صحتها. وسرعات النمو معبر عنها بوصفها نسبة مئوية قد لا تكون في الحقيقة ثابتة؛ نتيجة لذلك يجب اختبار تقديراتنا عند تطبيق معادلة النمو الأسي اعتماداً على نسبة نمو من خلال مدى واقعية نسبة النمو الثابتة، فكلما طالت المدّة التي نطبق عليها نسبة النمو الثابتة، كانت دقة الأجوبة التي نحصل عليها أقلّ احتمالية، وعلى الرغم من هذه العيوب، فإنّ تحليل النمو الأسي هو إحدى الطرق التي توفّر لنا عمقاً في توقّع التغيّرات المستقبلية ونمو أو نقصان عدد أو كمية مادة معينة نهتم بها. المعادلة المستخدمة لتوقّع نقصان كمية ما، مفترضين نسبة ثابتة للنقصان معبر عنها بوصفها نسبة مئوية، هي:

$$N = N_0 e^{-kt}$$

الرموز المستعملة تم تعريفها سابقًا.

افترض أنّ كمية شيء معين تعاني نموًّا أسيًّا، ولحساب الوقت الذي تحتاج إليه لتتضاعف يمكن استخدام المعادلة الآتية:

$$2N_0 = N_0 e^{kTd}$$

حيث (Td) هي الوقت اللازم لمضاعفة الكمية. إذا أخذت اللوغاريتم الطبيعي لجهتي المعادلة:

$$ln\ 2 = kTd$$

$$Td = ln\ 2/k$$

تذكّر أنّ: $k = R/100$

$$Td = 0.693\ R/100$$

$$= 0.693\ (100)/R$$

$$= 69.3\ /R$$

أي قرابة $70/R$

وهذا مماثل لقاعدتنا العامة، وهو أنّ وقت المضاعفة 70 مقسومًا على نسبة النمو. على سبيل المثال: إذا كانت $R = 5\%$ سنويّاً، فإنّ $Td = 14$ سنة.

أي أنّ الزيادة تصل إلى بليون إنسان جديد خلال 13 سنة و3 بلايين (تقريبًا نصف عدد السكان الحالي) خلال خمسين سنة. بالمقارنة بلغ عدد سكان الأرض الكلي فقط بليون نسمة عام 1800م بعد الميلاد، بعد 40000 سنة من تاريخ البشرية. إنّ نسبة الوفيات في أقلّ الدول تقدّمًا مشابهة لتلك في الدول المتقدمة، إلّا أنّ نسبة الولادات فيها تبلغ ضعف الولادات في الدول المتقدمة، ومن المحتمل أنّ أكبر عدد للسكان عام 2050م سوف يكون في الهند (18% من سكان العالم)، ومن ثم الصين (15% من سكان العالم). أي إنّ عدد سكان هاتين الدولتين سيكون عام 2050م ثلث عدد سكان العالم تقريبًا.

obeikandl.com

الجدول (1–2): كيف أصبح عددنا أكثر من 6 بلايين نسمة؟

40000–9000 سنة قبل الميلاد: الصيادون والمُجمِّعون (للطعام)

كثافة السكان شخص لكل $100\ km^2$ من المناطق الصالحة للعيش، عدد السكان الكلي المحتمل بضعة ملايين، سرعة النمو السنوية أقلّ من 0.0001% (وقت المضاعفة 700000 سنة)

9000 سنة قبل الميلاد إلى 1600 سنة بعد الميلاد: الزراعة أو قبل الصناعة

كثافة السكان شخص لكل $3\ km^2$ من المناطق الصالحة للعيش (أكثر 100 مرة من فترة الصيد والالتقاط)، عدد السكان الكلي قرابة 500 مليون، معدّل النمو السنوي أقلّ من 0.03% (وقت المضاعفة 2300 سنة)

1800–1600 بعد الميلاد: الصناعية المبكرة

كثافة السكان (7) أشخاص لكل $1\ km^2$ من المناطق الصالحة للعيش، عدد السكان الكلي عام 1800م بليون تقريباً، معدّل النمو السنوية أقلّ من 0.1% (وقت المضاعفة 700 سنة)

2000–1800 بعد الميلاد: الحديث

كثافة السكان (40) شخصاً لكل $1\ km^2$ من المناطق الصالحة للعيش، عدد السكان الكلي عام 2000م قرابة بضعة 6.1 بلايين، معدّل النمو السنوي عام 2000م قرابة 1.4% (وقت المضاعفة 50 سنة تقريباً)

المستقبل ونمو عدد السكان
Population Growth and the Future

ما عدد السكان الذين تستطيع الأرض استيعابهم بلا مشكلات؟
How Many People Can Earth Comfortably Support?

يثير عدد سكان الأرض الذي يتزايد أسيّاً قلق بعض العلماء في استحالة تأمين الموارد وتوفير بيئة جيدة لبلايين البشر الذين سيضاعفون الأعداد الحالية. إنّ الثلاثة بلايين إنسان إضافي (معظمهم في الدول النامية) سيكونون بقدوم عام 2050م مصدر القلق. فازدياد عدد السكان محليّاً وإقليميًّا وعالميًّا يزيد من سوء المشكلات الجيولوجية البيئية القائمة بما فيها تلوث المياه الجوفية والسطحية، وإنتاج الفضلات الخطرة وإدارتها، وتعرض الناس والمنشآت البشرية لأخطار العمليات الطبيعية، مثل الفيضانات والانزلاقات والاندفاعات البركانية والزلازل.

لا يتوافر حل بسيط لمشكلة عدد السكان، ومع أنّنا قد نكون قادرين في المستقبل على إنتاج الغذاء بكميات كبيرة من زراعة لا تحتاج إلى مساحات كبيرة من الأرض، أو استخدام طرق الإنماء الصناعي لتأمين احتياجات الأعداد المتزايدة من السكان، إلّا أنّ القدرة على تأمين الغذاء للناس لا يحلّ وحده مشكلات الفراغ المحدود الذي يعانيه الناس والمحافظة على استمرار الحياة بشكل جيد أو تحسينها. تقترح بعض الدراسات أنّ عدد السكان الحالي هو فوق قدرة تحمل الأرض للعيش بشكل مريح، فقدرة التحمل هي عدد الناس الأقصى الذي تستطيع الأرض أن تتحمّله دون التسبب في حدوث تدهور بيئي، يقلل من قدرتها على تأمين سبل الحياة الضرورية لهم. إنّ دور التعليم مهم جدّاً في المشكلة السكانية، فعندما يصبح المستوى التعليمي للناس (خاصة النساء) أعلى، فإنّ سرعات نمو السكان تنزع إلى التناقص، أي إنّ عدد السكان ينقص مع ازدياد نسبة التعليم، وإذا أخذنا في الحسبان الثقافات والقيم والضوابط الموجودة في العالم اليوم فيبدو أنّ التعليم هو أكبر آمالنا في معالجة مشكلة الانفجار السكاني.

الأرض هي البيئة الوحيدة المناسبة لمعيشتنا
The Earth Is Our Only Suitable Habitat

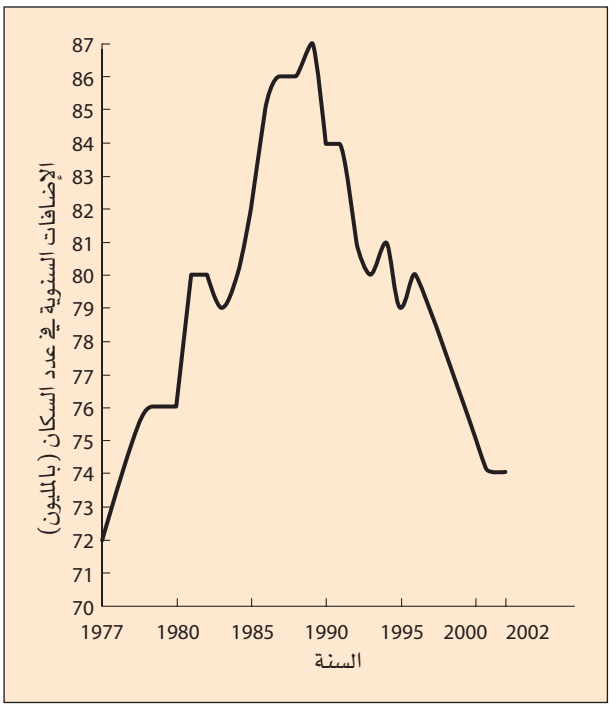
الأرض الآن وللمستقبل المنظور هي البيئة الوحيدة المتوافرة والمناسبة لنا، إلّا أنّ مواردها محدودة، فبعض الموارد مثل الماء متجددة، لكن كثيرًا من الموارد، مثل مصادر الوقود والمعادن غير متجددة، ومن غير الممكن التفكير الآن في الكواكب الأخرى في نظامنا الشمسي، مثل المريخ بوصفه حلًّا لمشكلات الموارد والسكان التي نواجهها، فقد ننجح في النهاية في أن يكون لنا مستعمرة من البشر على المريخ، لكن البيئة ستكون صعبة، وسيعيش الناس في أمكنة تشبه الفقاعات.

عندما يتمّ دمج أو إشراك المعلومات حول الموارد والمعطيات البيئية الأخرى مع معطيات نمو السكان تكون النتيجة واضحة، فمن المستحيل على المدى البعيد تبنّي أو تشجيع النمو الأسي في عدد السكان مع قاعدة من الموارد المحدودة؛ لذلك فمن أوّل أهداف العمل البيئي ضمان تفكيك القنبلة البشرية بسلام، ويعتقد بعض العلماء أنّ مشكلة نمو السكان ستحل نفسها بنفسها من خلال الأمراض والكوارث الأخرى كالمجاعات، أمّا العلماء الآخرون فمتفائلون بأننا سنهتدي إلى طرق أفضل للتحكم في عدد سكان الأرض ضمن حدود مواردنا المتوافرة وفضائنا واحتياجاتنا البيئية الأخرى.

أخبار سارّة حول سرعة تزايد السكان
Good News on Human Population Growth

ليست كل الأخبار سيئة فيما يخص نمو عدد السكان من البشر، فلأوّل مرّة منذ منتصف القرن العشرين يحدث تناقص في سرعة ازدياد عدد السكان. يبين الشكل (1–5) أنّ عدد الناس الذين يضافون إلى مجموع سكان الأرض كان في أوجه في نهايات الثمانينات من القرن الماضي، وقد تناقص بشكل عام منذ ذلك التاريخ، وهذا حدث مهم ومشجع بالنسبة إلى نموّ عدد السكان، ومن قبيل التفاؤل، يمكن لعدد سكان كوكبنا البالغ 6 بلايين نسمة سنة 2000م ألّا يتضاعف أبداً. وعلى الرغم من صعوبة تقدير نمو عدد السكان لارتباطه بعوامل، مثل: الزراعة والنظام الصحي والدواء والثقافة والتعليم، إلّا أنّه يقدّر أنّ عدد سكّان الأرض من البشر سوف يتراوح بين 7.3 و10.7 بلايين نسمة بحلول عام 2050م، وسيكون الرقم 8.9 بلايين نسمة على الأغلب.

Open Knowledge



الشكل (1–5): أنباء سارّة عن نمو عدد السكان، الازدياد السنوي العالمي في عدد السكان كان في أوجه في نهايات الثمانينيات من القرن الماضي، واليوم هو في مستويات تقارب تلك التي كانت في نهايات السبعينيات من القرن الماضي. هذه الزيادة مثل إضافة ضعف سكان كاليفورنيا سنويّاً. (المعطيات من مكتب الولايات المتحدة للإحصاء ومعهد *World Watch*)

ويحتمل أنّ النقص في عدد السكان يرتبط بتعليم المرأة، وقرار الزواج في سن متأخرة، وتوافر طرق حديثة لتنظيم الحمل. ويستمر السكان في الازدياد، حتى تصبح سرعة النمو صفرًا. 20 دولة تقريبًا معظمها في أوروبا الغربية، وكذلك الصين وصلت إلى نسبة خصوبة كلية (عدد الأطفال لكل امرأة) أقلّ من (2,1) وهو المستوى الضروري للاستبدال.

المفهوم الثاني: الاستدامة

الاستدامة هدف بيئي.

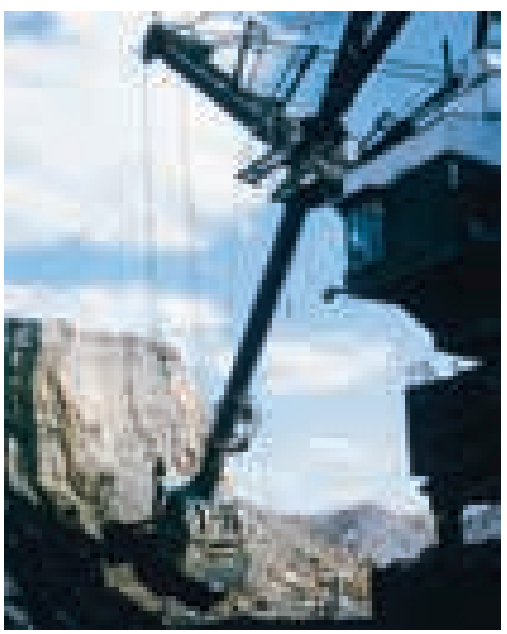
Concept Two: Sustainability

Sustainability is the environmental objective.

ما الاستدامة؟ **الاستدامة** شيء نحاول جاهدين تعريفه. أحد التعريفات يقول: إنّ الاستدامة تطور يضمن فرصة متكافئة للأجيال المقبلة في الوصول إلى الموارد المتوافرة في كوكبنا، وتشير الاستدامة كذلك إلى أنواع التطور التي يمكن أن تكون ممكنة التحقيق من الناحية الاقتصادية، ولا تؤذي البيئة، وتتسم بالعدالة الاجتماعية. إنّ الاستدامة مفهوم طويل الأمد، فهي أيّ شيء يحدث خلال عشرات أو ربما مئات السنين، ومن المهم الاعتراف بأنّ الاستدامة بالنسبة إلى استعمال الموارد ممكنة التطبيق حتى على المتجددة منها، مثل الماء والهواء، ويمكن تطوير استدامة الموارد غير المتجددة أو تحسينها، مثل الوقود الأحفوري والمعادن، أوّلاً عن طريق تمديد أو إطالة زمن توافرها بالحفاظ عليها وإعادة تدويرها، وثانياً إيلاء تركيز أكبر لكيفية استعمال مورد غير متجدد، وإيجاد بدائل لاستعمالاته بدلاً من التركيز على الزمن الذي سينفذ فيه هذا المورد.

ليس هناك أدنى شكّ في أنّنا نستعمل موارد بيئتنا الحية، مثل الغابات والأسماك والحياة البرية بطريقة أسرع من تعويض الطبيعة لهذه الموارد، فقد استخرجنا المعادن والنفط والمياه الجوفية دون التفكير في كمياتها المتوافرة أو إعادة استعمالها (تدويرها). علينا أن نتعلم كيف نحافظ على موارد بيئتنا، بحيث تستمر في إفادة الناس والكائنات الحية الأخرى على هذا الكوكب.

عندما تحدثنا عن المبدأ الأوّل بالنسبة إلى البشر والموارد قلنا: إنّ الأرض هي المكان الوحيد القابل للعيش والمتوافر لنا، وإنّ مواردنا محدودة، ولتلبية متطلباتنا من الموارد مستقبلاً والمحافظة عليها، فإنّنا سنحتاج إلى استعمال مبدأ التدوير بشكل أكبر في كثير من المواد، يمكن من الناحية النظرية تدوير معظم المواد، إلّا أنّ التحدي هو إيجاد طرق لعمل ذلك، بحيث لا تؤذي البيئة، وتحسن من نوعية الحياة، وتقبل التطبيق من الناحية الاقتصادية. إنّ جزءًا كبيرًا من مشكلات التخلص من فضلاتنا الصلبة والسائلة يمكن تلافيه إذا أعيد استعمالها أو تدويرها، وبمعنى آخر، فإن كثيرًا من الفضلات التي تُعدّ الآن ملوثات يمكن تحويلها إلى موارد. وتُعدّ اليابسة أيضًا موردًا مهمًّا للناس والنباتات والحيوانات وكذلك في التصنيع والتعدين وإنتاج الطاقة ونقل نواتج الفضلات وترسيبها. إن التغير الذي يحدث في الأرض بفعل الإنسان والناتج جزئيًّا بسبب ازدياد السكان، وما يستدعيه من زيادة الأرض المخصّصة للسكن والزراعة يزداد بسرعة أكبر، وقد استنتجت دراسة حديثة أجريت على نشاط الإنسان ومقدرته على نقل الصخور والتربة أو تحريكها؛ أنّ أنشطة الإنسان في مجالات الزراعة والتعدين والإعمار، وما إلى ذلك، تتسبب في تحريك أو نقل الصخور والتربة بكميات سنوية تماثل أو تزيد عما تتسبب فيه أيّ عملية أرضيّة أخرى (الشكل 1–6) مثل بناء الجبال أو انتقال الرسوبيات بالأنهار. ولعل هذه الأنشطة وآثارها المرئية على الأرض (مثل تسوية التلال) تشير إلى أنّ أنشطة الإنسان هي أكثر العمليات أهمية في تشكيل سطح الأرض. سنناقش تخطيط استعمال الأراضي في الفصل الـ 17.



الشكل (1–6): التعدين آلة الحفر العملاقة في هذا المنجم يمكنها تحريك المواد الأرضية بسرعات كبيرة، بحيث يمكنها دفن أحد الأهرامات المصرية القديمة خلال وقت قصير. *Joseph J. Scherschel/NGS Image Collection*.

Qurtoba.com

هل نحن في أزمة بيئية؟

Are We in an Environmental Crisis?

إن زيادة الطلب على الموارد المتناقصة والناتجة عن زيادة عدد السكان، وتزايد إنتاج الفضلات بشكل لم يسبق له مثيل قد أنتجت ما يطلق عليه الأزمة البيئية، وقد نتجت هذه الأزمة في الولايات المتحدة والعالم كله بسبب ازدياد السكان والعمران والتصنيع، إضافة إلى قلة احترامنا للأرض، وانتشار المؤسسات العاجزة عن مواكبة مشكلات الأرض البيئية. إنّ استمرار الاستعمال السريع للموارد قد تسبب في مشكلات بيئية على مستوى المعمورة، وتشمل:

- تغيّر المناخ بسبب حرق الوقود الأحفوري، وما نتج عن ذلك من احترار عالمي.
- إزالة الغابات، وما رافق ذلك من حتّ التربة وتلوث الماء والهواء في كثير من القارات.
- تعدين الموارد (مثل الفلزات والفحم واستخراج النفط) حيثما توافرت، وما نجم عنه من كثير من المشكلات البيئية.
- تطوير موارد المياه الجوفية والسطحية الذي أدى إلى فقدان كثير من البيئات ودمارها على مستوى الكرة الأرضية. فعلى سبيل المثال نقصت مساحة بحر الأورال في كازاخستان وأوزبكستان خلال 30 سنة من $67{,}000\ km^2$ إلى $28{,}000\ km^2$ نتيجة تحويل مجرى نهرين مغذيين له، وقد أدّى فقدان البحر إلى تغيير المناخ، بحيث أصبح الشتاء أكثر برودة والصيف أكثر حرارة، لكنّ برنامجًا طموحًا لاستعادة جزء من البحر حقق بعض النجاح من خلال الحفاظ على الماء.

ومن ناحية إيجابية، فقد علمتنا الأزمة البيئية الكثير من حيث ربط العلاقة بين التدهور البيئي واستغلال الموارد، وتُطوّر الآن طرقًا مبتكرة للتنمية المستدامة للموارد بما فيها الماء والطاقة، هدفها تقليل المشكلات البيئية المرافقة لاستغلال الموارد.

هل نحتاج إلى إنقاذ الأرض أم إنقاذ أنفسنا؟

Do We Need to Save Earth or Ourselves?

«أنقذ كوكبنا» كان هو الشعار البيئي في التسعينيات من القرن الماضي. هل فعلًا أنّ بقاء الأرض واستمرارها في خطر؟ في رؤيتنا على المدى البعيد لتطور كوكبنا، فالأرض ستعيش أطول مما يعيش البشر. فمن المحتمل أنّ شمسنا ستظل بلايين عدة أخرى من السنين على الأقل، وحتى لو انقرض البشر جميعاً خلال السنوات القليلة المقبلة، فإن التدهور البيئي الذي فرضناه على معالم سطح الأرض والغلاف الجوي والماء قد يستمر مئات أو آلاف السنين المقبلة، لكن العمليات الطبيعية سوف تنظّفها في النهاية، وعليه، فإنّ مصدر القلق الرئيس لنا هو نوعية بيئة البشر، الذي يعتمد على استمرار المحافظة على أنظمة الدعم الرئيسة بما فيها من هواء وماء وتربة وأشكال الحياة الأخرى.

الشكل (1–7): التحطيب أو قطع الأشجار، إزالة الأشجار أو حصادها يؤدي إلى تكشف التربة، ما يؤدي عادة إلى زيادة حتّ التربة أو انجرافها وإلى مشكلات بيئية أخرى. (*Edward A. Keller*).

المفهوم الثالث: الأرض بصفتها نظاماً

Concept Three: Earth as a System

فهم أنظمة الأرض وتغيراتها مهم جدّاً في حل المشكلات البيئية.

النظام هو أي جزء محدد من الكون نختاره للدراسة، فالكواكب والبراكين والأحواض المحيطية والأنهار أمثلة على الأنظمة (الشكل 1–8). تتكوّن معظم الأنظمة من مكوّنات عدة تتكيف مع بعضها لتعمل بوصفها وحدة واحدة، ولعل حدوث تغير في أحد المكوّنات يؤدي إلى حدوث تغيرات في المكوّنات الأخرى. فعلى سبيل المثال مكوّنات نظامنا الأرضي هي الماء واليابسة والغلاف الجوي والحياة، إذ تتكيّف مع بعضها لتحافظ على استمرار كوكبنا حيّاً.

تحليل المدخلات والمخرجات

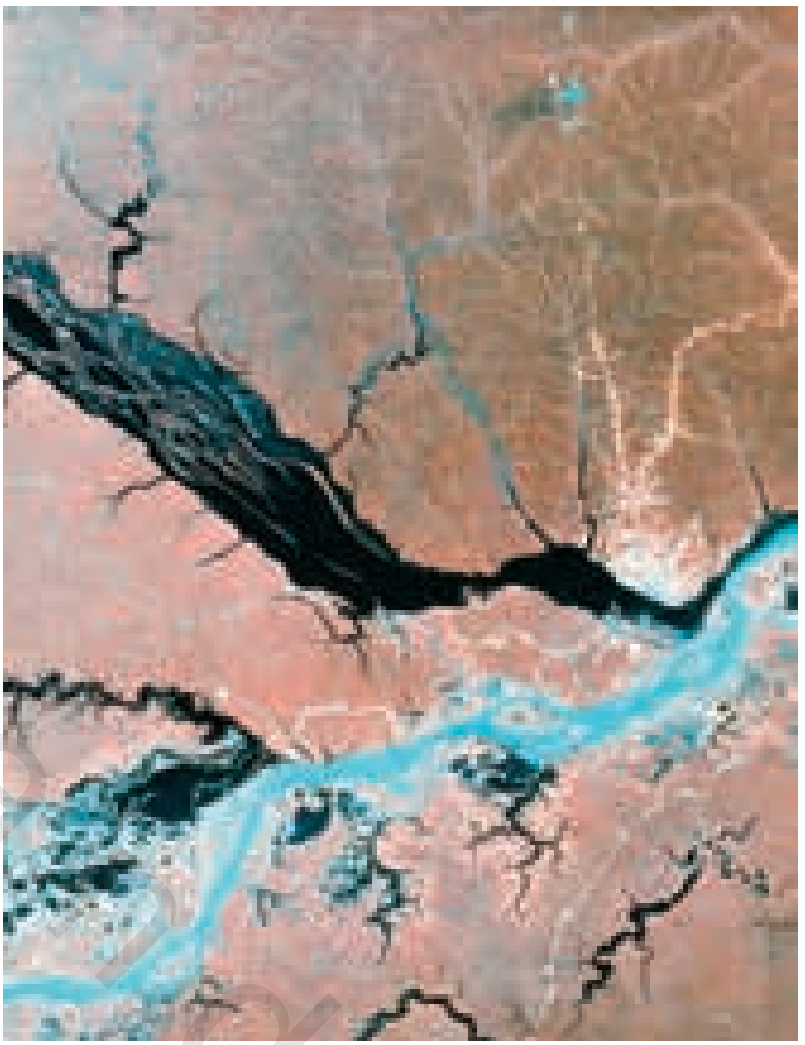
Input-Output Analysis

تحليل المدخلات والمخرجات طريقة مهمة لتحليل التغير في الأنظمة. يحدد الشكل (1–9) ثلاثة أنواع من التغير في مخزون مادة ما، وفي كل حالة يعتمد التغير الإجمالي على النسبة بين المدخلات والمخرجات، فعندما تتساوى المدخلات والمخرجات في النظام (الشكل 1–9أ) تنشأ حالة ثابتة تقريبًا، ولا يحدث أيّ تغير إجمالي. ومثال على ذلك، الجامعة التي يدخلها الطلاب الذين يجتازون امتحان الثانوية العامة، ويتخرجون بعد ذلك بـ 4 سنوات بنسبة ثابتة، بحيث يبقى مجموع الطلبة في الجامعة ثابتًا. وعلى مستوى الكرة الأرضية، فإنّ كوكبنا نظام في حالة من الثبات بالنسبة إلى الطاقة تقريبًا، والإشعاع الشمسي القادم إلى الأرض يتساوى تقريبًا مع الإشعاع الذي تفقده. أما النوع الثاني من التغير، فالمدخلات إلى النظام أقلّ من المخرجات (الشكل 1–9ب). وتشمل الأمثلة استخدام الموارد، مثل الوقود القديم (الأحفوري) أو المياه الجوفية وحصاد بعض النباتات أو جمع الحيوانات، وإذا كانت المدخلات أقلّ كثيراً من المخرجات فقد يستهلك الوقود أو المورد المائي بشكل كامل أو تنقرض النباتات أو الحيوانات. ففي النظام الذي تزيد فيه المدخلات عن المخرجات (الشكل 1–9جـ)، فإنّ مخزون ما يتم قياسه يزداد. وتشمل الأمثلة تراكم الفلزات الثقيلة في البحيرات بسبب التلوث الصناعي أو تلوث المياه والتربة.

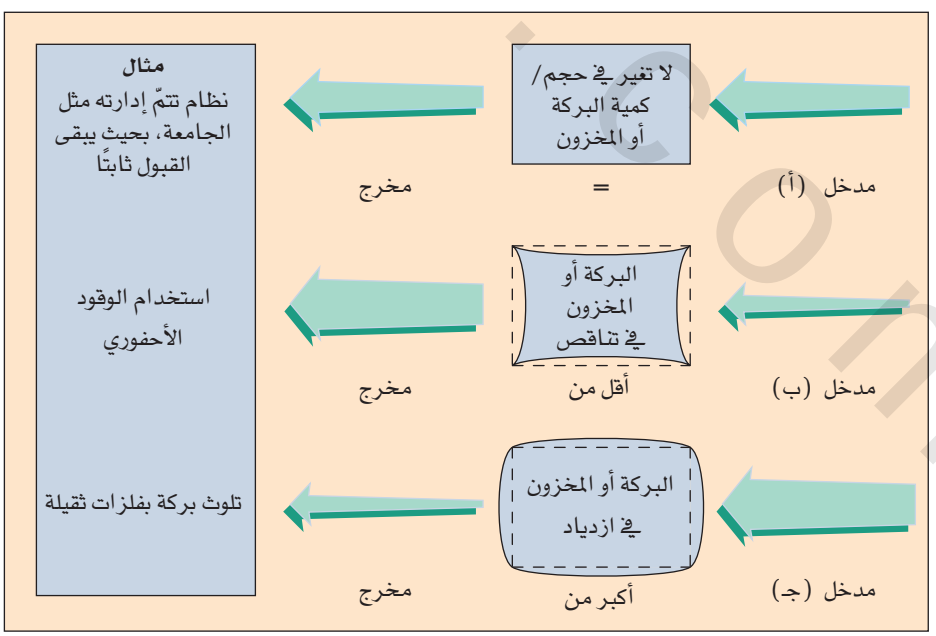
كيف يمكن أن نقيّم التغيّر؟

How Can We Evaluate Change?

بتقييم سرعات التغير أو المدخلات أو المخرجات للنظام نستطيع اشتقاق **متوسط زمن المكوث** (**average residence time**) لمادة معينة، مثل أيّ

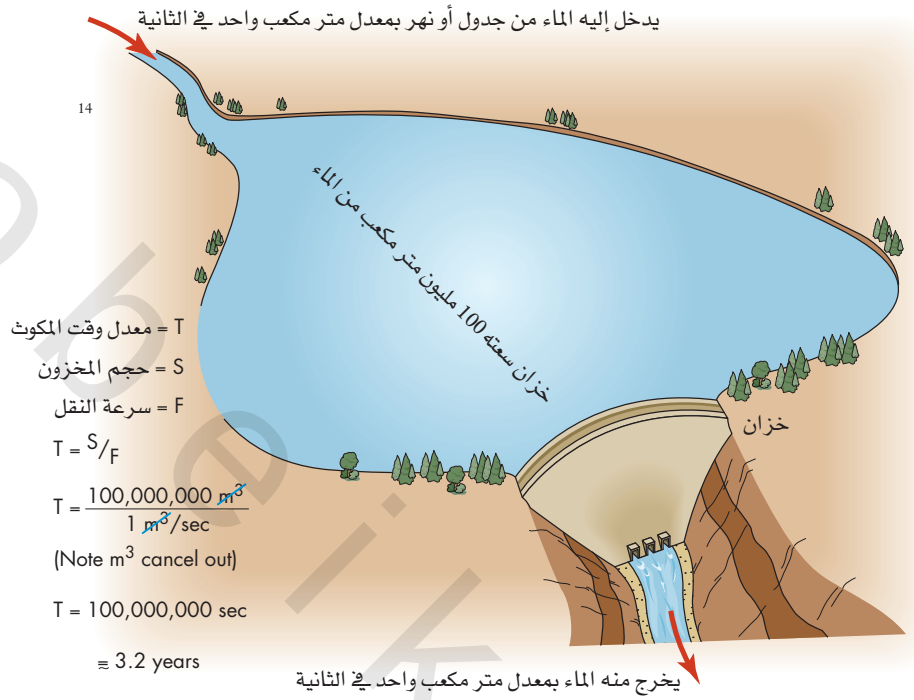


الشكل (1–8): النهر بصفته نظاماً، صورة فضائية لجزء من نظام نهر الأمازون (أزرق) والتقائه مع نهر ريو نجرو Rio Negro (أسود). يبدو ماء نهر الأمازون مثقلاً بالرسوبيات، بينما مياه ريو نجرو صافية تقريباً. لاحظ أنّه عند التقاء هذين النهرين العظيمين لا تختلط مياههما في البداية، وتبقى منفصلة مسافة معينة بعد نقطة الالتقاء. نهر ريو نجرو في مرحلة فيضان. اللون الأحمر هو الغابة المطرية لنهر الأمازون، والخطوط البيضاء هي مناطق تشويش (اضطراب) بفعل الإنسان مثل الطرق
[Earth Satellite Corporation/Science Photo Library/Photo Researches, Inc.].



الشكل (1–9): التغير في الأنظمة: الطرق الرئيسة التي يتغير بها مخزون مادة ما.
(Modified after Ehrlich, P. R., Ehrlich, A. H., and Holden J. P.1977. Ecoscience: Population, Resources, Environment. 3rd ed. San Francisco: W. H. Freeman)

obeikandi.com



الشكل (1–10) معدل وقت المكوث حساب معدل وقت المكوث لمتر مكعب من الماء في خزان مدخلاته تكافئ مخرجاته. وتساوي متراً مكعّباً واحداً في الثانية. وحجم الخزان ثابت ومقداره 100 مليون متر مكعب من الماء.

مورد من الموارد، فمتوسط زمن البقاء مقياس للمخزون الإجمالي للمادة التي سيحصل لها تدوير في النظام، ولحساب متوسط زمن البقاء T (بافتراض حجم ثابت للنظام وسرعة انتقال ثابتة)، نأخذ الحجم الكلي للمخزون، ثم نقسمه على متوسط سرعة الانتقال خلال النظام:

$$T = S/F$$

وعلى سبيل المثال، إذا كان في خزان (100) مليون متر مكعب من الماء، ومتوسط كل من المياه الآتية من الجداول إلى الخزان والخارجة من المفيض (قناة التصريف) 1 m/s، فان متوسط وقت المكوث لكل $1\ m^3$ من الماء في الخزان هو (100) مليون ثانية أو 3.2 سنوات (الشكل 1–10). ونستطيع أيضاً حساب متوسط وقت البقاء للأنظمة المتغيرة الحجم وسرعة الانتقال، إلّا أنّ الحسابات أصعب في هذه الحالة، ويمكن أحيانًا حساب وقت المكوث لمورد معين، ومن ثم تطبيق المعلومات للمساهمة في فهم المشكلات البيئية وحلها، وعلى سبيل المثال، فإن متوسط بقاء الماء في الأنهار هو أسبوعان مقارنة بمئات أو آلاف السنين لبعض المياه الجوفية، وعليه، فإن إستراتيجيات معالجة حادث تلوث نهر بنفط منسكب ستختلف عن إزالة نفط طافٍ على مياه جوفية ناتج عن حدوث تمزق في خط أنابيب موجود تحت سطح الأرض، فالنفط في النهر مشكلة قصيرة الأمد ومباشرة، والتعامل معها سهل نسبيًّا، بينما تكون المشكلة أصعب في المياه الجوفية الملوثة؛ لأنها تتحرك ببطء، ووقت مكوثها يكون طويلاً، فمن الصعب معالجة تلوث المياه الجوفية؛ لأن إزالته بشكل طبيعي يستغرق مئات السنين.

توقع التغيّرات في أنظمة الأرض فكرة أن الحاضر هو المفتاح إلى الماضي تدعى النسقية (uniformitarianism)، وقد عمّمها جيمس هاتون عام 1785م (الذي يشير إليه بعض الدارسين بأنه أبو الجيولوجيا)، وهي فكرة تُعدّ اليوم مبدأً رئيسًا في علوم الأرض، ومثلما يشير الاسم، فإن النسقية تنطوي على أن العمليات التي نشاهدها اليوم (جريان الماء في الأنهار، تكوّن الجليديات وحركتها، رفع الأرض بالزلازل، وما إلى ذلك) أثّرت في الماضي أيضاً، ولا تشترط النسقية أن تبقى قيمة (كمية الطاقة المبذولة) أو تكرار (عدد مرات حدوث عملية معينة) العمليات الطبيعية ثابتة مع الزمن، ويمكننا أن نتوقع أنه ما دام للأرض غلاف جويّ ومحيطات وقارات شبيهة بتلك الموجودة اليوم، فإنها ربما تأثرت في الماضي بالعمليات التي تؤثر فيها الآن.

أنشطة الإنسان الحالية مفتاح لفهم المستقبل

Present Human Activity Is Part of the Key to Understanding the Future

ينبغي أن نأخذ في الحسبان في أثناء تخيلنا للأحداث الجيولوجية تأثير أنشطة الإنسان في نظام الأرض، وتأثير هذه التغيرات في النظام ككل على العمليات الأرضية الطبيعية، وعلى سبيل المثال، تفيض الجداول الصغيرة التي تبلغ مساحات مناطق تصريفها عشرات الكيلومترات المربعة بغض النظر عن أنشطة الإنسان، إلّا أن أنشطة الإنسان مثل تعبيد الطرق في المدن يزيد المياه الجارية فيها من حيث حجم الفيضانات وترددها، أي إن عدد الفيضانات في منطقة ذات حجم معين يصبح أكبر بعد التعبيد، وإن عاصفة مطرية بعينها يمكن أن تنتج فيضاناً أكبر من الفيضان الذي تنتجه عادة فيما لو كانت المنطقة غير معبدة، وعليه فإن للتنبؤ بالتأثيرات بعيدة المدى للفيضان واجبًا أن نكون قادرين على تحديد كيف أن أنشطة الإنسان المستقبلية ستغير من حجم الفيضان وعدد مرات حدوثه، وفي هذه الحالة نقول: إنّ الحاضر هو المفتاح إلى المستقبل. وعلى سبيل المثال، عندما يفحص جيولوجيو البيئة رسوبيات الانزلاقات الحديثة (الشكل 1–11) في منطقة مخصصة لتصبح منطقة إسكان، فيجب عليهم استعمالها للتنبؤ بالأمكنة المحتملة لحدوث الزلازل، وكذلك التنبؤ بماهية تأثيرات الإعمار في حجم الانزلاقات المتوقعة وتكرارها. سنتعرض الآن إلى الروابط بين العمليات المختلفة.

Obeikan

الشكل (1–11): التطور الحضري. وجود الانزلاق يشير إلى أنّ هذا المنحدر غير مستقر، وقد تحدث حركات أخرى في المستقبل، هذا مؤشر خطر بالنسبة إلى التنمية المستقبلية للمنطقة.

الوحدة البيئية: مبدأ الوحدة البيئية الذي ينصّ على أنّ أحد الأفعال يتسبب في حدوث أفعال أخرى متسلسلة، وهو مبدأ مهم في التنبؤ بالتغيرات التي تحدث في نظام الأرض. على سبيل المثال: إذا أنشأنا سدًّا على أحد الأنهار، فإنّ كثيرًا من التغيرات سوف تحدث، فالرسوبيات التي كانت تتحرك قبل إنشاء السد في اتجاه أسفل النهر، ومن ثم إلى المحيط ستحتجز في الخزان، وعليه فإنّ الشواطئ ستحرم من رسوبياتها الآتية من النهر، وقد تكون نتيجة هذا الحرمان ازدياد الحتّ في الشواطئ وإنّ نقص الرسوبيات الشاطئية قد يؤثّر أيضاً في الكائنات التي تعيش في هذه المنطقة، وتستعمل الرمل مثل السرطعان والقواقع، أي إنه ينتج عن بناء السد سلسلة من التأثيرات التي تؤدي إلى تغير البيئة الشاطئية وكائناتها، وينشأ عن إنشاء السد تغير في هيدرولوجية النهر، ولا تعود الأسماك تهاجر في اتجاه أعالي النهر. وسنتطرق الآن إلى الروابط العالمية التي تحدث على مستوى الكرة الأرضية.

علم أنظمة الأرض: هو دراسة الكوكب ككل بوصفه نظامًا واحدًا، وذلك بالاعتماد على مكوّناته (انظر إلى نظرة متفحصة: فرضية جيا، ويسأل هذا العلم عن كيفية ارتباط مكوّنات نظام الأرض (التي تُعدّ بحد ذاتها أنظمة أصغر) مثل الغلاف الجوي (الغاز)، والمائي (الماء)، والبيولوجي (الحياة) والصخري (الصخر) مع بعضها وكيفية تكوّن هذه الروابط وتطوّرها والحفاظ عليها، ويستكشف هذا العلم كيف تعمل هذه المكوّنات، وكيف تستمر في العمل على طول فترات العقد والقرن وأطول من ذلك، ونظرًا لارتباط هذه المركبات أو المكوّنات مع بعضها، فإنه من الضروري أن نفهم هذه الأنظمة، ونكون قادرين على التنبؤ بتأثيرات حدوث أي تغير في أحدها على المكوّنات الأخرى.

إنّ التحدي هو تعلم التنبؤ بالتغيرات المحتمل أن تكون ذات أهمية للمجتمع، ثم تطوير إستراتيجيات إدارية لتقليل تأثيراتها الضارة إلى الحد الأدنى. فعلى سبيل المثال، تشير دراسة كيمياء الغلاف الجوي إلى التغيرات الألفية فيه، فقد ازدادت الغازات الشحيحة، مثل ثاني أكسيد الكربون بنسبة 100% تقريباً منذ عام 1850م. إنّ كربونات الكلور والفلور (CFCs) التي تستخدم في المبردات وبوصفها دواسر في أوعية الهباء تطلق عند السطح، ثم تهاجر إلى الستراتوسفير، حيث تتفاعل هناك بوجود طاقة الشمس متسببة في دمار طبقة الأوزون التي تحمي الأرض من الإشعاعات فوق البنفسجية الضارة. وسنناقش في الفصل السادس عشر الموضوعات المهمّة للتغير الكوني وعلم أنظمة الأرض، وذلك بعد التطرق إلى موضوعات، مثل مواد الأرض، والأخطار الطبيعية وموارد الطاقة.

المفهوم الرابع:
العمليات الأرضية الخطرة

Concept Four: Hazardous Earth Processes

أثرت عمليات الأرض الخطرة في حياة البشر دائماً، ومن الواجب تعرّف هذه الأخطار الطبيعية، ومن ثم تجنّبها إن أمكن، أو تقليل ما ينجم عنها من خطر على حياة الإنسان وممتلكاته إلى الحد الأدنى. ومن واجبنا أيضاً بوصفها بشرًا وكبقية الكائنات الحية الأخرى أن نتقي شر العمليات الطبيعية، مثل العواصف والفيضانات والزلازل والانزلاقات الأرضية والاندفاعات البركانية التي تدمر الممتلكات، وتقضي على الأرواح. فخلال ألـ 20 سنة الأخيرة تسببت العمليات الطبيعية في مقتل ملايين عدة من البشر، وقد بلغت الخسائر البشرية السنوية قرابة ألـ 15000 إنسان، بينما قدرت الخسائر المادية بنحو 20 بليون دولار.

الأخطار الطبيعية التي ينتج عنها مصائب تتحوّل إلى مصائب أكبر تدعى الكوارث

Natural Hazards That Produce Disasters Are Becoming Superdisasters Called Catastrophes

قد كان كفاحنا خلال تاريخ الأرض المبكر مع العمليات الأرضية الطبيعية خبرة تختلف من يوم إلى آخر، فلم تكن أعدادنا كبيرة ولا مركزة؛ لذلك لم تكن الخسائر الناتجة عن عمليات الأرض الخطرة كبيرة، فقد تعلم الناس أن ينتجوا، ويحتفظوا بكميات أكبر من الغذاء في أكثر السنين، ازداد

openkarbon.com

نظرة متفحّصة A CLOSER LOOK

فرضية جيا The Gaia Hypothesis

هل هناك شبه بين الأرض والكائن الحي؟ قال جيمس هاتون أبو الجيولوجيا في اجتماع للجمعية الملكية الموقرة في أدنبرة عام 1785: إنّه يعتقد أنّ كوكب الأرض هو كائن حي عملاق (الشكل 1ب). قارن بين دوران الماء في الأرض وما يحتوي من رسوبيات وأغذية بدورة الدم في الحيوان. تشكل المحيطات بالأسلوب اللغوي المجازي الذي استعمله هاتون قلب نظام الأرض، بينما تشكل الغابات رئتها. بعد 200 سنة تقدّم العالم البريطاني الأستاذ جيمس لف لوك بفرضية جيا، التي أحيت فكرة أنّ الأرض حية، وقد سمّيت هذه الفرضية نسبة إلى جيا الإلهة اليونانية لأمنا الأرض.

الشكل 1 ب البيت صورة للأرض تركز على المحيط الأطلسي الشمالي، وأمريكا الشمالية، والمساحات القطبية المتجمدة. ومن السهل من خلال صورة كوكبنا أن نتصور أنّ الأرض نظام واحد كبير.

أفضل طريقة للتعبير عن فرضية جيا من خلال سلسلة من الفرضيات:

- **تؤثر الأرض تاثيرًا مهمّاً في بيئة الكواكب**، والقليل من العلماء لا يتفق مع هذا المبدأ.
- **تاثير الحياة في البيئة يحسن الحياة**، تدعم هذه الفرضية بعض الدراسات التي تبيّن أنّ الأرض تؤدي دورًا مهمّاً في مناخ الكواكب، بحيث لا تكون مفرطة في الحرارة أو البرودة، وتسمح للكائنات الحية بالعيش. يُعتقد مثلاً أنّ النباتات وحيدة الخلية العائمة بالقرب من سطح المحيط تتحكّم جزئيّاً في محتوى ثاني أكسيد الكربون في الجو، ومن ثم في المناخ العالمي.
- **تتحكم الحياة عن قصد أو عن وعي في البيئة العالمية**، يتفق القليل من العلماء مع هذه الفرضية. التفاعلات المتبادلة وارتباط العمليات في الغلاف الجوي مع تلك التي تسود على سطح الأرض وفي المحيطات ربما تكون كافية لشرح معظم الآليات التي تؤثّر بها الحياة في البيئة. في المقابل بدأ الأفراد في اتخاذ قرارات حول بيئة الأرض ككل؛ لذلك ففكرة أنّ البشر يستطيعون عن قصد أن يؤثروا في مستقبل الأرض لم تعد فكرة أو رأياً متطرّفاً، علماً بأنّ بعض الناس فسّر هذه الفكرة بأنّها تدعيم لفرضية جيا العامة.

فرضية جيا تدعم التفكير متعدّد التخصصات والمجالات. القيمة الحقيقية لفرضية جيا أنّها حفّزت البحوث العلميّة التي تتميّز بتوظيف حقول علميّة مختلفة لفهم الطريقة التي يعمل بها كوكبنا، وعلى الرغم من أنّ الفرضية لا تشير إلى البصيرة والتخطيط من قبل الحياة، كما فسّرها معظم العلماء، لكنها تشير إلى أنّ العمليات الطبيعية تحدث فعلاً.

عدد السكان وتركّز في بعض المناطق، وزاد تركيز السكان والموارد كذلك من تأثير الزلازل والفيضانات والأخطار الطبيعية المتكررة الأخرى على حياة البشر، وقد استمرت هذه النزعة، حيث إنّ كثيرًا من الناس يعيشون هذه الأيام في مناطق من المحتمل أن تتعرض للدمار الناجم عن العمليات الأرضية الخطرة، أو تكون عرضة للتأثيرات الضارة لهذه العمليات في المناطق المجاورة، وقد ظهر مبدأ يُعنى بالأخطار الطبيعية يقول: إنّه نتيجة لأنشطة الإنسان (ازدياد السكان وتغيير الأرض بالزراعة وقطع الأشجار والتعدين والتحضر)، فإنّ ما كان خطراً من قبل أصبح الآن كارثة. وعلى سبيل المثال:

- أجبر ازدياد السكان عدداً أكبر من الناس على العيش في المناطق الخطرة، مثل السهول الفيضية، والسفوح شديدة الانحدار (حيث احتمالية حدوث الانزلاقات) وبالقرب من البراكين.
- التغيير في استعمال الأراضي بما في ذلك التطوير الحضري وإزالة الغابات، يؤدي إلى ازدياد المياه الجارية وخطر الفيضان، وقد يضعف المنحدرات معطياً فرصة أكبر لحدوث الانزلاقات.
- زاد حرق كميات كبيرة من النفط والغاز والفحم من تركيز ثاني أكسيد الكربون في الجو، ما أسهم في رفع حرارة الجو والمحيطات وحدوث الأعاصير. لم يزدد عدد الأعاصير، لكن ازداد حجم العواصف وشدتها.

يمكننا التعرف إلى كثير من العمليات الطبيعية والتنبؤ بتأثيراتها آخذين في الحسبان الظروف المناخية والبيولوجية والجيولوجية، وبعد أن يقوم علماء الأرض بتعرّف العمليات الخطرة تقع على عاتقهم مسؤولية توفير هذه المعلومات للمخططين ومتخذي القرارات الذين يستطيعون تدارس الطرق لمنع حدوث هذه الأخطار أو تقليل أثرها في حياة الناس وممتلكاتهم إلى أدنى حدٍّ ممكن. وباختصار، فإنّ هذه العملية تتضمن تقييم بعض الأخطار التي تحدث في منطقة ما، واعتماد نتائج هذا التقييم عند اتخاذ القرارات المتعلقة بالتخطيط لتلك المنطقة. إن إدراك عامة الناس للأخطار يؤدي دورًا في التمييز بين الخطر الفعلي والمتوقع. وعلى سبيل المثال فعلى الرغم من إدراك السكان خطر الزلزال الحقيقي في جنوب كاليفورنيا إلّا أنّ السكان الذين لم يعانوا قط الزلازل مباشرة يكون تقديرهم أقلّ لجدية خطر فقدان الممتلكات والأرواح من الأشخاص الذين عانوا ويلات تلك الزلازل.

المفهوم الخامس:
المعرفة العلمية والقيم
Concept Five: Scientific Knowledge and Values

إنّ استعمال طريقة الاستجواب العلمي لحل مسألة بيئية معينة يوفّر أحياناً سلسلة من الحلول المحتملة تتفق مع المكتشفات العلمية أو تنسجم معها. يعكس الحل الذي نختار فيه نظام القيم السائد عندنا.

ما العلم؟ What Is Science?

لفهم نقاشنا حول المعرفة العلمية والقيم دعونا نكتسب أوّلاً إدراكاً أو فهماً لتقاليد الاستجواب العلمي، فمعظم العلماء يحفزهم الفضول أو حبّ الاستطلاع لمعرفة كيف تعمل الأشياء، فاكتشاف شيء لم يكن معروفاً من قبل عن كيفية عمل هذا العالم يثير فضول الجيولوجيين، ويلهب حماسهم. وتدفعهم هذه الاكتشافات إلى أن يستمروا في عملهم. فكيف لنا أن نشرع في دراسة عالمنا مع العلم أنّنا نعرف القليل عن العمليات الداخلية والخارجية التي تشكّله، وتستمر في المحافظة عليه؟ إنّ الإبداع ونفاذ البصيرة اللذين يمكن أن ينتجا عن الاختراقات العلمية يبدأ أحياناً بطرح السؤال الصحيح المتعلق بمشكلة ما يهتم بها الباحثون. فإن كانوا يعرفون القليل عن الموضوع أو العملية التي يدرسونها، فإنّ أوّل ما يقومون به محاولة فهم ما يجري، وذلك بعمل مشاهدات دقيقة في الحقل أو ربما في المختبر، ومن ثم يطوّر الباحث أو الباحثة اعتمادًا على مشاهداته أو مشاهداتها سؤالًا أو مجموعة من الأسئلة تتعلق بهذه المشاهدات، ويقوم الباحث بعد ذلك باقتراح إجابة أو إجابات عدّة محتملة عن السؤال، وستكون أفضل إجابة ممكنة هي **الفرضية** التي سيتمّ اختبار صحّتها، وعادة ما يتمّ اختبار أفضل الفرضيات بتصميم تجربة تشتمل على تجميع المعلومات وتنظيمها وتحليلها، وبعد جمع المعطيات وتحليلها يقوم الباحث بتفسيرها واستخلاص النتائج منها، ومن ثم يقارن الاستنتاج مع الفرضية، وقد ترفض الفرضية أو تقبل مؤقتًا. وفي بعض الأحيان يتمّ تطوير مجموعة من الأسئلة أو الفرضيات المتعددة واختبارها، فإذا رفضت كل الفرضيات المقترحة للإجابة عن سؤال معين، فيجب عندها صياغة مجموعة جديدة من الفرضيات، ويشار إلى هذه الطريقة أحيانًا **بالطريقة العلمية**. ستجد خطوات الطريقة العلمية موضّحة في الشكل (1–12). وأوّل خطوة منها صياغة سؤال- في هذه الحالة «من أين تأتي رمال الشاطئ»؟ ولاستكشاف هذا السؤال ينبغي للباحث أن يُمضي بعض الوقت على الشاطئ. وسيلاحظ في أثناء ذلك بعض الجداول (الجدول هو نهر صغير أو نهير) تجري في اتجاه المحيط، ويعرف أنّ هذه الجداول آتية من الجبال القريبة، ومن ثم يعدّل الباحث السؤال ليسأل بالتحديد عن « هل تأتي رمال الشاطئ من الجبال عن طريق الجداول؟». يشكل هذا السؤال أساس فرضية الباحث: رمال الشاطئ تنشأ في الجبال. يقوم الباحث أو الباحثة بجمع بعض الرمال من الشاطئ ومن الجداول وبعض العينات من صخور الجبال لاختبار فرضيته، وبعدها يقارن/تقارن بين محتواها المعدني، ويجد أو تجد أنّه الشيء نفسه تقريباً في الحالات الثلاث، فيخلص أو تخلص إلى استنتاج أنّ رمل الشاطئ يأتي من الجبال، وعليه يقبل/ تقبل فرضيته أو فرضيتها. وإذا ثبت أنّ الفرضية غير صحيحة يقوم الباحث/ الباحثة بصياغة فرضية جديدة. وقد تصاغ فرضيات متعددة في المشكلات الجيولوجية المعقدة، وتُختبر كل منها، وهذه هي طريقة الفرضيات المتعددة، إذا نجحت الفرضية في عدد كافٍ من التجارب، فقد تقبل بوصفها نظرية. فالنظرية مقولة علمية قوية تكون الفرضية التي تستند إليها النظرية صحيحة لدرجة ما، لكنها لم تُثبت بشكل حاسم. إنّ ظهور أدلة جديدة يبطل أحياناً بعض الفرضيات أو النظريات العلمية السائدة، الإثبات القطعي للنظرية العلمية غير ممكن، وهكذا فإنّ تطوير الفرضيات واختبارها والاجتهاد في رفض السائد منها وتطوير فرضيات أفضل يشكل جزءاً كبيراً من العمل العلمي.

