الجزء الأول: حركية النظام البيئى

(Ecosystem Dynamics)

المقدمـــة

يهتم الإنسان منذ خلقه الله سبحانه وتعالى بكل ما يؤثر فى حياته من قـــوى طبيعية وحيوية. وقد بدأت المدنية فى الحقيقة منذ أن عـــرف الإنســـان كيـف يستخدم النار والوسائل الأخرى بذكاء ليحور ويبدل فى الظروف البدائية التـــى تحيط به. وفى وقتنا الحالى أصبح من الضرورى على الإنسان أن يتعرف علـى كل ما يحيط به من تعقيدات فى الظروف البيئية ويتعلم كيفية الإستغلال المنظـم لمصادر الطبيعة حتى يضمن لحضارته الإستمرار والبقاء. وعلم البيئة هو أحـد الفروع الأساسية لعلم الأحياء بغض النظر عن الموضـــع التصنيفـــى للكائنـــات الحية. ويمكن تحديد مكانة علم البيئة بالنسبة للدراسات الأحيائية مجتمعة وذلـــك بتعريف مختلف المستويات التى تتضمنها تلك الدراسات وهى كما يلى:

١ ــ الجزئ (Molecule)

٢ ــ العضية (Organelle)

٣ ــ الخلية (Cell)

٤ ــ النسيج (Tissue)

٥ ــ العضو (Organ)

٦ ــ الجهاز (System)

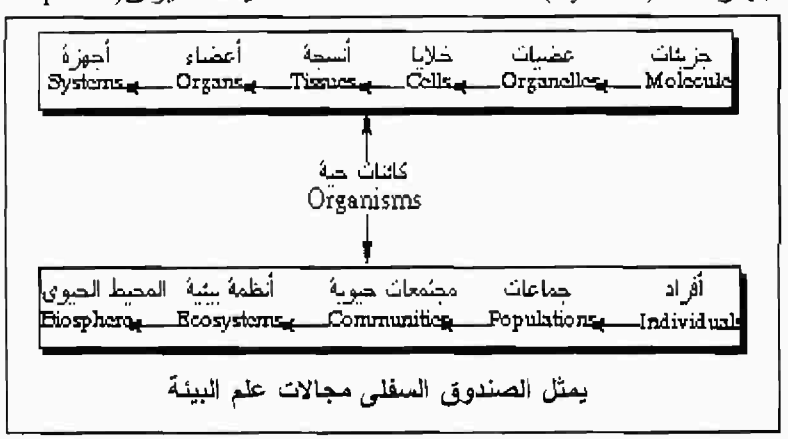
٧ ــ الفرد (Individual)

٨ ــ الجماعة (Population)

٩ ــ المجتمع (Community)

١٠ ــ النظام البيئى (Ecosystem)

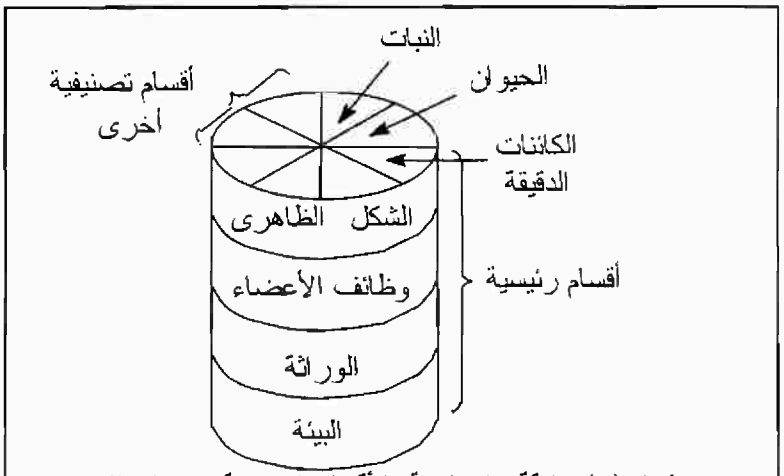
١١ ــ المحيط الحيوى(Biosphere)



يمثل الصندوق السفلى مجالات علم البيئة

يهتم علم البيئة بدراسة المستويات الخمسة الأخيرة إبتداءاً من الفرد حتى المحيط الحيوى. وهذه الدراسات تجرى طبقاً لإتجاهات متعددة تكمل إحداها الأخرى، فمنها الدراسات الثابتة (Static) مثل دراسة التركيب الحالى للنظام البيئى، والدراسات المتحركة (Dynamic) من الناحية الوظيفية (مثل سريان الطاقة ودوران العناصر) ومن الناحية الزمانية (مثل التعاقب والتطور).

لتحديد مكانة علم البيئة بالنسبة لباقى العلوم الأحيائية الأخرى، يمكن تمثيل علم الأحياء باسطوانة تنقسم أفقياً إلى مجموعة الأقسام الرئيسية المتعلقة بمختلف الكائنات الحية والتى لا تختص بمجموعة تصنيفية محددة مثل : علم الشكل الظاهرى (Morphology)، علم وظائف الأعضاء (Physiology)، علم الوراثة (Genetics)، علم الأجنة (Embryology)، وعلم البيئة (Ecology). تقسم الاسطوانة أيضاً إلى أقسام رأسية تعرف بالأقسام التصنيفية (Taxonomic divisions) والتى يعبر كل قسم منها عن وحدة أحيائية ذات صفات معينة (شكل ١). ومن هذه نذكر ثلاثة أقسام كبيرة هى علوم النبات (Botany)، والحيوان (Zoology)، والكائنات الدقيقة (Microbiology) وهناك علوم تصنيفية فرعية نذكر منها علوم الطحالب (Phycology)، والفطريات (Mycology)، والبكتريا (Bacteriology)، والحشرات (Entomology)، والطيور (Ornithology) وغيرها.



شكل (١) علاقة علم البيئة بالأقسام الرئيسية لعلم الحياة

مما سبق يتضح أن علم البيئة هو أحد الأقسام الرئيسية لعلم الحياة ويعتبر بمثابة جزء أساسى لا يستغنى عنه لدراسة كل الكائنات الحية بغض النظر عن وضعها التصنيفى.

كما يمكن تقسيم علم البيئة طبقاً لتصنيف الكائنات التى تدرس إلى علم بيئة النباتات (Plant ecology)، علم بيئة الحيوانات (Animal ecology) وعلم بيئة الكائنات الدقيقة (Microbial ecology)، والتى بدورها يمكن تقسيم كل منها إلى أقسام تصنيفية أصغر فأصغر. إلا أن الإتجاه الحديث هو دراسة بيئة الكائنات الحية مجتمعة سواء كانت حيوانية أو نباتية أو دقيقة، بل أن الدراسات البيئية أصبحت أكثر شمولاً بحيث تتضمن كل ما هو غير حى فى المنطقة، أى دراسة ما يسمى بالنظام البيئى (Ecological system : Ecosystem).

إستخدمت كلمة بيئة (Ökologie : Ecology) لأول مرة سنة ١٨٦٩ بواسطة عالم الأحياء الألمانى إيرنست هيكل (Ernst Heakel) قاصدا بها علاقة الحيوان مع المكونات العضوية وغير العضوية فى البيئة. إلا أن هذا العلم لم يصبح قائماً بذاته له أساتذته ومذاهبه إلا فى أوائل القرن العشرين. ولم يشتهر استعمال هذه الكلمة فى المقالات العلمية وحتى فى الصحف اليومية إلا منذ خمسين عاماً فقط. تستمد كلمة "Ecology" معناها من الكلمة اليونانية "Oikos" ومعناها منزل، والحقيقة أن المقصود الحرفى لها هو دراسة الكائنات الحية فى أماكن تواجدها. وغالباً ما يعرف علم البيئة على أنه دراسة العلاقة المتبادلة بين الكائنات الحية بعضها البعض من جهة وبين الوسط التى تعيش فيه من جهة أخرى.

لابد أن يلم عالم البيئة بالعديد من مجالات المعرفة لما لهذا العلم من اتصالات وثيقة بباقى العلوم الأخرى مثل علم وظائف الأعضاء، والوراثة، والتصنيف، إلخ. فالباحث البيئى مثلاً يهتم أساساً بسلوك وتوزيع وحيوية الكائنات

فى أماكن تواجدها، إلا أنه يهتم أيضاً، ولكن بدرجة أقل، بالعوامل الوراثية التى يتسبب عنها تباين فى التوزيع البيئى لأفراد جنس أو نوع معين من الكائنات. أما الفرق بين الباحث البيئى وباحث علم وظائف الأعضاء فتتلخص فى أن الأول يهتم بجماعات الكائنات وأقل عدد يخصه فى دراسته هو الفرد، أما باحث علم وظائف الأعضاء فيولى أكبر اهتماماته بما يدور داخل الخلية أو النسيج أو العضو أو الجهاز من الكائن الحى. ومن ثم فإن الهدف الذى يود أن يحققه باحث علم وظائف الأعضاء هو معرفة الوسط الداخلى للكائن الحى، بينما هدف الباحث البيئى معرفة الوسط الخارجى الذى يحيط بهذا الكائن ويؤثر على سلوكه وبالتالى على مايجرى بداخل أنسجته وخلاياه (الغنيمى ١٩٧٧).

ترتكز الدراسات البيئية فى وقتنا الحاضر بثقل كبير على الكثير من العلوم الأساسية، فمثلاً التقدم فى مجال الكيمياء والطبيعة والرياضيات والحاسب الآلى يمد الدراسات البيئية بالعديد من التقنيات ذات الأثر الفعال على تطوير النظريات البيئية التقليدية أو استحداث نظريات جديدة. كما أن علوم المناخ والجيولوجيا والأراضى هى أيضاً ذات علاقة وطيدة بالدراسات البيئية ولابد للمتخصص أن يكون على علم بها لما لها من تأثير على حياة الكائنات الحية.

نظرة تاريخية

إن الدراسة الأولى فى علم البيئة ارتبطت مع إنسان ما قبل التاريخ الذى حاول أن يفهم البيئة المحيطة أثناء بحثه عن الغذاء والملبس والمأوى. ومن الصعب جداً أن يفصل الكائن الحى عن بيئته المحيطة، فبيئة الكائن الحى هى حالته التى يعيشها فى موطنه البيئى. ومع تطور المعارف الإنسانية تزايدت أهمية الظروف البيئية وتزايد تأثر الإنسان بها فى جميع مجالات حياته. وقد جاء علم البيئة كامتداد لدراسات التاريخ الطبيعى التى كانت تُركز على تسمية الكائنات وإعطاء وصفاً لها ولبيئتها. أما علم البيئة اليوم فيركز على الدور الوظيفى لكل كائن فى بيئته المحيطة بشكل خاص وفى البيئة العامة بشكل عام.

كان للحضارة اليونانية دوراً مهماً فى علم البيئة، فقد نشر العالم اليونانى **أبو قراط الملقب بأبى الطب (٤٦٠ ــ ٣٧٧ ق.م)** كتاباً بعنوان "**عبر الأجواء والمياه والأماكن**" إدراكاً منه بتأثير هذه العوامل على حياة الكائنات الحية وخاصة الإنسان. وقد كان **لأرسطوطاليس (٣٨٤ ــ ٣٢٢ ق.م)** وتلاميذه دور كبير فى تأليف كتب التاريخ الطبيعى التى يتحدثون فيها عن عادات الحيوانات ووصفها وبيئتها التى تعيش فيها، ولعل أشهر مؤلفاته فى هذا المجال كتاب "**الحيوان**" وهناك العديد من العلماء اليونانيين الذين بذلوا دوراً عظيماً فى مجال علم الحيوان والنبات.

شهدت الفترة التى يشار إليها من قِبَل بعض علماء الغرب بفترة الركود الفكرى والعصور المظلمة أبحاثاً ودراسات كثيرة فى علم البيئة قام بها علماء العرب والمسلمين، وقد اعترف بها قليل من علماء الغرب المنصفين. قد يُفهم

من عناوين هذه الكتب أنها تتحدث عن الحيوانات والنباتات، ولكن الذى يتفحص محتواها من الداخل يجد أنها تبحث فى سلوك وبيولوجية وبيئة هـذه الكائنـات وكيف تتأثر ببعضها البعض وبالبيئة المحيطة بها. ويلاحظ فى إسهامات علمـاء العرب والمسلمين فى علم البيئة ما يلى (**نقلاً عن حاتوغ ــ بوران وأبو ديـة ١٩٩٣**):

١ ــ استفاد العلماء العرب والمسلمين من ترجمة علوم اليونان والهند والفـرس وغيرهم فى ميدان النبات والحيوان والبيئة ودرسوها وطوروا الكثير مـن النظريات والآراء العلمية البحثية والتطبيقية، ووضعوا إسـهامات جديـدة وأرسوا قواعد هذه العلوم للحضارة الغربية الحديثة.

٢ ــ استند علماء العرب والمسلمين على التجربة والدراسـات الميدانيـة فـى الحقل، لذا نرى أنهم أرسوا أيضاً قواعد البحث العلمى فـى مثـل هـذه العلوم.

٣ ــ لم يفصلوا بين علم الحيوان وعلم النبات ولا بيـن الكثـير مـن العلـوم المرتبطة بها كالجيولوجيا والصيدلـة والطـب وعلـم المنـاخ والتربـة والزراعة، لإدراكهم بالعلاقة الوثيقة بين الحيوان والنبات والعناصر غـير الحية.

الإسهامات التى قدمها العرب والمسلمين كثيرة ويصعب حصرها ومنها مـا يلى:

١ ــ **درس الأصمعى** (٧٤٠ ــ ٨٣٠ م) بعض أصناف الحيوانات البريـة والبحرية الأليفة والمتوحشة وقد أسهب فى دراسة بيولوجية الخيل والإبل. وقـد كان **الجاحظ** (٧٦٧ - ٨٦٩ م) يلاحق الحيوان فى بيئته فيصف سلوكه ويتحـدث عن بيولوجيته، ويعد الجاحظ أول من تحدث عـن أسـس المكافحـة الحيويـة

(Biological control) حين قال فى كتابه "**الحيوان**": "**فعلمت أن الصواب فى جمع الذباب مع البعوض، فإن الذباب يُقنيه**". وقد كان الجاحظ ينظر إلى الحيوان عند ولادته فيتحدث عن نشأته وموطنه وكيفية تربيته وإطعامه لصغاره، وكان يراقب الحيوان فى الحر والبرد والشمس والظل، كذلك كان يتحدث عن علاقته بالإنسان.

٢ ــ **أبدع أبو حنيفة الدينورى (توفى سنة ٨٩٤ م)** فى كتاب "**النبات**" فى تصنيف النباتات وشرح بيئتها وأماكن وجودها وقدَّر قيمتها الإقتصادية. أما **أبن جلجل (٩٧٦ ــ ١٠٠٩ م)** فقد ركز على بيئة الحشائش والأعشاب واستخداماتها فى علم الصيدلة والطب.

٣ ــ **كما يعتبر المجريطى (٩٥٠ ــ ١٠٠٨ م)** أول من وضع كتاباً أبرز فى عنوانه كلمة البيئة وذلك فى كتابه "**فى الطبيعيات وتأثير النشأة والبيئة على الكائنات الحية**". ويُعد المجريطى أول من تحدث فيما يعرف اليوم بمراتب السيادة لدى الحيوانات (Dominance heirarchy) فيتحدث عن أن بينها رئيساً ومرؤساً، فيقول : "**إن الحيوانات فيها التفاضل موجود كوجوده فى بنى آدم وفيها رؤساء وقادة فى كل جنس من أجناسها**".

٤ ــ أما **ابن سينا (٩٨٠ ــ ١٠٣٦ م)** فى كتابه "**الشفاء**" فقد درس الحيوانات المائية والبرمائية وعنى بالحيوانات المائية التى قسمها الى لُجية وشطية، وقسّم الشطّية الى طينية وصخرية. وتحدث **ابن** سينا ايضا فيما يسمى اليوم بعلم البيئة القديمة (Paleoecology) حيث استخدام الحفريات البحرية (Fossils) استخداماً صحيحاً للدلالة على ان أجزاء من الأرض كان يغمرها البحر فى سالف الأزمان. وقد درس ابن سينا بيئة بعض النباتات الطبية وركز على مواطن النباتات من حيث التربة التى تنمو فيها سواءً كانت مالحة أو غير مالحة.

٥ ــ إهتم ابن البيطار (١١٩٧ ــ ١٢٤٧ م) فى كتابه "**الجامع لمفـــردات الأدوية والأغذية**" بدراسة النباتات وبيئتها. فقد فحص النباتات فى مختلف البلاد، خاصة شمال أفريقيا، واهتم بوصفها وصفاً دقيقاً كما يفعـــل علمـــاء التصنيـــف النباتى فى وقتنا الحاضر. وقد اتبع منهجاً علمياً لا يقل دقة عن المناهج الحديثـــة ويتضح ذلك من مقدمة كتابه سالف الذكر والتى كتب فيها "**استوعبت جميع مـــا فى الخمس مقالات من كتاب الأفضل ديقوريدس بنصه، وكذا فعلت أيضاً بجميع ما أورده الفاضل جالينوس فى الست مقالات من مفرداته بنصه، ثـــم ألحقـــت بقولهما من أقوال المحدثين فى الأدوية النباتية والمعدنية والحيوانية مـــا لـــم يذكراه، ووضعت فيه عن ثقات المحدثين وعلماء النباتيين مـــا لـــم يضعـــاه، وأسندت جميع تلك الأقوال إلى قائلها، وعرفت طريق النقل فيها بذكر ناقلـــها، فما صح عندى بالمشاهدة والنظر وثبت لدى ادخرته كنزاً سريا، وأما ما كـــان مخالفاً فى القوى والكيفية والمشاهدة الحسية فى المنفعـــة والماهيـــة نَبَذْتَـــهُ ظهرياً، ولم أحاسب فى ذلك قديماً لسبقه ولا محدثاً اعتمد على صدقه.**"

٦ ــ **أما القزوينى** (١٢٠٨ ــ ١٢٨٣م) فى كتابه "عجـــائب المخلوقـــات وغرائب الموجودات" فقد تحدث عن تأثير البيئة على الحيوان، وتحـــدث عـــن العلاقات الطيبة والعدائية بين الحيوانات أو ما يعرف اليوم بالتداخلات الحيويـــة (Biological Interactions)، فيقول عن حيوان الببر : (**حيوان هندى**)، **أقوى من الأسد وبينه وبين الأسد معاداة وإذا قصد الببر النمر فالأسد يعاون النمر، وبين العقرب والببر مصادقة وربما اتخذ العقرب فى شعر الببر بيتـــاً**. ويقـــول فـــى موضوع البيئة الحيوانية فى كتابه "**آثار البلاد وأخبار العباد**" متحدثاً عن الطيـــور "**والصقر والبازى والعقاب لا تفرخ إلا على رؤوس الجبال الشامخة، والنعامـــة والقطا لا يفرخان إلا فى الفلوات، والبطوط وطيور الماء لاتفرخ إلا فى شـــطوط الأنهار**"... **إلخ**). ورغم أن علماء الغرب ينسبون علـــم التكـــافل (Symbiosis)

للفيلسوف الألمانى جيتة لأنه تحدث عن التكافل بين نوعين مختلفين من الحيوانات، إلا أن القزوينى يعد أول من تطرق لهذه لنظرية.

٧ ــ **تحدث كمال الدين الدميرى (١٣٤٤ ــ ١٤٠٥م)** عن علم التكافل بين الأحياء، حيث جاء فى كتابه "**حياة الحيوان**" عند الكلام عن حيوان الضب "**وبينه وبين العقارب مودة، فذلك يؤويها فى جحره لتلسع المتحرش به إذا أدخل يده لأخذه**".

استمرت بعد ذلك دراسات التاريخ الطبيعى فى الحضارة الغربية ونشأت مجموعتان من الباحثين هما: الطبيعيون القاريون (Continental naturalists) والطبيعيون الجزيريون (Island naturalists). ويعتبر العالم همبولدت (V. Humboldt: 1804) من الطبيعين القاربين الذين درسوا التوزيع الجغرافى فى أمريكا الجنوبية وجمع عينات نباتية وسجل الظروف المحيطة بها كدرجة الحرارة والإرتفاع عن سطح البحر. درس العالم بيتس (H.W. Bates: 1825-1892) مجموعات النمل المختلفة فى أمريكا الجنوبية، كما درس البريطانى فوربس (E. Forbes : 1815 - 1854) نباتات وحيوانات البحر المتوسط ونشر عام ١٨٤٦ بحثاً يتعلق بالبيئة القديمة (Paleoecology) للجزر البريطانية فى البحر المتوسط . وقد حفز العالم السويسرى أجاسيز (L. Agassiz : 1807 - 1873) طلاب جامعة هارفرد بالولايات المتحدة إلى العودة إلى الطبيعة بدلاً من الإكتفاء بالدراسة المختبرية أو الإعتماد على الكتب، وقد نشرت أعماله فى كتاب بعنوان "**إسهامة فى دراسة التاريخ الطبيعى بالولايات المتحدة**"، ومن إنجازاته تأسيس محطة الحيوان عام ١٨٧٣ م كأول مختبر بحرى فى الولايات المتحدة. وقد اندفعت الكثير من الجامعات بعد ذلك لتأسيس مختبرات بحرية لدراسة الحيوانات المختلفة. ويعد داروين (C. Darwin : 1808 - 1882) من الطبيعيين الجزيريين،

حيث قام على ظهر الباخرة بيجل بزيارة مجموعة من الجزر المتفرقة (Galapagos islands).

وفى نهاية القرن التاسع عشر برز مصطلح المجتمع (Community) الذى يشير إلى تفاعل نوعين أو أكثر من الكائنات الحية فى قطعة محددة من البيئة، وقد نشر العديد من الدراسات فى علوم بيئة المجتمعات الحيوية، البيئة القديمة (Paleoecology)، الجغرافيا الحيوانية (Zoogeography) وعلم المحيطات (Oceanography). وبرز من علماء البيئة الجغرافية فى أوروبا العالمان وارمينج (E. Warming : 1895) و شيمبر (A.F.W. Schimper : 1898) اللذان وضعا أساساً لدراسة المجتمعات النباتية. وبعد ذلك تطورت دراسات البيئة فى أوربا بشكل منفصل عن أمريكا، ويعد العالم كولتر (H.M. Coulter) وتلميذه "كوليز" (H.C. Cowles) من الرواد فى دراسة المجتمعات النباتية وظاهرة التعاقب البيئى للنباتات (Succession). وفى الجزء الأول من القرن العشرين احتكرت بعض الجامعات الأمريكية علم البيئة عن طريق علماء مبدعين مثل كليمنتس (F.C. Clements) الذى ركز على دراسة تعاقب المجتمعات النباتية، فى حين أن العلماء الأوروبيين مثل برون بلانكيت (Braun-Blanquet : 1932) اهتموا بدراسة مكونات وتوزيع المجتمعات النباتية.

مما سبق نلاحظ أن الإهتمام تركز فيما مضى على دراسة نباتات اليابسة، غير أن الإهتمام بدراسة النباتات المائية تزايد بعد أن نشر العالم الأوروبى ثينمان (Thienemann) فى العشرينات أبحاثه حول مفهوم المستويات الغذائية (Trophic levels) وعلاقة المنتجات والمستهلكات بذلك. وكذلك يعتبر فوريل (Forel) فى الثلاثينات أول من استخدم مصطلح علم المياه العذبة (Limnology). وفى أمريكا تقدمت دراسات بيولوجية المياة العذبة على يدى فوربس (S.A. Forbes) و بيرج (E.A. Birge) اللذان درسا عملية التمثيل الضوئى والتنفس

والتحلل واهتما بقياس الطاقة فى البحيرات واستخدما مصطلح الإنتاجية الأولية (Primary production). كما يعد ليندمان (R.L. Lindman) أول من وضع مفهوم الديناميكية الغذائية (Trophic dynamics) فى نهاية الثلاثينات. وتبع هؤلاء علماء أبدعوا فى موضوع سريان الطاقة (Energy flow) مثل هتشينسون (G.E. Hutchinson : 1957 - 1969) و أودم (E.P. Odum) واللذان درسا دورات العناصر الغذائية فى الطبيعة، كما برز فى هذا الموضوع أوفينجتون (Ovington : 1962) فى بريطانيا و العالمان رودن و بازيليفيك (Rodin & Bazilievic : 1967) فى روسيا.

