الإيكولوجيا الطبيعية

التطور هو محصلة التفاعلات بين البيئة والرصيد الجيني للمجموعة السكانية أثناء تكيفها مع بيئتها الطبيعية والحيوية. عن طريق المورثات تنتقل خصائص النوع عبر الأجيال ويورثها السلف للخلف. ويقصد بخصائص النوع الشكل الظاهري والبنية الهيكلية وما يختص به الكائن من الطباع والغرائز الفطرية التي تعينه في الحصول على مقومات الحياة من حيّزه البيئي وفي تحديد طبيعة العلاقات التي تربطه بالكائنات الأخرى في محيطه والتي تتراوح من التعاون إلى التنافس إلى الافتراس إلى الدفاع إلى التطفل. من خلال آليات التكيف والانتخاب الطبيعي تمارس البيئة تأثيراتها وتعمل على تحديد وجهة التطور ومعدل سرعته. وقد فصلنا القول في الفصل السابق عن الوراثة وآلياتها وطرق انتقال السمات الوراثية من جيل إلى جيل. وسوف نتناول في هذا الفصل بعض المفاهيم الأساسية المتعلقة بالبيئة ومكوناتها وطرق تكيف الكائنات المختلفة مع مختلف الأنساق البيئية وتأثيرات البيئة ومتطلبات التكيف معها على الطرز المظهرية للكائنات الحية مما يؤدي إلى تطور الأجناس عبر العصور الجيولوجية المتعاقبة وفق معطيات الانتخاب الطبيعي.

النسق البيئي

يقصد بالبيئة مجمل الظروف والعوامل الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية التي تؤثر في معيشة الكائنات الحية. ويتضمن النسق البيئي أو الإيكولوجي ecosystem مجموعة الكائنات الحية التي تعيش في موطن معين، وتنتمي لأنواع مختلفة مثل البكتيريا والفطريات والنباتات والحيوانات وتقوم بينها وبين بعضها البعض من جهة وبينها وبين مكونات المحيط الطبيعي الذي تعيش فيه من جهة أخرى علاقات ديناميكية مشتركة وتفاعلات بيولوجية تشمل التعايش والتكافل والتطفل والافتراس والتنافس. وتعمل هذه العلاقات والتفاعلات على توزيع الأحياء في النظام البيئي وحفظ الاتزان الطبيعي.

تتمركز الدراسات الإيكولوجية حول الأنساق البيئية. ويحتل النسق البيئي بقعة محدودة المساحة أو وسط حياتي متكامل يتميز عن غيره إلى حد ما في مظاهر الحياة النباتية والحيوانية، وفي العوامل الطبيعية والمناخية والتضاريس، وغير ذلك من المكونات التي تتفاعل بانتظام مطرد وتعمل بشكل متناسق متعاضد كوحدة طبيعية واحدة بحيث أن أي تغير يطرأ على أحد أجزاء النسق سيترتب عليه تغير في الأجزاء الأخرى.

والنسق البيئي مهما كبر أو صغر ليس نظاماً مغلقاً على نفسه بل مفتوحاً على الأنظمة الأخرى يتأثر بها وتتأثر به بشكل مستمر (Kormondy 1976: 1-9; Odum 1983: 13-85). ورسم حدود النسق البيئي إجراء اعتباطي تمليه أهداف الدراسة والإمكانات المتاحة، إذ يمكن تكبيره ليشمل أحد القارات أو المحيطات بل كوكبنا الأرضي بكامله كما يمكن تقليصه ليقتصر على بحيرة أو مستنقع أو مدينة أو حي من أحياء المدينة. وأشمل نسق بيئي هو المجال الحيوي للأرض biosphere أو ecosphere الذي تنضوي تحته مجمل الأنظمة البيئية وكل ما يوجد على الأرض من مظاهر الحياة، من قيعان المحيطات إلى قمم الجبال، ويشمل الجزء

السفلي من الطبقة الجوية الأولى ومنطقة الجذور والأحياء الموجودة في التربة وعلى أعماق مختلفة في البيئة المائية. هذا المجال الحيوي يشكل طبقة رقيقة عمقها إثنا عشر قدماً ست منها فوق قشرة الأرض حيث فروع الأشجار الشامخة والحيوانات المتسلقة والطيور، وست منها تحت القشرة حيث الديدان والبكتيريا؛ أما معظم الحيوانات والنباتات فإنها تدب على سطح القشرة الأرضية أو تسبح في مياه المحيطات (Clapham 1973: 1-2). تنحصر في هذا الغلاف الحيوي كل أشكال الحياة المختلفة والظواهر المرتبطة بها وفيه تحدث التغيرات الفيزيائية والكيميائية التي تؤثر على المواد الحية وغير الحية.

وتنقسم الأرض إلى نسقين رئيسيين هما البيئة البرية والبيئة المائية، وربما أضاف البعض إلى هاتين البيئة البرمائية. وكل من هذه البيئات تتفرع بدورها إلى أقاليم حياتية شاسعة تسمى biomes كأن نقسم البيئة البرية إلى صحاري وسهول وغابات وهذه يمكن تجزئتها إلى بيئات فرعية ثم نقسم تلك إلى بيئات أصغر وقس على ذلك.

ويفضل علماء البيئة الاقتصار في دراساتهم على مساحات بيئية محددة ومناطق ضيقة لأنه يصعب دراسة النسق البيئي الشاسع بما يقطنه من أنواع لا تحصى من النباتات والحيوانات وما يقوم بينها من علاقات معقدة متشابكة يستحيل رصدها والسيطرة عليها. والبيئيون لا يدرسون الكائن العضوي organism أو الفرد individual من أفراد النوع الإحيائي بل يركزون على المجتمع السكاني وعلى الجماعات المحلية التي تستوطن بقعة معينة. هذان المصطلحان، السكان population والجماعة المحلية community، استعارهما علماء البيئة من العلوم الاجتماعية مع توسيع مفهوم كل منهما ليشمل مجموع أفراد أي نوع نباتي أو حيواني. ويقصد بالنوع هنا أي جماعة نباتية أو حيوانية متجانسة متزاوجة. والمجتمع البيئي عبارة عن مجموعة الكائنات التي تقطن نفس الرقعة الجغرافية وتجمع بينها طريقتها المتميزة في العيش والحصول على الغذاء وتتعرض لنفس المخاطر ولها نفس القدرة على تحمل تقلبات البيئة، وهكذا.

والبيئة أياً كان نوعها أو حجمها تتكون من مجالين رئيسيين أحدهما إحيائي biotic ويشمل الكائنات الحية بجميع أنواعها وأصنافها والآخر لاإحيائي abiotic أو ما يسمى بالمجال الفيزيوكيميائي physico-chemical. والمجالان الإحيائي واللاإحيائي في تفاعلهما الديناميكي مع بعضهما البعض يشملان ما أسميناه بالوسط الحيوي. والمكونات غير الحية لها تأثيرات رئيسة ومباشرة على الحياة وتشمل:

- عناصر المناخ كالحرارة والرطوبة والرياح وأشعة الشمس.
- عناصر المياه والتربة بما لها من خصائص كيميوفيزيائية.
- العناصر الكيماوية كالأكسجين وثاني أكسيد الكربون.
- العناصر الفيزيائية كالجاذبية والضوء والإشعاع.
- العناصر الغذائية الرئيسة كالنيتروجين والفوسفور والبوتاسيوم.

وينقسم المجال اللاإحيائي إلى أربعة أغلفة هي الغلاف الجوي atmosphere والغلاف المائي hydrosphere والغلاف الصخري ledosphere وغلاف التربة pedosphere. وكل من هذه الأقسام له خصائصه المميزة التي تحدد دوره في البيئة وطبيعة تفاعله مع الأجزاء الأخرى. وقد تختلف هذه الخصائص من مكان إلى مكان ومن وقت إلى آخر مما ينتج عنه التباين الملحوظ بين الأنساق البيئية المختلفة. لكن هذه الأقسام في تفاعلها مع بعضها البعض ومع المجال الإحيائي في البيئة، كما سنبينه الآن، توضح لنا سبل التغذية الاسترجاعية

feedback وعلاقات التأثير المتبادل بين أجزاء النسق البيئي.

تتألف مكونات الغلاف الجوي من الغازات التي تكونت في الأزمنة الجيولوجية السحيقة نتيجة لتبرّد الصخور النارية أثناء تشكل القشرة الأرضية. ومنذ بدأت الحياة على سطح الأرض ظل التفاعل والتأثير المتبادل قائما بين تطور الحياة وتطور الغلاف الجوي. فقد كانت الغازات الموجودة في البداية لا تسمح بوجود الحياة وهي الأمونيا والميثان وغاز ثاني أكسيد الكربون. ثم ظهر الأكسجين بعد انتقال الحياة النباتية من الماء إلى اليابسة. والآن بفعل نشاطات الإنسان أصبحت الغازات الأخرى مثل ثاني أكسيد الكربون تتراكم بكميات تزيد عن الحد الملائم وتهدد الحياة.

يتكون الغلاف الجوي من أربع طبقات الأولى منها والملامسة لسطح الأرض تسمى تروبوسفير troposphere تليها طبقة الستراتوسفير stratosphere ثم الميزوسفير mesosphere ثم الثيرموسفير thermosphere. وأهم هذه الطبقات بالنسبة لنا هي طبقة التروبوسفير لأن لها تأثير مباشر على الحياة، وهي الطبقة التي تتكون فيها الغيوم وتحدث فيها تغيرات الطقس ويوجد فيها الهواء الذي نتنفسه. ويتراوح ارتفاع طبقة التروبوسفير من حوالي ١٧كم عند خط الاستواء إلى حوالي ٨ كم عند القطب المتجمد. وهذه الطبقة الهوائية عبارة عن مزيج من الغازات الضرورية للحياة والتي توجد بنسب ثابتة مثل النيتروجين والأكسجين والأرغون وثاني أكسيد الكربون. كما تحتوي على نسب غير ثابتة من البخار والغبار والمواد العالقة في الهواء. وطبقة الستراتوسفير أيضاً لها أهمية خاصة في كونها تحتوي على غاز الأوزون الذي يشكل حزاماً يمتص الأشعة فوق البنفسجية التي لو وصلت إلى الأرض لقضت على الحياة فيها.

ويعمل الغلاف الجوي على حماية الأرض من الأجسام الفضائية مثل الشهب التي تحترق في الغلاف الجوي قبل وصولها إلى الأرض، كما يعمل على تنظيم درجات الحرارة ولولاه لتراوحت درجة الحرارة عند خط الاستواء بين +٨٠ درجة نهارا إلى –١٤٠ درجة ليلا، كما أنه يستحيل انتقال الصوت لولا الهواء. وتبقى غازات الغلاف الجوي في حركة مستمرة بفعل حرارة الشمس التي لولاها لسقط الغلاف الجوي على سطح الأرض بفعل الجاذبية (غرايبة والفرحان ١٩٩٦: ٣٣).

أما الماء فله من الخواص الطبيعية والكيميائية ما يجعله من أهم المركبات الموجودة في الطبيعة. فهو من العوامل الأساسية في تفتيت الصخور على هيئة حبيبات في غاية الدقة تتكون منها التربة. وهو من أهم عوامل التعرية والترسب المسؤولة عن تشكيل التضاريس والمعالم الجغرافية، وما يتبع ذلك من تأثير على المناخ واتجاه الرياح ونزول الأمطار وجريان الأنهار. ودورة المياه من سائل إلى بخار ثم إلى سائل لها أثرها في تحديد طبيعة المناخ والرطوبة. ومن خلال مسام التربة والصخور يتسرب الماء ليختزن في الشقوق والتجويفات التي توجد في باطن الأرض.

يتراوح سمك الغلاف الصخري بين ٨٠ إلى ١٠٠ كم وينقسم إلى القشرة الأرضية earth crust والجبة العليا upper mantle التي تحيط بالنواة الخارجية outer core والتي بدورها تحيط بالنواة الداخلية الملتهبة inner core في باطن الأرض. وتتكون القشرة الأرضية من الصخور النارية والبازلتية والرسوبية. والغلاف الصخري هو المصدر الأساسي للتربة وبالتالي لجميع الأملاح والمعادن الضرورية لإمداد النباتات بالعناصر المغذية. والصخور الجيرية غنية بالأملاح والمعادن الضرورية لنمو النباتات، على خلاف الصخور الغرانيتية التي تفتقر لهذه المواد. وطبيعة الأملاح والمعادن المتوفرة في الصخور في أي منطقة ستحدد أنواع النباتات

التي يمكن أن تعيش فيها، ومن ناحية أخرى فإن النباتات والمواد العضوية الموجودة في أي منطقة تعتبر من العوامل المسؤولة عن تفتيت الصخور واستخراج ما فيها من الأملاح والمعادن، وهذه حلقة أخرى من حلقات التفاعل بين المجالين الإحيائي واللاإحيائي.

أما التربة فإنها من أهم مصادر الثروة الطبيعية المتجددة ومنها يحصل الإنسان والحيوان على معظم ما يحتاجه من الغذاء وفيه تمارس جميع الكائنات الحية مختلف نشاطاتها الحيوية. ويقصد بالتربة تلك الطبقة الرقيقة الهشة التي تغطي صخور القشرة الأرضية بسمك قد لا يتعدى بضعة سنتيمترات. وتتكون التربة بفعل التعرية الجوية والانجراف والترسيب، وهي محصلة التفاعل بين المناخ والصخور والمياه والمواد العضوية التي يتكون منها الدبال humus، وهو مادة داكنة تتشكل من تحلل النباتات والحيوانات ويمنح التربة طبيعتها الحبيبية الأسفنجية المنفذة والقادرة على امتصاص الماء والغازات والاحتفاظ بهما. وتتألف التربة من الصخور المتفتتة والرسوبيات والتي هي عبارة عن مزيج من الأملاح والمعادن والفتات العضوي والكائنات الدقيقة لذلك فإنها المخزن الذي تستمد منه النباتات ما تحتاج إليه من الماء وعناصر التغذية وفيها تثبت الأشجار جذورها التي تسندها وتمنعها من السقوط. وما تحتويه التربة من ديدان وكائنات دقيقة يعمل على تحليل المواد العضوية وإعادتها إلى دورتها البيوجيوكيميائية. وتحصل التربة على ما تحتويه من مواد معدنية من صخور القشرة الأرضية بعد ما تتفتت إلى عناصرها الأولى بفعل عوامل التجوية. وإضافة إلى المواد الصلبة تحتوي التربة على الماء والهواء اللذين يشغلان المسامات الموجودة في التربة. وهناك علاقة عكسية بين ما تحتويه التربة من ماء وما تحتويه من هواء، فعندما يتسرب الماء إلى التربة يدفع بالهواء إلى الخارج، وعندما يخرج الماء يتسرب الهواء إلى الداخل لملء الفراغ الذي يتركه الماء. وغالبا ما تقسم التربة إلى طبقات منها الطبقة السطحية top soil التي تخترقها جذور النباتات وتحتوي على المواد العضوية ثم الطبقة السفلى sub soil التي تترسب إليها وتتجمع المواد المنغسلة من الطبقة السطحية. وهناك طبقة تحت هاتين الطبقتين تتكون من صخور في طور التفتيت تشكل مرحلة انتقالية بين الطبقة الصخرية وطبقة التربة (غرايبة والفرحان ١٩٩٦: ٣٨-٤٠).

ولكل تربة خواصها التي تؤثر على النباتات فيها مثل الخواص الفيزيائية التي تشمل درجة الحرارة والرطوبة والتهوية والخواص الكيميائية التي تشمل درجة الحموضة والملوحة والخواص البيولوجية التي تشمل الكائنات الدقيقة والبكتريا. ولا أحد ينكر تأثير عوامل المناخ والرطوبة ونسبة سقوط الأمطار على النبات، لكن هذه أشياء لا يملك الإنسان أن يتدخل فيها أو يعدل من طبيعتها، على خلاف التربة التي يمكنه أن يكيّفها ويحوّر فيها وفق مشيئته. وتَشَكُّل التربة عملية بطيئة تستغرق آلاف السنين لذلك فإن أي تدخل خارجي جائر من قبل الإنسان في هذه العملية سيؤدي حتما إلى إنهاك التربة. وافتقار التربة إلى الدبال والمواد العضوية والأملاح والمعادن يحولها إلى مادة صلبة غير منفذة للماء والغازات ولا تستطيع جذور النباتات اختراقها. ويعمد المزارعون إلى ترك التربة المنهكة لعدة سنوات بدون زراعتها لتسترد عافيتها. وتختلف تربة المناطق الاستوائية التي لا تعرف فصل الشتاء عن تربة المناطق الباردة في أن الكائنات الدقيقة تستمر طوال العام في نشاطها وتفتيتها للمواد العضوية مما يؤدي إلى القضاء على المواد العضوية والدبال وإنهاك التربة، على خلاف المناطق الباردة التي يقل فيها نشاط الكائنات الدقيقة في فصل الشتاء.