تستعمل عادة الدراسات المخبرية والحقلية بشكل مشترك لاختبار الفرضيات، ويبدأ الجيولوجيون أحياناً مشاهداتهم في الحقل أو المختبر بأخذ ملحوظات دقيقة. على سبيل المثال، قد يعمل الجيولوجي في الحقل خريطة جيولوجية مدوناً عليها بدقة وصف المواد الأرضية المختلفة وتوزّعها، ويمكن إكمال الخريطة في المختبر، وهو المكان الذي تُحلّل فيه العينات.

يُعدّ الاهتمام بالزمن المتغير المهمّ الذي يميز الجيولوجيا من معظم العلوم الأخرى (انظر مقياس الزمن الجيولوجي في الجدول 1–1). فاهتمام الجيولوجيين بتاريخ الأرض في أثناء فترات زمنية يصعب استيعابها من معظم الناس ومن الطبيعي أن يؤدّي إلى طرح بعض الأسئلة المثيرة:

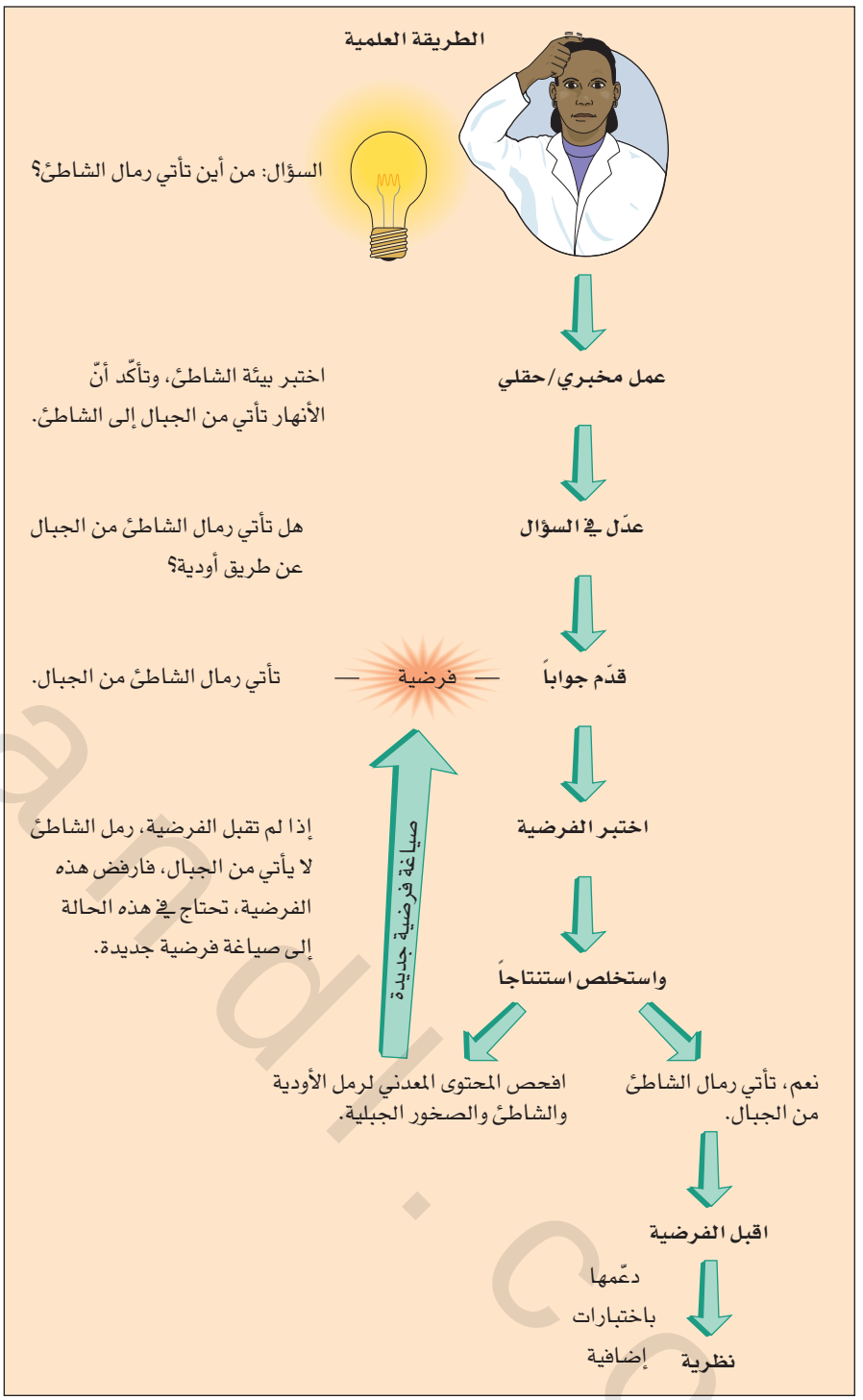
- ما السرعة التي تكوّنت بها الجبال وارتفعت؟
- كم سرعة عمليات الحتّ التي تؤدّي إلى إنقاص متوسط ارتفاعات الأرض؟
- كم تبلغ سرعة الأنهار التي تنحت الوديان العميقة الضيقة، مثل وادي يوسمايت والوادي العظيم (الشكل 1–13)؟
- ما السرعات التي تتحرك بها مياه الفيضان، والجليديات، والحمم البركانية؟

كما هو مبين في الجدول (1–3)، فإنّ سرعات العمليات الجيولوجية تختلف من جزء من المليمتر في السنة إلى بضعة كيلومترات في الثانية، فالسرعات القصوى هي أضعاف السرعات الدنيا بتريليونات المرات. السرعات القصوى، وهي بضعة كيلومترات في الثانية للأحداث التي يستغرق حدوثها بضع ثوانٍ. على سبيل المثال، فإنّ رفعاً مقداره 1م خلال زلزال قد يبدو كثيراً، ولكن عندما يؤخذ متوسطه خلال 1000 سنة (الفترة بين الزلازل)، فإنّ السرعة على المدى الطويل، وهي 1ملم في السنة هي سرعة اعتيادية في تكوين الجبال. ومن المهم بشكل خاص للجيولوجيا البيئية أنّ أنشطة الإنسان قد تسرع بعض العمليات. على سبيل المثال، قطع الأخشاب والإنشاءات في المناطق الحضرية يؤديان إلى إزالة الغطاء النباتي، وتكشيف التربة، وزيادة سرعة الحتّ.

ماذا عن الزمن الجيولوجي؟
What about Geologic Time?

نشأ البشر خلال حين البلايستوسين (آخر 1,65 مليون سنة)، وهي نسبة مئوية ضئيلة من عمر الأرض (انظر الجدول 1–1). ولمساعدتك على تصور مقياس الزمن الجيولوجي، يوضّح الشكل (1–14) التشابه بين الزمن الجيولوجي مع ساحات/مربعات ملعب كرة القدم. عد بالذاكرة إلى أيّامك في المدرسة الثانوية، عندما أخذ لاعب الفريق المنافس الكرة بعيداً في منطقتك، افترض أنّ الساحة ذات المئة ياردة تمثّل عمر الأرض (4,6

Open Library



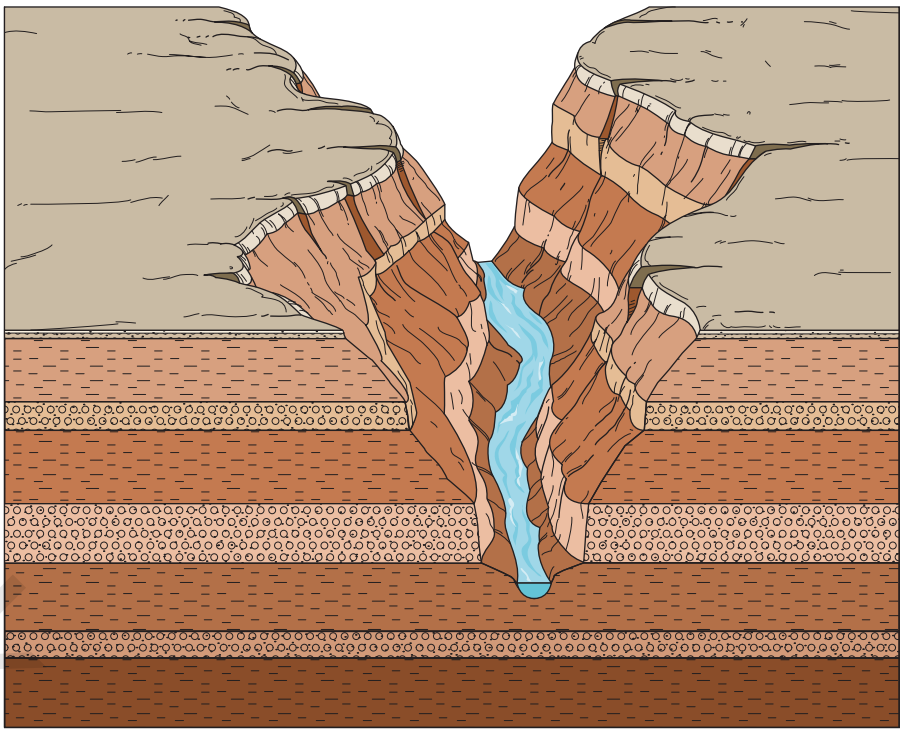
الشكل (1 . 12): العلم خطوات الطريقة العلمية.

بلايين سنة)، أي إنّ كل ياردة تمثّل 45 مليون سنة، عندما راوغ نجمك بالكرة، ووصل إلى خط 50 ياردة (خط 16م) فرح جمهور المشاهدين، لكن في تاريخ الأرض يكون قد سافر فقط 2250 مليون سنة، وما زال في بيئة بدائية فقيرة بالأكسجين. عند خط 45 ياردة الخاص بالخصم بدأ الأكسجين في الغلاف الجوي يساعد على الحياة. مع قطع عدائنا لخط 12 ياردة تنتهي فترة ما قبل الكامبري، وتصبح الحياة أكثر تمايزًا. عندما يكون عدّاؤنا النجم على مسافة أقلّ من نصف ياردة من خط المرمى، فإنّه يكون قد وصل إلى بداية البلايستوسين، أحدث (1.65) مليون سنة في عمر الأرض عندما بدأ الإنسان بالظهور، وعندما يقفز فوق خط الإنش، ويكون جاهزاً للمس الأرض (تسجيل الهدف) فإن الفترة المقابلة في تاريخ الأرض هي قبل (100000) سنة، حيث كان الإنسان الحديث يعيش في أوروبا. وهناك طريقة أخرى لتصوّر الزمن الجيولوجي، وهي التخيّل أنّ عمر الأرض البالغ 4.6 بلايين سنة يُكافئ

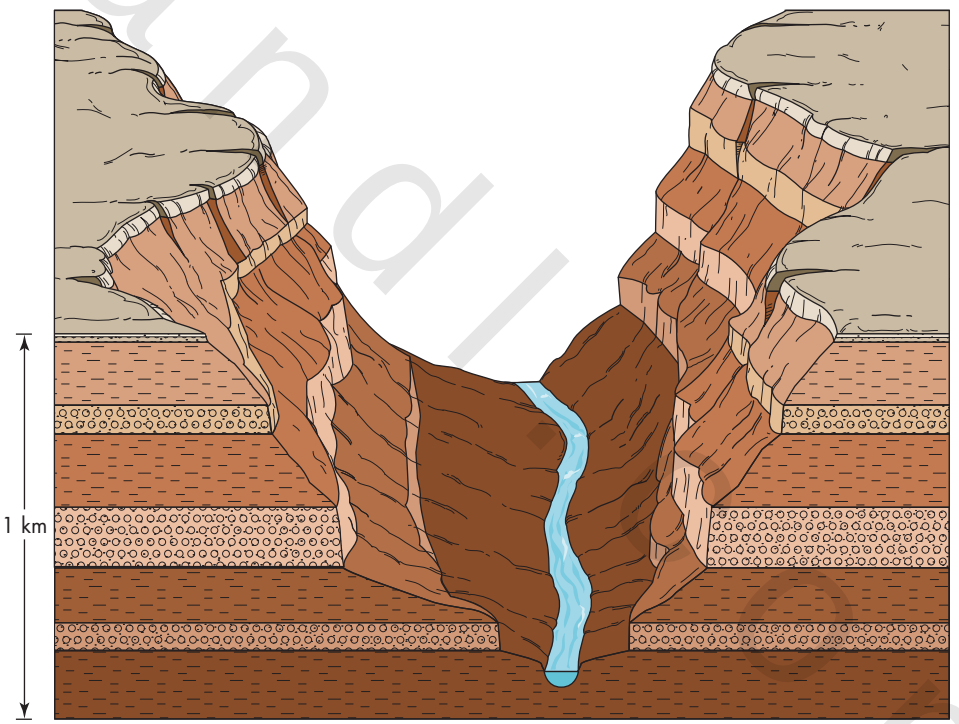
الشكل (1–13) حتّ (شق) وادٍ، شكل نموذجي للقطع التدريجي للنهر في سلسلة من الصخور الأفقية. الميل الجانبي منحدر، حيث الصخور صلبة ومقاومة للقطع وسرعة الحتّ عادة أقل من 0.01 mm في السنة (نحو 0.0004 in في السنة) بالنسبة إلى الصخور الطرية، حيث الميول أكثر لطفاً (أقل حدّة)، قد تزيد سرعة الحتّ على 1 mm في السنة. (0.039 in في السنة) فإذا حتّ هذا الوادي العميق والضيق (l) كم خلال مليون سنة، فيكون معدّل سرعة الحتّ (l mm/yr)

(معدّل بعد:

King, P. B. and Schumm, S., A., 1980. The Physical geography of William Morris Davis. Norwich, England: Geo Books.



أ. مستوى الحتّ قبل 250000 سنة



ب. مستوى الحتّ قبل مليون سنة

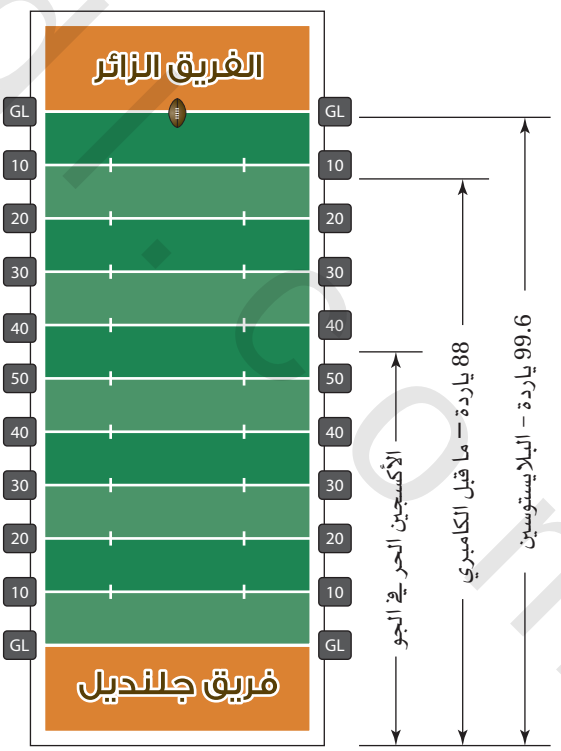
صخر عالي المقاومة (الحجر الرملي)

صخر غير مقاوم (الغضار)

obeikandl.com

الجدول 1-3: بعض السرعات النموذجية للعمليات الجيولوجية

سرعات بطيئة	■ الرفع الذي ينتج الجبال. عادة 0.5 إلى 2 mm في السنة. يمكن أن يصل إلى 10 mm في السنة. نحتاج من 1.5 إلى 6 ملايين سنة لإنتاج جبال ارتفاعها 3 km (مع عدم وجود حت).
	■ حت الأرض. عادة 1.01 إلى 1 mm في السنة. تستغرق (دون رفع) 3 إلى 300 مليون سنة لحت تضاريس ارتفاعها 3 km. يمكن زيادة سرعات الحت كثيراً بفعل أنشطة الإنسان مثل إزالة الغابات والأنشطة الزراعية التي تؤدّي إلى زيادة كمية المياه الجارية، ومن ثم زيادة الحتّ. سرعات الرفع عادة تفوق سرعات الحتّ، وهذا يعلل سبب بقاء الأراضي الموجودة على ارتفاعات فوق سطح البحر.
	■ شق الأنهار للصخر الأم وإنتاج خوانق مثل الوادي العظيم في أريزونا. يختلف شق الأنهار عن الحتّ، وهي المادة المزالة من منطقة ما. السرعات عادة (0.005) إلى 10 mm سنويّاً. لذلك يحتاج خانق عمقه 3 km إلى 300000 سنة إلى 600 مليون سنة. سرعة الشق (الحتّ الرأسيّ) يمكن زيادتها أضعافًا عدة بفعل أنشطة الإنسان مثل بناء السدود؛ لأنّ زيادة القطع الرأسي لقناة النهر تحدث مباشرة تحت مستوى السد.
سرعات متوسطة	■ حركة التربة والصخر في اتجاه أسفل المنحدرات بالزحف استجابة لفعل الجاذبية. السرعة عموماً 0.5 إلى 1.2 mm سنويّاً.
	■ حت الشاطئ بفعل الأمواج. السرعة عموماً 0.25 إلى 1.0 m سنويّاً بعيداً عن حافة الجرف. ولتوفير حماية من الحتّ مدة 100 سنة، ينبغي بناء منشأة 100–25 m بعيداً عن الشاطئ.
سرعات كبيرة	■ حركة الجليديات. عادة بضعة أمتار في السنة إلى بضعة أمتار في اليوم.
	■ جريان الحمم: تعتمد على نوع الحمم ومقدار الانحدار. عادة بضعة أمتار في اليوم إلى بضعة أمتار في الثانية.
	■ جريان مياه النهر في أثناء الفيضان. عادة بضعة أمتار في الثانية.
	■ الانهيارات الفتاتية أو التربة المشبعة أو الصخور في اتجاه أسفل المنحدر. يمكن أن تزيد على 100 km في الساعة.
	■ التمزق الزلزالي: بضعة كيلومترات في الثانية



الشكل (1-14): الزمن تمثيل الزمن الجيولوجي بملعب كرة القدم. ارجع إلى النص لشرح أوسع.

سنة شمسية واحدة، في هذه الحالة تكون الأرض قد تكوّنت في 1 يناير، لم يظهر الأكسجين في الجو قبل شهر يوليو، أمّا الثدييات فلم تظهر إلّا في 18 ديسمبر. وظهر أوّل إنسان في السادسة مساءً آخر أيام السنة، أما التاريخ المكتوب فقد بدأ 48 ثانية فقط قبيل حلول العام الجديد.

في الإجابة عن الأسئلة في الجيولوجيا البيئية يكون اهتمامنا أحياناً في أواخر البلايستوسين (آخر 18000 سنة)، لكننا نهتمّ أكثر بآخر آلاف أو مئات السنين في الهولوسين الذي بدأ قبل 10000 سنة (انظر الملحق د، كيف يحسب الجيولوجيون الوقت). وهكذا ففي الدراسة الجيولوجية يصمّم الجيولوجيون أحياناً فرضيات للإجابة عن الأسئلة المتصلة بالزمن. على سبيل المثال، قد نرغب في اختبار فرضية أنّ حرق الوقود القديم، مثل الفحم والنفط، التي نعرف أنها تؤدّي إلى انبعاث ثاني أكسيد الكربون في الجو، تتسبب في الاحترار العالمي عن طريق حجز الحرارة في الجزء السفلي من الغلاف الجوي، ونسمّي هذه الظاهرة الدفيئة، وقد نوقشت بالتفصيل في الفصل الـ 16. إحدى طرق اختبار هذه الفرضية هي تبيان أنّه عندما بدأنا بحرق الكثير من الفحم قبل الثورة الصناعية وبعد ذلك النفط؛ لتزويد الآلات الجديدة في ذلك الوقت بالطاقة، فقد كان متوسط حرارة الأرض أقل كثيراً مما هي عليه الآن. ينصب اهتمامنا بالتحديد على بضعة آلاف أو مئات السنين الأخيرة أي قبل تسجيل الحرارة في نقاط شتى تغطي مساحة سطح الأرض مثلما هي عليه الآن؛ لاختبار فرضية أنّ الاحترار العالمي ما زال يحدث، ما يمكّن الباحث أو المستقصي من اختبار مواد أرضيّة من عمر ما قبل التاريخ قد توفّر مؤشّرات عن حرارة الأرض. وقد يشتمل هذا الفحص

obeikan.com

على دراسة الثلج الجليدي أو رسوبيات من قيعان المحيطات أو البحيرات؛ وذلك لتقدير مستويات ثاني أكسيد الكربون في الجو. إذا تمّ إكمال هذه الدراسات بشكل صحيح، فيمكنها أن توفّر استنتاجات تمكّننا من قبول فرضية حدوث الاحترار العالمي أو رفضها.

تؤكد مناقشتنا عن ماهية العلم أنّ العلم هو عملية أو طريقة، أي إنّه طريقة معرفة، تتكوّن من مجموعة حديثة من المعتقدات، وتعتمد على تطبيق الطريقة العلمية والتفكير الناقد، وليس العلم هو الطريقة الوحيدة التي يمكن عن طريقها تأسيس مجموعة من المعتقدات، فبعض المعتقدات تعتمد على الإيمان، لكن هذه على الرغم من صحتها، فيجب ألّا تخلط بالعلم، فقد استنتج الفيلسوف الروماني المشهور سيسيرو ذات مرة أنّ العناية الإلهية أو كما نسميها الآن التصميم الذكي كان مسؤولًا عن تنظيم الطبيعة والتوافق الذي حافظ على البيئة من أجل الناس جميعهم. مع ظهور العلم الحديث وتطور طريقته برزت تفسيرات جديدة اشتملت على شروح علماء الحياة للتطور البيولوجي، وفهم الفيزيائيين للفراغ والزمن، وبيّن الجيولوجيون أنّ القارات والمحيطات تتكوّن من حركة الصفائح التكتونية.

ما التفكير الناقد؟ What is Critical Thinking?

عندما نتحدث عن عملية التفكير الناقد في العلوم فمن الطبيعي تطبيق معايير فكرية على عملية تفكيرنا. يبيّن الجدول (1–4) قائمة مختارة من معايير التفكير. المعيار الأول هو الوضوح. إذا كان ما تقول، وتكتب غير واضح، فإما ألّا تُفهم أو يساء تفسير أفكارك. فالإدلاء بحجتك ضمن إطار زمني صحيح مهم جداً بالتحديد في التعبيرات الجيولوجية عن موضوعات مثل تكرار الأخطار الطبيعية، أو تطور الطاقة والموارد الأخرى واستدامتها، التي تنتظم أحيانًا ضمن أطر زمنية مختلفة عن الزمن الجيولوجي بآلاف أو بضع مئات آلاف السنين أو أطول من ذلك، أو فترة ما قبل التاريخ، التي تمتد بين بضعة آلاف إلى بضع مئات من السنين، إلى الفترة التاريخية عند بدء السجلات المكتوبة، وأخيرًا إلى الوقت الحاضر منذ بضعة قرون أو أقل. ما الافتراضات التي افترضتها؟ وهل هي منسجمة مع بعضها؟ هل تحققت من صحّة الحسابات التي استعملتها لتدعيم حجتك أو مقولتك؟ هل جمّعت المعطيات بنفسك، ومن ثم خلصت إلى الاستنتاجات؟ والنقطة الأخيرة مهمة جداً في البحث الذي تقوم به؛ ذلك لأنك إذا جمّعت المعطيات بنفسك ومن ثم خلصت إلى الاستنتاجات فسوف تكون مستعدًّا للدفاع عن حجّتك. أخيراً هل استعملت مصادر معلومات يمكن الاعتماد عليها، ووضعت مصادر هذه المعلومات بشكل صحيح؟ إنّ تطبيق معايير التفكير على أي مشكلة أو نقاش علمي سوف يؤدي إلى تحسين مهارات التفكير عندك.

الثقافة والوعي البيئي
Culture and Environmental Awareness

يشتمل الوعي البيئي على جوانب حياتنا كلها التي نقلناها من جيل إلى جيل، ولكشف جذور حاضرنا الحالي علينا النظر إلى الماضي؛ لنرى كيف أنّ ثقافتنا ومؤسساتنا السياسية والاقتصادية والأخلاقية والجمالية تؤثر في طريقة إدراكنا للبيئة الطبيعية من حولنا.

إن الأسلوب الأخلاقي في المحافظة على البيئة هو الحلقة الأحدث في التاريخ الطويل لتطور النظام الأخلاقي للبشر، وقد أدّى التغير في مفهوم حقوق الملكية إلى تحول في تطورنا الأخلاقي، ففي العصور القديمة عومل البشر بوصفهم ممتلكات لسادتهم الذين لهم الحق المطلق في تدبير شؤونهم حسبما يرغبون. لا شك أنه كان لدى المجتمعات التي تحتفظ

الجدول 1–4: معايير فكرية مختارة

■ الوضوح: إذا كانت العبارة غير واضحة، فلا يمكنك الحكم عليها فيما إذا كانت دقيقة أو وثيقة الصلة بالموضوع، وربما يساء فهمك، وتهمل حجتك.
■ الافتراضات: ما الافتراضات التي تفترضها؟
■ الدقة: هل العبارة صحيحة؟ هل يمكن التحقق من صحّتها؟ ما مدى توافق القياس مع قيمة مقبولة؟
■ الضبط: تشير إلى درجة الدقة عند قياس شيء ما. هل يمكن للعبارة أو القياس أن يكون أكثر تحديداً أو تفصيلاً أو دقة؟
■ الصلة: هل العبارة ذات صلة وثيقة بالمشكلة التي نتعامل معها؟
■ العمق: هل فكرت بشكل صحيح في تعقيدات السؤال؟
■ العرض أو السعة: هل قيّمت وجهات النظر الأخرى أو نظرت إليها من زاوية مختلفة؟
■ المنطقية: هل الاستنتاج معقول، ويعتمد على الدليل بشكل منطقي أو يتفرع عنه؟
■ الأهمية: هل المشكلة مهمة؟ لماذا هي مهمة أو ليست مهمة؟
■ التوقيت: هل عرضت مقولتك أو حجتك ضمن إطار زمني مناسب؟
■ الحسابات: هل تأكّدت من صحّة الحسابات الرياضية؟
■ المراجع: هل رجعت إلى مصادر موثوقة يمكن الاعتماد عليها؟
■ الاستنتاجات: هل جمّعت المعطيات بنفسك، ومن ثم خلصت إلى الاستنتاجات؟
■ النزاهة: هل هناك مصالح شخصية في قولك أو حجتك؟ وهل أخذت وجهات النظر الأخرى في الحسبان؟
معدلة من *Paul, R. and L. Elder. 2003*. التفكير الناقد. ديللون بيتش، كاليفورنيا: أسس التفكير الناقد.

Pearson Education

بالعبيد مدوّنات من السلوك الاخلاقي، لكنها لا تحتوي على فكرة أنّ البشر يجب ألّا يكونوا ممتلكات. وإلى عهد قريب كذلك، تساءل القليل من الناس في العالم الصناعي عن حق ملاك الأراضي أن يفعلوا ما يشاؤون في أراضيهم. فقط خلال القرن الحالي بدأت العلاقة بين الحضارة وبيئتها الفيزيائية في الظهور بوصفها علاقة تنطوي على اعتبارات أخلاقية.

تشتمل الأخلاقيات البيئية على قيود لحرية الأفعال التي يمارسها الفرد أو المجتمع في الصراع من أجل البقاء في بيئتنا المنهكة. يفترض خلق الأرض أننا مسؤولون ليس لأفراد آخرين أو للمجتمع فحسب بل للبيئة ككل، أي المجتمع الأكبر الذي يتكون من النباتات والحيوانات والتربة والصخور والغلاف الجوي والماء. بحسب هذا الخلق، فإننا مواطنو الأرض وحماتها ولسنا محتليها، ويتطلب منا هذا التغير في الدور توقير أرضنا وحبها وحمايتها، وألّا نسمح للاقتصاد أن يقرر كيفية استعمال أراضينا. إنّ إنشاء المتنزهات الوطنية والغابات مثال على إجراءات الحماية المعتمدة على خلق الأرض. متنزه يلوستون الوطني في كل من ويومنج ومونتانا كان أول متنزه وطني في الولايات المتحدة الأمريكية أنشئ في مارس من عام 1872م. وقد أدّى إلى إنشاء متنزهات وطنية أخرى ونصب تذكارية وغابات؛ للحفاظ على بعض من الموارد الجمالية الأعلى تقديراً في أمريكا. الأشجار والنباتات والحيوانات والصخور تُحمى داخل حدود المحمية أو الغابة. وإضافة إلى ذلك تجري الأنهار حرة ونظيفة، ولا تلوّث أو صيد جائر للأسماك في البحيرات، ويتم حماية الموارد المعدنية كذلك. ويسمح لنا الخلق الذي أدّى إلى حماية مثل هذه الأراضي بمزية التمتع بهذه المناطق الطبيعية، ويضمن حصول الأجيال المقبلة على الفرصة نفسها. سنغير التركيز الآن لنناقش، لِماذا يتصف حل المشكلات البيئية بالصعوبة؟ وسنقدّم سياسة بيئية جديدة تعرف باسم مبدأ الوقاية.

ما السبب في صعوبة حلّ المشكلات البيئية؟

Why Is Solving Environmental Problems So Difficult?

إنّ كثيرًا من المشكلات البيئية معقد ومتعدد الأوجه، وقد ينطوي على قضايا مرتبطة بالعمليات الفيزيائية والبيولوجية والإنسانية. بعض المشكلات مشحون بمواقف عاطفية، والحلول المحتملة تناقش بقوة.

هناك أربعة أسباب تبيّن صعوبة حلّ المشكلات البيئية:

- وجود نمو توافقي أحياناً يعني أنّ كمّية التغيير قد تحدث بسرعة، سواء كنا نتحدث عن زيادة أو نقصان.
- هناك فترة من الوقت (زمن تأخير) أحياناً بين حدوث تغير، ومعرفة أنّ هذا التغير يمثّل مشكلة. إذا كان زمن التأخير طويلًا، فقد يكون صعبًا جدًّا، حتى تعرّف مشكلة معينة.
- قد تنطوي المشكلة البيئية على احتمالية وجود تغير غير منعكس. إذا انقرض صنف معين فيكون قد ذهب أو اختفى إلى الأبد.
- يكون لمبدأ الوحدة البيئية تأثير في أغلب الأحيان. وقد يصعب تحديد سلسلة الأحداث عند حلّ المشكلة البيئية.

ما زالت السياسات البيئية المرتبطة باقتصاديات البيئة في مهدها، أي إنّ استخدام إطار السياسة لحلّ المشكلات البيئية حلبة جديدة، نحن نقوم بتطوير سياسات مثل مبدأ الوقاية، ونحاول إيجاد طرق لتقييم اقتصاديات الربح والخسارة الناتجة عن تغير البيئة. على سبيل المثال، كيف تدفع دولاراً لتحسين جماليات العيش في بيئة رفيعة، ولعل ما تخرج به التحاليل أحياناً يمثّل تمريناً في توضيح القيم. يستطيع العلم أن يقدّم عدداً من الحلول المحتملة للمشكلات المختلفة، لكن، أيّ هذه الحلول نختار؟ فذلك يعتمد على قيمنا السائدة.

مبدأ الوقاية Precautionary Principle

ماذا يعني مبدأ الوقاية؟

What Is the Precautionary Principle?

للعلم دور في محاولة فهم العمليات الفيزيائية والبيولوجية المرتبطة بالمشكلات البيئية المتعددة مثل الاحترار العالمي، والتعرض للمواد الخطرة، واستنزاف الموارد. إلّا أنّ هذا العلم أوّلي، ومن الصعب إثبات العلاقات بين العمليات الفيزيائية والبيولوجية وربطها مع العمليات البشرية، ولهذا السبب دعّمت قمة الأرض للتنمية المستدامة في جانيرو عام 1992م جزئيًّا مبدأ الوقاية. الفكرة التي يرتكز عليها هذا القانون هي أنه عند وجود مشكلة بيئية محتملة، فالمصداقية العلمية غير مطلوبة من أجل تطبيق مبدأ الوقاية، أي أن تكون واثقًا خير من أن تصبح نادمًا. وهكذا يسهم مبدأ الوقاية في التفكير الناقد على صعد بيئية مختلفة، مثل إنتاج السمّيات الكيماوية واستخدامها أو حرق كميات هائلة من الفحم، عندما يصبح النفط نادرًا. ويُعدّ مبدأ الوقاية أحد أهمّ الأفكار تأثيرًا للحصول على إطار لسياسة عادلة عند التصدي لحل المشكلات البيئية.

يعترف مبدأ الوقاية بأنّ الإثبات العلمي غير ممكن في معظم الأحيان، وأنّ هناك حاجة لممارسات إدارية للتقليل من المشكلات البيئية التي يعتقد أنّها ناتجة عن أنشطة الإنسان أو القضاء عليها، وبمعنى آخر، على الرغم من حقيقة عدم توافر تأكيدات علمية بشكل كامل، إلا أنه يجب علينا القيام بنشاط مجدٍ اقتصاديًّا لحلّ المشكلات البيئية.

احتمال صعوبة تطبيق مبدأ الوقاية

The Precautionary Principle May Be Difficult to Apply

إحدى الصعوبات في تطبيق مبدأ الوقاية، هي القرار المعني بمقدار الدليل العلمي، الذي نحتاج إليه قبل المباشرة باتخاذ إجراءٍ بالنسبة إلى مشكلة بيئية، فهذا سؤال مهم قد ينطوي على التناقض أحياناً، فأي قضية تؤخذ في الحسبان يجب أن يتوافر عنها معلومات مبدئية وبعض الاستنتاجات، إلا أنّها تنتظر معطيات أكثر وتحليلًا علميًّا أشمل. على سبيل المثال، عند التفكير في القضايا البيئية الصحية المرتبطة بحرق الفحم قد تتوافر معطيات علمية كثيرة عن تلوث الهواء والماء والأرض، ولكن توجد هناك بعض الثغرات أو التناقض أو الشكّ في بعض هذه المعطيات، وقد يجادل الذين يؤيدون الاستمرار أو الزيادة في استعمال الفحم أنّه لا يوجد دليل كافٍ يقتضي تقييد استعماله، وقد يجادل آخرون بوجوب توافر دليل علمي حاسم من حيث الأمان قبل السماح بزيادة كميات الفحم المسموح بإحراقها. فعند تطبيق مبدأ الوقاية على هذه الحالة؛ يجب ألّا يكون عدم توافر معلومات كاملة وموثوقة عن استعمال الفحم سببًا في عدم اتخاذ أو تأجيل اتخاذ إجراءات فعّالة

من الناحية الاقتصادية للتقليل من التدهور البيئي أو المشكلات الصحية أو منعها. يقودنا هذا إلى طرح سؤال عن مقوّمات الإجراء الفعّال اقتصاديّاً؟ أهو تحديد فوائد إحراق كميات أكبر من الفحم وتحديد تكاليفه مقارنة بتكاليف إحراق كميات أقلّ؟ أم هل يجب معالجة الفحم أكثر للحصول على وقود أنظف؟ وقد يكون من المناسب إجراء تحليلات اقتصادية أخرى.

وسيثور جدل حول ماهية المعرفة العلمية الكافية لاتخاذ قرار، وقد يكون من الصعب تطبيق مبدأ الوقاية إلّا أنه أصبح جزءًا من عملية سياسة التحليل البيئي عند تطبيقها على حماية البيئة وقضايا الصحة البيئية. طبّق الاتحاد الأوروبيّ هذا المبدأ منذ أكثر من عقد من الزمان وعام 2003م أصبحت مدينة ومقاطعة سان فرانسيسكو أول حكومة في الولايات المتحدة تجعل مبدأ الوقاية الأساس في السياسة البيئية.

يتطلب منا تطبيق مبدأ الوقاية استعمال مبدأ الوحدة البيئية والتنبؤ بالعواقب المحتملة للأنشطة قبل حدوثها. ومن ثم، فإنّ مبدأ الوقاية له القدرة على أن يصبح أداة تنبؤ، وليس استجابة في التقليل من التدهور البيئي الناتج عن أنشطة الإنسان أو القضاء عليه. وينقل هذا المبدأ عبء دليل عدم الأذى من الشعب إلى كاهل هؤلاء الذين يقترحون اتخاذ إجراء معين. وقد يقف الذين يطوّرون مواد كيماوية أو خططاً جديدة أحياناً ضد مبدأ الوقاية. ويجادل المعارضون أحياناً بأنّ تطبيق هذا المبدأ مكلف اقتصاديًّا، ويؤدي إلى إعاقة التقدّم. ويبدو أنّه من غير المحتمل أنّ هذا المبدأ سيطبّق على المشكلات البيئية كلّها المحتملة في الولايات المتحدة في وقت قريب. ومع ذلك يحتمل أن يُطبّق أكثر في المستقبل. وعندما يُطبّق مبدأ الوقاية، فيجب أن يكون ذلك ضمن سياق جدل موضوعي بين من لديهم المعلومات والمتضررين من تطبيقه. ويجب أن يؤخذ في الحسبان المدى الكامل للأنشطة أو الإجراءات البديلة بما فيها عدم فعل أي شيء.

العلم والقيم Science and Values

نحن من مخلوقات عصر البلايستوسين

We Are Creatures of the Pleistocene

مما لاشك فيه أنّنا جنس ناجح جدّاً، عشنا إلى الآن في توافق مع كوكبنا ومع الأشكال الأخرى من الحياة مدة تزيد على 100000 سنة، رأينا في أنفسنا أنّنا أناس عصريون، وبالتأكيد فقد نما استيعابنا للعلوم والتكنولوجيا بسرعة كبيرة في بضع مئات السنين الأخيرة، إلّا أنّنا لا نستطيع أن ننسى أنّ جذور جنسنا تعود إلى البلايستوسين. وفي الحقيقة، فإنه لا يحتمل أن تختلف أهمّ معتقداتنا وقيمنا كثيراً عن معتقدات وقيم أسلافنا الذين عاشوا في مجتمعات صغيرة منتقلين من مكان إلى آخر ليصيدوا ويجمعوا ما يحتاجون إليه، وقد يبدو لأول وهلة أنّ هذا القول لا يمكن تخيله أو استيعابه ولا تدعيمه إذا أخذنا في الحسبان الاختلافات بين طريقة معيشتنا الحالية ومعيشة أسلافنا في البلايستوسين. وقد كان هناك جدل حول دراسة أسلافنا الذين نتشارك معهم بمعلومات وراثية متطابقة تقريبًا، ذلك قد يساعدنا على فهم أنفسنا بشكل أفضل. ويمكننا تعرّف أي جزء لا بأس به من طبيعتنا البشرية أو حقيقة إنسانيّتنا من خلال حياة الصيادين الأوائل التي قد تشرح بعض أنماط سلوكنا الحالي تجاه عالمنا الطبيعي. فإننا نشعر براحة أكثر للأصوات والروائح الطبيعية، مثل الصوت الناتج عن حركة الطرائد على الأعشاب أو رائحة الفواكه الطازجة مقارنة مع الضجيج الشديد الصادر عن أبواق السيارات والحفارات ورائحة الهواء الملوّث في المدن، ويستمتع الكثير منا بالجلوس حول النار في الهواء الطلق يسردون الحكايات حول الدببة والأفاعي الجرسية في أثناء القيام بالشوي أو التحميص على النار. وقد نستمتع بإشعال النار في البرية على الرغم من سناجها الذي قد يؤذي أعيننا؛ وذلك لأن أسلافنا عرفوا أن النار تحميهم من الحيوانات المفترسة، مثل الدببة والذئاب والأسود. وإذا أردت أن يكون الحديث ممتعًا حول موقد النار في البرية فابدأ بسرد الحكايات عن الدببة الرمادية. نعتقد أنّ حبّ النساء لحقائب اليد والظهر، وما يجدن من راحة فيها يعود جزئيًّا إلى أنّ غريزة الجمع أو الالتقاط ما زالت موجودة فينا، أمّا صيد الحيوانات والأسماك فهي أنشطة للرجال على الأغلب.

وقد يعاني الأطفال والناس الذين لا ينسجمون مع الطبيعة الكآبة والشعور بإهمال الغير لهم، ومن المؤكد شعور الناس الذين يقومون بممارسة تمارينهم الرياضية في الأمكنة الطبيعية، مثل الغابة أو الجداول والبحيرات أو في الجبال أو الصحارى أو على شاطئ البحر أو في الحدائق العامة باسترخاء أكثر وقلق أو غضب أقلّ من الذين يمارسونها في الداخل، وقد لوحظ في المستشفيات أنّ الشفاء يكون أسرع، والمكوث فيها أقصر إذا كانت غرفها مطلة على مناظر طبيعية جميلة، كذلك لوحظ أنّ الأطفال الذين يتعرضون للبيئة بانتظام (مثل الحدائق العامة أو حتى المناطق ذات الأشجار القليلة) يكونون أكثر ثقة بأنفسهم وأقلّ قلقاً ومتفوقين في العلوم وإيجابيين أكثر سواءً في اللعب أو العمل.

تعتمد الحلول التي نختار لحل مشكلاتنا البيئية على كيفية تقييمنا للناس والبيئة. على سبيل المثال إذا أدركنا أنّ الانفجار السكاني مشكلة، فإنّ القرارت النابعة من الضمير لتقليل سرعة ازدياد عدد السكان تعبر عن قيمة لا نملك أن نختار بوصفنا مجتمعًا المصادقة عليها وتنفيذها على أرض الواقع. مثال آخر إذا أخذنا في الحسبان فيضان الجداول الصغيرة في المناطق الحضرية، والفيضان خطر يتهدد كثيرًا من المجتمعات البشرية. وقد تُوصلنا دراسات الأنهار وعملياتها الطبيعية إلى عدد من الحلول المحتملة لخطر الفيضان في منطقة معينة. قد نختار أن نحصر الجدول في صندوق خرساني وهو علاج يقلل بشكل كبير احتمال أخطار الفيضانات. بدلاً من ذلك، قد نختار في مناطقنا الحضرية المحافظة على الجداول وسهولها الفيضية (وهي الأراضي المستوية المجاورة للنهر التي تتعرض للفيضان، بشكل متكرر) بوصفها أحزمة خضراء. سيقلل هذا الخيار الخراب الناجم عن الفيضان وفي الوقت نفسه يوفر بيئة لكثير من الحيوانات (مثل الراكونات والثعالب والقنادس وفئران المسك) التي تستعمل بيئة الجدول النهري، وكذلك الطيور المحلية والمهاجرة التي تبني أعشاشها، وتتغذى، وتستريح قرب النهر إضافة إلى كثير من الأسماك التي تعيش في النظام النهري. إننا نشعر براحة أكبر عندما نتفاعل بوصفنا بشراً مع النهر، وهذا هو السبب في الشعبية الكبيرة للحدائق أو الغابات على الأنهار.

توفر البيئة الشاطئية، حيث يتصارع الساحل مع بيئات الحت المرافقة له مثالاً آخر للعلاقة بين العلم والقيم، وقد تشتمل حلول مشكلات الحت الشاطئ على حماية الشاطئ، وما يشمل من تنمية حضرية بأي ثمن، وذلك ببناء منشآت قوية مثل حواجز الأمواج؛ ويخبرنا العلم بأنّ عواقب هذه المنشآت تشتمل عادة على تقليل البيئة الشاطئية أو فقدانها مقابل المحافظة على المنشآت المدنية هناك، ويخبرنا العلم كذلك، بأنّ استعمال ارتدادات جدارية مناسبة يوفر منطقة حاجزة أو عازلة للحت مع الإبقاء على بيئة ساحلية أفضل يشتمل على مظاهر مثل الشواطئ والجروف البحرية

المحاذية لها أو خطوط الكثبان الرملية. ويعتمد الحل الذي نختاره على كيفية تقييمنا للبيئة الساحلية، فإذا كانت التنمية عندنا أهمّ من البيئة الساحلية، فإنّنا سندفع أيّ ثمن من أجل المحافظة على المنشآت التي نقوم ببنائها على الساحل، أمّا إذا كان الحفاظ على البيئة الساحلية أهمّ بالنسبة إلينا فقد نختار حلولاً أكثر مرونة تسمح بحدوث الحت طبيعيّاً ضمن منطقة حاجزة أو عازلة تقع بين الساحل والمنشآت الشاطئية.

يحتمل تزايد عدد سكان الأرض إلى 9 بلايين نسمة بحلول عام 2050م، وهذا الرقم أكثر بـ 3 بلايين نسمة من عدد سكان الأرض الحالي. لذلك يبدو أنّه خلال الـ 50 سنة القادمة يجب اتخاذ قرارات حاسمة حول مواجهة الزيادة في عدد السكان، وما يرافقها من متطلبات متزايدة على الموارد المختلفة بما فيها الماء واليابسة والمعادن والهواء. إنّ الخيارات التي نتبناها تعكس حتمًا قيمنا أو ما هو مهم بالنسبة إلينا.

SUMMARY ملخّص

تتمحور الأسباب الحالية للمشكلة البيئية حول الاكتظاظ السكاني، والتحضّر، والتصنيع، وقد حدثت كلّها بسبب غياب الاحترام أو الاهتمام الأخلاقيّ بأرضنا، وعدم قدرة المؤسسات القائمة العاجزة أن ترقى إلى مواجهة الخطر البيئي. إنّ حلّ المشكلات البيئية يشتمل على أمرين، هما: الفهم العلمي وتعزيز السلوك الاجتماعي والاقتصادي والأخلاقيّ، ما يسمح بتنفيذ الحلول المقترحة على أرض الواقع، وبخلاف ذلك فإنه يصعب حلّ المشكلات البيئية المعقّدة، وذلك لاحتمالية نموها الأسي (السريع)، أي أوقات التأخير بين السبب والنتيجة، والعواقب التي لا يمكن معالجتها. لقد ظهر حديثاً مبدأ الوقاية أو الاحتراز بوصفه أداة سياسية جديدة تعتمد على فكرة أنّه عند وجود مشكلة بيئية معقّدة، فليست هناك حاجة لليقين العلمي لاتخاذ إجراءٍ احترازي والوصول إلى حلٍّ مجدٍ اقتصاديًّا. بعض المشكلات البيئية خطرة جدًّا، وينبغي التعامل معها بحذر، وينطبق عليها القول المشهور: «لأن تكون واثقًا خير من أن تصبح نادماً»

تؤسس خمسة مفاهيم رئيسة لإطار فلسفي في تحرياتنا في الجيولوجيا البيئية:

1. عدد سكان العالم المتسارع في الزيادة هو المشكلة البيئية الرئيسة.
2. الاستدامة هي الحلّ الأفضل لكثير من المشكلات البيئية.
3. إنّ فهم الأنظمة الأرضية وسرعة التغير فيها ضروري لحلّ المسائل البيئية.
4. العمليات الأرضية التي تشكل خطراً على حياة الناس كانت موجودة دائماً، ويجب التعرف إلى الأخطار الطبيعية وتجنبها، حيثما كان ذلك ممكناً، والتقليل من أثرها في حياة الناس والممتلكات إلى الحد الأدنى.
5. ينجم عن نتائج التحقيقات العلمية لحلّ مشكلة بيئية معينة أحياناً سلسلة من الحلول المحتملة تنسجم مع النتائج العلمية، والحلّ الذي نختاره يعكس نظام القيم عندنا.