يعتبر العالم البريطانى تانسلى (A. Tansley) أول من طور مفهوم النظام البيئى (Ecosystem)، ثم كانت نظريات لوتكا (Lotka : 1925) و فولتيرا (Volterra : 1926) على ديناميكية الجماعات. ودرس جوس (Gause : 1935) العلاقة بين المفترسات والفرائس وعلاقة التنافس، أما نيكلسون (A.J. Nicholson) فقد درس العلاقات بين أفراد النوع الواحد. ويعتبر العالم جليسون (H. Gleason) أول من وضع مصطلح العش البيئى (niche) وتطور هذا المفهوم على أيدى إلتون (C. Elton : 1927) و هتشنسون (G. Hutchinson : 1957).

وقد اتسع علم البيئة وتعددت فروعه ونشط الباحثون فى كل أنحاء العالم وانتشرت كذلك مراكز أبحاث البيئة والمحميات الطبيعية، ومع تفاقم مشاكل البيئة فى عصرنا الحاضر تدخل الإقتصاديون والساسة فى محاولة للسيطرة على هذه المشاكل فأقاموا المؤتمرات البيئية العالمية والجمعيات البيئية التى تنادى بوقف التلوث وإصلاح ما تم تدميره فى النظام البيئى. لذا فنحن نعيش عصراً يمكن تسميته عصر البيئة (Ecology era)، حيث انتشرت المعلومات البيئية عن طريق وسائل الإتصال المعروفة لتصل إلى كل المواطن تحث على المشاركة فى حماية البيئة على كوكب الأرض: "**ظهر الفساد فى البر والبحر بما كسبت أيدى الناس ليذيقهم بعض الذى عملوا لعلهم يرجعون**" (الروم ٤١).

١ النظام البيئى

يعرف النظام البيئى على أنه أى وحدة مساحة من المحيط الحيوى (Biosphere) ممثلاً فى الغلاف الأرضى (Lithosphere) أو المائى (Hydrosphere) أو الجوى (Atmosphere)، بما عليها من كائنات حية (النباتات والحيوانات والكائنات الدقيقة، والتى تسمى بالمجتمع الحيوى: Biotic community، بحيث تتفاعل فيما بينها من جهة وفيما بينها وبين العوامل الطبيعية السائدة فى المنطقة (عوامل التربة والمناخ) من جهة أخرى، بما يسمح بوجود نظام ثابت تتبادل فيه المادة بين المكون الحى وغير الحى فى دورة متكاملة ينشأ عنها سريان للطاقة ودوران للعناصر مما يؤدى إلى وجود مستويات غذائية محددة أو مايسمى بالسلسلة الغذائية (Food Chain). ومن ثم يتضح أن النظم البيئية يمكن أن تدرس على مستويات مختلفة، فمثلاً يمكن اعتبار المحيط الحيوى بأكمله نظام بيئى متكامل، كما أن المحيطات والبحيرات والأنهار والغابات والصحارى يعتبر كل منها نظام بيئى متكامل جدير بالدراسة.

تعتمد الحيوانات ومعظم الكائنات الخالية من الكلوروفيل فى غذائها على النباتات الخضراء، وتعتمد هذه النباتات الخضراء فى غذائها على طاقة الشمس وثانى أكسيد الكربون والماء والمواد الخام الذائبة فى محلول التربة (كيفية قيام النباتات الخضراء بتكوين المواد الكربوهيدراتية والبروتينية والدهون وغيرها من المواد المعقدة من اختصاص علم وظائف الأعضاء). و المعادلة التى توضح

كيفية تكوين سكر الجلوكوز من ثانى أكسيد الكربون والماء والطاقة الضوئية مع انطلاق الأكسجين معروفة منذ زمن طويل (البناء الضوئى):

$$6\,CO_2 + 6\,H_2O + Energy \underset{\text{هدم}}{\overset{\text{بناء}}{\rightleftharpoons}} C_6H_{12}O_6 + 6\,O_2$$

ومن ثم فإن عملية البناء الضوئى تتضمن اختزان جزء من الطاقة الضوئية فى صورة مواد غذائية وهى عملية لا تتم إلا فى وجود الضوء وجهاز إنزيمى مصاحب لمادة الكلوروفيل. كما أنه من المعروف أيضاً أن بناء الأحماض الأمينية والبروتينات يتم فى نفس الوقت الذى يتم فيه بناء الجلوكوز. وتمثل هذه العملية حلقة الوصل بين المكونات غير الحية والمكونات الحية للنظام البيئى. أما التنفس فهو عملية حيوية معاكسة فى إتجاهها لعملية البناء الضوئى إذ فيها تتأكسد المواد الغذائية المختزنة مطلقة ما بها من طاقة تجعل النمو والحركة ممكنة وتمد الجسم باحتياجاته من الحرارة. ولا تقتصر عملية التنفس على كائن معين بل هى عملية حيوية لازمة لكل الكائنات.

تعرف المواد الأولية التى تتكون منها التربة (مثل الماء والعناصر الغذائية) والغلاف الجوى الذى يحيط بها (مثل الحرارة والضوء والمطر والغازات الهوائية) بالمكون غير الحى (Abiotic component) للنظام البيئى، وتسمى هذه العناصر مجتمعة بمستودع الغذاء (Food pool)، أما الكائنات الحية (النباتات والحيوانات والكائنات الدقيقة) فتعرف فى مجموعها بالمكون الحى (Biotic component) أو المجتمع الحى (Biotic community) للنظام البيئى. ومن الوجهة الوظيفية فإن المكون الحى للنظام البيئى يتكون من ثلاثة مستويات رئيسية هى:

أ ــ **الكائنات المنتجة** (Producers) وهى كائنات ذاتية التغذية (Autotrophs) غالباً ما تحتوى على الكلوروفيل وبالتالى قادرة على القيام بعملية البناء الضوئى وإنتاج الغذاء (النباتات الخضراء).

ب ــ **الكائنات المستهلكة** (Consumers) وهى كائنات مستهلكة للغذاء أو إعتمادية التغذية (Heterotrophs)، وهى غالباً من الحيوانات التى تعتمد فى تغذيتها على النبات بطريق مباشر أو غير مباشر. تنقسم الكائنات المستهلكة عموماً حسب مستواها الغذائى إلى كائنات مستهلكة من المستوى الأول وهى التى تعتمد مباشرة فى غذائها على النباتات ويطلق عليها آكلات العشب (Herbivores)، وكائنات مستهلكة من المستوى الثانى وهى التى تعتمد فى غذائها على حيوانات مستهلكة من المستوى الأول ولذا يطلق عليها آكلات اللحوم (Carnivores)، وهناك كائنات من المستوى الثالث، والرابع حسب تدرج المستويات الغذائية فى النظام البيئى كما هو موضح بالمخطط التالى:

العشب ←	حشرة آكلة عشب ←	ضفدعة ←	ثعبان ←	نسر (طير جارح)
كائن منتج	مستوى أول	مستوى ثان	مستوى ثالث	مستوى رابع

كائنات مستهلكة تمثل أربعة مستويات غذائية

جـ ــ **الكائنات المحللة** (Decomposers) وهى أيضاً من الكائنات المستهلكة إعتمادية التغذية لكنها تقوم بتحليل بقايا الكائنات الأخرى محولة ما بها من مواد غذائية معقدة التركيب إلى مواد بسيطة تستخدم جزءاً منها فى بناء أنسجتها وتعيد الجزء الأكبر إلى التربة. وينتمى إلى هذه المجموعة العديد من الكائنات الدقيقة مثل البكتريا والفطريات وتسمى بالكائنات المستهلكة الصغيرة (Microconsumers) تمييزاً لها عن الكائنات

المستهلكة الكبيرة (Macroconsumers) مثل الحيوانات الراقية. والمخطط التالى (شكل ٢) يوضح العلاقات بين مكونات النظام البيئى المختلفة:

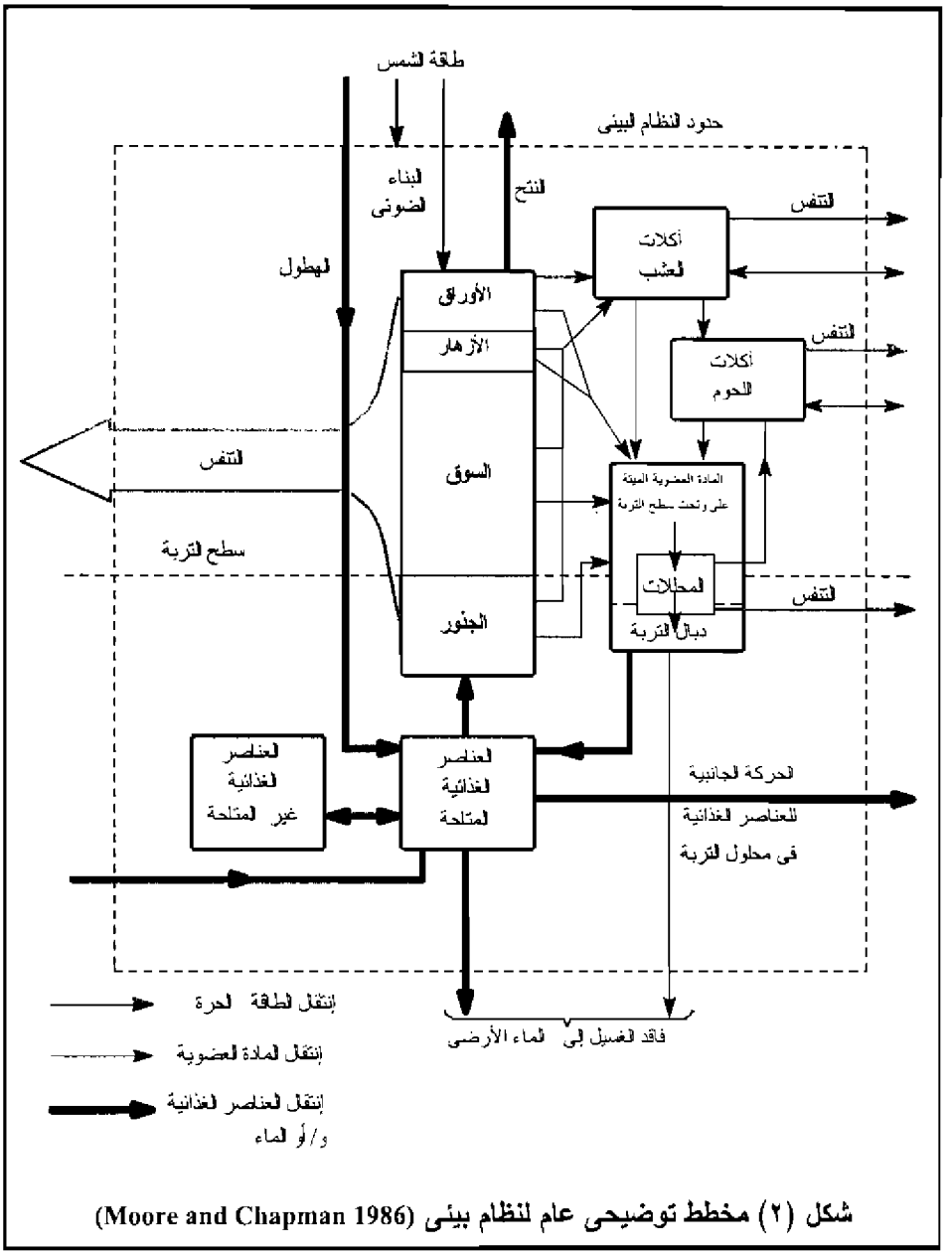
المستنقع كنظام بيئى مائى (Pond Ecosystem)

يحتوى المستنقع على نباتات بذرية وغير بذرية وطحالب وفطريات وبكتريا وحيوانات لا فقارية وفقارية كمكونات للجزء الحى فى هذا النظام البيئى. ومن جهة أخرى فإن الماء والعناصر الغذائية المذابة فيه بالإضافة إلى الطاقة الضوئية والغازات الذائبة فى الماء وفى الهواء المحيط تمثل المكون غير الحى للنظام البيئى للمستنقع. وعند قيام الباحث البيئى بدراسة نظام البحيرة فإنه يأخذ عينات من مائها على أعماق مختلفة لفحصها كما يلى:

١ ــ فصل الهائمات النباتية (Phytoplankton) من عينة الماء بالقوة الطاردة المركزية، من أجل التعرف على الأنواع المكونة لها وكمياتها.

٢ ــ ترشح عينة أخرى من الماء ثم يذاب ما على ورقة الترشيح فى الأسيتون لتعيين كمية الكلوروفيل والأصباغ الأخرى. وتحديد كمية الكلوروفيل على الأعماق المختلفة يعكس قدرة الكائنات المحتوية على الكلوروفيل عند هذه الأعماق على تثبيت ثانى أكسيد الكربون وبالتالى على صنع المواد الغذائية. وكمية الكلوروفيل عند مختلف الأعماق هى محصلة للعديد من العوامل البيئية مثل كمية الضوء والحرارة والعناصر الغذائية المذابة فى الماء. ومن جهة أخرى فإن تحديد كمية الكلوروفيل يمكن أن يكون دليلاً على وزن أو كتلة الكائنات الحية المنتجة فى الأعماق المختلفة.

٣ ــ وبالمثل فإن عينة ثالثة من الماء تستغل فى تحديد عدد ووزن كل من الكائنات المستهلكة الصغيرة والتى تعرف باسم الهائمات الحيوانية (Zooplankton).



شكل (٢) مخطط توضيحى عام لنظام بيئى (Moore and Chapman 1986)

٤ ــ أما الحيوانات الكبيرة والأسماك فيمكن جمعها بشباك خاصة وتحديد أنواعها وكمياتها.

٥ ــ بالنسبة للنباتات الكبيرة الحجم المغمورة والطافية والظاهرة فيمكن جمعها بطرق متعددة لتحديد أنواعها وكمياتها مثل طرق الحصاد المباشر باستخدام مربعات معلومة المساحة أو شباك أو حواجز.

٦ ــ أما تحديد نوعيات وكميات الكائنات الدقيقة الأخرى مثل البكتريا والفطريات فتحتاج لتقنيات معقدة للتعرف عليها.

٧ ــ كما أن المكونات غير الحية من عناصر غذائية وطاقة ضوئية تحتاج إلى قياسات موسمية دقيقة ومستفيضة وعلى أعماق مختلفة وفى مواقع تختار بتنظيم معين وطبقاً لخطة مدروسة.

أرض الحشائش كنظام بيئى أرضى (Grassland Ecosystem)

فى مثل هذه النظم من الأنسب للباحث أن يقوم بدراسة الكائنات المنتجة (الحشائش والأعشاب المصاحبة لها)، والكائنات المستهلكة (حيوانات الرعى البرية والمستأنسة) كل على حده ثم ربط كل منها بالآخر وبالكائنات المحللة (مثل البكتريا والفطريات)، وأخيراً ربط هذا كله بطبيعة وكيمياء التربة والظروف المناخية السائدة فى المنطقة. تؤخذ عينات الدراسة من العديد من المواقع بحيث تمثل كل أو معظم المتغيرات فى البيئة المحيطة (Environment) حتى يمكن تحليل النتائج إحصائياً. وعادة ما يتم اختيار هذه المواقع بطرق معيارية تضمن تمثيل كل بقعة فى المنطقة المدروسة دون تحيز.

ومن الجدير بالذكر عند مقارنة النظام البيئى الأرضى بالنظام البيئى المائى ما يلى:

١ ــ تميل الكائنات المنتجة الأرضية أن تكون أقل عدداً، ولكن أكبر حجماً (كأفراد وككتله حية بالنسبة لوحدة المساحة). يتضح هذا عند مقارنة

أراضى الغابات ذات الأشجار الضخمة بالمحيط المفتوح حيث الهائمات النباتية أصغر حتى من مثيلاتها الموجودة بالمستنقع.

٢ ــ تستهلك المنتجات الأرضية قدر كبير من طاقتها الإنتاجية فى تكوين أنسجة دعامية، وبناء على ذلك فإنها تشارك بقدر أكبر فى النسيج التركيبى للنظام البيئى عند مقارنتها بالمنتجات المائية.

٣ ــ معدل أيض المنتجات الأرضية، بالنسبة لوحدة الحجم أو الوزن، أقل من مثيله بالنسبة للمنتجات المائية. فحينما يكون أيض المستنقع عند الذروة يمكن أن تتضاعف كمية الهائمات النباتية فى اليوم الواحد، بينما النباتات الأرضية ذات العمر الأطول يكون عائد إنتاجها أقل.

٤ ــ توجد جماعات الكائنات الدقيقة المترممة بكمية أكبر فى التربة عنها فى الرواسب تحت الماء المفتوح، حيث أن الفتات الليفى للنباتات الأرضية صعب التحلل عند مقارنته بفتات الهائمات النباتية ذى الأجزاء الصغيرة سهلة التحلل والإستهلاك بواسطة الحيوانات الصغيرة.

٥ ــ يميل عدد ووزن الكائنات المستهلكة الكبيرة أن يكون متقارباً فى كل من النظم البيئية الأرضية، وذلك حينما تكون الطاقة المتاحة فى كليهما متساوية.

٦ ــ يلزم لتثبيت جرام واحد من ثانى أكسيد الكربون فى النظام البيئى لأراضى الحشائش أو الغابات مرور ما يقرب من ١٠٠ جرام من ماء التربة خلال الأنسجة النباتية ومن ثم إلى الهواء (من خلال عملية النتح) مما يتطلب إنفاق قدر كبير من الطاقة الشمسية فى هذه العملية. وفى المقابل لا تحتاج الهائمات النباتية المغمورة لمثل هذا الحجم من الماء.

٢ العمليات الوظيفية فى النظام البيئى

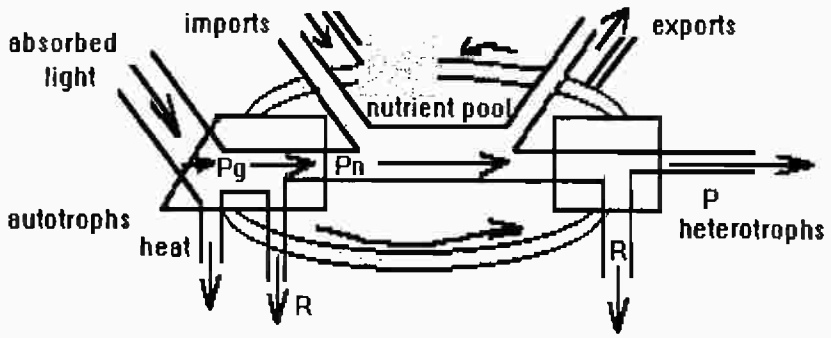
مقدمة

ترتبط الكائنات الحية التى تعيش فى النظام البيئى بواسطة علاقات تحكمها احتياجاتها من المواد الغذائية والطاقة اللازمة. ويمكن تعريف الطاقة من وجهة النظر الميكانيكية بأنها القدرة على أداء العمل. وتحدد الصفات السلوكية للطاقة فى نطاق قانونين من قوانين الديناميكا الحرارية (Thermodynamics). يشير القانون الأول إلى أن "**الطاقة تتحول من صورة إلى أخرى ولكن لاتفنى أو تستحدث**"، بينما يشير القانون الثانى إلى أن "**تحول الطاقة من صورة إلى أخرى (مثل تحول الطاقة الضوئية إلى طاقة مختزنة فى بروتوبلازم الخلية) يصاحبه دائما فقد جزء منها فى صورة طاقة حرارية تصبح غير متاحة للإستخدام**"، وبالتالى لا يوجد تحول كامل بنسبة ١٠٠% لصور الطاقة.

يصاحب التباين فى متطلبات الحياة المختلفة تحول طاقة من صورة إلى أخرى. ويعد الجزء المرتبط بتحولات الطاقة بين مكونات النظام البيئى الجزء الأهم من وجهة النظر البيئية. فأشكال العلاقات بين المكونات المختلفة مثل تلك التى تربط بين النباتات والحيوانات آكلة العشب، أو بين المفترسات وفرائسها، إلى جانب أنواع وأعداد الكائنات الحية فى بيئة ما، تمثل جميعا علاقات محددة من انتقال الغذاء (المواد المحملة بالطاقة) من كائن إلى كائن آخر وهى عملية

تحكمها نفس القوانين الأساسية التى تحكم انتقال الطاقة وتحول صورها فى النظم غير الحية (كالمحركات والسيارات). ومن هذا المنطلق فإن الكائنات الحية تشبه الآلات الميكانيكية من حيث احتياجاتها لقدر من الطاقة للقيام بعملها. ولهذا يقوم بعض المهتمين بالبيئة باعتبار النظم البيئية على اتساعها ممثلة لآلة مستمرة فى العمل بفعل ما تستقبله من طاقة إلى جانب ما تحتويه من عناصر غذائية (عبد الرازق والمراغى ١٩٩٥).

تستمد الكائنات الحية احتياجاتها من العناصر الغذائية من المكون اللاأحيائى للنظام البيئى. وغالباً ما تعود هذه المواد فى نهاية الأمر إلى مصادرها مرة أخرى بفعل عمليات تحلل البقايا والموتى من الكائنات، وهذا يتيح بدروه حركة دورانية ثابتة للعناصر الغذائية بين مكونات النظام البيئى يشترك فيها كل من المكونين الأحيائى وغير الأحيائى فيما يسمى بالدورات الأحيائية الأرضية الكيميائية (Biogeochemical cycles). تمثل الشمس المصدر الأساسى للطاقة اللازمة لإتمام هذه الدورات حيث تقوم كائنات البناء الضوئى باستغلال طاقة الإشعاع الشمسى بشكل مباشر فى تحضير مركبات عضوية غنية بالطاقة التركيبية، والتى يتم تمريرها عبر الكائنات الحية الأخرى بشكل يكون ناتجه النهائى سريان للطاقة فى اتجاه واحد ودوران للمادة الغذائية. وتمثل الكائنات الحية بالنسبة لمسرى الطاقة عوامل نقل بين المكونات الأحيائية للنظام البيئى. يصاحب كل خطوة من خطوات انتقال الطاقة بين هذه العوامل فقد كمية منها على شكل طاقة حرارية تتشتت فى الفراغ ولا تستطيع الكائنات الحية استخدامها مرة أخرى كمصدر للطاقة اللازمة للقيام بمناشطها الحيوية. والمخطط التالى يوضح تلازم عمليتى سريان الطاقة ودوران العناصر داخل النظام البيئى (شكل ٣).



شكل (٣). مخطط سريان الطاقة ودوران العناصر

سريان الطاقة (Energy flow)

يستخدم فى قياس الطاقة وحدات عالمية مثل الجول (Joule) والسُعر (Calory). ويعرف السُعر على أنه كمية الطاقة اللازمة لرفع درجة حرارة جرام من الماء درجة مئوية واحدة (١٠٠٠ سُعر = كيلو سُعر). أما الجول فيعادل ٠,٢٣٩ سُعر (١ سُعر = ٤,١٨٤ جول). يوضح جدول (١) محتوى الطاقة بالجول فى بعض المكونات العضوية والكائنات الحية:

جدول (١). متوسط محتوى الطاقة فى بعض المكونات العضوية والكائنات الحية.