سريان الطاقة

استمرارية النسق البيئي واتزانه يقوم على عمليتين متزامنتين هما سريان الطاقة energy flow ودوران المادة cycling of matter أو دورة المغذيات cycling of nutrients. فالحياة في جميع مظاهرها وتجلياتها، بما في ذلك حياة الإنسان، تقوم على الطاقة المتوفرة في الطبيعة. ولكن ما هي الطاقة وما هو مصدرها؟

الشمس هي المصدر الأول للطاقة في هذا الوجود والمحرك الرئيس لمختلف الأنظمة البيئية التي تعتمد عليها في إنتاج الطاقة الكيميائية والحركية اللازمة لبقائها ومنها تستمد الأرض الحرارة والضوء اللازمين للحياة. فلولا حرارة الشمس لما تبخر الماء من البحار والمحيطات ولما هبت الرياح التي تحمل البخار لينزل، بعد أن يتكثف على شكل سحب، مطراً وثلجاً فتجري الأنهار وتسقط الشلالات التي تحرك الدواليب. كما تتسبب الرياح في انتشار البوغ وحبوب اللقاح ولها أثرها في عمليات النتح والتبخر، علاوة على أنها تدير الطواحين وتدفع أشرعة السفن. وهذه بعض من مظاهر الطاقة التي تمنحها الشمس لكوكبنا الأرضي. وتُختزن الطاقة الشمسية في المستحاثات النباتية ومختلف المواد العضوية التي تُطمر في باطن الأرض لتتحول بعد ملايين السنين إلى طاقة مخزونة على شكل فحم حجري وبترول وغاز طبيعي (Smith 1974: 30).

أما بالنسبة للحياة فإن النباتات تكاد تكون الوحيدة من بين سائر أنواع الحياة الأخرى التي لها القدرة على توظيف الطاقة الشمسية وتحويلها من طاقة ضوئية إلى طاقة كيميائية مختزنة عالية التركيز وذلك بواسطة ما يسمى بعملية التمثيل الضوئي photosynthesis. التمثيل الضوئي هو الجسر الذي تعبر من خلاله الطاقة الضوئية القادمة من الشمس وتتحول إلى الطاقة الكيميائية الضرورية للحياة على الأرض. تمتص صبغة اليخضور chlorophyll الموجودة في النبات الطاقة الضوئية من أشعة الشمس لتحولها إلى طاقة كيميائية وفق سلسلة من الخطوات تبدأ بفصل الهيدروجين الموجود في الماء عن الأكسجين الذي يتسرب إلى الجو نهاراً بينما تتحد ذرات الهيدروجين مع ثاني أكسيد الكربون الذي يمتصه النبات من الجو نهاراً لينتج عن اتحاد هذه المواد غير العضوية مركب عضوي بسيط من السكر glucose هو الكَرْبُوهَيْدْرات. وبواسطة عمليات لاحقة يعمل البروتوبلازم النباتي على تحويل الكَرْبُوهَيْدْرات إلى مادة نشوية، أو يعمل على توحيدها مع جزيئات molecules سكرية من نوع آخر لتتحول إلى سيلولوز cellulose، أو أن الكَرْبُوهَيْدْرات تتحد مع بعض المواد المغذية التي يمتصها النبات من التربة مثل النيتروجين والكبريت والفسفور لينتج من ذلك الاتحاد مركبات عضوية أكثر تعقيداً مثل البروتينات والدهون والهرمونات والفيتامينات والأحماض الأمينية والنووية وغيرها من المركبات العضوية الغنية بالطاقة التي تختزنها أنسجة النباتات والتي تمثل المادة الغذائية الضرورية للحياة. ولا تمتص النباتات إلا قدراً يسيراً من الطاقة الشمسية لا يتعدى ١٪، ويعكس سطح الأرض جزءاً من أشعة الشمس لتدفئة الجو.

أثناء عملية التمثيل الضوئي يحول النبات جزءاً من الطاقة التي يحصل عليها من الشمس إلى جزيئات molecules يستفيد منها في عمليات النمو والتكاثر، أي أن النباتات تغذي نفسها بنفسها ولذلك تسمى autotrophic. هذا بخلاف الحيوانات التي تستمد غذائها من النباتات أو من غيرها من الحيوانات والتي بحكم ذلك تسمى heterotrophic. وتسمى النباتات كائنات منتجة producers لأنها هي المنتج الأولي والأساسي للطاقة المركزة المختزنة في المركبات العضوية مثل الكَرْبُوهَيْدْرات والبروتين والدهون بينما تسمى الحيوانات كائنات مستهلكة consumers لأنها تعيش على ما تنتجه النباتات من مواد عضوية.

تقتات الحيوانات العاشبة herbivores على النباتات فتحصل على ما تختزنه أنسجتها من الطاقة المتمثلة في المواد السكرية والنشوية والبروتينات والدهون، وكذلك على ما تختزنه من المغذيات المتمثلة في العناصر والمركبات غير العضوية والأملاح مثل النترات والحديد والكالسيوم والبوتاسيوم وغيرها. وتقوم الحيوانات العاشبة بدور هام في السلسلة الغذائية يتلخص في مقدرتها على هضم الأغذية ذات المستوى السيللوزي العالي ونقل ما تختزنه من طاقة إلى المستويات الأعلى في السلسلة. وتتأقلم هذه الحيوانات مع طبيعة غذائها بواسطة جملة من التحورات في تركيب أسنانها والأمعاء إضافة إلى وجود مجموعة من الأحياء الدقيقة المتعايشة ضمن جهازها الهضمي (أبا الخيل وقواس ٢٠٠٥: ٧٨). والحيوانات المفترسة carnivores تحصل بدورها على حاجتها من الطاقة والمغذيات من الحيوانات العاشبة، والحيوانات المفترسة قد تصبح غذاء لحيوانات مفترسة أكبر منها وأشرس. وبعض الحيوانات مثل الإنسان تنوع مصادر غذائها وتتغذى على النبات والحيوان omnivores. هذه العلاقة الغذائية يطلق عليها السلسلة الغذائية food chain، أو بالأحرى الشبكة الغذائية food web نظراً لتعقد العلاقة وتشابك قنواتها لأن الكثير من الكائنات الحية المستهلكة لا تقتصر معيشتها في نوع واحد من الغذاء. هذا عدا أن هناك سلاسل غذائية طفيلية تتغذى فيها الكائنات الصغيرة على ما هو أكبر منها وسلاسل غذائية رمّيّة detritus feeders تتغذى على موات الكائنات العضوية وتحللها.

وتتخذ السلسلة الغذائية مسارين أحدهما يسمى مسار الرعي grazing chain واتجاهه من النبات إلى الحيوان إلى المفترس، وهو الذي تحدثنا عنه آنفاً. أما المسار الآخر فيسمى مسار التحلل detritus chain. وكلمة detritus تشير إلى الفضلات والنفايات والإفرازات وكل ما يؤول إلى الموت من النبات والحيوان. هذه المواد العضوية تتغذى عليها الديدان والبكتيريا والفطريات والطحالب وغيرها من الكائنات التي يطلق عليها اسم الكائنات المحللة decomposers أو المختزلة reducers. وتمثل الكائنات المحللة صلة الوصل بين مكونات النظام البيئي الحية وغير الحية وتلعب دوراً ضرورياً في تفتيت المركبات العضوية وتحليلها وتحويلها إلى عناصرها الأساسية غير العضوية التي تتغذى عليها النباتات مثل الأملاح والمعادن والنيتروجين والكربون والفوسفات والنترات التي تذوب في الماء وتتسرب إلى التربة ليعاد استعمالها وتصبح مواد مغذية تستفيد منها النباتات. وتقوم مختلف الحشرات مثل الخنافس بمساعدة الكائنات الحية الدقيقة في عملية تحليل المواد العضوية الرمّيّة وذلك بتقطيعها ليصغر حجمها وتصبح الكائنات الدقيقة قادرة على تحليلها.

ويستخدم النبات من ٨٠٪ إلى ٩٠٪ من الطاقة التي يستخلصها من الشمس في عمليات الأيض metabolism والتنفس respiration الضروريين لبناء الخلايا وغير ذلك من مستلزمات البقاء والنمو والتكاثر. وهذا الجزء من الطاقة المحررة يتسرب من النبات على شكل حرارة مبعثرة، أي طاقة غير مركزة وغير متاحة للاستعمال. ولا يستخدم النبات إلا من ١٠٪ إلى ٢٠٪ من الطاقة التي يستخلصها من الشمس في تخليق مركبات عضوية من مواد غير عضوية. وهذه النسبة الضئيلة من الطاقة المختزنة هي التي تنتقل إلى الحيوانات التي تتغذى على النباتات، هذا مع العلم أن كماً كبيراً من النباتات تضيع سدى بما تختزنه من طاقة دون أن تستفيد منه الحيوانات إما بسبب موت هذه النباتات أو غير ذلك من الأسباب. وعند تحويل الطاقة المخزنة في النبات إلى المستهلكات فإن كفاءة استفادتها منها لا تتعدى ١٠٪ في كل خطوة لاحقة بينما يذهب ٩٠٪ على شكل حرارة مما يعني أنه لا يمكن الاستفادة الكاملة من الغذاء في كل حلقة من حلقات السلسلة الغذائية. أي أنه

في كل حلقة من حلقات السلسلة ومع كل خطوة من خطواتها يتسرب جزء كبير من الطاقة على شكل حرارة تتبدد في الفضاء الخارجي وتضيع بحيث تصبح غير متاحة للاستفادة منها. وكلما صعدنا على سلم الهرم الغذائي من النباتات إلى الحيوانات العاشبة إلى الحيوانات المفترسة كلما تضاءلت الطاقة المتاحة، ومعيار هذا النقص هو مثلاً قلة أعداد الحيوانات المفترسة بالنسبة لتلك التي تتغذى على النباتات وقلة إجمالي وزن هذه الأخيرة نسبة إلى النباتات التي تتغذى عليها. هذا الانخفاض المتدرج في عدد المستهلكات التي يتغذى كل منها على الآخر هو ما يعبر عنه بالحجم الحيوي biomass. وهكذا تتألف السلسلة من مستويات غذائية متدرجة trophic levels أو هرم غذائي trophic heirarchy يبدأ من النباتات التي تحتل قاعدة الهرم وينتهي بالحيوانات المفترسة التي لا يفترسها أحد وتحتل رأس الهرم. وكلما طالت السلسلة الغذائية وابتعد الكائن الحي من بداية السلسلة كلما زاد تسرب الطاقة، وعلى العكس من ذلك كلما قصرت السلسلة الغذائية كلما ازدادت الطاقة المتحولة إلى كتلة حية. وتأخذ أعداد أفراد السلسلة الغذائية شكل هرم تمثل قاعدته المنتجات وقمته المفترسات. ونلاحظ زيادة حجم الكائن الحي كلما ارتفع موقعه في السلسلة الغذائية.

ولولا الشمس، مصدر الطاقة الذي لا ينضب، ولولا قدرة النباتات على التمثيل الضوئي لنفدت الطاقة واضمحلت الحياة من على وجه البسيطة. وفقدان الطاقة في سريانها من حلقة إلى أخرى في السلسلة الغذائية يخضع للقانونين الأول والثاني من قوانين الديناميكا الحرارية. ينص القانون الأول على أن الطاقة لا تفنى ولا تتجدد وإنما تتغير وتتحول من شكل إلى آخر في أي عملية فيزيائية أو كيميائية، كأن تتغير الطاقة الضوئية في عملية التمثيل الضوئي إلى طاقة كيميائية عالية التركيز تختزن على صورة روابط كيميائية داخل المادة السكرية. ويمكن تحويل الطاقة الكيميائية عند الحيوان إلى طاقة حركية أثناء المشي والتنقل، وهكذا. إلا أن القانون الثاني ينص على أن تحويل الطاقة من شكل إلى آخر سوف يؤدي بالضرورة إلى هدر كم كبير من الطاقة تتسرب إلى المحيط المجاور على هيئة حرارة مبددة تضيع في الأجواء العليا ولا يستفاد منها. وعدم تجديد الطاقة الذي يشير إليه القانون الأول يعني أنه لا يمكن إيجاد الطاقة من العدم ولا يمكن تخليقها أو توليفها من أجزاء موجودة أصلاً وإنما تُنعم بها الشمس على كوكبنا الأرضي. وأثناء تحويل الطاقة من شكل إلى آخر يتم تحرير جزء من الطاقة المتاحة ويستخدم في عملية التحويل نفسها. وبعد الانتهاء من عملية التحويل لا يبقى من الطاقة الأصلية إلا الجزء اليسير. أما الجزء الأكبر المستخدم في عملية التحويل فإنه يؤول إلى طاقة حرارية خفيفة التركيز تتبعثر في الجو وتضيع –تضيع ولكنها لا تفنى ولا تتحول إلى عدم. اضمحلال الطاقة degredation of energy بهذه الصورة من طاقة مركزة مخزونة في المواد العضوية إلى طاقة حرارية مبددة تتبعثر في الهواء، أو ما يسمى entropy، يؤدي إلى تسرب الطاقة وتلاشيها من الأرض، وهذا يمثل المخرجات بالنسبة لسريان الطاقة. لكن هذه المخرجات تعوضها المدخلات، أي الطاقة الضوئية التي يستخلصها النبات من الشمس. وفي أي نسق بيئي لا بد أن تتعادل المخرجات مع المدخلات، وأي خلل في هذه المعادلة يؤدي إلى عطب النسق وتداعيه (Murdoch 1971:2).

دوران المادة

من المعروف أن أي شيء مادي في هذا الوجود، بما في ذلك المركبات العضوية والكائنات الحية، يمكن تحليله ورده في نهاية المطاف إلى عدد محدود من العناصر الكيميائية الأساسية الموجودة في الطبيعة. من بين

العناصر الكيميائية الموجودة في الجو والماء والتربة والتي يقرب عددها من المائة تحتاج الكائنات الحية إلى ما لا يقل عن ستة عشر منها لتستطيع البقاء والتكاثر وهي: الكربون والهيدروجين والأكسجين والنيتروجين والفوسفور والبوتاسيوم والكالسيوم والماغنسيوم والكبريت والحديد والمانغنيز والبورون والموليبدينوم والنحاس والزنك والكلورين (Clapham 1973: 7-9). هذه هي المغذيات nutrients الضرورية لتخليق البروتوبلازم والمركبات العضوية أثناء عملية التمثيل الضوئي، وتمثل العناصر الأربعة الأولى حوالي ٩٧٪ من كمية المادة الحية. وهناك عناصر أخرى لا تقل عن هذه عدداً تحتاج إليها الكائنات أيضاً ولكن بكميات قليلة ولذلك لا داعي لذكرها هنا. هذه المغذيات وغيرها من العوامل الطبيعية اللاإحيائية، مثل مستوى الضغط والرطوبة والتكثف والحرارة والرياح والضوء والتضاريس، تتفاعل مع بعضها البعض بطريقة معقدة متشابكة تتحدد من خلالها طبيعة الحياة المتوفرة في بيئة معينة ومدى تنوعها وكثافتها.

وتنتقل العناصر الكيمائية المغذية بين الكائنات الحية وغير الحية في الوسط البيئي عبر دورة تسمى دورة المادة. من هذه العناصر ما يتميز بدورة سريعة وكاملة مثل عنصر الكربون الذي يعود إلى الوسط البيئي بنفس السرعة التي خرج بها وبدون أن يحدث أي تغيير في توزيعه في مختلف مكونات النظام البيئي. في حين نجد بعض العناصر لا تعود بسرعة أو تُفقد، مثل النيتروجين الذي يصعب تعويضه بعد فقدانه من التربة. وبعض العناصر تتحول إلى مركبات كيميائية لا تستفيد منها الكائنات الحية أو غير قابلة للذوبان في التربة ليستفيد منها النبات مثل الحديد والفوسفات.