REFERENCES المراجع

1. **Diamond, J.** 2005. *Collapse*. London: Penguin Books.
2. **Hunt, T. L.** 2006. Rethinking the fall of Easter Island. *American Scientist* 94(5):412–19.
3. **Cloud, P.** 1978. *Cosmos, Earth, and Man*. New Haven, CT: Yale University Press.
4. **Ermann, M.** 1927. *Desiderata*. Terre Haute, IN.
5. **Davidson, J. P., Reed, W. E., and Davis, P. M.** 1997. *Exploring Earth*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
6. **Population Reference Bureau.** 2000. World Population Data Sheet. Washington, DC.
7. **Brown, L. R., Flavin, C., and Postel, S.** 1991. *Saving the Planet*. New York: W. W. Norton & Co.
8. **Smil, V.** 1999. How many billions to go? *Nature* 410:429.
9. **Hooke, LeB.** 1994. On the efficiency of humans as geomorphic agents. *GSA Today* 4(9):217, 224–25.
10. **Moncrief, L. W.** 1970. The cultural basis for our environmental crisis. *Science* 170:508–12.
11. **Ellis, W. S.** 1990. A Soviet sea lies dying. *National Geographic* 177(2):73–92.
12. **National Research Council.** 1971. *The Earth and Human Affairs*. San Francisco: Canfield Press.
13. **Lovelock, J.** 1988. *The Ages of Gaia*. New York: W. W. Norton & Co.
14. **Earth Systems Science Committee.** 1988. *Earth Systems Science*. Washington, DC: National Aeronautics and Space Administration.
15. **Leopold, A.** 1949. *A Sand County Almanac*. New York: Oxford University Press.
16. **Foster, K. R., Vecchia, P., and Repacholi, M. H.** 2000. Science and the precautionary principle. *Science* 5(288):979–81.
17. **Easton, T. A., and Goldfarb, T. D.,** eds. 2003. Is the precautionary principle a sound basis for international policy? *Taking Sides, Environmental Issues.* 10th ed. Issue 5. Guilford, CT: McGraw-Hill/Dushkin. 75–101.
18. **Shepard, P.** 1998. *Coming Home to the Pleistocene*. Washington, DC: Island Press.
19. **Louv, R.** 2005. *Last Child in the Woods*. Chapel Hill, NC: Algonquin Books of Chapel Hill.

obeikandl.com

المصطلحات المفتاحية KEY TERMS

معدل وقت المكوث، (average residence time)، (ص 14)
قدرة الحمل، (carrying capacity)، (ص 12)
التفكير الناقد، (critical thinking)، (ص 23)
مضاعفة الوقت، (doubling time)، (ص 10)
علم أنظمة الأرض، (Earth systems science)، (ص 17)
الأزمة البيئية، (environmental crisis)، (ص 14)
الجيولوجيا البيئية، (environmental geology)، (ص 7)
الوحدة البيئية، (environmental unity)، (ص 17)
النمو الأسي، (exponential growth)، (ص 9)
فرضية جيا، (Gaia hypothesis)، (ص 18)
الزمن الجيولوجي، (geologic time)، (ص 4)
الجيولوجيا، (geology)، (ص 7)
سرعة النمو، (growth rate)، (ص 10)
فرضية، (hypothesis)، (ص 19)
تحليل المدخلات والمخرجات، (input-output analysis)، (ص 14)
معايير الذكاء، (intellectual standards)، (ص 23)
أخلاقيّات الأرض، (land ethic)، (ص 24)
قانون التجمّعات الحيوانية، (law of faunal assemblages)، (ص 7)
مبدأ الوقاية، (precautionary principle)، (ص 24)
الطريقة العلمية، (scientific method)، (ص 19)
الديمومة، (sustainability)، (ص 13)
نظام، (system)، (ص 14)
نظرية، (theory)، (ص 19)
نسقية، (uniformitarianism)، (ص 16)

بعض الأسئلة للتفكير SOME QUESTIONS TO THINK ABOUT

1. افترض أنّ هناك أزمة بيئية اليوم، ما الحلول المتاحة للتقليل من هذه الأزمة؟ كيف ستختلف الحلول بين الدول النامية والدول الصناعية؟ هل للدين أو الأنظمة السياسية تأثير في اختيار الحلول الممكنة؟ إذا كان الأمر كذلك، فكيف؟
2. هناك جدل فيما إذا كان يجب علينا السيطرة على نمو عدد سكان الأرض من البشر، وإلّا فإنّنا لن نستطيع تأمين الطعام للبعض. افترض أنّنا نستطيع تأمين الغذاء لـ10–15 بليوناً من البشر على الأرض، هل نرغب عندها في الحصول على عدد سكان أقلّ؟ ولماذا؟
3. قلنا: إنّ الديمومة هي هدفنا البيئي. أنشئ جدلاً لتدعيم هذه المقولة. هل أنّ فكرتي الديمومة وبناء مجتمع دائم مختلفة في الدول النامية الفقيرة والدول الغنية ذات مستويات المعيشة المرتفعة؟ كيف تختلف؟ ولماذا؟
4. مفهوم الوحدة البيئية مهم هذه الأيّام. تفكّر في بعض مشروعات التنمية الرئيسة المخطط لإحداثها في منطقتك، ولخّص كيف أنّ مبدأ الوحدة البيئية يمكن أن يساعد على تحديد الآثار البيئية الرئيسة المحتملة للمشروع. بمعنى آخر، فكّر في مشروع تنموي، ومن ثم في مجموعة من العواقب الناتجة عنه. بعضها إيجابي، والآخر سلبي بحسب رأيك.
5. هل تصدق أنّ لدينا اتصالًا حقيقيًّا مع أسلافنا في البلايستوسين؟ وهل يمكن لذلك الاتصال أن يشرح حبّنا البريء والطفولي للحيوانات الصغيرة، أو سرد القصص، ونحن مجتمعون حول النار في البرية؟ هل تاريخ الجنس البشري الطويل في الصيد والتجميع، وهي الفترة التي حصل فيها تطورنا الجيني منعكس في قيمنا؟
6. هل نظرية جيا صحيحة من الناحية العلمية؟ كيف تختبر الأجزاء الرئيسة فيها؟ أي الأجزاء الأصعب من حيث إمكانيّة إثباته؟ ولماذا؟
7. دافع أو انتقد فكرة أنّ عدد سكان الأرض من البشر هو المشكلة البيئية، وأنّ الاستدامة هي الحلّ.
8. هل تعتقد أنّه ينبغي تطبيق مبدأ الوقاية على مشكلة التحكم في نمو عدد سكان الأرض؟ إن كنت تعتقد ذلك، فكيف يمكن تطبيق هذا المبدأ؟

obeikandl.com

الفصل الثالث

التربة والبيئة Soils and Environment

صورة لحتّ التربة في حقل من القمح في ولاية شرق واشنطن (*USDA, photograph by Jack Dykinga*)

يُعدُّ انجراف التربة (soil erosion) مشكلة بيئيّة مهمّة على مستوى العالم كلّه، والسؤال الأكثر أهمّية هو: هل تستطيع الأنظمة الزراعية التي نعتمد عليها في تغذية الأعداد المتزايدة من سكان الأرض المحافظة على خصوبة التربة وتحسينها، وفي الوقت نفسه تقلل من حتّها[1]؟، يبدو أنّ كثيرًا من ممارساتنا الزراعية تؤدّي إلى تعدين التربة (mining of soil)، أي إنّ درجة حتّ التربة أسرع من إنتاجها بالطرق المختلفة، وفي النهاية يمكن أن يؤدّي فقدان التربة الزراعية إلى القضاء على أساس حضارتنا الإنسانية؛ لأنّ لحتّ التربة تأثيرات متعددة تشمل فقدان موارد التربة الزراعية، وتدهور نوعية الماء نتيجة الترسيب، إنّ حتّ التربة مشكلة في البيئات التي تتحوّل إلى حضرية والتي تُزال تربتها قبل المباشرة بأعمال التنمية فيها، وعلى الرغم من توافر كثير من الإجراءات الوقائية لتقليل حتّ التربة في مناطق التطوير الحضري، فإنّ المشكلة تظل قائمة في أجزاء عدة من الولايات المتّحدة، وهي أكثر حدّة في المناطق الأخرى من العالم، حيث حماية موارد التربة (protection of soil resources) ليست من الأولويّات.

1-3 مقدمة في التربة
INTRODUCTION TO SOILS

يمكن تعريف **التربة** (**soil**) بطرق عدّة، فهي بالنسبة إلى علماء التربة مادّة أرضية صلبة، تغيّرت بعمليات فيزيائية وكيميائية وعضوية، وهي تسمح للجذور بالنمو فيها، أمّا بالنسبة إلى المهندسين، فالتربة أيّ مادّة أرضية صلبة، يمكن حفرها ونقلها دون اللجوء إلى تفجيرها، كلا التعريفين مهمّ في الجيولوجيا البيئية، وعلى الجيولوجيين أن يكونوا على إلمام بالتعريفات الأخرى للتربة، وكذلك وجهات نظر الباحثين المتباينة في الجوانب المختلفة المتعلقة بعمليّات تكوّن التربة ودورها في المشكلات البيئية.

أصبح أخذ التربة في الحسبان، وبالذات فيما يخصّ مشكلات استعمال الأراضي من المفاهيم المهمّة في العمل البيئي، فهي تساعد في ميادين عدّة، منها:

- في تخطيط استعمال الأراضي (*land-use planning*) تتحدّد قدرة الأرض (ملاءمتها لاستعمال معيّن) أحيانًا ولو جزئيًّا بأنواع التربة الموجودة، خاصّة لاستعمالات مثل الإعمار، وإدارة صناعة الأخشاب، والزراعة.

الأهداف التعلّمية LEARNING OBJECTIVES

تشكّل التربة جزءًا مهمًّا من بيئتنا، وفعليًّا جوانب البيئة الأرضية كلّها تتفاعل على مستوى أو آخر مع التربة، لذا فإنّ الأهداف الرئيسة لتعلّم هذا الفصل هي:

- فهم مصطلحات التربة والعمليّات المسؤولة عن تطوّر أنواع التربة المختلفة.
- معرفة المقصود بخصوبة التربة وتفاعلات الماء المتبادلة في عمليّات التربة.
- فهم كيفيّة تصنيف التربة، خصوصًا للأغراض الهندسية.
- معرفة الخصائص الهندسية المهمّة للتربة.
- فهم العلاقات المتبادلة بين استعمال الأرض وأنواع التربة المختلفة.
- معرفة المقصود بتلوّث الرسوبيّات، وكيف يمكن التقليل منه.
- القدرة على مناقشة مشكلة التصحّر، والعوامل التي تتحكّم فيها.
- إدراك كيفيّة الاستفادة من مسوحات التربة في تخطيط استعمال الأراضي.

- التربة من أهمّ العوامل في إدارة النفايات (*waste management*)؛ لأنّ التفاعلات المتبادلة بين الفضلات والماء، وبين الماء والتربة والصخر، تحدّد أحيانًا ملاءمة موقع معيّن لتخزين الفضلات.
- دراسة التربة تساعد مخططي استعمالات الأراضي على تقييم الأخطار الطبيعية (*natural hazards*)، كالفيضانات والانزلاقات الأرضية والزلازل، ففي حالة الفيضانات تختلف تربة السهول الفيضية عن تربة الأراضي المرتفعة؛ لذلك فإنّ أخذ خصائص التربة في الحسبان، يساعد على تحديد السهول الفيضية الطبيعية، وقد يعطي تقييم الأعمار النسبية للتربة الموجودة على رسوبيّات الانزلاقات الأرضية تقديرًا لعدد الانزلاقات، ما يساعد على التخطيط لتقليل آثارها الضارة، يضاف إلى ذلك، أنّ دراسة التربة أداة مهمّة في تحديد أعمار الموادّ الأرضية التي تشوّهت بالتصدع؛ ما يؤدّي إلى حسابات أفضل لتوقّع فترات تكرار الزلازل في مناطق معيّنة.

2-3 مقاطع التربة SOIL PROFILES

تطوّر التربة من موادّ عضوية وغير عضوية عملية معقّدة، إذ إنّ هناك تفاعلات متبادلة وثيقة بين الدورات الصخرية والهيدرولوجية، ينجم عنها موادّ من الصخور المجوّاة، التي تشكّل المكوّنات الرئيسة للتربة، **فالتجوية** (**weathering**) تحطّم فيزيائي وكيميائي للصخور، وهي أولى خطوات تكوّن التربة، إضافة إلى أنّ الكائنات التي تعيش في التربة الموضعية أو المنقولة تعدّل خصائص الصخر المجوّى، بالاعتماد على المكان والزمان الذي تحدث فيه، فقد تبقى الموادّ الأقلّ إذابة في مكانها، ثم يحدث تعديل على خصائصها يؤدّي إلى تكوين التربة الموضعية، مثل التربة الحمراء في منطقة السفوح (Piedmont) في جنوب شرق الولايات المتّحدة، وإذا انتقلت الموادّ المجوّاة بالماء والرياح أو الجليديات، ثمّ تعدّلت في مكانها الجديد، فإنّها تشكّل تربة منقولة، مثل التربة الخصبة المتكوّنة من الرسوبيّات الجليدية في وسط أمريكا الغربي.

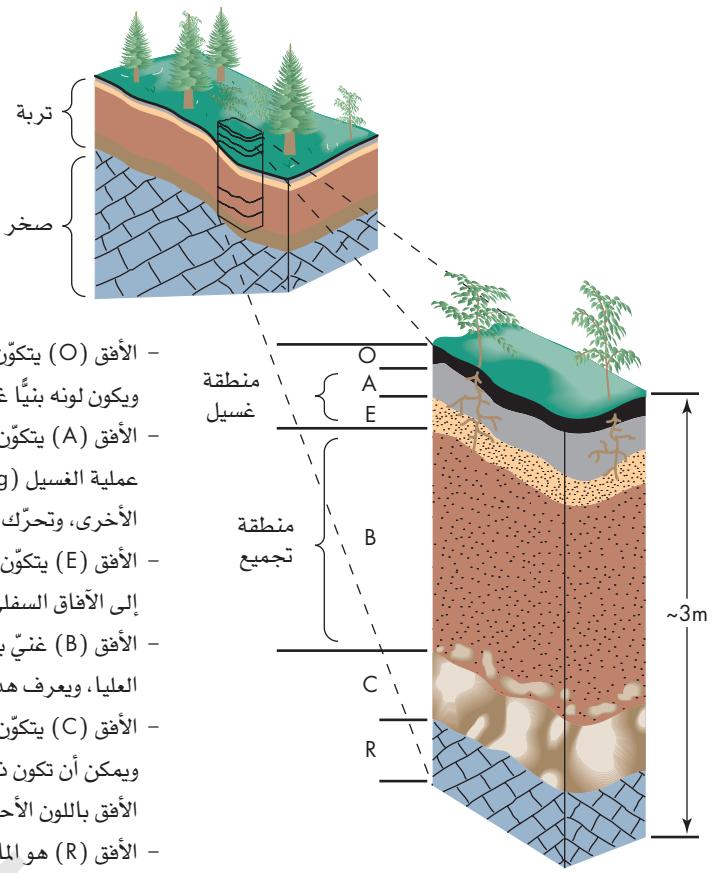
من الممكن أن تُعدّ التربة نظامًا مفتوحًا يتفاعل مع المكوّنات الأخرى للدورة الجيولوجية، إذ تعتمد ميزات تربة ما على المناخ والتضاريس والمادّة الأم (الصخور والرسوبيّات المكوّنة للتربة) والزمن (عمر التربة) والعمليّات العضوية (نشاط كائنات التربة)، فكثير من الاختلافات التي نراها في التربة ناتجة عن المناخ والتضاريس، لكن نوع الصخر الأمّ والعمليّات العضوية والوقت المتاح لتكوّن التربة هي عوامل مهمّة أيضًا.

طبقات التربة SOIL HORIZONS

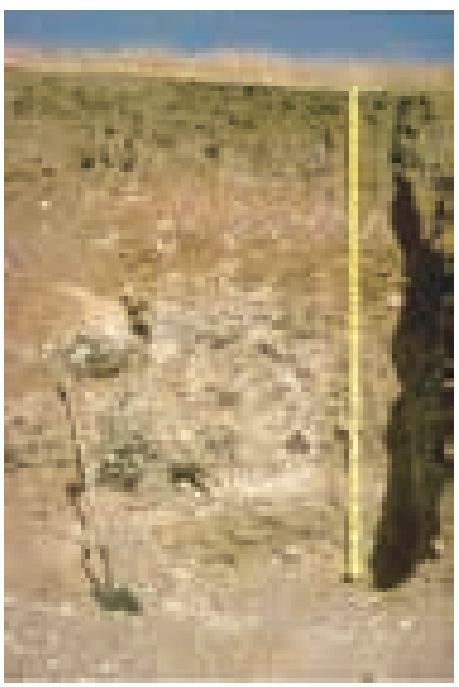
ينجم عن الحركات الرأسية والأفقية للموادّ في نظام التربة تطبّق واضح موازٍ للسطح يسمّى بروفيل (مقطع) التربة، وتسمّى الطبقات نطاقات التربة (zones) أو آفاقها (profiles). سنذكر في نقاشنا لآفاق التربة فقط آفاق التربة الأكثر شيوعًا، ويمكن الحصول على معلومات إضافية عن هذا الموضوع من الكتب المتخصّصة في التربة.

يبيّن الشكل (3-1أ) أنواع الآفاق الأكثر شيوعًا، ومنها الأفقان (***O***) و (***A***) التي تحتوي على موادّ عضوية مركّزة، إذ يعكس الاختلاف بين هذين الأفقين كمّية المادّة العضوية في كلّ منهما، فالأفق (*O*) يتكوّن من نثار النباتات وموادّ عضوية أخرى، بينما الأفق (*A*) الذي يقع تحته، فيحتوي على كمّية لا بأس بها من الموادّ العضوية والمعدنية، وتحتوي بعض أنواع التربة تحت الأفقين (*O*) أو (*A*) على الأفق (*E*) أو نطاق غسل التربة (*zone of leaching*)، وهي طبقة فاتحة اللون؛ لأنّ كمّية المادّة العضوية فيها أقلّ من تلك في الأفقين (*O*) و (*A*)، وكذلك الموادّ الملوّنة غير العضوية، مثل أكاسيد الحديد.

يقع **الأفق** (**B**) أو منطقة التجميع تحت الآفاق (*O*) و (*A*) و (*E*)، ويتكوّن من موادّ مختلفة انتقلت من الآفاق العليا إلى الأسفل، وقد تمّ تعرّف أنواع مختلفة من هذا الأفق، أهمّها الطيني (*argille B*) أو أفق (B_t)، وهو غني بالمعادن الطينية التي انتقلت إلى الأسفل بعمليات تكوّن التربة، والنوع الآخر من تربة الأفق (*B*) هو (B_k)، الذي يهتم به جيولوجيو البيئة، ويتميز بتراكم كربونات الكالسيوم التي تغلّفها حبيبات التربة المختلفة، وفيها بعض



(أ)



(ب)

الشكل (3-1) مقاطع في التربة. (أ) شكل نموذجي يبيّن مقطع تربة مع آفاقها. (ب)–مقطع تربة يبيّن الأفق الأسود (A)، والأفق الأحمر الفاتح (B)، والأفق الأبيض الغني بكربونات الكالسيوم (K)، والأفق الفاتح اللون (*C*).

(Edward A. Keller)

- الأفق (O) يتكوّن في أغلبيّته من الموادّ العضوية بما فيها الأوراق والأغصان الصغيرة المتحللة، ويكون لونه بنيًّا غامقًا أو أسود أحيانًا.
- الأفق (A) يتكوّن من موادّ معدنية وعضوية، واللون أحيانًا بنيّ غامق إلى أسود، وتحدث فيه عملية الغسيل (Leaching) والإذابة وتصريف الموادّ الأرضية بارتشاح المياه الجوفية والسوائل الأخرى، وتحرّك الطين والموادّ الاخرى، مثل الحديد والكالسيوم إلى الأفق (B).
- الأفق (E) يتكوّن من موادّ فاتحة اللون ناتجة عن غسيل الطين والكالسيوم والماغنسيوم والحديد إلى الآفاق السفلى، حيث تتشكّل منطقة الغسيل (Leaching) من الأفقين (A) و (E).
- الأفق (B) غنيّ بالطين وأكاسيد الحديد والسيليكا والكربونات أو بالموادّ المغسولة من الآفاق العليا، ويعرف هذا الأفق بنطاق التجميع.
- الأفق (C) يتكوّن جزئيًّا من الموادّ الأصلية التي تعرّضت للتحلّل أو التجوية، وهي هنا صخرية، ويمكن أن تكون ذات طبيعة نهرية، مثل حصى الأنهار في بيئات أخرى، ويمكن أن يُصبغ هذا الأفق باللون الأحمر بسبب أكاسيد الحديد.
- الأفق (R) هو المادّة الأصليّة غير المتحلّلة أو غير المجوّاة.

الفراغات، إلّا أنّها لا تسود في مورفولوجية هذا الأفق، ويدعى أفق التربة المتشرّب بكربونات الكالسيوم **الأفق** (*K*)، (الشكل 3-1ب)، حيث تملأ كربونات الكالسيوم الفراغات بشكل كامل، ويكوّن طبقات موازية لسطح الأرض، وتستخدم أحيانًا لفظة الكالكريت (*calcrete*) للتجمّعات غير المنتظمة أو طبقات كربونات الكالسيوم في التربة.

يأتي **الأفق** (*C*) مباشرة فوق مادّة الأصل غير المتغيّرة أو التي غيّرتها التجوية جزئيًّا، أمّا **الأفق** (*R*) أو المادّة غير المتغيّرة، فهي الصخر الأصلي المتصلّب (*unaltered parent material*)، الذي يقع أسفل التربة، وقد تحتوي بعض شقوق الصخر الأصلي وفراغاته الأخرى على الأطيان التي تحرّكت إلى الأسفل.

تُستخدم –أحيانًا– لفظة طبقة صلدة (*hardpan*) في مؤلّفات التربة، وهي أفق في التربة يعرّف بأنّه تربة قاسية، ويتكوّن في بعض الأحيان من الطين الملتحم عن طريق كربونات الكالسيوم، أو أكاسيد الحديد أو السيليكا، وهي آفاق غير منفّذة؛ لذا فإنّ حركة ماء التربة فيها إلى الأسفل محدودة.

لون التربة Soil Color

لون التربة أو ألوان آفاقها من أوّل الأشياء التي نلحظها فيها، حيث يميل الأفقان (*O*) و(*A*) إلى اللون الغامق؛ وذلك لغناها بالموادّ العضوية، وإذا توافر الأفق (*E*) فهو أبيض اللون تقريبًا، وذلك ناتج عن غسل أكاسيد الحديد والألمنيوم منه، أمّا الأفق (*B*) فيبيّن أكثر الاختلافات دراماتيكية

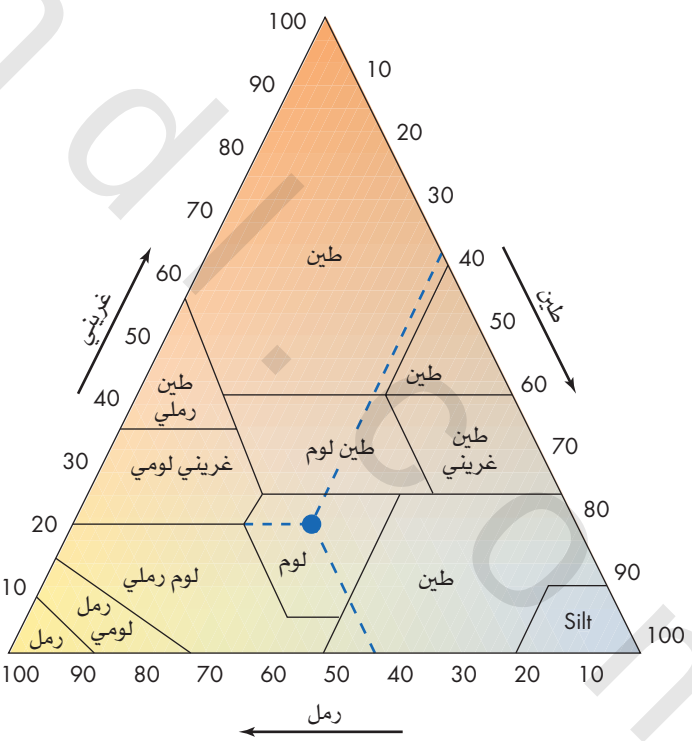
في اللون، فيتدرّج من الأصفر إلى البنيّ وإلى البنيّ المحمرّ الفاتح إلى الأحمر الغامق؛ وذلك اعتمادًا على وجود المعادن الطينية وأكاسيد الحديد، أمّا آفاق ألـ (B_k) فقد تكون فاتحة اللون؛ نتيجة وجود الكربونات، إلّا أنّها حمراء أحيانًا؛ بسبب تجمّع أكسيد الحديد فيها، وإذا نشأ أفق (K) حقيقي، فقد يكون أبيض اللون تقريبًا؛ نتيجة لتوافر كربونات الكالسيوم فيه، على الرغم من أنّ لون التربة قد يكون أداة مهمّة ومميّزة لتحليل مقطع التربة، إلّا أنّنا يجب أن نكون حذرين في تسمية أيّ طبقة حمراء بالأفق (B)، فالمادّة الأمّ الأصليّة تنتج تربة حمراء إن كانت غنية بالحديد، حتى لو كان **تطوّر مقطعها منخفضًا** (**soil profile development**).

قد يعطي لون التربة مؤشّرًا مهمًّا على درجة تصريفها للماء، فالتربة المصرّفة جيّدًا مهوّاة جيّدًا كذلك (ظروف مؤكسدة)، حيث يتأكسد الحديد إلى اللون الأحمر، أمّا التربة رديئة التصريف فهي رطبة، ويختزل الحديد فيها ولا يتأكسد، ويكون لون مثل هذا النوع من التربة أصفر أحيانًا، إنّ هذا التمييز مهمّ؛ لأنّ التربة رديئة التصريف ترتبط بمشكلات بيئية مثل استقرار أقلّ للمنحدرات، وعدم إمكانية استعمال التربة وسطًا للتخلّص من الفضلات/النفايات في أنظمة مجاري المنازل السكنية (septic tank and leach field).

نسيج التربة Soil Texture

يعتمد نسيج التربة على نسب مكوّناتها من الحبيبات الرملية والغرينية والطينية، (الشكل 3-2)، فقطر حبيبات الطين أقلّ من (0.004 mm)، ويتراوح حجم حبيبات الغرين بين (0.004 mm) إلى (0.074 mm)، وحبيبات الرمل بين (0.074 mm) إلى (2 mm)، وتسمّى الموادّ الأرضية المكوّنة من حبيبات قطرها أكثر من (2 mm) اعتمادًا على حجم الحبيبة حصى أو بحصى أو جلاميد (*gravel, cobbles or boulders*). إنّ أحجام الحبيبات المعطاة هنا هي لأغراض التصنيف الهندسي، وهي مختلفة قليلًا عن تلك المستخدمة في تصنيف وزارة الزراعة الأمريكية.

من الشائع تعريف نسيج التربة أو تحديده بصورة تقريبية دقيقة في المختبر بفصل الرمل والغرين والطين وتحديد نسبها، وتستخدم الطريقة الآتية في الحقل لتحديد حجوم الحبيبات الرملية أو الأصغر منها: فإذا كنت ترى حبيبات التربة بوضوح فهي رملية، أمّا باستعمال العدسة المكبّرة (بتكبير (10) مرّات) فهي غرينية، وهي طينية إن لم تستطع تمييز حجم حبيباتها على هذا التكبير، هناك طريقة أخرى نستطيع أن نتحسّس بها التربة: فالرمل (*gritty*) يصطك بين الأسنان، أمّا الغرين فيشبه طحين الخبز، والطين يلتصق باللسان، وعند خلط الطين بالماء ووضع طبقة رقيقة منه على ظاهر اليد، ثمّ تركه ليجفّ، فإنّ إزالته تكون صعبة مقارنة بالغرين أو الرمل.



الشكل (3-2) المجموعات النسيجية للتربة. تعرف المجموعات بحسب نسبة حجوم الطين والغرين والرمل في عيّنة التربة. تمثّل النقطة المتّصلة بخطوط متقطّعة تربة مكوّنة من (40%) رملًا، و (40%) غرينًا، و (20%) طينًا، وتصنّف على أنّها لوم (*Loam*).

(*U. S. Department of Agriculture standard textural triangle*).

بنية التربة Soil Structure

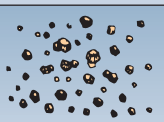
تلتصق حبيبات التربة مع بعضها في تجمّعات تسمّى تجمّعات حبيبات التربة (peds)، التي تصنّف بحسب شكلها إلى أنواع متعددة، يبيّن الشكل (3-3) بعض بنياتها الشائعة في التربة، ويرتبط نوع التربة الموجودة بالعمليات المكوّنة لها، إلّا أنّ بعض هذه العمليات غير مفهوم جيّدًا[2]، فمثلا، البنية الحبيبية (*granular structure*) شائعة في آفاق (A)، أمّا البنيات الكتلية (*blocky*) والمنشورية (*prismatic*) فتتوافر في آفاق (B)، إنّ التربة أداة مهمّة ومميّزة تساعد على تقييم تطوّر مقاطع التربة وأعمارها التقريبية، وبتطوّر مقطع التربة مع الزمن تصبح بنيته أكثر تعقيدًا، ويتحوّل من الصورة الحبيبية إلى الكتلية إلى المنشورية، مع زيادة المحتوى الطيني في آفاق (B).

التطوّر النسبي لمقطع التربة Relative Profile Development

لن تتاح لمعظم جيولوجيي البيئة فرصة عمل وصف مفصّل وإجراء تحاليل لمعطيات التربة، إلّا أنّ عليهم معرفة الفروق بين التربة الضعيفة والمتوسّطة وجيّدة التطوّر، أي معرفة التطوّر النسبي **لمقطع التربة** (**relative profile development**)؛ لأنّ هذا التمييز مهمّ في التقييم الأوّلي لخصائص التربة، ويساعد على تحديد فيما إذا كان من الضروري الحصول على رأي متخصّص في التربة بالنسبة إلى مشروع ما.

- مقطع التربة ضعيف التطوّر (*a weakly developed soil profile*): يتميز عمومًا بوجود أفق (A) مباشرة فوق أفق (C) (أفق B غير موجود أو ضعيف التطوّر)، الذي قد يكون متأكسدًا، وعمر هذه التربة بضع مئات من السنين في معظم المناطق، وقد يمتد إلى آلاف السنين في مناطق أخرى.
- مقطع التربة متوسّطة التطوّر (*a moderately developed soil profile*): قد يتكوّن من أفق (A) فوق أفق (B_t argillic) الذي يعلو الأفق C، وهناك احتمالية لوجود أفق جيري، إلّا أنّ عدم وجود الأخير

الشكل (3–3) بيدونات التربة Soil peds.
شكل يبيّن بنيات البيدونات المختلفة.

النوع	المدى الحجمي النموذجي	الأفق الذي يوجد فيه عادة	ملاحظات
حبيبي 	(1–10 mm)	A	يمكن أن يوجد أيضًا في الأفقين (B) و (C)
كتلي	(5–50 mm)	B_t	توصف عادة زاوية أو شبه زاوية
منشوري	(10–100 mm)	B_t	إذا كانت أعالي الأعمدة مدوّرة سمّي التركيب عمدانيًّا
صفائحي	(1–10 mm)	E	قد تتوافر أيضًا في بعض آفاق (B)

غير ضروري كي تُعدّ التربة متوسّطة التطوّر، ويتوافر أفق (B) في هذه التربة التي تتميّز بتغيّرات ناجمة عن الحركة، ونسيجها أفضل تطوّرًا، وألوانها محمرّة أكثر من ألوان التربة ضعيفة التطوّر، أضف إلى ذلك أنّ أعمار التربة متوسّطة التطوّر بليستوسين على الأقل (أي أكثر من (10,000) سنة).

- مقطع التربة جيّد التطوّر (a well-developed soil profile): يتميّز بألوان محمرّة في الأفق (B_t)، وحركة أكبر للطين في اتجاه هذا الأفق، وببنية قوية كذلك، ويحتمل وجود الأفق (k) في هذا المقطع، إلّا أنّ عدم وجوده لا يغيّر من تصنيف التربة، يذكر أنّ أعمار التربة المتطوّرة تتراوح بين (40000) سنة وبضع مئات آلاف السنين.

التتابعات العمرية للتربة
Soil Chronosequences

التتابع العمري للتربة (Soil Chronosequence) مجموعة من أنواع التربة مرتّبة من الأحدث إلى الأقدم، اعتمادًا على التطوّر النسبي لمقطعها، ومثل هذا التتابع مهمّ في أعمال تقييم الأخطار؛ لأنّه يوفّر معلومات حول التاريخ الحديث للّاندسكيب*، ما يسمح بتقييم استقرار الموقع عند تحديد مواقع بعض الخدمات الحرجة، كالتخلّص من النفايات أو بناء محطة كهربائية، وقد يوفّر التتابع العمري الموثّق بالتأريخ الرقميّ** (بتطبيق طرق تأريخ متباينة مثل الكربون الإشعاعي (^{14}C)؛ للحصول على تاريخ بعدد السنوات قبل الوقت الحالي للتربة) المعطيات الضرورية للخروج بعبارات استنتاجية، مثل «ليس هناك دليل على تمزّق الأرض بسبب الزلازل في آخر ألف سنة أو «آخر جريان طيني كان قبل (30000) سنة على الأقل»، إنّ إنشاء تعاقب عمري للتربة في منطقة بعينها يحتاج إلى بذل جهود مضنية، بحيث يستفاد منه في حلّ مشكلات معيّنة.

على سبيل المثال، فكّر في اللاندسكيب المبيّن في الشكل (3–4)، وهو مروحة نهرية حصلت لها إزاحة مقدارها قرابة (60,000 cm) (0.6 km) على طول صدع سان آندرياس في تلال آنديو الواقعة جنوب كاليفورنيا، إذ تشير الحفر التي عملت في التربة إلى أنّ عمرها (20,000) سنة على الأقل، ولا يزيد على (45000) سنة، وقد قدّر العمر اعتمادًا على المقارنة بتعاقب عمري للتربة في صحراء موجاف (Mojave Desert) القريبة، حيث يتوافر تاريخ رقمي لتربة شبيهة، لقد سمح تطوّر التربة على الجزء من المروحة النهرية الذي أزيح (6000 m) بتقدير عمر المروحة النهرية، وعليه، فإنّ سرعة انزياح (كمّية إزاحة المروحة مقسومًا على عمرها، أي (20,000 yr ÷ 60,000 cm) ذلك الجزء من صدع آندرياس تقدّر بـ (3 cm) سنويًّا[4،5]، وتشير الأعمال الحديثة باستخدام طريقة تأريخ رقمية تسمّى «تأريخ التكشّفات (exposure dating) إلى أنّ العمر (35,500 ± 2,500 yr)، وأنّ الإزاحة الإجمالية مقدارها (580 m). إنّ تقدير العمر الجديد هذا والأكثر دقّة يعطي سرعة إزاحة قصوى مقدارها (1.7 cm/yr) تقريبًا، وهكذا تحسّن تأريخ التربة المبكر باستخدام التقنيات الحديثة، ما قلّل من استعمال تطوّر التربة بصفتها أداة تأريخ.

لم تكن سرعة الإزاحة لهذا الجزء من الصدع معروفة من قبل، وهي مهمّة؛ لأنّها إحدى المركبات الضرورية في التقدير النهائي لاحتمالية حدوث زلازل مدمّرة، والفترة التي تتكرّر فيها مثل هذه الزلازل.

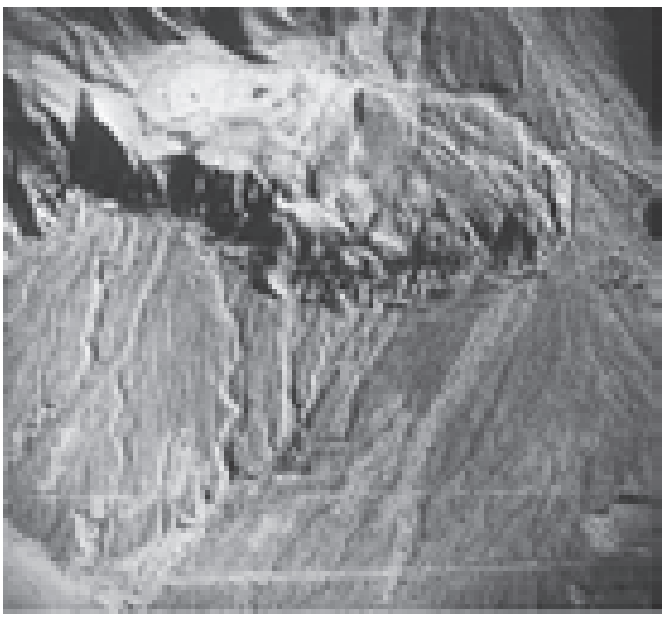
3-3 خصوبة التربة SOIL FERTILITY

يمكن أن تُعدّ التربة نظامًا بيئيًّا معقّدًا، إذ قد يحتوي المتر المكعّب منها على ملايين المخلوقات الحيّة، مثل القوارض الصغيرة (Rodents)، والحشرات، والديدان، والطحالب، والإشنات، والبكتريا، وتُعدّ هذه الكائنات مهمّة في خلط التربة وتهويتها، وفي إطلاق الغذاء في التربة أو تحويله إلى صور مفيدة أكثر للتربة، حيث تشير خصوبة التربة (soil fertility) إلى مقدرة الأنواع المختلفة منها على تزويد الغذاء (مثل النيتروجين والفوسفور والبوتاسيوم) الذي يحتاج إليه النبات لنموّه عندما تكون العوامل الأخرى ملائمة[7].

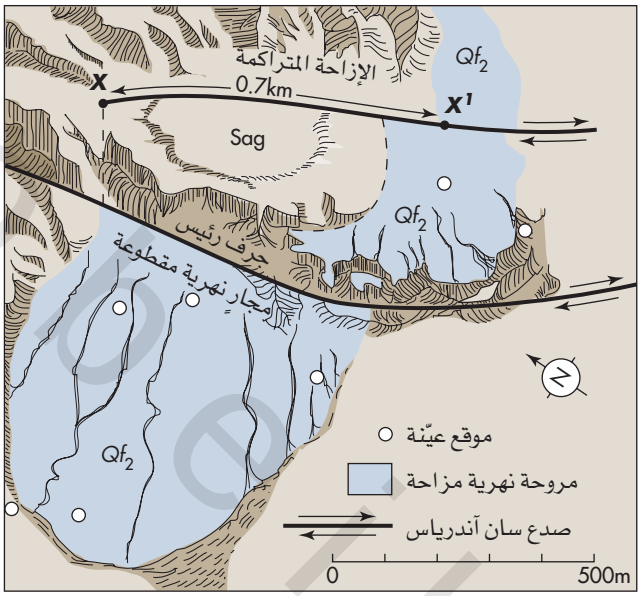
تحتوي التربة التي تنشأ في السهول الفيضية والرسوبيّات الجليدية على أغذية وموادّ عضوية كافية لجعل التربة خصبة جدًّا، أمّا أنواع التربة التي نشأت من الصخر الأمّ الذي تأثّر بعمليات الغسل الشديد، أو فوق الرسوبيّات السائبة مع القليل من التربة العضوية الفقيرة بالغذاء، فهي منخفضة الخصوبة، ولزيادة إنتاج التربة النباتي، فإنّها تعالج -أحيانًا- باستخدام الأسمدة؛

* شكل سطح الأرض في منطقة ما.
** العمر معبر عنه بالأرقام.

Obeikandl.com



(أ)



(ب)

الشكل (3–4) التربة والتكتونيك. مروحة نهرية مزاحة على طول صدع سان آندرياس بالقرب من إنديو–كاليفورنيا. (أ) صورة جوّية (المساحة الجيولوجية الأمريكية *US Geological Survey*). (ب) خريطة توضيحية.

لتوفير الأغذية أو الموادّ التي تحسن نسيج التربة، ودرجة احتفاظها بالماء، إذ تنخفض الخصوبة بتعرّض التربة للحتّ أو الغسيل الذي يؤدّي إلى فقدان أغذيتها، عن طريق إيقاف العمليات الطبيعية (مثل الفيضانات)، التي تزوّد التربة بالغذاء، أو باستعمال المبيدات الزراعية باستمرار، والتي تؤدّي إلى حدوث تغيّر أو تدمير في كائنات التربة.

قد تشكّل التجوية الكيميائية للصخور مصادر الغذاء للتربة؛ إلّا أنّ الأغذية الآتية من الصخر المحلي القريب من سطح الأرض قد تستنزف مع الزمن، فقد أثبتت دراسة أجريت على تربة الغابة المطرية في جزر هاواي تزامن استنزاف الأغذية الآتية من الصخور البركانية مع وصول أغذية جديدة توضّعت من الغبار الآتي من مناطق وسط آسيا، التي تبعد (6,000 km) (4,000 mi) وينتقل سنويًّا كذلك مئات الملايين من أطنان الغبار من الصحراء الكبرى في إفريقيا إلى مناطق جزر الكاريبي وجنوب شرق الولايات المتّحدة، جالبة معها الغذاء والميكروبات[9].

4-3 الماء في التربة WATER IN SOIL

إذا حلّلت كتلة (block) من التربة، فستجد أنّها تتكوّن من أحجام صغيرة من موادّ معدنية صلبة ومواد عضوية، وبينها فراغات تمتلئ بالغازات (وعلى الأخص الهواء)، والسوائل (الماء عادة)، وإذا امتلأت المسامات كلّها في كتلة من التربة بالماء، فيقال عن التربة حينئذٍ: إنّها في حالة مشبّعة (*saturated condition*)، وإلّا فهي ليست مشبّعة (*unsaturated*)، فالتربة في مناطق المستنقعات (*swamps*) قد تكون مشبّعة في أيام السنة كلّها، أمّا في المناطق الجافة فقد تصل التربة إلى حالة التشبع في بعض الأحيان فقط.

تسمّى كمّية الماء في التربة محتواها المائي (*water content*)، أو الرطوبي (*moisture content*)، وهي مهمّة جدًّا في تحديد خصائص هندسية، مثل قوّة التربة ومقدرتها على الانكماش أو الانتفاخ، وإن سبق لك بناء قلعة من الرمل على الشاطئ، فستعرف أنّ من المستحيل التعامل مع الرمل الجاف، بعكس الرمل المبلول الذي يمكن أن تشكّله بصورة عمودية، وينتج عن ذلك جدران قلعتك، إنّ الاختلافات بين التربة المبتلة والتربة الجافة يمكن أن يلحظها أيّ شخص يعيش في المناطق ذات الشوارع المليئة بالتربة الغنية بالطين، فعندما تكون التربة جافّة، فإنّ ظروف القيادة ممتازة، لكنّها تمتلئ بالحفر الطينية عقب العواصف المطرية، ولا يمكن سلوكها تقريبًا[10].

قد يجري الماء عموديًّا أو أفقيًّا في مسامات التربة، وهي فراغات بين حبيبات أو شقوق نشأت بسبب بنية التربة، فإذا كانت المسامات كلّها ممتلئة بالماء سمّي الجريان مشبّعًا (*saturated*)، وغير مشبّع (*unsaturated*)، وهو الأكثر شيوعًا، عندما يكون جزء من المسامات ممتلئًا بالماء.

ترتبط حركة الماء في الجريان غير المشبّع بعمليّات، مثل رقّة أو سمك أغشية الماء في المسامات وحبيبات التربة المجاورة[10]، وترتبط جزيئات الماء الأقرب إلى سطح الحبيبات بقوّة كبيرة مع الأخيرة، ومع زيادة سمك أغشية الماء يزداد المحتوى المائي، وتبدأ طبقات الماء الخارجية في الحركة، لذلك يكون الجريان سريعًا بالقرب من مراكز المسامات وبطيئًا عند حوافّها.

تعدّ دراسة علاقات رطوبة التربة وحركة الماء، إضافة إلى كيفيّة مراقبة حركة السوائل موضوع بحثيًّا مهمًّا، يرتبط بعدد لا بأس به من مشكلات تلوّث الماء، مثل هجرة الملوّثات السائلة وتسرّبها من مواقع التخلّص من النفايات، مثل تسرّب البنزين من خزّانات تحت الأرض.

5-3 تصنيف التربة SOIL CLASSIFICATION

إنّ تسميات التربة وتصنيفها مشكلة في العلوم البيئية؛ لأنّنا نهتمّ أحيانًا بعمليّات التربة واستعمال الإنسان لها. إن أي نظام تصنيفي يحتوي على

obeikandl.com

الخصائص الهندسية إضافة إلى الخصائص الفيزيائية والكيميائية للتربة سيكون الأفضل، إلا أن مثل هذا التصنيف غير موجود لحد الآن.

يتعيّن علينا أن نعتاد على نظامين منفصلين لتصنيف التربة: الأول يشخص الخصائص الفيزيائية والكيميائية، أمّا التصنيف الثاني فهو الهندسي، الذي يقسّم التربة إلى مجموعات بحسب أنواع موادّها وخصائصها الهندسية.

نظام تصنيف التربة Soil Taxonomy

طوّر علماء التربة تصنيفًا شاملًا وممنهجًا لأنواع التربة، سمّي نظام تصنيف التربة، الذي يركّز على الخصائص الفيزيائية والكيميائية لمقطع التربة، إذ يتكوّن هذا التصنيف من تسلسل سداسي تصنّف فيه التربة إلى: إحدى عشرة طائفة (*Orders*) وما تحتها، ومجموعات عظيمة وأخرى فرعية، وعائلات ومتسلسلات (*Series*)، وتعتمد هذه الطوائف –(الجدول 3–1)– غالبًا على المورفولوجية العامّة للتربة (عدد الآفاق المتوافرة وأنواعها)، ووضعها الغذائي، ومحتواها العضوي (حطام النبات. . . إلخ)، ولونها (أحمر، أصفر، بنيّ، أبيض. . . إلخ)، وبعض الاعتبارات المناخية العامة (كمّيات الهطل، معدّل الحرارة. . . إلخ)، إذ تزداد المعلومات مع كلّ درجة ننزلها في هذا الهرم التصنيفي، بحيث نحصل في النهاية على نوع محدّد من التربة.

تاكسونومي التربة مفيد خاصة لأغراض الزراعة، وما يتعلق بها من استعمال الأراضي، إلّا أنّه انتقد بسبب تعقيده، وعدم احتوائه على معلومات كافية عن نسيج التربة وخصائصها الهندسية، بهدف استعمالها بصورة صحيحة في تقييم الموقع للأغراض الهندسية، وعلى الرغم من ذلك، يتعيّن على عالم الأرض الجادّ أن يكون ملمًّا بهذا التصنيف؛ لأنّه شائع الاستعمال بين علماء التربة، وجيولوجيي العصر الرباعي، ودارسي الموادّ الأرضية والعمليّات التي أثّرت في تاريخ الأرض الحديث في آخر (1.65) مليون سنة.

التصنيف الهندسي للتربة
Engineering Classification of Soil

نظام تصنيف التربة الموحّد (**unified soil classification system**) شائع الاستعمال في التطبيقات الهندسية، ومبيّن في الجدول (3–2)، وفيه تقسّم التربة إلى ثلاثة أنواع رئيسة، هي: الخشنة (*coarse-grained*)، والناعمة (*fine-grained*)، والعضوية (*organic*)؛ وذلك لأنّ أنواع التربة الطبيعية كلّها خلائط من جسيمات (حبيبات) خشنة (البحص والرمل)، وناعمة (الغرين والطين)، وموادّ عضوية، ويعتمد كل نوع على حجم الحبيبات السائد أو وفرة المادّة العضوية، فالتربة الخشنة تشكّل فيها الحبيبات التي قطرها يزيد على (0.074 mm) أكثر من (50%) من وزنها، أمّا التربة الناعمة فنسبة ما تشكّله هذه الحبيبات فيها أقلّ من (50%) من وزن التربة[11]، وتحتوي التربة العضوية على محتوى عالٍ من المادّة العضوية، وتُعرف من لونها الأسود أو الرماديّ، وأحيانًا من خلال رائحة كبريتيد ثنائي الهيدروجين (H_2S) التي تشبه رائحة البيض الفاسد.

6-3 الخصائص الهندسية للتربة
ENGINEERING PROPERTIES

تتكوّن أنواع التربة كلّها الواقعة فوق مستوى **المياه الجوفية** (**water table**) (السطح الذي تكون مسامات الصخور تحته مشبّعة بالماء) من

الجدول (3–1): الخصائص العامّة لطوائف (orders) التربة المستقاة من تاكسونومي التربة المستعملة من قبل علماء التربة

التربة	الخصائص العامّة
Entisols	لم تتطوّر فيها آفاق، الكثير منها رسوبيّات نهرية حديثة، التربة الصناعية مشمولة، تربة حديثة أحيانًا.
Vertisols	تشمل الأطيان المنتفخة أكثر من (35%)، تتمدّد وتتقلّص مع التغيّر في محتوى الرطوبة.
Inceptisols	واحد أو أكثر من الآفاق التي تطوّرت بسرعة، يصعب تمييز الآفاق عن بعضها أحيانًا، تتوافر في أغلب الأحيان على الأسطح الأرضية الشابة وليس الحديثة، فيها تجمّعات مهمّة من المادة العضوية، أكثر شيوعًا في المناخات الرطبة، لكنها متوافرة من القطب المتجمّد الشمالي إلى المناطق الاستوائية، والغابة نباتها الطبيعي في أغلب الأحيان.
Aridisols	تربة الصحراء والمناطق الجافّة، فيها تجمّعات عضوية قليلة، وقد يتجمّع في أفقها التحتي الجصّ، والكاليش (كربونات الكالسيوم)، والملح، ومواد أخرى.
Mollisols	تتميّز بوجود أفق (A) أسود اللون، وغني بالموادّ العضوية (تربة البراري)، الآفاق السطحية غنية أيضًا بالقواعد، شائعة في المناطق شبه الجافة وشبه الرطبة.
Andisols	اشتقت بصورة أساسيّة من الموادّ البركانية، غنية نسبيًّا بالمعادن النشطة كيماويًّا التي تمتص العناصر البيولوجية المهمّة، مثل الكربون والفوسفور.
Spodosols	تتميّز بوجود رمال ملوّنة بلون الرماد فوق جزئها السفلي، تجمّعات غير متبلورة من أـ (sequioxides) الحديدية الألومينية والدبال، تربة حمضية تتكوّن عادة في صخور رملية أصلية، تتوافر بصورة رئيسة في المناطق الرطبة تحت الغابات.
Alfisols	تتميّز بأفق سطحيّ بنيّ إلى بنيّ–رماديّ، تحتية غضارية (غنية بالطين)، مع تشبع قاعدي متوسّط إلى عالٍ (أكثر من 35%، وقيست بمجموع الأيونات الموجبة، مثل الكالسيوم، والصوديوم، والماغنسيوم)، تتوافر بصورة رئيسة في المناطق الرطبة تحت الغابات في العروض الوسطى.
Ulfisols	تتميّز بأفق طيني مع تشبع قاعدي خفيف (أقلّ من 35%، وقيست بمجموع الأيونات الموجبة)، لونها أحيانًا أحمر أو أصفر أو بنيّ محمرّ، يقتصر توافرها في مناطق المناخات الرطبة، وتتكوّن عادة من أشكال أرضية قديمة، أو موادّ أصلية شديدة التجوية وأحدث.
Oxisols	نسبيًّا، دون ملامح مميّزة، عميقة أحيانًا، مغسولة من القواعد، متميّهة، تحتوي أكاسيد حديد وألمونيوم (لاتريت)، إضافة إلى طين الكاولين، ينحصر توافرها في المناطق الاستوائية وشبه الاستوائية.
Histosols	تربة عضوية (خثّ، أرض خصبة، مستنقعات).

Source: After Soil Survey Staff. 1994. Keys to Soil Taxonomy, 6th ed., Soil Conservation Service, U.S. Department of Agriculture.