المكونات والاحياء	جول لكل جرام مادة جافة
أولاً : المكونات العضوية	
الكربوهيدرات	١٦,٧
البروتينات	٢٠,٩
الليبيدات	٣٨,٥
ثانياً : الأحياء	
نباتات أرضية	١٨,٨
طحالب	٢٠,٥
لافقاريات	١٢,٦
حشرات	٢٢,٦
فقاريات	٢٣,٤

مصدر الطاقة (Source of energy):

بالرغم من أن مركز الأرض يحتفظ بقدر كبير من الطاقة نتيجة لارتفاع درجة حرارة محتوياته فإن كل الطاقة الموجودة على سطحها تصل إليها من الشمس التى تعتبر مفاعل نووى شديد الضخامة والقوة يَطلِق العديد من أشكال الطاقة إلى الفضاء. لايصل من طاقة الإشعاع الشمسى إلى الكرة الأرضية سوى جزء ضئيل (حوالى ١/٢٠٠ مليون) من الموجات الكهرومغناطيسية ذات الأطوال الموجية واسعة المدى. ويبلغ مقدار الطاقة التى تستقبلها الأرض من الإشعاع الشمسى حوالى ١٠,٨ مليون ك جول/ متر٢/سنة، ويتم انعكاس مباشر لحوالى ٤٠% منها بفعل السحب والغبار الجوى والأسطح اللامعة للأرض، خاصة الصحارى والغطاءات الجليدية، يتم ذلك دون حدوث أى تأثير حرارى لهذه المكونات (تسمى هذه الظاهرة بإسم "البيدو" : Albedo). يتم امتصاص ما يصل إلى ١٥% من طاقة الإشعاع الشمسى الواصل إلى الكرة الأرضية وتحويلها إلى طاقة حرارية فى الغلاف الجوى خاصة فى طبقة الأوزون (Ozonosphere)، وبفعل بخار الماء المحمول فى طبقات الجو الأخرى، حيث يمتص الأوزون الموجود فى طبقة الإستراتوسفير (Stratosphere) عادة الموجات فوق البنفسجية القصيرة (أقل من ٠,٣ ميكرون) ذات التأثير القاتل على المادة الحية. أما باقى الإشعاع، ويمثل ٤٥% من الإشعاع الذى يصل إلى الكرة الأرضية، فيخترق الطبقة السفلى للغلاف الجوى (Troposphere) إلى سطح الأرض. وعموماً توجد ثلاثة أنواع رئيسية من الموجات التى تخترق الغلاف الجوى لتصل إلى سطح الأرض: ١ ــ الموجات الضوئية المرئية، ٢ ــ بعض موجات الأشعة تحت الحمراء القريبة الطول من الموجات الضوئية، ٣ ــ جزء صغير من موجات الأشعة فوق البنفسجية. وتبلغ أطوال الموجات الكهرومغناطيسية التى تصل إلى سطح الأرض من ٠,٣ ميكرون إلى ١٠ ميكرون (أى ٣٠٠ إلى ١٠,٠٠٠ مليميكرون)، حيث تقع أطوال الموجات المرئية (الضوء) من ٣٩٠ إلى ٧٦٠ مليميكرون.

تعتبر نوعية الطاقة الإشعاعية التى تصل إلـــى ســطح الأرض (الطــول الموجى أو اللون) وشدة الإشعاع (كمية الطاقة التى تحملـــها) وطــول الفــترة الزمنية التى تتعرض لها (طول الفترة الضوئية) عوامل بيئية ذات تأثيرات هامة على الكائنات الحية. فتتأثر الحيوانات والنباتات بالموجات الضوئية ذات الأطوال المختلفة وتتجاوب معها، حيث تتكون أجهزة مختلفة للرؤية الملونة فـــى بعــض أنواع الحيوانات دون غيرها، وتُظهِر النباتات الخضراء بعض الإختلافات فـــى عملية البناء الضوئى ونواتجها وخاصة النباتات المائية. ينتج عن اختراق الضوء للماء تصفية للموجات الحمراء والزرقاء لتبقى الموجات الضوئية الخضراء ذات الإمتصاص الضعيف بواسطة كلوروفيل الطحالب الخضــراء، بينمــا تســتطيع الطحالب الحمراء بما تحتويه من صبغات خاصة من اســـتغلال هــذه الطاقــة الضوئية، وبالتالى يمكنها أن تعيش فى أعماق أكبر من تلك التى تعيـــش فيــها الطحالب الخضراء.

يمثل الضوء، أو الموجات المرئية، حوالى ٤٥% من الإشعاع الذى يصـــل إلى سطح الأرض، والذى يمثل بدوره الطاقة الإشعاعية النشطة فى عملية البنــاء الضوئى. وفوق ذلك فإن جزء صغير جداً من تلك الطاقة وتحت الظروف المثلى (حوالى ٥% من الإشعاع الواصل إلى الأرض أو ما يقابل ١٠% من الإشـــعاع النشط) يتحول بفعل عملية البناء الضوئى (Photosynthesis) التـــى تقــوم بــها النباتات إلى إنتاج أولى كلى (Gross primary production). أما كميـــة المــادة العضوية التى يتم اكتسابها من عملية البناء الضوئى بعد احتساب الفقد الناتج عن التنفس (تسمى بالإنتاج الأولى الصـــافى : Net primary production) فتتبــاين قيمتها ما بين ٥٠% إلى ٨٠% من الإنتاج الأولى الكلى. وكمـــا هــو موضــح بجدول (٢) فإن المتوسط العالمى لكمية الطاقة التى يتم تثبيتها بواسطة النباتـــات الخضراء على الأرض لايتعدى ٠,١ من مجموع الإشعاع الشمسى الـــذى يصــل الأرض.

جدول (٢) نسبة انتقال طاقة الإشعاع الشمسى إلى إنتاج أولى

الخطوات	مجموع طاقة الإشعاع	الممتص بالنباتات	الإنتاجية الأولية الكلية	الإنتاجية الأولية الصافية
القصوى	١٠٠	٥٠	٥	٤
متوسط أمثل	١٠٠	٥٠	١	٠,٥
متوسط عالمى	١٠٠	٥٠ >	٠,٢	٠,١

إنتقال الطاقة (Energy transfer):

تمثل الجزيئات العضوية المحتوية على الطاقة والتى تنتجها الكائنات ذاتية التغذية (Autotrophs) المصدر الرئيسى من المادة والطاقة للكائنات غير ذاتية التغذية (Heterotrophs) والتى تعيش معاً فى النظام البيئى. فعلى سبيل المثال يمكن أن يتغذى أحد الحيوانات على نبات ما، فإذا ما افتُرس هذا الحيوان بحيوان آخر، فإن الطاقة تنتقل إلى الأخير. وهكذا يتم انتقال الطاقة من خلال مراحل متتابعة بين الكائنات الحية، يتغذى كل منها على الكائن الحى السابق له ليحصل على احتياجاته من المواد الأولية والطاقة فيما يعرف بالسلسلة الغذائية (Food chain). وتعرف كل مرحلة من مراحل السلسلة الغذائية بإسم المستوى الغذائى (Trophic level)، حيث تحتل الكائنات ذاتية التغذية المستوى الغذائى الأول وتسمى بالمنتجات الأولية (Primary producers)، ويطلق إسم المستهلكات الأولية (Primary consumers) على الكائنات فى المستوى الغذائى الثانى، والمستهلكات الثانوية (Secondary consumers) على الكائنات فى المستوى الغذائى الثالث. وعادة يوجد أربعة أو خمسة مستويات. غذائية ونادراً ما تتعدى ستة مستويات.

١ ــ **المنتجات الأولية**. كائنات ذاتية التغذية من النباتات الخضراء أساساً بما فى ذلك الطحالب الخضراء. تقوم هذه الكائنات بتحويل الطاقة الضوئية (طاقة الإشعاع الشمسى) إلى طاقة كيميائية مخزنة فى التركيبات العضوية

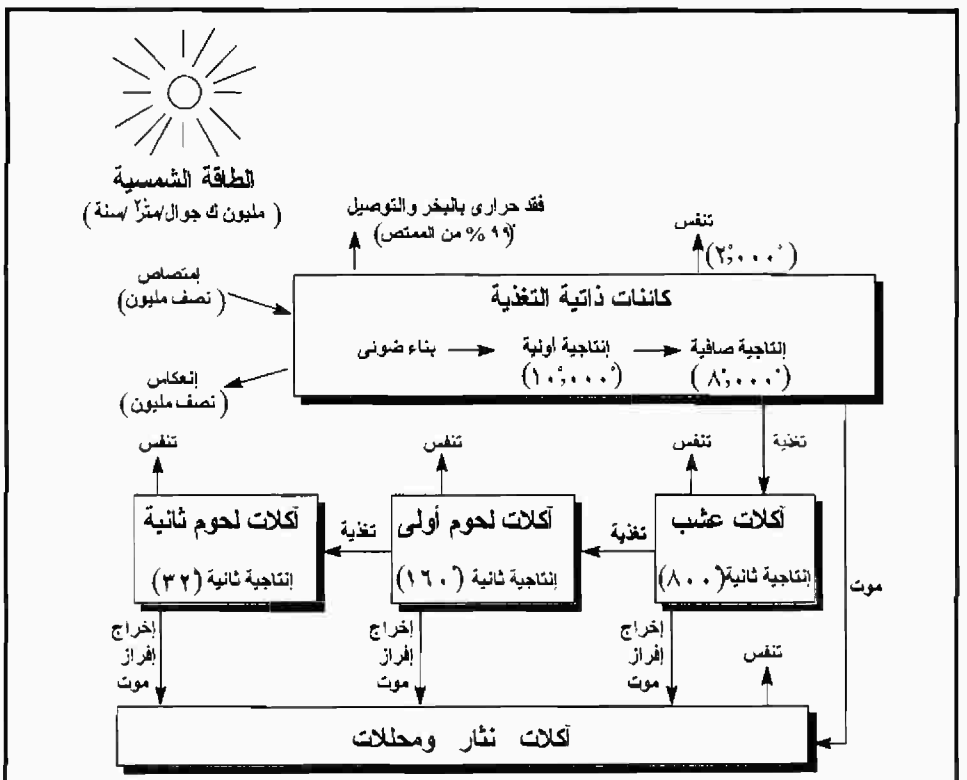
المختلفة التى تكون أنسجتها عن طريق عملية البناء الضوئى (التمثيل الضوئى Photosynthesis). وهناك قدر يسير من الطاقة يتم الحصول عليه بواسطة بكتريا البناء الكيميائى (Chemosynthesis) باستخدام المركبات غير العضوية. وتعد الطحالب المنتجات الأولية الرئيسية فى النظم البيئية المائية، وأهمها وأكثرها إنتاجاً الطحالب وحيدة الخلية التى تعيش فى الطبقات السطحية من المحيطات والبحيرات وتسمى الهائمات النباتية (Phytoplankton). يقابل هذا على اليابسة منتجات أولية كبيرة الحجم من النباتات عاريات ومغطاة البذور والتى تمثل الغابات والأراضى النجيلية وغيرها من أشكال الكساء النباتى.

٢ ــ **المستهلكات الأولية** : تتغذى على المنتجات الأولية وتعد بذلك من آكلات العشب (Herbivores). ينتمى إليها أنواع مختلفة من الحيوانات كالحشرات والزواحف والطيور والثدييات التى تعيش على اليابسة. أما فى النظم المائية المالحة والعذبة، فإن آكلات العشب تتمثل فى أشكال الهائمات الحيوانية (Zooplankton) والقشريات ويرقات الحشرات المائية والحيوانات الأخرى. ويمكن أن يضاف إلى المستهلكات الأولية الكائنات المتطفلة على النباتات مثل الفطريات وبعض أنواع النباتات الأخرى والحيوانات التى تعتمد فى غذائها على النبات العائل.

٣ ــ **المستهلكات من المرتبة الثانية والثالثة** : تتغذى المستهلكات من المرتبة الثانية على آكلات العشب وتعد لذلك من آكلات اللحوم (Carnivores)، وتتغذى مستهلكات المرتبة الثالثة على مستهلكات المرتبة الثانية وتعد من آكلات اللحوم أيضاً، وفى كلا المرتبتين قد تقوم الكائنات باقتناص فريستها للحصول على غذائها (كائنات مفترسة : Predatory)، أو تأكل جثث الحيوانات الميتة (كائنات مترممة : Saprophytic) أو تعيش متطفلة على عوائلها من الحيوانات الأخرى (كائنات متطفلة : Parasitic). ونلاحظ فى

السلسلة الغذائية النموذجية أن آكلات اللحوم تزداد حجماً عند كل مستوى غذائى لاحق (مثال : نبات ← ذبابة ← عنكبوت ← طائر آكل حشرات ← بومة).

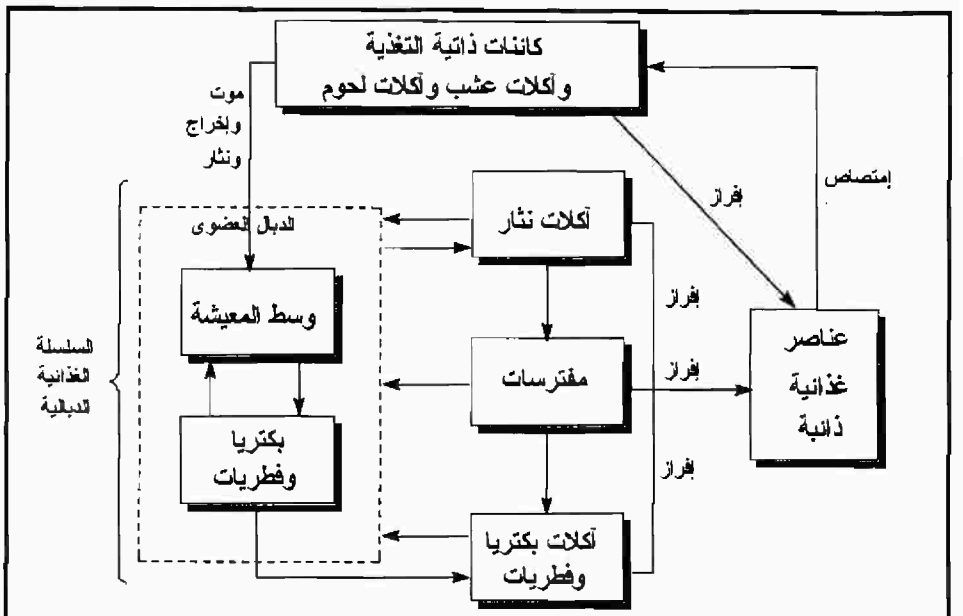
٤ ـ **المحللات وآكلات النثار** : يوجد بشكل عام نوعان أساسيان من سلاسل الغذاء هما السلاسل الغذائية الرعوية (Grazing food chains) والسلاسل الغذائية النثارية (Detritus food chains). وكما هو موضح بشكل (٤) تحتل النباتات الخضراء المستوى الغذائى الأول من السلسلة الرعوية، وهى بذلك تتيح لآكلات العشب الحصول على غذائها.



شكل (٤). سريان الطاقة خلال سلسلة رعوية (مثال النظام البيئى لأراضى المراعى).

أما السلاسل النثارية فتعتمد على ما تحتوية النباتات والحيوانات الميتة من طاقة ومواد أولية، وينطبق هذا أيضاً على المواد الخارجية والبقايا المفرزة من الأحياء خلال نشاطها. ويتم تحلل هذه المواد العضوية بواسطة الكائنات الدقيقة من الفطريات والبكتريا التى تعيش مترممة على البقايا (تسمى هذه الكائنات بالمحللات : Decomposers)، تقوم هذه الكائنات بإفراز إنزيمات هاضمة خلال البقايا والمواد الميتة وتعيد امتصاص نواتج عملية الهضم. ويعتمد معدل هذه العمليات على الوسط الذى يتم تحليله والمناخ السائد. وعادة ما يتم استهلاك المادة العضوية لإخراجات الحيوانات وجثثها فى خلال أسابيع قليلة، بينما تحتاج الأشجار الميتة وفروعها المتساقطة إلى سنوات طويلة. وغالبا مايكون معدل عملية التحلل سريعاً فى البيئات الرطبة والحارة كما فى مناطق الغابات الإستوائية المطيرة، وبطيئاً فى البيئات الباردة والجافة.

تسمى جزيئات المواد عند المستويات المختلفة من التحلل بإسم الدبال (Humus) والذى يختلط بحبيبات التربة المعدنية معطياً لها اللون الداكن. تقوم العديد من الحيوانات الصغيرة بالحصول على غذائها من هذا المكون (مثال دودة الأرض وديدان أخرى)، وهى تساهم بذلك فى إضافة حلقات إلى عملية تفتيت وتكثير هذه المواد. ويطلق على الكائنات الحية التى تستخدم الدبال إسم آكلات النثار (Detritivores). وبسبب التداخل والنشاط المتبادل لكلاً من المحللات الحقيقية (البكتريا والفطريات) والحيوانات آكلات النثار فإنه عادة وبغرض التيسير يطلق عليهما معاً إسم المحللات. ومن جهة أخرى فإن آكلات النثار من الحيوانات الصغيرة قد تصبح هى الأخرى غذاء لحيوانات أكبر، ويمثل هذا نوعاً آخر من السلاسل الغذائية النثارية (شكل ٥).

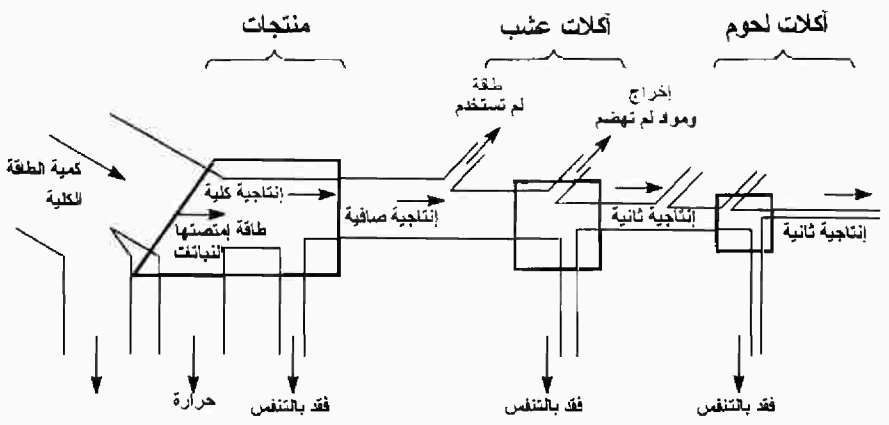


شكل (٥). مسارات السلسلة الغذائية الدبالية ومكوناتها.

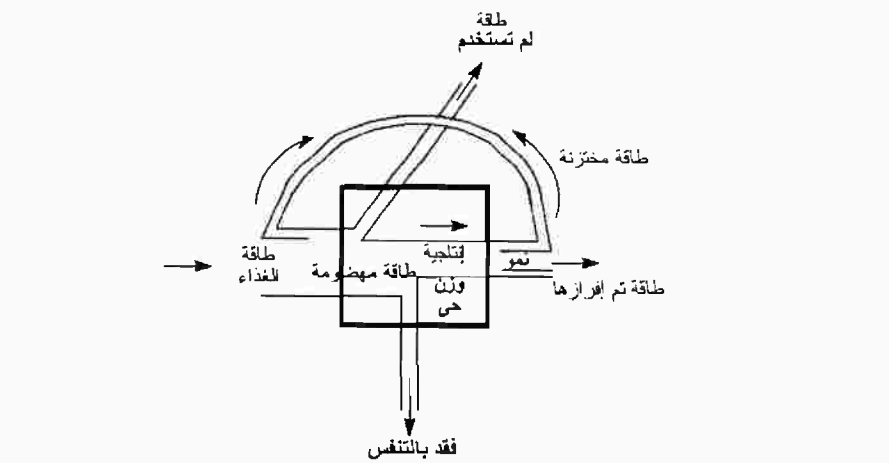
نتيجة لوجود كتلة كبيرة من المواد التركيبية والتدعيمية بنباتات النظم البيئية الأرضية فإن دبالها يحتوى على كم كبير من الألياف المقاومة لعمليات التحلل بفعل الكائنات غير ذاتية التغذية بالتربة. ومن جهة أخرى فإن سيل البقايا ونثار الهائمات النباتية فى النظم المائية يتكون من جزيئات صغيرة يسهل تحللها، ويتم استغلال الجزء الأكبر منها فى تغذية الحيوانات البحرية الصغيرة فى الطبقات العليا من الماء. ولهذا يمكننا توقع وجود أكبر عدد من مجموعات الكائنات المترممة والمحللة فى تربة اليابسة عنها فى الترسيبات البحرية للماء المفتوح. بينما تكاد أن تتساوى أعداد المستهلكات الكبيرة فى نظم كلاً من اليابسة والماء.

يمكن توضيح أساسيات السلاسل الغذائية وعلاقتها بقانونى الديناميكا الحرارية، الذين سبق الإشارة إليهما، باستخدام المخططات الخاصة بنموذج تدفق الطاقة ذات الشعبة الواحدة (Single channel model) حيث تمثل "الصناديق"

المستويات الغذائية المختلفة بينما تمثل "القنوات" مسار تدفق الطاقة إلى كل مستوى غذائى وخروجها منه، تبعاً للنموذج الكلى لمسرى الطاقة (شكل ٦، ٧).



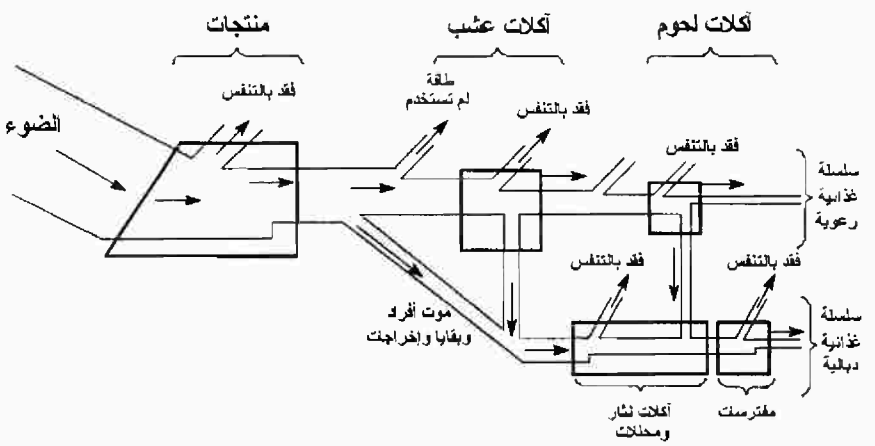
شكل (٦). مسرى الطاقة فى النموذج ذى الشعبة الواحدة.



شكل (٧). النموذج الكلى لمسرى الطاقة خلال أى مستوى غذائى.

يتضح من هذين الشكلين توازن الداخل والخارج من تدفقات الطاقة بما يتوافق مع القانون الأول للديناميكا الحرارية. بينما يتضمن كل تحول للطاقة،

بدخول أحد المستويات الغذائية، تشتت قدر منها على شكل حرارة غير متاحة (ناتجة عن عملية التنفس) وهو ما يتوافق مع القانون الثانى للديناميكا الحرارية. كما يمكن الفصل بين السلسلة الغذائية الرعوية والسلسلة الغذائية النثارية فى النظم البيئية باستخدام المخططات الخاصة بتدفق الطاقة ذات الشعبتين (Y-shaped flow diagram) كما يتضح من شكل (٨).