وبينما يتخذ سريان الطاقة، كما رأينا، اتجاها أحاديا من الشمس إلى النباتات ثم إلى الحيوانات ثم إلى المحللات، نجد أن دوران المادة يتخذ اتجاها دائريا بين مكونات النظام البيئي وتظل المغذيات تدور باستمرار بحيث يمكن الاستفادة منها إلى الأبد. تحصل النباتات على المواد المغذية من الماء والتربة، وتحصل عليها الحيوانات عن طريق النبات وهكذا حتى آخر السلسلة الغذائية. والمواد المغذية لا تفنى ولا تتلاشى بل تعود في النهاية عن طريق الكائنات المحللة إلى التربة والماء والهواء لتستخدمها النباتات فيما بعد. وعلى هذا المنوال تستمر دورة المواد المغذية بين مختلف حلقات السلسلة الغذائية وبين المجال الإحيائي والمجال اللاإحيائي في النسق البيئي مما يوضح لنا مدى ارتباط هذين المجالين وعلاقتهما أحدهما بالآخر. وعلى خلاف الطاقة التي تأتي من خارج النسق البيئي، من الشمس، تأتي المواد المغذية من داخل النسق البيئي نفسه ومعظمها يوجد بكميات على الرغم من ضخامتها إلا أنها تظل محدودة ولولا أنها تدور على الصفة التي ذكرناها لنفدت مع مرور الزمن. وأحيانا يتدخل الإنسان في هذه الدورة من خلال نشاطاته الزراعية وعمليات البستنة رغبة في زيادة المحصول أو تحسين الإنتاج مما قد لا يمكّن بعض المواد أن تأخذ دورتها بالسرعة الكافية فتتراكم بكميات تزيد عن المعدل المطلوب وتؤدي إلى التسمم.

ويوجد في الطبيعة دورتان للمواد هما الدورة الغازية gaseous التي تشمل دورات الماء والكربون والأكسجين والهيدروجين والنيتروجين والدورة الرسوبية sedimentary التي تشمل مواد صلبة مثل الفوسفور والكبريت. والدورة الغازية أسرع في دورانها وأكثر اكتمالا من الدورة الرسوبية لأن الأخيرة عادة ما تنتهي داخل صخور رسوبية لا تخرج منها العناصر إلا ببطء شديد مما يعطل استكمال الدورة، بل إن المواد الصلبة ربما جُرفت إلى قاع المحيط وانتفت الاستفادة منها واستحال دخولها الدورة مرة أخرى.

تتميز المياه بحركتها المستمرة بفعل الطاقة الشمسية والجاذبية الأرضية. يتبخر الماء من البحار

والمحيطات ويتكثف في الهواء على شكل غيوم وسحب فتهطل الأمطار والثلوج. وتتحكم الجاذبية الأرضية في حركة المياه الساقطة على الأرض بما في ذلك جريان الوديان والأنهار التي ينتهي معظم مائها إلى البحر والبعض يخترق طبقات الأرض ليغذي المياه الجوفية. وهكذا تستمر دورة الماء بين البحار والجو واليابسة مدفوعة بحرارة الشمس (غرايبة والفرحان ١٩٩٦: ١٠٣-٦). والماء هو الوسط الذي تنتقل بواسطته جميع العناصر في الطبيعة ويتم تدويرها بين الكائنات الحية وغير الحية، حيث أنه من أنجع المحاليل في إذابة المواد والعناصر ومن أهم الوسائط لنقلها من بيئة إلى أخرى. وعن طريق الماء الذي تتشربه عروق النباتات وجذور الأشجار وسيقانها تنتقل العناصر الغذائية من أملاح ومعادن من المجال اللاإحيائي في البيئة إلى المجال الإحيائي. وهذا ما يشكل إحدى حلقات التفاعل وشبكات التأثير المتبادل في النسيج البيئي بين المجالين الإحيائي واللاإحيائي.

والكربون من العناصر المهمة والأساسية أيضا لوجود الحياة وهو أحد المكونات الأساسية للمواد العضوية والخلايا الحية. ويوجد الكربون في حالته الغازية على شكل ثاني أكسيد الكربون، ويوجد في باطن الأرض على شكل بترول خام وغاز طبيعي وفحم، ويوجد في حالته الصلبة في الصخور الكلسية العضوية والدولوميت التي أسهمت في تكوينها المواد العضوية، كما يوجد مذابا في الماء وفي الخلايا الحية. ويعد المحيط المائي مثل المحيط الجوي أكبر مستودع للكربون غير العضوي. تحصل النباتات على ثاني أكسيد الكربون من الجو وتحصل على العناصر الضرورية من التربة من خلال امتصاص الماء المشبع بهذه العناصر بواسطة الشعيرات الجذرية. ومن النبات ينتقل الكربون إلى الحيوانات العاشبة ثم إلى اللاحمة. وبعد موت الكائنات الحية وتحللها يعود الكربون المثبت على شكل مواد عضوية إلى الوسط البيئي. "وتجدر الإشارة إلى أنه لكل جزء من دورة الكربون أهمية خاصة، فإذا قضي على النباتات الخضراء والطحالب الخضراء مثلا لا يمكن أن يخرج الكربون من المستودع الجوي، حيث أن الكائنات المستهلكة لا تستطيع أن تستفيد من غاز ثاني أكسيد الكربون الجوي وتحويله إلى مركبات عضوية، ولو قضي على الكائنات المحللة فإن المادة العضوية المتخلفة عن إفرازات الكائنات الحية وعن بقايا أجسامها ستتراكم بسرعة ولا يعود الكربون إلى الغلاف الغازي وبذلك تختل الدورة" (غرايبة والفرحان ١٩٩٦: ١٠٧).

بعد أن يستقبل سطح الأرض أشعة الشمس يعكس جزءا منها على شكل أشعة تحت حمراء infrared مما يؤدي إلى خفض درجة حرارة السطح. لكن ثاني أكسيد الكربون بحكم ازدياد نسبته في الجو بفعل الأنشطة الصناعية صار يمتص الأشعة تحت الحمراء مما تسبب في انخفاض نسبة المعكوس منها من سطح الأرض. وقد تسبب ذلك في تغير المناخ العالمي وارتفاع درجات حرارة الأرض، وهو ما يسمى بالاحتباس الحراري أو تأثير المحمية الزجاجية greenhouse effect لأن الزجاج يسمح بدخول أشعة الشمس من الخارج لكنه يحجز الأشعة الحمراء داخله مما يؤدي إلى ارتفاع درجة الحرارة في الداخل. وارتفاع درجة حرارة الأرض global warming تؤدي إلى تغيرات في معدل سقوط الأمطار واتجاه الرياح وسرعتها على سطح الأرض. ومما يضيف إلى تراكم غاز ثاني أكسيد الكربون في الجو، إضافة إلى دخان المصانع وعوادم السيارات والطائرات، قطع الغابات المدارية والاستوائية التي تتنفس ثاني أكسيد الكربون وتحوله إلى أكسجين.

وترتبط دورة الكربون بدورة الأكسجين في عملية التمثيل الضوئي التي تساهم في الحفاظ على ثبات مستوى الأكسجين وثاني أكسيد الكربون في الجو. النبات يحرر الأكسجين فيطلقه في الجو لتتنفسه

الحيوانات وتستخدمه في حرق الكَرْبُوهَيْدْرات، والفضلات الناتجة عن هذه العملية هي غاز ثاني أكسيد الكربون الذي يتنفسه النبات مما يحقق نوعا من التوازن البيئي والتكافل بين النبات والحيوان. والأكسجين من العناصر الكيميائية الفعالة وله القدرة على الاتحاد مع المواد العضوية وغير العضوية، وهو ضروري لعمليات التنفس والأكسدة والاحتراق، وله أهمية خاصة في بناء طبقة الأوزون التي تمتص الأشعة فوق البنفسجية. ويشكل الأكسجين ما نسبته ٢١٪ من حجم الهواء الجاف، عدا الأكسجين المذاب في الماء والذي تعتمد عليه الحياة المائية.

أما النيتروجين فهو يدخل في تركيب صبغة اليخضور chlorophyll التي يستخدمها النبات في فصل الهيدروجين الموجود في الماء عن الأكسجين، وهو أيضا أحد مكونات البروتوبلازم الذي تتكون منه الخلايا الحية ويدخل في تركيب الأحماض الأمينية ومن ثم البروتينات. ويعتبر الهواء أحد أهم المدخرات النيتروجينية حيث يمثل حوالي ٧٨٪ من حجمه. لكن مع ذلك يعد هذا العنصرعاملا محددا لنمو معظم الكائنات الحية لأنه غاز خامل لا يستفاد منه بشكله الطبيعي، لذا لا بد من تحويله من خلال عملية تسمى تثبيت النيتروجين في مركبات نيتروجينية مثل الأمونيا والنترات. وهناك عملية تثبيت أخرى تسمى عملية التثبيت الجوي تتم من خلال الصواعق التي توفر طاقة عالية فيتحد النيتروجين مع الأكسجين والهيدروجين بفعل طاقة البرق الكهربائية مما ينتج عنه نترات وأمونيا. وتوجد في بعض أنواع التربة أشكال من البكتيريا والطحالب لها القدرة على تحويل النيتروجين الجوي الخامل إلى مركبات تستطيع النباتات أن تستفيد منها حيث تخترق هذه البكتيريا جذور النباتات محدثة عُقَدا جذرية تعيش فيها بصورة تكافلية مع النبات الذي تمده بالنيتروجين ويمدها بالغذاء، وهذا ما يسمى بالتثبيت البيولوجي. وتحصل النباتات على النيتروجين المثبت من السماد والتربة ومن هنا يستكمل دورته كالعادة عبر مراحل السلسلة الغذائية (غرايبة والفرحان ١٩٩٦: ١٢٠–٦).

وبالإضافة إلى دورة الغازات هناك دورة المواد الصلبة، أو الدورة الرسوبية التي تشمل من ضمن ما تشمله الفوسفور والكبريت، وكلاهما له دور رئيس في مختلف العمليات الحيوية والوظيفية وتتشكل منه معظم مكونات الخلايا الحية والأحماض النووية والأمينية. كما يدخل الفوسفور في تركيب العظام وهو المسؤول عن تزويد الخلايا بالطاقة. ومن أهم مصادر الفوسفور الصخور الرسوبية التي تحتوي على الفوسفات الذي يتم تحرير جزء منه بواسطة عمليات التجوية والغسل والانجراف والتعرية ليذوب في الماء وتستفيد منه النباتات. كما تعد البراكين أحد المصادر الأساسية للفوسفور. هذا عدا الفوسفور الذي تحرره الكائنات المفككة من مخلفات البقايا العضوية بعد موتها وتطلقه ليدخل الدورة على شكل أيونات الفوسفات التي تمتصها النباتات. لكن دورة الفوسفور ليست مكتملة حيث يضيع الجزء الأكبر منه ويذهب إلى قيعان البحار والمحيطات ولا يعود إلى الدورة.

أما الكبريت فأهم مصدر له هي البراكين إضافة إلى تجوية الصخور الكبريتية وتحلل المواد العضوية بعد موتها. كما تنطلق إلى الجو كميات كبيرة من الكبريت بفعل أنشطة الإنسان الصناعية. ويساهم حمض الكبريتيك المتشكل من تحلل المواد العضوية في إذابة وترسيب المعادن الصخرية مما يساهم في تغذية النباتات بهذه المعادن مثل إذابة الفوسفور في الصخور الحاوية على معدن الأباتيت صعب الذوبان (أبا الخيل والقواس ٢٠٠٥: ١١٧–٢٥).

الاتران البيئي

لعله من الواضح الآن أن النسق البيئي يتألف من ثلاثة محركات أساسية هي:

١/ سريان الطاقة.

٢/ السلسلة الغذائية.

٣/ دورة المواد الغذائية.

منذ تشكلت الأرض والأنظمة البيئية تتمتع بهذا القدر من الضبط الذاتي من خلال العلاقات الديناميكية المتبادلة بين الكائنات الحية وعناصر البيئة الأخرى ضمن دورات متكاملة وتوازنات ديناميكية دقيقة مما يؤمن توازن الأنظمة البيئية واستمرارية الحياة. ويتم هذا الضبط الذاتي من خلال سريان الطاقة ومن خلال دوران المادة حيث يجري تحول وتبادل مستمر للمادة والطاقة بين عناصر النظام البيئي المختلفة، الحيوية وغير الحيوية. تتفاعل الطاقة مع المواد غير العضوية لتعطي مواد عضوية ضرورية لبناء أجسام الكائنات الحية، وهذه تتحلل بعد الموت لتعود إلى الحالة اللاعضوية التي تستفيد منها النباتات كعناصر أولية.

وهكذا تعتمد الحياة على تدفق الطاقة وعلى الدورات البيوجيوكيميائية للمواد الأساسية عبر الغلاف الحيوي، والتي بدورها تعتمد في دورانها بطريقة مباشرة أو غير مباشرة على الطاقة الشمسية. يحصل النظام البيئي على الطاقة من الشمس، أما العناصر الغذائية فيحصل عليها من تجوية الصخور وتفتيتها لتصبح جزءاً من مكونات التربة التي تتغذى عليها النباتات ومن النباتات تنتقل عبر السلسلة الغذائية إلى الحيوانات. وبعد موت النبات والحيوان تعود مرة أخرى إلى الوسط البيئي بفعل الكائنات المفكِّكة ليعاد استعمالها من جديد. وعلى هذه الحال فإن المادة في حالة دوران دائم، على عكس الطاقة التي تسير باتجاه واحد من الطاقة الشمسية إلى النبات ثم إلى الحيوان ومن النبات والحيوان إلى الكائنات المحللة وفي كل خطوة من هذه الخطوات يفقد قسم من هذه الطاقة على شكل حرارة.

من خلال التفاعل المستمر والترابط القائم بين هذه المحركات الثلاث تتحقق للنسق البيئي ميزة الانضباط الذاتي self-adjusting وما يحققه ذلك من التوازن equilibrium والاستقرار الداخلي steady-state أو stability. وبذلك يكون النسق البيئي شبيه بنظام الضبط الذاتي cybernetics الذي لديه القدرة على استشعار ورصد التغيرات الطارئة في المحيط الخارجي والتجاوب معها بما يضمن المحافظة على استقرار الوضع الداخلي عن طريق التغذية الاسترجاعية السلبية negative feed back، أو التغير تجاوبا مع الظروف الخارجية بدرجة تكفل البقاء للنسق عن طريق التغذية الاسترجاعية الإيجابية positive feed back. والاستقرار الداخلي لا يتم على مستوى النسق البيئي فقط بل حتى على مستوى الأفراد وذلك عن طريق التكيفات الفسيولوجية والسلوكية التي يقوم بها الفرد لاتقاء الحر والبرد والجوع والظمأ وما إلى ذلك. وهذا النوع من الاستقرار البدني والتوازن الداخلي بين مختلف عناصر جسم الكائن الحي يسمى homeostasis. وتحقق الضبط الذاتي أو الاستقرار الداخلي على هذه الصورة، سواء في الجسم أو في النسق البيئي، يفترض وجود وسيلة لتبادل المعلومات عن طريق حلقات التغذية الاسترجاعية الارتدادية feedback loops. وفي واقع الأمر أن السلسلة الغذائية وسريان الطاقة ودورة المواد المغذية هي بعض مظاهر التغذية الاسترجاعية وتبادل المعلومات التي تعمل على تحقيق الاستقرار والتوازن بين مختلف عناصر النسق البيئي مما يوفر له نوعاً من الحصانة ضد المؤثرات الخارجية. والتغذية الاسترجاعية تتمثل في أن كل تبدل عند أي مستوى غذائي سوف ينعكس تأثيره على

المستويات الأخرى، وأي تغير يطرأ على أحد عناصر النسق يترتب عليه سلسلة من التغيرات في عناصر النسق الأخرى وهكذا حتى يعود أثر التغيير مرة أخرى إلى العنصر الأول الذي بدأ منه.

ولتوضيح مفهوم التغذية الاسترجاعية وأثرها في استقرار النسق البيئي نورد المثال التالي. هناك علاقة حتمية بين كمية النباتات المتاحة في أي بيئة وعدد الحيوانات التي تتغذى على هذه النباتات. ولا بد أن يكون هناك قدر معقول من التوازن بين هذين العاملين وأي تغير يطرأ على أحدهما سيكون له تأثير على الآخر. فلو أن كمية النباتات تناقصت نتيجة الجفاف أو غير ذلك من الأسباب فإن هذا سيؤدي بالضرورة إلى تناقص عدد الحيوانات إما عن طريق الموت أو الهجرة إلى مكان آخر يتوفر فيه الغذاء اللازم. ولا بد أن يستمر هذا التناقص حتى يتحقق التوازن المطلوب بين كمية النبات وعدد الحيوانات. ولو أن الهجرة الداخلية إلى منطقة ما أدت إلى زيادة أعداد الحيوانات فيها فإن ذلك سيحدث ضغطاً على كمية النباتات التي تتغذى عليها هذه الحيوانات مما يؤدي إلى تقليص الغطاء النباتي وجدب المنطقة. وهذا بدوره سينعكس تأثيره على الحيوانات التي لن تجد ما يكفيها من الغذاء وبالتالي تعود أعدادها إلى التناقص إما عن طريق الموت أو الهجرة حتى يتم التوازن المطلوب (Emberlin 1983: 2-5).