Obeikandi.com

الجدول (3–2): نظام تصنيف التربة الموحّد الذي يستخدمه المهندسون

التقسيمات الرئيسة				رموز مجموعات التربة	أسماء مجموعات التربة
تربة حبيبية خشنة (أكثر من نصف المادّة حجم حبيباتها أكبر من 0.074 mm)	حصى	حصى نظيف	الجزء الناعم أقلّ من (5%)	GW	حصى جيّد التدرّج
				GP	حصى رديء التدرّج
		حصى وسخ	الجزء الناعم أكثر من (12%)	GM	حصى غريني
				GC	حصى طيني
	رمل	رمل نظيف	الجزء الناعم أقلّ من (5%)	SW	رمل جيّد التدرّج
				SP	رمل رديء التدرّج
		رمل وسخ	الجزء الناعم أكثر من (12%)	SM	رمل غريني
				SC	رمل طيني
تربة حبيبية ناعمة (أكثر من نصف المادّة حجم حبيباتها أقلّ من 0.074 mm)	غرين لدن			ML	غرين
				MH	غرين ميكائي
				OL	غرين عضوي
	أطيان لدنة			CL	طين غرين
				CH	طين عالي اللدونة
				OH	طين عضوي
تربة عضوية في أغلبها				PT	خثّ وتربة عضوية

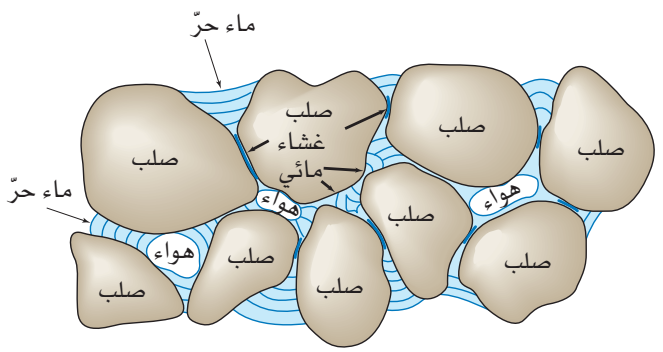
ثلاثة أجزاء أو أطوار واضحة، هي: مادّة صلبة (*solid*)، وسائل (*liquid*)، وغاز (*gas*)، مثل الهواء أو ثاني أكسيد الكربون، وتتأثّر فائدة تربة ما كثيرًا بما تتأثّر به نسب مكوّناتها الثلاث وتركيبها وبنيتها، أمّا نوع الموادّ الصلبة، وأحجام الحبيبات، والمحتوى المائي، فهي من أهمّ المتغيّرات التي تحدّد الخصائص الهندسية (انظر بعض التطبيقات الرقمية: خصائص التربة) ومن أهمّها بالنسبة إلى المخططين: اللدونة، والقوّة، والحساسية، وقابلية الحتّ، والنفاذية، واحتمال تآكلها كيميائيًّا، وسهولة حفرها، واحتمال انكماشها أو انتفاخها.

يستعان **باللدونة** (**plasticity**) التي ترتبط بالمحتوى المائي للتربة على تصنيف التربة ناعمة الحبيبات للأغراض الهندسية، وحدّ السيولة (*liquid limit*) (LL) للتربة هو المحتوى المائي (*water content*) (w) الذي تتصرّف التربة أعلى منه بصورة سائل، أمّا حدّ اللدونة (*plastic limit*) (PL) فهو المحتوى المائي الذي لا تعود التربة تتصرّف بصورة مادة لدنة أقلّ منه، ويعرف الفرق العددي بين قيمتي حدّ السيولة وحدّ اللدونة بمعامل اللدونة (*plasticity index*) (PI)، وهو مدى الرطوبة (المحتوى المائي) الذي تتصرّف فيه التربة بصورة مادة لدنة، وقد تتسبّب أنواع التربة ذات معامل اللدونة المنخفض جدًّا (أقلّ من 5%) في مشكلات؛ لأنّ أيّ تغيّر بسيط في المحتوى المائي يمكن أن يغيّر التربة من الحالة الصلبة إلى السائلة، ومن ناحية أخرى، تشير القيم المرتفعة لمعامل اللدونة (أكثر من 35%) إلى تربة ذات قدرة كبيرة على التمدّد والتقلّص، عند تعرّضها للبلل والجفاف.

قوّة التربة (**Soil Strength**): هي قدرتها على مقاومة التشوّه، ويصعب التعميم فيها، إذ إنّ المعدّلات الرقمية للقوّة تكون مضلّلة؛ لأنّ التربة تتكوّن أحيانًا من خلائط ونطاقات، أو طبقات من الموادّ التي تختلف في خصائصها الفيزيائية والكيميائية.

تعتمد قوّة نوع ما من التربة على قوى التماسك والاحتكاك، **والتماسك** (**Cohesion**) مقياس لقدرة حبيبات التربة على الالتصاق ببعضها، وينتج في التربة ناعمة الحبيبات في الأساس عن قوى كهروستاتيكية، وهي عامل مهمّ في قوّة التربة، وقد تتسبّب أغشية الرطوبة بين الحبيبات في التربة الخشنة المشبّعة جزئيًّا في تماسك ظاهري ناتج عن التوتر السطحي (الشكل 3–5)، وهذا يشرح قدرة الرمل المبلول (غير متماسك عندما يكون جافًّا) على تكوين جدران عمودية في القلاع الرملية، التي يبنيها الأطفال على الشاطئ [13].

يسهم **الاحتكاك** (**friction**) بين الحبيبات أيضًا في قوّة التربة، وتعتمد قوّته الكلية على كثافة حبيبات التربة وحجمها وشكلها، إضافة إلى وزن الحبيبات التي تعلوها، والتي تؤدّي إلى تقريب الحبيبات من بعضها، يضاف إلى ذلك أنّ قوى الاحتكاك مهمّة جدًّا في التربة الحبيبية الغنية بالرمل والحصى، وتشرح سبب عدم غوص القدم إلى أعماق كبيرة عند المشي على رمل جافّ على الشاطئ.



الشكل (3–5) التربة المشبّعة جزئيًّا تبيّن العلاقات بين الحبيبات والماء والهواء. حجم الحبيبات في الشكل أكبر كثيرًا من حجمه الطبيعي، والتجاذب بين الماء وجسيمات التربة (التوتر السطحي) يؤدّي إلى تكوّن إجهاد يعمل على التصاق الحبيبات ببعضها، ويتحطّم هذا التماسك الظاهري إذا جفّت التربة أو أصبحت مشبّعة تمامًا. عن:

R. Pestrong.1974. Slope Stability. American Geological Institute.

obeikan.com

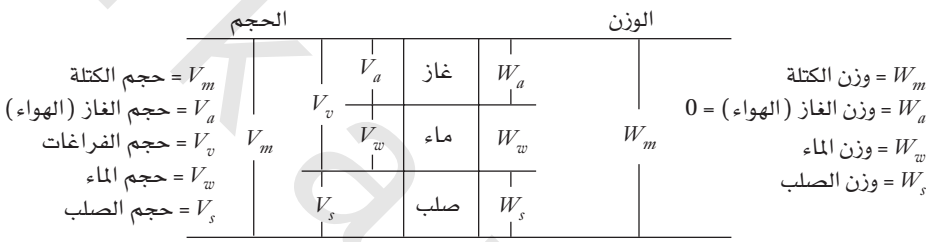
بعض التطبيقات الرقمية PUTTING SOME NUMBERS ON

دراسة خصائص التربة Properties of Soil

موضوع ميكانيكا التربة هو دراسة التربة بهدف فهمها، وتوقّع سلوكها في أوضاع مختلفة، بما فيها أساسات المباني، واستعمالها بصفتها موادّ إنشاء، وفي إنشاء المنحدرات والأسطح (embankments) في كثير من المشروعات الهندسية، مثل الجسور والسدود والطرق، وقد نشر كارل تيرزاجي (Terzagi) سنة 1948م كتابًا عن ميكانيكا التربة، واستخدم فيه أوّل مرّة مفاهيم الفيزياء والرياضيات مع الجيولوجيا والهندسة؛ ليضع فن ميكانيكا التربة على أساس ثابت (pun intended)، وهدفنا هنا إعطاء معلومات أساسية عن بعض الخصائص المختارة للتربة، ودور ضغط الموائع في قوّتها.

يبيّن الشكل (3أ) هيأة الطور لتربة مكوّنة من صلب وماء وغاز (معظمه هواء)، لاحظ أنّ الجهة اليسرى من الشكل تتناول الحجم، والجهة اليمنى الوزن، حيث تعرّف الرموز كالآتي: (V_m): حجم الكتلة (حجم العينة الكلية)، (V_v): حجم المسامات (الفراغات بين الحبّات التي قد تحتوي على الغازات أو السوائل مثل الماء)، (V_a): حجم الهواء، (V_w): حجم الماء، (V_s): حجم الصلب، (W_m): وزن الكتلة (وزن العيّنة الكلي)، (W_a): وزن الهواء (يُعدّ صفرًا)، (W_w): وزن الماء، و (W_s): وزن الجزء الصلب، ويمكننا بمعرفة هذه الأوزان والأحجام تحديد عدد من خصائص التربة بما فيها وحدة الوزن (γ)، والكثافة (ρ)، والكثافة النوعية (G)، والمسامية (n)، ونسبة الفراغات (e)، والمحتوى الرطوبي (w)، ودرجة التشبع (S_w). انظر الشكل (3أ).

ربما أنّ حلّ مسألة أو اثنتين أفضل طريقة لفهم الخصائص المبيّنة، مثلًا الشكل (3ب)، هي مسألة معروف فيها نسبة الفراغات (e) وكثافة الحبيبات



الوزن weight W، وحدات قوّة N (نيوتن، كجم متر/ثانية^2)، **الكتلة** m وحدتها الكجم،

الحجم volume V وحداته م^3.

وحدة الوزن (γ) **unit weight** = الوزن/الحجم، وحدة وزن الكتلة = γ_m = وزن الكتلة/حجم الكتلة = W_m/V_m

وحدة الوزن للجزء الصلب = γ_s = وزن الجزء الصلب/ حجم الجزء الصلب = W_s/V_s

وحدة الوزن للماء = γ_w = وزن الماء/ حجم الماء = W_w/V_w = ثابت = $(1 \times 10^4\ \text{N/m}^3) / (10^4\ \text{N/m}^3) = 62.4\ \text{lb/ft}^3$

الكثافة density ρ = الكتلة/الحجم وحداتها kg/m^2 أو gm/cm^3

تذكّر أنّ γ_w = (كتلة الماء × تسارع الجاذبية) ÷ حجم الماء

تسارع الجاذبية acceleration of gravity, $g \cong (10)\ \text{m/s}^2$ تقريبًا

كثافة الماء $\rho_w = 1\ \text{gm/cm}^3 = 10^3\ \text{kg/m}^3$، وعليه، فإنّ $\gamma_w \cong 10^3\ \text{kg/m}^3 \times 10\ \text{m/s}^2 \cong 10^4\ \text{N/m}^3\ (62.4\ \text{lb/ft}^3)$

الكثافة النوعية specific gravity, G = وحدة الوزن من العيّنة/ وحدة الوزن من الماء

G_s الكثافة النوعية للصلب، G_m الكثافة النوعية للكتلة.

$G_s = \dfrac{\gamma_s}{\gamma_w} = \dfrac{W_s}{V_s\gamma_w}$; $G_m = \dfrac{\gamma_m}{\gamma_w} = \dfrac{W_m}{V_m\gamma_w}$ ، دون وحدات.

المسامية porosity, $n = \dfrac{V_v}{V_m}$ ، دون وحدات تعطى بصورة كسر عشري أو نسبة مئوية، وفي الحسابات بصورة كسر عشري.

نسبة الفراغات void ratio, $e = \dfrac{V_v}{V_s}$ ، دون وحدات بصورة كسر عشري.

محتوى الرطوبة (ويسمّى أيضًا المحتوى المائي) w **moisture content,** $= \dfrac{W_w}{W_s}$ بصورة نسبة مئوية، وفي الحسابات بصورة كسر عشري.

المحتوى المائي الحجمي Θ **volumetric water content** $= \dfrac{V_w}{V_m}$ ، بصورة نسبة مئوية، وفي الحسابات بصورة كسر عشري.

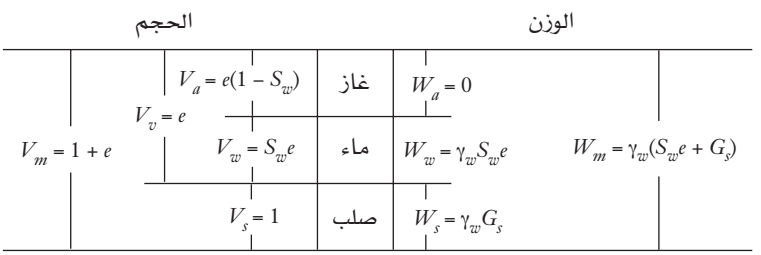
درجة الإشباع بالنسبة إلى الماء S_w **degree of saturation,** $= \dfrac{V_w}{V_v}$ ، بصورة نسبة مئوية، وفي الحسابات بصورة كسر عشري.

درجة الإشباع بالنسبة إلى الهواء S_a **degree of saturation,** $= \dfrac{V_a}{V_v}$ ، بصورة نسبة مئوية، وفي الحسابات بصورة كسر عشري.

مجموع درجتي الإشباع بالنسبة إلى الماء والهواء $S_w + S_a = 1$

الشكل (3أ): هيأة طور لتربة تتألف من موادّ صلبة وماء وغاز (غالبًا الهواء). يبيّن الشكل أيضًا رموزًا مختارة، وتعاريف مستخدمة في ميكانيكا التربة ضمن الهندسة الجيوتقنية.

obeikandl.com



الشكل (3ب): مسألة (مثال). تربة فيها قيمة e =0.40; $G_s = 1.5$ أو $S_w = 0.50$، ما محتواها المائي؟

تلميح: عند إعطاء e،
افترض أن $V_s = 1$؛
عند إعطاء n،
افترض أن $V_m = 1$؛

إعطاء: $S_w = 0.5$
$e = 0.4, G_s = 1.5$

لحل w:

افترض $V_s = 1$. بما أن $e = V_v$ ، $e = \frac{V_v}{V_s}$

$S_w = \frac{V_w}{V_v}$ معطى، لأن $V_v = e, V_w = S_w e$

$V_w = S_w e$، و $\gamma_w = \frac{W_w}{V_w}$، وعليه، فإن $W_w = \gamma_w S_w e$

$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} = \frac{W_s}{V_s \gamma_w}$ (معطاة)، لأنّ $V_s = 1$، وعليه، فإنّ $W_s = \gamma_w G_s$

$w = \frac{W_w}{W_s}$ (وبقسمة W_w على W_s)، $w = \frac{\gamma_w S_w e}{\gamma_w G_s} = \frac{S_w e}{G_s}$

$w = \frac{(0.5)(0.4)}{1.5} = \frac{0.2}{1.5} = 0.13 = 13\%$

الصلبة (G_s)، ودرجة التشبع بالماء (S_w)، والمطلوب حساب المحتوى المائي (w)، وهي خاصة مهمّة في التربة؛ لأنّ قوّة التربة وخصائصها الأخرى تتغيّر مع تغيّرها، بما في ذلك وحدة الوزن ودرجة التشبع، ولمحتوى الماء الحجمي (Θ) أهمّية خاصّة في فهم هيدرولوجية المنطقة الضحلة (*vadose zone*)، وهي التربة غير المشبّعة فوق مستوى المياه الأرضية، إذ تزداد سرعة حركة المياه في هذه المنطقة مع زيادة المحتوى المائي الحجمي.

في مثال آخر، افترض أنّ لديك تربة مبلولة حجمها (V_m) ($4.2 \times 10^{-3} m^3$)، وأنّ وزن الكتلة (W_m) (60 N) صار بعد التجفيف (48 N)، فإذا كانت الكثافة النوعية للجزء الصلب (G_s) (2.65)، فاحسب درجة التشبع بالماء (S_w)، والمحتوى المائي الحجمي (Θ)، ونسبة الفراغات (e). ممّا يجدر ذكره هنا أنّنا قدّمنا ثلاث نسب حجمية: نسبة الفراغات (e)، والمسامية (n)، ودرجة التشبع بالماء (S_w)، حيث تُكتب نسبة الفراغات (e) بصورة كسر عشري، أمّا المسامية والتشبع فيعبّر عنهما بصورة نسبة مئوية، نظريًّا، يمكن لنسبة الفراغات أن تتغيّر من الصفر إلى ما لا نهاية، لكن قيمتها في التربة المكوّنة من الرمل والحصى تتغيّر من (0.3–1.0)، أمّا في التربة الناعمة المكوّنة من الطين فتتراوح بين (0.4) و(1.5). نعود إلى المسألة الآن: الخطوة الأولى هي عمل شكل طوري، كما هو مبيّن في الشكل (3جـ)، نقّص وزن الكتلة (W_m) = (60 N) إلى (48 N) بعد التجفيف، أي إنّ وزن الماء (W_w) = (12 N)، ويمكن وضع هذه القيمة على الشكل، أمّا وزن الجزء الصلب (W_s) فهو الفرق بين (W_m) و (W_w) وهو 48 N، حجم الكتلة (V_m) معلوم، ويوضع على الشكل الطوري، وباستخدام حقيقة أنّ ألـ $G_s = 2.65$ نستطيع حساب حجم الجزء الصلب: $V_s = 1.8 \times 10^{-3} m^3$،

ولأنّنا نعلم وزن الماء، فنستطيع أن نستعمل وزن الوحدة للماء، وهو قيمة ثابتة (انظر الشكل (3أ) لحساب حجم الماء، وضع هذا الرقم أيضًا على الشكل)، أضف إلى ذلك أنّنا نستطيع عند معرفة حجمي الصلب والماء حساب حجم الفراغات وحجم الهواء، وعند معرفة هذه المعطيات، يمكن أن نطبق تعريفاتنا بالنسبة إلى درجة التشبع بالماء، والمحتوى المائي ونسبة الفراغات، ونجد أنّ: $S_w = 50\%$، و $\Theta = 29\%$ و $e = 1.33$.

يمكن حلّ عدد كبير من مسائل ميكانيكا التربة باستخدام العلاقات السابقة، ويصبح طلاب ميكانيكا التربة أو الهندسة الجيوتقنية خبراء في تكييف المعادلات، للحصول على خصائص التربة، مثل المحتوى المائي، ودرجة التشبع، والمسامية، والخواصّ الأخرى التي تحدّد الخواصّ الهندسية للتربة.

مهمّتنا الآتية تقييم دور ضغط المائع (ضغط الماء) في قوّة قصّ التربة، والحديث عن الضغوط الفعّالة والمحايدة طريقة جيّدة لتقديم مفهوم ضغط المائع وتأثيره في قوة قصّ التربة، فالضغط الفعّال هو الضغط الذي يؤثّر في منطقة تماس حبّتين من حبّات التربة، أمّا الضغط المحايد أو ضغط الماء فهو حاصل ضرب ارتفاع عمود الماء (h) في كثافة التربة (γ_w)، وهي ($\mu_w = 2 \times 10^4 N/m^2$)، فإذا كانت البركة ممتلئة بالرمل والحصى المشبّعين بالماء، فسيظل ضغط الماء (2 m) في القاع؛ لأنّ الفراغات بين الحبّات متصلة، وارتفاع عمود الماء مستمرّ (على الرغم من أنّه يشكّل ممرًّا متعرّجًا حول الحبّات). إذن، الضغط الكلي يساوي مجموع الضغطين الفعّال والمحايد، ويمكن إعادة ترتيب هذه العلاقة لتعطي المعادلة. الكمّية (ρ) (الضغط الفعّال) هي أحد الرموز في المعادلة التي تعرّف قوّة قصّ التربة

obeikandl.com

الشكل (3جـ): مثال محلول.

الحجم		الوزن	
	$V_a = 1.2\times10^{-3}\text{m}^3$ غاز	$W_a = 0$	
$V_m = 4.2\text{x}10^{-3}\text{m}^3$	$V_w = 1.2\times10^{-3}\text{m}^3$ ماء	$W_w = 12$ N	$W_m = 60$ N
	$V_s = 1.8\times10^{-3}\text{m}^3$ صلب	$W_s = 48$ N	

لحل S_w, Θ, e:

$$V_s = \frac{W_s}{G_s\gamma_w} = \frac{48\text{ N}}{2.65(1\times10^4\text{ N/m}^3)} = \frac{48\text{ N}}{2.65\times10^4\text{ N/m}^3}$$ ، فإن $G_s = \frac{W_s}{V_s\gamma_w}$

$$V_s = 1.8\times10^{-3}\text{m}^3$$

$$V_w = \frac{W_w}{\gamma_w} = \frac{12\text{ N}}{1\times10^4\text{ N/m}^3}$$ ، فإن $\gamma_w = \frac{W_w}{V_w}$

$$V_w = 1.2\times10^{-3}\text{m}^3$$

$V_a = V_m - V_w - V_s$ ، فإن $V_m = V_a + V_w + V_s$ وبما أن

$$V_a = 1.2\times10^{-3}\text{m}^3$$

$$S_w = \frac{V_w}{V_v} = \frac{1.2\times10^{-3}\text{m}^3}{2.4\times10^{-3}\text{m}^3} = 0.50 = 50\%$$ الآن

$$\Theta = \frac{V_w}{V_m} = \frac{1.2\times10^{-3}\text{m}^3}{4.2\times10^{-3}\text{m}^3} = 0.29 = 29\%$$

(shear strength of soil):

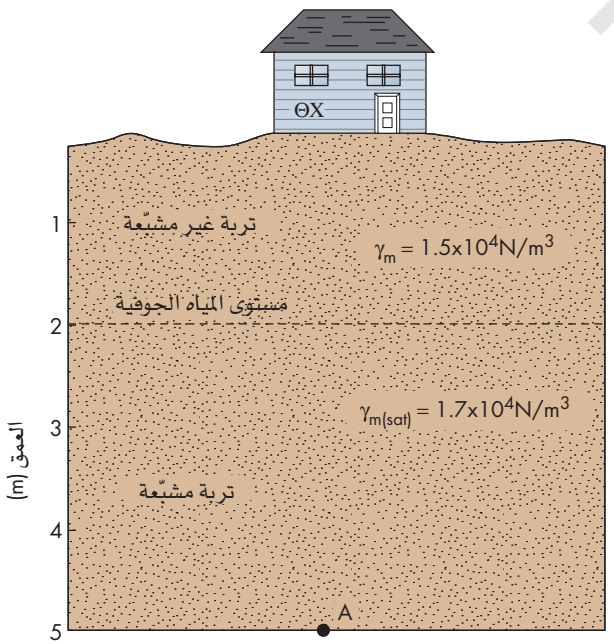
$$S = C + \bar{p}\tan\varnothing$$

حيث (S) قوّة القصّ، و(C) التماسك (أو التلاصق)، و$(\varnothing)$ زاوية الاحتكاك الداخلي. فإذا عوّضنا بدل $(\bar{p})$، فستصبح المعادلة السابقة:

$$S = C + (p - \mu_w)\tan\varnothing$$

نرى أنّ معادلة قوّة قصّ التربة تشتمل على الضغط الفعّال، الذي يمكن أن يكتب بصورة فرق بين الضغط الكلي وضغط الماء.

سيساعد إعطاء مثال على توضيح بعض الغموض بالنسبة إلى هذه العلاقات، يبيّن الشكل (3د) صورة مبسّطة يتوافر فيها مستوى المياه الأرضية على عمق (2.0 m)، ونركّز اهتمامنا على قيمة الضغط الفعّال عند النقطة (A) على عمق (5.0 m)، حيث تصل كثافة التربة فوق مستوى المياه الجوفية $(1.5\times10^4\text{ N/m}^3)$، وتحته $(1.7\times10^4\text{ N/m}^3)$، أمّا كثافة الماء فهي $(1\times10^4\text{ N/m}^3)$.



الشكل (3د): الضغط الفعّال **(effective pressure)**، رسم توضيحي يبيّن: بناية، مستوى المياه الجوفية، والعمق إلى النقطة (A)، حيث نحسب الضغط الفعّال (انظر النصّ لرؤية الحسابات).

$$\bar{p}\ (\text{عند نقطة } A) = p - \mu_w$$

$$\bar{p} = (2.0\text{ m})(1.5\times10^4\text{ N/m}^3) + (3.0\text{ m})(1.7\times10^4\text{ N/m}^3) - (3.0\text{ m})(1\times10^4\text{ N/m}^3)$$

$$\bar{p} = (3.0\times10^4\text{ N/m}^2) + (5.1\times10^4\text{ N/m}^2) - (3.0\times10^4\text{ N/m}^2)$$

$$\bar{p} = 5.1\times10^4\text{ N/m}^2$$

openkandi.com

كم ستكون ($\bar{p}$) إذا ارتفع مستوى المياه الجوفية إلى السطح؟

$$\bar{p} = (5.0\ \text{m})(1.7 \times 10^4\ \text{N/m}^3) - (5.0\ \text{m})(1 \times 10^4\ \text{N/m}^3)$$
$$\bar{p} = (8.5 \times 10^4\ \text{N/m}^2) - (5 \times 10^4\ \text{N/m}^2)$$
$$\bar{p} = 3.5 \times 10^4\ \text{N/m}^2$$

وهكذا نجد أنّه عند رفع مستوى المياه الجوفية، فإنّ الضغط الفعّال ينقص بشكل كبير عند النقطة (أ)، ولأنّ الضغط الفعّال جزء من معادلة مقاومة قصّ التربة، فنتعلم مبدأً مهمًّا هو: يزداد ضغط الماء، وتقلّ قوّة القصّ إذا ارتفع مستوى المياه الجوفية، وبالعكس إذا انخفض مستوى المياه الجوفية تزداد قوّة القصّ، إنّ لهذه العلاقة العكسية بين ضغط الماء وقوّة القصّ عواقب وخيمة في الجيولوجيا البيئية، على سبيل المثال: إذا أردنا تثبيت انزلاق أرضي، فقد نحاول تصريف الكتلة المحتمل انزلاقها، بتخفيض مستوى المياه الجوفية، وزيادة قوّة قصّها، ومن ثم، التقليل من احتمالات انهيارها.

تنتج قوة التربة عادة عن التماسك والاحتكاك الداخلي كليهما؛ لأنّ معظم أنواع التربة مخلوطة من الجسيمات الخشنة والناعمة، وعلى الرغم من خطورة التعميم، إلّا أنّنا نستطيع القول: إنّ قوّة التربة الطينية والعضوية تميل لأن تكون أقلّ من قوّة التربة الأكثر خشونة.

قد يؤدي الغطاء النباتي (vegetation) دورًا مهمًّا في قوّة التربة، على سبيل المثال: قد توفّر جذور الأشجار تماسكًا ظاهريًّا كبيرًا، من خلال خصائص الربط (binding) لحصائر الجذور المستمرّة، أو بتثبيت الجذور المنفردة بالصخر الأصلي تحت التربة الرقيقة (قليلة السمك) في الميول شديدة الانحدار.

تقيس **الحساسية** (**sensitivity**): التغيّرات في قوّة التربة الناتجة عن الاضطرابات، مثل الاهتزازات أو الحفريات، فالتربة الرملية والحصوية التي لا تحتوي على الطين هي الأقلّ حساسية، إذ تزداد الحساسية تدريجيًّا مع ازدياد نسبة المواد الناعمة، يضاف إلى ذلك أنّ بعض أنواع التربة الطينية تفقد (75%) أو أكثر من قوّتها بعد تعرّضها للاضطراب[11]، وإنّ الرمل ذا القيم المرتفعة من المحتوى المائي، مثل السوائل قد يتصرّف عند تعرّضه للخضّ أو الاهتزاز، وتسمّى هذه العملية الإسالة (*liquefaction*)، فإذا وقفت على رمل الشاطئ المبلول، فتلاحظ سيلان الرمل أحيانًا، وغوص قدمك قليلًا فيه. نوقش موضوع الإسالة في الفصل الثامن.

الانضغاطية (**compressibility**): هي مقياس ميل التربة للتصلب بالانضمام أو بنقصان حجمها، وتعتمد جزئيًّا على الطبيعة المرنة لجسيمات التربة، وترتبط ارتباطًا مباشرًا بهبوط المنشآت، الذي قد يؤدّي إلى تشقّق الأساسات والجدران إذا كان كبيرًا، تُعدّ انضغاطية المواد الخشنة، مثل الحصى والرمل منخفضة، وعليه، فإنّ الهبوط في مثل هذه المواد أقلّ كثيرًا من الهبوط في التربة العضوية أو التربة الناعمة (الأخيرتان عاليتا الانضغاطية).

قابلية الحت (**erodibility**): تشير إلى سهولة إزالة المواد بالريح أو الماء، وتشمل المواد سهلة الإزالة (التربة التي معامل حتّها عالٍ) الغرين غير المحمي، والرمال والمواد الأخرى السائبة وغير الملتحمة، فالتربة المتماسكة أو الملتصقة تحتوي على أكثر من (20%) طينًا، والتربة الملتحمة طبيعيًّا ليس من السهل تحريكها بالحتّ الهوائي أو المائي، وعليه، فإنّ معامل حتّها منخفض.

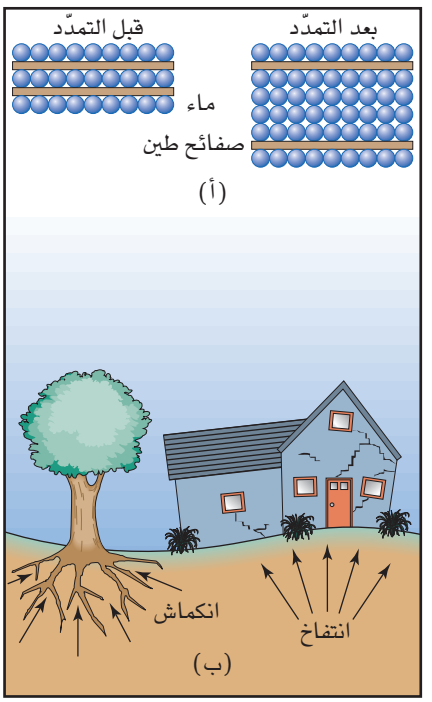
النفاذية (**permeability**): هي مقياس لسهولة حركة السوائل خلال المادّة، وأعلى قيمها في الحصى والرمال النظيفة، وتقلّ مع ازدياد نسبة الحبّات الناعمة فيها، أمّا نفاذية المعادن الطينية فهي في العادة منخفضة جدًّا (قريبة من الصفر).

التآكل (**corrosion**): عملية تجوية بطيئة أو تحلل/ فساد كيميائي، يبدأ من السطح إلى داخل الأرض، إذ تتعرّض الأشياء المدفونة في الأرض كلّها: أنابيب، كوابل، مثبتات وأعمدة السياج (*fenceposts*) للتآكل، وتعتمد قابلية تربة ما للتآكل على كيميائيّتها والمادّة المدفونة فيها، وكمّية الماء فيهما، وقد لوحظ أنّ التربة التي توصّل التيار الكهربائي بصورة أكثر سهولة (قليلة المقاومة لتوافر الماء فيها) فإنّ جهد التآكل فيها أعلى[14].

سهولة الحفر والإزالة (**ease of excavation**): تتعلّق بالطرق أو المعدّات المطلوبة لإزالة التربة خلال عملية الإنشاء، توجد ثلاث تقنيات رئيسة للحفر والإزالة، إذ يتمّ الحفر والإزالة العاديان (*common excavation*) عن طريق الجرّافات والغارفات (*earth mover، backhoe، or dragline*)، حيث تزيل التربة دون حاجة إلى كشطها أوّلًا (معظم أنواع التربة يمكن إزالتها بهذه الطريقة)، وتتطلّب الإزالة بالحرث (*rippable excavation*) تكسير التربة عن طريق محراث مسنن خاصّ قبل إزالتها (من أمثلتها التربة المرصوصة أو الملتحمة جيّدًا)، أمّا التفجير (*blasting*) أو قطع الصخر (*rock cutting*)، فهي الطريقة الثالثة والأكثر تكلفة (على سبيل المثال: فإنّ التربة الملتحمة بالسيليكا تُعدّ مثل الخرسانة، فقد تحتاج قبل إزالتها إلى أن تقطع بالحفّارة (الكمبريسة، *Jackhammer*).

تشير **احتمالية الانكماش والانتفاخ** (**shrink-swell potential**) إلى ميل التربة لاكتساب الماء أو فقدانه، وتسمّى **تربة متمدّدة** (**expansive soil**)؛ لأنّها تميل إلى زيادة الحجم ونقصانه، مع تغيّر محتواها المائي، حيث ينتج الانتفاخ عن الانجذاب الكيميائي لجزيئات الماء إلى الجسيمات الميكروسكوبية المسطّحة أو الصفائح المكوّنة للمعدن الطيني التي تتألف من ذرات السليكا والألمونيوم والأكسجين، وتضاف طبقات من الماء بين الصفائح مع تمدّد الطين أو انكماشه (الشكل 3-6أ)، ويكون معامل لدونة التربة المتمدّدة عاليًا أحيانًا، ما يشير إلى ميل التربة لأخذ كمّية كبيرة من الماء في حالة اللدونة، يضاف إلى ذلك أنّ المونتموريلونيت هو المعدن الطيني الشائع المرتبط بمعظم أنواع التربة الأكثر تمدّدًا، إذ يمكنه التمدّد إلى (15) ضعف حجمه الأصلي في حالة توافر الماء، ولحسن الطالع، فإنّ معظم أنواع التربة تحتوي على كمّيات محدودة منه؛ لذلك من غير المعتاد أن تنتفخ التربة المتمدّدة أكثر من (50%-25)، إلّا أنّ أيّ زيادة في الحجم أكثر من (3%) تُعدّ خطرًا محتملا[50].

تتسبّب التربة المتمدّدة في الولايات المتحدة في مشكلات بيئية خطيرة، وهي أحد أهمّ أخطارنا الطبيعية تكلفة، فهي مسؤولة عن الخراب في الطرق السريعة والمباني والمنشآت الأخرى، الذي تصل قيمته السنوية أكثر من (3) بلايين دولار، إذ يُبنى كل عام أكثر من (250000) منزل على التربة



(جـ)

الشكل (3–6) التربة المتمدّدة. (أ) تمدّد الطين (مونتموريلونيت) عندما تدخل جزيئات الماء بين صفائحه. (ب) تأثيرات انكماش التربة وانتفاخها عند موقع منزل (*after Mathewson and Castleberry*, Expansive soils: their engineering geology, Texas A & M University). (جـ) الشقّ في الجدار ناتج عن تمدّد التربة الطينية تحت الأساس (*Courtesy of U. S. Department of Agriculture*).

المتمدّدة، وستعاني (60%) منها تقريبًا خرابًا ثانويًّا، مثل شقوق في الأساسات، أو الجدران أو الممرّات (walkways)، (الشكل 3–6 ب، جـ)، وستتعرّض (10%) منها لخراب كبير–بعضه لا يمكن إصلاحه [16،17].

تنتج الأضرار (*damages*) في المنشآت المبنية على التربة المتمدّدة عن تغيّرات حجمية في التربة، استجابة لتغيّرات المحتوى المائي، وتشتمل العوامل المؤثّرة في المحتوى الرطوبي لتربة متمدّدة على: المناخ (*climate*)، والغطاء النباتي (*vegetation*)، والطبوغرافيا (*topography*)، والتصريف (*drainage*)، والتحكّم في الموقع (*site control*)، ونوعية الإنشاء (*quality of construction*)، ومن المحتمل أن تعاني المناطق (مثل جنوب غرب الولايات المتحدة، التي تتمتّع بفصل بارد ملحوظ يعقبه فصل جافّ، يؤدي إلى تتابع يتعاقب فيه الانكماش والانتفاخ بصورة منتظمة) مشكلات التربة المتمدّدة أكثر من المناطق التي يتوزّع هطل المطر فيها بانتظام على طول العام، ويمكن أن يتسبّب الغطاء النباتي في تغيّرات لمحتوى التربة الرطوبي، إذ تسحب الأشجار الكبيرة خاصة خلال الفصل الجافّ رطوبة التربة المحلية، وتستعمل جزءًا كبيرًا منها، ما يسهّل حدوث انكماش التربة (الشكل 3–6 ب)، يجب التوقّف عن زراعة الأشجار بالقرب من أساسات المنشآت الخفيفة (مثل البيوت) في مناطق التربة المتمدّدة.

للطبوغرافيا والتصريف أهميّة كبيرة؛ إذ ينتج عن الظروف الطبوغرافية والتصريفية السيئة تجمّع للماء على صورة برك حول المنشآت أو بالقرب منها، ما يؤدّي إلى زيادة انتفاخ الأطيان القابلة للتمدّد، ويمكن لأصحاب البيوت والمقاولين منع حصول هذه المشكلة بصورة كبيرة، فيمكن من خلال اختبارات قبل الإنشاء تحديد أنواع التربة ذات القدرة على الانكماش والانتفاخ، إضافة إلى أنّ التصميم الجيّد للمصارف تحت الأرض ومزاريب مياه الأمطار والأساسات يقلل من الخسائر المتعلقة بالتربة المتمدّدة إلى الحدّ الأدنى، حيث يحسّن التصريف، ويسمح للأساس باستيعاب بعض الانكماش والانتفاخ في التربة[16].

يجب أن يكون واضحًا أنّ بعض أنواع التربة مرغوب فيها في بعض الاستعمالات أكثر من غيرها، ولن يقوم المخططون المعنيون باستعمالات الأراضي بإجراء فحوص التربة لتقييم خصائصها الهندسية، لكنّهم سيكونون أكثر استعدادًا ومؤهلين بصورة أفضل للتصميم، إذا فهموا المصطلحات الأساسية ومبادئ المواد الأرضية، آخذين الطبيعة في الحسبان، ومستفيدين من الظروف الجيولوجية. لقد أسّست مناقشتنا للخواصّ الهندسية على مبدأين: الأول، وجوب تجنّب التربة الطينية في المشروعات التي تحتوي على منشآت ضخمة، أو المنشآت التي يسمح فيها بقليل من الهبوط، أو المشروعات التي تحتاج إلى تربة مصرّفة بصورة جيّدة؛ وذلك لأنّ التربة الطينية منخفضة القوّة والنفاذية، ومرتفعة الحساسية والانضغاطية، ومختلفة في قدرتها على الانكماش والانتفاخ، والمبدأ الثاني، تجنّب التربة عالية التآكل أو تلك التي تتطلّب طرقًا خاصّة في الحفر والإزالة، أو التعامل معها بحرص زائد، واستعمال طرق أو موادّ خاصّة بها، وذلك إن لم يكن بالإمكان تجنّبها، ما يستدعي تنبؤ تكلفة أوّليّة (تخطيط، تصميم، إنشاء) أعلى من المعدّل، وقد تكون التكاليف الثانوية (التشغيل والصيانة) أعلى كذلك. يلخّص الجدول (3–3) خواصّ التربة الهندسية من خلال تصنيف التربة الموحّد.

7-3 سرعات حتّ التربة
RATES OF SOIL EROSION

تختلف سرعات حتّ التربة بوصفها حجمًا أو كتلة أو وزنًا (فمنها حتّ من مكان ومساحة معيّنين في وقت معيّن مثلا، كجم سنويًّا لكلّ فدّان) باختلاف خواصّها الهندسية، واستعمال الأرض، والتضاريس والمناخ.

وتشتمل عمليّات حتّ التربة على: اصطدام حبّات المطر (raindrops) مع الأرض الجرداء، والجريان الصفائحي (sheet-flow) للماء فوق الأرض، والجداول الصغيرة وحتّ القنوات (gully erosion)، انظر الشكل (3–7)،

الجدول (3–3): الحجوم والأوصاف والخصائص العامّة للتربة

التربة	مكوّن التربة	الرمز	الوصف ومدى الحجم الحبيبي	الخصائص المهمّة
مكونات خشنة الحبيبات	جلاميد	-	صخور حبيباتها دائرية–حادة، كثيفة، قاسية متوسّط القطر أكثرمن (25.6 cm)	الجلاميد والحصىالكبيرة مستقرّة جدًّا، تستخدم في الردم والسكك الحديدية، تحسّن استقرارية الأساسات بسبب حجمها ووزنها وتوافرها في رسوبيّات طبيعية. زوايا حبيباتها تزيد الاستقرار.
	حصى كبيرة	-	صخور حبيباتها دائرية –حادة، كثيفة، قاسية متوسّط القطر (6.5 – 25.6 cm)	
	حصى	G	صخور حبيباتها دائرية –حادة، كثيفة، قاسية متوسّط القطر أكثر من (2 mm)	الحصى والرمل لها الخصائص الهندسية نفسها تقريبًا، مع اختلاف الدرجة، سهلة الرّصّ، وقليلة التأثّر بالرطوبة والانجماد. الحصى فيها أكثر نفاذية واستقرارًا، ومقاومة للحتّ والظاهرة الأنبوبية من الرمل. الحصى والرمال جيّدة التدرّج وأقلّ نفاذية وأكثر استقرارًا من الرمال والحصى فقيرة أو منتظمة التدرج.
	رمل	S	صخور حبيباتها دائرية–حادة، كثيفة، قاسية متوسّط القطر (0.074) إلى (2 mm)	
مكونات ناعمة الحبيبات	غرين	M	حبيبات قطرها (0.074–0.004) ملم، غير لدنة أو لدنة قليلًا بغض النظر عن الرطوبة، تظهر عديمة إلى قليلة القوّة عندما تجفّ بالهواء	الغرين غير مستقرّ خصوصًا مع ارتفاع الرطوبة، وفيه نزعة لأن يصبح سريعًا عند التشبع، نسبيًّا غير منفذ صعب الرّصّ، له قابلية عالية للتقبّب بالانجماد، سهل الحت أو النحر، قابل للأنبوبية والغليان. حبيباته الثقيلة تقلّل الانضغاطية، بينما الحبيبات الرقائقية، مثل الميكا تزيد الانضغاطية، وتنتج غرينًا مرنًا.
	طين	C	قطرها أقلّ من (0.004 mm)، تظهر خصائص لدونة ضمن مدى معيّن من الرطوبة، وتظهر قوّة لا بأس بها عندما تجفّ بالهواء	القوّة التماسكية أو التلاصقية هي الخاصية المميزة للطين، وتزيد مع نقص الرطوبة، نفاذية الطين قليلة جدًّا، وهو صعب الرّصّ عندما يكون مبتلا، ومستحيل التصريف بالوسائل الاعتيادية. يصبح مقاومًا للحتّ والأنبوبية عندما يرصّ، ليس عرضة للتقبّب بالانجماد، يتمدّد ويتقلّص عند تغيّر الرطوبة. لا تتأثّر الخصائص بالحجم والشكل (مستوية – صفيحية) فقط، بل بالمكوّنات المعدنية كذلك. بوجه عام، معدن المونتموريللونيت الطيني له أكبر أثر سيّئ في الخصائص، والكاولين أقلّ تأثير سيّئ.
	عضوية	O	مادّة عضوية بحجوم مختلفة ومراحل متباينة من التحلل	تزيد الانضغاطية، وتقلل استقرارية، المكوّنات ناعمة الحبيبات، حتى لو وجدت المادّة العضوية بكمّيات متوسّطة. قد تتحلل مخلّفة فراغات أو تغيّرًا في خصائص التربة عن طريق الفساد الكيميائي، لذلك فالتربة العضوية غير مرغوبة في المشروعات الهندسية.

* يشير مصطلح جيّد التدرّج (well graded) = رديء الفرز (poorly sorted)، أو التصنيف إلى توافر أكثر من حجم حبيبي.

ملحوظة: الجلاميد والحصى الكبيرة غير معروفة، ولذلك ليس لها رموز في التصنيف الموحّد للتربة، المدى الحجمي والحدّ العلوي للطين كذلك صنّفت بحسب (*Wentworth*) 1922م. المصدر بعد:

Wagner, the use of the Unified Classification System by the Bureau of Reclamation, International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Proceedings, London, 1957.

وتعدّ المسيل (انسيابي) (rills) قنوات مستقيمة أحيانًا، ولها ميل الأرض نفسها التي تتكوّن فيها، بينما الروافد (gullies) فهي قنوات أكبر حتًّا في منحدر أرضيّ، وعليه، فإنّ ميلها أقلّ من ميل الأرض التي تكوّنت فيها، إنّ الميل الأرضي الذي نتحدث عنه هو سفح تلّة منحدرة، حتى لو كان انحدارها لطيفًا جدًّا لا يتجاوز درجة واحدة، وبالطبع، يمكن لبعض التلال أن تكون ذات انحدارات أكثر كثيرًا، وكلّما كان المنحدر التلي أطول وأكثر انحدارًا، كانت أل (gullies) المتكوّنة أطول وأعرض وأعمق، انظرالشكل (3–8).

توجد طرق عدّة لقياس سرعات حتّ التربة، إلّا أنّ أكثرها مباشرة، عمل قياسات فعلية للمنحدرات سنوات عدّة، واستعمال قيمها لتمثيل ما يحدث في منطقة أوسع خلال فترة أطول، واستخدام هذه الطريقة قليل؛ لصعوبة الحصول على المعطيات من المنحدرات في أحواض التصريف المختلفة.

الطريقة الأخرى هي استخدام المعطيات المستقاة من إعادة مسح الخزانات المائية، لحساب التغيّر في سعتها التخزينية للماء (storage capacity of water)، انظرالجدول (3–4)، ويخبرنا تراجع السعة التخزينية للماء

الشكل (3–7) القنوات الصغيرة والكبيرة، حتّ التربة في بيدمونت جنوب شرق الولايات المتّحدة. (*Edward A. Keller*)

الشكل (3–8) حتّ جديّ للتربة، وتكوّن القنوات في وسط كاليفورنيا له ارتباط بتحويل مياه الأمطار الجارية. لم تكن أيّ قنوات متوافرة على السطح قبل التقاط هذه الصورة ببضعة أشهر. (*Edward A. Keller*).

عن الرسوبيّات المختزنة، ويمكننا أن نحصل على منحنى لسرعة إنتاج الرسوبيّات في منطقة كاملة، إذا استخدمنا معطيات خزانات مختلفة، والشكل (3–9) مثال على مثل هذا المنحنى لمناطق التصريف في جنوب غرب الولايات المتّحدة.

تستحق هذه الطريقة الاستعمال إلّا أنّها غير موثوقة إذا استعملت للأحواض التصريفية الصغيرة، حيث تتغيّر إنتاجية الرسوبيّات بصورة كبيرة جدًّا، لاحظ في الشكل (3–9) أن هناك علاقة عكسية بين إنتاج الرسوبيّات في وحدة المساحة ومساحة حوض التصريف (تسهم منطقة أعلى الوادي بالماء والرسوبيّات للخزّان)، وأنّ الإنتاجية الرسوبيّة لمساحات التصريف الأصغر أعلى لكلّ وحدة مساحة؛ لأنّها أكثر انحدارًا، وعليه، فإنّ احتمالية الحتّ فيها أكبر.

الطريقة الأخيرة هي استعمال معادلة لحساب سرعات حتّ الرسوبيّات في موضع معيّن، وربما أن المعادلة العالمية لفقدان التربة، هي المعادلة الأكثر استعمالا، حيث تستخدم معطيات حول الجريان من مياه الأمطار، وحجم المنحدر وشكله، وغطاء التربة، وممارسات التحكّم في الحتّ؛ للتنبؤ بكمّية التربة المنحتّة من موقعها الأصلي[19]. (انظر نظرة متفحّصة: المعادلة العالمية لفقدان التربة).

3-8 الزراعة والمحافظة على التربة

AGRICULTURE AND SOIL CONSERVATION

يُعدّ حتّ التربة باستخدام الطرق الزراعية التقليدية من المشكلات البيئية الرئيسة؛ لأنّه أسرع عشرات إلى مئات المرّات من إنتاج التربة الجديدة عن طريق العمليات الجيولوجية، ويقدّر أنّ ثلث الأرض القابلة للزراعة (التربة) منذ بدء الزراعة قبل آلاف السنين فُقدت بالحتّ، وأنّ أغلبية ما فُقد من

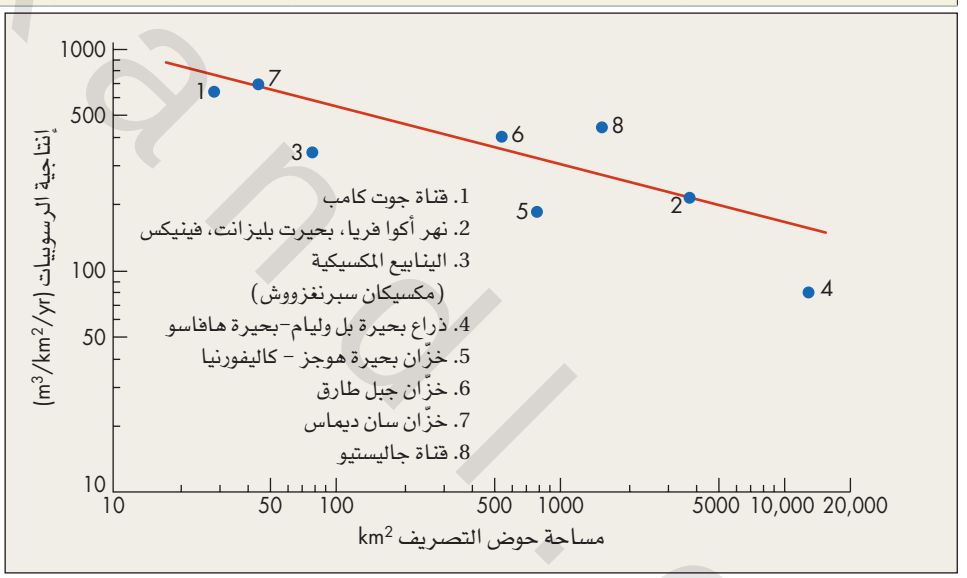
الجدول (3–4): ملخّص سعة الخزان (reservoir capacity)، والاستنزاف التخزيني (storage depletion) في الخزّانات على مستوى الولايات المتّحدة.

سعة الخزّان (فدّان-قدم)[أ]	عدد الخزّانات	مجموع السعة التخزينية الأوليّة (فدّان-قدم)[أ]	استنزاف التخزين الكلي (فدان-قدم)[أ]	استنزاف التخزين الكلي %	استنزاف التخزين لكلّ خزّان المتوسّط % لكلّ سنة	استنزاف التخزين لكلّ خزّان الوسيط % لكلّ سنة	فترة التسجيل سنة
10–0	161	685	180	26.3	3.41	2.20	11.0
(100)– (10)	228	8199	1711	20.9	3.17	1.32	14.7
(1000)– (100)	251	97044	16224	16.7	1.02	0.61	23.6
(10000)– (1000)	155	488374	51096	10.5	0.78	0.50	20.5
(100000)– (10000)	99	4213330	368786	8.8	0.45	0.26	21.4
(1000000)– (100000)	56	18269832	634247	3.5	0.26	0.13	16.9
أكثر من مليون	18	38161556	1338222	3.5	0.16	0.10	17.1
المجموع أو المتوسّط	968	61239020	2410466	3.9	1.77	0.72	18.2[ب]

أ. 0.1 فدّان-قدم يساوي (1234 m^3) تقريبًا.

ب. القيمة الوزنية لمدة التسجيل للسعة هي: (1, 16) سنة للخزّانات كلّها. المصدر بعد:

Source: F. E. Dendy, "Sedimentation in the Nation's Reservoirs," Journal of Soil and Water Conservation 23, 1968.



الشكل (3–9) تقدير إنتاجية الرسوبيّات. إنتاجية الرسوبيّات لجنوب غرب أمريكا اعتمادًا على سرعات تراكم الرسوبيّات في الخزّانات المائية. المعلومات من:

(R. I. Strand.1972. Present and Prospective Technology for Predicting Sediment Yield and Sources. Proceedings of the Sediment-Yield Workshop. U. S. Department of Agriculture Publication ARS-5-40, 19750.13).

التربة حدث خلال ألـ (40) سنة الأخيرة، أي إنّنا نقوم باستهلاك التربة التي يعتمد إنتاجنا من الغذاء عليها.