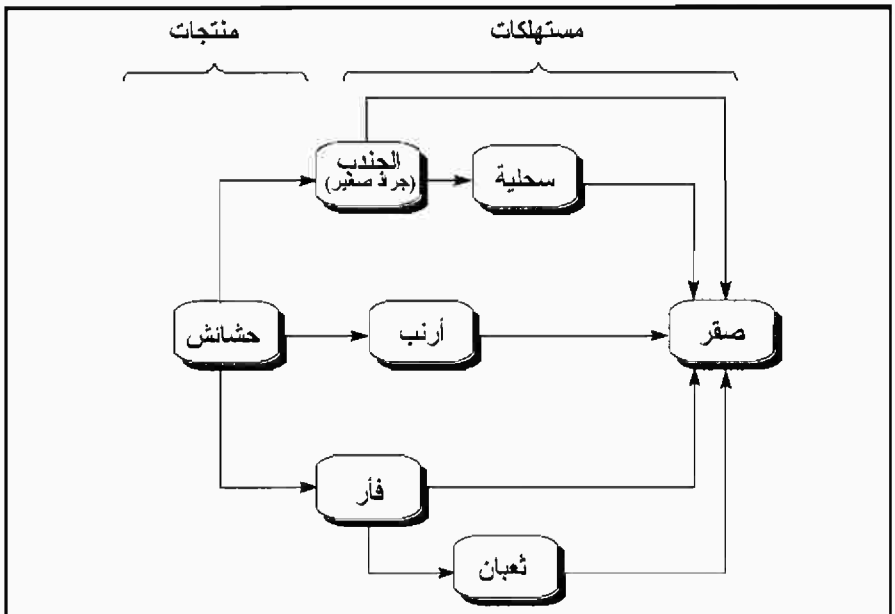


شكل (٨). مسارات الطاقة فى النموذج ذو الشعبتين

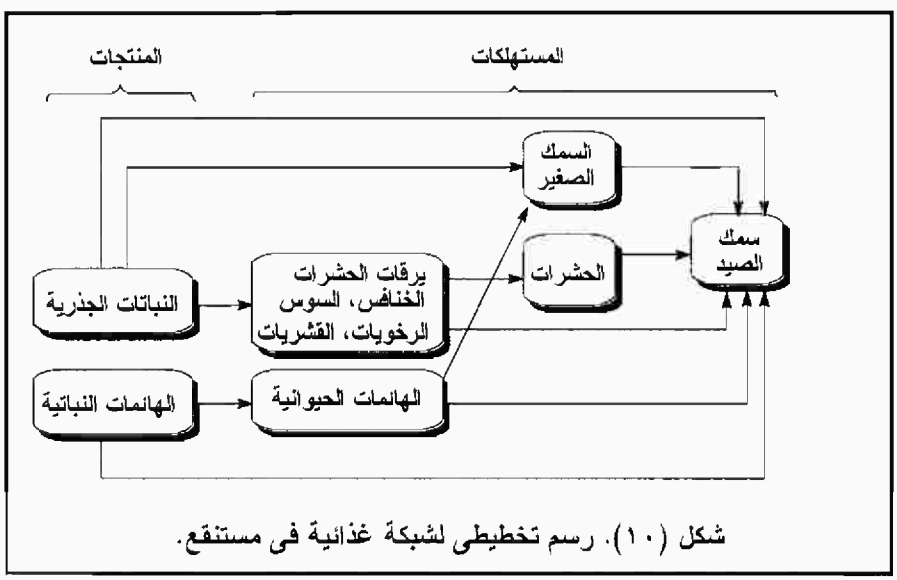
الشبكات الغذائية (Food webs) :

عادة ما يتم عند مناقشة السلاسل الغذائية تبسيط الأمر بتحديد نوع واحد من الغذاء لكل كائن حى ممثل فى السلسلة، إلا أن هذا لا يحدث فعلاً فى الطبيعة حيث تتداخل العلاقات الغذائية بشكل أكثر تعقيداً فى النظام البيئى. وبالتالى فإن الكائن الحى الواحد يمكن أن يتغذى على أكثر من نوع من الكائنات الحية الأخرى فى نفس السلسلة الغذائية أو فى عديد منها فى الأوقات المختلفة. ويظهر مثل هذا التداخل بصورة أكثر وضوحاً عند المستويات الغذائية العليا من آكلات اللحوم. ومن أمثلة ذلك ما نجده فى حالة الإنسان الذى يتغذى على نباتات وحيوانات وفطريات. تسمى الكائنات متعددة المصادر الغذائية بإسم كائنات

المستوى الغذائى الخليط (Omnivores). بناءاً على ماسبق فإن السلاسل الغذائيــة الحقيقية تتداخل وتتشابك بشكل كبير لينتج عنها ما يسمى بالشبكة الغذائية (Food web) كما هو موضح بالشكلين (٩، ١٠).



شكل (٩). رسم تخطيطى لشبكة غذائية فى أراضى الحشائش.



شكل (١٠). رسم تخطيطى لشبكة غذائية فى مستنقع.

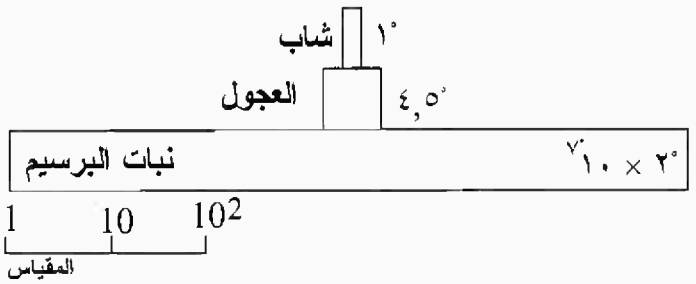
الأهرامات البيئية (Ecological pyramids) :

يمكن توضيح العلاقات الغذائية للنظام البيئى وعملية انتقال الطاقة خلال مكوناته الأحيائية فى شكل كمى للتركيب الغذائى. ويتم ذلك على صورة الكتلة الحية القائمة فى وحدة المساحة، أو على صورة كمية الطاقة المثبته فى وحدة المساحة ووحدة الزمن للمستويات الغذائية المتتابعة. ويتم التعبير عن هذه القياسات عادة على شكل مخططات توضيحية تسمى بالأهرامات البيئية (شكل ١١)، والتى تمثل قواعدها المستوى الغذائى الأول (المنتجات) لتصبح أساساً للمستويات اللاحقة التى توضع أعلاها وصولاً إلى قمة الهرم. وتمثل هذه الأهرامات شكلاً مبسطاً عند مقارنة النظم البيئة المختلفة، بالإضافة إلى إمكان إظهار التباينات الموسمية الناشئة عن أحد المكونات فى أحد النظم البيئية. ويمكن تمثيل الأهرامات البيئية للنظم البيئية باستخدام أعداد أو كتلة أو طاقة الكائنات الحية (Odum 1971).

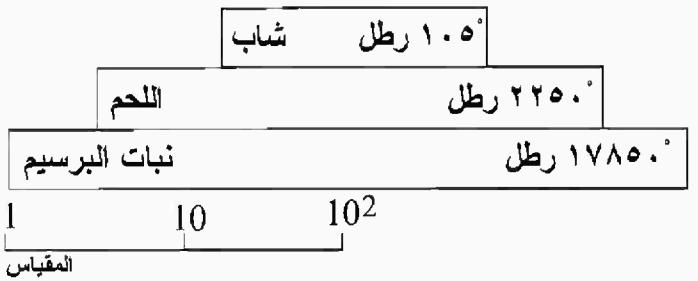
١ ــ **هرم الأعداد (Pyramid of numbers)**. عادة ما يفوق عدد الكائنات الصغيرة عدد الكائنات الكبيرة فى مساحة محددة من النظام البيئى. ويمكن استخلاص التباين فىأعداد الحيوانات لمراتب حجمية مختلفة على شكل هرمى يسمى هرم الأعداد، خاصة مع الإحتمال الأكبر أن الكائن المفترس أكبر حجماً من فريسته. ويتم الحصول على قراءات هرم الأعداد الممثل للمستويات الغذائية المختلفة بعد الكائنات الموجودة فى مساحة معينة، ثم توزيعها فى مجموعات تمثل المستويات الغذائية المختلفة. وينتج عن ذلك غالباً شكلاً تتناقص فيه الأعداد عند كل مستوى غذائى أعلى من سابقه. وتوضع النباتات بدورها عند القاعدة (المستوى الغذائى الأول). وغالباً ما يفوق أعداد أفراد النباتات مايليها من أعداد الحيوانات فى المستوى الغذائى الثانى. ومن أهم المشكلات فى استخدام هرم الأعداد صعوبة تحديد المستوى الغذائى الممثل لكل كائن، إلى جانب التباين الكبير فى أحجام المنتجات (قارن مثلاً بين أحجام الأشجار والهائمات النباتية)،

وأخيراً فإن أعداد الكائنات فى المستويات المختلفة تتباين بشدة مما يصعب معه أحياناً تمثيله فى الهرم الغذائى بنفس المقاييس.

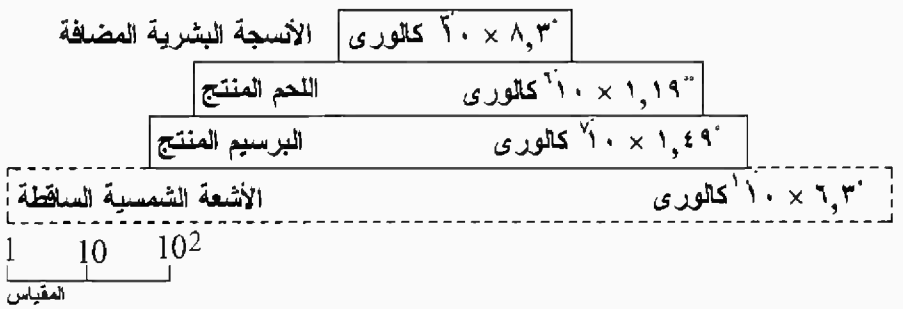
هرم الأعداد



هرم الكتلة



هرم الطاقة



شكل (١١). الأشكال الثلاثة للأهرامات البيئية لسلسلة غذائية افتراضية: "برسيم حجازى ــ عجل ــ شاب" محسوبة على أساس مساحة ١٠ إيكرات وعام واحد ومرسومة على مقياس لوغاريتمى.

٢ ــ **هرم الكتلة (Pyramid of biomass)**. يمكن التغلب على مشاكل استخدام هرم الأعداد باستخدام هرم يسمى هرم الكتلة يمثل فيه الوزن الكلى للكائنات (مجموع الكتلة الحية) فى مساحة معينة موزعاً على المستويات الغذائية المختلفة. ويستلزم تمثيل هذا الهرم القيام بتقدير أوزان أفراد ممثلة للكائنات الحية المختلفة مع إجراء تعداد شامل لهذه الكائنات فى المساحة المحددة وبذلك يمكن تقدير الوزن الكلى لها بعملية حسابية. كما يتطلب للحصول على تمثيل صحيح أن يكون ذلك مقدراً بالوزن الجاف (يتم سواء بتجفيف العينات قبل وزنها أو بحسابها من الأوزان الرطبة بعد معرفة نسب الرطوبة لكل منها). تمثل المستطيلات فى الرسم الهرمى أوزان الكائنات الممثلة لكل مستوى غذائى منسوبة إلى وحدة المساحة أو وحدة الحجوم. تسمى الكتلة الحية المقاسة عند زمن محدد بإسم الوزن القائم (Standing biomass) وأحياناً تسمى وزن المحصول القائم (Standing crop biomass). ويجب ملاحظة أن الوزن القائم لاينبئ عن معدل الإنتاجية (Productivity) أو معدل الإستهلاك (Consumption)، ويرجع ذلك إلى الآتى:

أ ــ إذا تساوت بشكل تقريبى قيمة معدل الإستهلاك (النقص نتيجة الإغتذاء على المحتوى) وقيمة معدل الإنتاج لأحد المستويات الغذائية، فإن الوزن القائم لا يمثل إنتاجية كائنات هذا المستوى. وعلى سبيل المثال فإن الوزن القائم لنباتات أحد المراعى الخصيبة ذات الإنتاجية المرتفعة والتى تتعرض لعمليات رعى مكثف قد يكون أقل من الوزن القائم لنباتات مرعى أقل خصوبة وفى نفس الوقت أقل تعرضاً لعمليات الرعى.

ب ــ فى حالة المنتجات الصغيرة، مثل الطحالب، يرتفع معدل الإستعواض (Turnover rate) لما تفقده من مكوناتها الأحيائية، والذى يمثل أساساً معدل النمو والتكاثر. وكمثال لهذا تستطيع النباتات الدقيقة فى البحيرة

الضحلة أن تستعوض أفرادها (تستطيع استبدالهم) فى يوم واحد عند الدرجات المثلى من عملية الأيض. ويقابل هذا معدلاً مرتفعاً من الإستهلاك والموت فى هذه المجموعة من الكائنات. ولهذا فإنه بالرغم من صغر الوزن القائم لهذه الكائنات مقارنة بالمنتجات الكبيرة مثل الأشجار، فإن معدل الإنتاجية لكلى المجموعتين يكاد أن يتساوى.

جـ ـ تستثمر النباتات الأرضية ذاتية التغذية جزءاً كبيراً من طاقتها الإنتاجية فى بناء أنسجة تدعيمية، نظراً لأهمية الدعامة لأفرع وأوراق النباتات عندما تنمو فى الهواء عن مثيلاتها التى تنمو فى الماء. ولاتحتاج هذه الأنسجة التدعيمية إلى قدر كبير من الطاقة للحفاظ عليها نظراً لحتوائها على قدر كبير من السيليلوز واللجنين المقاوم للإستهلاك. وبالتالى يكون معدل الأيض لوحدة الحجوم أو الأوزان فى النباتات الأرضية أقل بكثير عنه فى النباتات المائية.

٣ ـ **هرم الطاقة (Pyramid of energy)**. يعتبر هرم الطاقة أكثر الوسائل دقة فى تمثيل العلاقات بين الكائنات الممثلة لمستويات غذائية مختلفة للأسباب التالية:

أ ـ إدخال مقياس معدل الإنتاج عند تمثيل الهرم مقارنة بغيابه فى الأهرامات الممثلة للأعداد أو الأوزان والتى تمثل فقط الحالة الراهنة للكائنات عند نقطة محددة من الزمن. ولهذا فإن كل قياس عند أحد المستويات الغذائية فى هرم الطاقة يمثل فى الحقيقة كمية الطاقة منسوبة لوحدة المساحة أو الحجوم والتى تسرى من خلال هذا المستوى فى وحدة الزمن.

ب ـ غالباً ما تختلف كمية الطاقة الموجودة فى وزن محدد من أنواع الكائنات المختلفة مما ينتج عنه عدم صحة المقارنات المعتمدة على الأوزان فقط.

جـ ــ يسهل باستخدام أهرامات الطاقة إجراء مقارنات بين الأهمية النسبية لجماعات الأنواع المختلفة الموجودة فى نفس النظام البيئى. كما يمكن إضافة الدخل الكلى للطاقة الشمسية عند قاعدة هرم الطاقة كوحدة توضيحية إضافية.

وعلى الرغم من اعتبار هرم الطاقة أكثر الأهرامات البيئية دقة فى تمثيل العلاقات بين المستويات الغذائية المختلفة إلا أنه يعد أكثرها صعوبة من حيث تحصيل المعلومات اللازمة للقيام بتمثيله وتقدير قيم الطاقة فى وحدة الأوزان من الكائنات الحية.

كفاءة انتقال الطاقة (Efficiency of energy transfer):

يتم دخول الطاقة إلى المكون الأحيائى من النظام البيئى عبر المنتجات الأولية والتى تقوم باختزانها فى صورة مواد عضوية يمكن أن تستخدم كمادة غذائية. ويسمى معدل اختزان الطاقة على هذه الصورة بإسم الإنتاجية الأولية (Primary productivity). ويمثل هذا المقياس أهمية كبيرة للنظام البيئى حيث يحدد كمية الطاقة الكلية القابلة للسريان خلال المكون الأحيائى من هذا النظام، ويحدد بالتالى كمية الوزن القائم للأحياء التى يمكن أن يعولها هذا النظام وإمدادها باحتياجاتها الضرورية لمناشطها المختلفة.

تختلف كمية الطاقة الشمسية التى يستقبلها سطح الأرض بتباين خطوط العرض واختلاف صفات الموقع. كما تختلف كمية الطاقة التى تستقبلها النباتات باختلاف مواصفات الطاقة الضوئية الساقطة عليها وتركيب وكثافة الكساء النباتى فى المواقع المختلفة (جدول ٣). ويمتص حوالى ١ ــ ٥% من طاقة الإشعاع الشمسى بواسطة الكلوروفيل حيث يستخدم فى إنتاج الجزيئات العضوية. ويطلق على المعدل الذى يتم به اختزان النباتات للطاقة الكيميائية

المثبته إسم الإنتاجية الأولية الكلية (Gross primary productivity)، ويستخدم من هذه الإنتاجية الكلية ما يقابل ٢٠ ــ ٥٠% لحظياً فى عملية التنفس (احتياج بقاء المكونات الأحيائية) ليبقى الجزء المكتسب المسمى بالإنتاجية الأولية الصافية (Net primary productivity) الذى يختزن فى أنسجة النباتات متاحاً للمستوى الغذائى اللاحق. كذلك فإن الحيوانات آكلات العشب وآكلات اللحوم تفقد قدراً من الطاقة التى تكتسبها بعملية الغذاء نتيجة لعمليات التنفس والإخراج والإفراز ويبقى جزءاً متاحاً لعمليات الإنتاج على شكل نمو واستعواض أجزاء وتكاثر. ويطلق على الإنتاج فى هذه الكائنات غير ذاتية التغذية إسم الإنتاجية الثانوية (Secondary productivity).

تتمثل قياسات الإنتاجية (Measurment of productivity) فيما يلى:

١ ــ **معدل النمو النسبى (Relative growth rate)** : حيث ينتج عن عملية البناء الضوئى زيادة فى الوزن الجاف للنبات مسبباً النمو، ويعرف معدل النمو النسبى كمقدار اكتساب زيادة فى الوزن منسوباً إلى الوزن الكلى للنبات فى وحدة الزمن كما يتضح من المعادلة التالية:

$$\text{معدل النمو النسبى} = \frac{\text{الزيادة فى الوزن الجاف فى وحدة الزمن (ن)}}{\text{الوزن الجاف للنبات}}$$

$$\text{حيث (ن)} = \frac{\text{الوزن الجاف بعد زمن (ز)} - \text{الوزن الجاف عند البداية}}{\text{طول الفترة الزمنية للقياس (ز)}}$$

جدول (٣). قيم تقديرية للإنتاجية الأولية الكلية للنظم البيئية الرئيسية فى الماء واليابسة.

النظام البيئى	المساحة (مليون كم^2)	الإنتاجية الكلية (ك سعر/م^2/سنة)	الإنتاج الكلى (١٠× ١٦ ك سعر/ سنة)
محيطات مفتوحة	٣٢٦	١٠٠٠	٣٢,٦
مناطق شاطئية	٣٤	٢٠٠٠	٦,٨
مناطق الغمر	٠,٤	٢٠٠٠	٦,٨
شعاب مرجانية	٢	٢٠,٠٠٠	٤,٠
المجموع	**٣٦٢,٤**	–	**٤٣,٦**
صحارى وتندرا	٤٠	٢٠٠	٠,٨
حشائش ومراعى	٤٢	٢٥٠٠	١٠,٥
غابات جافة	٩,٤	٢٥٠٠	٢,٤
غابات صنوبرية	١٠	٣٠٠٠	٣,٠
زراعات بدائية	١٠	٣٠٠٠	٣,٠
غابات رطبة	٤,٩	٨٠٠٠	٣,٩
زراعات مدعمة	٤,٠	٢٠ ,٠٠٠	٢٩,٠
المجموع	**١٣٥,٠**	**–**	**٥٧,٤**
المتوسط الكلى للمحيط الحيوى	٥٠٠	٢٠٠٠	١٠٠

٢ ــ **معدل البناء الضوئى (Net assimilation rate : NAR)**. يطلق عليه إسم وحدة معدل الأوراق (Unit leaf rate)، ويربط بين الزيادة فى الوزن الجاف للنبات ومجموع مساحة أوراقه طبقاً للمعادلة التالية :

$$\text{معدل البناء الصافى} = \frac{\text{الزيادة فى الوزن الجاف فى وحدة الزمن}}{\text{مجموع مساحة الأوراق}}$$

٣ ــ **الوزن القائم (Biomass)**. يمثل الوزن الكلى الجاف لجميع الكائنات فى النظام البيئى. وعلى الرغم من صعوبة قياس الوزن القائم بشكل دقيق إلا أن تقدير هذه الأوزان له فائدة عند مقارنة الأراضى المختلفة أو النظم البيئية المتباينة.

٤ ــ **معامل مساحة الأوراق (Leaf area index)**. يمثل قياس مساحة الأوراق الكلية فوق وحدة المساحة من سطح الأرض، وزيادة قيمة هذا المعامل للنباتات يعنى زيادة الكمية الممتصة من الطاقة الضوئية الساقطة على الأرض.

تمثل النسب بين كميات تدفق الطاقة عند مواقع مختلفة على طول السلسلة الغذائية قيم بيئية هامة نستطع باستخدامها تفسير بعض الظواهر البيئية، تسمى هذه النسب معاملات الكفاءة البيئية (Ecological Efficiency)، ومنها ما يعبر عن كفاءة تثبيت الطاقة الضوئية الممتصة بواسطة النباتات الخضراء، أو كفاءة انتقال الطاقة بين المستويات الغذائية المتتابعة.

دوران العناصر الغذائية (Nutrient Cycling)

الخصائص العامة:

يوجد فى الطبيعة ما يزيد على ٩٠ عنصراً كيميائيا منها ما يقرب من ٤٠ عنصراً تستخدمها الكائنات الحية كعناصر هامة لحياتها. تحتاج الكائنات الحية إلى بعض هذه العناصر بكميات كبيرة نوعاً ما وتعرف بإسم العناصر الكبرى (Macronutrients) مثل الكربون والهيدروجين والأكسجين والنيتروجين والبوتاسيوم، وتحتاج إلى البعض الآخر بكميات صغيرة أو حتى ضئيلة جداً وتسمى بالعناصر الصغرى (Micronutrients) مثل الزنك والبورون والأسترانشيوم. ولا دخل لهذا التقسيم بكون العنصر أساسى من حيث الأهمية لوظائف الحياة أو غير أساسى.

ترتبط قدرة الكائنات الحية على استخدم العناصر الغذائية بوجودها على سطح القشرة الأرضية أو بالقرب من السطح، أو مذابة فى ماء المحيطات والمياه العذبة. ولهذا السبب فإن استمرارية الحياة وتلبية متطلباتها تستلزم إعادة ما تستخدمه الكائنات من عناصر فى عملياتها الأيضية مرة أخرى للطبيعة بحيث تصبح متاحة للكائنات مرة أخرى. وبهذا تبقى العناصر الغذائية داخل النظام البيئى متنقلة بين مكوناته بشكل مستمر. ويتم ذلك من خلال دورات أكبر وأشمل وفى مسارات دائرية مميزة للعناصر الكيميائية فى المحيط الحيوى. تتبادل العناصر مواقعها من المكونات غير الحية إلى الكائنات الحية ثم إلى المكونات غير الحية مرة أخرى. تعرف هذه الدورات بإسم الدورات الحيوية الأرضية الكيماوية (Biogeochemical cycles)، وللتبسيط يطلق عليها إسم دورات العناصر الغذائية (Nutrient cycles).

توجد العناصر الغذائية عادة بأشكال مختلفة فى المكونات الطبيعية للنظم البيئية (الهواء و التربة و الماء). فعلى سبيل المثال، يوجد الأكسجين بشكله الجزيئى (O_2) مذاباً فى الماء، ولكنه يمكن أن يدخل فى تركيب كيميائى مع الهيدروجين مكوناً الماء (H_2O)، أو يظهر على شكل أكاسيد مثل أكسيد الحديد (F_2O_3) وأملاح مثل كربونات الكالسيوم ($CaCO_3$) عند وجوده فى التربة، كما أنه يدخل كمكون فى معظم المركبات العضوية فى المحيط الحيوى. وتجدر الإشارة إلى أن أكثر من ٩٠% من الأكسجين الموجود فى الأرض يوجد على هيئة صخور جيرية رسوبية من كربونات الكالسيوم وهو شكل يكاد يكون غير متاح للمحيط الحيوى (ما عدا الجزء الذى يتم إطلاقه أثناء ثورات البراكين). وفى المقابل يوجد الشكل الرئيسى للنيتروجين فى صورة جزيئية ممثلة بالآزوت الجوى (N_2)، إلا أن الشكل المتاح للإستخدام بواسطة النباتات هو مركبات النترات (NO_3) الذائبة فى محلول التربة والماء.

يمثل الأكسجين احتياج أساسى لحياة الكائنات الحية ويرتبط فى وجوده ودورته بدوران معظم العناصر الأخرى فى الطبيعة. وتوجد طريقتان تدفع بالأكسجين إلى الهواء الجوى : الأولى تفكك جزيئات بخار الماء فى طبقات الجو العليا عند تعرضها للطاقة الإشعاعية المرتفعة إلى جزئيات أكسجين وهيدروجين. ويتم تصاعد الهيدروجين الناتج إلى الفضاء الخارجى لكونه من الغازات الخفيفة، بينما يتسبب تعرض الأكسجين الناتج لطاقة الإشعاع المرتفعة فى تكوين قدر قليل من غاز الأوزون (جزئ من ثلاثة ذرات من الأكسجين: O_3)، ويدخل فى مكونات طبقة الأوزون. أما الطريقة الثانية فترجع إلى عملية البناء الضوئى بواسطة النباتات الخضراء، وتشمل هذه العملية استخدام طاقة الإشعاع الشمسى فى أطلاق جزيئات الأكسجين المكونة للماء إلى الهواء الجوى، بينما يتم معادلة ذلك بإنتاج مركبات كربونية مختزلة (باستخدام جزيئات الهيدروجين الناتج) والتى تمثل محصلة عملية البناء الضوئى من المادة العضوية.