ومن أهم العوامل التي تحدد مدى الاستقرار البيئي وطبيعته هما قسوة المحيط الخارجي من ناحية وكفاءة آليات الضبط الداخلي من ناحية أخرى. والاستقرار يأتي إما نتيجة القدرة على مقاومة الضغوط الخارجية resistance stability أو القدرة والسرعة في اتخاذ الاحتياطات اللازمة لاستعادة الاستقرار resilience stability. مثلاً هناك أشجار تقاوم الحرائق بشدة ولا تشتعل بسرعة إلا أنها إذا ما اشتعلت تموت ولا تعود إليها الحياة. بينما هناك أنواع أخرى من الأشجار، وخصوصاً في الغابات التي تكثر فيها الحرائق، تشتعل بسرعة ولكن لها القدرة على استعادة الحياة والنمو بعد الحريق وبذلك تعود الغابة إلى حالتها الطبيعية الأولى. والأرانب مصدر غذائي مفضل للإنسان وللكثير من الحيوانات المفترسة ولكن كثرة التوالد تمكنها من المحافظة على توازنها. بينما تحتفظ الأسود على توازنها جراء عدم قدرة الحيوانات الأخرى عل مهاجمتها. وكلما كانت الحياة في النظام البيئي أكثر تنوعا وتعقيدا وكلما تعددت وتنوعت فيه السلاسل الغذائية كلما كان أكثر توازنا. ويقصد بالتعقيد التنوع الحيوي وما يقوم بين الكائنات الحية من علاقات وترابط وتداخلات متعددة وتغذية استرجاعية بين الكائنات الحية وغير الحية مما يضمن استمرارية النظام البيئي. وتتوقف درجة التعقيد على عدد الأنواع النباتية والحيوانية التي تتفاعل مع بعضها البعض مما يؤدي إلى تنويع وسائل الاتصال بين عناصر النسق ورفع كفاءتها بحيث لو تعطل بعض منها لبقيت الأخرى عاملة. فالبيئات التي تتسم بعدد كبير من الأنواع الحية وسلاسل غذائية متنوعة وطويلة تكون بمأمن من التقلبات البيئية الطارئة. هذا على خلاف البيئات قليلة التعقيد والتي لا تتمتع أنواعها بمصادر متنوعة للغذاء يمكنها اللجوء لها لو نضب مصدر غذاءها الرئيس. باختصار، كلما كانت شبكات التغذية الاسترجاعية أكثر تعقيداً كلما تعاظم قدرة النسق على الاتزان والاستقرار أمام الكوارث والأخطار الخارجية مثل الجفاف والعواصف والتلوث وما إلى ذلك من العوامل الطبيعية الأخرى (Clapham 1973: 229-36; Odum 1983: 46-53).

استقرار النظام البيئي واتزانه يعتمد في المقام الأول على مستوى الكفاءة في تدوير فضلاته، حيث أن المواد العضوية المتراكمة فوق سطح التربة في الغابات الطبيعية تتحول وتتفكك تحت تأثير الكائنات الدقيقة المفكِّكة وينتج عنها مواد بسيطة قابلة للامتصاص من قبل النباتات ومواد عضوية معقدة هي الدبال الذي

يسهم في تحسين الخواص الفيزيائية للتربة. وفي البيئة المائية تطرح الأسماك فضلات عضوية تقوم البكتيريا بتحويلها إلى مركبات غير عضوية تستعمل في تغذية الأشنات ثم تأكل الأسماك هذه الأشنات مختتمة بذلك حلقة هذه الدورة الإحيائية. لكن النظام البيئي لا يستطيع تدوير الملوثات التي ترده من الخارج جراء النفايات البشرية من زراعية وصناعية لأن هذه الملوثات الصناعية غير قابلة للتحلل والتفكك الحيوي وبعضها يقضي على البكتيريا المحللة والمثبتة للنتروجين ويقتل الحشرات التي تنقل غبار الطلع. كما أن قطع الأخشاب وأشجار الغابات قد يؤدي إلى جرف التربة. وهكذا تتسبب نشاطات الإنسان الزراعية والصناعية في إحداث خلل في الدورات البيوجيوكيميائية الموجودة في الطبيعة إما بتسريع حركتها مما يؤدي إلى نقص حاد في الكثير منها أو إلى تراكم الغازات والأسمدة الكيماوية والمبيدات السامة.

العامل المحدد وقدرة التحمل البيئي

لكل من الكائنات الحية من حيوان ونبات وكائنات دقيقة متطلبات معيشية محددة تشمل عناصر المكونات غير الحية التي لا بد من توفر الحد الأدنى منها حتى تستطيع النمو والتكاثر. فلا بد من توفر الماء والأكسجين في الهواء. كما أن لكل كائن حي مجالا حراريا محددا يستطيع العيش فيه ولو زاد أو نقص عن الحد الحرج لأدى إلى تلف جدران الخلايا وتعطّل الأنزيمات وتخثّر البروتينات مما يؤدي بالتالي إلى القضاء على حياة الكائن. وربما تتوفر كل العوامل البيئية الضرورية للحياة في منطقة ما عدا عامل واحد قد يكون مفقوداً أو قد تزيد كميته أو تنقص عن الحد المرغوب فيه بالنسبة لكائن معين مما ينتج عنه أثر سلبي في الحد من انتشار ذلك الكائن ومنع تكاثره في تلك المنطقة، وبذلك يصبح هذا العامل عاملاً محدداً limiting factor لذلك الكائن (Odum 1983: 222-32). وهذا ما يسميه يُوستُس لايْبِغ Justus Liebig قانون الحد الأدنى law of the minimum الذي ينص على أن ما يحدد نمو الكائن العضوي وتكيفه في بيئة معينة ليس وجوب توفر جميع مقومات البقاء بقدر ما هو تحديد الحد الحرج الذي يمكن أن يتحمله الكائن بالنسبة لنقص كمية أي من المقومات الضرورية لبقائه. وعادة ما يكون العامل المحدد من العناصر التي لا توجد بوفرة في الطبيعة مثل الزنك أو الفسفور أو النيتروجين أما العناصر المتوفرة مثل الأكسجين فلا يكون عاملاً محدداً إلا في حالات نادرة مثل التلوث. ويرتبط مع مفهوم العامل المحدد مفهوم آخر هو مدى التحمل law of tolerence. كل نوع من أنواع الحياة له مثلاً مدى حراري معين بحيث لا يمكنه أن يعيش إذا ارتفعت درجة الحرارة أو انخفضت عنه؛ وكذلك الحال بالنسبة للرطوبة والضغط والضوء والأخطار وغيرها من العوامل الكيميائية والفيزيائية. غياب الشمس مثلاً عن القطبين المتجمدين حد من أنواع النباتات وبالتالي من الحيوانات التي يمكن أن تعيش هناك. كذلكً عدم وجود نوع من الطيور في منطقة ما قد لا يكون سببه أن الطيور لا تستطيع العيش هناك بل لأن بيضها أو صغارها لا تتحمل مناخ المنطقة.

المدى الحرج الذي يمكن فيه للكائن أن يبقي حيا والذي يقع بين حدين أدنى وأعلى هو مدى التحمل لذلك الكائن والذي لو زاد عنه أو نقص لتعرض للإجهاد stress، وربما للموت. فهناك مثلاً أنواع من أسماك البحار والمحيطات تكون في أحسن حالاتها إذا وصلت نسبة الملوحة في الماء إلى درجة معينة، وكلما انخفضت هذه النسبة أو ارتفعت قلت قدرة الأسماك على التكيف حتى تصل إلى درجة لا تستطيع معها الحياة. وتواجد الأملاح المعدنية بتركيز أدنى أو أعلى من الحد المناسب قد لا يسمح لبعض الكائنات بالحياة، أو قد يحد

من نشاطها ونموها. ويوجد لكل كائن حي مدى تحمل لأكثر من عامل. ففي مثالنا السابق لو كانت نسبة الأملاح مواتية فلربما تكون نسبة الأكسجين المذاب في الماء أقل من الحد المطلوب أو قد تكون درجة حرارة الماء أعلى أو أقل مما يمكن احتماله. وبين الحدين الأدنى والأعلى تقع على مدى التحمل لأي كائن مسافة محددة هي المثلى optimum بالنسبة لهذا العامل أو ذاك (Clapham 1973: 58). ويسمى المجال بين الحدين الأعلى والأدنى سعة التحمل. والكائنات الحية من نفس النوع لها نفس مدى التحمل بالنسبة للعوامل المحددة، وإن كان البعض منها أقدر على التحمل من البعض الآخر تبعا للجنس والسن والصحة والمرض أو لبعض الاختلافات الوراثية. وقلما تتاح الفرصة لأي كائن أن يعيش في بيئة تتوفر له فيها عوامل البقاء في حدودها المثلى. فبعض الأشجار مثلاً تفضل العيش في الضوء طوال النهار لكن حرارة أشعة الشمس التي لا تطيقها تضطرها إلى البحث عن الظل (Odum 1983: 223). ومدى تحمل الكائن قد يكون واسعاً بالنسبة لبعض العوامل وضيقاً بالنسبة لعوامل أخرى تبعا لنوع الكائن وطبيعة البيئة التي يعيش فيها. نجد مثلا أن المجال الحراري في الماء يضيق عنه في اليابسة حيث تستطيع الحيوانات الأرضية اللجوء للعديد من الوسائل السلوكية والحيوية لمقاومة ارتفاع أو انخفاض درجة الحرارة، كالسبوت والبيات الشتوي أو الهجرة. ومن الطبيعي أن الكائن الذي يتمتع بمدى تحمل واسع لأكبر عدد ممكن من العوامل سيتسع انتشاره ويعيش في مناطق متباينة.

وكل عامل من العوامل البيئية يختلف تأثيره من نوع إلى آخر من أنواع الحياة النباتية والحيوانية، بل حتى من ساعة إلى أخرى من ساعات النهار ومن مرحلة إلى أخرى من مراحل عمر الكائن الحي. كما أن العوامل البيئية لا تعمل بمعزل عن بعضها البعض بل من الممكن أن يلغي أحد العوامل تأثير عامل آخر أو ربما عوض عن فقدانه. مثلاً قد تتوفر الأمطار الكافية لظهور نبات معين إلا أن طبيعة التربة أو تكوينها لا يسمح بامتصاص الكمية الكافية من المطر أو قد تنزل الأمطار على شكل زخات قوية تجرف الطبقة العليا من التربة الغنية بالأملاح والمواد العضوية الضرورية لنمو النبات. كما أن زيادة كمية الأمطار عن الحد المطلوب قد ينتج عنه تسرب ما في التربة من معادن وأملاح ضرورية لنمو النبات إلى أعماق لا تصل إليها جذورها. وقد تتوفر كل العوامل المطلوبة لنوع من أنواع الحيوانات وبالنسب الملائمة إلا أن المنافسة الشديدة أو كثرة الحيوانات المفترسة أو الطفيليات تمنع ظهور ذلك النوع في تلك البيئة. من ناحية أخرى ربما تنقص نسبة عامل ما عن الحد المطلوب كالزنك مثلاً إلا أن بعض النباتات قد تستطيع التعويض عن ذلك النقص بالنمو في الظل بدلاً من التعرض مباشرة للضوء وأشعة الشمس. كما تستطيع بعض النباتات التعويض عن فقدان النيتروجين في التربة بزيادة استهلاك الماء زيادة تربو على الحد المعتاد. نستنتج من ذلك أن التعويض عن عامل بآخر يضيق من مدى الاحتمال بالنسبة للعامل المعوِّض (Emberlin 1983: 82-7; Odum 1983: 222-5). الأمثلة الأخيرة وغيرها ترينا أن الكائنات ليست دوماً تحت رحمة العوامل الطبيعية بصورة حتمية قسرية بل إن هناك بعض العوامل مثل الحرارة والضوء والماء التي تستطيع الجماعات الإحيائية المحلية من خلال تضافرها وتفاعلها المشترك أن تحوّر فيها أو تعوض عن فقدانها بما يتلاءم ومتطلبات حياتها في المنطقة التي تستوطنها. أما بالنسبة للإنسان فإن التكنولوجيا كثيرا ما تخدمه في التغلب على عامل محدِّد كشح الماء في المناطق الصحراوية مثلا. فالجماعات البدائية لم تكن قادرة على العيش في المناطق الصحراوية التي لا يتوفر فيها الماء على سطح الأرض. ثم تغلب الإنسان جزئيا على هذه المشكلة بعد أن توفرت لديه أدوات حفر

الآبار وجذب الماء من قيعانها والتي تشمل الفؤوس والمعاول والحبال والبكرات وما شابهها. وجاءت الخطوة الأكبر في التغلب على هذه المشكلة بعد أن طور الإنسان أدوات الحفر ومكائن الضخ الأوتوماتيكية.

ويرتبط مفهوم العامل المحدد بمفهوم آخر هو قدرة التحمل القصوى carrying capacity الذي يقول بأن هناك حدا أقصى للكثافة السكانية التي يمكن أن تتحملها البيئة بظروفها ومواردها المختلفة لأي نوع من أنواع الكائنات العضوية، سواء كان ذلك النوع نباتا أم حيوانا. وتتراوح البيئات الطبيعية من مناطق صحراوية جافة إلى مناطق متجمدة إلى مناطق مطيرة إلى غابات، كل منها لها مناخها وتربتها وتضاريسها ومعالمها الجغرافية من جبال وتكوينات رملية وأنهار وبحيرات وشواطئ بحرية وثروات حيوانية ونباتية ومعدنية، وغير ذلك من الخصائص التي تحدد إمكانيات العيش وطبيعة الموارد ومقومات الحياة. وتتأثر قدرة التحمل، إضافة إلى خصائص البيئة، بالعوامل المناخية والكوارث مثل الجفاف والصقيع والفيضانات والأعاصير والأوبئة والتضاريس وطبيعة التربة ومعدل سقوط الأمطار وعوامل أخرى كثيرة. وإذا طبقنا هذا المبدأ على الجماعات البشرية فإن عدد السكان الذي يمكن أن تعيشهم البيئة يحدده الحد الأعلى من الطاقة الذي يمكن أن تستخلصه منها التكنولوجيا. هذه القدرة تحددها، إضافة إلى خصائص البيئة ومستوى التقدم التكنولوجي، عدد أفراد القوة العاملة ومستواهم التنظيمي وكمية ما يبذل من وقت وجهد في العمليات الإنتاجية. فالكثافة السكانية لدى الجماعات التي تعيش على الجمع والصيد منخفضة جدا نظرا لتدني المستوى التكنولوجي وبدائية التنظيم الاجتماعي ولأن عددا قليلا من الناس يحتاجون أن يجوبوا مناطق شاسعة ليحصلوا منها على ما يقيم أودهم.