تدمّر الزراعة التقليدية التي تشمل حرث التربة في خطوط مستقيمة أو أثلام (Furrows) التربة؛ لأنّ إزالة الغطاء النباتي يكشف التربة، ويعرّضها للحتّ الريحي والمائي، وحتّى في المنحدرات اللطيفة (خفيفة الميل) تعمل الأثلام على تجميع الماء في قنوات في المنطقة المنخفضة من المنحدر، ما يؤدّي إلى زيادة احتمال حدوث الحتّ، (انظر الصورة الافتتاحية لحتّ حقل من القمح)، إنّ تقليل الحتّ هو المفتاح في المحافظة على موارد التربة لنسب أقلّ من نسب تكوّنها في الطبيعة.

تشتمل بعض الممارسات للمحافظة على التربة ما يأتي:

- **الزراعة دون حراثة (*No-till agriculture*)**: لا تُستعمل الحراثة في هذا النوع من الزراعة، وهو يشكّل خطّة متكاملة لزراعة المحاصيل وحصدها/ قطفها دون حرث، وفي الوقت نفسه يقلل من الأعشاب الضارّة والحشرات، وهي الطريقة الأكثر احتمالًا في تقليل حتّ التربة الناجم عن استعمالها في الزراعة.
- **الحرث الكنتوري (*Contour Plowing*)**: يشتمل هذا على الحرث المتوافق مع تضاريس الأرض، حيث تحرث الأثلام في اتجاه معامد لميل الأرض، وليس في اتجاه ميل الأرض، وهي طريقة شائعة الانتشار وفعّالة في تقليل الحتّ الناتج عن المياه الجارية.
- **عمل مصاطب في المنحدرات (*Terracing slopes*)**: يمكن إدارة حتّ التربة في المنحدرات عالية الميل والتقليل من تأثيره، بعمل مصاطب لإنتاج مناطق مستوية تصلح للزراعة، واستخدام الجدران الاستنادية المبنية من الحجر أو الموادّ الأخرى، لتشكّل شرفات، وتزيد من استقرارية المنحدر، عمل المصاطب شائع في المزارع في مختلف أنحاء العالم، ومن المشكلات المتعلقة بهذه العملية أنّ المصاطب ستتعرّض للحتّ مع تدهور الشرفات أو غسلها،

Obeikandl.com

إذا لم تتمّ المحافظة عليها بصورة صحيحة، وهذه مشكلة حقيقية قد تؤدّي في المناطق التي فيها عدم استقرار سياسي (بسبب الحرب أو الأمراض) إلى هجر حقول الشرفات أو المصاطب.

9-3 التلوّث بالرسوبيّات SEDIMENT POLLUTION

الرسوبيّات أحد أهمّ الملوّثات في بيئتنا، ويؤدّي التلوّث بها في كثير من المناطق إلى خنق الجداول، وملء البحيرات والخزّانات والبرك وقنوات التصريف (drainage ditches) والموانئ، ويدفن الغطاء النباتي، ويؤدي ذلك بوجه عام إلى الأذى (nuisance) الذي تصعب إزالته، فالرسوبيّات الملوّثة الطبيعية (التربة المنحتّة) هي في الحقيقة مورد يتوافر في المكان غير الصحيح، يستنزف التربة في المكان الذي تنشأ فيه، ويقلّل من جودة المياه التي يدخلها، وقد يعمل على ترسيب موادّ عقيمة على الأرض المنتجة، أو الأراضي المفيدة الأخرى. يبيّن الجدول (3-4) نسب تناقص التخزين بسبب امتلاء البرك والخزّانات المائية بالرسوبيّات، إذ تشير المعطيات إلى أنّ الخزّانات المائية الصغيرة، سوف تمتلئ بالرسوبيّات خلال بضعة عقود، بينما تحتاج الخزّانات الأكبر إلى مئات السنين.

تتكوّن معظم الرسوبيّات الملوّثة من قطع الصخور والمعادن، التي تتراوح في حجمها من حبيبات الرمل (قطرها أقلّ من (2 mm)) إلى الغرين والطين، أو الجسيمات الدقيقة الغروية (colloidal)، أمّا الرسوبيّات الملوّثة بفعل الإنسان، فتشتمل على حطام ناجم عن التخلص من النفايات الصناعية والإنتاجية والعامّة، وتحتوي على القمامة (trash) التي تُلقى بصورة مباشرة أو غير مباشرة في المياه السطحية (لا يقتصر وجود النفايات (litter) على جوانب الطرق والمتنزهات)، حيث إن معظم هذه الرسوبيات ناعمة جدًّا، ويصعب تمييزها عن الرسوبيات الطبيعية إلا إذا احتوت على معادن غريبة أو بعض المميزات الخاصة، وقطع استمرارية سطح الأرض، كما يتم في الإنشاء والزراعة وإزالة الغابات وشق القنوات هي المصادر الرئيسة للرسوبيات الملوثة غير الطبيعية، باختصار جزء كبير من التلوّث الرسوبيّ ناتج عن استخدام الإنسان للبيئة، والتغيّر الحضاريّ المستمرّ في الخطط والاتجاهات، إذ لا يمكن القضاء على هذه المشكلة أو التقليل من آثارها.

في هذا القرن، ازداد تأكيد المحافظة على التربة والماء بصورة كبيرة في الولايات المتّحدة، وقد ركّزت البرامج الأولى التي اهتمّت بالمحافظة على التربة والماء على استقرارية المناطق التي تتعرّض لحتّ مائي أو هوائي مفرط، إضافة إلى التحكّم في الفيضانات وماء الريّ في الأراضي الجافّة ونصف الجافّة، ومع تقدّم هذه البرامج تمّ اكتشاف التأثيرات البيئية الضارّة الناتجة عن بعض أنواع العمل، مثل: حتّ الأودية السريع، وامتلاء الخزّانات المائية بالغرين بسرعة أيضًا، وفي الوقت نفسه ازداد الطلب على توسيع استخدام المناطق المطوّرة لأغراض الترويح أو التزويد بالماء أو الملاحة، وقد أدّت التأثيرات البيئية الجديدة هذه، وما رافقها من متطلبات متزايدة عليها إلى إجراء البحوث والتطوير؛ لإيجاد حلول للمشكلات الجديدة أو التي أعيد اكتشافها، وطوّرت تغييرات في التصميم وطبّقت، لحلّ مشكلات الحتّ والترسيب، بما في ذلك الحرث الكنتوري، وتغيير طرق الزراعة وإنشاء سدود وبرك صغيرة؛ للاستفادة من المياه الجارية واصطياد الرسوبيّات.

حاليًّا، تشغل المشكلات الرئيسة نفسها -التحكّم في الحتّ، والتلوّث بالرسوبيات- جزءًا كبيرًا من اهتمام الجمهور، فقد ازدادت مصادر الرسوبيّات لتشمل تلك الناتجة عن تطوير الأراضي، والتعدين، وإنتاج مركبات، ونواتج جديدة غير مألوفة، وقد نتجت كلّها عن مصادر تحاول أن تجعل الحياة أكثر رخاءً، ومن الجدير بالذكر أنّ التلوّث بالرسوبيّات يؤثّر في الأنهار والجداول والأنهار العظمى وحتى المحيطات، ويبدو أنّ هذه المشكلات ستظل ملازمة لنا على المدى المنظور، وأنّ حلولها ستحتوي على ممارسات مدروسة بصورة أفضل، للمحافظة على البيئة، خصوصًا في مناطق التحضّر، حيث تنتج كمّيات هائلة عن الرسوبيّات خلال عملية الإنشاء (انظر الدراسة الإفرادية: التقليل من التلوّث بالرسوبيّات في Maryland). يبيّن الشكل (3-10) خطّة للتحكّم في الرسوبيّات والحتّ في منطقة إعمار تجاري، تستدعي عمل تحويلات وحوض رسوبيّ لتجميع المياه الجارية والرسوبيّات، ما يساعد على منع التلوّث الرسوبي، ويبيّن الشكل (3-11) مقطعًا عرضيًّا عامًّا لحوض تحكّم رسوبي.

نظرة متفحّصة A CLOSER LOOK

المعادلة العامة لفقدان التربة Universal Soil Loss Equation

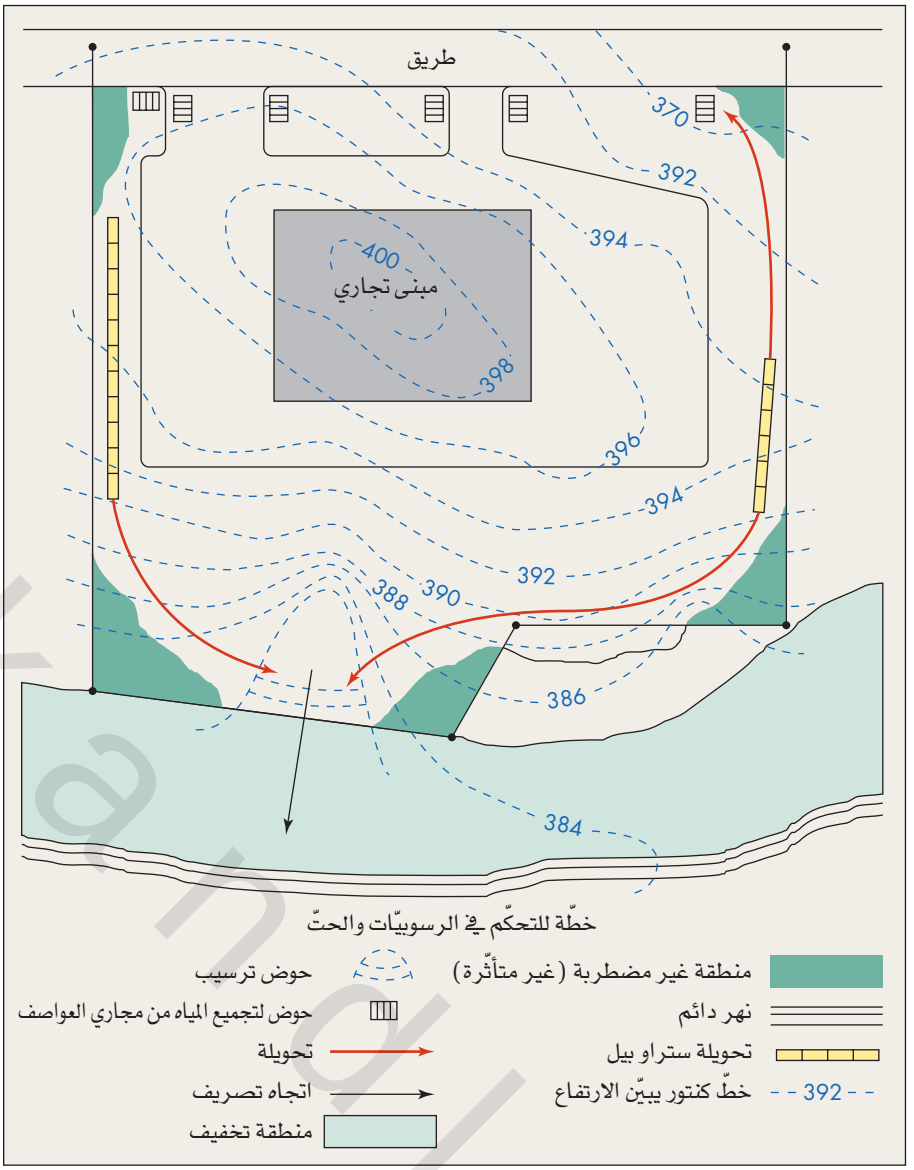
المعادلة العالمية لفقدان التربة هي:

$$A = RKLSCP$$

حيث

- A = معدّل فقدان التربة السنوي للمكان المعني على المدى الطويل
- R = معامل الحتّ من مياه الأمطار الجارية على المدى الطويل
- K = دليل قابلية التربة للحتّ
- L = المعامل الطولي للمنحدر
- S = معامل ميل المنحدر
- C = معامل غطاء التربة
- P = معامل التحكّم في الحتّ

تكمن فائدة استخدام هذه المعادلة في أنّه بمجرّد تحديد المعاملات المختلفة، وضربها ببعضها للحصول على فقدان التربة المتوقّع، يمكن تطبيق ممارسات المحافظة من خلال العوامل (C) و (P)، لتقليل فقدان التربة إلى المستوى المطلوب، ويمكن استخدام المعاملات (K) و(L) و(S) في حالة المنحدرات القابلة للتشكّل للوصول إلى النتائج المطلوبة بفقدان الرسوبيّات، وهذا مهمّ خصوصًا عند تقييم المواقع الإنشائية، مثل تلك التي ستطوّر إلى مراكز تسوّق، أو أشرطة من الأرض (corridors)، مثل خطوط الأنابيب والطرق السريعة، يضاف إلى ذلك إمكانيّة استخدام المعادلة في فقدان التربة بالنسبة إلى مواقع الإنشاء؛ بهدف التنبؤ بتأثير فقدان الرسوبيّات في الجداول المحلية والموارد الأخرى، والخروج بسياسات إستراتيجية للتقليل من هذا التأثير [18، 19].



الشكل: (3–10) خطّة للتحكّم في الحتّ. مثال على خطّة للتحكّم في الرسوبيّات والحتّ في منطقة تنمية تجارية.

(*Courtesy of Braxton Williams, Soil Conservation Service*)

(384-400 ft = 117-122 m)

CASE HISTORY تاريخ حالة

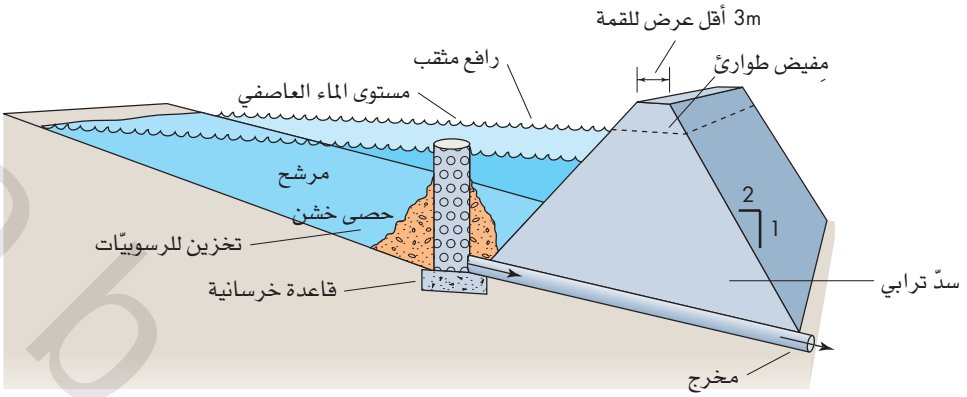
تقليل التلوّث بالرسوبيّات في ماريلاند Reduction of Sediment Pollution in Maryland

توضّح دراسة أجريت في ولاية ماريلاند أنّ إجراءات التحكّم في الرسوبيّات يمكنها التقليل من التلوّث بها في المناطق التي تُحوّل إلى حضرية، فقد قيست الرسوبيّات المعلقة التي ينقلها الفرع الشمالي الغربي من نهر (Anacostia) بالقرب من (Colesville) في (Maryland) لحوض تصريف مساحته ($54.6\ km^2$) خلال مدّة امتدت إلى (10) سنوات، واشتمل الإنشاء السنوي خلالها على (3%) من مساحة الحوض، إذ بلغت المساحة الكلية للجزء الذي تمّ تحويله إلى منطقة حضرية في نهاية ألـ (10) سنوات قرابة (20%).

لقد مثّل التلوّث بالرسوبيّات مشكلة؛ لأنّ التربة قابلة للحتّ، وهناك ترسيب كافٍ لضمان حتّها، عندما لا تكون محمية بغطاء نباتي، حيث يحدث انتقال الرسوبيّات في معظمه خلال العواصف المطرية في الربيع والصيف[21]، وقد بدئ ببرنامج للتحكّم في الرسوبيّات، فخُفّض إنتاجها بنسبة (35 %) تقريبًا.

أمّا المبادئ الأساسية للتحكّم في الرسوبيّات فهي: تصميم التطوّر بحسب التضاريس الطبيعية، وكشف أقلّ قدر ممكن من الأرض، وتوفير الحماية للتربة المكشوفة، وتقليل المياه الجارية في المناطق الحرجة إلى الحدّ الأقصى، واصطياد الرسوبيّات المنحتّة في موقع الإنشاء، وإجراءات خاصة تعمل على التدريج المبرمج للتقليل من زمن انكشاف التربة، والحماية بالمهاد (mulch) والنباتات المؤقتة للتربة المكشوفة، وتحويل الرسوبيّات عن طريق المرتفعات (berms)، إضافة إلى زيادة استقرار قنوات الماء وأحواض الترسيب، يُشار إلى أنّ دراسة (Maryland) استنتجت أنّه يمكن التحكّم في أيّ زيادة للرسوبيّات، إذا ما تمّ توقيت التدريج الرئيس (major grading) خلال الفترات التي يحتمل أن يكون الحتّ فيها منخفضًا، وإذا صُمّمت مصايد رسوبيّة بصورة أفضل، فيمكنها السيطرة على المياه الجارية في أثناء العواصف[21].

obeikandl.com



الشكل (3–11) أحواض الترسيب (sediment basins). مقطع عرضي في حوض ترسيب، حيث تستقرّ الرسوبيّات، ويرشح الماء خلال الحصى السائب إلى مخرج أنبوبي. تُزال الرسوبيّات المتراكمة ميكانيكيًّا بصورة دورية.

After Erosion and Sediment Control. 1974. Soil Conservation Service

10-3 استعمال الأراضي والمشكلات البيئية في التربة

LAND USE AND ENVIRONMENTAL PROBLEMS OF SOILS

تؤثّر أنشطة الإنسان في التربة من خلال تأثيرها في نمط المياه السطحية الجارية وكمّيتها وشدّتها، وفي كلّ من الحتّ والترسيب، حيث يُعدّ تحويل الأراضي الطبيعية إلى استعمالات متباينة ومعالجات المياه الأكثر أهمّية من بين هذه التأثيرات.

يبيّن الشكل (3–12) التغيّرات في الماء والعمليات الترسيبية، التي قد تحدث في أثناء تعديل اللاندسكيب من غابة طبيعية (الشكل 3–12أ) إلى استعمالات أخرى، إذ تعدّل الأشجار من تأثيرات الهطل، باعتراض المطر في أثناء سقوطه، وبإعادة الماء إلى الجوّ خلال التبخّر– النتح (التأثير المشترك لكلتا العمليّتين)، ويمكن للإنسان بعد قطع الخشب بالإزالة الكلية (الشكل 3–12ب)، توقّع نقصان في كلّ من الاعتراض والتبخّر– النتح، ما يؤدّي إلى ارتفاع مستوى المياه الجوفية، وزيادة المياه السطحية الجارية، وإنتاج الرسوبيّات، وقد تزداد الانزلاقات أيضًا عند تحلل جذور الأشجار، وهذا يؤدّي إلى إرسال الرسوبيّات إلى القنوات المحلية للأنهار، وتحويل الأرض نفسها إلى مزرعة، سوف يكون له تأثيرات مشابهة، ولكن بدرجة أقلّ (الشكل 3–12جـ)، إلّا أنّ التحضّر هو التغيّر الأكثر أهمّية في استخدام هذه الأرض، الذي سيؤدّي إلى زيادة كبيرة في المياه الجارية من أسطح المباني الحضرية ومجاري مياه العواصف (الشكل 3–12د).

يلخّص الشكل (3–13) التغيّرات المقدّرة والملاحظة في استخدام الأراضي في منطقة (Piedmont) من عام 1800م إلى الآن، لاحظ المنحنى الحادّ لإنتاج الرسوبيّات خلال الطور الإنشائي للتحضّر/ الإعمار، حيث تشير المعطيات إلى أنّ تغيير استعمال الأراضي على حوض التصريف وقنواته، وإنتاجه للرسوبيّات قد يكون جذريًّا، وهناك افتراض أنّ الأودية ومناطق الغابات الطبيعية مستقرّة نسبيًّا، أي إنّها لا تعاني حتًّا أو ترسيبًا مفرطين، إلّا أنّ تغيّر استعمال الأرض الذي يحول أرض الغابة إلى أرض زراعية، يؤدّي بوجه عام إلى زيادة في المياه الجارية والحتّ، ونتيجة لذلك تصبح مياه الجداول طينية، وقد لا تكون قادرة على نقل الرسوبيات الواردة إليها كلّها، ستنمو القنوات عندئذٍ (وتمتلئ جزئيًّا بالرسوبيّات)، ما يزيد من احتمالية الفيضانات عددًا وحجمًا.

التحضّر/الإعمار Urbanization

تنتج عن تحويل الأراضي الزراعية والحرجية والريفية إلى أرض إعمار تغيّرات كبيرة، ويحدث خلال مرحلة الإنشاء ازدياد هائل في إنتاج الرسوبيّات (الشكل 3–14)، وقد يرافق ذلك زيادة متوسّطة في المياه الجارية، وإضافة إلى ذلك، فإنّ استجابة الأودية في المنطقة معقّدة، وقد تشتمل على كلّ من حتّ القناة (توسيع) والترسيب، ما يؤدّي إلى قنوات عريضة وضحلة، واجتماع ازدياد المياه الجارية والقنوات الضحلة، ويؤدّي إلى زيادة خطر الفيضان؛ لأنّ الأرض تتغطّى بعد مرحلة الإنشاء بالمباني ومواقف السيارات والطرق، لذلك يقلّ إنتاج الرسوبيّات إلى مستوى منخفض، إلّا أنّ المياه الجارية تزيد بصورة أكثر؛ بسبب المناطق البور الشاسعة واستخدام مجاري مياه العواصف، ما يؤدّي أيضًا إلى زيادة في حجم الفيضانات وتردّدها، وتستجيب القنوات لإنتاجية الرسوبيّات المنخفضة، وزيادة المياه الجارية بحتّ أكبر فيها، ما يزيد في عمقها.

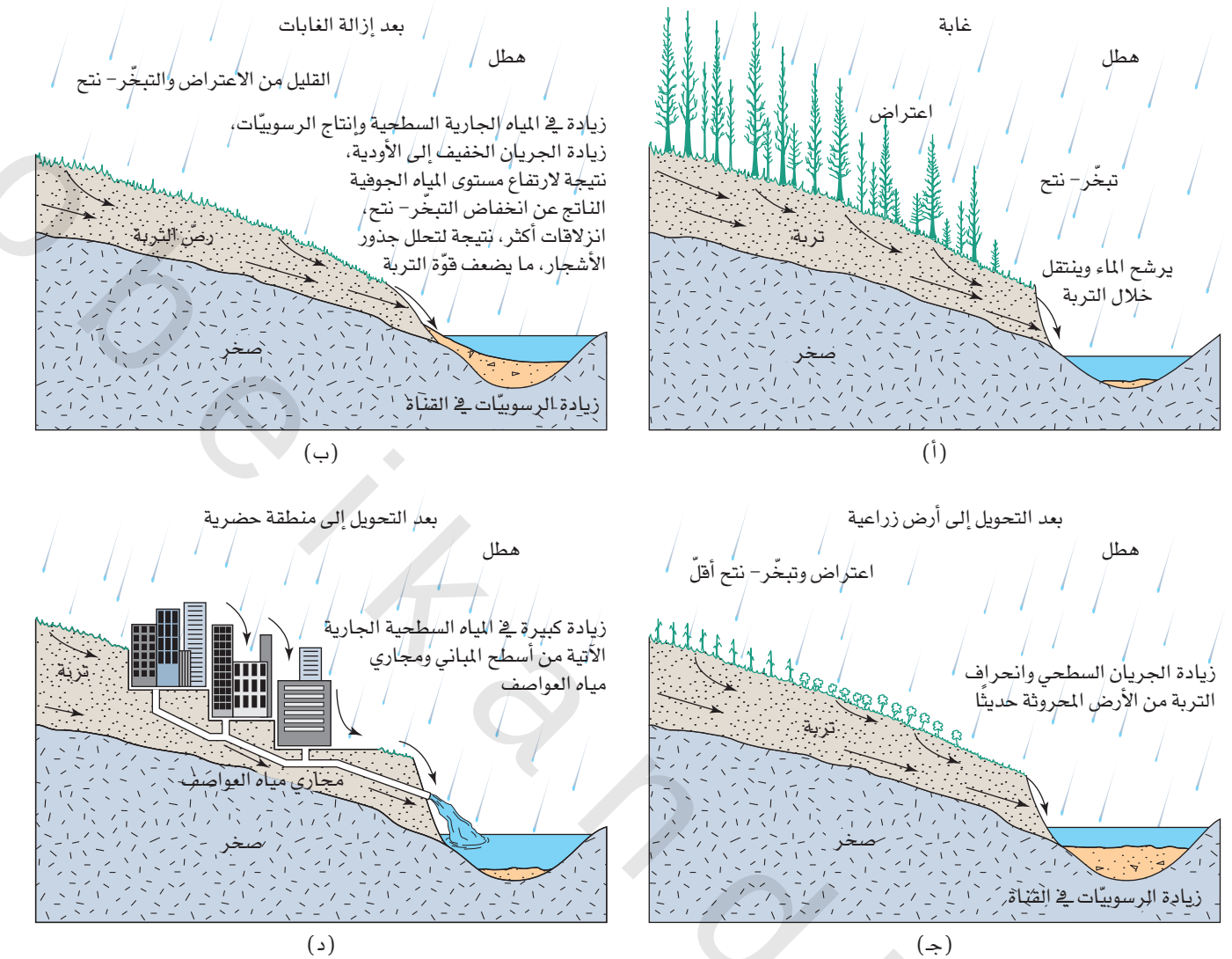
تؤثّر عملية التحضّر أو الإعمار في التربة مباشرة بطرق عدّة، منها:

- يمكن أن تتقشّر التربة، ثم تفقد، فعندما تضطرب التربة الحسّاسة تكون قوّتها أقلّ عند إعادة تشكيلها.
- إحضار بعض الموادّ من مناطق خارجية لملء/ ردم المنخفضات قبل الإنشاء، وهذا يتسبّب في تربة مختلفة كثيرًا عن التربة التي كانت موجودة أصلًا هناك.
- تصريف مياه التربة وضخّها قد ينتج عنه جفاف وتغيّرات أخرى في خصائص التربة.
- التربة في المناطق الحضرية عرضة للتلوّث الناتج عن إضافة الموادّ الكيميائية إلى التربة بقصد أو دون قصد، وهذه مشكلة مهمّة خاصّة إذا استعملت موادّ كيميائية خطرة.

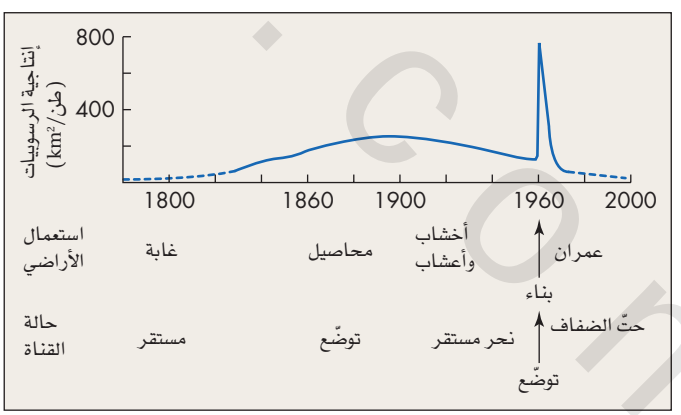
سيارات الطرق غير المعبدة (الدفع الرباعي) Off-road vehicles

التحضّر أو الإعمار ليس السبب الوحيد في زيادة حتّ التربة وإحداث تغيّرات هيدرولوجية فيها، فقد أدّى شيوع السيارات البعيدة عن الطرق المعبّدة (ORVs) وازدياده بصورة هائلة، وتلبية الطلب من العامّة على ممارسة هذه الهواية في مناطق الاستجمام إلى مشكلات بيئية خطيرة، وصراعات بين مستخدمي الأراضي العامّة.

obeikandi.com



الشكل (3–12) علاقات الماء (water relationships) قبل إجراء تغييرات على استعمال الأراضي وبعده.



الشكل (3–13) تأثير استعمال الأراضي على إنتاجية الرسوبيّات وظروف القناة: يبيّن الرسم التغيّرات المشاهدة والمقدّرة في منطقة بيدمونت شرق الولايات المتّحدة قبل البدء بالزراعة المكثفة/ الواسعة، وخلال فترة الإنشاء والتحويل إلى منطقة حضرية.

(*After M. Jordan Wolman.1966. Geografiska Annaler 49A*)

يوجد –الآن– ملايين من هذه السيارات، ويجتاح كثير منها الصحراء وكثبان الشاطئ والجبال في مناطق الغابات في الولايات المتحدة، فعلى سبيل المثال: تجمّع في عطلة عام 1998م قرابة (100000) من عشّاق هذه السيارات في المنطقة الترويحية المسمّاة الكثبان الرملية الملكية، بالقرب من غلامس في كاليفورنيا شمال المنطقة الحدودية مع المكسيك مباشرة، حيث يمكن أن تشكّل قيادة هذه السيارات خطرًا على صحة الإنسان، فكلّ عام يقتل (10) أشخاص في منطقة الكثبان الرملية الملكية، ويعاني قرابة ألـ (100) شخص إصابات في الحبل الشوكي (spinal chord)، وتمتد المشكلات البيئية المرافقة لاستعمال هذه السيارات (بما فيها تلك التي تسير على الجليد) من شواطئ (North Carolina و New York) إلى الكثبان الرملية في (Michigan و Indiana) إلى الصحاري والشواطئ في غرب الولايات المتّحدة، إنّ هذه المشكلات ليست بسيطة، فعندما تسافر درّاجة نارية مسافة (8 km) فقط، فإنّها تؤثّر في مساحة قدرها ($1000\ m^2$)، أمّا السيارات رباعية الدّفع، فتؤثّر في المساحة نفسها، عندما

(أ)

(ب)

الشكل (3–14) التحضّر والتربة، التحضّر وإنشاء طريق سريعة على المنحدرات يمكن أن يسهم في حتّ التربة (الغسل الصفائحي والقنوات الصغيرة). هذا الجسر المنحتّ قرب جامعة كاليفورنيا–سانتا باربرا، تجمع أسلا فيستا. ب. بعد استخدام إجراءات التحكّم في الحتّ بسنوات عدّة.

(*Edward A. Keller*)

تسافر (2.4 km)، وقد يخلف مسير هذه السيارات على الأرض في بعض المناطق الصحراوية آثارًا على شكل طبعات، قد تظل جزءًا من اللاندسكيب مئات السنين.

من المشكلات البيئية الرئيسة موضع الاهتمام حتّ التربة، والتغيّرات في الهيدرولوجيا (المياه السطحية)، وتخريب النباتات أو تدميرها وقتل الحيوانات، وتتسبّب هذه السيّارات في حتّ ميكانيكي مباشر، وتسهل عمل الريح والماء في حتّ الموادّ التي تمرّ من فوقها وتخلخلها، انظرالشكل (3–15)، حيث تبلغ المياه الجارية (8) أضعاف كمّيتها في المناطق المجاورة، غير المتأثّرة بهذه السيّارات، أمّا إنتاج الرسوبيّات فيمكن مقارنته بكمّيات الرسوبيات التي تنتج في مواقع الإنشاء في مناطق التحضّر، أضف إلى ذلك أنّ التغيّرات الهيدرولوجية تنتج عن أنشطة هذه السيارات، بسبب رصّ التربة القريبة من سطح الأرض، ما يؤدّي إلى تقليل مقدرة التربة على امتصاص الماء، وزيادة على ذلك يصبح ارتباط الماء الموجود في التربة أكثر قوّة، وعليه، يصعب على النبات والحيوان الاستفادة منه، إنّ آثار مسير صهاريج الماء قبل (50) سنة في صحراء (Mojave) ما زالت واضحة، ولم تُستعد التربة المرصوصة (جعلها صالحة للزراعة) لغاية الآن، ومن الجدير بالذكر أنّ الرصّ يؤثّر أيضًا في تغيّر حرارة التربة، وهذا واضح بالقرب من السطح خصوصًا، حيث تسخن التربة في أثناء النهار، وتبرد في أثناء الليل، وبوجه عام، فإنّ الأنشطة الكثيفة لهذه السيّارات تؤدّي إلى قتل الحيوانات أو نزوحها، وتخريب الغطاء النباتي أو تدميره، بسبب ما ينجم عنها من حتّ للتربة ورصّ، وتغيّرات في حرارتها ورطوبتها.

وممّا لا شكّ فيه، أنّه يجب تخصيص بعض الأراضي لاستخدام هذه السيارات، والمشكلة هي في نسبة هذه الأراضي مع كيفية تقليل الدمار الناتج إلى أقلّ حدّ ممكن، ويجب كذلك اختيار المواقع في أحواض مغلقة، حيث التغيّرات في كلّ من التربة في والغطاء النباتي قليلة جدًّا، ويجب أيضًا تقييم التّأثيرات المحتملة للإزالة بالرياح بدقّة، وكذلك التضحية بأيّ موارد حضارية أو بيولوجية أو جيولوجية في المنطقة، وتظل مشكلة رئيسة قائمة، وهي: أنّ الاستخدام المفرط لهذه السيارات غير متوافق مع استعمالات الأرض الأخرى كلّها تقريبًا، ومن الصعوبة بمكان حصر الضرر في موقع واحد فقط، فالموادّ المزالة بالحتّ الميكانيكي والمائي والهوائي يظل لها دائمًا تأثير في المناطق والأنشطة الأخرى[22]، [23].

(أ)

(ب)

الشكل (3–15) السيّارات البعيدة عن الطرق، لحقت بالتربة مشكلات حتّ لا يستهان بها بسبب السيارات التي تستخدم بعيدًا عن الطرق في (أ). الجبال و (ب). الكثبان الشاطئية. (*Edward E. Keller*)

الشكل (3–16) الدرّاجات الهوائية، تنحت التربة. الممرات العميقة (ruts) التي حفرت في تربة رملية عن طريق الدرّاجات في هذا الموقع في كاليفورنيا. (*Edward E. Keller*)

لقد ازداد الطلب في السنين الأخيرة على الدرّاجات التي تستعمل بعيدًا عن الطرق المعبّدة ازديادًا كبيرًا، وهذا له تأثير سلبي في البيئة، فقد أدّت الدرّاجات الهوائية في الماضي إلى تدمير الممرّات الجبلية في متنزه يوسمايت القومي، ولم يعد يسمح بها بعد ذلك، واقتصر استعمالها الآن على ممرّات الدرّاجات والطرق المعبّدة؛ لأنّ استعمالها الكثير أدّى إلى بدء الحتّ في كثير من المناطق، انظرالشكل (3–16)، يقول مستخدمو الدرّاجات الجبلية –الذين يكوّنون جماعات ضغط من أجل السماح لهم بدخول مواقع أكثر في الغابات والمتنزهات القومية والمناطق البرية–: إنّ الحتّ الناتج عن الدرّاجات أقلّ من الحتّ الذي تتسبّب فيه الخيول، وعلى الرغم من صحّة ذلك، إلّا أنّ المشكلة تكمن في أنّ الدرّاجات التي تصلح للاستعمال في المناطق ذات التضاريس المختلفة أرخص سعرًا، وكلفة صيانتها أقلّ من الخيول، أضف إلى ذلك أنّ المتجوّلين (hikers) قد لا يعترضون على رؤية حيوانات، مثل الخيول في البرية، لكنّهم لا يرتاحون للدراجات التي هي سريعة وصامتة تقريبًا، ممّا يشكّل مشكلة حساسة بالنسبة إلى المديرين في البرية؛ لأنّ كثيرًا من الناس الذين يستمتعون بركوب دراجات التضاريس كلّها ينحدرون من جماعات تعنى بالبيئة، وكما هو الحال بالنسبة إلى السيارات التي تستعمل بعيدًا عن الطرق المعبّدة، فيجب تطوير خطط إدارة لضمان عدم تدمير البيئات الحسّاسة عن طريق الناس ذوي الحماس المفرط.

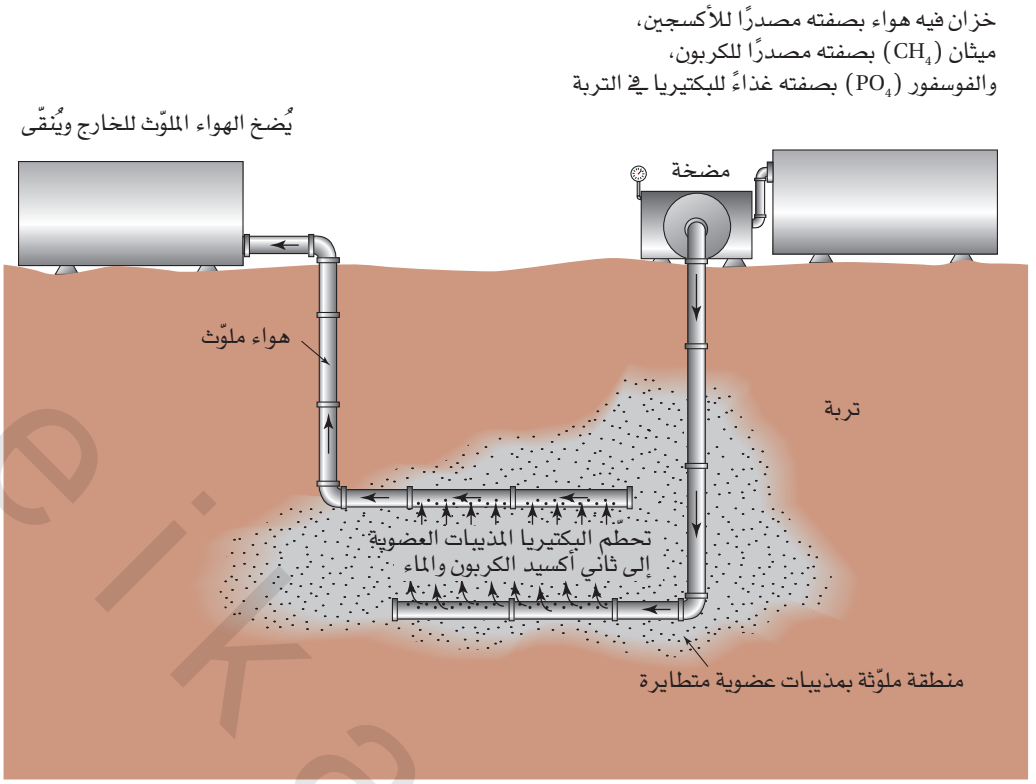
3-11 تلوّث التربة SOIL POLLUTION

تلوّث التربة مشكلة ظهرت في واجهة الاهتمام الشعبيّ عام 1983م، عندما أُخليت بلدة (Times Beach) الواقعة على نهر (Meramec) على بعد (32 km) جنوب غرب (St. Louis)، التي يبلغ عدد سكانها (2400) شخص؛ لأنّ الحكومة الفدرالية اشترتها، بعد أن تحوّلت إلى بلدة أشباح، انظرالشكل (3–17)، وقد تمّ الإخلاء والشراء بعد أن تبيّن أنّ النفط الذي رشّ على طرقات البلدة؛ للتقليل من الغبار يحتوي على الديوكسين، وهو مركّب هيدروكربوني لا لون له، ويحتوي على الكلور، وشديد الخطورة من حيث السمّية للثديّات، لقد أصبحت المنطقة الآن متنزّهًا عامًّا وملجأً للطيور، بعد تنظيفها وزراعتها بالأشجار. على الرغم من أنّه لم يثبت أنّ الديوكسين قتل أيّ إنسان، وعدم معرفة الجرعة اللازمة للتسبّب في آثار صحّية ضارّة على البشر، إلّا أنّ هناك شكًّا في أنّه مادّة مسرطنة (يمكن أن تتسبّب في السرطان).

الشكل (3–17) تلوّث التربة. فحص التربة الملوّثة بالديوكسين في بلدة (*Times Beach, Missouri*). أخليت البلدة خوفًا من خطر الديوكسين.

يحدث تلوّث التربة عند إضافة موادّ ضارّة بالناس والكائنات الحية الأخرى للتربة عن قصد أو غير قصد، وقد تعمل كثير من الموادّ التي من ضمنها الكيميائيات العضوية (الهيدروكربونات أو المبيدات الزراعية على سبيل المثال) والفلزّات الثقيلة (السيلينيوم، والكادميوم، والنيكل، والرصاص مثلًا) بوصفها ملوّثات للتربة، ومن ناحية أخرى فإنّ أنواع التربة خصوصًا التي تحتوي على جسيمات طينية، قد تجتذب أو تمتصّ أو ترتبط انتقائيًّا بالتوكسينات والموادّ الأخرى، التي قد تلوّث التربة (لولا وجود الجسيمات الطينية)، وقد تحتوي التربة أيضًا على كائنات تحطّم بعض الملوّثات إلى أشكال أقلّ ضررًا، نتيجة لذلك تتيح التربة فرصًا للتقليل من التلوّث البيئي، إلّا أنّ ملوّثات التربة ونواتج تحطّمها بالتربة والعمليات البيوكيماوية، قد تكون سامة للأنظمة البيئية والبشر، إذا تركّزت في النباتات أو انتقلت إلى الجوّ أو الماء[3].

تظهر المشكلات عند تلوّث أنواع التربة المستعملة في أغراض غير التخلّص من النفايات، أو عند اكتشاف أنّ بعض أنواع التربة قد تعرّضت للتلوث نتيجة استعمالاتها السابقة، فبناء البيوت والمنشآت الأخرى، مثل المدارس فوق مواقع تعرّضت تربتها للتلوّث أمر ذو أهمّية خاصّة، إضافة إلى أنّ تلوّث الكثير من الأماكن بسبب الأجهزة المستخدمة في التخلّص من النفايات في الأنظمة القديمة، أو الاكتشاف الحديث لأماكن ألقيت موادّ كيميائية ضارّة فيها، فبعض الأماكن المذكورة تُعالج الآن، إلّا أنّ التعامل مع التربة لإزالة ملوّثاتها قد يشكّل مهمّة باهظة التكاليف، وحيث إنّ تلوّث التربة والماء بالتسرّب من الخزّانات تحت الأرضية أصبح مشكلة بيئية مهمّة، فتضاف الآن أنظمة في الأعمال المختلفة، لمراقبة الخزّانات، بحيث يُكتشف التسرّب قبل حدوث أضرار بيئية كبيرة؛ لأنّ معالجة التربة الملوّثة قد تكون أمرًا باهظ التكاليف، يتراوح بين الحفر والإزالة، ثم التخلّص من التربة الملوّثة إلى المعالجة بالحرق (incineration)، أو **بالمعالجة الحيوية (bioremediation)**، وهي تقنية تستغلّ الفعل الطبيعي أو الميكروبي المحسّن في التربة؛ لتحطيم الملوّثات العضوية (مثل النفط والمذيبات العضوية) إلى نواتج أقلّ ضررًا (مثل ثاني أكسيد الكربون والماء)، ويتمّ عمل ذلك أحيانًا في الموقع نفسه، حيث لا يتطلّب ذلك حفر كمّيات كبيرة من التربة الملوّثة وإزالتها ونقلها (الشكل 3–18)[3],[24].



الشكل (3–18) المعالجة الحيوية (bioremediation). صورة مثاليّة توضّح عملية المعالجة الحيوية المحسّنة لتربة ملوّثة بمذيب عضوي. الميثان والفوسفور والهواء هي أغذية تُضخ بصورة متقطّعة في المنطقة الملوثة، وتّطلق من الأنبوب السفليّ ذي الشرحات. الأنبوب العلوي (وهو مشرح أيضًا) يشفط الهواء الملوّث من التربة. تعمل الأغذية على تحفيز نموّ البكتيريا، عند ذلك يوقف التزويد بالميثان، وتبحث البكتيريا الجائعة للكربون عن المذيبات غير العضوية محطّمة إيّاها إلى ثاني أكسيد الكربون والماء، بوصفها جزءًا من دورتها الحياتية، ويمكن لمثل هذه العملية أن تقلّل بصورة كبيرة وقت المعالجة والكلفة (5).

(Modified after Hazen, T. C.1995. Savanna River Site-a test bed for cleanup technologies. Environmental Protection, April.10-16)

12-3 التصحّر DESERTIFICATION

يمكن تعريف التصحّر بأنّه تحوّل الأرض من حالة منتجة إلى أخرى شبه صحراوية، ومن المحتمل أنّ أوّل استخدام للمصطلح كان لوصف تقدّم الصحراء الكبرى في الجزائر وتونس، وممّا تشمله العوامل التي تتحكّم في التصحّر الرعي الجائر، والاستخدام الجائر للغابات، وانجراف التربة، والتصريف السيئ للأراضي المرويّة، والإفراط في استغلال الموارد المائية.

يبرز التصحّر الذي يُعدّ اليوم مشكلة مهمّة خلال أوقات الجفاف، وقد ارتبط في السنين القريبة بمعاناة بشرية كبيرة، تمثّلت في سوء التغذية والمجاعات، التي أثّرت في الملايين خصوصًا في الهند وإفريقيا، وتزداد تأثيرات التصحّر بصورة خاصّة حول المناطق ذات الكثافة السكانية العالية سوءًا؛ بسبب المشكلات السياسية المرتبطة بالسكّان المهجّرين، الذين يتركّزون في المخيّمات، فعند حدوث مثل هذا الوضع، فإنّ احتمال تجرّد المناطق الريفية القريبة من مواردها النباتية الطبيعية أمر وارد، ويؤدّي رعي الماشية للموارد الغذائية المتوافرة بصورة جائرة إلى إنتاج صحراء من فعل الإنسان.

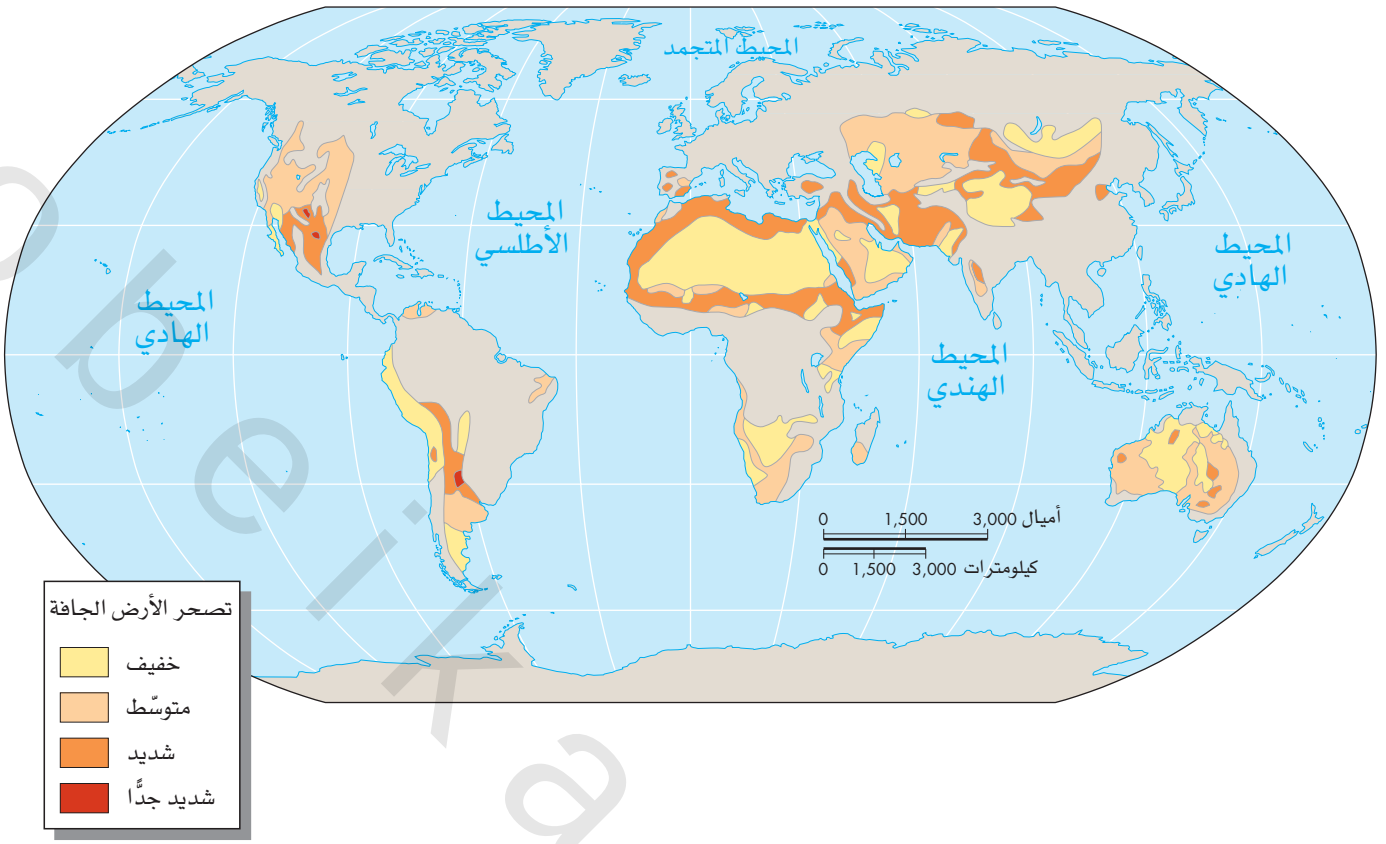
يبيّن الشكل (3–19) درجة خطر التصحّر عالميًّا، وعلى الرغم من أنّ مثل هذه الخريطة مفيدة بوجه عامّ في تحديد المناطق التي قد تعاني مشكلات نتيجة التصحّر، إلّا أنّهاغير ذات نفع في ذكر حالات انفرادية محدّدة، أو في تحديد أسباب محلية للتصحّر، ومن العوامل ذات الأهمّية الخاصة في تقييم التصحّر، الاهتمام بالمبادئ والارتباطات البيئية بين الناس والحيوانات والبيئة الفيزيائية، بما فيها الدورات طويلة الأمد، التي تؤثّر في العمليات الهيدرولوجية وظروف التربة، ولا تتميّز عملية التصحّر عادة بتغيّر مستمرّ في الأرض، تتقدّم على طولها جبهة التصحّر، لكنّها عملية انتقائية (PATCHY)، تتقدم فوق مساحة كبيرة، ويحدث الضرر في بعض المناطق استجابة للظروف المحلية المتمثّلة في الماء والجيولوجيا والتربة واستعمال الأراضي[25].

لم يتمّ التركيز على التصحّر في أمريكا الشمالية، مقارنة بالأجزاء الأخرى من العالم؛ وذلك لأنّ تأثيرات التصحّر هناك لم تكن بالشدّة نفسها من حيث تدميرها للأنظمة الطبيعية، وعلى الرغم من ذلك، فإنّ التصحّر يقلّل من إنتاجية الأرض في أمريكا الشمالية، ويهدّد في بعض الأمكنة قدرة استعمال الأرض في الزراعة.

تشتمل الأعراض الرئيسة للتصحّر في أمريكا الشمالية على[25]:

- هبوط مستوى المياه الجوفية.
- تملّح التربة ومائها القريب من سطح الأرض.
- نقصان المساحات التي تغطيها المياه السطحية في الأنهار والبرك والبحيرات.

Open Access Edition



الشكل (3–19) التصحّر. تقدير مدى تصحّر الأراضي الجافّة في العالم.
(Modified after Drenge, H. E.1983. Desetification of arid lands. Advances in Desert and Arid Land Technology and Development, Vol.3. Chur, Switzerland: Harwood Academic Publishers).