تحتفظ الطبقة السفلى من الغلاف الجوى بنسبة شبه ثابته من غاز الأكسجين (٢١%). ونسبة الأكسجين فى الهواء الجوى تزيد عن نسبة ثانى أكسيد الكربون (٠,٠٣%) إلا أن الأكسجين والكربون يرتبطان فى وجودهما وتفاعلاتهما ودورانهما ارتباطاً كبيراً، حيث تمثل معظم عمليات الأكسدة والاختزال فى دورة الكربون إما استهلاك أو إطلاق للأكسجين الجوى. كما توجد عمليات أخرى ينتج عنها إطلاق الأكسجين إلى الهواء الجوى منها على سبيل المثال نشاط البكتريا المتخصصة فى اختزال الكبريتات أو النترات، ويقابل ذلك استهلاك الأكسجين الجوى فى عمليات أكسدة المعادن ونشاطات بكتريا الكبريت والكائنات الحية المثبتة للنيتروجين.

قد يحدث أحياناً عدم اتزان لدورات بعض العناصر فى النظم البيئيـــة ممـــا ينتج عنه تجمع هذه العناصر فى بعض مكونات هذه النظم. مثال ذلك ما يحـــدث أثناء تكوين الفحم والترسبات العضوية جزئية التحلـــل (peat) وتجمـــع المـــواد العضوية الميتة فى ترسيبات البحيرات والسبخات والبحار الضحلة تحت ظروف تمنع تحللها بواسطة الكائنات الدقيقة. كذلك يحدث تجمع للعناصر الغذائيـــة فـــى الكتلة الحية النباتية للغابات حديثة التكوين طوال فترة نموها. ومن جهة أخـــرى قد يحدث إزاحة للعناصر الغذائية الموجودة فى الطبقات السطحية مـــن التربـــة بتأثير عمليات التعرية نتيجة للتدخل غير الطبيعى فى بعض النظم البيئية الهشـــة (Fragile ecosystems).

ترتبط معظم العناصر ومركباتها فى دوراتها، عدا النيتروجين والأكســـجين وثانى أكسيد الكربون والماء، بالقشرة الأرضية وتتبع نسقاً يسمى بنسق الـــدورة الرسوبية (Sedimentary cycle). يرتبط هذا النسق أساساً بمجموعة من العمليات الرئيسية مثل التعرية (Erosion) والترسيب (Sedimentation) وبنـــاء الجبـــال (Mountain building) والنشاط البركانى (Volcanic activity)، إلـــى جـــانب عمليات الإنتقال البيولوجى. ومـــن البديـــهى أن العنـــاصر المتاحـــة للـــدوران والإستخدام فى النظم البيئية هى تلك التى توجد فى أنواع الصخور التى يمكن أن تظهر على سطح القشرة الأرضية. بينما تبقى العناصر الكيميائية الموجودة فـــى الأعماق (Mantle layer) بعيدة عن متناول الدورات لتصبح عناصر نادرة علـــى السطح. ولا توجد معلومات واضحة عن عملية مرور وانتقال المواد فى الطبقات العميقة من القشرة الأرضية، بينما أمكن فى العديد من الحالات دراســـة انتقـــال وتحرك المواد الصلبة فى الهواء (مثل الغبار والسناج وغيرها) والـــذى يطلـــق عليه إسم السقط (Fallout) الناتج إما طبيعياً أو بفعل الإنسان. يتميز نسق الدورة الرسوبية المشار إليها بنزعة إنحدارية من داخل القارات فى اتجـــاه المحيطـــات

(Downhill tendency)، ويتسبب هذا الإنحدار الرسوبى فى تحرك الرسوبيات من داخل كل قارة إلى مايجاورها من المحيطات. تتميز كل قارة بقيم خاصة من درجات الإنحدار الرسوبى، فمثلاً تعتبر قارة آسيا أكثر القارات فقداً للتربة بسبب هذه الظاهرة. ونتيجة لذلك فإن الأراضى المنخفضة من القارات والمسطحات المائية المحيطة بها تكتسب قدراً كبيراً من العناصر الذائبة على حساب الأراضى المرتفعة (نقلاً عن عبد الرازق والمراغى ١٩٩٥).

تعتبر عملية دوران العناصر الغذائية أهم وظائف النظم البيئية بعد سريان الطاقة. تلخص كل دورة منها حركة العنصر خلال المكون الأحيائى للنظام فى مسارات السلاسل الغذائية. وتتضمن عمليات بناء الجزيئات العضوية المعقدة التى تدخل هذه العناصر فى تركيبها، وعمليات التحلل التى تسبب تكسير هذه المركبات مرة أخرى إلى جزيئات عضوية بسيطة ومن ثم إلى أشكال غير عضوية (عناصر غذائية) يمكن استخدامها مرة أخرى فى بناء المادة الحية للكائنات.

يجب الإشارة إلى أن دور الكائنات الدقيقة (البكتريا والفطريات) فى عملية دوران العناصر الغذائية يرتبط بإعادتها من شكلها العضوى إلى الشكل غير العضوى (تحليل المادة العضوية) حتى تصبح متاحة لامتصاص النبات لها مذابة فى الماء. وعندما تقوم هذه الكائنات بهذا الدور فإنها تقوم أيضاً بالحصول على الطاقة اللازمة لعملياتها الأيضية والحيوية المختلفة وهى نفس الوظيفة التى تقوم بها الكائنات غير ذاتية التغذية.

إلى جانب الجزء الحر والنشط من العنصر (Labile pool) الذى يدخل مباشرة فى عمليات الأيض للمكون الأحيائى للنظام البيئى يوجد لكل دورة من دورات العناصر جزء أكبر يمثل مستودع العنصر (Reservoir pool). ويكون تبادل المحتويات بين المستودع والجزء الحر من العنصر محدوداً ومن خلال

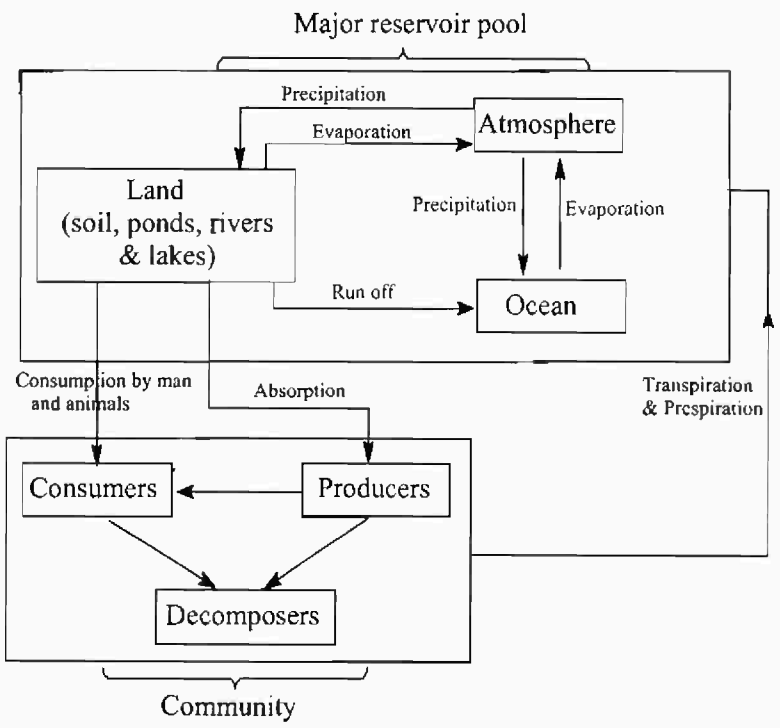
عمليات شديدة البطء عادة كما يظهر على سبيل المثال من عملية تعرية الصخور الفوسفاتية او تثبيت النيتروجين الجوى إلى نترات عن طريق البرق فى العواصف الرعدية. تنقسم هذه الدورات من حيث مكان مستودع العنصر إلى دورت ذات مستودعات رسوبية فى القشرة الأرضية (Sedimentary reservoirs)، وأخرى ذات مستودعات غازية سواء فى الجو أو ماء المحيطات (Gaseous reservoirs). ومن أمثلة الدورات الرسوبية دورات الفوسفور والكبريت، ومن الدورات الغازية النيتروجين (فى الجو) والكربون (فى الجو والماء) والهيدروجين (فى الماء). تتميز الدروات الغازية عموماً بمقدرة أكبر على استعادة الإتزان سريعاً إذا ما تعرضت للإضطراب (بسبب سهولة التعامل مع الكم الضخم من العنصر المحمول فى الهواء أو ماء المحيطات). بينما تبدو الدورات الرسوبية سريعة التأثر بالإضطرابات بسبب وجود الجزء الأكبر من محتواها فى القشرة الأرضية (مستودع خامل إلى حد كبير وذو نشاط محدود فى إطلاق مكوناته).

دورة الماء (Hydrological cycle) :

تعتبر من أكثر الدورات الطبيعية وضوحاً، وتتضمن حركة الماء من المسطحات المائية من بحار ومحيطات وغيرها، ومن التربة وأسطح الأجسام على الأرض إلى الجو بعمليات البخر والنتح، ثم عودته مرة أخرى إلى مصادره بعملية التكثيف وسقوط الأمطار (شكل ١٢). وكمية الماء فى المحيط الحيوى ثابتة إلى حد كبير، ولهذا يعاد استخدام الماء كل مرة خلال دورانه فى الطبيعة. ويمثل ماء المحيطات حوالى ٩٧% من مجموع الماء على الأرض، بينما يوجد الجزء الباقى (٣%) موزعاً على البحيرات و المجارى المائية والجليد القطبى والثلاجات، إلى جانب الماء الموجود بين حبيبات التربة والماء الجوفى وبخار الماء المحمول جواً والماء الموجود فى أجسام الكائنات الحية. تلعب حركة الكتل

الهوائية دوراً هاماً فى دورة الماء عن طريق نقل الهواء المشبع ببخار الماء من فوق المحيطات إلى داخل القارات حيث تسقط حملها من الماء على شكل أمطار.

عند مقارنة الميزان المائى (Water balance) لليابسة مع المسطحات المائية الكبرى (المحيطات) نجد أن اليابسة تستقبل كماً من الأمطار يزيد فى مجموعة عن الكمية الكلية التى تم فقدها بعمليتى البخر والنتح، يقابل هذا قدر مماثل من العجز فى الميزان المائى (Water deficit) للمحيطات حيث تقل كمية الأمطار الساقطة عليها عن كمية الماء المفقود بالبخر، ولذا فإن معظم بخار الماء المحمول جواً يتحرك بفعل الرياح من المحيطات فى اتجاه اليابسة كأمطار داخل القارات. ومما يؤدى إلى توازن دورة الماء عودته من اليابسة إلى المحيطات عن طريق عملية الجريان السطحى (Run-off).



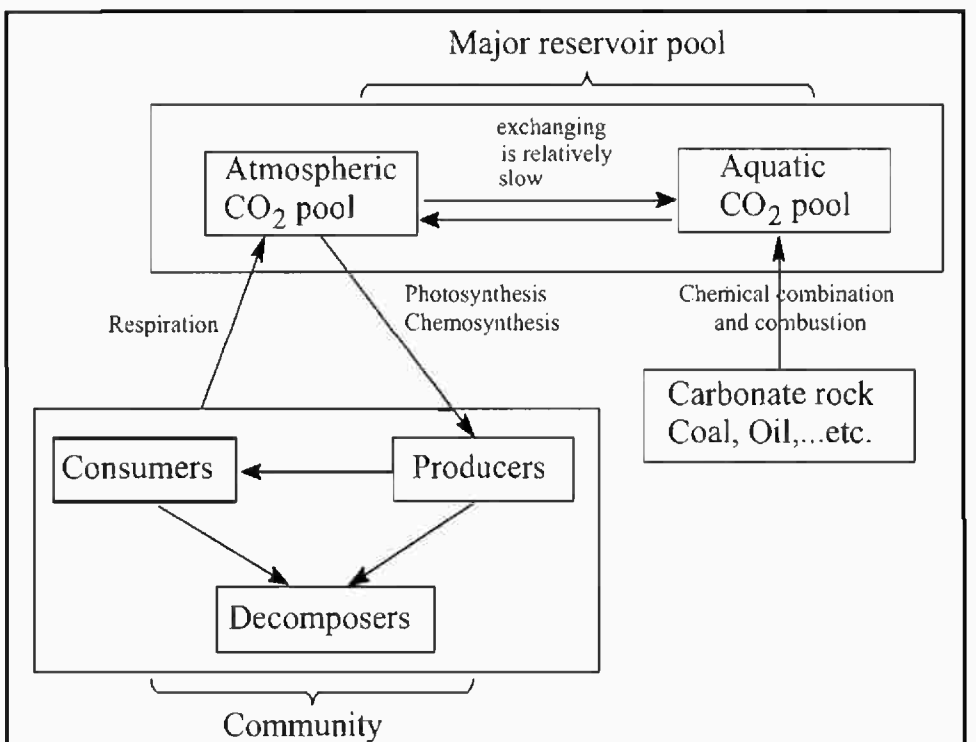
شكل (١٢). دورة الماء.

دورة الكربون (Carbon cycle) :

تعتبر هذه الدورة محكمة ومتكافئة تحت الظروف الطبيعية، حيث يتم فيها تثبيت الكربون الجوى فى عملية البناء الضوئى بنفس المعدل الذى يعود به إلى الجو بعملية التنفس واحتراق المادة العضوية. ويتمثل المصدر الرئيسى للكربون فى الشكل الغازى المحمول جواً (ثانى أكسيد الكربون: CO_2) بينما يعتبر الجزء الذائب من هذا الغاز فى ماء المحيطات والبحار مصدر ثانوى بالرغم من كبر حجمه، حيث يتصل الهواء الجوى مباشرة بماء المحيطات والبحار ويوجد تبادل حر لغاز CO_2 عند الطبقة الفاصلة بين الهواء والماء (شكل ١٣). تحتفظ تلك المسطحات المائية بما يوازى ٥٠ مرة ضعف محتوى الهواء من CO_2، كما يتم تنظيم تركيز هذا الغاز فى ماء البحر بتأثير النشاط البيولوجى والذى يصاحبه ترسيب التركيزات الزائدة من الغاز على شكل صخور كربونية، وتقابل كمية ما يستخدم فى هذه الصخور من CO_2 آلاف أضعاف كميته فى الهواء الجوى. ولهذا تعتبر المسطحات المائية نظام ضخم قوى التأثير فى موازنة نسبة غاز CO_2 فى الهواء الجوى على المدى الطويل نظراً لبطء معدل هذه العمليات. ومن جهة أخرى يوجد جزء من الكربون مختزناً على شكل صخور رسوبية ونارية، وفى شكل فحم وبترول فى أعماق التربة. تتبادل هذه التركيبات محتواها من الكربون مع المكونات الأخرى للنظام البيئى بمعدلات بطيئة جداً، وبالتالى لا يظهر لها دور بارز فى دورة الكربون الطبيعية.

بدأ الإتزان الطبيعى لدورة الكربون فى الإختلال خلال الفترة الأخيرة كرد فعل لتأثير الإنسان المتزايد على الطبيعة، حيث اتضح من قياسات عديدة وجود ارتفاع فى تركيز ثانى أكسيد الكربون فى الهواء الجوى بمعدل متزايد خلال عشرات السنين الأخيرة. ومن تلك القياسات بيانات مرصد هاواى، الذى يمثل موقعاً جيداً لمثل هذه القياسات لوجوده وسط كتلة جيدة التقليب من هواء المحيط الهادى بعيدة عن أنشطة الإنسان الصناعية. كما أظهرت الدراسات أن كمية

CO_2 التى تم إطلاقها إلى الهواء الجوى منذ اكتشاف الوقود الحفرى والبترول والغاز الطبيعى حوالى ٢٨% من المحتوى الحالى للغاز فى الهواء الجوى. وهذه الكمية كافية بالتأكيد لتعليل الزيادة فى تركيز الغاز والتى تم قياسها فى المراصد المختلفة. ومن ناحية أخرى تساعد عمليات احتراق الوقود المختلفة خاصة الوقود الحفرى وإزالة الغابات وحرق الترسيبات العضوية وتجفيف المستنقعات وحرث الأراضى البرية فى إطلاق كميات كبيرة من غاز CO_2 كانت مختزنة فى تلك النظم البيئية. ورغم أنه عادة ما يتم موازنة ما يطلق من غاز CO_2 بسبب هذه العمليات مع ما يستخدم بواسطة النباتات حديثة النمو إلا أن المناشط الحديثة للإنسان فى هذا المجال جعل إزالة النموات النباتية يتم بمعدلات أسرع من معدلات استبدالها بأخرى.



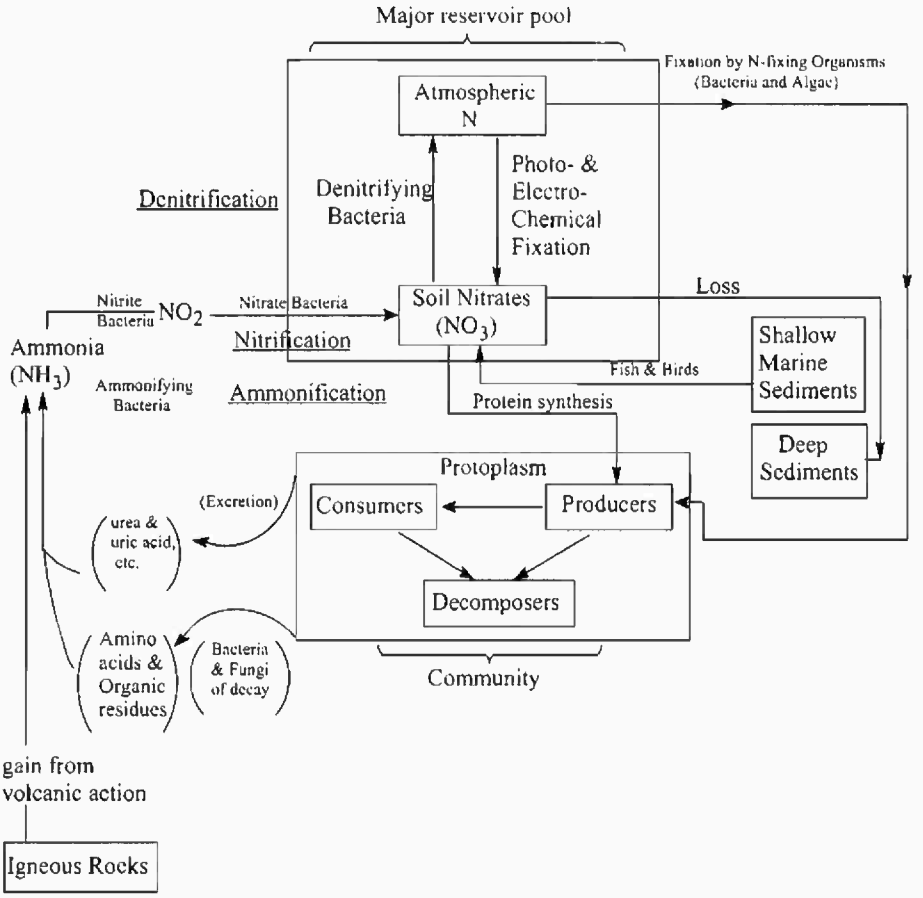
شكل (١٣). دورة الكربون.

دورة النيتروجين (Nitrogen cycle):

يوجد الجزء الرئيسى من النيتروجين فى الشكل الغازى حيث يصل حجمه إلى حوالى ٧٩% من حجم غازات الهواء. وهذا المخزون الكبير من النيتروجين الجزيئى فى الجو غير متاح لمعظم الكائنات الحية. بينما يمثل الجزء القليل من النيتروجين المثبت فى صورة تركيب غير عضوى من النترات (NO_3) فى التربة وماء المحيطات الشكل الأساسى الذى يمكن أن تستخدمه الكائنات الحية فى النظم البيئية.

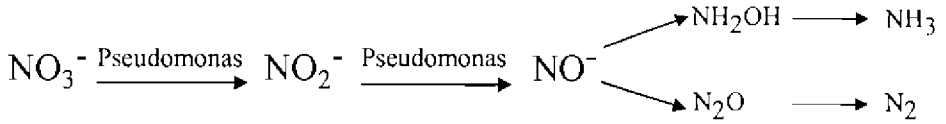
يتم تحويل النيتروجين الجوى إلى نترات ثابتة تركيبياً أثناء العواصف الرعدية أو بواسطة التثبيت البيولوجى للنيتروجين الجوى فى النظم البيئية. بينما يعود النيتروجين إلى الهواء الجوى مرة أخرى عن طريق نشاط بعض أنواع البكتريا التى تستخدم النترات كمستقبلات للهيدروجين أثناء عملية أكسدة المادة العضوية التى تقوم بها للحصول على الطاقة اللازمة لحياتها (شكل ١٤). ولهذا فإن الكائنات الحية تلعب دوراً كبيراً فى حفظ توازن النيتروجين فى الهواء الجوى. وعموماً لا تحتوى الأنسجة الحية على أكثر من ٣% من مجموع النيتروجين المتاح للنظام البيئى، حيث تقوم الكائنات بعمليات الأيض النيتروجينى لنسبة أقل من ١% من مجموع النيتروجين المستخدم فى دورته الطبيعية. ولهذا يصل معدل التحول (Turnover rate) للنيتروجين إلى ما يزيد عن ١٠٠ سنة.

تمر عملية التكسير والتحلل الأحيائى للمركبات النيتروجينية العضوية إلى أشكالها غير العضوية بخطوات عديدة ومتلاحقة، وتقتصر بعض هذه الخطوات على وجود أنواع متخصصة من الكائنات الدقيقة (من البكتريا) لإتمامها وصولاً إلى تركيب النترات. توجد ثلاثة تفاعلات أساسية فى دورة النيتروجين هى إطلاق النيتروجين (التأزوت) والتثبيت والتحلل.



شكل (١٤). دورة النيتروجين.

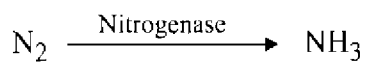
أ ــ إطلاق النيتروجين (التأزوت: Denitrification): تعتبر عملية مقابلة للتنفس ولكن تحت ظروف لاهوائية (Anaerobic) حيث تقوم البكتريا المتخصصة باستخدام النترات (NO_3) كمصدر للأكسجين بديلاً عن تركيبه الجزيئى المحمول جواً. وينتج عن هذه العملية إطلاق الطاقة التى تستخدمها هذه الكائنات فى عملياتها الحيوية. تتميز هذه العملية بنفس كفاءة عملية التنفس إلا أنها تقتصر على البكتريا غير الهوائية من النوع *Pseudomonas denitrificans*، إلى جانب بعض بكتريا الكبريت اللاهوائية.



يوجد فى النظم المائية أيضاً أنواع متخصصة من البكتريا تستخدم النترات التى فى القيعان لاستقبال الهيدروجين (عملية اختزال) وإطلاق الأكسجين بحيث يصبح متاحاً لتنفسها فى وسط معيشتها اللاهوائى.

ب ــ التمثيل أو التثبيت (Assimilation or fixation). تمثل عملية اقتناص وتثبيت النيتروجين الجوى الجزيئيى على شكل مركبات نترات متاحة للإستخدام من خلال عمليات تحتاج إلى الكثير من العمل الكيميائى. كما تحتاج هذه العملية إلى كمية كبيرة من الطاقة يتم الحصول عليها فى الهواء الجوى من طاقة البرق خلال العواصف الرعدية، ويعقبها عدة عمليات يتحول فيها النيتروجين إلى أكاسيد النيتروجين والتى تتحول إلى حمض نيتريك فى وجود الرطوبة الجوية، والذى يسقط مع الأمطار ويتفاعل مع العناصر المعدنية فى التربة معطياً نترات تضاف إلى النظم البيئية. وهذا القدر من النترات غالباً ما يكون صغيراً وذا أهمية قليلة فى الوفاء باحتياجات هذه النظم، وفى المقابل تعد عملية التثبيت الحيوى للنيتروجين الجوى هى أساس إمداد تلك النظم باحتياجاتها من النترات.