تجاوز قدرة التحمل يشكل ضغطا على البيئة ويؤدي على المدى الطويل إلى تضاؤل العائد diminishing returns. لنفرض أن جماعة من الصيادين التجأت إلى منطقة بكر تكثر فيها الأرانب. سوف تشكل الأرانب في هذه الحالة الغذاء الرئيس للجماعة نظرا لوفرتها وسهولة اصطيادها. لكن وفرة العائد من صيد الأرانب سوف يقود تدريجيا وبصورة مطّردة إلى تقلص أعدادها وصعوبة الحصول عليها مما يؤدي إما إلى قلة ما يصطاده الناس منها إذا ما بذلوا نفس الجهد والوقت الذين كانوا يبذلونهما في السابق أو إلى تضاعف الجهد والوقت اللازمين لذلك وزيادة مساحة الرقعة الجغرافية التي يتوجب البحث فيها عن الطرائد. ثم تصل الأمور إلى درجة من تضاؤل العائد يصبح فيها اصطياد حيوانات أخرى مثل الجرابيع والضبان أجدى وأقل كلفة، أو قد تضطر الجماعة إلى الرحيل والانتقال إلى منطقة أخرى (Sahlins 1972: 33-4). وهناك فرق بين تضاؤل الإنتاج الذي يشير إلى الكمية المطلقة وبين تضاؤل العائد الذي يعني تضاؤل كمية الإنتاج نسبة إلى الجهد المبذول وإلى مساحة الأرض المستغلة ورأس المال المستثمر، أي كمية المخرجات نسبة إلى المدخلات. والوضع الأفضل هو أن تسود حالة من التوازن البيئي بحيث تتساوى المخرجات مع المدخلات أو تزيد عليها بنسبة معقولة. وإذا قلت المخرجات عن المدخلات، أي أن الإنسان أصبح يحرق طاقة أكبر وسعرات حرارية أكثر في سبيل الحصول على الغذاء من تلك التي يحصل عليها بالمقابل من البيئة، فإن ذلك يؤدي إلى حدوث مجاعة. وهذا يحدث في أزمنة القحط والجفاف وغير ذلك من الكوارث الطبيعية أو في حالة إنهاك التربة أو نضوب الماء أو تدهور البيئة لأي سبب من الأسباب أو في حالة زيادة عدد السكان عن حد قدرة التحمل القصوى. والإنسان عادة لا يستغل كل موارد الطاقة المتاحة له في بيئته. لو أخذنا مثلا جماعة تعتمد على الالتقاط والصيد فسوف نلاحظ أن هذه الجماعة لا تجني كل ما يمكنها جنيه وأكله من

شح الماء لم يمنع أهالي المناطق الصحراوية الجافة من مزاولة الزراعة

غذاء نباتي وحيواني، بل هي تفضل تلك التي توفر عائدا غذائيا أعلى وتتطلب جهدا أقل في الحصول عليها وإعدادها للأكل، أما تلك التي تتطلب جهدا أكبر وقيمتها الغذائية أقل فلا يلجأون لها إلا عند الضرورة. أي أن الأفضلية تعلو أو تهبط تبعا لنسبة القيمة الغذائية المستحصلة إلى الجهد المبذول، وهذا ما يطلق عليه علماء البيئة نظرية optimal foraging.

وقانون تضاؤل العائد هو الذي يحكم نمط تنقلات الجماعات البدائية، بمعنى أنه إذا نقصت الموارد الطبيعية عن حد معين بحيث أن العائد لا يتناسب مع الجهد المبذول فلا بد من الإنتقال إلى مكان آخر تتوفر فيه مصادر الغذاء بكمية أكبر. ويمكن توضيح مبدأ تضاؤل العائد بالعودة إلى مثالنا عن الأرانب. كلما ازداد العائد من غذاء معين في منطقة معينة باتباع وسائل معينة كلما تزايد الجهد المطلوب للحصول على هذا الغذا. مثلا كلما زاد عدد الأرانب التي يصطادها الصيادون كلما تناقصت أعدادها مما يعني بذل جهد أكبر ووقت أطول للحصول على المزيد منها. لذلك فإنه أول ما تفد الجماعة إلى منطقة بكر ستوظف وسائل انتاجية تختلف عن تلك التي ستوظفها فيما بعد للحصول على الغذاء. في البداية ربما يتطلب صيد الأرانب جهدا أقل من جمع الحبوب وصيد الزواحف مثلا. إلا أنه كلما تناقصت أعداد الأرانب مع مرور الزمن وتضاعف الجهد اللازم للحصول عليها كلما اضطرت الجماعة للجوء إلى وسائل أخرى للحصول على أنواع أخرى من الغذاء كانت غير مجدية من قبل والآن أصبحت مجدية مقابل صيد الأرانب. لذلك فإنه كلما طالت إقامة الجماعة في منطقة محددة كلما اضطرت للجوء إلى تنويع مصادر غذائها عن طريق تنويع الوسائل التي تعول عليها للحصول على الغذاء. وفي أزمنة القحط والجفاف قد تضطر القبائل الرعوية في المناطق الصحراوية إلى اللجوء إلى مناطق رعي هامشية كانوا يتجنبون الرعي فيها في السابق لوخامة المرعى ورعي أنعامهم على القتاد والنباتات الشوكية التي لا تدر حليبا غزيرا، وربما اضطروا هم أنفسهم في أزمنة المجاعات إلى إحراق الجلود والعظام وأكلها وأكل الجيف والكلاب والحمير انطلاقا من مبدأ أن الضرورات تحلل المحرمات، كما قد تعوزهم الحاجة إلى شرب المياه المالحة والآسنة إذا انقطعت الأمطار وغارت الآبار.

أحد الآليات المتاحة لتخفيف الضغط السكاني على موارد البيئة الشحيحة هو تقليل عدد السكان باللجوء إلى وسائل مثل الهجرة أو خفض نسبة المواليد عن طريق ممارسة الإجهاض أو وأد البنات أو تحريم وطء الزوجة لعدة سنوات بعد الولادة أو تمديد فترة الرضاعة مما يحد من خصوبة المرأة، أو رفع نسبة الوفيات عن طريق الحروب والنزاعات. كما يمكن بذل محاولات أكبر لزيادة الإنتاج إما عن طريق تكثيف العمليات الإنتاجية intensification بواسطة زيادة الأيدي العاملة وساعات العمل وتطوير وسائل الإنتاج أو بواسطة توسيع الرقعة الجغرافية للإنتاج expansion. يمكن للمزارعين البدائيين مثلا أن يزيدوا من إنتاجهم بتحسين وسائل الري واستخدام السماد ومخصبات التربة والاستعانة بالطاقة الحيوانية، كما يمكنهم اللجوء إلى زراعة المصاطب أو الأراضي الأقل خصوبة أو الأبعد عن مصادر المياه.

والعملية الإنتاجية لا تعدو أن تكون محاولة استغلال موارد طبيعية مهما تبدو ضخمة وكبيرة تبقى محدودة، وهذا بالتالي يعني أن هناك حدودا قصوى لا يمكن أن تتخطاها عمليات التوسع في الإنتاج وتكثيفه. هذه العمليات ستؤدي إن عاجلا أو آجلا إلى تدني كفاءة الإنتاج واستنزاف الموارد التي لا يمكن استبدالها، أي تخطي قدرة التحمل القصوى وانخفاض العائد إلى أدنى حد. الخيار الوحيد المتبقي في هذه الحالة هو تطوير وسائل الإنتاج وأدواته عن طريق تحسين العمليات الإنتاجية والاستعانة بتقنيات

أكثر تقدما وتوظيف عدد أكبر من الأيدي العاملة ورفع كفاءتهم عن طريق العمل لساعات أطول وتنظيمهم بشكل أفضل بواسطة تطبيق مبدأ التخصص وتقسيم العمل وتوزيع الأدوار. وهذ ما يحدو بجماعة تعتمد مثلا على الالتقاط والصيد أن تتحول إلى الإنتاج الزراعي إذا لم تعد تكنولوجيا الالتقاط والصيد ناجعة في استخلاص الغذاء الكافي لهم من بيئتهم. التحول من الالتقاط والصيد إلى الزراعة يعني تعاظم العائد والحصول على إنتاج أوفر مع بذل جهد ووقت أقل على مساحة من الأرض أصغر بكثير من تلك التي يحصل منها الصيادون على غذائهم. وهناك عمليات تأثير وتأثر متبادلة بين الضغط السكاني وقدرة التحمل البيئي. الضغط السكاني يقود إلى بذل جهد أكبر لزيادة الإنتاج والذي بدوره يسمح بارتفاع الكثافة السكانية مما يشكل مرة أخرى ضغطا لزيادة الإنتاج، وهكذا. التحول إلى الزراعة مثلا يؤدي إلى زيادة الإنتاج الغذائي مما يسمح بزيادة عدد السكان فيشكل هذا ضغطا جديدا على البيئة يتطلب تقنيات جديدة لإنتاج كميات أكبر من الغذاء. وتتمثل هذه التقنيات في اللجوء إلى شق القنوات أو حفر الآبار لزيادة مساحة الرقعة المزروعة أو استصلاح أراضي جديدة لم تكن تستخدم من قبل للزراعة مثل عمل المصاطب على سفوح الجبال الوعرة. ومن الوسائل المتبعة لتكثيف الإنتاج الزراعي استخدام الأسمدة والمبيدات الحشرية وإزالة الحشائش الضارة.

التكيف البيئي

الاستقرار البيئي الذي نتحدث عنه هو في واقع الأمر استقرار نسبي إذ أن السكون الأزلي غير ممكن في هذا الوجود. الاستقرار يعني عدم حدوث تغيرات مفاجئة تتبعها نتائج طارئة غير متوقعة لكنه لا ينفي النمو الطبيعي والتطور المتدرج عبر الحقب الجيولوجية وعبر عصور التاريخ. والنسق البيئي، كما سبق القول، كل متماسك الأجزاء تترابط عناصره وتتفاعل ويؤثر بعضها في بعض بحكم ما هو قائم بينها من اتصال عبر قنوات السلسلة الغذائية وسريان الطاقة ودورة المواد المغذية. وجميع عناصر النسق البيئي عرضة للتأثيرات الداخلية والخارجية وأي تغير يطرأ على أي منها سوف يترتب عليه بالضرورة تأثيرات مباشرة أو غير مباشرة على العناصر الأخرى. هذا يعني أن عناصر النسق البيئي، بمجاليه الإحيائي وغير الإحيائي، في حالة تكيف مستمر مع بعضها البعض من ناحية ومع العوامل الخارجية من ناحية أخرى مما يؤدي إلى تطور الحياة وتنوعها عبر الأزمنة الجيولوجية.

يركز علماء البيئة على علاقات التكيف القائمة بين أفراد أي نوع من أنواع الكائنات الحية مع بعضها البعض ومع غيرها من الكائنات، ومع المكونات الطبيعية الأخرى للموطن habitat الذي تعيش فيه وما يترتب على هذه العلاقات المتبادلة من آثار ونتائج على النوع نفسه وعلى البيئة بشكل عام. ويتمثل التكيف في تواءم الكائن مع بيئته بما يضمن له الحصول منها على الغذاء الضروري للبقاء والتكاثر وعلى وسائل الدفاع والحماية ضد الأخطار؛ وزد على ذلك إشباع الرغبة الجنسية بالنسبة للحيوان ثم زد على ذلك بالنسبة للإنسان سد الحاجات النفسية والروحية ووسائل الراحة مثل المسكن والملبس. وكل نوع من أنواع الحياة، سواء كان نباتاً أو حيواناً، له متطلباته الغذائية ووسائله في التكاثر وطريقته في الدفاع عن النفس التي تتلاءم مع بيئته ومع الحيز niche الذي يحتله في النسق البيئي. والتفاعل المتشابك والتأثير المتبادل بين مختلف أصناف النباتات والحيوانات وأنواع الحياة الأخرى التي تستوطن منطقة معينة وبين هذه الكائنات الحية جميعها وبين محيطها

الطبيعي (أو ما أسميناه بالمجال اللاإحيائي) يشكل في مجمله وسائل تكيف الكائن الحي وتلاءمه مع بيئته. لذلك تختلف طبيعة الحياة بين إقليم وآخر من أقاليم الأرض المتباينة كما قد تختلف عينات النوع الواحد من الحياة باختلاف المناطق التي جاءت منها هذه العينات. ولا يتسع المجال هنا لذكر كل إقليم على حدة إلا أننا سوف نتعرض بشكل موجز لخصائص الإقليم الصحراوي كمثال على ما نقول.

الحرارة والجفاف هما أهم العوامل المناخية التي لا بد أن تتكيف معها الحياة في الصحراء. يأتي الجفاف نتيجة تدني مستوى الرطوبة في الهواء وشح الأمطار التي يقل معدلها السنوي عن ١٠ بوصات. وحينما تشرق الشمس وتسلط أشعتها المحرقة على سطح الأرض ترتفع الحرارة بسرعة ولدرجة عالية ربما تقترب من ٥٠ درجة مئوية. وبعد الغروب تعود درجة الحرارة إلى الانخفاض بالسرعة نفسها نظراً لصفاء الجو وخلوه من الغيوم وندرة الغطاء النباتي الذي يمتص الحرارة مما يؤدي إلى ارتفاع نسبة الانعكاس من على سطح الأرض. ومن هنا جاء الفرق الكبير في درجة الحرارة سواء ما بين الليل والنهار أو ما بين الصيف والشتاء.

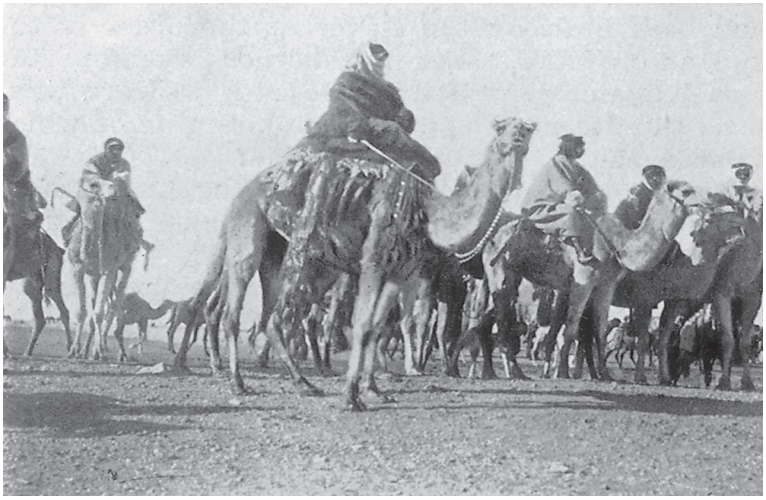
هنالك وسائل مختلفة تلجأ إليها نباتات الصحراء للتكيف مع الحرارة والجفاف. فالغطاء النباتي في الصحراء عموماً شحيح وخفيف والشجيرات متباعدة لأن كلاً منها يحتاج إلى مساحة كبيرة نسبياً من الأرض يمد فيها جذوره ويمتص ما فيها من رطوبة وغذاء؛ خصوصاً وأن تربة الصحراء بالإضافة إلى الجفاف تفتقر إلى المواد العضوية. ولكي تحتفظ هذه الشجيرات بالمسافات المتباعدة فيما بينها تفرز أوراقها وجذورها مواد تقضي على أي نباتات أخرى تحاول أن تنبت بالقرب منها (Odum 1966: 95). والأشجار الكبيرة نسبياً مثل الأثل تضرب بجذورها في أعماق التربة لمسافات بعيدة بحثاً عن الماء في الطبقات التحتية. لكن أغلب النباتات الصحراوية حشائش وشجيرات صغيرة الحجم نظراً لعدم توفر الماء بكميات تكفي لنمو حجمها أكبر من ذلك. وجذور هذه الحشائش والشجيرات لا تذهب عميقاً بل تمتد أفقياً لمسافات بعيدة للحصول على أكبر قدر من الرطوبة من الثرى حينما تنزل رشات المطر الخفيفة. وتتميز جذور بعض الأشجار بنموها الكثيف لدرجة أن حجم الجرثومة ربما فاق حجم الشجيرة نفسها وذلك مما يمكن الجذور من أداء مهمتها الحيوية والأساسية، ألا وهي اجتذاب الندى وامتصاص أكبر كمية من رطوبة الثرى. وتحتوي بعض الجذور على الكثير من العجيرات والعقد التي تعمل كمستودعات للرطوبة. والشعيرات التي تكسو جذور الأشجار البرية، كغيرها من الأشجار، تجف في الصيف لمنع تسرب الرطوبة من الجذور إلى التربة الجافة عن طريق التناضح (Kormondy 1976: 144-5).

وأوراق النباتات الصحراوية تشكلت بنيتها بحيث تتلاءم مع المناخ الجاف. والنباتات الصحراوية عموماً قليلة الأوراق أو لها شوك بدلاً من الأوراق مثل العاقول والشبرم والبعض منها له أوراق صغيرة مدببة مثل الأثل والإرطى والغضا والبعض منها تغطي أوراقه قشرة رقيقة من الشمع أو الزغب لمنع النتح ولتلطيف أثر الهواء الحار في تجفيف الأوراق. وبعض الشجيرات تَحُتّ أوراقها في موسم الجفاف أو تسبت لتستفيق بعد زخات المطر المفاجئة. ودورة حياة بعض الأعشاب تكون قصيرة جداً بحيث تنبت خلال موسم المطر وتزهر وتثمر ثم تموت بسرعة بعد أن تنثر بذورها. وبعض النباتات مثل الحرمل والهرطميل والعُشَر والبرشومي لها القدرة على تخزين كميات كبيرة من الماء في أوراقها وسيقانها لاستخدامها عند الحاجة. وبعض أوراق النباتات تستطيع أن تغير اتجاهها لتتحاشى أشعة الشمس المحرقة.