- حتّ التربة بسرعات عالية بصورة شاذّة.
- تدمير الغطاء النباتي الطبيعي.

قد يظهر في المنطقة الجافّة التي تتعرّض للتصحّر أيّ من هذه الأعراض بصورة كبيرة أو صغيرة، إضافة إلى ذلك، ترتبط هذه الأعراض ببعضها: فقد يؤدّي تملّح التربة العليا، على سبيل المثال، إلى فقدان الغطاء النباتي، وهذا يؤدّي بدوره إلى تسريع حتّ التربة، انظر الشكل (3–20).

يتضمن منع التصحّر وتقليله الأمور الآتية[25]،[26]:

- حماية الأراضي الجيّدة وتطويرها، بدل إهدار الوقت والأموال الطائلة على الأراضي الرديئة.
- تطبيق طرق إدارة للمراعي بسيطة وصحيحة، وذلك لحماية الأرض من الرعي الجائر للماشية.
- تطبيق إجراءات سليمة، للمحافظة على الأراضي الزراعية بهدف المحافظة على موارد التربة.
- استخدام تقنيات مناسبة؛ لزيادة إنتاج المحاصيل التي تسمح بإعادة استعمال الأراضي الرديئة في استعمالات أقلّ إجهادًا للأرض (الغابات والحياة البرية والرعي مثلًا).
- زيادة جهود استعادة الأرض من خلال الإدارة الزراعية، وتثبيت الكثبان الرملية، والتحكّم في حتّ التربة.

الشكل (3–20) الرسوبيّات الملحية. المواد البيضاء هي أملاح أتت إلى وادي (San Joaquin) في كالبفورنيا مع مياه الريّ الآتية من ضخّ آبار المياه. يتبخّر الماء فيترسّب الملح في التربة وعلى سطحها. هذه الصورة لمنطقة قريبة من البرك التي تنصرف إليها المياه الزراعية. *(Edward A. Keller)*

3-13 مسوحات التربة وتخطيط استعمال الأراضي
SOIL SURVEYS AND LAND USE PLANNING

تؤثّر التربة في تحديد الاستعمال الأمثل للأرض، ويُعدّ مسحها جزءًا مهمًّا من التخطيط للمشروعات الهندسية كلّها تقريبًا، ويجب أن يحتوي مسح التربة على وصف لها.

obeikandl.com

الجدول (3–5): محدّدات التربة (soil limitations) للمباني في المناطق الترويحية

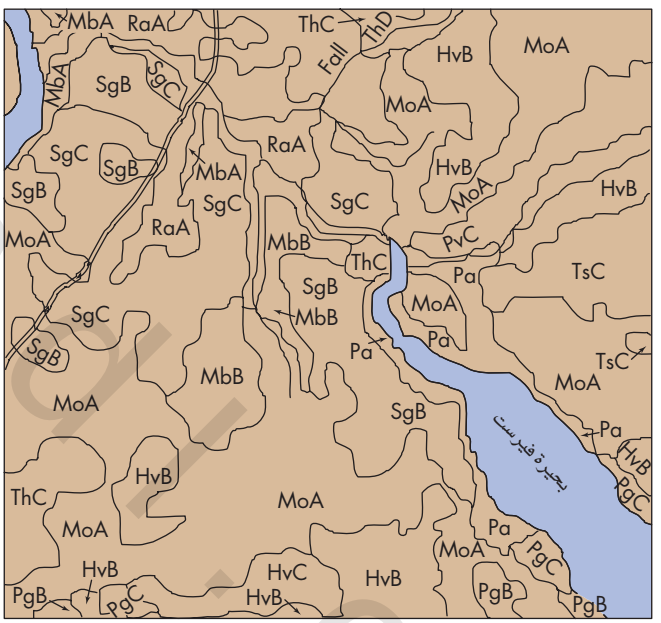
الخصائص المميّزة المؤثّرة في الاستعمال	درجة تحديد التربة [أ]		
	معدومة إلى خفيفة	متوسطة	شديدة [ب]
الرطوبة	تربة تصريفها ممتاز– جيّد جدًّا دون برك أو نزّازات. أكثر من (1.2 m) إلى مستوى المياه الجوفية الموسمي	تربة تصريفها ممتاز – وجيّد جدًّا برك أو نزّازات أحيانًا. مستوى المياه الجوفية ← 0.6–1.2 m.	تربة تصريفها رديء نوعًا ما. برك مياه. تربة تصريفها رديء إلى رديء جدًّا
الميل (الانحدار)	(0–8%)	(8–15%)	أكثر من (15%)
نسبة الصخور [د]	معدومة	قليلة	متوسّطة إلى كثيرة
نسبة الحجارة [د]	معدومة إلى قليلة	متوسّطة	متوسّطة إلى كثيرة
العمق إلى الصخر الأصلي	أكثر من (1.5 m)	← 0.9–1.5 m	أقلّ من (1 m)

أ. محدّدات التربة بالنسبة إلى الصرف الصحي، الانزلاق على المنحدرات، التقبّب الناتج عن الانجماد، والأنبوبية، والرمل السائب، وسعة التحمّل المنخفضة عندما تكون رطبة، غير مشمولة في هذا التقييم، لكن، يجب أخذها في الحسبان. طوّرت تقييمات لهذه الجوانب.

ب. يمكن استخدام أنواع التربة التي تقيّم على أنّ فيها محدّدات شديدة للزراعة بوصفها مناطق جمالية، لكنّها قد تكون في حاجة إلى تحضير أو صيانة لمثل هذا الاستعمال.

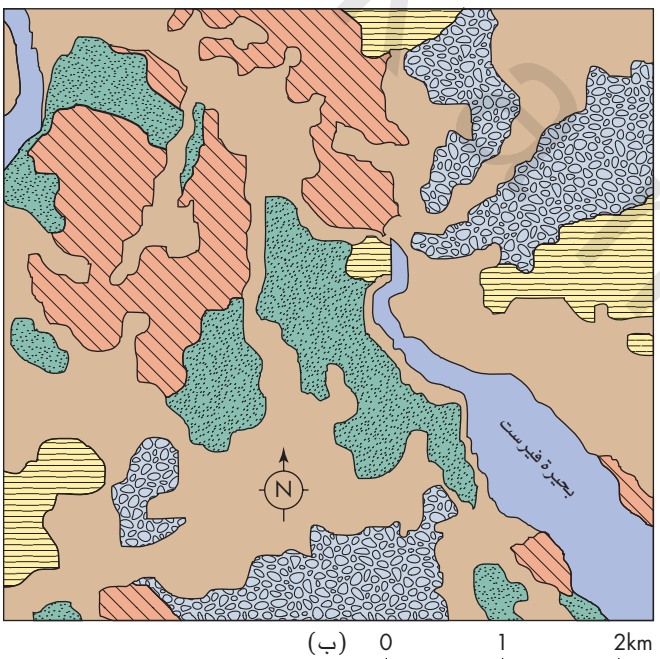
ج. تُعدّ هذه البنود محدّدات فقط بالنسبة إلى الطوابق السفلية وتحت السطحية.

د. تشير نسبة الصخور إلى تكشّفات الصخور أو الحجارة الأكثر من (25 cm)، وتشير نسبة الحجارة إلى الصخور من (8–25 cm).



(أ)

HvB تربة الهاولاند لوم: كثيرة الحجارة، ميل 0 - 8%
HvC تربة الهاولاند لوم: كثيرة الحجارة، ميل 8 - 15%
MbA تربة الماداواسكا لوم: رملية ناعمة، ميل 0 - 20%
MbB تربة الماداواسكا لوم: رملية ناعمة، ميل 2 - 8%
MoA تربة الماناردا والبيرنهام لوم: غرينية، ميل 0 - 2%
Pa خثّ وعضوية
PgB تربة البليست لوم: حصوي، ميل 2 - 8%
PgC تربة البليست لوم: حصوي، ميل 8 - 15%
PvC تربة البليست هاولاند لوم: كثيرة الحجارة، ميل 8 - 15%
RaA تربة رد هوك وأثيرتون لوم: غريني
SgB تربة ستيتسون لوم: حصوي، ميل 2 - 8%
SgC تربة ستيتسون لوم: حصوي، ميل 8 - 15%
ThC تربة ثورندايك لوم: غضاري غريني، ميل 8 - 15%
ThD تربة ثورندايك لوم: غضاري غريني، ميل 15 - 25%
TsC تربة ثورندايك وهاولاند، ميل 8 - 15%



محدّدات التربة بالنسبة إلى البناء للأغراض الترويحية

معدومة–خفيفة
تربة عميقة، تصريفها جيّد، لطيفة الميل (2 - 8%)

متوسّطة
تربة ميلها (8 - 15%)

شديدة
تربة كثيرة الحجارة

تربة رطبة

تربة ضحلة ميلها (8 - 25%)

الشكل (3–21) خرائط التربة (Soil Maps)، استخدام خرائط التربة لتخطيط استخدامات الأراضي. (أ)– خريطة مفصلة للتربة لجزء مساحته (4-km^2) من الأرض، مقاطعة أروستوك– مين (Maine). (ب)– محدّدات التربة للمباني في المناطق الترويحية لشريط الأرض نفسه. أعيد رسمها من:
(Soil Surveys and Land Use Planning, 1966, by permission of the Soil Science Society of America)

تبيّن خرائط التربة الامتداد العمودي والأفقي للتربة، والاختبارات التي تجرى لتحديد الحجم الحبيبي، والمحتوى الرطوبي، واحتمالية الانكماش والانتفاخ، وقوّة التربة، إذ يهدف المسح إلى توفير المعلومات الضرورية اللازمة، لتحديد المناطق المحتمل وجود مشكلات فيها قبل المباشرة بالإنشاء.

تساعد المعلومات المستقاة من خرائط التربة المفصّلة على تخطيط استعمال الأراضي، إذا استعملت مع إرشادات الاستخدامات الصحيحة للتربة، ويمكن تقييم أنواع التربة المختلفة بحسب محدّداتها لاستعمال معيّن للأراضي، مثل: الإسكان، والصناعات الخفيفة، وأنظمة المجاري الصحّية، والطرق، والاستجمام، والزراعة، والغابات، وتشمل خصائص التربة التي تساعد على حصر هذه المحدّدات الميل، والمحتوى المائي، والنفاذية، وعمق الصخر، وقابلية الحتّ، واحتمالية الانكماش والانتفاخ، وسعة التحمّل (القدرة على تلقّي حمل مثل حمل بناية)، واحتمالية التآكل. يبيّن الجدول (3-5) كيف تحدّ بعض هذه المميّزات من استعمال الأراضي للاستجمام.

يمكن استنتاج محدّدات استعمال الأراضي في منطقة ما، من خريطة مفصّلة للتربة والوصف المرافق لأنواعها، تمعّن -على سبيل المثال- في الشكل (3-21) الذي يبيّن نتائج تقييم تربة ما، لتشخيص محدّدات استعمالها بصفتها مبانيَ في منطقة مخطّطة للاستجمام[27]، ويمثّل الشكل (3-21أ) خريطة تربة مفصّلة مع وصف مختصر للتربة في مساحة ($4.1\ km^2$) في مقاطعة آروستوك-(Maine)، وقد استخدمت هذه المعلومات والمحدّدات (مبيّنة في الجدول (3-5) لإنتاج خريطة محدّدات في الشكل (3-21ب)، التي يمكن أن تستعمل بصفتها دليلًا للأمكنة التي يسمح باستخدامها للمباني.

تعرّف أصناف المحدّدات القياسية المبيّنة في الجدول (3-5) كما يأتي:

- خفيفة إلى غير موجودة: التربة خالية تقريبًا من المحدّدات التي تؤثّر في الاستخدام المخطّط لها، أو توجد فيها محدّدات يمكن التغلب عليها.
- متوسّطة: توجد في التربة محدّدات متوسّطة ناتجة عن تأثيرات خصائص التربة، وهذه المحددات يمكن التغلب عليها عادة، بالتخطيط السليم والتصميم الدقيق والإنشاء الجيّد.
- شديدة: تحتوي التربة محدّدات مهمّة، تجعل الاستعمال المقترح مشكوكًا فيه. يتطلّب البناء على هذا النوع من التربة تخطيطًا دقيقًا جدًّا، وإجراءات تصميمية وإنشائية واسعة، من الممكن أن تشتمل على أعمال استصلاح للتربة.

ملخّص SUMMARY

يعـرّف المهندسون التربة بأنّها موادّ أرضية، يمكن تحريكها من مكانها دون اللجوء إلى التفجير، أمّا عالم التربة فيعدّها مادّة أرضية صلبة صالحة لعيش النباتـات ذات الجذور، وفهـم أساسيّات التربة وخصائصهـا مهمّ جدًّا في جوانب مختلفة من الجيولوجيـا البيئية، مثل: تخطيط استعمالات الأراضي، والتخلّص مـن النفايـات، وتقييـم الأخطـار الطبيعيـة، مثـل: الفيضانات والانزلاقات والزلازل.

تنتج التربة عن التفاعلات المتبادلة بين الدورات الصخرية والهيدرولوجية، وهي بوصفها أنظمة مفتوحة تتأثر بمتغيّرات، مثل: المناخ، والتضاريس، والمادة الأمّ، والزمن، والنشاط العضوي، يضاف إلى ذلك أنّ لعمليات الغسل والأكسدة وتراكم الموادّ في آفاق التربة المختلفة أهمّية خاصة، فعلى سبيل المثال: يعتمد نشوء الأفق الطيني (b) على انتقال المعادن الطينية من الآفاق العلوية إلى الآفاق السفلية، وإضافة إلى ذلك، فإنّ اللون والنسيج (حجم الحبّات) والبنية (تجمّع الجسيمات مع بعضها) ثلاث خصائص مهمّة للتربة.

التطوّر النسبي للمقطع مفهوم مهمّ في دراسة التربة، وتطوّر التربة الحديثة ضعيف جدًّا، أمّا التربة التي يزيد عمرها على (10000) سنة، فهي متوسّطة التطوّر، ويتمثّل هذا في بنية أكثر قوّة، ولون محمرّ، ونسبة طين أعلى في الأفق (b)، بينما يتراوح عمر التربة المتطوّرة من عشرات الآلاف إلى مئات الآلاف من السنين، أو أقدم من ذلك، وهي مشابهة في خواصّها للتربة متوسّطة التطوّر إلّا أنّ الأفق (b) أكثر تطوّرًا. يضمّ التتابع العمري أنواعًا من التربة مرتّبة من الأكثر حداثة إلى الأقدم بحسب التطوّر النسبي لمقطعها، ويفيد إنشاء تتابع عمري للتربة في منطقة ما في تقييم سرعات العمليات، والفترات الزمنية لتكرار الحوادث الخطرة، مثل الزلازل والانزلاقات.

يمكن أن تُعدّ التربة نظامًا بيئيًّا معقّدًا، فيه أنواع مختلفة من الكائنات الحية، التي تحوّل أغذية التربة إلى صور تستطيع النباتات استخدامها، وتشير خصوبة التربة (soil fertility) إلى مقدرة التربة على تزويد الأغذية التي يحتاج إليها النبات في نموّه.

يتكوّن الطور الصلب في النبات من المعادن والمادّة العضوية، ومن طور غازي معظمه من الهواء الجويّ، وطور سائل هو الماء في أغلب الأحيان، ويمكن للماء أن ينساب عموديًّا أو أفقيًّا خلال المسامات (الفراغات بين الحبيبات) في التربة، حيث يكون الجريان مشبّعًا (المسامات كلّها ممتلئة بالماء)، أو غير مشبّع (المسامات ممتلئة جزئيًّا بالماء)، وهو النوع الأكثر انتشارًا، وقد أصبحت دراسة رطوبة التربة وكيفية جريان الماء فيها من أهمّ الموضوعات في الجيولوجيا البيئية.

هناك كثير من تصنيفات التربة، إلّا أنّ أيًّا منها لا يجمع بين الخواصّ الهندسية وعمليات التربة؛ لذلك يتعيّن على جيولوجيي البيئة الإلمام بالتصنيف الزراعي (تاكسونومي التربة)، والتصنيف الهندسي (تصنيف التربة الموحّد).

فهم أساسيّات الخواصّ الهندسية للتربة مهمّ في كثير من المشكلات البيئية، وتشمل هذه الخصائص: اللدونة، وقوّة التربة، والحساسية، والانضغاطية، وقابلية الحتّ، والنفاذية، وقابلية التآكل الكيميائي، وسهولة الحفر والنقل، والقدرة على الانكماش والانتفاخ. وتُعدّ الخاصية الأخيرة بالذات، وهي القدرة على الانكماش والانتفاخ مهمّة؛ لأنّ التربة المتمدّدة في الولايات المتّحدة تتسبّب اليوم في مشكلات بيئية مهمّة، وتمثل أحد أهمّ الأخطار الطبيعية والأكثر تكلفة بالنسبة إلينا.

obeikandl.com

يمكن تحديد سرعات الحتّ بالملاحظة المباشرة لفقدان التربة من المنحدرات، أو بقياس تراكم الرسوبيّات في الخزّانات المائية، أو بالحساب (وهي الطريقة الأكثر استعمالًا)، وتستخدم المعادلة العالمية لفقدان التربة متغيّرات تؤثّر في الحتّ؛ للتنبؤ بكمّية التربة التي تحرّكت أو انتقلت من مكانها الأصلي، إذ يمكن أن تعامل هذه المتغيّرات أحيانًا بصفتها جزءًا من إدارة إستراتيجية؛ للتقليل من الحتّ وتلوّث الرسوبيّات في موقع معيّن، قد تمثّل الرسوبيّات الطبيعية وتلك الناتجة عن نشاط الإنسان أحد أهمّ الملوّثات في بيئتنا، فهي تقلّل من جودة الماء، وتخنق الجداول والبحيرات والخزّانات والموانئ، ويمكن تقليل التلوّث الرسوبي بصورة كبيرة بتطبيق الممارسات الجيّدة للحفاظ على البيئة.

تؤثّر استعمالات الأراضي ومعاملة الماء السطحي في نمط المياه السطحية الجارية وكمّيتها وشدّتها، وكذلك في حتّ التربة والتلوّث بالرسوبيّات، ينطوي التحضّر أحيانًا على فقدان التربة، وتغيّر خصائصها، وتسارع حتّها خلال الإنشاء، وتلوّثها، ويؤدّي استخدام السيارات ذات المحرّكات الكبيرة، وتلك التي تسير في المناطق غير المعبّدة إلى حتّ التربة، وتغيّر هيدرولوجيتها، وتدمير نباتاتها، وقتل حيواناتها أو هجرتها، يحدث تلوّث التربة عند إضافة الموادّ الخطرة -بقصد أو دون قصد- إلى التربة، ويقلل التلوّث من الاستفادة من التربة، بل يجعلها في بعض الأحيان خطرة على الحياة، ويساعد استخدام تقنيات جيّدة للحدّ من أثر التلوّث، مثل العلاج الحيوي (bioremediation) على حلّ بعض مشكلات تلوّث التربة، فالتصحّر، وهو الآن مشكلة رئيسة، ويعني تحوّل الأرض من حالة منتجة إلى أخرى تشبه الصحراء، يرافقه سوء التغذية والمجاعات (القحط) خاصّة في أجزاء من الهند وإفريقيا، تشمل العوامل التي تؤدّي إلى التصحر ما يأتي: الرعي الجائر، والاستخدام الجائر للغابات، وحتّ التربة الضارّ، وسوء تصريف الأراضي المروية، واستنزاف الموارد المائية، والخراب الناجم عن السيّارات التي تستخدم الطرق غير المعبّدة.

خرائط التربة مفيدة جدًّا في تخطيط استعمال الأراضي، ويمكن تقييم التربة بحسب محدّداتها بالنسبة إلى استعمالات الأراضي المختلفة، ويمكن دمج هذه المعلومات أو تدعيمها بمعلومات من خرائط التربة المفصّلة لإنتاج خريطة مبسّطة تبيّن المحدّدات بالنسبة إلى استعمال معيّن.

المراجع REFERENCES

1. **Montgomery, D.** 2007. Is agriculture eroding civilization's foundation? *GSA Today* 17(10): 4–10.
2. **Birkland, P. W.** 1984. *Soils and Geomorphology.* New York: Oxford University Press.
3. **Brady, N. C., and Weil, R. R.** 1996. *The Nature and Properties of Soils*. 11th ed., Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
4. **Keller, E. A., Bonkowski, M. S., Korsch, R. J., and Shlemon, R. J.** 1982. Tectonic geomorphology of the San Andreas fault zone in the southern Indio hills, Coachella Valley, California. *Geological Society of America Bulletin* 93: 46–56.
5. **Van der Woerd, J., Klinger, Y., Sieh, K., Tapponnier, P., Ryerson, F. J., and Meriaux, A. S.** 2006. Long-term slip rate of the southern San Andreas Fault from 10Be-26Al surface exposure dating of an offset alluvial fan. *J. Geophys.* Res. 11 B04407: 10.1029/2004 JB00359.
6. **Anonymous.** 1979. *Environmentally Sound Small-scale Agricultural Projects.* Mt. Rainier, MD: Mohonk Trust, Vita Publications.
7. **Olson, G. W.** 1981. *Soils and the Environment.* New York: Chapman and Hall.
8. **Chadwick, O. A., Derry, L. A., Vitousek, P. M., Huebert, B. J., and Hedin, L. O.** 1999. Changing sources of nutrients during four million years of ecosystem development. *Nature* 397(11), 491–497.
9. **USGS.** 2003. African dust carries microbes across the ocean: are they affecting human health and ecosystems.? *USGS Open-File Report 03-028.*
10. **Singer, M. J., and Munns, D. N.** 1996. *Soils.* 3rd ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
11. **Krynine, D. P., and Judd, W. R.** 1957. *Principles of Engineering Geology and Geotechnics.* New York: McGraw-Hill.
12. **West, T. R.** 1995. *Geology Applied to Engineering.* Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
13. **Pestrong, R.** 1974. *Slope stability.* New York: McGraw-Hill, American Geological Institute.
14. **Flawn, P. T.** 1970. *Environmental Geology.* New York: Harper & Row.
15. **Hart, S. S.** 1974. Potentially swelling soil and rock in the Front Range Urban Corridor. *Environmental Geology* 7. Colorado Geological Survey.
16. **Mathewson, C. C., Castleberry, J. P., II, and Lytton, R. L.** 1975. Analysis and modeling of the performance of home foundations on expansive soils in central Texas. *Bulletin of the Association of Engineering Geologists* 17(4): 275–302.
17. **Jones, D. E., Jr., and Holtz, W. G.** 1973. Expansive soils: The hidden disaster. *Civil Engineering* August: 49–51.
18. **Wischmeier, W. H., and Meyer, L. D.** 1973. Soil erodibility on construction areas. In *Soil erosion: Causes, mechanisms, prevention and control.* Highway Research Board Special Report 135. Washington, DC. 20–29.
19. **Dunne, T., and Leopold, L. B.** 1978. *Water in Environmental Planning.* San Francisco: W. H. Freeman.
20. **Robinson, A. R.** 1973. Sediment: Our greatest pollutant? In *Focus on Environmental Geology*, ed. R. W. Tank New York: Oxford University Press. 186–92.
21. **Yorke, T. H.** 1975. Effects of sediment control on sediment transport in the northwest branch Anacostia River Basin, Montgomery County, Maryland. *U.S. Geological Survey Journal of Research 3:* 487–94.
22. **Wilshire, H. G., and Nakata, J. K.** 1976. Off-road vehicle effects on California's Mojave Desert. *California Geology* 29: 123–32.
23. **Wilshire, H. G., et al.** 1977. Impacts and management of off-road vehicles. *Geological Society of America.* Report to the Committee on Environment and Public Policy.
24. **Hazen, T. C.** 1995. Savanna River site—a test bed for cleanup technologies. *Environmental Protection*, April: 10–16.
25. **Sheridan, D.** 1981. *Desertification of the United States.* Council on Environmental Quality, Washington, DC.

Obeikandl.com

26. Dregne, H. E. 1983. Desertification of arid lands. *Advances in Desert and Arid Land Technology and Development*. Vol. 3. Chur, Switzerland: Harwood Academic Publishers.

27. Montgomery, P. H., and Edminster, F. C. 1966. Use of soil surveys in planning for recreation. In *Soil surveys and land use planning*, ed. L. J. Bartelli, et al., Soil Science Society of America and American Society of Agronomy. 104–12.

المصطلحات المفتاحية KEY TERMS

التربة (soil)، (ص64)
التجوية (weathering)، (ص65)
آفاق التربة (soil horizons)، (ص65)
تطوّر قطاع التربة (soil profile development)، (ص67)
تطوّر قطاع التربة نسبيًّا (relative profile development)، (ص67)
تعاقب زمني للتربة (soil chronosequence)، (ص68)
خصوبة التربة (soil fertility)، (ص68)
نظام تصنيف التربة الموحّد (unified soil classification system)، (ص70)
النفاذية (permeability)، (ص75)
قوّة التربة (soil strength)، (ص71)
احتمالية التآكل (corrosion potential) (ص75)
حساسية التربة (soil sensitivity)، (ص75)
القدرة على الانكماش والانتفاخ (shrink–swell potential)، (ص75)
الإسالة (liquefaction)، (ص75)
التربة المتمدّدة (expansive soils)، (ص75)
الانضغاطية (compressibility)، (ص75)
تلوّث التربة (soil pollution)، (ص85)
قابلية الحتّ (erodibility)، (ص75)
التصحّر (desertification)، (ص85)
مسح التربة (soil survey)، (ص87)

بعض الأسئلة للتفكير SOME QUESTIONS TO THINK ABOUT

1. كيف تؤدّي عمليّات إزالة الغابات واستخدام السيارات البعيدة عن الطرق إلى فقدان خصوبة التربة؟ ولماذا؟
2. تحبّ إحدى الفتيات من أنصار البيئة ركوب الدراجات الجبلية في المناطق شديدة الانحدار، وسباق التزحلق إلى الأسفل في أشهر الصيف. ما التناقضات بين صفتها صديقة للبيئة، والرياضات التي تمارسها، وتؤدّي إلى الإضرار بالبيئة؟
3. ذكرنا في مناقشتنا للتصحّر في أمريكا الشمالية أعراضًا عدّة له، هل يوجد أيّ منها في المنطقة التي تعيش فيها؟ وهل تعاني منطقتك أيًّا من درجات التصحّر؟
4. كيف يمكن أن يسهم حتّ التربة في انحطاط أسس حضارتنا؟

obeikandi.com

الفصل الرابع

التبيّؤ والجيولوجيا

Ecology and Geology

هذا النهر في جبال جنوب كاليفورنيا، فيه برك عميقة باردة تكوّنت جزئيًا بسبب الجلاميد (*boulders*) الكبيرة، التي أدّت إلى تجميع الجريان، ثم إلى حدوث الحتّ، تنتج البركة عن عمليّات الحتّ، وهي البيئة المهمّة التي يعيش فيها سمك السلمون المرقّط (*Edward Keller*).

ترتبط بيئة سمك السّلمون المرقّط (التّروْته، trout). ذي الرأس الفولاذي (steel head) في جنوب كاليفورنيا ارتباطًا وثيقًا بالجيولوجيا، فالأودية الشاطئية التي تبدأ في جبال جنوب كاليفورنيا، ثم تصبّ في المحيط قلّما يتمّ التفكير فيها على أنّها بيئة مناسبة لأسماك السلمون (التروته). التي تولد في الأودية الجبلية، ثم تسافر إلى المحيط، حيث تبقى هناك سنوات عدّة قبل أن تعود لتضع بيضها، وهناك علاقة بين هذه الأسماك وأودية شمال غرب كاليفورنيا التي تصبّ في المحيط الهادي، على الرغم من ذلك تتوافر تجمّعات أل (steel head) من سان دياجو في أقصى جنوب كاليفورنيا، وتمتدّ إلى الشمال لتصل إلى جنوب سان فرانسيسكو، حيث تلتقي هناك مع فصيلتها في الشمال.

إنّ مناخ جنوب كاليفورنيا شبه جافّ، وجريان الأودية فيها متغيّر كثيرًا، حيث تجفّ الأجزاء السفلى من الأودية في الصيف أحيانًا، أمّا في سنوات الجفاف التي تأتي عادة بصورة دورية، فتجفّ معظم الأودية بصورة شبه تامّة، ومن المألوف حدوث فيضانات غنيّة بالرسوبيّات في السنوات الماطرة، خاصة بعد حدوث حرائق في الغابات، وقد تُغلق الأودية الرئيسة بعد الحرائق أو الانزلاقات، نتيجة امتلاء مجاريها بالحصى، التي تنتشر فيما بعد خلال النظام النهري، لتشكّل بيئة مهمّة للأسماك والكائنات المائية الأخرى.

يُعدّ الجريان القليل في الصيف مهمًّا بصورة خاصّة للتّروْته الجنوبي، وهو جنس من السلمون معرّض لخطر الانقراض، فخلال أشهر الشتاء تذهب أسماك هذا الجنس من المحيط إلى الأودية لتضع بيضها، وقد تعود إلى المحيط لتضع بيضها مرّة أخرى في السنين المقبلة، يفرّخ البيض بين الحصى النهري، ويمكث السمك الصغير في النهر شهورًا أو سنة أو نحو ذلك، قبل أن يدفعها حافز الهجرة للعودة إلى المحيط مرّة أخرى. لوحظت مجموعة من الأنهار التي تتسم بجريان قليل خلال أشهر الصيف، بوصفها جزءًا من دراسة لتقييم بيئة التّروْته في جبال سانتا مونيكا بالقرب من لوس أنجلوس، فقد كان أحد أهداف خطّة استعادة التّروْته المعرّض للانقراض، تحديد أيّ هذه الأنهار قادر على تشجيع نموّ التّروْته المتوافر في عدد منها، مثل أنهار ماليبو وتوبانجا، فلوحظ أنّ جيولوجية جبال سانتا مونيكا تساعد على تشجيع الجريان الخفيف خلال الصيف، وهذا عامل مهمّ جدًّا يحدّ من بقاء التّروْته حيًّا في جنوب كاليفورنيا، وفي المقابل يشيع وجود الماء إمّا بصورة نزّازات أو عيون، حيثما تتوافر الخزّانات المائية، وتجبر المياه الجوفية على الحركة إلى الأعلى في اتّجاه سطح الأرض؛ بسبب الشقوق أو الصدوع. وجد أن احتمالات الجريان الخفيف أكثر في الجزء الشرقي من سلسلة جبال سانتا مونيكا خلال أشهر الصيف؛ وذلك لأنّ الجيولوجيا تساعد

الأهداف التعلُّمية LEARNING OBJECTIVES

يرتبط علم التبيّؤ (الإيكولوجي، ecology) والجيولوجيا بطرق مهمّة وأخّاذة، ويتمّ في هذا الفصل تأكيد هذه الارتباطات، واستخدامها في استعادة البيئات النهرية والأراضي الرطبة والشاطئية أو استصلاحها.

الأهداف التعلُّمية الرئيسة هي:

- تعلّم بعض المفاهيم الأساسية في الإيكولوجي وارتباطاتها بالجيولوجيا.
- فهم أهمّية العلاقات بين الجيولوجيا والتّنوّع الحيوي.
- معرفة أيّ العوامل تزيد التّنوّع الحيوي أو تنقصه.
- تعلم معنى سيادة الإنسان على الأنظمة البيئية، وكيف نستطيع تقليل أثر الإنسان في البيئة.
- تعلّم سبب حاجتنا إلى أخلاقيات بيئية صحيحة، يمارسها أهل هذا الزمان، ويطبّقونها ضمن إطار زمني محدّد.
- معرفة المقصود بالاستصلاح البيئي وطرقه.

على ذلك، إذ يحدث جريان كبير خلال الصيف، عندما تقطع الصدوع البحرية البعيدة الأودية، وتصل إلى اليابسة، وتشكّل الصدوع حاجزًا لحركة المياه الجوفية، ما يؤدّي إلى إجبار الماء على التحرّك في اتّجاه السطح، حيث يظهر بصورة نزازات أو عيون. وقد لوحظ في خانق توبانجا في أواخر خريف عام 2005م توافر عدد من البرك المائية التي يخلو معظمها من الأسماك (الشكل 4-1). وفي البركتين أو الثلاث التي وجد فيها السمك، كانت النزازات والعيون المرتبطة بالشقوق والصدوع في الصخور الرسوبية هي المصادر الواضحة للمياه الباردة فيها، إذ تضيّق الضفاف الصخرية والجلاميد (boulders) مجرى النهر، وينتج عن ذلك برك مائية يجري الماء فيها بسرعة وكمّيات كبيرة، ما يؤدّي إلى حدوث حتّ فيها، وينشأ من ذلك بيئة ذات جريان خفيف صالحة لنمو الأسماك.

تشير دراسة جبال سانتا مونيكا إلى أهمّية أخذ العوامل الجيولوجية النهرية في الحسبان عند تقييم البيئات السمكية، ويتّضح في جنوب كاليفورنيا أنّ كلًّا من الجيولوجيا والمياه الجوفية مهمّان لفهم بيئة الأسماك.

1-4 الإيكولوجي (التبيّؤ) للجيولوجيين: مصطلحات أساسية

ECOLOGY FOR GEOLOGISTS: BASIC TERMS

الإيكولوجي (**Ecology**): دراسة العوامل المؤثّرة في توزّع الكائنات الحية ووفرتها، وبتعميم أكثر هي دراسة الكائنات الحيّة وتفاعلاتها المتبادلة وارتباطاتها ببعضها وبالعالم غير الحي، الذي تتحكّم فيه العمليّات الفيزيائية والكيميائية كثيرًا، وترتبط بالدورات الصخرية والهيدرولوجية (الأشكال 2-9 إلى 2-11). إنّ التفاعلات المعقّدة بين الحياة والبيئة الكبيرة مسؤولة عن نشأة عالمنا الحي، والمحافظة على استمراره، وتؤثّر العمليّات الجيولوجية بمختلف مقاييسها، من المستويات العالمية إلى الإقليمية وإلى أصغر المقاييس، حتى الصخرة التي تعيش تحتها سحلية (lizard) في العمليّات الحياتية كثيرًا.

الشكل (4-1) بيئة الأسماك

(**Fish habitat**) مرتبطة كثيرًا بالجيولوجيا (It is about geology). هذه البركة في أخدود توبانجا في مكان تحدّد عن طريق الشقوق والصدوع، أدّى إلى أن تصبّ الينابيع ماءها البارد في الوادي، ولولا هذا الماء لكانت مساحة بيئة سمك السلمون المرقّط (التّروتة) المعرّض لخطر الانقراض أصغر كثيرًا (*Edward A. Keller*).

تبدأ مناقشة العلاقات بين الإيكولوجيا والجيولوجيا بتعريف بعض المصطلحات والمبادئ، التي تشتمل على الأجناس (species). والتجمّعات (population). والمجتمع البيئي (ecological community). والبيئة (habitat). والبيئة الملائمة (niche). وسنركّز نقاشنا بعد هذه التعريفات على الأنظمة البيئية، حيث تؤدي الجيولوجيا دورًا تشاركيًّا كاملًا مع الحياة. فالجنس (species) مجموعة من الأفراد القادرة على التناسل فيما بينها، والتجمّع (population) مجموعة من الأفراد من الجنس نفسه، تعيش في المنطقة نفسها، أمّا المجتمع البيئي (ecological community) فهو مجموعة تجمّعات بيئية من أجناس مختلفة، تعيش في المنطقة نفسها، وتتفاعل مع بعضها بدرجات متفاوتة، ويستخدم مصطلح ألـ (habitat) للإشارة إلى المكان الذي تعيش فيه الأجناس، أمّا طريقة معيشتها أو كيفيّتها فنسمّيها ألـ (niche). فإذا أخذنا أسد الجبل (mountain lion) الذي يعيش في جبال مونتانا مثالًا، فإن الجبال هي منطقة التبيّؤ، وطريقة معيشته (niche) هي افتراس الغزلان والثديّات الكبيرة الأخرى.

قبل أن ننهي مناقشتنا لبعض المصطلحات الرئيسة في الإيكولوجي، سنتعرّض لأنواع الأجناس، فبعضها يُعدّ موضعيًّا، أي إنّها توجد في المنطقة التي نشأت فيها، وبعضها غريب أحضرها الإنسان إلى منطقة ما لأسباب مختلفة أو مصادفة، مثلًا، أُحضر شجر الأكاسيا (acacia) إلى الولايات المتّحدة، وزُرع بوصفه مصدّات للرياح في المناطق الجافّة، واستورد نوعان من أشجار اليوكاليبتوس (eucalyptus) من أستراليا، وزُرعت بكثرة (مثل نباتات كثيرة أخرى استوردت من أماكن مختلفة من العالم).

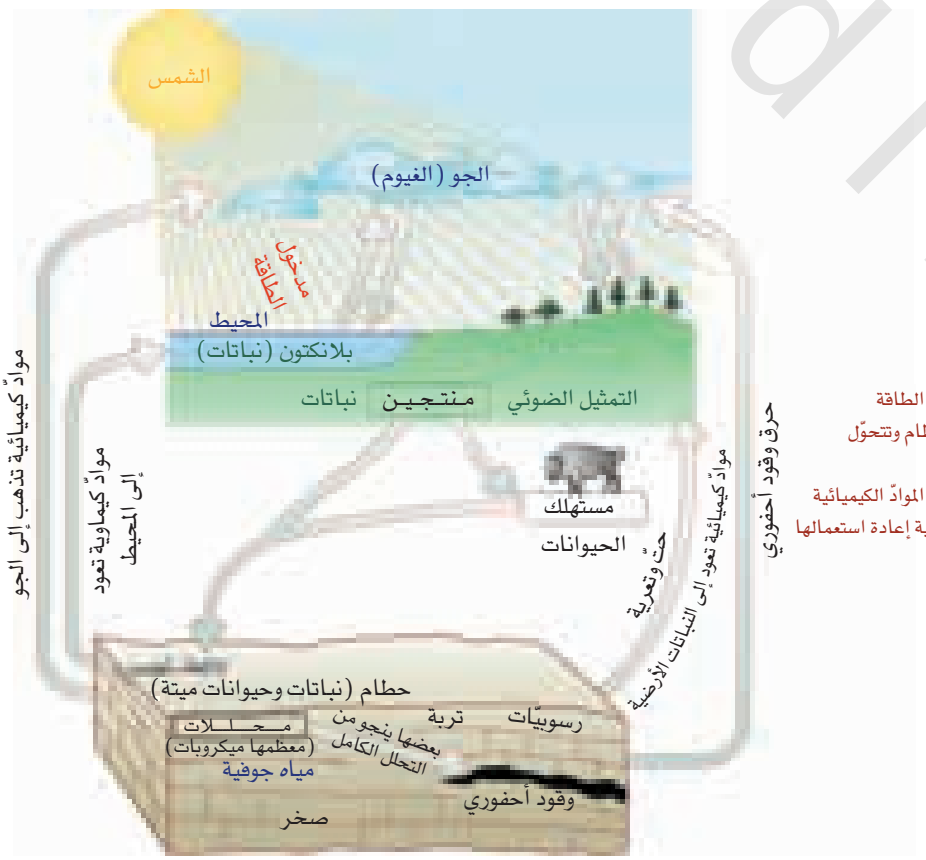
بعض الأجناس الغريبة لا تتسبّب في أيّ مشكلات للمنطقة التي تُحضر إليها، وبعضها الآخر فعلى العكس من ذلك، ونشير إلى هذه النوعية في بعض الأحيان بأنّها اجتياحية، إذ إنّها تتنافس مع الأجناس المحلية، وقد تطردها من المنطقة التي تُحضر إليها مصادفة أو قصدًا، إلّا أنّه في كلتا الحالتين لم يكن ليتوقّع أيّ آثار سلبية لها، فإحضار الكائنات الاجتياحية هو أحد أهمّ أسباب انقراض النباتات والحيوانات على مستوى الكرة الأرضية[1].

الغلاف الحيوي (biosphere) والكائنات الحيّة (البيوتا biota) مصطلحان آخران مفيدان، فالغلاف الحيوي هو ذلك الجزء من الأرض الذي توجد فيه الحياة، والبيوتا المتعضيّات كلّها هي التي تعيش في منطقة صغيرة أو كبيرة تشمل مساحة الأرض كلّها. بعد تعريف هذه المصطلحات، نستطيع أن نتعرّف النظام البيئي، وأنواعه، والعلاقات بين الجيولوجيا والتّنوّع الحيوي، وسيطرة الإنسان أو سيادته على الأنظمة البيئية.

ما النظام البيئي؟ وكيف يعمل؟

What Is an Ecosystem and How Does It Work?

النظام البيئي (ecosystem) مجتمع بيئي مع طبيعته غير الحيّة، حيث تجري الطاقة، وتدوّر الكيميائيات (الأغذية والماء). أضف إلى ذلك أنّ جيولوجية النظام البيئي وكيميائيته وهيدرولوجيته وارتباطاته الوظيفية بالحياة متعدّدة ومعقّدة ولها أساسيّات، انظر الشكل (4-2). ومن الجدير ذكره جريان الطاقة خلاله، حيث يُعاد تدوير الموادّ الكيميائية واستخدامها مرّات عدّة، إضافة إلى وظيفة هذا النظام التي تشمل سرعة جريان الطاقة ودورات الأغذية والموادّ الكيميائية الأخرى خلاله، والبنية، والعمليّات، والتغيّر، وتنقسم البنية فيه إلى قسمين: مجتمع الكائنات الحيّة، والبيئة الجيولوجية غير الحيّة، إلّا أنّ العمليّتين الرئيستين في النظام البيئي هما جريان الطاقة، والدورات الكيميائية، وأخيرًا، فالتعاقب تغيّر منتظم وغير منتظم أحيانًا في الأجناس عند نشوء نظام بيئي، بعد حدوث اضطراب، مثل الاندفاعات البركانية أو الفيضانات أو حرائق الغابات، فإذا نتج عن الاضطراب سطح أرضي جديد، مثل الأراضي الجديدة التي تضيفها الاندفاعات البركانية في



الشكل (4-2) أساسيات النظام البيئي Ecosystem basics: شكل مثالي يبيّن أساسيات نظام بيئي من خلال جريان الطاقة والدورات الكيميائية.

(*Edward Keller*)

openkandi.com

جزيرة مـا، فيسمّى التتابع أو التعاقب في هذه الحالة أوّلي، والأكثر شيوعًا أن يشتمـل الاضطراب على إعادة تأسيس أنظمة بيئية قائمة، وهذا ما يطلق عليه التعاقـب الثانوي، الذي يشمل أحيانًا نباتات رائـدة؛ لأنّها تستطيع أن تتكيّف، وتنمـو بسرعة في بيئة غنية بالضـوء، ويمكن أن تنتج مرحلة متوسّطة للتعاقب مع مرور الزمن، تتميّز بعدد أكبر من الأجناس، وزيادة تدوير الأغذية، وتطوّر النظـام، إضافـة إلـى القدرة الأكبـر على استخـدام الطاقة وتدويـر الموادّ، وتسيطـر بعض أنـواع الأجناس القليلة على مراحل التعاقـب المتأخّرة، ومثال ذلك ما نسمّيه في الغابة النمو القديم.

إنّ الفكرة السائدة عن توازن الطبيعة (balance of nature) في التعاقب المنتظم، أن تقلّ التغيّرات عند وصوله إلى أفضل الظروف، ويكون النظام في حالة توازن هذه ظروف خيالية، ومفهوم يرفضه الكثير من علماء البيئة؛ لأنّ الاضطراب والتغيّر على مقاييس زمنية مختلفة، هما القاعدة، وليس الاستثناء[1].

هناك أنواع متعدّدة من الأنظمة البيئية، تشمل الموضعية (indigenous). والطبيعية، التي عدّل فيها الإنسان أو صنعها أو أنشأها، وإذ يصعب وجود الأنظمة البيئية الطبيعية الموضعية بصورة كاملة على الأرض، فتنشأ بعض الأنظمة البيئية ضمن مدى واسع من الأماكن؛ لأنّ أنشطة الإنسان شاملة ومتغلغلة (pervasive) أو (invasive). ومعظم الأنظمة البيئية تقريبًا لم تسلم من فعل الإنسان واهتماماته، على سبيل المثال: بعض مخلّفات مجتمعنا، مثل الرصاص الذي ينبعث في الهواء، يُنقل إلى أماكن مختلفة من الكرة الأرضية، فيؤثّر في الأنظمة البيئية كلّها، ويحدث تماس بينه وبينها، حتى إن كانت بعيدة عن التجمّعات السكانية.

تنشأ بعض الأنظمة البيئية ضمن مدى واسع من الأماكن والاستعمالات بفعل الإنسان، مثلًا، فقد تنشأ برك ضحلة أو مجموعة من القنوات تسمّى (bioswales) تعمل على تجميع مياه الأمطار الجارية على سطح الأرض، وعند زراعة نباتات المستنقعات، مثل ذنب القطة (cat tails) في هذه البرك أو القنوات، فإنّها تستخلص الأغذية وتفصلها من الماء الآتي إليها بصفته نفايات أو ملوّثات، ما يساعد على تنظيف الماء، وقد أُنشئت الأنظمة البيئية للأراضي الرطبة المصمّمة خصيصًا لهذا الغرض، في الأماكن التي تقوم بها البكتريا والنباتات الأخرى بمعاملة (process) المياه العادمة، والمساعدة على إزالة التوكسينات من الماء، وتُنشأ أنظمة بيئية كبيرة أخرى؛ لتعالج المياه العادمة في المدن جزئيًّا، هذه الأنظمة التي ينشئها الإنسان هي جزء ممّا يعرف بالهندسة الحيوية (biological engineering).

الوظائف الخدماتية الطبيعية للأنظمة البيئية

Natural Service Functions of Ecosystems

الأرض مكان مناسب للحياة؛ لأنّ البيئة تنتج الموادّ الضرورية التي تحتاج إليها الكائنات الحية لاستمرار بقائها، ولأنّنا نحن البشر من الأجناس التي تعيش على الأرض، فإنّنا نستخدم الموارد، ونستفيد من وظيفة الخدمات الطبيعية للأنظمة البيئية (تعرف أيضًا بخدمات النظام البيئي). وهي العمليات المسؤولة عن إنتاج ماء وهواء نظيفين، إضافة إلى الحيوانات والنباتات المختلفة والضرورية لبقائنا، فمثلًا تساعد هذه الخدمات على تدوير العناصر في البيئة، وتوفير الأغذية للنباتات، وتسمح من خلال خصوبة التربة بزيادة إنتاج المحاصيل.

قد تشمل وظائف الخدمة الطبيعية وظائف التخفيف، مثل الحماية من الأخطار الطبيعية (الانـزلاقات والفيضانات). وتسهم النباتات الواقعة على الميول المنحدرة مثلًا في استقرارية التربة، من خلال تفاعل الجذور النامية في التربة، فتعمل هذه الجذور خصوصًا تلك التي قطرها بحجم قطر قلم الرصاص على ربط التربة ببعضها، مثلما تفعل قضبان الحديد في الخرسانة، ويشبه ذلك أيضًا النباتات على ضفاف الأنهار، التي توفّر كتلة من الجذور تزيد في استقرارية التربة، وتساعد كذلك على إعاقة حتّ التربة على ضفتي المجرى المائي، وتوفّر مستنقعات المياه العذبة أو المالحة منطقة تخفيف تمتصّ طاقة الموجة المائية أو الريحية، فالمستنقعات الشاطئية تحمي من فيضان الشواطئ، وتساعد على تقليل الحتّ الشاطئي.

لقد كبرنا، واعتدنا على وظائف الخدمة الطبيعية التي توفّرها أنظمة الأرض البيئية، إلّا أنّنا نُجري في بعض الأحيان تغييرات على الأرض، ونهمل وظائف الخدمـة الطبيعية، علـى سبيل المثال: عندمـا نُزيل المارشـات الشاطئية، فنحـن عرضـة بدرجـة أكبر للحـتّ الشاطئـي والفيضـان، مـن العواصف العاتيـة مثل الأعاصير التي تضرب خطوط الشواطئ أحيانًا، وعندما نجفّف المستنقعـات والأراضـي الرطبة على طول مجـاري الأنهار، فإنّنـا نقلّل من قدرتها على تخزين الماء، ما يزيد من خطر الفيضان.

2-4 الجيولوجيا والتّنوّع الحيوي

GEOLOGY AND BIODIVERSITY

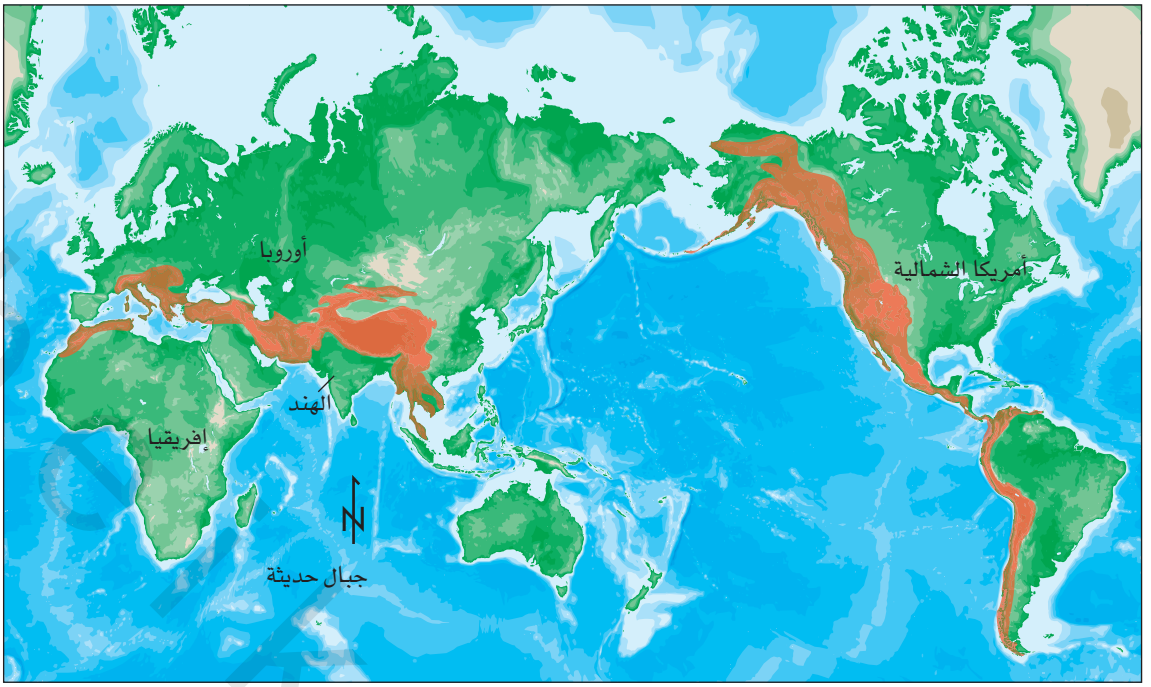
التّنـوّع الحيـوي (**biodiversity**) مفهوم مهمّ فـي علم البيئة، وعندما نفكـر في التّنـوّع الحيوي فعـادة ما نركّز على عـدد الأجنـاس أو وفرتها في نظـام أو مجتمـع بيئي معيّن، حيـث يُشار إلى عـدد الأجنـاس أحيانًا بالغنى (richness) فـي ذلـك الجنس، أمّا الوفرة النسبيـة للجنس في نظام بيئي، فيشـار إليها بالاستـواء أو الانتظـام (sp. Evenness). ومن المصطلحات الأخرى التي تواجهنا الجنس السائـد (dominant species). وهو الجنس المنفـرد أو المتعـدّد الأكثـر شيوعًا فـي نظام بيئـي، ويستعمل علمـاء التبيّؤ النباتـي مفهوم مقدار الأهمّية (importance value) لجنس واحد أو أكثر فـي نظـام بيئي، ويؤثّر التّنـوّع الحيوي مـن أصغر مساحة على سفـح تلة إلى المظاهر القارّية، مثل السلاسل الجبلية، وهذا مبدأ مهمّ في الجيولوجيا.