يتم الحصول على كمية الطاقة المرتفعة لإتمام تنشيط النيتروجين أيذاناً ببدء تثبيته أحيائياً من أكسدة المادة العضوية باستخدام إنزيم النيتروجينيز (Nitrogenase)، ويتبع ذلك ربط الناتج بالهيدروجين لإنتاج أمونيا تذوب فى الماء وتصبح متاحة فى العمليات الأيضية الخاصة بالبكتريا والنباتات.



ولهذا يتم فى النباتات البقولية على سبيل المثال (تمتلك خاصية تكوين العقد الجذرية البكتيرية) إمداد البكتريا المثبتة للنيتروجين بحاجاتها من المواد السكرية لإنتاج الطاقة اللازمة فى إجراء هذه العملية، وفى المقابل تحصل تلك النباتات على حاجاتها من النترات مما تنتجه بكتريا العقد الجذرية المصاحبة لها. وفى الحقيقة تستهلك النباتات فى الحصول على النترات من البكتريا قدراً كبيراً من الطاقة أكبر مما لو كانت تقوم بعملية تثبيت النيتروجين ذاتياً، وربما يرجع ذلك إلى ما تقوم به هذه النباتات من امتصاص النترات من التربة مباشرة فى حالة استخدام المخصبات الزراعية النيتروجينية بديلاً عما يمكن أن تنتجه لها بكتريا العقد الجذرية المصاحبة.

يوجد عدد محدود نسبياً من أنواع الكائنات الحية التى يمكنها تثبيت النيتروجين الجوى، إلا أن أعداد هذه الأفراد عادة ما يكون كبيراً ومنتشراً. ومن هذه الأنواع البكتريا المثبتة للنيتروجين (الحرة والتكافلية) والطحالب الخضراء المزرقة، ومن البكتريا التى تعيش حرة الأنواع الهوائية التابعة لجنس أزوتوباكتر (*Azotobacter*)، الأنواع اللاهوائية التابعة لجنس كلوستريديوم (*Clostridium*). أما البكتريا التكافلية فيمثلها أنواع الجنس ريزوبيوم (*Rhizobium*)، ومن الطحالب الخضراء المزرقة (Cyanobacteria) أنواع للأجناس أنابينا (*Anabaena*) ونوستوك (*Nostoc*)، هذا إلى جانب بعض أنواع أخرى منها بكتيرات قرمزية (*Rhodospirillum*) وأكتينوميسيتات (Actinomycetes).

جـ ـ تحْلل مركبات النيتروجين العضوى. تمثل سلسلة من التفاعلات التى تتم فى النظم البيئية متضمنة تحويل مكونات المواد العضوية الميتة إلى أمونيا ثم إلى مركبات نيتريت ونترات، وهىعملية مكملة لتحلل المادة العضوية ويصاحبها إطلاق كمية من الطاقة الحرة مع كل خطوة من خطوات التحول، وتستطيع

بعض أنواع الكائنات الحية الدقيقة استخدام هذه الطاقة فى عملياتها الأيضية، وبالتالى يصاحب كل خطوة من هذه التفاعلات نوع متخصص من البكتريا تقوم باستغلال هذه الطاقة. ويتضمن تحلل مركبات النيتروجين العضوى عمليتى التحول إلى أمونيا (Ammonification) والنترتة (Nitrification)، وتبدأ هذه العمليات من مركبات نيتروجينية عضوية، مثل الأحماض الأمينية (Amino acids)، يتم تحولها إلى أمونيا أولاً ويعقب ذلك أكسدة إضافية للأمونيا بعملية النترتة لينتج كمية إضافية من الطاقة. تقوم بهذه العملية أنواع متخصصة من البكتريا مثل النيتروزوموناس (*Nitrosomonas*) التى تقوم بتحويل الأمونيا إلى نيتريت، والنيتروباكتر (*Nitrobacter*) التى تقوم بتحويل النيتريت إلى نترات، وفى الحالتين تحصل تلك الكائنات على حاجتها من الطاقة اللازمة لحياتها كناتج من تلك العمليات:

$$NH_4^+ + O_2 + H^+ + 2\,e^- \xrightarrow{\text{Nitrosomonas}} NH_2OH + H_2O$$

$$NH_2OH + H_2O \xrightarrow{\text{Nitrosomonas}} NO_2^- + 5\,H^+ + e^-$$

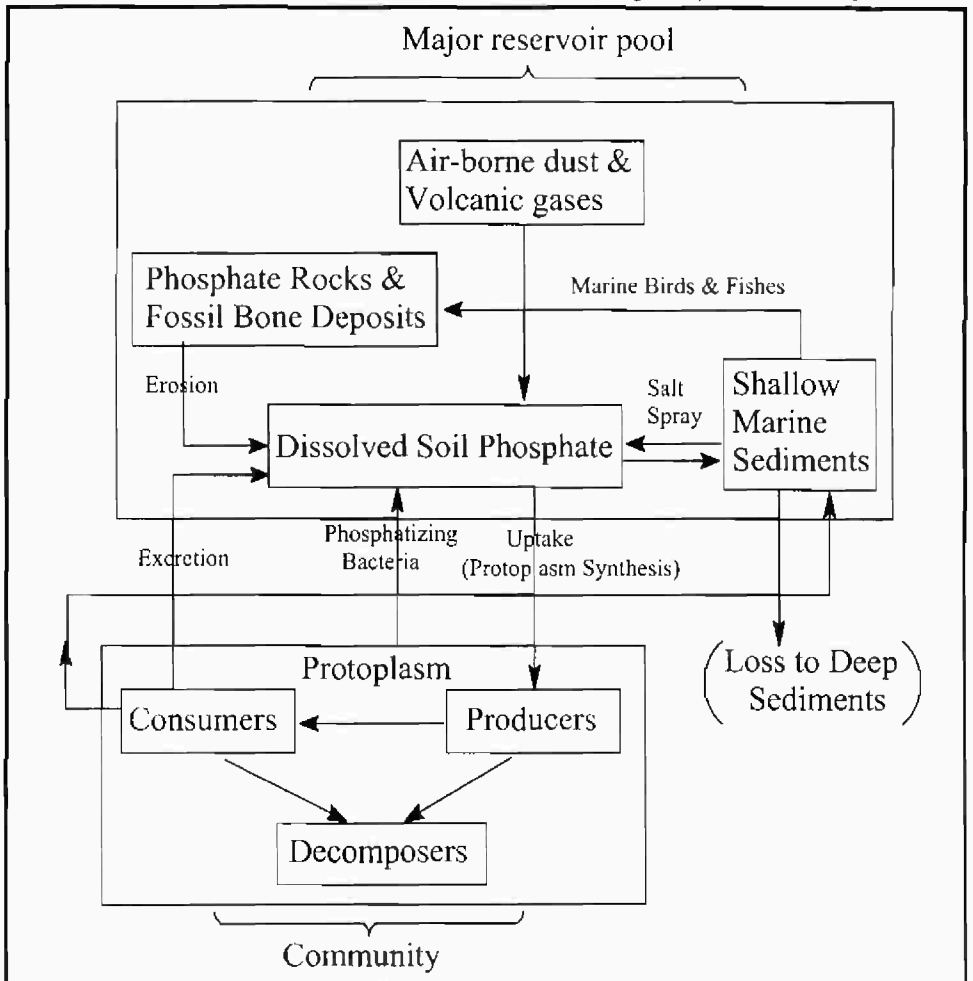
$$NO_2^- + H_2O \xrightarrow{\text{Nitrobacter}} H_2O.NO_2^- \xrightarrow{\text{Nitrobacter}} NO_3^- + 2\,H$$

أصبح للإنسان دور كبير فى التأثير على التوزيع الطبيعى للنيتروجين بسبب تزايد المضاف منها إلى التربة على شكل مخصبات نيتروجينية صناعية، والمنصرف إلى الماء، إلى جانب تصاعد غازات أكاسيد النيتروجين (نواتج احتراق الوقود وبعض عمليات الصناعة) إلى الجو بما لها من تأثير ملوث للهواء النقى، وفى تكوين الرذاذ الحمضى (Acid spray).

دورة الفوسفور (Phosphorus cycle):

يمثل الفوسفور عنصراً هاماً لنمو الكائنات الحية وعمليات التمثيل الغذائى بها. ويوجد المخزون الرئيسى للفوسفور على شكل صخور فوسفاتية تكونت فى العصور الجيولوجية القديمة، ويتم إطلاقه فى النظام البيئى بواسطة عمليات التعرية التدريجية لهذه الصخور إلى جانب ما ينطلق من خلال الغازات البركانية كمصدر إضافى غير رئيسى للعنصر. وعادة يجرف جزء كبير من هذا العنصر إلى البحار والمحيطات مع ماء الجريان السطحى (Run-off) حيث يعاد ترسيب جزء منه فى الترسيبات الضحلة للشواطئ، بينما يذهب قدر كبير إلى الترسيبات العميقة لهذه الأجسام المائية بعيداً عن متناول الدورة لفترة طويلة. كما يتم حجب جزء من الفوسفور أحيائياً عن الدورة بسبب استخدامه فى تكوين العظام والأسنان المقاومة للتحلل والتآكل لفترات طويلة نسبياً، إلا أن جزءاً من الفوسفور المزاح إلى البحار والمحيطات يتم إعادته إلى النظام البيئى مرة أخرى بواسطة انتقال الطيور والحيوانات البحرية بين المكونين ومن خلال إخراجاتها وبقاياها، وأيضاً عن طريق صيد الأسماك للإستهلاك الآدمى، واستخدام الطحالب والأسماك الزائدة فى تسميد الأرض فى بعض المناطق (شكل ١٥).

يلعب الأكسجين دوراً هاماً فى دورة الفوسفور حيث يتسبب وجوده بوفرة ذائباً فى الماء فى تكوين مركبات فوسفاتية غير قابلة للذوبان مما يؤدى إلى ترسبها وبعدها عن الإستخدام المباشر للكائنات الحية. وإذا استمرت هذه الظروف فإن الترسبات الفوسفاتية تتجمع لتعطى صخوراً فوسفاتية يمكن أن تعود مرة أخرى إلى مسارات دورة الفوسفور فى النظام البيئى عن طريق عملية التعرية، وفى الوقت الحاضر عن طريق التخصيب الصناعى للمحاصيل وإلقاء المنظفات فى مياه المجارى.



شكل (١٥). دورة الفوسفور.

تعتبر دورة الفوسفور أقل تعقيداً من دورة النيتروجين، ويرجع ذلك إلى أن تحول الفوسفور العضوى الموجود فى الدبال بالتربة والماء إلى الشكل العنصرى (غير العضوى) من خلال عمليات التمعدن (Mineralization) تتم فى خطوة واحدة بواسطة بكتريا الفسفرة (Phosphatizing bacteria)، والتى تعمل على المادة العضوية الموجودة بالتربة والماء. وحيث أن الفوسفور لا يُحْمَل طبيعياً فى الهواء بأى صورة من أشكاله، فإن دورة هذا العنصر ترتبط أساساً بالتربة والمكون المائى من النظام البيئى. وأحياناً تُحْمَل مركبات الفوسفور لفترات

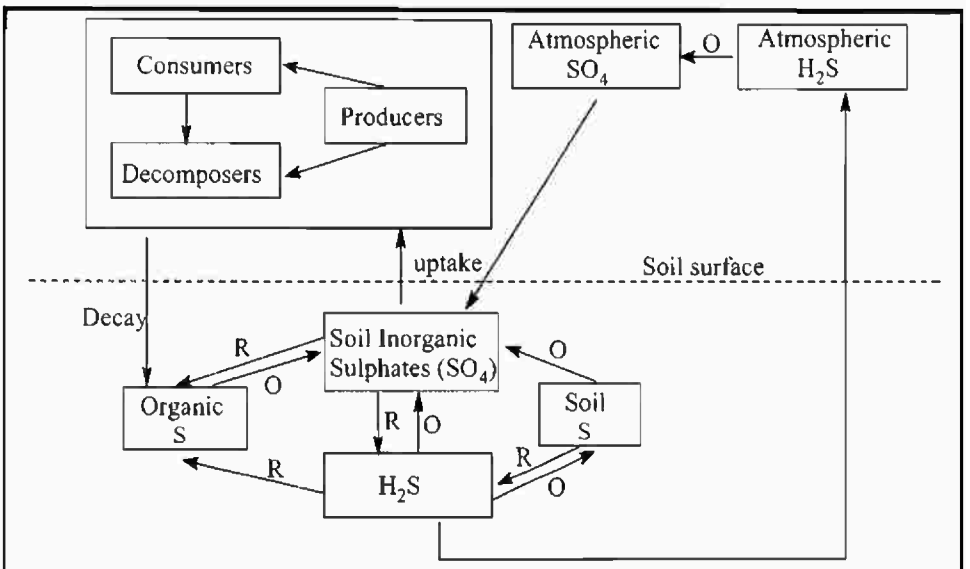
قصيرة فى الهواء المحيط بالبراكين النشطة على هيئة غبار فقط يتم ترسبه فوق التربة.

يتسبب الإنسان بمناشطه المختلفة فى الإسراع فى عملية فقد الفوسفور بعيداً عن متناول الدورة الطبيعية. فبالرغم من جمع الإنسان لجزء كبير من الفوسفور المزاح إلى ماء البحار والمحيطات عن طريق صيد الأسماك، إلا أنه يؤدى إلى فقد وإزاحة مخزونه عن طريق عمليات التنقيب واستخراج الصخور الفوسفاتية واستخدامها فى إنتاج السماد الذى يضيع جزء كبير منه إلى الماء الأرضى. بالرغم من أن الفوسفور يمثل أحد العناصر الغذائية التى تحتاجها الكائنات بكميات كبيرة نوعاً، إلا أن كمية المتاح منه ضئيل فى التربة، لذا يجب مراعاة إعادة ما يفقد منه فى البحار والمحيطات أو تعويضه بمصدر آخر (مثل التسميد الفوسفورى) بما يتناسب مع كمية الإزاحة حتى تحتفظ الدورة باتزانها الطبيعى.

دورة الكبريت (Sulfur cycle):

تمثل دورة الكبريت إحدى الدورات التى تظهر الروابط بين الهواء الجوى والكتل المائية الكبيرة والقشرة الأرضية بسبب وجود دورات نشطة للكبريت بين وداخل هذه المكونات. ومثال على ذلك وجود تفاعل مستمر بين العمليات الأرضية الكيميائية والمناخية من جهة (مثل التعرية والترسيب والإزاحة والأمطار) والعمليات الحيوية من جهة أخرى (مثل الإنتاج والتحلل) من خلال دورة الكبريت. ولهذا تعتمد المكونات الطبيعية للنظام البيئى من هواء وماء وتربة على بعضها البعض لتكمل دورها فى تنظيم دورة الكبريت على النطاق العالمى. هذا إلى جانب وضوح الدور الذى تلعبه الكائنات الدقيقة فى هذه الدورة، حيث تقوم كائنات دقيقة متخصصة بدور أساسى فى الجزء الدورانى السريع (المكون الحر) من الكبريت وعلى شكل حلقة متصلة من العمليات التى

تقوم هذه الكائنات فيها بعملية أكسدة أو اختزال كيميائى (شكل ١٦). تعد عملية الأكسدة والإختزال المصاحبة لدورة الكبريت مرتبطة بالعلاقة المتبادلة بين اليابسة والبحار والترسيبات المختلفة. ويتم استرداد جزء كبير من الكبريت الموجود فى البحار إلى اليابسة عن طريق الهواء الجوى نتيجة للعمليات الحيوية التى تقوم بها البكتريا عند قيعان البحار وإطلاقها غاز كبريتيد الهيدروجين (H_2S) إلى الهواء الجوى.



شكل (١٦). دورة الكبريت.

يوجد المخزون الرئيسى للكبريت فى التربة خاصة فى الصخور الرسوبية فى أعماق التربة، بينما يوجد منه مخزون صغير محمولاً فى الغلاف الجوى. ينتج عن عملية أكسدة مركبات الكبريتيد وغازات الكبريت المنطلقة من البراكين كمية من الكبريتات (SO_4) الثابتة التركيب، والقابلة للذوبان والدوران فى النظم البيئية المختلفة مع استخدامات الكائنات الحية لها (الشكل المتاح من الكبريت لاستخدام الكائنات الحية هو الكبريتات). كما تزاح الكبريتات الذائبة فى الماء من النظم الأرضية عن طريق القنوات والأنهار إلى البحار لترسب على قيعانها،

حيث تقوم أنواع متخصصة من البكتريا اللاهوائية مختزلة الكبريتات بنزع الأكسجين من المركب واستخدامه فى تنفسها. ومن أمثلة الأنواع التى تقوم بذلك سبوروفيبريو (Sporovibrio) والتى تعيش فى المناطق عديمة الأكسجين مثل طين قيعان المستنقعات والبحيرات والمناطق الشاطئية الغنية بالمادة العضوية.

$$H_2S \underset{\text{لاهوائى Sporovibrio}}{\overset{\text{هوائى Thiobacillus}}{\rightleftharpoons}} SO_4$$

تحتاج الكائنات الحية لكميات قليلة نسبياً من الكبريت مقارنة بالنيتروجين والفوسفور حيث لا يعتبر عاملاً محدداً لبقاء أو نمو هذه الكائنات. ومن جهة أخرى قد يؤثر الكبريت فى مدى إتاحة بعض العناصر الأخرى للكائنات، فعلى سبيل المثال يتسبب وجود بعض مركبات الكبريت، مثل كبريتيد الحديدوز، فى تحويل الفوسفور فى التربة من شكل غير ذائب إلى الشكل القابل للذوبان مما يزيد من الكمية المتاحة من الفوسفور للكائنات الحية.

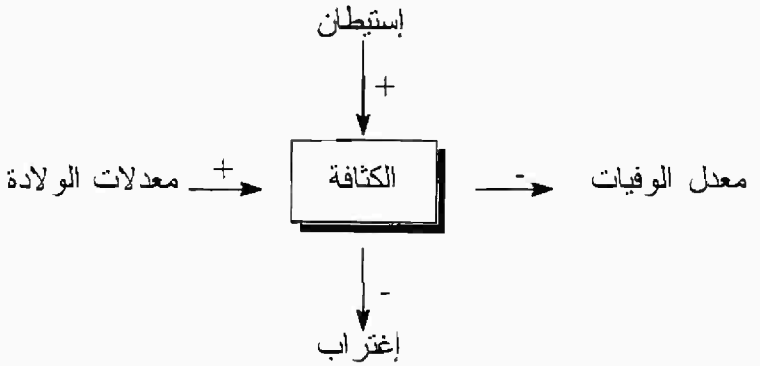
يتسبب إحراق الوقود الحفرى من فحم وبترول فى إطلاق غاز أكسيد الكبريت (SO_2) السام إلى الجو، مما يؤثر وبشكل حاد على الكائنات الحية فى النظم البيئية المحيطة بمصادر تلك العملية. هذا إلى جانب حدوث تفاعل بين هذا الغاز وبخار الماء المحمول جواً ينتج عنه تكوين حمض كبريتيك (H_2SO_4) مخفف يسقط على اليابسة والمسطحات المائية فى بعض المناطق الصناعية على هيئة مطر حمضى (Acid rain) يتسبب فى كثير من الأضرار لمكونات النظم البيئية الحية وغير الحية.

١ التغيرات الزمنية فى النظام البيئى

التغيرات الزمنية على مستوى الجماعة

مفهوم الجماعة (Population concept) :

تُعد الجماعة اللبنة الأساسية فى علم البيئة حيث تكوّن المجتمعات ومن ثم النظم البيئية. وتعّرف على انها مجموعة من أفراد أحياء تتبع نوع واحد وتعمل داخل إطار واحد من حيث الزمان والمكان على حد سواء، وهذه الأفراد تتفاعل فيما بينها وتنشئ علاقات وتداخلات حيوية تنظم نموها وتكاثرها وانتشارها، وهكذا نتحدث عن جماعة الفئران فى حقل زراعى وعن جماعة العصافير فى غابة وعن جماعة نباتات الأوركيد. وعند الدراسة الأولية للجماعات الحياتية يكون من المفيد التعرف على خواص معينة للجماعات تميزها عن باقى حلقات الطيف البيولوجى فنرى أن لها تنظيم تركيبى ووحدة وظيفية وطراز من النمو تختلف بموجبه الجماعات بعضها عن البعض، ويكون تركيب الجماعة قابلاً للتجديد من حيث أعداد الأفراد والكثافة والإنتشار المكانى والمجاميع العمرية والنسب الجنسية وتنظيم التوالد. كما ويكون تركيب الجماعة محدد من حيث معدلات الولادة والوفيات والتغيرات من خلال الهجرة أو الإستيطان. ويعتبر العلماء المعايير الرئيسية التى تتحكم فى كثافة الجماعات السكانية هى معدلات الولادة (Natality)، والوفيات (Mortality)، والإستيطان (الهجرة للداخل: Immigration) والإغتراب (الهجرة للخارج :Emigration).



معدل التوالد (Natality):

يؤدى التوالد إلى زيادة أحجام الجماعات، ويقصد به إنتاج أفراد جديدة بطرق عدة مثل الولادة والفقس فى الحيوانات، والإنبات فى النباتات، والإنشطار فى الكائنات الدقيقة. يرتبط بنسبة المواليد مفهومين أولهما السعة التكاثرية المدخرة (Fecundity) وهى صفة فسيولوجية تدل على القدرة التكاثرية المدخرة لكائن ما، وثانيهما الكفاءة التكاثرية الفعلية (Fertility) وتقاس على أساس عدد أفراد الذرية فى زمن محدد لكائن ما. وهناك ما يسمى بمعدل التوالد الحقيقى أو البيئى (Realized or ecological natality) فمثلاً يمكن أن يكون معدل التوالد الحقيقى للإنسان فى بلد ما هو ولادة واحدة كل ثمانية سنين لكل أنثى خلال فترة الخصوبة (يختلف هذا الرقم اعتماداً على عادات الجماعات البشرية)، أما معدل التوالد المدخر أو الفسيولوجى (Potential or physiological natality) فهو ولادة كل ٩ ــ ١١ شهر لكل أنثى خلال فترة الخصوبة. ويقدر معدل التوالد عن طريق حساب عدد الأفراد المولودة لكل أنثى فى وحدة زمن معينة، ويعتمد هذا القياس على نوع الكائن المراد دراسته، فبعض الأنواع تتوالد مرة واحدة فى السنة وبعضها مرات عديدة والبعض الآخر يتوالد بشكل مستمر.