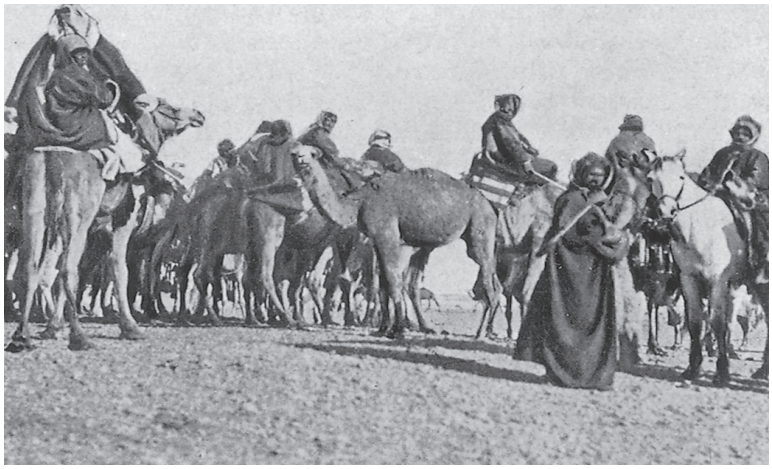
قلة الغطاء النباتي في الصحراء أدى إلى قلة الحيوانات وإلى صغر أحجام ما هو متوفر منها ومعظمها من الحشرات والقوارض الصغيرة. ومع أن القليل من الثديات هي التي تستطيع التأقلم مع بيئة الصحراء إلا أن الصحراء لا تخلو من بعض الحيوانات الثديية الكبيرة مثل الإبل والوعول وبقر الوحش والظباء والغزلان، إضافة إلى بعض الثديات الصغيرة مثل الذئاب والكلاب والثعالب والأرانب. ولكل من هذه طريقته في التكيف السلوكي والفيسيولوجي مع المناخ الجاف. فهناك مثلاً نوع من الظباء تسمى الجوازي تكتفي عن شرب الماء في الشتاء برعي العشب الأخضر الغض واستنشاق نسيم الصباح البارد الندي، وكذلك الحال بالنسبة لبعض القوارض مثل الجربوع. وآذان الأرانب والثعالب كبيرة مفرطحة تساعد على فقدان الحرارة وتبريد أجسامها. أما البعير فإنه يختزن ما يحتاج إليه من شحم يتغذى عليه في أيام القحط في سنامه بينما يستفيد من جوفه الواسع كخزان للماء يكفيه لعدة أيام. ويستطيع البعير، بخلاف غيره من الحيوانات، أن يتحمل فقدان ٣٠٪ من نسبة السوائل في جسمه قبل أن يصل إلى المرحلة الحرجة (Emberlin 1983: 201). وثديات الصحراء، وكذلك النعام الذي يضرب المثل في سرعته، لها القدرة على العدو السريع ولمسافات طويلة مما يمكنها من الوصول إلى موارد المياه المتباعدة. كما أن بولها مركز جداً وبعرها جاف لأنها لا تطرحه إلا بعد أن يمتص الجسم كل ما فيه من رطوبة.

وإيقاع الحياة الحيوانية في الصحراء عموماً يقلل من احتمال فقدان الماء والسوائل من الجسم. معظم الحيوانات الصحراوية، وخصوصاً الحشرات والزواحف، تكيفت حواسها وأنماط سلوكها مع الحياة الليلية لأنها لا تنشط إلا ليلاً أو في الصباح المبكر وآخر النهار حينما تنخفض الحرارة لدرجة محتملة. أما الظهيرة فتقضيها في الشقوق أو الجحور العميقة التي تحفرها في باطن الثرى قريباً من الندى، وخصوصاً حول جذوع الأشجار حيث يوجد شيء من الرطوبة. ولا تتوالد هذه الحيوانات وتتكاثر إلا في موسم الأمطار، مثلها في ذلك مثل الكثير من النباتات البرية. كما أن بعض الحيوانات مثل بعض النباتات تسبت ولا تفيق إلا مع نزول الغيث. والحشرات التي تحتاج إلى الماء الوفير في المرحلة اليرقية تبقى بيضة طوال الصيف لتستطيع مقاومة الجفاف ولا تفقس إلا في الفصل المطير (Emberlin 1983: 201). ومعظم الحشرات الصحراوية مثل الجعلان والخنافس والعقارب تغطي أجسامها أغشية سميكة تقاوم الحرارة وتمنع التبخر. كذلك السحالي والثعابين وغيرها من الزواحف التي تغطيها طبقة سميكة من الحراشيف التي تخلو من الغدد العرقية التي تمنع فقدان الماء من أجسامها.

ويعد البعير مثالا نموذجيا للتكيف مع بيئة الصحراء. لقد تأقلمت الإبل على العيش والبقاء في بيئة الصحراء الشحيحة ومناخها القاسي بعدة طرق يصعب الخوض في تفاصيلها الفسيولوجية هنا. لكننا نذكر مثلا أن جفن البعير له أهداب طويلة تتشابك لتحمي العين من وهج الشمس ومن الرمل أثناء هبوب العواصف الرملية دون أن تحد من الرؤية. ولعين البعير مجريان دمعيان واسعان لا تسدهما حبيبات الرمل مما يمنع جفاف العين، خصوصا وأن إفراز الدمع يتضاعف عند هبوب العواصف لترطيب العين وتنظيفها من الرمل. ويتكون أنف البعير من عدد من التجويفات التي تسمح بترطيب الهواء وتبريده قبل وصوله إلى الرئتين، كما أن له القدرة لإغلاق الأنف لمنع دخول الرمال إليه. ويستطيع البعير بفضل رقبته الطويلة رعي فروع الأشجار التي يصل طولها إلى حوالي ثلاثة أمتار، كما أن هذا الارتفاع يساعده على الرؤية لمسافات طويلة. وفم البعير مبطن من الداخل ببطانة سميكة تقيه وخز الشوك مما يمكنه من التغذي على النباتات



الإبل مكنت البدو من التكيف مع حياة الصحراء القاسية



الشوكية. كما أن الشفة العليا مشقوقة ولها القدرة على الإمساك بالأعشاب واقتلاعها ومضغها مما يمكّن البعير من الرعي وهو يسير دون أن يضطر للتوقف. أما السنام فإنه يساعد على تخزين الطاقة الغذائية على هيئة شحوم ودهون يلجأ لها البعير وقت الحاجة، كما في الرحلات الطويلة أو السني أو في أوقات القحط، إنه بمثابة المستودع الذي يخزن الغذاء ويحوله إلى طاقة مختزنة. ولذلك يلاحظ أن السنام يتلاشى، وربما يختفي تماما بعد الرحلات الطويلة التي يمتنع فيها البعير عن الرعي، ثم يعود للنمو مرة أخرى بعد فترة من الراحة والرعي المتواصل. وعند اشتداد الحرارة في منتصف النهار يتوقف البعير عن الحركة ويبرك مواجها للشمس ليقلل بذلك من نسبة سطح الجسم المعرض لأشعة الشمس، ويساعد هذا الوضع أيضا على تظليل وتبريد البقعة التي يبرك فيها. إضافة إلى ذلك فإن الأجزاء التي تلامس الأرض من جسمه مغطاة بطبقة صلبة مثل الأخفاف والكلكل. وعند السير ترفع أطرافه الطويلة جسمه عن حرارة الأرض. وللبعير القدرة على تحمل الجفاف وفقدان الماء من جسمه إلى نسبة ٤٠٪ دون حدوث أي خلل فسيولوجي مقارنة بالإنسان الذي يهلك لو فقد أكثر من ١٢٪ من ماء جسمه. وأغشية خلايا الدم في الإبل مرنة جدا، فهي بيضاوية الشكل، وليست مستديرة كما في باقي الحيوانات، مما يمكنها من الحركة بسهولة في الدم المتركز نتيجة فقدان الماء، كما يمكنها أن تنتفخ ويزيد حجمها إلى ٢٤٠٪ من حجمها الأصلي دون أن تنفجر، وهذا ما يساعده على تحمل العطش ثم عب الماء إذا سنحت الفرصة بسرعة قد تصل إلى حوالي ٣٠ لترا في الدقيقة وبكميات كبيرة تتراوح من ١٣٥ إلى ٢٠٠ لترا، أي ما يعادل ثلث وزنه تقريبا، في مدة لا تتجاوز عشر دقائق. كما أن بعره الجاف وبوله المركز يخفف من نسبة فقدان الماء. يصل تركيز الأملاح في بول البعير نسبة عالية لتصبح ملوحته تفوق ضعف ملوحة ماء البحر. ولذلك يعمد البدو إلى غسل رؤوسهم ببول البعير الذي تساعد ملوحته المركزة على قتل القمل والفطريات في فروة الرأس.

ويتخذ التكيف مع الحيز البيئي ثلاثة أشكال: تكيف وراثي تطوري وتكيف فسيولوجي وتكيف سلوكي. التكيف الوراثي التطوري يسمى أيضاً التكيف الديموغرافي لأنه لا يتم على مستوى الفرد بل على مستوى المجموع population ويأتي نتيجة الانتخاب الطبيعي natural selection الذي يؤدي إلى التراكم التطوري والتنوع. وينبغي إعادة التأكيد هنا على أن الأنواع لا تتطور بمعزل عن بعضها البعض. بل إن أي تطور يطرأ على أي منها في أي إتجاه سوف يؤثر بشكل أو بآخر على مسيرة التطور بالنسبة للأنواع الأخرى. أي أن مكونات النسق البيئي وأجزاءه المختلفة بحكم ما بينها من تفاعل مستمر وتأثير متبادل تتغير وتتطور بشكل متناسق كوحدة واحدة لأنها تشكل مع بعضها البعض نظام متماسك.

التكيف الديموغرافي الذي يأتي نتيجة التطور البيولوجي وما ينتج عنه من تغير في بنية المورثات ليس إلا أحد وسائل تكيف الكائنات مع المحيط الذي تعيش فيه. ويتم التكيف الديموغرافي عبر مدة طويلة من الزمن تتراوح من مئات إلى آلاف، بل ربما ملايين السنين، ويأتي تجاوباً مع التغيرات الجذرية طويلة المدى التي تحدث في البيئة. ويستحيل إلغاء التطور البيولوجي لأنه ثابت لا رجعة فيه irreversible. هذا بخلاف التكيفات الفسيولوجية التي تتم على مستوى الأفراد تجاوباً مع الظروف البيئية الطارئة والتي تتسم عادة بمرونتها وسرعتها نسبياً والتي إما أن تكون ثابتة مثل تكيفات النمو developmental أو أن تزول بزوال مسبباتها مثل التأقلم acclimatization. والتأقلم من أبرز الأمثلة على التكيف الفسيولوجي الذي يمكن الأفراد من التكيف مع الاختلاف في درجات الحرارة. من المعروف أن الثديات تحتفظ بدرجة

حرارة ثابتة وعالية نسبياً داخل الجسم تقارب ٣٧ درجة. وتعمل غدة الهايبوثالاموس hypothalamus على ضبط درجة حرارة الجسم وتنظيمها. فلكي تنخفض درجة الحرارة في الجو الحار أو بعد التعب تتمغط الأطراف لزيادة نسبة السطح المكشوف وينبسط الشعر ليخفف سمكه وتزداد سرعة التنفس واللهث لزيادة التبخر من الفم والرئتين ويتصبب العرق وتتسع العروق التي تحت الجلد ليندفع الدم من داخل الجسم ليفقد بعض حرارته بملامسته سطح الجلد. ويحدث عكس ذلك لرفع درجة حرارة الجسم في الجو البارد بالإضافة إلى الرعشة لزيادة سرعة هضم الطعام وحرق الطاقة الغذائية لتوليد الحرارة اللازمة (Lasker 1969: 1481). ولو أن إنساناً اعتاد على العيش في بيئة باردة مثلاً ثم انتقل إلى بيئة حارة جافة فإنه سوف يتأقلم معها خلال مدة قصيرة قد لا تتجاوز الأسبوع. ويتمثل هذا التأقلم في انخفاض معدل دقات القلب وزيادة العرق مع انخفاض نسبة تركيز الأملاح فيه حتى لا يتضرر الجسم من فقد الأملاح الضرورية. وزيادة نسبة العرق يقابلها نقص في كمية البول لتقليل نسبة ما يفقده الجسم من السوائل (Lee 1969: 239; Newman 1975: 871).

ومن أمثلة التأقلم أيضاً ما يحدث حينما ينتقل الشخص من مكان على مستوى سطح البحر إلى أماكن شاهقة الارتفاع. من الملاحظ أنه كلما ارتفعنا ٤,٥٠٠ أربعة آلاف وخمسمائة مترا عن سطح البحر انخفض ضغط الأكسجين حوالي ٤٠٪ وقلت نسبته في الهواء مما يؤدي إلى نقص وصول الأكسجين إلى أنسجة الجسم. وللتأقلم مع هذا الوضع تزداد دقات القلب وسرعة التنفس وبعد بضعة أيام يزداد تركيز الهيموغلوبين hemoglobin في الدم. أما الذين يولدون في الأماكن الشاهقة فإن نموهم يتكيف مع هذا الوضع ويلاحظ عليهم كبر الصدر وتضخم الرئتين لزيادة كمية الهواء المستنشق. وشبيه بذلك إلى حد ما زيادة حجم الجسم بالنسبة لأبناء المهاجرين إلى الولايات المتحدة من اليابانيين والإيطاليين والسويسريين والمكسيكيين وذلك نظراً لتغير الغذاء ووفرته بالنسبة للجيل الجديد. وهذا النوع من التكيف الفسيولوجي الذي يحدث خلال مراحل النمو المبكر ثابت لا نكوص فيه إلا أنه لا ينتقل من جيل إلى جيل ولا دخل فيه للمورثات وإنما يعود إلى لدانة الأجسام الحية plasticity وقابليتها للتشكل خلال سنوات العمر الأولى (Lasker 1969: 484-5). وهناك أمثلة أخرى على التكيف الفسيولوجي الناتج عن لدانة الجسم مثل ما يحدث من تحورات عضلية وجسدية نتيجة القيام ببعض التمرينات الرياضية أو مزاولة بعض المهن الشاقة أو الحرف اليدوية.

بالإضافة إلى التكيف الديموغرافي والفسيولوجي هناك التكيف السلوكي الذي لا يضاهى في تنوعه ومرونته وسرعته في التجاوب مع الظروف الطارئة. فالغزال يلوذ بالفرار حالما يرى الحيوان المفترس والإنسان يوقد النار حالما يشعر بالبرد، وهكذا. والسلوك نوعان: غريزي ومكتسب. الغريزي ينتقل وراثياً ويتسم بالثبات وعدم المرونة. أما المكتسب فهو يأتي عن طريق التعلم والتفاعل مع المؤثرات والحوافز الخارجية لذلك فهو يتسم بالمرونة. والسلوك المكتسب يتطلب قدراً من الذكاء لا يتوفر إلا عند بعض الحيوانات مثل فصيلة الثديات. ومن أذكى رتب فصيلة الثديات رتبة الرئيسيات، ومن أذكى أنواع هذه الرتبة النوع الإنساني.