التّنوّع الحيوي للأشجار في أمريكا الشمالية وأوروبا

Biodiversity of trees in North America and Europe

توزّع أجناس الأشجار الأصلية (الطبيعية) وعددها في أمريكا الشمالية مقارنة بأوروبا أمر أخّاذ ومدهش، ففي أمريكا الشمالية عدد من الأشجار الطبيعية أكبر ممّا هو موجود في أوروبا، وترتبط الأسباب الافتراضية لذلك بالعلاقات المتبادلة بين كلّ من العصور الجليدية والجليديات والصفائح التكتونية (التي تحدّد اتّجاه السلاسل الجبلية). فاتّجاه السلاسل الجبلية الرئيسة الحديثة في أمريكا الشمالية عادّة شمال جنوب (جبال الروكي وجبال الشاطئ الغربي). أمّا في أوروبـا، فقد نشأت السلاسل الجبلية الرئيسة الحديثة من تصادم الصفيحة الأوروبية بالإفريقية، ونتج عن ذلك سلسلة جبال الألب في إسبانيا، وإلى الشرق جبال الهيمالايا، انظر الشكل (4-3). إذن، كيف يمكن ربط كلّ هذا بعدد الأشجار في أمريكا الشمالية وأوروبا؟

obeikandl.com



الشكل (4–3) الجبال الرئيسة الحديثة على الأرض (Major young mountains on earth): خريطة تبيّن السلاسل الجبلية الرئيسة الحديثة. لاحظ أنّ اتّجاهها في أمريكا الشمالية شمال – جنوب تقريبًا، وفي أوروبا أقرب إلى اتّجاه شرق غرب، كما يتّضح في كلّ من جبال الألب والهيمالايا. (*Edward E. Keller*)

حدثت آخر قمّة لحقبة جليدية قبل (20000) سنة، عندما غطّى الجليد قرابة (30%) من مساحة اليابسة على الأرض، وكانت هذه بيئة صعبة للأشجار، ومع نموّ الجليديات القارّية في أمريكا الشمالية وأوروبا، كان على الأشجار أن تهاجر أمام الكتل الجليدية المتقدّمة. وقد وجدت الأشجار في أمريكا طرقًا لتهاجر إلى الجنوب، أمّا في أوروبا فقد أعاقت جبال الألب المتجمّدة الشرق – غربية هذه الهجرة، وانحصرت الأشجار بين الكتل الجليدية، بعد أن انقرض عدد كبير من الأجناس (أكثر ممّا انقرض في أمريكا الشمالية). وهكذا نرى أنّ التّنوّع الحيوي للأشجار الأصلية في أمريكا الشمالية وأوروبا، تأثّرت كثيرًا بعمليّات بناء الجبال القارّية الضخمة وتكتونية الصفائح[2].

تأثيرات المجتمع والأجناس البارزة: كيف ترتبط هذه المفاهيم بالجيولوجيا؟

Community Effects and species: How are these concepts related to geology?

قد يتفاعل كائنان أو أكثر بطرق متعدّدة، ويؤثران في الكائنات الأخرى في النظام البيئي، وترتبط هذه الكائنات أيضًا مع البيئة غير الحيّة والوظائف المشتركة للنظام البيئي (سرعة جريان الطاقة ودورات الأغذية) بطرق تساعد على المحافظة على النظام البيئي، وتُسمّى الأجناس المنفردة التي لها تأثيرات اجتماعية قوية لا تتناسب مع وفرتها الأجناس البارزة (keynote species). وهناك أمثلة عدة على العلاقات بينها وبين الجيولوجيا تساعد على المحافظة على النظام البيئي والتّنوّع الحيوي، سنناقش مثالين على ذلك، هما: العمليّات في قنوات الأنهار في متنزّه (Yellowstone) الوطني، وغابة العشب البحري (Kelp) في جنوب غرب كاليفورنيا.

قنوات الأنهار الجبلية والتبيّؤ: قصة مجاري الأنهار والظباء والذئاب في متنزّه يلوستون الوطني

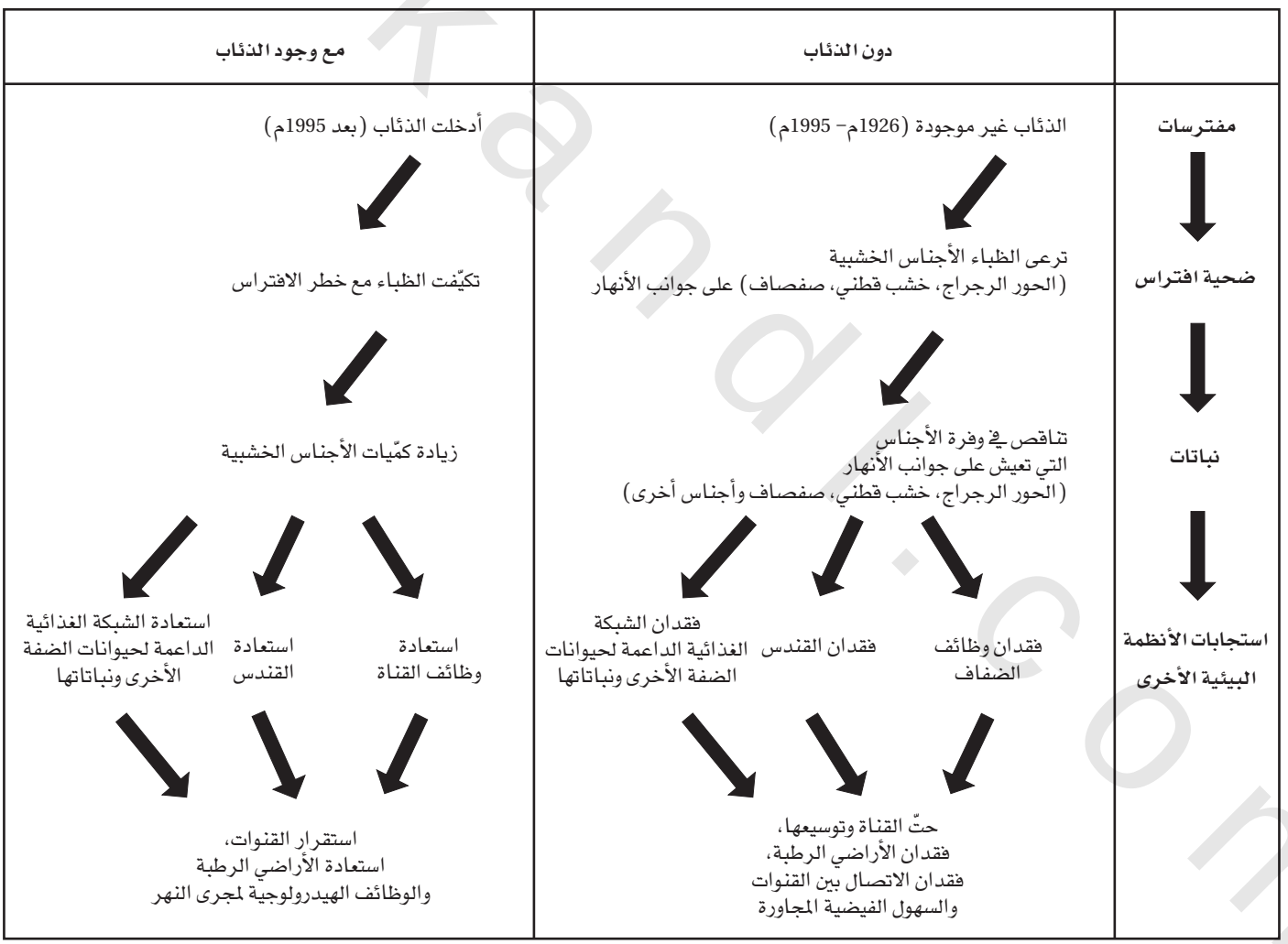
Stream Processes and Ecology: the story of mountain streams, Elk and Wolves in Yellowstone National Park

قنوات الأنهار الجبلية أنظمة متينة، تتكوّن قناة النهر وأرضيته وضفافه من الغرين والرمل والحصى والصخر الأصلي، وتقوم البيئة الجيولوجية بتزويد الماء النظيف البارد من الأمطار وذوبان الجليد، فيرشح خلال الصخور والتربة ليظهر في النهر (stream) على صورة نزّازات أو ينابيع، ويشكّل هذا الماء الجريان الضعيف خلال فصل الصيف، ويدعم حياة الأسماك والكائنات الأخرى في مجرى النهر (stream bed) والغطاء النباتي على جانبيه في بيئة أل (riparian). التي تعرف بأنّها الأراضي المحاذية للنهر، وتختلف في طبيعتها عن الأراضي المرتفعة في المنطقة. يساعد الغطاء النباتي على جانبي النهر على إعاقة حتّ جوانب النهر، ودخول كمّيات كبيرة وضارّة من الرسوبيّات في النظام النهري، فأشجار الخشب القطني (cotton wood) والصفصاف (willow) أمثلة على نباتات الرايباريان، التي تشكّل مصدر غذاء رئيس للحيوانات التي تأكل النباتات، مثل الغزلان والظباء، فإذا كان الرعي جائرًا نقص عدد الأشجار كثيرًا، ما يؤدّي إلى تدمير بيئة النهر؛ لأنّ الظل سيقلّ، وسيزيد حتّ الضفاف وإدخال رسوبيّات ضارّة ناعمة إلى الماء، التي تُعدّ مثل الغرين، وتنجم عن الحتّ من ملوّثات الماء؛ لأنّها تقلّل الاستفادة من موارد التربة، وتؤدّي إلى تدهور نوعية الماء، وإغلاق خياشيم الكائنات المائية (gills). وقد تملأ الرسوبيّات الناعمة الفراغات بين الحصى في مجرى النهر أو تعزلها بالطين، ما يؤدّي إلى تدمير بيئة الأسماك والحشرات المائية.

obeikandi.com

(ب) (أ)

الشكل (4–4) الذئاب والأنهار (Wolves and streams).
(أ) نبات الصفصاف على طول نهر (Blacktale) في ربيع عام 1996م تقريبًا غير موجود؛ بسبب الرعي الجائر للظباء (ب) بعد إعادة إدخال الذئاب لـ (6) سنوات فقط، عاد الصفصاف لينمو بكثافة.
(William J .Ripple)



الشكل (4–5) عمليّات النظام البيئي في أثناء وجود الذئاب وفي أثناء غيابها (Ecosystem processes with and without wolves): شكل يبيّن العمليّات التي في أثناء وجود الذئاب وفي أثناء غيابها في متنزّه (يلوستون) الوطني. عندما غابت الذئاب، كانت الظباء ترعى بصورة جائرة بيئة القناة النهرية وضفافها. استعيدت هذه البيئة بعد إدخال الذئاب في المنطقة.
(Modified after Ripple, J. W. and Beschta, R. L. 2004. Wolves and the ecology of fear; can predation risk structure ecosystems? Bhoscience 54 (8): 755-766).

obeikandl.com

حدث السيناريو السابق في متنزّه (يلوستون) الوطني في الستينيات والتسعينيات من القرن الماضي، خلال فترة لم تتوافر فيها الذئاب وتُصفّى بها الظباء.

خفّ الصفصاف (willows) والنباتات الأخرى على جانبي مجرى النهر كثيرًا؛ بسبب رعي الظباء الجائر، وأعيدت منطقة متنزّه يلوستون الوطني إلى النظام البيئي في منتصف التسعينيات، وتفيد مشاهدات علماء الحياة البرية، أنّ الذئاب نجحت في اصطياد الظباء في المناطق الصعبة والمتباينة طبوغرافيًّا على طول مجاري الأنهار التي ترعى فيها الظباء، وكانت استجابة الظباء بابتعادها الفوري عن بيئة مجرى النهر إلّا في الحالات الاضطرارية، ونتج عن ذلك نقص في نسبة الصفصاف الذي تأكله الظباء خلال (4) سنوات (1998م–2002م) من 90 إلى صفر% تقريبًا، ويتوقّع بعد استعادة الغطاء النباتي على جوانب الأنهار أن تُستعاد كذلك بيئتا المجرى والضفاف، وتعودا لما كانتا عليه قبل عام 1920م، عندما قتل آخر الذئاب الموجودة في المنطقة، انظرالشكل (4–4) و(انظر بعض التطبيقات الرقمية: مجتمع الذئاب).

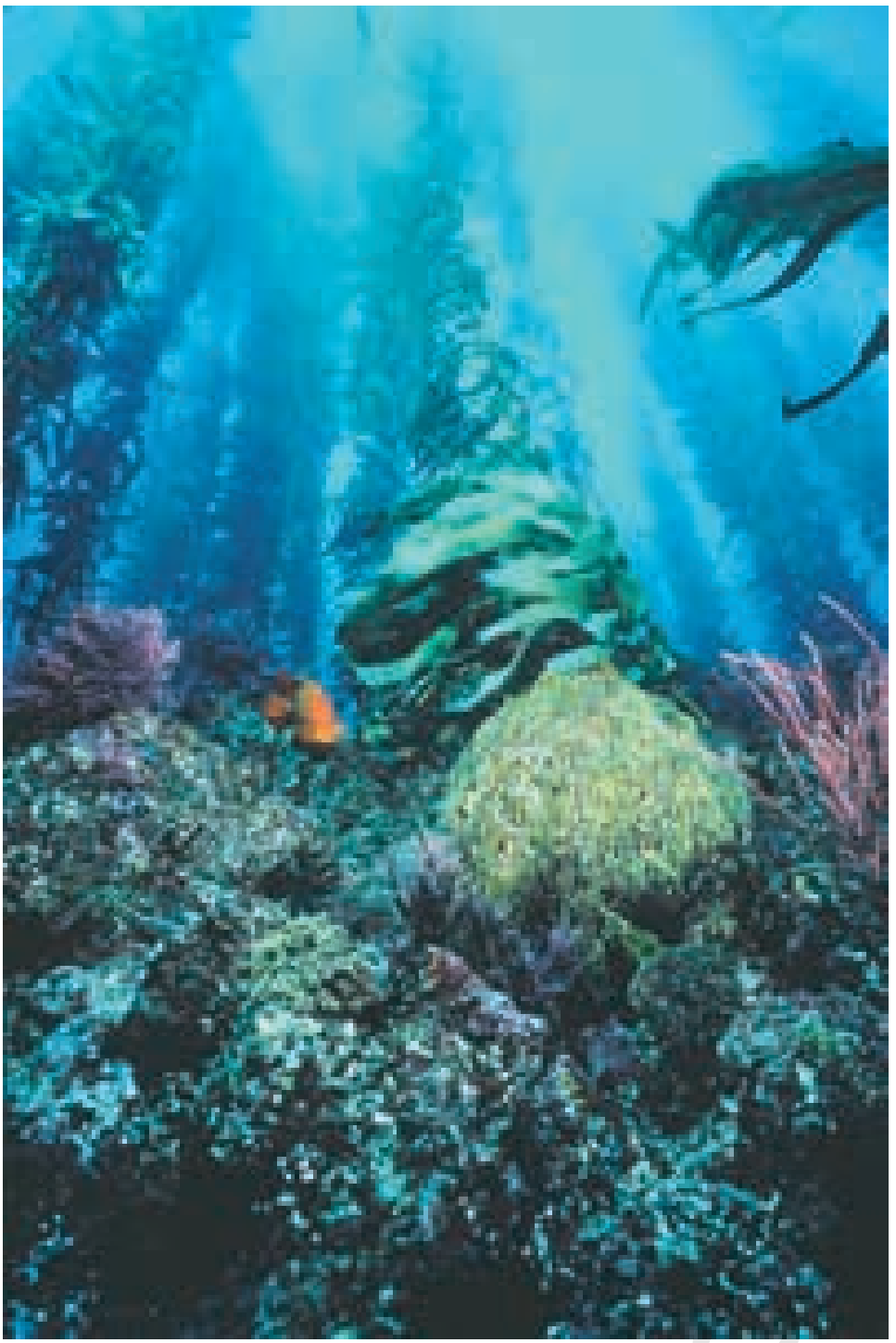
على الرغم من أنّ إعادة إدخال مفترسات كبيرة إلى المنطقة، مثل الذئاب أمر تتضارب حوله الآراء، إلّا أنّها تؤدي دورًا مهمًّا في الأنظمة البيئية التي تتوافر فيها، فعندما تقوم الذئاب باصطياد بعض الظباء، فإنّها بذلك تخيف بقيّتها، وتمنعها من الاقتراب من منطقة مجرى النهر؛ ولذلك فهي تبذل طاقة إيجابية تحسّن ضفاف الوادي ونوعية المياه (الشكل 4–5). وهذا يوضّح أن الذئاب جنس من الكائنات البارزة، التي تؤثّر في مجتمعات أكبر منها، لا تهتم الذئاب بحماية بيئة مجرى النهر، لكنّها تساعد على الإبقاء على بيئة نهرية ذات جودة عالية[3] من خلال اصطيادها للظباء. انظر الشكل (4–6).

الجيولوجيا الشاطئية، عشب البحر، القنافذ البحرية، القندس

Coastal Geology, Kelp, Urchins, and Sea Otters

غابات العشب البحري جنوب كاليفورنيا (الشكل 4–7) نظام بيئي مميّز، يعتمد جزئيًّا على الجيولوجيا المحلية لمنطقة العشب البحري، وهو نوع من الطحالب البحرية الكبيرة، التي تنمو بسرعة هائلة تصل إلى أكثر من (25 cm) يوميًّا، وترتفع (10 m) تقريبًا فوق قاع البحر، يتكوّن العشب البحري من جزء سفلي يشبه الجذور مكوّن من مثبّتات، وجزء متوسّط، وهو جذع أو ساق صغيرة، وجزء علوي، وهو نظام من الشفرات (الأوراق). وهناك أيضًا أجزاء للتعويم، تقع بالقرب من الشفرات، تبقي النبات منتصبًا في عمود الماء، حيث يبدو سطح البحر عند السطح، خصوصًا في أوقات المدّ المنخفض، كأنه حصيرة صلبة تقريبًا، أمّا تحت السطح فتتكوّن الغابة من سويقات ترتبط بالقاع عن طريق المثبّتات، التي ترتبط بدورها بالجلاميد الصخرية أو القاع الصخري، وبعض البيئات الصخرية الأخرى، التي يمكن أن ترتبط بها هي منصّات مقطوعة بالأمواج، وبعيدة عن الشاطئ في ماء ضحل نسبيًّا وشعاب صخرية توجد في أعماق قدرها عشرات الأمتار،

الشكل (4–6) الذئاب مفترسات طبيعية للأيائل أو الظباء (Wolves are natural predators of elk) في متنزّه يلوستون الوطني، وإعادة إدخالها إلى المنطقة أفاد بطرق غير متوقّعة النظام البيئي لمجرى النهر. (*Tom McHugh/Photo Researches, Inc*).



الشكل (4–7) غابة العشب البحري

(**the kelp forest**) في جنوب كاليفورنيا نظام بيئي مميّز، وتؤدي الجيولوجيا دورًا في تطويره. بحيث يلتصق النبات بقاع المحيط في الماء الضحل نسبيًا في كلّ من المنصّات المقطوعة بالأمواج أو الشعاب الصخرية المرتفعة.

(*Flip Nicklin/Minden Pictures*).

ولهذه المنصّات ذات تضاريس متباينة، تعتمد على المقاومة المحلية للرفّ الصخري المحدّد، أمّا الشعاب الصخرية فتنتج أحيانًا عن رفع جيولوجي عن طريق التصدّع، أو عن وجود صخر أكثر مقاومة (صلب). وتوازي هذه التراكيب التي تتّجه شرق- غرب الشاطئ، وتمتدّ من سانتا باربارا إلى لوس أنجلوس، وتدين كل الشعاب الصخرية البعيدة عن الشاطئ تقريبًا، التي تدعم غابات العشب البحري بوجودها إلى جانب البيئة الجيولوجية النشطة.

ترتبط المثبّتات بالصخور بما يشبه نظام الجذور، وتتميّز بعدم حاجتها إلى الغذاء، إذ إنّ وظيفتها إبقاء النبات في مكانه، فيعوم العشب البحري وينجرف إلى الشاطئ إذا تكسّرت المثبّتات أو تآكلت بطريقة أو بأخرى، يسلط العشب المتحرّك القريب من السطح جهدًا على الجزء السفلي من النبات خلال العواصف، ما يؤدّي إلى خلخلة المثبّتات، التي يمكن بدورها أن تنتقل مع بعض الفتات الصخري إلى الشاطئ، لتصبح جزءًا من الرسوبيّات التي تحملها البيئة القريبة منه، ويمكن لهذه العملية أن تحرّك بعض الفتات الصخري من عرض البحر في اتّجاه الشاطئ، بينما تقوم بتوزيع المادّة العضوية بالطريقة نفسها كذلك.

تزدهر غابات العشب البحري في مناطق التيارات الصاعدة وفي المياه الباردة بالتحديد، وتنقص سرعات النمو كثيرًا خلال سنوات، عندما ترتفع حرارة المياه البحرية، خلال سنوات النينو مثلًا، وهناك عدد من الكائنات

التي تعيش بالقرب من قاع غابة العشب البحري بما فيها القنافذ البحرية، التي تتغذّى على المثبّتات وتكسرها، فيطفو العشب البحري بعدها ويموت، إلّا أنّ هناك مفترسات عدّة للقنافذ البحرية من ضمنها القنادس البحرية والإنسان الذي يقوم بتجميعها للاستفادة من بيضها أو بطارخها؛ لأنّها مادّة ثمينة (الشكل 4-8).

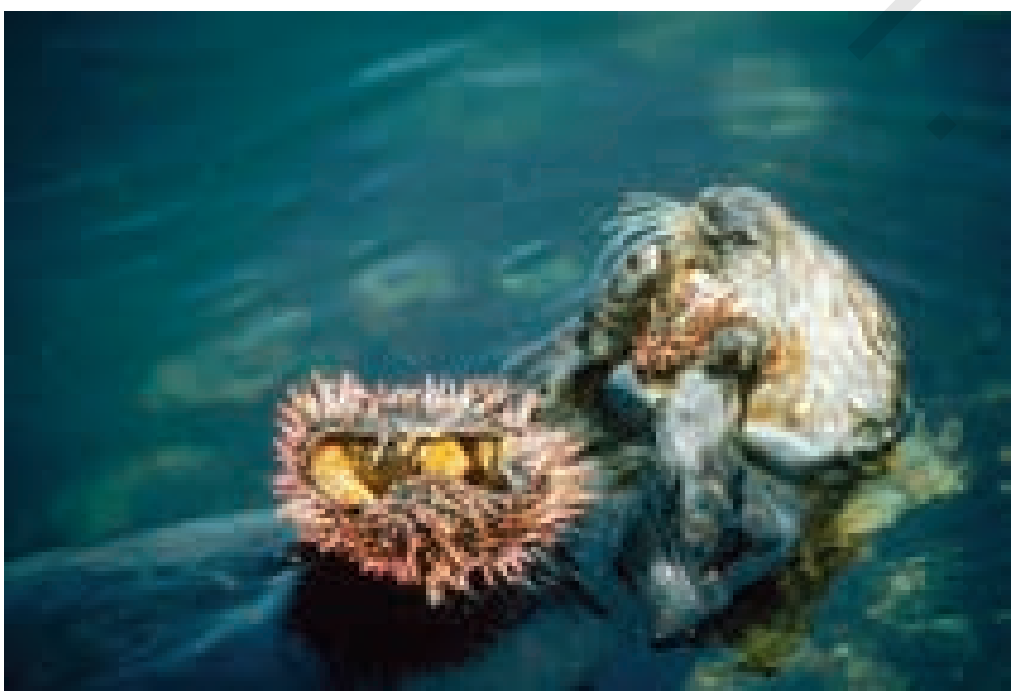
تقترح الدراسات التي أجريت في ألاسكا، أن الأعشاب البحرية قليلة في المناطق التي لم يعد عدد القنادس فيها كثيرًا، والقنافذ البحرية كثيرة جدًّا في بعض المناطق؛ لذا لا وجود للأعشاب البحرية فيها، وأنّ العشب البحري قد عاد، وازدهر في المناطق التي أعيدت إليها القنادس البحرية إلى أعدادها الأصلية، بعد أن كانت قد استؤصلت تقريبًا بهدف الاستفادة من فرائها، ويبين الشكل (4-9) الروابط بين البيئة الجيولوجية، وغابة العشب البحري، والقنافذ والقنادس البحرية، لاحظ أنّه عندما تتوافر القنادس تقلّ القنافذ، ويصبح العشب البحري أكثر.

القنادس البحرية جنس بارز له تأثير مجتمعي قوي؛ لأنّها تؤدّي إلى غابة أعشاب بحرية جيّدة، عندما تأكل القنافذ، وتوفّر هذه البيئة والصخر المتكشّف البنية والموارد الغذائية للحيوانات الأخرى مثل الأسماك، فالقنادس لا تهتمّ بحماية غابة العشب البحري بحدّ ذاتها، ولا بإبعاد القنافذ عنها، لكنّ تغذيتها على القنافذ هي التي تساعد على إبقاء بيئة صحّية منتجة في غابة العشب البحري[1].

حاليًّا، هناك جدل حادّ حول مسألة الإبقاء على القنادس البحرية، والسماح لها بالازدياد في تبيّؤاتها السابقة في جنوب (Pont Conception) شمال غرب سانتا باربرا في جنوب كاليفورنيا؛ لأنّ الصيادين والناس الذين يستفيدون من القنافذ البحرية أو يجمعونها، يخشون أن تقلّ أعداد القنافذ كثيرًا، إلى الحدّ الذي لن يكون معه مجديًا جمعها من الناحية الاقتصادية إن تغوّلت القنادس، بالطبع، القنادس ليست على دراية بهذا الجدل، وهي ببساطة تعود إلى تبيّؤاتها التاريخية السابقة، وإذا سُمح للقنادس بالهجرة إلى الجنوب، فإنّ استعادتها ستكون عملية بطيئة، ولن تحدث أبدًا لعدد من الأسباب: أوّلها وأهمّها، أنّ المياه الشاطئية في بعض مناطق كاليفورنيا ملوّثة بملوّثات قد تؤدّي إلى أمراض القنادس، كذلك فإنّ المناخ متغيّر ومياه المحيط في حالة دفء مستمرّ، ما يجعل من المناطق الجنوبية مناطق ذات صلاحية قليلة لنمو غابات الأعشاب البحرية والقنافذ التي تتغذى على مثبّتاتها، إضافة إلى ذلك، القنادس حسّاسة للحرارة؛ لأنّ كثافة دهنها العالية توفّر لها عزلًا جيّدًا في المياه الباردة، لكنها تزيد من حرارتها في المياه الدافئة.

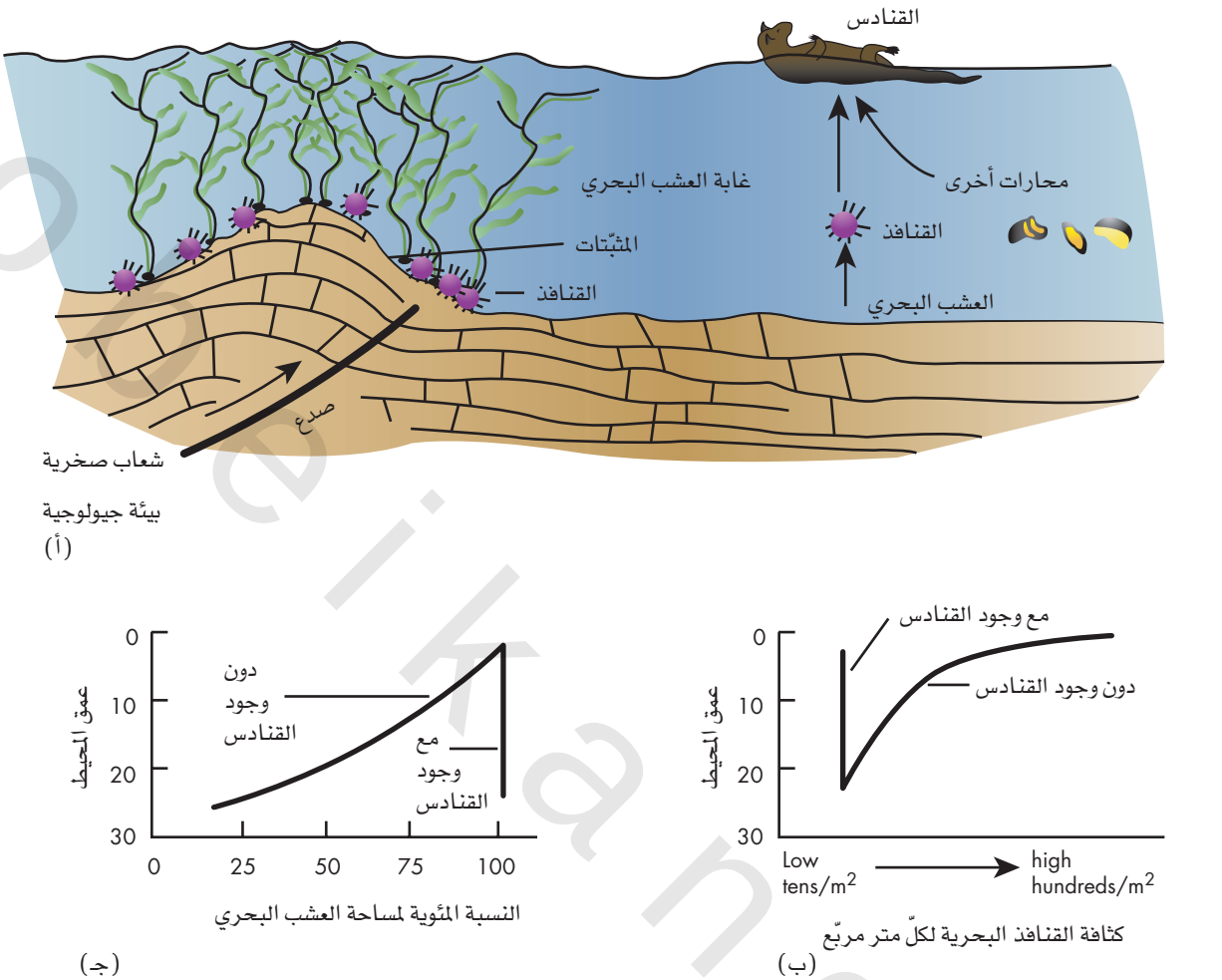
تبيّن مناقشتنا للذئاب في منطقة (يلوستون) (Yellowstone). والقنادس البحرية في غابة الأعشاب البحرية وعلاقاتها مع البيئتين الهيدرولوجية والجيولوجية أنّها علاقات مباشرة نسبيًّا، وهناك أمثلة متعدّدة أخرى على كيفيّة تأثير الأجناس البارزة في الأنظمة البيئية، تساعد ثيران البيسون الأمريكية -مثلًا- من خلال ممارساتها الرعوية على الإبقاء على التّنوّع الحيوي في حشائش البراري الطويلة، والتربة التي تتجوّل فيها (الشكل 4-10).

بعض الأجناس ليست كائنات عملاقة أو ملحوظة في أنظمتها البيئية، إلّا أنّ أهمّيتها كبيرة من منظور تَبَيُّئِي، على سبيل المثال: المرجان الباني للشعاب والطحالب أجناس توفّر تبيّؤات فيزيائية ضمن بيئة الشعاب المرجانية في العالم، كذلك توفّر إطارًا أو هيكلًا تتوافر ضمنه الجوانب الأخرى لحياة الشعاب (الشكل 4-11). الشعاب المرجانية حول العالم في حالة تراجع في كثير من أماكن توافرها؛ نتيجة لتسخين المحيطات والتلوّث وصيد الأسماك الجائر، وتتوافر الشعاب المرجانية القديمة على صورة صخر جيري، يشكّل أسس كثير من المناطق التي يعيش الناس فيها، ومن ضمنها أجزاء كبيرة من فلوريدا ومنطقة البحيرات العظمى.



الشكل (4-8) القنادس البحرية وغابة العشب البحري (sea otters and the kelp forest). القنادس البحرية جنس بارز في غابة العشب البحري تتغذّى على القنافذ البحرية والمحارات الأخرى.

(*Frans Lanting/Minden Pictures*).



الشكل (4–9) تؤثّر القنادس البحرية في غابة الأعشاب البحرية (sea otters affect kelp forest) أشكال بيانية توضّح تأثيرات القنادس البحرية في غابة العشب البحري خاصة توافر العشب. (أ) البيئة الجيولوجية ذات الشعاب الصخرية المرفوعة، والعشب البحري، والقنافذ والقنادس البحرية. (ب) تكثر القنافذ في غياب القنادس. (جـ) أمّا مع توافر القنادس فتزداد مساحة العشب. لاحظ أنّ هناك نقصًا كبيرًا للعشب البحري في غياب القنادس.

الشكل (4–10) يؤثّر ثور البيسون الأمريكي (American bison) تاثيرًا كبيرًا في حشائش البراري الطويلة (tall grass brairie) التي يرعى ويتأثر بها. عاداتها الرعوية تساعد على إبقاء تمايز حيوي في أعشاب البراري الطويلة واللاندسكيب كله، بما في ذلك التربة والأراضي الرطبة المعروفة بأماكن تمرّغ الجواميس. *(Lowell Georgia/Corbis)*.

PUTTING SOME NUMBERS ON بعض التطبيقات الرقمية

The population of wolves مجتمع الذئاب

عدد الذئاب في مونتانا وآيداهو وويومنج ومتنزّه (يلوستون) الوطني يكتنفه الكثير من الجدل، حيث أُدخل (66) ذئبًا إلى المنطقة عامي (1995م–1996م). ونما عددها ليصل إلى (1500) ذئب منها (151) في متنزّه (يلوستون) الوطني وحده (الشكل 4 أ). و(700–800) ذئب في آيداهو. نفترض هنا أنّ (24) ذئبًا أدخلت إلى (يلوستون). والبقية إلى آيداهو الوسطى، وتريد الولايات الثلاث تقليل عدد الذئاب في كلّ منها باستثناء (يلوستون) إلى (100) ذئب، لا يحبّذ الكثير من مربي المواشي وجود الذئاب؛ لعدوانيتها أو خشيتهم من اعتدائها على الماشية، بينما يخشى الصيادون أن تقتل الذئاب الظباء، التي يحبّون اصطيادها، وتريد هذه الولايات إلغاء اعتبار الظباء من الكائنات المعرّضة لخطر الانقراض، وعليه، السماح بصيد الذئاب؛ لتقليل أعدادها، وبالفعل بدأ صيد الذئاب عام 2008م، ورفعت قضايا؛ لمحاولة إيقافه، نظرًا إلى أثر الذئاب الإيجابي في الغطاء النباتي والحيوانات المفترسة الأخرى، الذي يؤكّده البحث البيئي، فهي تساعد الدببة الرمادية (grizzly) (بتوفير الفرائس التي تنافسها عليها الدببة أيضًا). وتقليل أعداد مجتمع ذئب القيوط(coyotes)[3][4]. تذكّر معادلة النمو التي ذكرت في الفصل الأوّل، وهي:

$N = N_0(e)^{kt}$ حيث N = القيمة المستقبلية للمجتمع؛

N_0 = القيمة الحالية للمجتمع؛

$k\%$ = سرعة النمو السنوية

t = عدد السنوات

e = (2.71828)

هذه المعادلة مهمّة، وتستحق أن تحفظها[5].

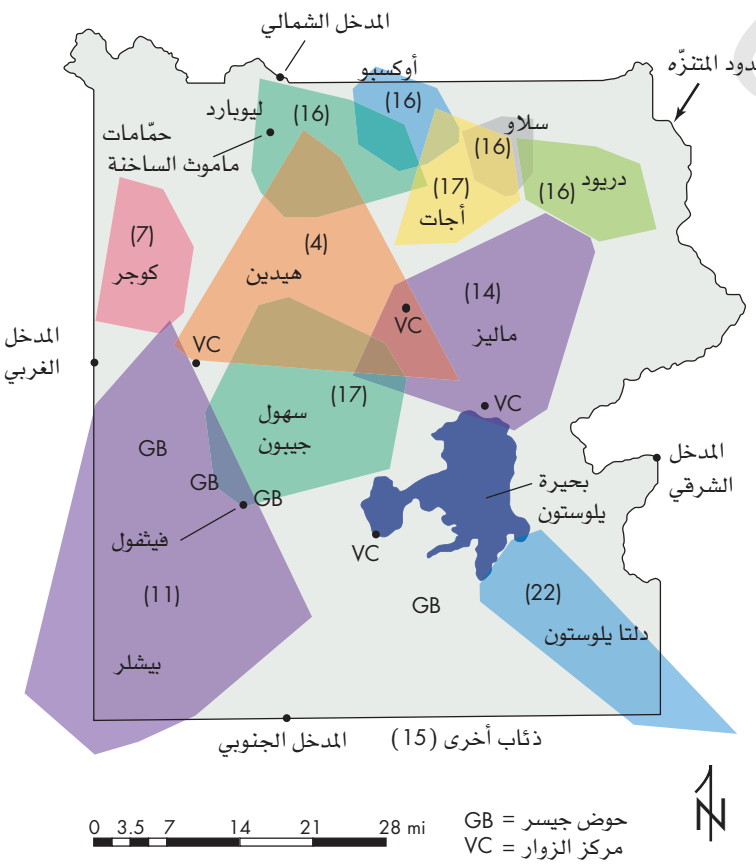
يمكننا أخذ ألـ (ln) (اللوغاريتم الطبيعي للأساس (e)) لجهتي المعادلة، وإعادة الترتيب، ثمّ حساب سرعة معدّل النمو (k). أو معدّل السنين أو عددها اللازم لمجتمع ما، ليصل حجمه إلى حدّ معيّن.

$$k = (1/t)\ ln\ (N/N_0)\ ;\ t = (1/k)\ ln\ (N/N_0)$$

عندها يمكننا أن نطرح بعض الأسئلة، مثل:

1. كم كانت سرعة نموّ عدد الذئاب في المنطقة من عام (1996م–2007م)؟
2. كم كانت سرعة نموّ عدد الذئاب في ألـ (يلوستون) من عام (1996م–2007م)؟
3. في أي سنة (بدءًا من عام 1996م) سيبلغ تعداد مجتمع الذئاب (300) أو(600) في ألـ (يلوستون)؟

هذه الأسئلة لا تجيب عن أسئلة مهمّة أخرى مرتبطة بسعة التحمّل (carrying capacity) للذئاب (عدد الذئاب أو القيمة المحبّذة أو الضرورية التي تستطيع البيئة تحمّلها مع الإبقاء على مجتمعها).



الشكل (4 أ) متنزّه يلوستون (**Yellowstone**) **الوطني**: مناطق توافر الذئاب بأسمائها وأعدادها عام (2007م).

Modified from U.S National Park Service, http://www.nps.gov (accessed 4-03-08).

obeikandi.com

1. $k = (1/t)\ln N/N_0 = (1/11)\ln(66/1500)$
   لكل سنة 28% أو 0.28 =
2. $k = (1/t)\ln(24/171) = 0.18$ or 18% لكل سنة
3. $t = (1/0.18)\ln 24/300$
   14 سنة أو عند حلول 2010 للوصول 300 =
   $t = (1/0.18)\ln(24/600)$
   18 سنة أو عند حلول 2014 للوصول 600 =

يتّضح ممّا سبق، أنّ مجتمع الذئاب يتزايد بسرعة كبيرة (18–28% سنويًّا) منذ استقدامها عام 1996م. وهكذا يكون مجتمع الذئاب قد ازداد بنسبة (بسرعة) (70/k). (انظر الفصل الأوّل) في (2–5 – 3–9) سنوات. التحليل السابق هو إحدى الطرق للنظر إلى مجتمعات الذئاب، وتشتمل التحاليل الأكثر تعقيدًا على العوامل البيئية للمجتمعات التي تقوم الذئاب بافتراسها، حيث تشكّل الظباء (elk) أكثر من (90%) من فرائس الذئاب في ألـ (يلوستون). إضافة إلى نسب قليلة من ثور البيسون (bison) الأمريكي والغزلان والحيوانات الأخرى. أمّا المتغيّرات الأكثر صعوبة فهي مهمّة أيضًا، وتشمل التغيّرات في كلّ من: الغطاء النباتي الذي تتغذى عليه الفريسة، والأراضي المخصّصة لرعي الحيوانات، والمناطق المخصّصة للذئاب، والتغيّرات المناخية المحتملة، وتعكس الطريقة التي ندير بها مجتمعات الذئاب كلًّا من التقدّم العلمي والقيم السائدة في مجتمعنا.

العوامل التي تزيد التّنوّع الحيوي أو تنقصه؟

Factors that increase or decrease biodiversity?

بعد مناقشتنا للمجتمعات البيئية والأنظمة البيئية والأجناس البارزة، نستطيع أن نتصدى بصورة أكثر مباشرة لأنواع العمليّات المحتملة، التي تزيد التّنوّع الحيوي أو تنقصه، ونحن مهتمّون بصورة رئيسة بغنى الأجناس (عددها). لكنّ التّنوّع الحيوي مرتبط أيضًا بتنوّع المنشأ أو الوراثة، وهو عدد الجينات الموجودة في المجتمع، التي لا يمكن التعبير عنها دائمًا من خلال صورة كائن محدّد أو وظيفته.

ما العوامل التي تزيد التّنوّع الحيوي؟

What factors increase biodiversity?

قد يزداد التّنوّع الحيوي بعوامل عدّة، منها:

- يؤدّي وجود بيئة متميّزة فيها كثير من المواضع اللائقة (niches)، مثلًا النهر متغيّر العمق، والاضطراب، والسرعة، وكمّيات الحطام من الأخشاب الكبيرة (الجذوع stems)، والجذور الكثيفة (rootwads)، والأشجار إلى عدد أكبر من الأجناس (species).
- توفّر الكمّيات المتوسّطة من الاضطراب أو التشويش، مثل الحرائق الشديدة، والعواصف العاتية، والنشاط البركاني، بيئات جديدة، أو تؤدّي إلى تجديد بيئات قديمة.
- يزيد وجود بيئات صعبة، مثل الينابيع الحارّة أو الصخور أو التربة الفقيرة بالأغذية قد تتوافر فيها أجناس خاصة، التّنوّع على المستوى الإقليمي.

الشكل (4–11) تتكوّن الشعاب المرجانية من عدد من الكائنات (coral reefs are composed of a number of organisms). تشمل الطحالب والمرجان، التي تعطي البنية الأساسية للشعاب، وتؤثّر بصورة كبيرة في التّنوّع الحيوي للبيئة البحرية.

Open Textbook Library

- عوامل بيئية ثابتة نسبيًّا، مثل الحرارة والأمطار والارتفاع، أحد الأسباب لتوافر أعداد كبيرة من الأجناس حول منطقة خطّ الاستواء، وجود مورد ثابت من الطاقة نسبيًّا، يأتي من الشمس قرب خط الاستواء، والظروف مثل الحرارة والرطوبة، هي ثابتة نسبيًّا، ما يؤدّي إلى تمايز الكائنات بصورة أكبر.
- يشير التطوّر أو توليد التّنوّع الحيوي عادة إلى تغيّرات بطيئة في الكائنات في أثناء الزمن الجيولوجي، إلّا أنّه يمكن حدوث التطوّر بسرعة في بعض الأجناس أحيانًا.
- بيئة تعدّلت كثيرًا بالحياة مثل التربة العضوية الغنية: فعند النظر إلى مناطق كبيرة، فإنّ المناطق الأكثر إنتاجًا بيولوجيًّا، تميل إلى أن تكون أكثر تمايزًا أيضًا.
- الجيولوجيا التي تؤثّر في وظيفة النظام البيئي وعمليّاته، من البيئات الصغيرة جدًّا إلى تلك التي تكون على مستوى القارّات، ارجع على سبيل المثال إلى المناقشة السابقة، حول التّنوّع الحيوي واتّجاه السلاسل الجبلية.

ما العوامل التي تقلل التّنوّع الحيوي؟

What factors reduce biodiversity?

- وجود بيئات متطرّفة، مثل الينابيع الحارة أو نزّازات القار، التي توفّر محليًّا مجموعة من البيئات والمواضع المناسبة (niches) المحدّدة للحياة. نرى ممّا سبق أنّ البيئات المتطرّفة قد تؤدّي إلى زيادة التّنوّع على المستوى الإقليمي، وعليه، فإنّ التغيير يتأثّر بحسب نوع المقياس المستخدم.
- الاضطراب المفرط أو المتكرّر كثيرًا، مثل الحرائق التي تؤثّر في مساحات شاسعة، والعواصف أو النشاط البركاني، الذي يؤدّي إلى تفسيخ الأنظمة البيئة بصورة كارثية.
- تحويل الأرض التي تجزئ الأنظمة البيئية، مثلًا يؤدّي بناء سدّ على نهر إلى إغلاق منافذ هجرة الأسماك فوق مستوى السد وتحته، ويخلّف إنشاء خزّان مائي كبير وراءه سلسلة من الجزر الصغيرة المعزولة عن اليابسة، وتعمير منطقة بممرّات بين الأراضي الريفية لهجرة الحيوانات والنباتات.
- وجود إجهادات أو معوّقات بيئية، مثل التلوّث.
- تبسيط البيئة –على سبيل المثال– الزراعة المقلّلة للبيئة، وبناء منشآت هندسية للتحكّم في الفيضان أو الحتّ (انظر نظرة متفحّصة: الجدران البحرية والتّنوّع الحيوي).
- إدخال أجناس غريبة ومتطفّلة تتنافس مع الأجناس المحلية، أو تتسبّب بافتراس الأجناس الأصلية أو مرضها.
- وجود سلاسل جبلية تحجز هجرة النباتات والحيوانات أو تقيّدها.

سيطرة الإنسان أو سيادته على الأنظمة البيئية

Human domination of ecosystems

من الواضح أنّنا نسيطر على الأنظمة البيئية كلّها على الأرض تقريبًا، وقد أدّت دراسة هذه السيادة أو السيطرة إلى استنتاج عامّ فحواه، أنّ سيطرة الإنسان لم ينتج عنها أيّ كوارث على مستوى الكرة الأرضية حتّى الآن، على الرغم من حدوث ظروف كارثية في بعض المناطق، من الواضح أنّ هناك كثيرًا من العوامل المرتبطة بطرق معقّدة بتزايد عدد السكان، وتحويل الأرض إلى الاستعمال البشري، والتغيّر المناخي على مستوى الكرة الأرضية، والدورات البيوجيوكيماوية. ينتج عن هذه العمليّات نقصان في التّنوّع الحيوي، من ضمنها اختفاء أنظمة بيئية بأكملها، وانقراض كثير من الأجناس، ويبدو أنّنا في فترة حدوث انقراض جماعي، أدّى في أل (2000) سنة الأخيرة إلى إنقاص التّنوّع الحيوي، خصوصًا في الطيور والثديّات والأسماك، إضافة إلى الحشرات والأجناس الأخرى، وكانت سرعات الانقراض في آخر ألفين عام، أكبر بكثير ممّا يمكن توقّعه، بالاعتماد على السرعات الجيولوجية المرجعية.

إنّ تحويل الأرض هو العامل الأكثر أهمّية، الذي أدّى إلى سيادة الإنسان على أنظمة الأرض البيئية، حيث تحدث التحويلات عندما نطوّر الزراعة والصناعة ووسائل الترويح والمراكز العمرانية.

القاعدة الذهبية للبيئة: منظور جيولوجي يتركّز حول التوقيت

The golden rule of the environment: a geologic perspective all about timing

قال الجيولوجي وعالم البيئة الشهير ستيفن جاي جولد: إنّ التحليل العلمي الصحيح للأزمة البيئية، التي تواجه العالم اليوم، يتطلّب مقياسًا تقريبيًّا للمكان والزمان، ويؤكّد جولد أنّ هناك «وقت أرضي» (زمن عميق). وهو جيولوجي في الأساس، ثمّ إنّ هناك «زمن بشري»، وهو أقصر كثيرًا والأهمّ بالنسبة إلى أهل هذا الزمان، وأنّ الكائنات البشرية الحديثة ما هي إلّا واحدة من ملايين الأجناس، التي تعيش على الأرض، وكلّ من هذه الأجناس يتميّز بتفرّده وله أهمّيته، يؤكّد جولد أيضًا ضرورة التحلّي بأخلاقيات بيئية صحيحة (مقبولة). تعتمد على مسألة مقياس الزمن البشري بالمقارنة بـ «الزمن الأعظم لكن الأقلّ أهمّية (majesty but irrelevance)» وهو الزمن الجيولوجي.

إنّ الاستنتاج الأساسي لجولد هو: إنّنا في حاجة إلى عمل تحالف (pact) أو تصالح مع الأرض (بيتنا)؛ لأنّ أوراق اللعب المهمّة كلّها بيد أمّنا الأرض، وعليه، فهي أقوى منّا، إذن نحن في حاجة ماسّة إلى تطوير علاقة أكثر توافقية مع كوكبنا خلال حياتنا عليه، والأرض ليست في حاجة إلى أن تعقد اتفاقية معنا؛ لأنّ مثل هذه الاتفاقية ستكون هدية لنا من أمّنا الأرض.

صورة أخرى للقاعدة الذهبية (golden rule): عامل الناس بالطريقة التي تحب أن يعاملوك بها، يقول جولد: إنّ علينا أن نعقد هذه الاتفاقية، وإنّ الأرض مازالت قادرة على الدخول فيها خلال زمننا البشري القصير، ويضيف جولد قائلًا: «إذا خدشناها، فستنزف دمًا، وتركلنا بعيدًا، ثم تداوي جرحها، وتمضي في أمورها المعتادة ضمن مقياسها الزمني»، أي إنّنا إذا استمررنا في معاملة كوكبنا بعدم احترام، فإنّنا في النهاية سندمّر البيئة التي يعيش فيها البشر وكثير من الكائنات الحية الأخرى، نتيجة لذلك، قد ينقرض جنسنا مع أجناس أخرى أسرع ما نتصوّر، أمّا إذا حافظنا على الأنظمة البيئية والموارد، فقد نؤخّر انقراضنا قليلًا. تأثير جنسنا في تاريخ الأرض سيكون قليلًا من منظور الزمن الجيولوجي العميق الممتدّ مئات الملايين إلى بلايين السنين، أمّا بالنسبة إلى المقياس الزمني الذي يهمّنا، فإنّنا نحبّ أن نبقى إلى أطول وقت ممكن، ونحن لا نتحدث هنا عن إنقاذ الأرض، فالأرض ستستمرّ بلايين عدّة أخرى من السنين، معنا أو دوننا، بل نتحدث عن المحافظة على استمرارية أنظمة الأرض التي نعتمد عليها في التمتّع بصحّتنا وازدهارنا.