معدل الوفيات (Mortality):

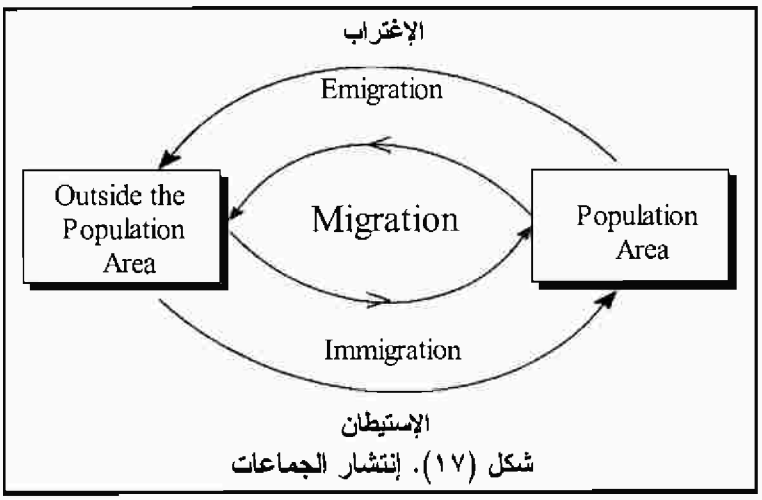
نظراً لاختلاف أسباب الوفيات فإن هناك ما يسمى بالعمر المدخر أو الفسيولوجى (Potential or physiological longivity) وهو عمر الكائن الحى المتوقع تحت ظروف بيئية مثالية، والذى ينتهى بالشيخوخة (Senescence). أما العمر الحقيقى أو البيئى (Realized or ecological longivity) فتؤثر فيه ظروف بيئية كثيرة منها الإفتراس والأمراض وأخطار بيئية أخرى، وبالتالى ينتهى عمر الفرد قبل أن يتقدم عمره ويصل للشيخوخة. وعلى سبيل المثال فإن العمر المتوقع لنوع من الطيور المغنية آكلة الحشرات (European robin) فى بيئته الطبيعية هو سنة واحدة فقط، ولكن تحت ظروف مثالية فى المختبر يمكن أن يصل العمر إلى ١١ سنة. وهناك مقياس مباشر لاحتساب معدل الوفيات بطريقة مباشرة عن طريق وضع علامات لمجموعة من الأفراد وملاحظة كم يعيش منها على مدى فترة زمنية محددة. والطرق غير المباشرة كثيرة فمثلاً إذا عرفنا الوفرة النسبية للفئات العمرية المتتابعة فى جماعة ما يمكن احتساب معدل الوفيات بين هذه الفئات كما يلى:

$$\text{معدل البقاء للفئة العمرية بين ٢ ـ ٣ سنة (مثلا)} = \frac{\text{الوفرة النسبية للكائن بعمر ٣ سنوات}}{\text{الوفرة النسبية للكائن بعمر سنتين}}$$

الهجرة (Migration) :

يعبر عنها بانتشار الجماعات (Dispersal) وتشمل الإستيطان (Immigration) أى الهجرة إلى داخل الجماعة البيئية، والإغتراب (Emigration) وتمثل الهجرة إلى خارج الجماعة البيئية (شكل ١٧). وغالباً لاتؤخذ الهجرة فى الحُسبان عند دراسة ديناميكية الجماعات على اعتبار أن معدل الإغتراب فى كثير من الأحيان يساوى معدل الإستيطان. ومن ناحية بيئية تعد هذه الظاهرة

هامة جداً لسببين أولهما، انها تقلل من التزاوج الداخلى (Inbreeding) وثانيهما أنها تزيد من نسبة إنسياب المورثات (Gene flow) فتسمح بتغير الصفات (Variation) وإنتاج أفراد ملائمة للبيئة. وقد تكون ظاهرة الهجرة ذات أهمية لبعض الجماعات وذلك عندما تكون محصلة الهجرة تميل نحو الإغتراب أو الإستيطان، مما قد يغير من معايير هذه الجماعات، ويكون هذا عادة تحت ظروف اعتيادية للجماعة المستوردة أو الجماعة المُصدرة.



شكل (١٧). إنتشار الجماعات

وبصورة عامة عند احتساب حجم الجماعة يجب أن يؤخذ بالحسبان معدل النقص (Loss rate) ومعدل الزيادة :

معدل النقص فى الجماعة = نسبة الوفيات + نسبة الإغتراب

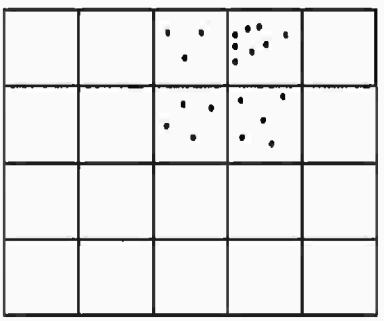
معدل الزيادة فى الجماعة = نسبة المواليد + نسبة الإستيطان

كثافة الجماعة (Population density) :

تعبر كثافة الجماعة عن العدد الكلى للأفراد التى تقطن منطقة معينة من المواطن البيئية لفترة زمنية معينة. وتعد الكثافة ذات أهمية بالنسبة لتوزيع وحجم

الجماعة، ففى جماعات عديدة تكون الحدود الدقيقة للجماعة غير معروفة وبالتالى يعبر عنها فقط بالكثافة.

وعلى الرغم من أن الأرقام التى تُعبر عن الكثافة تُعد ذات قيمة من حيث أنها تعطى دليلا عن حجم جماعة ما إلا أن هذه الأرقام لا تعطى صورة للطراز التوزيعى داخل الموطن. فمثلاً لنفرض أن لدينا منطقة بيئية قسمت إلى ٧ مربعات وهناك ١٨ فرداً من نوع ما فى هذه المربعات. عندئذٍ تكون النتيجة أن الكثافة هى ٣ أفراد لكل مربع، ولكن يمكن لجميع هذه الأفراد أن تتواجد فى مربع واحد، لذا يجب الربط هنا بين نتائج الكثافة والتكرار أو التردد (Frequency) لنحصل على فكرة أساسية عن العدد الكلى للأفراد بالإضافة إلى توزيعها بالنسبة لبقعة معينة. ونعنى بالتكرار بيئياً هو النسبة المئوية للبقع النموذجية التى يحتلها نوع معين بغض النظر عن عدد أفراده. ومن المهم هنا التمييز بين الكثافة الخام (Crude density) التى تعبر عن العدد الكلى للأفراد الموجودة فى المساحة الكلية، والكثافة التخصصية أو البيئية (Specific or ecological density) وتعبر عن عدد الأفراد فى المساحة المسكونة فقط (Utilized area). ويبين شكل (١٨) أن الكثافة الخام للجماعة هى فرد لكل وحدة مربعة، أما الكثافة البيئية فهى ٢٠ فردا تحتل ٤ وحدات مربعة (أى خمسة أفراد لكل وحدة مربعة).



شكل (١٨). عشرون فرداً فى منطقة بيئية مساحتها ٢٠ وحدة مربعة.

السعة الحملية (Carrying capacity) :

قد تصل جماعة أى نوع إلى الكثافة القصوى المعروفة بنقطة التشبع، وهى ثابتة، حتى لو زادت كمية الغذاء أو عدد أماكن المأوى. وغالباً ما يكون الوصول إلى نقطة التشبع فى أماكن التوالد حيث تحد المساحة الثابتة من عدد الأزواج المتناسلة القادرة على التوطن فى موطن بيئى معين. ويؤدى التزاحم الزائد للجماعات المحصورة فى المواطن البيئية الضيقة إلى تكوين نقطة تشبع، كما أنه قد يؤدى تحت ظروف متطرفة إلى الوحشية كأن تأكل الأم صغارها أو بيضها أو يرقاتها.

تعرف السعة الحملية على أنها العدد الكلى للأفراد التابعة لنوع ما والتى تعيش فى موطن بيئى تحت ظروف معينة. وإذا تغيرت هذه الظروف، إما بالسلب أو الإيجاب، فإن السعة سوف تتغير تبعاً لذلك بالنقصان أو الزيادة على التوالى. فإذا تغيرت المنطقة بالإتجاه الأحسن مثل تحسن المأوى وزيادة الغذاء وزيادة مناطق التوالد للجماعات تزداد السعة الحملية إلى أن تصل إلى نقطة لا يمكن أن تتغير بعدها. وتتغير السعة الحملية مع مرور الوقت نظراً لأن التغيرات الموسمية تُغير الوسط المحيط من ناحية توفر الطعام والمأوى وغير ذلك، فمثلاً إذا أخذنا فى الحسبان دورة حياة إحدى الحشرات من العث وكان الطور اليرقى يتغذى على الأوراق النباتية فإن السعة الحملية تتحدد هنا بكمية الأوراق الخضراء، وفى أطوار أخرى حيث تتغذى على الأزهار فإن السعة تتحدد بكمية الأزهار الموجودة فى الموقع وهكذا. وعموماً تؤدى الزيادة العددية المضطردة إلى خفض الكثافة لعدة أسباب منها:

- **التنافس**، حيث يصبح حاداً وخصوصاً على الطعام والمأوى والفراغ والتزاوج مما يؤدى إلى موت الأفراد الضعيفة فى الجماعة.

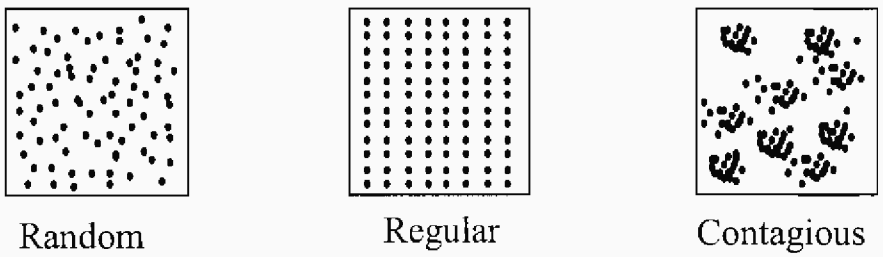
- **الافتراس**، حيث يصبح أكثر شدة نظراً لزيادة أعداد الفريسة وسهولة الحصول عليها مما يؤدى إلى زيادة السعة الحملية للكائن المفترس إلى أن تنقص جماعة الفريسة فى الحجم.
- **الأمراض والتطفل**، حيث تكون الفرصة مواتية نظراً لزيادة وازدحام الكائنات العائلة مما يؤدى إلى نقص فى الكثافة.

أما النقص العددى فيؤدى فى أغلب الأحيان إلى زيادة الكثافة بسبب توفير الغذاء والمأوى والفراغ والتزاوج، ويحدث هذا عادة فى الكائنات الإنفرادية (Solitary organisms). أما بالنسبة للكائنات الإجتماعية (Social organisms) فإن النقص العددى يؤدى إلى تراجع أو تدمير للكثافة، حيث يعد السلوك الإجتماعى لبعض الأنواع عاملاً بيئياً ضرورياً يجب المحافظة عليه لبقاء الجماعة. فنحل العسل المعروف (*Apis mellifera*) يحتفظ بدرجة حرارة ثابتة داخل الخلية عن طريق قيام بعض الأفراد بتحريك أجنحتها فى الصيف لتبريد الخلية، وتتجمع حول بعضها فى الشتاء لتوفير الدفء، وبالتالى فإن الحفاظ على درجة حرارة ثابتة يتم عن طريق الحفاظ على مستوى عددى معين داخل الخلية.

وعندما تتعدى الجماعات فى نقصها نقطة معينة فإنها قد تنقرض فى منطقة ما لفترة من الزمن ويعتمد تواجدها مرة أخرى على مقدرتها على العودة من مناطق أخرى مجاورة أو حين يقوم الإنسان بنقل أفراد قليلة من نقاط بعيدة (كما حصل لبقر المها العربى ولحيوانات أخرى). وبصورة عامة تكون الأنواع الإجتماعية التى تنتقل عادة على هيئة أسراب أو قطعان أو تحافظ على وجودها بشكل خلايا أو مستعمرات هى التى تتأثر (من ناحية التناسل) بالتعداد الجماعى المنخفض. وقد وجد أن بعض الثدييات مثل فأر الحقل تصبح عقيمة عندما تكون فى جماعات صغيرة نتيجة لزيادة التزاوج الداخلى. ويعتبر هذا العامل أيضاً من العوامل التى تحد من حجم الجماعة وقد تؤدى إلى انقراضها.

التوزيع الموضعى للجماعة (Local distribution) :

يعتبر التوزيع الموضعى للأفراد ضمن الجماعة عاملاً مهماً بالنسبة لحجم الجماعة وكثافتها، ويرتبط التوزيع المكانى بسلوك الكائنات الحية، ويمكن تحديده لجماعة ما فى منطقة معينة بطرق عدة منها رسم خارطة، حيث تقسم المنطقة إلى وحدات مربعة ويحدد تواجد أفراد الجماعة فى المنطقة على خارطة لها مقياس رسم يمثل أبعاد هذه المنطقة (بالملليمترات أو الميكرونات فى حالة الكائنات المجهرية، بوصات أو أقدام فى حالة اللافقاريات، أميال فى حالة الطيور والثدييات، ومئات الأميال فى حالة الحيتان). يتخذ توزيع الإفراد داخل الجماعات ثلاثة أنماط هى التوزيع العشوائى والمنتظم والكتلى (شكل ١٩):



شكل (١٩). التوزيع الموضعى للجماعة

١ ــ **التوزيع العشوائى (Random distribution)**. يحدث بشكل نادر فى الطبيعة، ويمكن حدوثه فقط عندما يكون الموطن البيئى متماثل من حيث الموارد الطبيعية التى تهم الكائن الحى وفى نفس الوقت عدم ميل الأفراد للتجمع.

٢ ــ **التوزيع المنتظم (Regular distribution)**. حيث تترتب الأفراد بنمط منتظم يكفل أقل تنافس ممكن. ينتج هذا من شدة التنافس فى موارد الموطن البيئى الطبيعى. ونراها بشكل واضح فى بعض النباتات الصحراوية حيث تفرز

بعض الأنواع مواد كيميائية تعرف بالمواد المثبطة (Allelopathic substances) تمنع اقتراب نوع آخر من أجل استغلال افضل للموارد القليلة المتاحة.

٣ ــ **التوزيع الكتلى (Contagious distribution)**. حيث تتجمع الأفـــراد على شكل تكتلات وقد تكون هذه التكتلات موزعة عشوائياً أو منتظمة أو تتحيز فى منطقة معينة على شكل تجمعات، والذى يقرر ذلك هو السلوك المتبـع بيـن الأفراد داخل التكتل من جهة، وعلاقة التكتلات مع بعضها من جهة أخرى. تنتج هذه التكتلات عادة عن علاقات زوجية وعائلية بين الأفراد كأن يحتفـظ الذكـر بأنثاه وصغاره فى بقعة معينة من الموطن البيئى. وإذا كان هناك تنـافس علـى مورد طبيعى معين بين التكتلات المختلفة، ينتج ما يسمى بالتكتل المنظـم، أمـا إذا كان هناك تماثل بالموارد الطبيعية فى جميع بقع الموطن البيئى ينتج ما يسـمى بالتكتل العشوائى وهذا نادراً ما يحدث لعدم وجود التمـاثل البيئـى التـام فـى المواطن البيئية. ونستنتج مما سبق أن التكتل فى التوزيع الموضعى ينتـج عـن سببين رئيسيين هما:

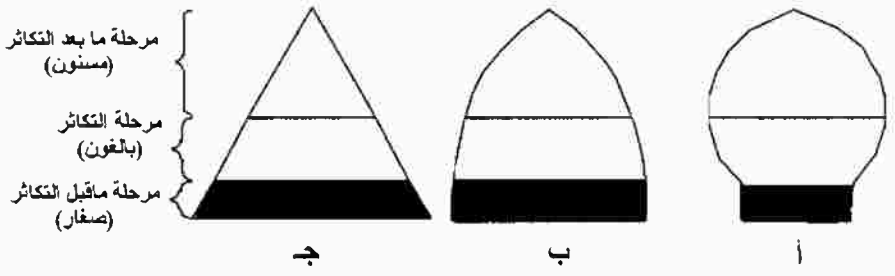
١ ــ عدم تجانس البيئة من حيث توزيع الغذاء أو المأوى كأن يتجمع النمل فـى مناطق معينة حول بقايا محاصيل الحبوب.

٢ ــ السلوك الاجتماعى للنوع، فالنباتات الريزومية وقطعان السمك وأسـراب الطيور وقطعان الثدييات جميعها تتكتل تبعاً للسلوك الاجتماعى. ويمكـن القول أن معظم الحيوانات والعديد من النباتات فى البيئة الطبيعية تظـهر طراز التكتلات أو اللاعشوائية فى التوزيع.

التركيب العمرى (Age structure) :

يعرف التركيب العمرى للجماعة على أنه نسبة الفئات العمريـة المختلفـة بالنسبة لبعضها ضمن الجماعة ككل. ويتم رسم أشكال تمثل التركيب العمـرى

بحيث تبين العلاقة بين النسبة المئوية للجماعة و الفئة العمرية التى تناسبها. ويمكن ان يبين الشكل أيضاً النسبة المئوية للذكور والإناث. يمثل التركيب العمرى صفة هامة من صفات الجماعات وهو يؤثر بشكل كبير على معدلات التوالد والوفيات. ولهذا فإن النسبة بين مختلف المراتب العمرية (على سبيل المثال القديم والأوسط والحديث) فى الجماعة يمكن استخدامها فى الإستدلال على صفات هامة منها تحديد الحالة التكاثرية الراهنة للجماعة (قدرة الجماعة على إنتاج أفراد جديدة)، إستقراء مستقبل الجماعة حيث يدل وجود أعداد كبيرة من الأفراد حديثة العمر على أن الجماعة متزايدة وذات نمو سريع (Rapidly expanding). على الجانب الآخر يدل التوازن بين نسب توزيع الأفراد فى المراتب العمرية المختلفة على الثبات التقريبى للجماعة (Stationary)، أما وجود نسبة مرتفعة من الأفراد المسنة فيدل على أن الجماعة معرضة للتناقص والفناء (Declining). يرمز إلى التركيب العمرى للجماعة بثلاثة مراحل بيئية أساسية (شكل ٢٠): مرحلة ما قبل التكاثر (Prereproductive)، ومرحلة التكاثر (Reproductive)، ومرحلة ما بعد التكاثر (Postreproductive). ويمكن للجماعة أن تتعرض لتغيرات فى التركيب العمرى، فإذا ما حدث ذلك بزيادة معدل التوالد أو الوفيات، فإنه غالباً ما يتبعه عودة تلقائية إلى شكل التوزيع العمرى المميز لهذه الجماعة.



شكل (٢٠). مخطط افتراضى للمراحل العمرية الثلاثة (أ) عدد الأفراد فى تناقص، (ب) عدد الأفراد ثابت تقريباً، (جـ) عدد الأفراد فى تزايد.

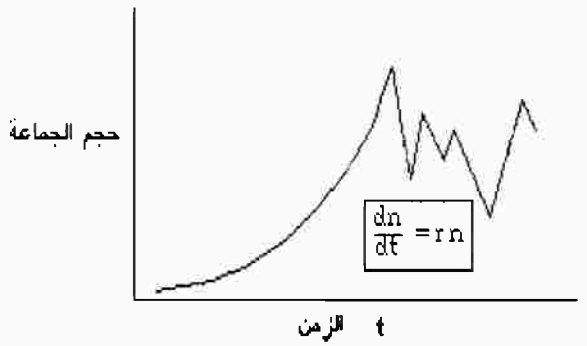
نمو الجماعات (Population growth):

تمتاز الجماعات بأنها كياناً ثابتاً فعند أى نقطة زمنية تمارس الجماعات نمواً واتساعاً أو انحداراً وتقلصاً، وجميع الكائنات الحية لها القدرة على نمو جماعى محسوس. وعادة ما يظهر النمو فى الكائنات الحية على شكل زيادات رياضية أسية وخصوصاً فى المراحل الأولى من نمو الجماعات. وتعرف الزيادة الأسية على أنها التضاعف العددى الإبتدائى (العدد الأساسى) تبعاً للنسبة التى يدل عليها الأس. ومن الواضح أن النمو الأسى لا يمكن أن يستمر لفترة طويلة فسرعان ما تختلف ظروف التوالد تبعاً لظروف الوسط. ويعرف النموذج الذى يعبر عن نمو الجماعة بمنحنى نمو الجماعة (Population growth curve).

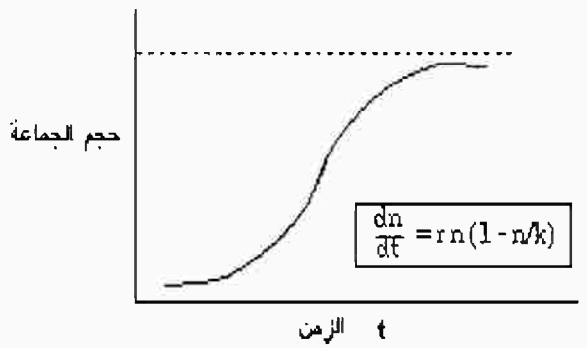
أدت الدراسات الكثيرة على نمو الجماعات النباتية والحيوانية إلى التعرف على طرازين للنمو هما (شكل ٢١):

١ ــ منحنى النمو الأسى (Exponential growth) الذى يسمى أحياناً منحنى شكل "J" أو منحنى النمو المالثوسى (Malthusian growth). يُعْبِر عن زيادة أسية فى المراحل المبكرة من النمو مع انحدار مفاجئ فى مرحلة متأخرة (يصور طوراً من النمو السريع يتعذر الإحتفاظ به).

٢ ــ منحنى النمو السيجمويدى (Sigmoid growth) الذى يسمى أحياناً منحنى شكل "S" أو منحنى النمو اللوجستيكى (Logistic growth). يُعْبِر عن طور من النمو البطيئ التدريجى فى المراحل المبكرة إلى أن يصل حداً أقصى ثم يقل تدريجياً وبشكل منتظم.



منحنى النمو الأسى (شكل J)



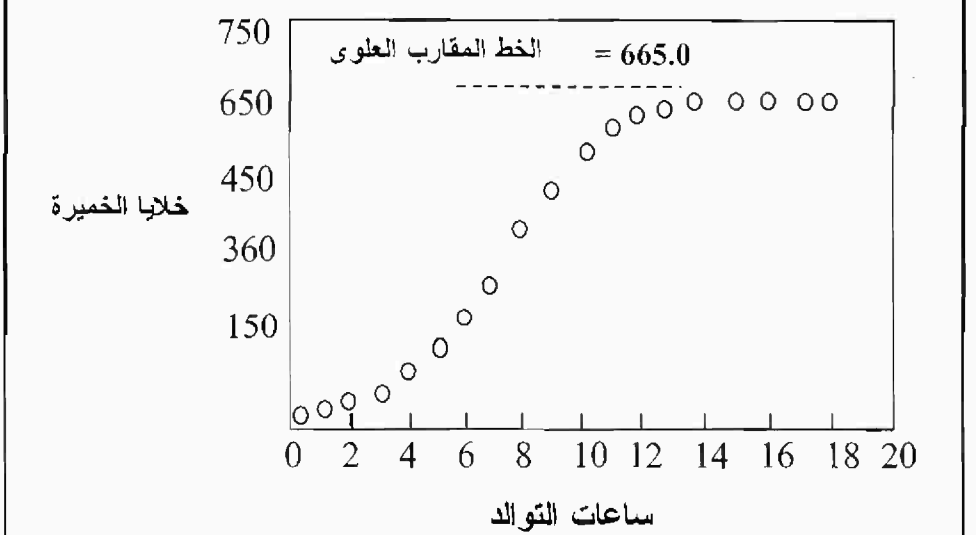
منحنى النمو السيجموىدى (شكل S)

(n = حجم الجماعة، t = الزمن، r = أعلى معدل زيادة، k = مستوى التشبع)

شكل (٢١). منحنى النمو الأسى ومنحنى النمو السيجموىدى.

ومما يجدر ملاحظته أن المنحنى السيجموىدى والمنحنى الأسى لا يختلفان فى المراحل الأولى لنمو الجماعة. فهما يُظهران بداية بطيئة تتبعها فترة نمو أسى أو هندسى. إلا أنهما يختلفان أساساً فى المراحل العليا أو المراحل المتحكمة بالنمو، فيتميز المنحنى الأسى على الأغلب بنمط سريع لنمو محدد، بينما يتميز المنحنى السيجموىدى بنمط منظم وتدريجى.

دلت الدراسات السابقة أن يقبل علماء الأحياء منحنى السيجمويدى ويعتبروه قانون نمو الجماعة، واستعمل للتنبؤ بالمستويات المستقبلية للجماعات الطبيعية والتجريبية عن طريق استخدام ما يسمى بالخط المقارب العلوى للمنحنى أو مستوى الجماعة العلوى (Asymptote) حيث يَثْبُتْ النمو تقريباً. ويسمى علماء البيئة مستوى الجماعة العلوى بالسعة الحملية (Carrying capacity) للمنطقة المدروسة، كما يلاحظ فى الشكل (٢٢)، حيث أن الخط المقارب العلوى لخلايا الخميرة يصل إلى ٦٦٥ خلية بعد حوالى ١٤ ساعة بعد التوالد :



شكل (٢٢). منحنى نمو جماعة الخميرة.

جماعات الإختيار "r" وجماعة الإختيار "k" :

تعرف الجماعات التى تميل لإظهار نمو أسى بجماعات الإختيار "r" (r- selection) وتشير إلى المعدل الموروث للزيادة فى المعادلة dn/dt = r n حيث: dn/dt = التغير فى الجماعات ضمن وحدة زمنية (t)، r = معدل الزيادة الموروث أو الجزء من المنحنى الذى تزداد فيه الجماعة ضمن فترة زمنية (t).

تكون هذه الجماعات قادرة على نمو سريع أو انفجارى، وتتكاثر على فترات قصيرة، وعدد صغارها كبير، وتنضج جنسياً عند أعمار مبكرة، ويبدو أنها تنتهز الظروف البيئية المناسبة لتحقيق نمو سريع، كما يكون بمقدورها استخدام الموارد الجديدة بسرعة أو غزو مناطق جديدة عندما تسمح الفرصة بذلك، إلا أنها غالباً ما تتعرض لوفيات عالية وانخفاضات مفاجئة. يعتبر فأر المنزل (*Mus musculus*) مثال لأنواع هذا الإختيار.