الوراثة والبيئة ودورهما في تطور الأجناس

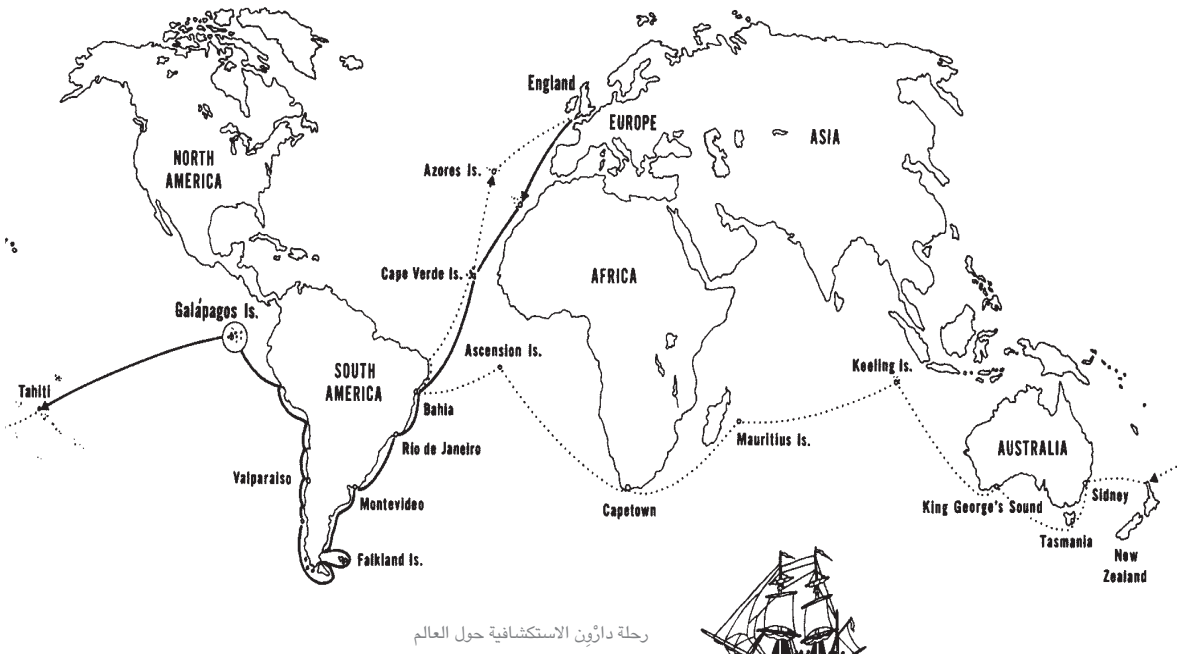
تلعب البيئة دورا لا يستهان به في تحديد مصير الكائن الحي. الطراز الجيني الذي يرثه الكائن من أسلافه لا يحدد طرازه المظهري ومصير حياته بشكل قاطع، فهو فقط يمنحه الإمكانات اللازمة التي لو توفرت لها الظروف البيئية الملائمة لتحققت على الشكل المتوقع لها. فالطراز المظهري في نهاية المطاف ما هو إلا محصلة التفاعل المتصل بين الرصيد الجيني وبين البيئة الطبيعية والحيوية من خلال محاولات الكائن المستمرة للتكيف مع هذه البيئة. وتمارس البيئة تأثيراتها من خلال عمليات الانتخاب الطبيعي فتمنح الكائنات الأكثر قدرة على التحمل وعلى التكيف معها فرصة أكبر للبقاء والتكاثر. الانتخاب الطبيعي هو الآلية التي تدفع بالكائنات إلى التطور والتنوع من خلال تكيفها مع بيئتها المتغيرة.

وأول من انتبه إلى هذه المسألة تشارلز دارْوِن (١٨٠٩–١٨٨٢) وبنى عليها نظريته عن تطور أشكال الحياة على الأرض، أو ما يسمى نظرية النشوء والارتقاء والتي فصل القول فيها في كتابين نشرهما بالتتالي أحدهما **عن أصل الأنواع بواسطة الانتخاب الطبيعي** *On the Origin of Species by Means of Natural Selection* (1859) والثاني **أصل الإنسان** *The Descent of Man* (1871). وتعزى نظرية التطور إلى دارْوِن علما بأن أَلْفْرِد رسل وَالَس (١٨٢٣–١٩١٣) Alfred Russel Wallace توصل إلى نفس النظرية في نفس الوقت وبشكل مستقل.

رحلة دارْوِن مع نظرية التطور رحلة طويلة وشاقة ابتدأت حينما كان في سِن الثانية والعشرين من عمره، وذلك حينما طلب منه روبرت فِتْزْروي Robert Fitz Roy قبطان سفينة Her Majesty's Ship Beagle أن يصطحبه كعالم طبيعي naturalist في رحلة استكشافية حول العالم استغرقت خمس سنوات (١٨٣١–١٨٣٦) وقطعت ٤٠,٠٠٠ ميلا بهدف استكشاف جيولوجية وطبوغرافية أمريكا الجنوبية وجنوب أفريقيا وأستراليا ونيوزيلاندا وجزر المحيط الهادي وجنوب الأطلنطي ورسم خرائط لتلك المناطق المجهولة آنذاك. ذلك القبطان كان مسيحيا أصوليا أمل من اصطحابه لدارْوِن أن يتمكن الأخير، بحكم اهتماماته وتخصصه، من جمع أدلة جيولوجية دامغة تدحض آراء من كانوا آنذاك بدأوا يتبنون ويكتبون عن نظرية التطور ويعبرون بصراحة عن آرائهم التي بدأت تهز أركان العالم المسيحي. حتى دارْوِن نفسه حينما وضع قدمه على السفينة كان يؤمن إيمانا عميقا بقصة الخلق كما وردت في سفر التكوين.

تبحث نظرية التطور البيولوجي وفق رؤية دارْوِن في عملية تكيف الكائنات الحية مع بيئاتها الطبيعية عن طريق الانتخاب الطبيعي natural selection. والتكيف يفرضه التنافس بين الكائنات على موارد الغذاء المحدودة وكذلك التغيرات البطيئة التي تحدث في الطبيعة والمناخ. ومن هنا تأتي الاختلافات البيولوجية نتيجة الاختلافات البيئية والمناخية، مما يؤدي إضافة إلى تطور الحياة من البسيط إلى المعقد تنوع المخلوقات وانتشارها. تقول النظرية بأن مختلف أنواع النباتات والحيوانات ليست ثابتة بل تطورت تدريجيا وتشعبت خلال ملايين السنين عن أسلاف أكثر بدائية منها وأنها كلها تعود إلى أصل واحد مشترك. فمن الملاحظ أن هناك تنوع هائل في أنماط الحياة بما فيها من أنواع وسلالات، بل حتى بين أفراد الجنس الواحد، حيث لا يوجد فردان متشابهان تماما في كل السمات، بل توجد اختلافات، ولو طفيفة، في الحجم واللون والقوة والصحة والخصوبة وطول العمر والسلوك وغير ذلك من الخصائص التي يصعب حصرها. كما يلاحظ أن كل أنواع الحيوانات والنباتات تلد أضعافا مضاعفة لما يلزمها

للحفاظ على بقائها واستمرارية النوع وتنجب أكثر بكثير مما يضمن المحافظة على استقرار حجمها الديموغرافي، فالسمكة الواحدة مثلا تضع ملايين البيض في الموسم الواحد لكن لا يبقى من هذه الملايين إلا أقل القليل. ومع ذلك يظل الحجم الديموغرافي مستقرا وثابتاً نسبياً بما لا يتناسب مع الزيادة المطّردة في عدد المواليد. هذا يعني أن أعداداً كبيرة من كل جيل جديد تموت مبكراً لعدم قدرتها على مواجهة التحديات الطبيعية ولا يعيش من أفراد الجيل إلا نسبة معينة تصل إلى سن البلوغ والإنجاب، ولذلك يظل الحجم الديموغرافي ثابتاً نسبياً. ولا شك أن الأفراد الذين يعيشون مدة أطول وينجبون أكثر هم على العموم الأكثر تكيفاً مع البيئة والأقدر على مواجهة تحدياتها، بما في ذلك التنافس على الزوج ومصادر الغذاء والمكان وغير ذلك من أسباب البقاء بين أفراد النوع الواحد وكذلك بين الأنواع المختلفة. التنوع والاختلاف والفروق الفردية الطفيفة هو ما يساعد على اختيار الأصلح للبقاء من بين أفراد كل جيل. تلعب البيئة دوراً أساسياً في ذلك الاختيار وبالتالي في وجهة التطور التي يسير فيها النوع ببطء شديد وتدرج غير محسوس. الانتخاب الطبيعي يعني أن التطور عملية مستمرة لا تتوقف عند حد معين وأن الخلق لا يسير نحو وجهة محددة ولا نحو كمال مطلق.



رحلة داروِن الاستكشافية حول العالم

وانشغل دارْوِن بالتفكير في سر هذا التنوع الهائل والمتدّرج في عالم الأحياء بما فيه من أنواع وأجناس وكذلك في هذا الثبات النسبي لأعداد كل جنس ونوع بالرغم من أن أعداد مواليدها تفوق أعدادها بأضعاف مضاعفة. لكنه لم يتوصل إلى آرائه عن الانتخاب الطبيعي وينشر هذه الآراء في كتابه عن أصل الأنواع إلا بعد مرور ثلاث وعشرين سنة من عودته من رحلته حول العالم قضاها في القراءة والتفكير وفي فحص حصيلته من عينات النباتات والطيور والأسماك والحيوانات والأحافير والمستحاثات التي جمعها في رحلته حول العالم، علاوة على الاطلاع على كل ما وقعت عليه يداه من معلومات تتعلق بتهجين النبات واستنتسال الطيور والخيول والأنعام، خصوصا الحمام. كما اطلع دارْوِن في هذه الأثناء على **بحث عن مبادئ علم السكان** *An Essay on the Principle of Human population* للقس وعالم الاقتصاد الانجليزي توماس روبرت مالْتُس (١٧٦٦–١٨٣٤) Thomas Robert Malthus. يقول مالْتُس في بحثه إن هناك ميلا لزيادة عدد سكان الأرض بينما تبقى الموارد التي يعيشون عليها محدودة، ومن هنا تحدث الحروب والصراعات بين البشر على هذه الموارد المحدودة وتفتك الأمراض والمجاعات بالأعداد المتزايدة من البشر لتحد من الزيادة وليبقى العدد في نطاق الموارد المتاحة بما يحقق التوازن الديموغرافي مع موارد الأرض. من هذه الأطروحة استوحى دارْوِن، وكذلك والاس، فكرتهما عن الانتخاب الطبيعي والتنازع من أجل البقاء، بمعنى أن من لديه كفاءة أعلى على التكيف مع البيئة المتغيرة والتنافس على الموطن والموارد المحدودة تتاح له فرصة أفضل للبقاء والتكاثر ومن ثم توريث هذه الصفات التكيفية إلى نسله من بعده، وقالا بأن ما أثبت مالْتُس أنه ينطبق على البشر ينطبق كذلك بنفس المصداقية على كل مظاهر الحياة الحيوانية والنباتية. ففي كل مجموعة سكانية، سواء كانت نباتية أو حيوانية، يبقى الحجم الإجمالي للسكان ثابتا تقريبا بالرغم من النسبة العالية من المواليد. ومن الواضح أن غالبية هذه الولادات لا تتاح لها فرصة العيش والعمر الطويل وإلا لما بقي في الأرض موطئ قدم لمخلوق جديد. وهذا أيضا يفسر ما نلحظه من تنوع هائل في الصفات والقدرات بين الكائنات، حتى بين أفراد الجنس الواحد. من يتمتعون بصفات تميزهم على غيرهم من بني جنسهم، كحدة الحواس أو طول الرقبة أو سرعة الجري أو قوة العضلات أو الصبر على الجوع والعطش أو القدرة على تحمل التقلبات الجوية أو الضوضاء أو التلوث أو أي ميزة أخرى تمنحهم اللياقة وتعينهم على التكيف مع بيئتهم ستكون فرصتهم أفضل للعيش والتكاثر وتوريث ميزاتهم التفاضلية إلى نسلهم. لاحظ أن التأكيد هنا على التكاثر الذي هو معيار النجاح من الناحية التطورية، بمعنى أن أيا من الصفات، مهما كانت أفضليته، لا قيمة له إن لم يستطع حامله أن يخلف من بعده نسلا يورثهم هذه الصفات. وهكذا فإن التنازع على ضروريات الحياة له تأثير انتخابي في الإبقاء على الصالح والقضاء على غير الصالح. فلولا الانتخاب الطبيعي والتنافس لما كانت لأي سمة أفضلية على سمة أخرى ولكان حق القوي مثل حق الضعيف. لكن، في نفس الوقت، لولا التنوع الوراثي والتباين في التركيبة الجينية لأفراد النوع الواحد لما كان هناك مجال للانتخاب الطبيعي أن يمارس دوره عبر التغيرات التي تتراكم عبر ملايين السنين. والتنافس إما أن يكون بين الأنواع المختلفة أو بين أفراد النوع الواحد، وهذا الأخير هو الأهم والأعمق أثرا لأن أفراد النوع الواحد يتنافسون على نفس الحيّز الإيكولوجي بما فيه من موارد ضرورية للعيش والتنافس بينهم هو الذي يؤدي في نهاية المطاف إلى ظهور أنواع جديدة متفرعة عن الأصل الواحد.

عملية التطور، إذاً، تعمل في اتجاهين؛ الاتجاه الأول هو التنوع الوراثي والتباين الشكلي بين أفراد النوع الواحد، وهذا مرده إلى الاختلاف في الطراز الجيني، والاتجاه الثاني هو الانتخاب الطبيعي الذي تحركه عوامل البيئة والتنافس على ما توفره من موارد محدودة. بهذه الطريقة تعمل البيئة على تحديد وجهة التطور ومعدل سرعته. وبحسب معدلات التغير البطيئة فإن عملية التطور تحتاج إلى زمن طويل جدا لكي تظهر آثارها ونتائجها واضحة للعيان، لكن دارْوِن اتكأ في هذا الجانب على مقولة السير تشارلز لايَل التي سبق وأن وضحناها في الفصل الأول والتي تقول بأن الأرض بما عليها من مخلوقات استغرقت ملايين السنين لتأخذ شكلها الحالي.

ومن الأمثلة البسيطة التي تورَد عادة لتوضيح مفهوم الانتخاب الطبيعي ما حدث لنوع من الفراشات moths في بعض المناطق الإنجليزية بعدما تحولت إلى مناطق صناعية مع بداية الثورة الصناعية في القرن التاسع عشر. معظم هذه الفراشات كان لونها فاتحا مما ساعدها على التخفي حينما تحط على الأشجار الفاتحة، وقليل منها لا تتعدى نسبته ١٪ كان لونها داكنا مما جعل من السهل على مفترساتها رؤيتها حينما تحط على الأشجار الفاتحة. وبعدما بدأت الأشجار المحيطة بالمناطق الصناعية تصطبغ باللون الأسود بتأثير دخان المصانع الكثيف انقلب الوضع وتحولت الفراشات ذات اللون الفاتح إلى صيد سهل لمفترساتها بينما اندمج لون الفراشات ذات اللون الداكن مع لون الشجر المسودّ مما ساعد على تخفّيها عن المفترسات. وخلال فترة قصيرة تزايد عدد الفراشات الداكنة على حساب الفراشات الفاتحة التي وصلت أعدادها إلى نسبة متدنية جدا. ومن المهم هنا ملاحظة أن ما حدث ليس تغير التركيبة الوراثية للفراشات الفاتحة بحيث تغير لونها من الفاتح إلى الداكن. ما حدث هو أنه تم القضاء تقريبا على الفراشات الفاتحة بعد أن تحولت إلى صيد سهل للمفترسات بينما أصبحت الفرصة مواتية للفراشات الداكنة أن تزدهر وتتكاثر بعدما خف الضغط عليها من المفترسات (Kettlewell 1967: 52-63).