ما الذي يمكننا عمله لتقليل تأثير الإنسان في البيئة؟

What can we do to reduce the human footprint on the environment?

أثر البشر في البيئة يؤثّر في كوكبنا بما فيه من موارد وأنظمة بيئية، ومجرّد معرفة زيادة تأثير البشر في البيئة خطوة في الاتجاه الصحيح. نعترف أنّ تأثيرنا الكلي يساوي حاصل ضرب التأثير الذي يحدثه كلّ إنسان مضروبًا في عدد سكان الأرض من البشر، ولتقليل هذا التأثير، علينا إمّا أن نقلّل عدد البشر، أو نقلّل الأثر الذي يحدثه كلّ فرد من الأفراد في البيئة. إنّ تقليل عدد سكان الأرض من البشر، واستخدام الموارد بفعالية أكبر، وتعلّم إدارة النفايات بطريقة أفضل، طرق عمل لم تُذكر غالبًا، إضافة إلى أهمّية اكتساب فهم علمي أفضل للأنظمة البيئية، فإنّنا نحتاج إلى أن نعرف أكثر عن كيفيّة ارتباط الأنظمة البيئية بالتغيّرات التي يحدثها الإنسان،

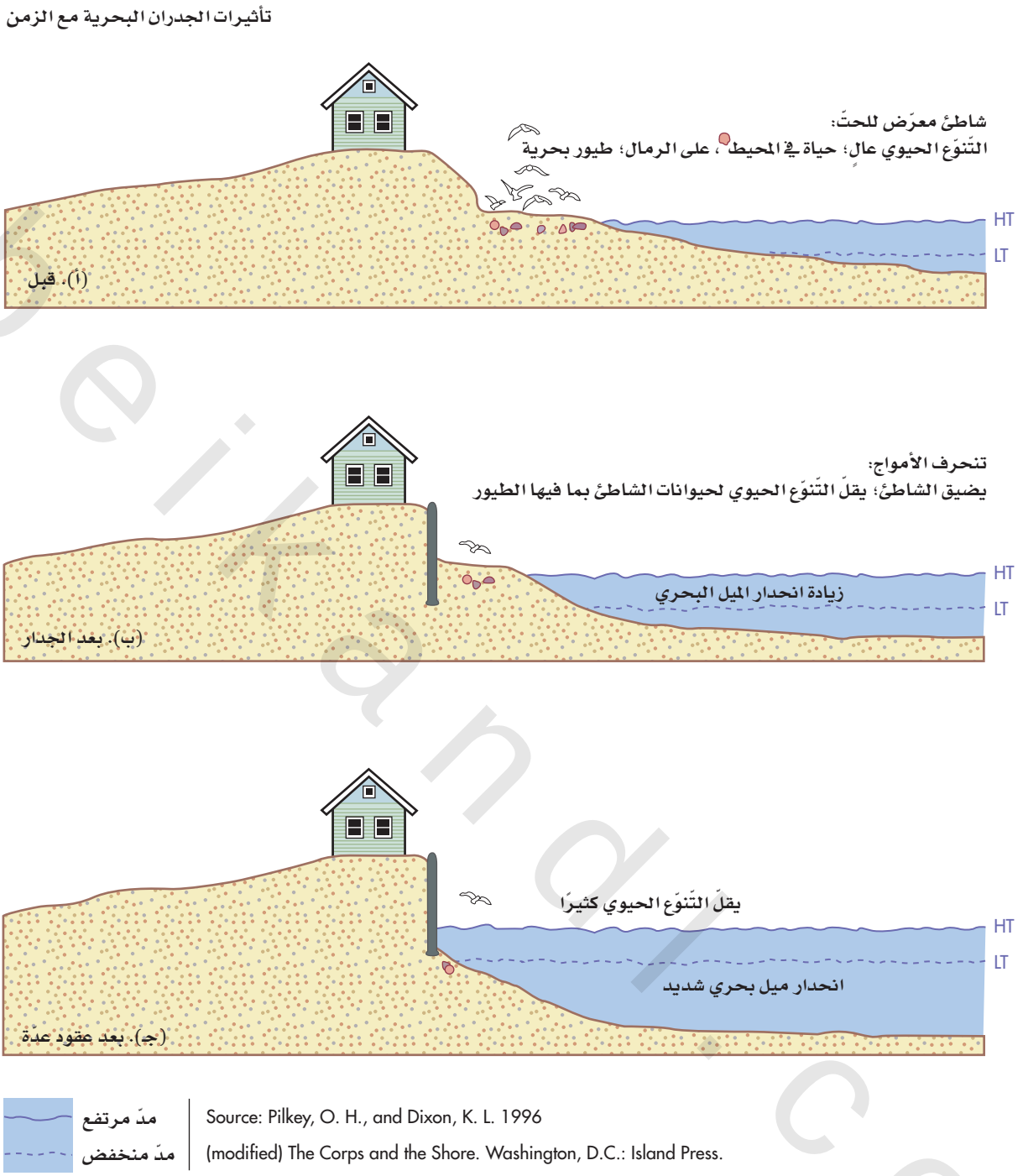
A CLOSER LOOK نظرة متفحّصة

الجدران البحرية والتّنوّع الحيوي Seawalls and biodiversity

الجدار البحري منشأة مكوّنة من الخرسانة والجلاميد الكبيرة، أو في بعض الأحيان من الخشب، يُبنى موازيًا لخطّ الشاطئ لإيقاف الحتّ، (الشكل 4 ب). فتتكسّر الأمواج على الجدار (وليس الشاطئ المتكشف). ما يؤدّي إلى تقليل الحتّ في الشاطئ، ويتسبّب الجدار البحري في عكس الأمواج وطاقتها، وذلك يؤدّي إلى حتّ الرمل القريب من الجدار، وهذا بدوره يؤدّي إلى تضييق الشاطئ، ومع مرور الوقت يصبح الشاطئ ضيّقًا شيئًا فشيئًا خلال سنوات أو عقود، إلّا إذا تمّ توفير كمّيات كافية من الرمل، لتحلّ محلّ الرمل الذي تمّ حتّه، وفي بعض الحالات قد يختفي الشاطئ، ولا يظهر، إلّا عندما يكون الجزر منخفضًا جدًّا.

تستخدم كثير من الأجناس الشاطئ بوصفه نظامًا بيئيًّا، فالمحار وأل (shell fish) الأخرى والديدان والسرطانات (crabs) الرملية تعيش تحت السطح، والحيوانات بما فيها الطيور والأسماك تصطاد، وتأكل ما في الرمل أو ما وصل إليه عن طريق الأمواج، ويمكن أن يتوافر العشب البحري (kelp) والأخشاب المجروفة وفتات النباتات الأخرى على السطح، جنبًا إلى جنب مع اللاسعات الرملية (sand flees) والحشرات، التي تتغذّى على فتات الشاطئ. فعندما يضيق الشاطئ بسبب الجدار البحري، تختصر الحياة كلّها في نطاق ضيق، ويقلّ عدد الحيوانات في الرمل، وعدد الطيور التي تتغذّى، وتستريح على الشاطئ، ويقلّ كذلك الخشب المجروف (driftwood) والعشب البحري المعزول، التي تشكّل بيئة مناسبة للحشرات على الشاطئ، ما يؤدّي إلى تناقص التّنوّع الحيوي للشاطئ، ويبيّن الشكل (4جـ) صورة مثاليّة لهذه التغيّرات. إنّ الفكرة المهمّة هي، أنّنا عندما نُضيّق بيئات الأجناس في نظام بيئي معيّن، فإنّ ذلك يؤدّي إلى إحداث تغيّرات في تمايزها، والنتيجة أنّ بعض الأجناس يقلّ عددها، وبعضها قد يختفي، خاصّة إذا تلاشى الشاطئ بعد إنشاء الجدار البحري.

الشكل (4 ب) يؤدّي الجدار البحري إلى تضييق الشاطئ (Seawall narrows of beach). هذا الجدار البحري في جنوب كاليفورنيا يؤثّر في بيئة الشاطئ عن طريق تضييق الشاطئ الرملي.
(*Edward E. Keller*).



الشكل (4جـ) الجدران البحرية والتبيّؤ (seawalls and ecology) شكل بيانيّ يوضّح تأثير الجدران البحرية في بيئة شاطئ رملي، خلال مدّة تمتدّ عقودًا عدة. مع تضيق الشاطئ ببطء يقلّ التّنوّع الحيوي لحيوانات الشاطئ بما فيها الطيور. إضافة إلى ذلك تحتوي الشواطئ الأضيق على حطام عضوي أقلّ، يشمل أخشابًا تجرفها مياه البحر نحو الشاطئ، وتشكّل تبيّؤات مناسبة للكائنات التي تعيش عليه.

وأنّ بيئتنا الثقافية–الاجتماعية مرتبطة بهذه التغيّرات، عندما نفعل ذلك، فإنّنا نعرف أهمّية الأنظمة البيئية التي يسودها الإنسان، وارتباطها الأوسع بالعالم، أخيرًا، فإنّ معرفة أنّ تأثيرنا مهمّ في البيئة، يرتّب علينا مسؤولية أخلاقية لإدارة الأنظمة البيئية بصورة أفضل، فإذا أردنا الحفاظ على التّنوّع الحيوي لـ «الأنظمة البيئية الشرسة (wild ecosystems)» وما فيها من أجناس شرسة، فعلينا اتّخاذ قرارات نابعة من ضمائرنا حول كيفيّة إدارة البيئة، إذن، الإدارة الفعّالة من الأمور المهمّة مع علمنا أنّ ازدياد عدد سكان الأرض من البشر أمر غير مسبوق، إذ لم يسد جنس واحد في أيّ وقت من الأوقات في تاريخ الأرض. في بعض الحالات، التغيّرات متزايدة ومتسارعة، وكلّما زادت معرفتنا بهذه الأمور، كنّا مستعدّين أكثر لممارسة إدارة فعّالة لكوكبنا[8].

3-4 الاستصلاح البيئي
ECOLOGICAL RESTORATION

استصلاح التبيّؤ هو العلم الذي ترتكز عليه عمليّة الاستصلاح البيئي؛ لذلك تركّز مناقشتنا على تطبيق هذا العلم على مشروعات **الاستصلاح البيئي**، **والتعريف البسيط له**: أنّه عملية تغيير موقع أو منطقة، بهدف استعادة أنظمتها البيئية التاريخية الموضعية (indigenous). وهناك مشروعات استصلاح عدّة ممكنة، تشمل:

- استصلاح النهر لتبيّؤات الأسماك والأحياء البرية، وإزالة السدود؛ لإعادة توحيد الأنظمة البيئية النهرية المجزّأة (انظر نظرة متفحّصة: استصلاح نهر كيسيمي).
- استرجاع السهل الفيضي؛ لتحسين الوظيفة البيئية.
- استرجاع الأراضي الرطبة في مستنقعات المياه العذبة والمالحة، لعدد من الاستعمالات، تتراوح بين التحكّم في الفيضان إلى تحسين تبيّؤات بيئة الأحياء البرية إلى توفير منطقة عازلة عن حتّ الشاطئ. (انظر نظرة متفحّصة: استصلاح ألـ (everglades) فلوريدا).
- استصلاح الكثبان الرملية الشاطئية؛ للمساعدة على إدارة حتّ الشاطئ، وتوفير بيئة مناسبة للأحياء البرية. (انظر نظرة متفحّصة: استصلاح الكثبان الرملية الشاطئية في (Pocket Beaches).
- استرجاع تبيّؤات الأجناس المعرّضة للانقراض، وإعادة تشكيل الأرض والتصريف والغطاء النباتي، بعد عمليّات التعدين السطحي، واستعادة تبيّؤات الأجناس الأصلية والحياة البرية، التي تأثرت بإزالة الغابات. (الإدارة المطوّرة لمكافحة الحرائق).

إنّ الهدف المشترك لعملية الاستصلاح هو تغيير نظام بيئي متدهور، بحيث يصبح مشابهًا لنظام أقلّ تأثّرًا بفعل الإنسان، ويحتوي على بنية النظام البيئي المحبّذ ووظيفته وتمايزه وعمليّاته، وفي محاولة لإضافة بعد إنساني واجتماعي للاستصلاح البيئي، يمكن تعريفه أيضًا، بأنّه طريقة تعديل متعمّدة لموقع أو منطقة، للتعويض عن تدهورها البيئي الناتج عن فعل الإنسان، وهدف الاستصلاح إعادة إنشاء أنظمة بيئية مستديمة، وتطوير علاقة جديدة بين البيئة الطبيعية والبيئة المعدّلة من قبل الإنسان، وعندما نحاول تطبيق هذه الأفكار والمبادئ، فإنّنا نخرج باعتقاد هو: أنّ كثيرًا من البيئات التي غيّرها الإنسان لا تشبه الأنظمة الطبيعية، زيادة على ذلك، من المستحيل تقريبًا إرجاع كثير من المواقع إلى ظروفها الأصلية؛ لأنّ التغيّر الذي طرأ عليها غير قابل للانعكاس، مثلًا كثير من الأراضي الرطبة الشاطئية والنهرية، التي صرفت مياهها، وردمت وطوّرت للاستعمال البشري، يستحيل إعادتها إلى وضعها الأصلي، وعليه، فالأسلوب الأكثر عملية، محاولة تغيير الأنظمة البيئية الحالية وشكل سطح الأرض إلى أخرى أكثر شبهًا بالأنظمة البيئية الطبيعية الأقلّ تأثّرًا بفعل الإنسان، مثلًا قد يشتمل التخطيط لاستعادة نهر يمرّ من خلال مدينة على إزالة الأجناس غير الأصلية (الغريبة عن المنطقة). وإعادة زراعة النباتات الأصلية، والسماح للنهر بأن يتصرّف ضمن سهله الفيضي بطريقة طبيعية أكثر. بتنفيذ هذه الخطط سينتج عن الاستصلاح حزام أخضر مزروع جيّدًا على طول النهر، يحتوي على أجزاء من أنظمة بيئية، كانت موجودة قبل عملية التحضّر، والنتيجة هي موازنة بين استصلاح التبيّؤ لاستعادة ما كان موجودًا قبل عملية التحضّر، ونظام نهري طبيعي يقوم بعمله، مثل الأنهار الموجودة في بيئة لم يتمّ تحضيرها[9].

من الممكن استعادة أنواع مختلفة من شكل سطح الأرض، ولكن وبغض النظر عمّا يُستعاد فيجب الأخذ في الحسبان عوامل رئيسة عدّة، نسمّيها -أحيانًا- الثلاثة المهمّة في الاستصلاح، وهي العملية الهيدرولوجية، والتربة والصخر، والغطاء النباتي، إذ تشمل العملية الهيدرولوجية الدورة الهيدرولوجية كلّها بمياهها السطحية والجوفية، أمّا التربة والصخور، فتشمل كائنات دقيقة تعيش في التربة، بينما يشكّل الغطاء النباتي مادّة الغطاء على اليابسة والأنظمة البيئية للأراضي الرطبة، وعندما نطبّق هذه العوامل الرئيسة الثلاثة في مشروع استصلاح، ندرك سريعًا أن الاستصلاح التبيُّئي كما هو مطبّق اليوم، عمل فني بصورة جزئية، وعلمي بصورة جزئية أخرى، وينتج هذا؛ لأنّنا لا نملك أحيانًا معرفة كافية عن بعض أنواع الأنظمة البيئية، لتحديد وظيفتها وبنيتها وعمليّاتها بدقّة، زيادة على ذلك، نعرف أنّ الأنظمة البيئية ليست أنظمة ساكنة، لكنّها تتغيّر، وترتقي باستمرار. وللاستصلاح التبيُّئي أيضًا، بعدٌ له علاقة بالإسهام الاجتماعي، ويتماشى جنبًا إلى جنب مع الإسهام العلمي، ومن هذه الناحية، فالاستصلاح نشاط اجتماعي، وما يسهم به الناس المهتمّون (الذين يسمّون أحيانًا ألـ (stakeholders) في التجمّعات السكانية التي سيُجرى فيها الاستصلاح، مهمّ في صياغة أهداف الاستصلاح، حيث تعقد سلسلة من الاجتماعات العامّة؛ من أجل الحصول على تعليقات وتوصيات، قبل المباشرة بمشروع الاستصلاح، (تغذية راجعة).

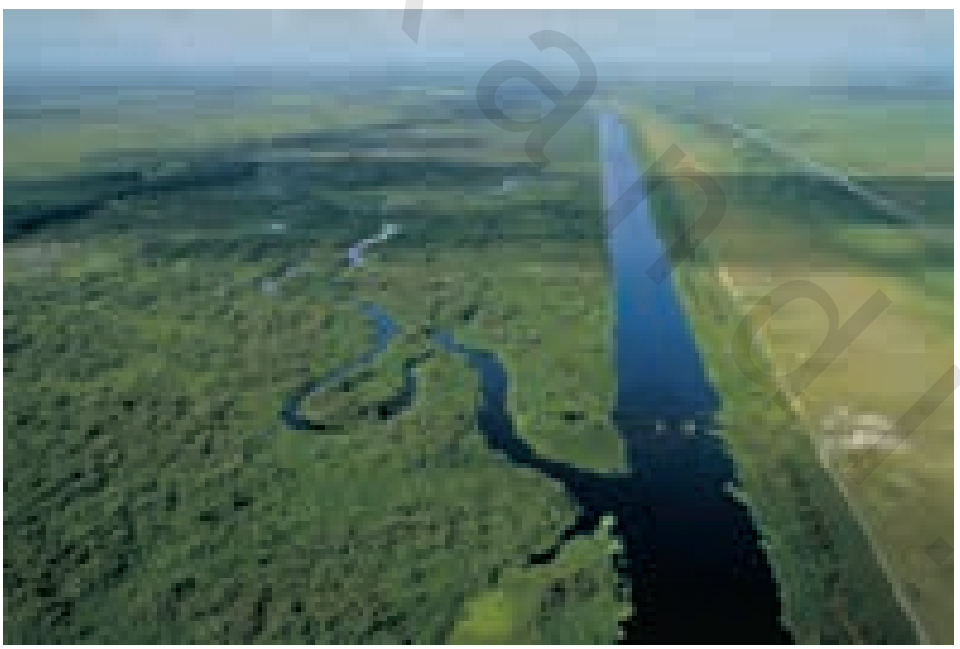
نظرة متفحّصة A CLOSER LOOK

استصلاح نهر كيسسيمي Restoration of the Kissimmee River

استصلاح نهر (كيسيمي) (Kissimmee) في وسط فلوريدا وجنوبها، مشروع الاستصلاح النهري الأكثر طموحًا في الولايات المتّحدة، إذ كان طول النهر (160) كم تقريبًا قبل حفر القنوات، يسير متعرّجًا خلال سهل فيضي عرضه بضعة كيلومترات، (الشكل 4 د). وتُعدّ هيدرولوجية النهر غير اعتيادية؛ لأنّه يغرق سهله الفيضي فترات طويلة من الوقت، نتيجة لذلك، فإنّ السهل الفيضي والنهر يدعمان نظامًا بيئيًّا متمايزًا، بيولوجيًّا: يتألّف من نباتات المنطقة الرطبة، والطيور الخائضة (التي تخوض في الماء؛ للحصول على الطعام) (wading birds). والطيور المائية (waterfowl). والسمك، وكائنات برية أخرى.

قبل عام 1940م تقريبًا، كان القليل من الناس يعيشون في حوض نهر (كيسيمي). وكان استعمال الأرض الرئيس في الزراعة وتربية المواشي (cattle ranching).

(أ)



(ب)

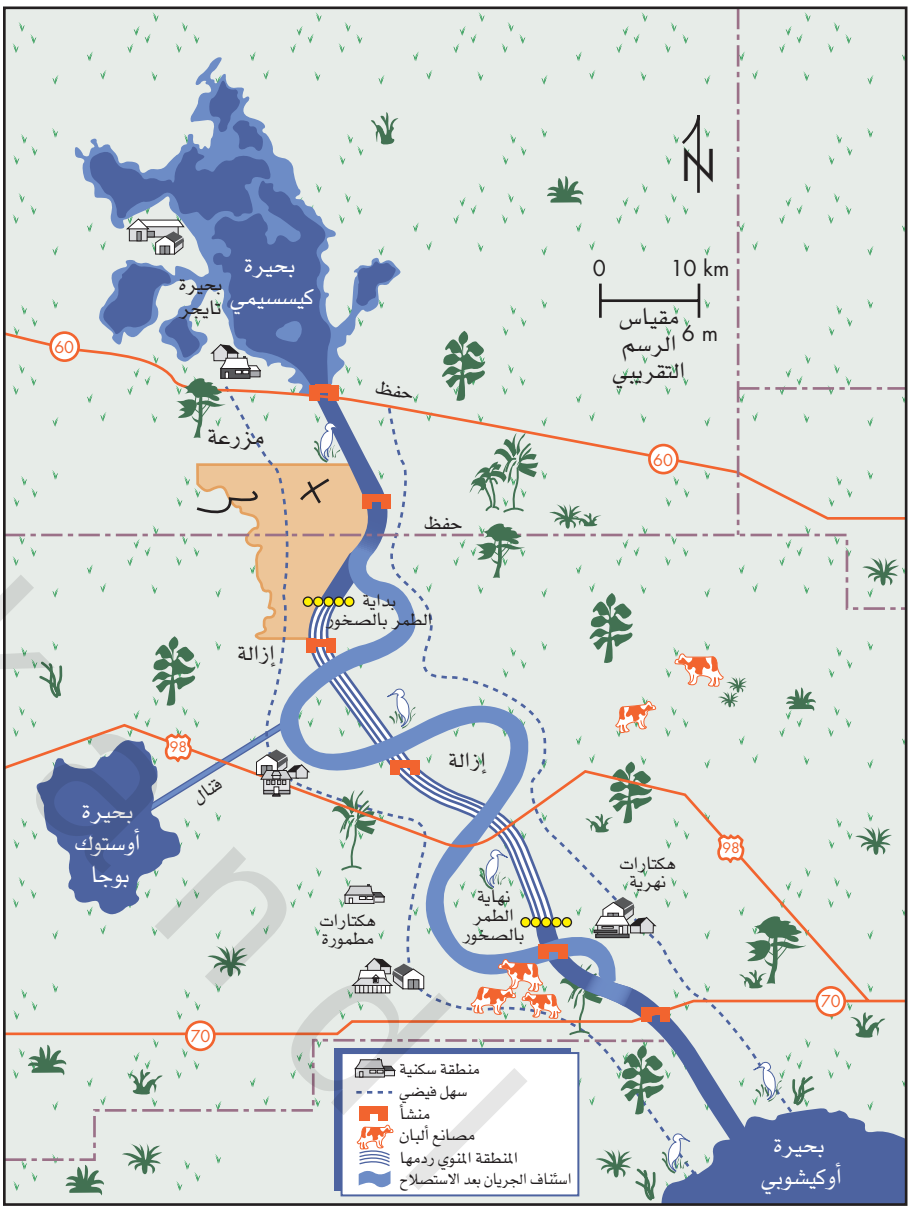
الشكل (4 د) استصلاح نهر (Kissimmee).
(أ) نهر كيسسيمي في وسط فلوريدا وجنوبها قبل أعمال التقنية (حفر القنوات). (ب) نهر كيسسيمي بعد الاستصلاح، الذي شمل تغيير صورة القناة إلى مستقيمة، أي تحويل النهر إلى قناة.

(*South Florida Water Management District*)

إلّا أنّ التطوّر السريع والنمو حدثا بعد الحرب العالمية الثانية، وعام 1947م حدث فيضان كبير، عندما تحرّك إعصار في منطقة الحوض، فطلبت ولاية فلوريدا من الحكومة الفدرالية تصميم خطّة للتحكّم في الفيضان لمنطقتي وسط فلوريدا وجنوبها، وقد خطّط لتقنية نهر (كيسسيمي) من 1954م إلى 1960م، ونفّذت فعلًا بين عامي 1962م إلى 1971م، فصرّفت المياه من ثلثي السهل الفيضي، وحفرت قناة حوّلت النهر المتعرّج إلى قناة مستقيمة، ما أدّى إلى تدهور وظيفة النظام البيئي نتيجة التقنية، فنقصت الأراضي الرطبة ومجتمعاتها من الطيور والأسماك نقصًا كبيرًا، وقد استمر الغضب بسبب فقدان النهر سنوات كثيرة، قبل أن تُناقش جهود الاستصلاح الحالية وتخطيطها، بهدف إعادة جزء من النهر إلى مجراه السابق المتعرّج، وسهله الفيضي الواسع.

والأهداف المحدّدة[11]، هي:

- استعادة التّنوّع الحيوي التاريخي ووظيفة النظام البيئي.
- إعادة تكوين النمط التاريخي لمجتمعات الأراضي الرطبة النباتية.



الشكل (4 هـ) خطة استصلاح نهر كيسسيمي

(**River restoration plan Kissimmee**): خطّة عامّة لاستصلاح نهر كيسسيمي. أحد الأهداف الرئيسة، استعادة وظيفة التّنوّع الحيوي للنظام البيئي، وإعادة بيئة السهل الفيضي المتصلة بالنهر إلى ما كانت عليه في تاريخها السابق.

(*South Florida Water Management District*)

- إعادة إنشاء الظروف الهيدرولوجية التاريخية وفترات الفيضان الطويلة.
- إعادة إنشاء بيئة السهل الفيضي التاريخي للنهر واتصاله بالنهر الرئيس.

وافق الكونجرس على مشروع الاستصلاح عام 1992م، ونفّذته إدارة مياه جنوب فلوريدا بالتعاون مع سلاح الهندسة في الجيش الأمريكي. الخطّة العامّة للاستصلاح مبيّنة في الشكل (4 هـ).

استصلاح نهر (كيسسيمي) مشروع مستمرّ، بدأ منذ بضع سنوات، حيث استصلحت (12 km) من القناة المستقيمة تقريبًا بحلول عام 2001م، وحوّلت إلى قناة متعرّجة طولها (24 km) مع بعض الأراضي الرطبة، ما أعاد الأنظمة البيئية إلى وضع طبيعي أكثر، عندما جرى الماء مرّة أخرى خلال القناة المتعرّجة، ومنها إلى السهل الفيضي، ونتيجة لذلك استعيد الغطاء النباتي للأراضي الرطبة، وعادت الطيور والحيوانات البرية إلى المنطقة، وتمّ التصدي لخطر الفيضان المحتمل، من خلال خطّة الاستصلاح التي تسمح للنهر بالتعرّج خلال سهله الفيضي، مع الإبقاء على الحماية من الفيضان، والأخير هو السبب في أنّ النهر كلّه لن يعود إلى ما كان عليه قبل التقنية، أي إنّ بعض المنشآت التي تتحكّم في مياه الفيضان ستُزال، وبعضها سيبقى.

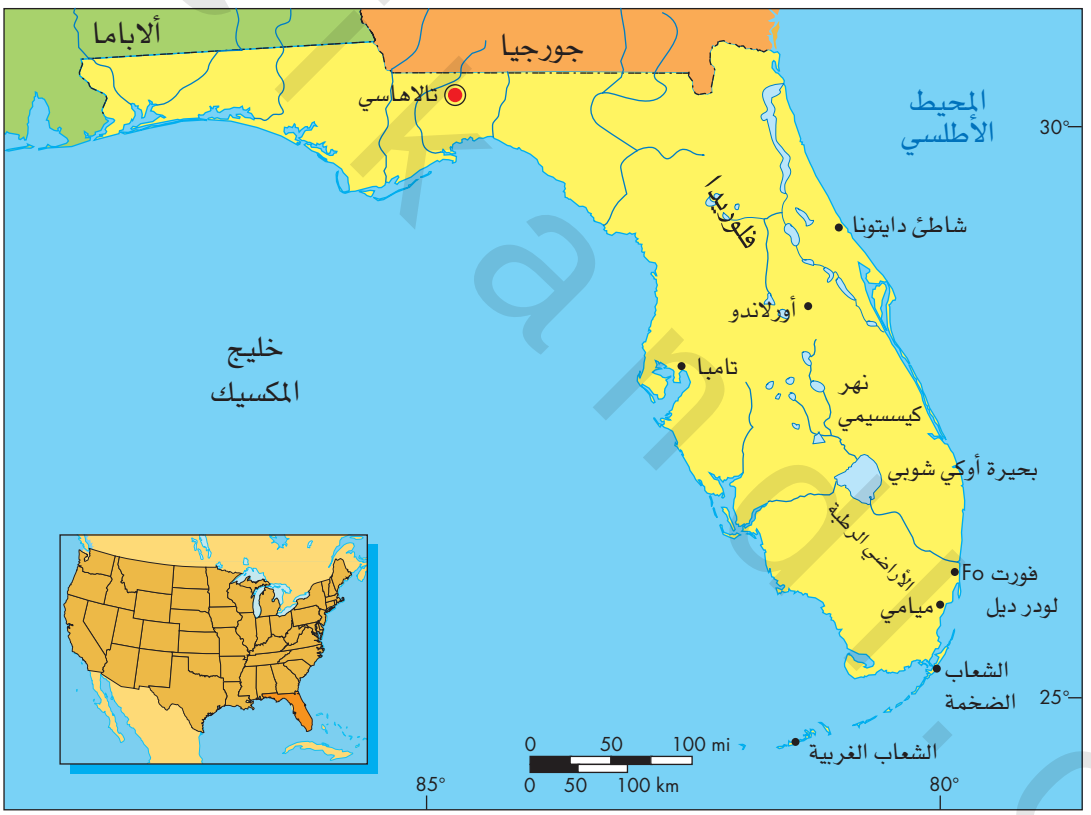
إنّ تكلفة استصلاح نهر (كيسسيمي) ستكون أضعاف تكلفة تقنيته، إلّا أنّ المشروع يعكس قيمنا في المحافظة على التّنوّع الحيوي، وتأمين الأراضي اللازمة لممارسة الأنشطة الترويحية في بيئة طبيعية.

obeikan.com

نظرة متفحّصة A CLOSER LOOK

استصلاح أراضي فلوريدا الرطبة Restoration of the Everglades

تُعدّ هذه أحد أهمّ الكنوز البيئية القيّمة في أمريكا، ويمتدّ هذا النظام البيئي من سلسلة البحيرات الصغيرة بالقرب من أورلاندو- فلوريدا في اتّجاه الجنوب إلى خليج فلوريدا، بطول مقداره بضع مئات من الكيلومترات، ويكوّن الجزء من النظام البيئي الواقع شمال بحيرة أوكي شوبي (Okeechobee) منطقة التصريف التي تغذّي البحيرة، بينما المنطقة الواقعة جنوب البحيرة هي نظام طويل من الأراضي الرطبة، يمكن أن توصف هيدرولوجيًّا بجسم واسع وضحل من المياه التي تسير (تتهادى) ببطء. زار الأراضي الرطبة أجيال متعاقبة من السّيّاح من مختلف أنحاء العالم؛ لمشاهدة المناظر الفريدة شكل سطح الأرض والحياة البرية، وتشكّل الأراضي الرطبة موطنًا لأكثر من (11000) جنس من النباتات، ومئات الأجناس من الطيور وأنواع عدّة من الأسماك والثدييات البحرية، من ضمنها الجنس المعرّض للانقراض المسمّى خروف البحر (Manatee). والأراضي الرطبة والمناطق المجاورة هي آخر البيئات التي تبقّت لـ (70) صنفًا من الأجناس المهدّدة بالانقراض، من ضمنها التمساح الأمريكي والنمر الكوجر (Florida Panther). منذ عام 1900م تقريبًا صُرّفت المياه من جزء كبير من الأراضي الرطبة (Everglades) لأغراض الزراعة والتطوير الحضري، وبقي نصفها الآخر



(أ)

(ب)

الشكل (4 و) الأراضي الرطبة في فلوريدا (Restoration of the Everglades). (أ)- خريطة لفلوريدا تبيّن الأراضي الرطبة في جنوب فلوريدا. الأراضي الرطبة تشبه نظامًا نهريًّا ضحلًا وعريضًا، يمتدّ من بحيرة أوكي شوبي في الجنوب إلى المحيط الهادئ. (ب)- أراضي فلوريدا الرطبة نظام بيئي متميّز.

(*Farrell Grehan/CORBIS*)

obeikandl.com

تقريبًا، إذ يتحكّم نظام معقّد من القنوات والحواجز (Levees) في جريان المياه لأغراض مختلفة، من ضمنها التحكّم في الفيضان، والتزويد بالماء، وتصريف (مياه) الأراضي.

طوال عقود عدّة، تسبّب تصريف الأراضي الرطبة، وتقدّم المناطق الحضرية في تدهور النظام البيئي لمنطقة ألـ (Everglades). إلى درجة أنّ هذا المورد كان من المحتمل أن يُفقد، لولا برنامج الاستصلاح الذي يُنفّذ حاليًّا له، وهو أكبر مشروع بيئي للأراضي الرطبة في العالم، إذ يمتدّ هذا البرنامج على مدى (30) عامًا، وسيكلّف (10) بلايين دولار.

تشمل عمليّة الاستصلاح الأهداف الآتية:

- استعادة عمليات هيدرولوجية طبيعية أكثر.
- تحسين الأجناس الطبيعية واستعادتها، خاصة تلك المعرّضة لخطر الانقراض.
- تحسين نوعية المياه والتحكّم في الأغذية في الأراضي الزراعية والحضرية.
- استعادة التبيّؤات للحياة البرية كلّها التي تستخدم الأراضي الرطبة.

إنّ خطّة الاستعادة خطّة جريئة، تشمل شركاء فدراليين، ومن الولايات والقبائل، إضافة إلى جماعات متعدّدة أخرى مهتمّة بالأراضي الرطبة، وقد تحقّق حتى الآن تقدّم ملحوظ، تمثّل في انخفاض التلوّث في المياه الآتية إلى الأراضي الرطبة من الأنشطة الزراعية إلى النصف، ونتيجة لذلك، أصبحت المياه الداخلة إلى النظام أنظف ممّا كانت عليه قبل سنوات. إضافة إلى ذلك، تمّت إزالة الأجناس الغريبة والمجتاحة، مثل أشجار الفلفل البرازيلية، والتيلابيا (سمك من إفريقيا). من مساحات تقدّر بآلاف الفدادين؛ بهدف تحسين تبيّؤات عدد من الأجناس المعرّضة للخطر وغيرها، والمحافظة عليها.

خطّة استصلاح الأراضي الرطبة طويلة الأمد، وتحتاج إلى سنوات عدّة من البحث العلمي، الذي لا يزال في حاجة إلى إكمال، ويعتقد هذا البرنامج وجود أكثر من (5) ملايين إنسان، يعيشون في جنوب فلوريدا، وأنّ اقتصاد المنطقة ينمو بسرعة، إضافة إلى وجوب التصدي لكثير من القضايا الحضرية، المتعلقة بنوعية المياه واستخدام الأراضي. ربّما أنّ أكبر مشكلة هي الماء، وتحتاج الخطة إلى أن تهتمّ بالاستصلاح، الذي يتضمّن إحضار المياه بكمّيات مناسبة إلى المكان المناسب؛ لتدعيم الأنظمة البيئية في الأراضي الرطبة، سيمثّل هذا تحديًّا؛ لأنّ ملايين الناس من أهل جنوب فلوريدا يتنافسون على المياه أيضًا.

إنّ أهمّ هدف للاستصلاح، هو ضمان استدامة طويلة الأمد للموارد المائية في نظام الأراضي الرطبة البيئي[12]، وهذا العمل يتضمّن الآتي:

- التحكّم في عدد السكان في جنوب فلوريدا، ووصولهم إلى الأراضي الرطبة، وأنشطتهم التطويرية، التي تتعدّى على هذه الأراضي.
- تطبيق مفهوم وحدة البيئة (انظر الفصل الأوّل، كلّ شيء يؤثّر في الأشياء الأخرى). من أجل فهم أفضل، وتوقّع العواقب الممكنة الناتجة عن الأجزاء الجيولوجية والهيدرولوجية والاقتصادية من النظام.
- تطبيق مبدأ الوقاية (انظر الفصل الأوّل).
- تحليل سرعات الأنظمة المرتبطة بالماء والأرض والحياة البرية وتغيّراتها، من حيث ارتباطها بالناس.

يتّضح أنّ أهل جنوب فلوريدا وشعب الولايات المتّحدة يقيّمون الأراضي الرطبة بوصفها نظامًا بيئيًّا، ويطبّقون العلم مع القيم لتنفيذ برنامج استصلاح تبيُّئِي بعيد المدى. نتمنى أن ينجح هذا البرنامج، وأن تنظر الأجيال المقبلة لهذه اللحظة من الزمن بصفتها نقطة تحوّل، للبدء في حماية أحد أهمّ الموارد التبيُّئِيَّة القيّمة في أمريكا الشمالية.

نظرة متفحّصة A CLOSER LOOK

استصلاح الكثيب الرملي في الشواطئ الصغيرة التابعة لجامعة كاليفورنيا

Coastal sand dune restoration at Pocket beaches: University of California

سانتا باربرا Santa Barbara

يقع المقرّ الرئيس لجامعة كاليفورنيا، سانتا باربرا على شاطئ يمتدّ بضعة كيلومترات، وتتوافر الجيوب الشاطئية في مكانين، حيث تقطع القنوات التاريخية الجرف البحري، وتحمل الريح الرمل في هذه الأمكنة من الشاطئ في اتّجاه اليابسة مسافة تقدّر ببضعة عشرات الأمتار، ما أدّى إلى تكوّن مجموعة من الكثبان الرملية الشاطئية المنخفضة، ومع مرور الزمن استعمر النبات الجليدي، وهو جنس من جنوب إفريقيا هذه الكثبان، وغطّى مساحة الكثيب كلّها، ما أدّى إلى إعاقة الكثيب عن أداء وظيفته الطبيعية، بعدم سماحه للنباتات الأخرى بالنمو، وإعاقة حركة الرمل، فانخفض التّنوّع الحيوي لنظام الكثيب البيئي نتيجة لذلك انخفاضًا كبيرًا، وقد تضمّن استصلاح الكثبان تشميس النبات الجليدي (ice plant). بتغطية النباتات ببلاستيك أسود بضعة شهور، إلى أن ماتت، وتحوّلت إلى فتات أو نشارة، ثمّ زُرع الكثيب بالجنس الطبيعي الذي يعيش في هذه المنطقة (الشكل 4 ز). واستعيد النظام البيئي مع عودة الغطاء النباتي الطبيعي إلى الكثبان، كان استصلاح الكثبان بسيطًا ومباشرًا، وأهدافه

obeikandl.com

الشكل (4 ز) استصلاح كثيب رملي (Sand dune restoration). الكثبان الرملية في جامعة كاليفورنيا، سانتا باربرا، بعد الاستصلاح. أُزيلت الأجناس المجتاحة، وزُرعت الأجناس الطبيعية للكثيب. (*Edward E. Keller*)

محدودة، وهي إزالة الأجناس المجتاحة، واستبدالها بأجناس طبيعية، وبهذا تمّت استعادة وظيفة النظام البيئي، وازداد التّنوّع البيولوجي. في هذه الحالة، يشجّع استصلاح المكوّنات (النباتات) على استصلاح العمليّات (يسمح لرمال الكثبان بالحركة). إلّا أنّه في أمثلة نهريّ الأراضي الرطبة (Everglades) و كيسيمي، فهناك حاجة لاستعادة العمليّات الهيدرولوجية قبل استعادة المكوّنات.

بين الأهداف ونقاط النهايات العلمية، والأخيرة عواقب للأهداف، واستخدام العلم في الاستصلاح مع مراجعة التغذية الراجعة، والقدرة على تعديل الخطط عند حدوث تغيّر يسمّى إدارة التكيّف (adaptive managent). مثلًا إذا كنّا نستصلح مستنقعًا ملحيًّا، ونريد من النباتات في المستنقع أن تقلّل حمل التغذية إلى مستوى معيّن، فذلك المستوى نقطة نهاية علمية، أمّا إذا ثبت أنّ هذه النقطة لا يمكن الوصول إليها، فذلك يستدعي إعادة التفكير في الأهداف، تشير الإجراءات العلمية إلى القياسات والمراقبة الحثيثة التي تتمّ على طول الطريق الموصلة لتحقيق نقاط النهاية العلمية وأهداف الاستصلاح، وإسهام العلم مهمّ في تطوير نقاط النهاية والإجراءات المختلفة.

قد يتباين الاستصلاح البيئي من طرق بسيطة جدًّا، مثل إزالة الأجناس الغريبة، مع التركيز على استصلاح المكوّنات والبنية، إلى إعادة إنشاء شكل سطح الأرض بأكمله، مع التركيز على الآليّات (الطرق)، إذ تتطلّب إعادة إنشاء اللاندسكيب مع الأنظمه البيئية معرفة وثيقة بالعمليّات الجيولوجية والهيدرولوجية. تفاصيل عمليّات الاستصلاح مدرجة في الجدول (4-1).

الجدول (4–1): الخطوات والطرق المستخدمة في تخطيط مشروع استصلاح بيئي وبدئه:
1. تطوير وصف جيولوجي وهيدرولوجي وبيئي للمنطقة المنويّ استصلاحها.
2. وضوح الحاجة إلى الاستصلاح وفهمها.
3. تحديد أهداف الاستصلاح وغاياته.
4. تحديد الطرق التي ستستعمل في الاستصلاح بصورة واضحة.
5. تحديد النظام البيئي المرجعي الذي يحاول الاستصلاح أن يصل إليه.
6. تحديد كيف سيقوم النظام البيئي المستصلح بالاستمرار في تلبية حاجات نفسه، أي كيف سيتمّ جريان الطاقة، وتدوير الكيميائيات لضمان صيانة ذاتية على المدى الطويل للنظام البيئي المستصلح، والروابط المستقرّة بالأنظمة البيئية الأخرى.
7. توضيح معايير الأداء خلال الاستصلاح، والمتابعة بعد إنهاء المشروع.
8. العمل مع الناس المهتمين بالمشروع كلّهم، من بداية المشروع إلى نهايته، والمراقبة بعد اكتماله.
9. اختبار العواقب المحتملة للمشروع، أي تطبيق مبدأ الوحدة البيئية، الذي ينصّ على أنّ: كلّ شيء يؤثّر في الأشياء الأخرى، وتوقّع تأثيرات المشروع الأوّلية والثانوية والثالثية.
عن: *Society for ecological restoration, 2004. The SER International Primer on Ecological Restoration, http://www.SER.org*.

بغضّ النظر عن طبيعة الاستصلاح المنفّذ وامتداده، فإنّ هذه العملية تتّسم بالتشاور بين الناس المهتمين بمشروع الاستصلاح، ومن يقومون بالمشروع، والعلماء الذين يقدّمون التوصيات، ويجمعون المعطيات ويحلّلون النتائج، وإنّ معرفة أنّ تقييم مشروع الاستصلاح يبدأ قبل وقت طويل من القيام بعمليّات الإنشاء مهمّ أيضًا، إذ يشمل التقييم تحديد الجوانب الحسّاسة بيئيًّا في المشروع، وكيف يمكن أن تتفاعل مع القيم التاريخية والحضارية، إنّ التقييم الدقيق للظروف الجيولوجية والهيدرولوجية، وتلك المتعلقة بالغطاء النباتي لمنطقة الإنشاء، قبل المباشرة فيه أمر ضروري، من أجل أن تتوافق طرق الاستصلاح مع البيئة، أي إنّنا نقيّم الهيدرولوجيا والجيولوجيا والغطاء النباتي من خلال الأهداف العامّة للمشروع، وما يتمّ استصلاحه، أضف إلى ذلك أنّ المراقبة الحثيثة خلال الاستصلاح ضرورية، للمساعدة على تقييم ما تمّ الوصول إليه من الأهداف المرجوّة، ويجب أيضًا خلال المشروع بصورته الكلية، بما في ذلك تطوير الأهداف، على من يقومون بالاستصلاح أن ينسّقوا مع الجماعات التي تمثّل المجتمع، بما في ذلك أصدقاء البيئة، وملاك الأراضي والعقارات، والفئات الأخرى المهتمّة بالمشروع؛ وذلك لتعظيم فرص التعاون في مشروع الاستصلاح، وأخيرًا من المهمّ معرفة أنّ الاستصلاح البيئي قد ينجح أحيانًا، إلّا أنّ هذا النجاح قد لا يكون كاملًا، خاصة في السنين الأولى من المشروع، عند مواجهة صعوبات غير متوقّعة، قد تكون أحداثًا طبيعية، مثل الجفاف والعواصف العاتية، التي قد تؤثّر في أعمال الاستصلاح، ما يجعل من تغيير خطّة الاستصلاح أمرًا ضروريًّا.

إنّ الهندسة البيولوجية مفهوم آخر يرتبط بالاستصلاح البيئي، ويتضمّن استخدام الغطاء النباتي في المشروعات الهندسية؛ للوصول إلى أهداف محدّدة، مثل حماية ضفاف الأنهار من الحتّ، وتشمل الهندسة البيئية بمنظور أكبر تصميم الأنظمة البيئية وإنشاءها.

ملخّص SUMMARY

التبيّؤ دراسة الأشياء الحية وتفاعلاتها وارتباطاتها ببعضها وبالبيئة غير الحية، ويمكن تصويره أيضًا بأنّه دراسة للعوامل المؤثّرة في توزّع الأجناس ووفرتها، ونظام التبيّؤ هو مجتمع من الكائنات وتفاعلاتها مع البيئة غير الحية، التي تسري فيها الطاقة، ويحدث فيها تدوير للكيميائيات، لذا، فإنّ فهم أنظمة التبيّؤ يشمل فهم البيئات الجيولوجية والبيوجيوكيميائية والهيدرولوجية.

هناك ارتباطات متعددة بين الجيولوجيا والتّنوّع الحيوي، من خلال تأثيرها في وفرة النباتات والحيوانات وتوزّعها، وتشمل الأمثلة بيئة سمك السلمون المرقّط في جنوب كاليفورنيا، والنباتات في شمال أمريكا وأوروبا، والذئاب والظباء في متنزّه يلوستون الوطني، وعلاقاتها مع العمليات التي تتمّ في مجرى النهر، وغابة العشب البحري في كاليفورنيا بالنسبة إلى التفاعل بين القنادس البحرية والقنافذ البحرية التي تأكلها. يسيطر نشاط الإنسان واهتماماته على الأنظمة البيئية كلّها على الأرض، وتقلل عملياته (أو تأثيراته) من التّنوّع الحيوي، بما في ذلك فقدان أنظمة بيئية بأكملها، وانقراض كثير من الأجناس. تشمل العمليّات التي ينصبّ عليها الاهتمام تحويل الأراضي، على سبيل المثال: من بيئة طبيعية إلى أخرى ذات استعمالات زراعية أو حضرية، وإدخال أجناس اجتياحية، والعمليّات التي تتسبّب في تغيّر عالمي، والتغيّر في الدورات البيوجيوكيميائية. تقليل تأثير الإنسان في الأنظمة البيئية هدف مهمّ يشمل أنشطة أخرى، مثل: التحكّم في عدد السكان، وإدارة موارد الأرض، وتطبيق مبدأ الاستدامة، وإدارة النفايات بفعالية أكبر.

obeikandi.com

نحن في حاجة إلى أخلاقيات بيئية مناسبة، تعتمد على مدى زمني يتناسب مع حاجات الناس، وإذا تبنّينا اختيار استدامة الموارد والأنظمة البيئية، فسنحصل على علاقة توافقية مع بيتنا (الأرض). وسيكون جنسنا البشري قادرًا على البقاء على كوكب الأرض مدّة أطول.

الاستصلاح البيئي عملية بدأت في الظهور حديثًا، لها أهداف متعدّدة، وبوجه عام، يهدف الاستصلاح البيئي إلى إعادة إنشاء أنظمة بيئية مستديمة، من حيث بنيتها وعمليّاتها ووظائفها.

المراجع REFERENCES

1. **Botkin, D. B., and Keller, E. A.** 2005. *Environmental Science.* 5th ed. Hoboken, NJ: John Wiley. 664.
2. **Tallis, J. H.** 1991. *Plant Community History.* London: Chapman and Hall. 398.
3. **Ripple, J. W., and Beschta, Robert L.** 2004. Wolves and the ecology of fear: can predation risk structure ecosystems? *BioScience* 54(8): 755–66.
4. **Smith, D. W., Smith, R. O., Houston, D. B.** 2003. Yellowstone after wolves. *BioScience* 53(4): 330–340.
5. **McConnel, R. L., and Abel, D. C.** 2008. *Environmental Issues.* 3rd ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
6. **Dugan, J. E., and Hubbard, D. M.** 2006. Ecological responses to coastal armoring on exposed sandy beaches. *Shore and Beach* 74(1): 10–16.
7. **Gould, S. J.** 1993. *The Golden Rule: A Proper Scale for Our Environmental Crisis in Eight Little Piggies: Reflections in Natural History.* New York: W. W. Norton.
8. **Vitousek, P. M., Mooney, H. A., Lubchenco, J., and Melillo, J. M.** 1997. Human dominator of ecosystems. *Science* 277(5325): 494–499.
9. **Riley, A. L.** 1998. *Restoring Streams in Cities.* Washington, DC: Island Press.
10. **Society for Ecological Restoration.** 2004. The SER International Primer on Ecological Restoration. http://www.ser.org (accessed 3/11/06).
11. **South Florida Water Management District.** Kissimmee River Restoration. http://www.sfwmd.gov (accessed 3/11/06).
12. **Comprehensive Everglades Restoration Plan.** http://www.evergladesplan.org (accessed 3/11/06).

المصطلحات المفتاحية KEY TERMS

إدارة التكيّف (adaptive management)، (ص112)

تبيّؤ (ecology)، (ص93)

نظام بيئي (ecosystem)، (ص94)

تنوّع حيوي (biodiversity)، (ص95)

استصلاح بيئي (ecological restoration)، (ص107)

بعض الأسئلة للتفكير SOME QUESTIONS TO THINK ABOUT

يتكوّن نظام بيئي من مجتمع تبيّؤ إضافة إلى البيئة غير الحية. أيّهما الأهمّ، في رأيك؟ ولماذا؟ أي، هل تعتقد أنّ البيئة الفيزيائية أهمّ من الكائنات الحية، أم أنّ تأثير الكائنات الحية في البيئة الفيزيائية أكثر من تأثير العوامل الجيولوجية، أم أنّ كليهما له القدر نفسه من التأثير؟

نفّذ زيارة إلى وادٍ قريب، وتفحّص بيئة مجراه، وما يحيط بها، ثم حاول أن تقرّر مدى تأثير الإنسان فيها، هل هذا الوادي قابل للاستصلاح البيئي؟ إن كان الجواب بالإيجاب، فما الذي يمكن فعله؟ وإن كان الجواب بالنفي، فلماذا؟

بعض الجيولوجيين والهيدرولوجيين ليسوا على دراية بوظيفة النظام البيئي، من حيث البيئة البيولوجية، وبعض البيولوجيين ليسوا على دراية بتفاصيل الظروف الفيزيائية والهيدرولوجية للأنظمة البيئية، ما السبب في رأيك؟ وما الذي يمكن عمله لسد الفجوة بين هؤلاء الذين يعملون على الأنظمة الحيّة، وأولئك الذين يعملون على الأنظمة الجيولوجية أو الهيدرولوجية؟

obeikandl.com