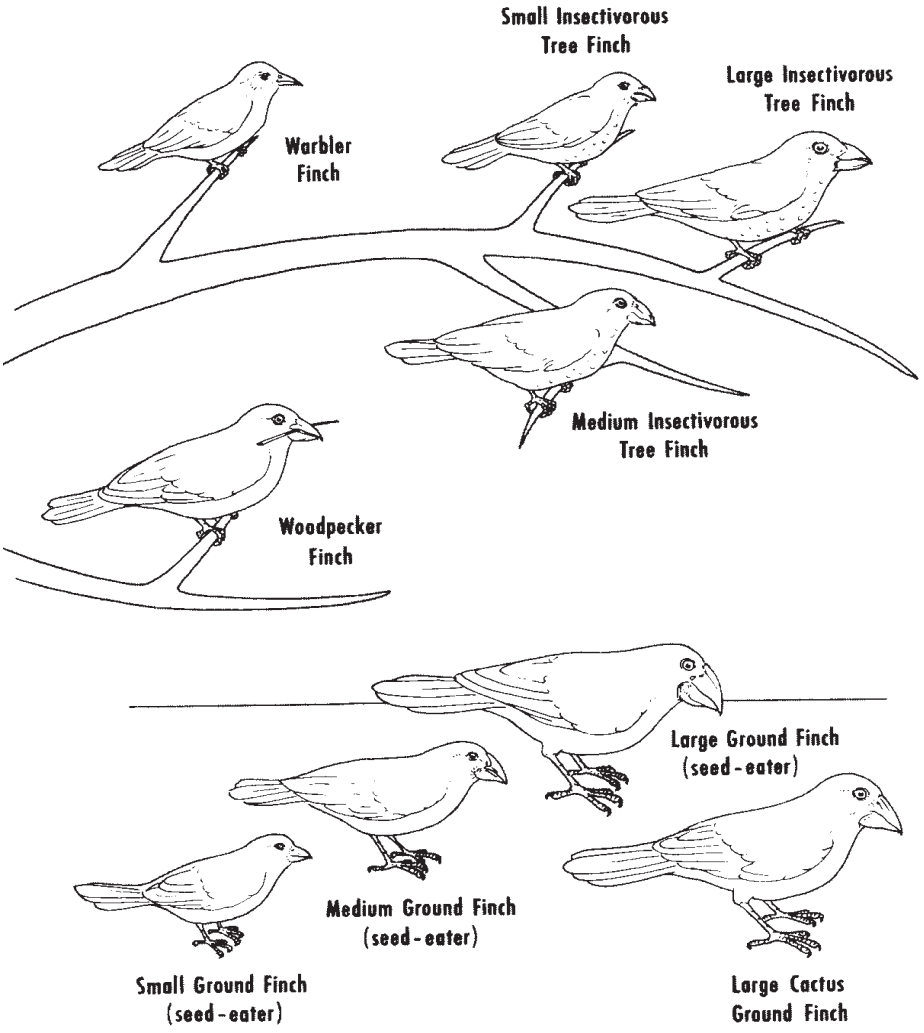
هذا المثال البسيط يوضح لنا أن التكيف بمفهومه التطوري لا يعني أن الكائنات تسعى جاهدة وتكافح للتكيف مع محيطها. ما يعنيه التكيف هو أن الكائنات المجهزة بيولوجيا من خلال طرازها الجيني لديها فرصة أفضل للتكيف وفق متطلبات بيئتها، لكن لكي تتحقق هذه الأفضلية لا بد للطراز الجيني أن يُعَبَّر عنه في الطراز المظهري لأن آليات الانتخاب الطبيعي تمارس تأثيرها على الطراز المظهري. لكن، مع ذلك، لا بد من التأكيد على أن الصفات التي يكتسبها الفرد أثناء حياته لا تورّث، كما كان يزعم جان باتست لامارك (١٧٤٤–١٨٢٩) Jean Batiste Lamarck الذي قدم نظرية عن التطور سماها توارث الصفات المكتسبة inheritance of acquired characteristics. وقد ثبت بطلان هذه النظرية لأن الصفات الوراثية تنتقل إلى الأجيال التالية عن طريق الخلايا الوراثية ولا تأثير للخلايا الجسمية فيها، والخلايا الوراثية لا تخضع للمؤثرات والظروف البيئية. ومن الأدلة التي يُستدل بها على أن الصفات المكتسبة ليست هي التي تورّث أن الشعوب السامية كانت تمارس الختان منذ آلاف السنين ومع ذلك لا يزال أطفالهم يولدون غير مختّنين ولم يرثوا صفة الختان من آبائهم المختنين.

ومن الواضح أن التأثير المباشر للانتخاب الطبيعي يقع على الأفراد ولكن الذي يتطور ليس الأفراد. الذي يتطور هو النوع بكامله، أو ما يسمى العشيرة المندلية Mendelian population أو deme، ويقصد بذلك المجموعة السكانية القادرة على تبادل الجينات عن طريق التزاوج والإنجاب. والتطور هو تغير

بطيء ومتدرج لكنه مستمر عبر الأجيال في المخزون الجيني gene pool الذي هو محصلة الصفات الوراثية، أو الأليلات المتناقلة، أي الجاميطات، بين أفراد المجموعة السكانية، أو العشيرة المندلية، والتي يتم إعادة ترتيبها وخلطها مع كل جيل جديد. التغيرات في نسبة التكرارات لمختلف السمات المظهرية في المجموعة السكانية مرتبطة بالتغيرات في نسبة تكرارات الأليلات المتعلقة بتلك السمات. وهذا هو مجال علم الوراثة السكاني population genetics الذي يركز على دراسة توزيعات الأليلات في المجموعة السكانية واختلافاتها من جيل إلى جيل والعوامل المؤثرة على ذلك على مستوى المخزون الجيني، بما في ذلك الانتخاب الطبيعي والطفرات والهجرات والانجراف الجيني genetic drift والانسياب الجيني genetic flow. وكلما كان عدد أفراد العشيرة المندلية أكبر كلما كان مخزونها الجيني أكبر بما يعنيه ذلك من فرصة أكبر للتنوع والتباين في التراكيب الجينية.

بنية المورثات، كما رأينا في حالة الفراشات البريطانية، لا تتغير لدى الفرد وتبقى ثابتة مدى الحياة. والانتخاب الطبيعي لا يغير التركيبة الجينية للأفراد وإنما من خلال تأثيره على الأفراد يمنح البعض فرصة أفضل من البعض الآخر للبقاء والتكاثر. أي أن الانتخاب الطبيعي ليس عملية عشوائية وإنما عملية موجهة بحيث أنها تبقي على سمات اللياقة وتقضي على السمات غير اللائقة. ولا بد للمجموعة السكانية، لكي تحافظ على وجودها، أن تتمتع بقدر من الاستقرار والتوازن في مخزونها الجيني الذي يمكنها من التكيف مع بيئتها ولكن، في نفس الوقت، لا بد أن يكون لديها من التباين الجيني والمرونة ما يمكنها من التطور الذي تفرضه المتغيرات البيئية. ضبط هذه المعادلة الدقيقة هو الذي يضمن بقاء النوع. فلا بد أن يتم التغير في التركيبة الوراثية عبر آلاف السنين بشكل بطيء متدرج يتمشى مع تغير البيئة لأنه لو تم ذلك بشكل سريع مفاجئ لفقد النوع خصائصه التي مكنته من التكيف مع حيزه البيئي واستبدلها بعناصر جديدة لا تتلاءم مع طريقته في الحياة. ولكن في الوقت نفسه لا بد للتغيير أن يحدث مما يعطي النوع فرصة للاستمرار في العيش في بيئة متغيرة. أي لا بد أن يكون هناك توازن بين الاستقرار واستمرارية النوع من جهة وبين المرونة والقابلية للحد الأدنى والضروري للتغير من جهة أخرى. ويحتفظ كل جيل بخصائص الجيل السابق عدا بعض الفروق البسيطة جداً التي تتراكم تدريجياً عبر العصور والأزمنة الجيولوجية المتتابعة. والاختلاف بين الأجيال طفيف لا يذكر ولا يلحظ ولا تظهر أعراضه واضحة إلا بين أجيال تفصلها عن بعضها البعض آلاف السنين (Campbell 1970: 8-16).

وهناك عدة عوامل تعمل على تفريع الأجناس وتشعب الجنس الواحد إلى أجناس مختلفة. فلو أن حواجز طبيعية مثلا فصلت مجموعتين من نفس الجنس عن بعضهما البعض وانقطع الاتصال والتزاوج بينهما لآلاف السنين وتأقلمت كل مجموعة مع بيئة تختلف عن الأخرى فإنه مع مرور الوقت قد تتراكم التغيرات الجينية الطفيفة لكل منهما وتتجه اتجاهات مختلفة تباعد تدريجيا فيما بينهما حتى تصل إلى درجة تصبحان فيها جنسين مختلفين، وهذا ما يطلق عليه الانعزال الجنسي reproductive isolation، أي عدم القدرة على التزاوج (Volpe 1970: 95-8). والانفصال الجغرافي ليس السبب الوحيد لعدم التزاوج. فلو أن مجموعة من النباتات تغير موسم لقاحها فإنها لن تستطيع التلاقح مع البقية التي تتلاقح في موسم آخر. وقد تحدث طفرة جينية طفيفة لأحد الطيور ينتج عنها



عصافير دارْوِن

اختلاف ملحوظ في لون الريش أو نغمة التغريد مما يؤدي في النهاية إلى استحالة التزاوج بين نسل هذا الطير الذين يرثون عنه هذه السمة وبقية أفراد السرب، لأن الطيور عادة تلجأ للتغريد أو لون الريش لاجتذاب الجنس الآخر.

وقد تتكاثر أعداد النوع الواحد حتى تضيق بها سبل العيش المحدودة ويشتد التنافس بينها على موارد الغذاء والمسكن فيضطر البعض منها إلى استكشاف مصدر جديد للغذاء في حيز بيئي مختلف يقع في نفس الرقعة الجغرافية لكنها لم تكن تستغله في السابق، خصوصا إذا كان هذا المصدر الجديد غير مستغل من أنواع أخرى تزاحمها عليه. هذا الانتشار في أحياز بيئية ecological niches ومواطن جديدة يسمى الإشعاع التكيفي adaptive radiation. ومع تراكم التباينات الوراثية بينها قد يتفرع النوع الواحد إلى عدة أنواع فرعية مستقلة بحيث ينقطع انسياب الجينات بينها. ومن الأمثلة على الإشعاع التكيفي العصافير finches التي وجدها دارْوِن في جزر الغلاباغوس Galapagos، وهي جزر صغيرة ومتقاربة أشبه بجنة الله على الأرض تقع في شرق المحيط الهادي حوالي ٦٠٠ كيلا غرب الإكوادور في أمريكا الجنوبية. فقد وجد دارْوِن ١٤ نوعا من هذه العصافير كل نوع منها يستغل حيزا بيئيا يختلف عن الأخريات وكلها انحدرت أساسا من أصل مشترك كان قد هاجر إلى الجزيرة من بيرو في أمريكا الجنوبية. وأهم ما يميز هذه الأنواع المنقار الذي يختلف حجمه وشكله وطوله واستقامته تبعا لاختلاف غذائها من الحبوب إلى رحيق الأزهار إلى الديدان إلى الحشرات (Volpe 1970: 111-8).

هذه الملاحظات فيما يخص تنوع الكائنات وتفرعاتها إلى أنواع وأجناس لا حصر لها، كل منها متكيف في سلوكه ونمط معيشته مع البيئة التي يعيش فيها، هي التي أوحت لدارْوِن بنظريته عن التطور. والكثير من الناس يفهمون نظرية التطور بطريقة خاطئة على أنها تعني أن سلالة البشر انحدرت من سلالات القرود. ما تقوله النظرية هو أن البشر والقرود انحدرت من أصل واحد وأن كل الحياة في النهاية انحدرت من أصل مشترك هو الخلية وتطورت من كائنات بسيطة للغاية إلى كائنات أكثر تعقيدا وتخصصا. لكن بعض السلالات أقرب لبعضها البعض، مما يعني أنه كلما تقاربت السلالات فيما بينها تشريحيا ووظيفيا كلما كان تفرعها من أصلها المشترك وتشعبها إلى سلالات مختلفة جاء في الأزمنة الجيولوجية المتأخرة. فأجناس الرئيسيات أقرب إلى بعضها البعض منها إلى بقية الثديات، والثديات أقرب إلى بعضها البعض منها إلى بقية الفقريات، والفقريات أقرب إلى بعضها البعض منها إلى اللافقريات، وهكذا. بهذه الطريقة يتداعى ذلك السد المنيع والسور العالي الذي ظل قائما من قبل ليحجز بشكل قاطع بين عالم البشر وعالم الحيوان ويتم دمج الإنسان وإقحامه في المملكة الحيوانية. وهناك العديد من الفروع المساندة في مجالات علوم الإحياء والوراثة والأجنة والتشريح والجيولوجيا والأحافير التي تدعم نظرية التطور، ومن أهمها:

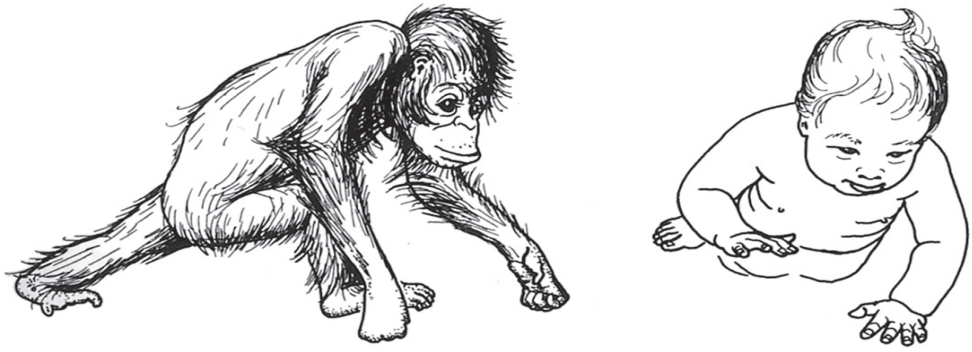
١/ علم الأحياء. تشابه الكائنات الحية في التركيبة الخلوية وفي الشفرة الوراثية يدل على أصل مشترك من الماضي البعيد.

٢/ علم الوراثة. كلما كانت السلالات أقرب إلى بعضها البعض كلما تشابهت في مصل الدم serum وفي ترتيب الأحماض الأمينية في السلاسل الببتيدية. وكما سبقت الإشارة فإنه قد ينتج عن الطفرات بعض التغيرات في تسلسل القواعد النيتروجينية في شفرة حمض الدنا التي ترمّز لترتيب الأحماض الأمينية على

السلاسل الببتيدية المسؤولة عن تخليق البروتين. وترث الأجيال اللاحقة هذه التغيرات الطفيفة التي تتراكم تدريجيا عبر الأزمنة والعصور الجيولوجية المتعاقبة والتي تؤدي مع مرور ملايين السنين إلى تفرع النوع الواحد إلى عدة أنواع مستقلة ومنعزلة وراثيا أحدها عن الآخر. ويمكن قياس قرب هذه الأنواع أو بعدها عن بعضها البعض بقياس مدى الاختلاف فيما بينها في تركيبة حمض الدنا. فقد أثبتت التجارب أنه يمكن أخذ عيّنتين من حمض الدنا لنوعين مختلفين من أنواع الحياة ثم تعريض العيّنتين للحرارة لفك الشريطين الملتفين أحدهما على الآخر (السلم الحلزوني) ثم محاولة ربط شريط من أحد العينتين بشريط من العينة الأخرى بعد تبريدهما. فإذا التحم الشريطان، وفقا لقاعدة العلاقات التوافقية للقواعد النيتروجينية، فهذا يعني أن النوعين قريبين في التصنيف البيولوجي. ومدى قوة التحام الشريطين هو الذي يحدد مدى قرب أو بعد النوعين أحدهما عن الآخر.

٣/علم الأجنة. مراحل التخلّق والنمو التي يمر بها الجنين منذ لحظة التخصيب حى الولادة هي إعادة بشكل مختزل لمراحل التطور التي مر بها النوع الذي ينتسب إليه عبر ملايين السنين بدءا من الخلية الواحدة، أي الجاميطة، تماما كما لو أنك تدير فيلما سينمائيا على الحركة السريعة جدا. وهذا ما يعبر عنه بقولهم إن نمو الفرد يختزل تطور النوع ontogeny recapitulates phylogeny. ولو تتبعنا مراحل نمو الأجنة عند الفقاريات لوجدناها تحكي قصة تطور هذه العائلة حيث تمر بمرحلة تكون لها فتحات عند الرقبة أشبه بخياشيم السمكة ولها كذلك ما يشبه العصعص الذي يبقى في جنين الحيوان ويختفي عند الإنسان، وهكذا.

٤/ علم التشريح المقارن. كلما نزلنا على سلم التطور في المملكة الحيوانية من المملكة إلى الشعبة إلى الرتبة إلى النوع كلما تقاربت الكائنات بعضها من بعض من الناحية التشريحية والهيكلية مما يؤكد على ارتباطها من الناحية التطورية، وما بينها من اختلافات مرده إلى تفرعها خلال عمليات التكيف لتحتل بيئات إيكولوجية مختلفة. فبمقدار ما هنالك من شبه في الكائنات الحية في الهيكل العظمي



نمو الفرد يختزل تطور النوع

وبنية الأعضاء يكون قربها أو بعدها من بعضها على سلم التطور. فالكائنات التي بينها تشابه واضح تكون انحدرت من أصل واحد. وهناك أعضاء احتفظت بشكلها بينما فقدت وظيفتها وهذه يقال لها vestigial organs مثل الزائدة الدودية أو العصعص أو أضراس العقل عند الإنسان لكنها لا تزال تؤدي وظائفها عند الأجناس الأخرى القريبة من الإنسان. ومن الأمثلة الأخرى ظهور ما يشبه الأرجل عند بعض الحيتان التي كانت تستخدمها للمشي حينما كانت تعيش على اليابسة ثم تحولت إلى زعانف حينما انتقلت للعيش في الماء.

٥/ علم الجيولوجيا والأحافير. وهذه سبق أن فصلنا القول عنها في الفصول الفائتة.