تعرف الجماعات التى تميل لإظهار نمو سيجمويدى تدريجى بجماعات الاختيار k (k-selection) ويشير الحرف "k" إلى الخط المقارب العلوى للمعادلة السيجمويدية. وعادة ما تحرز هذه الجماعات نجاحاً تطورياً وبيئياً نتيجة لنمو متوازن مُحافظ متفادية دورات الإزدهار والإخفاق للأنماط الأسية، كما أن لها ميلاً أقل نحو النمو المفاجئ، وقد تُظهر أيضاً نمواً أكثر ثباتاً لفترة من الزمن. وهى تتكاثر بصورة أقل تكراراً، وعدد صغارها قليل نسبياً، وتميل للنضوج الجنسى عند عمر أكبر، وكثيراً ما تتصف برعاية أكبر للصغار، كما تُظهر معدلات وفيات أقل فى الأطوار المبكرة. وقد تبدى الأنواع المتقاربة تطورياً إختيارات مختلفة وبالتالى تُظهر استراتيجيات مختلفة لبيئة الجماعة.

العوامل المؤثرة على نمو الجماعة

أ ــ العوامل المستقلة عن الكثافة (Density-independent factors). هى العوامل التى تؤثر على نمو الجماعة بغض النظر عن كثافتها وهى فى أغلبها عوامل مناخية، فقد يُهلك إعصاراً أو موجة برد ٩٥% من أفراد الجماعة بغض النظر عن كثافتها السكانية. وبعد البحث الدقيق فى موضوع العوامل المستقلة عن الكثافة تبين أنها قد تكون معتمدة على الكثافة بصورة غير مباشرة، فعلى سبيل المثال فى حالة حدوث فيضان أو عاصفة شديدة أو قحط أو انفجار بركانى

فإن أفراداً قليلة هى التى يكون لها ملاجئ حماية بصورة غير اعتيادية تمكنها من البقاء حية. فإذا كان عدد مواقع الملاجئ الوقائية محدوداً فإنه يكون بالإمكان أيواء نسبة من جماعة قليلة الكثافة بواقع أعلى منه فى جماعة كثيرة الكثافة، بناء على ذلك يمكن اعتبار كل أو معظم العوامل التى تتحكم فى حجم ونمو الجماعة عوامل معتمدة على الكثافة بصورة مباشرة أو غير مباشرة.

ب ــ العوامل المعتمدة على الكثافة (Density dependent factors). هى عبارة عن مؤثرات بيئية تتباين فيها شدة التأثير على نمو الجماعات مع تباين كثافة الجماعة وهى فى أغلبها عوامل أحيائية مثل التنافس (Competition)، التطفل (Parasitism)، الإفتراس (Predation) والتكافل (Symposis). فعلى سبيل المثال: العامل الذى يُهلك ١٠% فقط من جماعة قليلة الكثافة و ٧٠% من جماعة كثيرة الكثافة يسمى عاملاً معتمداً على الكثافة. وتؤدى العوامل المعتمدة على الكثافة إلى تنظيم الجماعات إما بطريقة خفض معدل المواليد (Natality) أو بطريقة زيادة معدل الوفيات (Mortality).

تذبذبات الجماعة (Population fluctuations) :

هى عبارة عن سلسلة متواصلة من الزيادة والنقصان فى حجم الجماعة. وقد تكون هذه التذبذبات موسمية (أى متعلقة بالمناخ الموسمى) أو غير موسمية (لا تتعلق بالمواسم والفصول). تكون مواسم تكاثر الحيوانات فى المناطق المعتدلة خلال موسمى الربيع والصيف، ومن ثم يتميز هذان الموسمان بنمو الجماعة وازدياد حجمها، بينما تتوقف الحيوانات عن إنتاج الصغار فى أواخر الخريف والشتاء. وفى المناطق الإستوائية رغم عدم تميز المواسم (من حيث درجة الحرارة) إلا أن موسمية التكاثر موجودة فى العديد من النباتات والحيوانات، وعلى سبيل المثال تمتلك العديد من الحشرات الإستوائية ذروات

حادة من الوفرة تتوافق مع الفصول التى تهب فيها الرياح الموسمية، كما وجد أن الحيوانات الفقارية تتميز بفترات تناسل ومواسم ولادة تترافق على الأغلب مع الرياح الموسمية أيضاً. وفى المناطق الإستوائية والمعتدلة يبدو أن هناك قاعدة مهمة وهى أن الصغار تتواجد فى أكثر أوقات السنة ملائمة من حيث الغذاء والمناخ، وهكذا يولد الأيل والظبى الصغير عندما يبدأ العشب والكلأ بالنمو وتفقس أنواع من الطيور عندما يكون غذاؤها من الحشرات متاحاً، وتنبت البذور وتخرج النباتات من كمونها فى موسم سقوط الأمطار وتحسن درجات الحرارة.

وفى النظم البيئية المائية، تمر أيضاً جماعات عديدة بتذبذبات موسمية واضحة، وعلى سبيل المثال تظهر الهائمات النباتية (Phytoplankton) والحيوانية (Zooplankton) زيادات ربيعية وخريفية حادة فى تعداد الجماعة، وتعرف مثل هذه الزيادات الحادة بالنبضات (pulses) وهى ترتبط فى بعض الأحيان بتغيرات الحرارة والإنقلابات فى الطبقات المائية التى تعيد دوران المواد الغذائية.

تكون تذبذبات الجماعة غير الموسمية على طرازين : تذبذبات عشوائية وتذبذبات دورية. وقد تكون التذبذبات العشوائية عبارة عن اضطرابات ضئيلة لجماعة مستقرة نسبياً أو قد تكون تغيرات ضخمة فى الوفرة بحيث تعطى منحنيات غير مستقرة. ويصعب وجود أمثلة على الجماعات المستقرة فى العالم المعاصر نظراً لتأثير الإنسان على النظم البيئية. ولكننا نقترب من هدفنا عندما ندرس النظم البيئية المعقدة، وخاصة فى الغابات الإستوائية، حيث يؤدى التباين الكبير للأنواع إلى إنتاج شبكة معقدة من التوازنات الطبيعية لكل نوع. وقد نجد مثالنا فى الطيور أو الثدييات الكبرى حيث أن هناك تبايناً نوعياً ضخماً بالإضافة إلى توفر موارد غذائية زائدة مما يؤدى إلى استقرار فى حجم الجماعة. وعندما تحدث حالة من عدم الإتزان المؤقت تستطيع الكائنات الرجوع إلى حالة الإتزان

بعد فترة قصيرة، ولذا فإنه من الأفضل دراسة التذبذبات على فترات طويلة حيث يلاحظ فى الجماعات المستقرة نزعة الرجوع إلى المستويات النموذجية.

ويُعتبر تدهور المواطن البيئية وانتهاك حرمة المناطق الطبيعية واستعمال المبيدات الكيماوية والصيد الجائر من المسببات الأساسية للتذبذبات العشوائية لجماعات الكائنات الحية. ويبدأ التدهور البيئى بأن يتناقص حجم الجماعة تدريجياً، ومع استمرار المؤثر يستمر التناقص إلى أن يصبح الكائن الحى مهدداً بالإنقراض (Endangered). وإذا لم يتدخل الإنسان لإنقاذ الكائن الحى ومعالجة أسباب تدهوره سيؤدى ذلك إلى إنقراضه ومن ثم إلى نقص التنوع الحيوى (Biodiversity) و اختزال استقرار النظام البيئى، كما يمثل الإنقراض فقدان مادة حياتية فريدة لايمكن تعويضها. وفى المقابل قد يؤدى تدخل الإنسان إلى زيادة تنوع الكائنات الحية مما يساهم فى زيادة التذبذبات العشوائية مرة أخرى، وهذا ما يحدث بالنسبة للمحاصيل الزراعية والحيوانات المستأنسة مثل الكلاب، والقطط، والمواشى، وبعض الطيور.

يطلق على التذبذبات الدورية للجماعات مسمى انقلاب الجماعة، ويعنى به أن تصل الجماعة إلى الأعداد القصوى على فترات زمنية تكاد تكون منتظمة. ويحدث خلال التذبذب الدورى للجماعة دخول أفراد جدد عن طريق التوالد أو عن طريق الإستيطان (العودة من منطقة جغرافية مجاورة)، وفى نفس الوقت فقد أفراد أخرى عن طريق الوفاة أو الإغتراب. ويتوقف مدى انقلاب أى جماعة على عدة عوامل أهمها معدل الوفيات، ومعدل المواليد، وطبائع وسلوك النوع، ومدى انتشار النوع، والهجرة.

تسمى عملية انتقال أفراد الجماعة بعيداً عن منطقتها المأهولة، حيث تزايد ضغط الجماعة نتيجة للتنافس على الموارد الطبيعية، بالإنتشار (Dispersal). والإنتشار مهم جداً لجميع الكائنات الحية لأنه يساعد على بقاء النوع ويمنع إبادة

الجماعة عن طريق ما يسمى بالتحطيم الذاتى (Self-destruction)، أو الإفتراس أو التنافس نتيجة للإزدحام وقلة الموارد الطبيعية. كما أن القدرة على الإنتشار تساعد أفراد الجماعة على التواجد فى مناطق أكثر استقراراً من ناحية المأوى والغذاء، خصوصاً فى المناطق التى يحدث فيها تغيرات موسمية، الأمر الذى يؤدى إلى تغيير فى المأوى والغذاء. وقد أضيف سبب آخر لانتشار الأفراد هو وجود نمط سلوكى موروث فى كل نوع يدفع لانتقال الأفراد إلى مناطق جديدة، وقد لاحظ علماء البيئة ذلك على ذبابة الفاكهة حيث وجدوا أنها تميل إلى الإنتشار بعيداً عن المناطق المأهولة بالرغم من وجود غذاء وظروف مناخية ملائمة وكثافة مناسبة فى الموطن الأصلى.

التغيرات الزمنية على مستوى المجتمع

مفهوم المجتمع (Community Concept) :

إن تجمع جماعات أنواع مختلفة من الكائنات الحية فى موطن معين يشكل وحدة حية نطلق عليها إسم المجتمع الحيوى (Biotic community)، فمثلاً يتكون مجتمع الغابة من نباتات طويلة شاهقة وأخرى قصيرة وشجيرات وأعشاب وحيوانات متنوعة تشمل جماعات من اللافقاريات (قواقع، ديدان، خنافس، فراش)، والزواحف (سحالى، أفاعى)، والطيور المتنوعة والثدييات (غزلان، قوارض، أرانب، ثعالب). إن وجود هذه الكائنات مع بعضها فى وحدة حيوية متفاعلة تشكل المجتمع الحيوى، وهنا لا يؤخذ بعين الإعتبار العوامل غير الحية، أما إذا اعتبرت فنُطلِق على هذه الكتلة المتداخلة النظام البيئى (Ecosystem).

لا تمتلك جميع الكائنات الحية الموجودة فى المجتمع الحيوى نفس الأهمية البيئية من ناحية تأثيرها فيما حولها. يعتبر النوع ذو السيادة البيئية (Ecological dominance) هو الأهم بالنسبة للمجتمع، حيث تدل السيادة البيئية على دور هذا

النوع فى عملية تدفق الطاقة عبر المجتمع. يعتقد العديد من العلماء أن النوع السائد بيئيا هو الذى يتحكم بشكل رئيسى فى مصير المجتمع، وإذا عزلناه تحدث تغيرات مؤثرة، وفى المقابل فإن عزل أى نوع آخر غير سائد قد لا يؤثر، أو يكون تأثيره غير ملحوظ على حيوية المجتمع. ويعتقد بعض العلماء أنه يمكن اعتبار الكتلة الحية (Biomass) مقياس دقيق للسيادة البيئية. وتعتمد طبيعة المجتمعات الحية على عاملين أساسيين: ١ ــ مدى تأقلم وتكيف أفراد المجتمع للبيئة الطبيعية المحيطة، ٢ ــ مدى علاقة الكائنات الحية المكونة لهذا المجتمع مع بعضها البعض. وكما أن للجماعات صفات خاصة فإن للمجتمعات أيضاً صفات خاصة بها مثل نمط النمو (Growth form)، التنوع (Diversity)، السيادة (Dominance)، الوفرة (Abundance) والحيز البيئى (Ecological niche).

من المعروف أن كل بقعة على سطح الأرض كانت فى يوم من الأيام مساحة عارية لا تحتوى على أى كائن حى، قد تكون هذه البقعة جزء من قاع محيط ارتفع فوق سطح الماء أو تكونت من صهير بركان تدفق فوق سطح الأرض، أو حتى نتيجة لترسيب المواد الغرينية التى تحملها مياه الأنهار، أو بقعة انكشفت لأول مرة بعد ذوبان ما كان يغطيها من جليد. مثل هذه المناطق من سطح الكرة الأرضية لا تحتوى على التربة بمعناها العلمى ولكنها تمثل تكويناً جيولوجياً خالياً من الحياة والمادة العضوية، وتسمى من وجهة نظر علم البيئة بالفراغ البيئى (Ecological void). وبمرور الزمن نجد أن هذه المناطق تصبح مأهولة بالنباتات والأحياء الأخرى وتحتوى على تربة قادرة على مد هذه الحياه بمستلزماتها. هذا التغير الذى حدث جاء نتيجة لعدة عوامل أهمها عملية تجوية الصخور مصطحبة بالعوامل الأخرى التى تعمل على بناء التربة والغطاء النباتى.

ومن أجل الوصول إلى مرحلة الإتزان بين التربة والغطاء النباتى وظروف المناخ المحيط فإن الأمر يستلزم الكثير من التغيرات المعقدة التى قد تتطلب وقتاً من الزمن يقدر بعدة قرون فى معظم الأحيان. يسمى هذا الغطاء النباتى المتزن مع خواص التربة والمناخ بمجتمع الذروة المناخى (Climax community). والأساس الذى بنى عليه هذا التعريف هو أنه عند ترك قطعة من الأرض لمدة طويلة دون تدخل من قبل الإنسان وحيواناته المستأنسة وكذلك دون حدوث تغيرات جوهرية فى المناخ فإن سلسلة كاملة من المجتمعات النباتية (Seral communities) الواحدة تلو الأخرى تسود هذه البقعة من الأرض. وفى النهاية يأتى مجتمع نباتى ليبقى دون تغيير يذكر مستغلاً إمكانات المنطقة بأقصى ما يمكن دون حدوث خلل أو تدهور فى خواصها. هذا المجتمع الأخير يسمى بمجتمع الذروة المناخى الذى تسوده أنواع نباتية لها القدرة الكافية على استغلال المنطقة ومنافسة غيرها تحت الظروف السائدة.

التنظيم الطبقى لمجتمعات الذروة المناخية (Eyre System):

وجد العالم أير (Eyre) أنه من الأنسب تقسيم الغطاء النباتى الذروى المناخى على مستوى العالم إلى قسمين أحدهما يضم مجتمعات الغابات والثانى يضم المجتمعات الأخرى التى لا تشمل الغابات. هذان القسمان الكبيران يمكن تقسيمهما بالتالى طبقاً لطبيعة الأنواع النباتية التى تكون كل قسم، فمثلاً هناك غابات المناطق الإستوائية المطيرة (Tropical rain forests) التى توجد فى حوض الأمازون والكنغو وأندونسيا. وهذا النوع من الغابات يسميه "أير" التكوين النباتى النوعى (Specific plant formation) وهو يختلف من حيث الأنواع النباتية الداخلة فى تكوينه عن التكوين النباتى النوعى الذى يغطى غرب أوربا وشرق أمريكا والمعروف بإسم الغابات النفضية الصيفية (Deciduous summer forests).

فى كل من هذه التكوينات يوجد العديد من الأنواع النباتية السائدة تشترك كلها فى صفاتها الوظيفية والشكلية. فمثلاً فى حالة نباتات التكوين النباتى النوعى للغابات الإستوائية المطيرة نجد أنها نباتات دائمة الخضرة ذات أوراق عريضة، ولكن بالرغم من ذلك فإن الأنواع النباتية التى تسود منطقة حوض الأمازون مثلاً تختلف عن تلك التى تسود منطقة حوض الكونغو أو جنوب شرق آسيا، وقد قسم "أير" هذا التكوين النباتى النوعى إلى ثلاث أقسام فرعية كل منها يسمى تكوين نباتى (Plant formation) :

١ ــ الغابات الإستوائية المطيرة الأمريكية (American tropical rainforests).

٢ ــ الغابات الإستوائية المطيرة الأفريقية (African tropical rainforests).

٣ ــ الغابات الإستوائية المطيرة الهندية الماليزية (Indo-Malysian tropical rainforests).

وبالمثل فإن الغطاء النباتى الذروى المناخى لغرب أوربا والذى يكون مع ذلك الذى يسود شرق أمريكا تكوين نباتى نوعى واحد يسمى الغابات النفضية الصيفية (Deciduous summer forests) يمكن تقسيمه إلى تكوينين نباتيين أحدهما يختص بغرب أوربا والآخر بشرق أمريكا، وفى كلا التكوينين تكون النباتات أوراقها عريضة ومتساقطة فى فصل الشتاء، إلا أن الأنواع النباتية الداخلة فى تركيب التكوين الأول تختلف عن أنواع التكوين الثانى.

ولما كانت التكوينات النباتية ذاتها غير متجانسة فإنها تقسم إلى وحدات أصغر، ففى انجلترا مثلاً يوجد العديد من المجتمعات النباتية بالرغم من أن الجميع يتبع التكوين الصيفى لغابات غرب أوربا متساقطة الأوراق. ففى الوديان الطينية للأراضى الوسطى (Midland) توجد غابات البلوط (Oak forests) التى يسودها نبات البلوط (*Quercus ruber*)، وفى المناطق الجنوبية ذات الأراضى جيدة الصرف يسود المجتمع النباتى نبات الزان (*Fagus sylvatica*). تسمى هذه

المجتمعات النباتية الفرعية بالعشائر النباتية (Plant associations)، وتعطى هذه العشائر أسماء مستمدة من إسم جنس النباتات السائدة (حسب نظام برون بلانكيت: Braun-Blanquet system). ومن الجدير بالذكر ما يلى:

١ ــ كل غطاء نباتى فى مستوى التكوين النوعى يوجد فى مناطق ذات صفات مناخية خاصة ويتميز باحتوائه على أنواع نباتية ذات طرز حياة خاصة تتناسب والخواص العامة للمناخ السائد. فمثلاً فى المناطق التى تتميز بفترة برد فى أحد فصولها نجد أن التكوين النباتى النوعى الذى يسودها من النوع المتساقط الأوراق، إذ أن الأوراق النباتية الخضراء سوف لا تتحمل فترة البرد، هذا بالإضافة إلى أن وجودها فى هذا الفصل البارد يعتبر عديم الفائدة بسبب صعوبة نقل المواد الغذائية التى تكونها الأوراق إلى باقى أجزاء النبات لبرودة الجو وتعثر سريان العصارة.

٢ ــ التكوينات النوعية يفصلها عن بعضها مناطق جغرافية واسعة، ونتيجة لهذا البعد الذى امتد عبر ملايين السنين أصبح لكل تكوين الأنواع النباتية الخاصة به والتى تميزه عن باقى التكوينات الأخرى.

٣ ــ العشائر النباتية التى تدخل فى نطاق أى تكوين واحد تشغل مناطق تربتها ذات صفات خاصة تختلف فيما بينها فى الخواص الطبيعية أو الكيميائية أو كلاهما معاً، وهذه الإختلافات فى خواص التربة هى التى تسببت فى وجود توزيع خاص للنباتات السائدة نتج عنه تكوين العشائر المختلفة.

تعاقب النبت :

يوجد فى كثير من مناطق العالم أغطية نباتية لا تمثل مجتمعات الذروة المناخية لهذه المناطق، ولكن بدلاً من ذلك توجد أغطية نباتية ليست فى حالة اتزان مع التربة التى تعيش عليها أو مع الظروف المناخية المحيطة بها. فمثلاً حدث فى إحدى الجزر الأندونيسية الواقعة بين جزيرتى جاوة وسوماترة

والمسماه كاراكاتوا (Krakatua) بركان هائل سنة ١٨٨٣ أطاح بجزء كبير من الجزيرة وغطى الباقى برماد بركانى كثيف، وتسبب عنه فقد الحياة على هذه الجزيرة بكل صورها. كما أن التربة البركانية التى غطت سطح الحزيرة ليست تربة بمعناها الفعلى، ولكنها عبارة عن مادة جيولوجية خالية تماماً من أى أثر للحياة. وبعد فترة من الزمن بدأت الحياة تدب على الجزيرة من جديد فى صورة كائنات بدائية قادرة على التواجد تحت هذه الظروف الجديدة وقادرة على النمو والحياة فوق هذه التربة المعدنية. وقد بدأت الحياة فعلاً فى صورة طحالب خضراء مزرقة غطت الجزيرة بعد بضع سنين من توقف البركان وانخفاض حرارة الأرض. يطلق على هذا المجتمع النباتى البدائى إسم المجتمع الرائد (Pioneer community)، وهو مجتمع قادر على التواجد على هذه الصخور المعدنية طالما كان الوسط رطباً. أعقب هذا المجتمع مجموعة من مجتمعات إنتقالية (Seral communities) من الحشائش ثم الشجيرات ثم الأشجار الجفافية نسبياً. والآن أصبح يغطى سطح الجزيرة غطاء نباتى يماثل أو يقترب بدرجة كبيرة من المجتمع النباتى الذروى المناخى (Climax community) الذى كان يغطى المنطقة قبل حدوث البركان وهو الغابات الإستوائية المطيرة، وإن كانت بعض النباتات السائدة فى المناطق المجاورة لم تستطع الوصول بعد إلى الجزيرة والنمو عليها.

من الواضح أن سلسلة كاملة من المجتمعات النباتية تعاقب أحدها وراء الآخر حتى مرحلة مجتمع الذروة المناخى. وفى كل مرحلة كان المجتمع النباتى الإنتقالى يضيف شيئاً فى عملية بناء التربة كما كان يعمل على تغيير الوسط المحيط (Environment) بحيث يصبح أكثر ملائمة للمجتمع القادم الذى يتميز بكثرة احتياجاته ومتطلباته عن سلفه. يستمر هذا التعاقب حتى نصل فى النهاية إلى مجتمع غير قادر على فعل أى تغيير فى الظروف البيئية المحيطة، بل

يصبح فى حالة اتزان معها يفيدها بقدر ماتفيده ويستغلها بقدر ما يعطيها، وبالتالى يبقى دون تغير طالما لم تتغير الظروف المحيطة، هذا المجتمع الأخير هو مجتمع الذروة المناخى لهذه المنطقة. والحلقة المكونة من جميع المجتمعات النباتية المتعاقبة فى تسلسل من البداية حتى مجتمع الذروة المناخى يطلق عليها سلسلة التعاقب (Prisere). ومن الواضح أن أهم الفروق بين المجتمعات الإنتقالية ومجتمع الذروة المناخى هو أن المجتمع الإنتقالى ليس فى حالة اتزان مع الوسط الذى يعيش فيه، بينما مجتمع الذروة المناخى يكون فى حالة اتزان تام مع هذا الوسط كما ذكر سابقاً.

وكمثال آخر تقوم مياه الفيضانات فى بعض المناطق بانجلترا بانتزاع النباتات ونقل التربة فتتعرى الصخور الجرانيتية المكونة لسفوح بعض الجبال وبهذا تنكشف مناطق جرانيتية عارية وسط مناطق أخرى غير معراة ومغطاة بنباتات الذروة المناخى الممثلة لهذه المناطق (غابات البلوط: Oak forests). فى مثل هذه المناطق المعراة لايمكن بأى حال من الأحوال أن تغطى سطوحها مباشرة بأشجار البلوط، ولكن تبدأ عليها سلسلة من المجتمعات النباتية أولها عبارة عن نباتات بدائية قادرة على مقاومة الجفاف المتكرر، وحيث أن السطوح الصخرية لا تحتفظ بماء المطر وتجف بسرعة مما يجعلها فى درجة جفاف قد تفوق ما يسود صحارى شمال أفريقيا. والمجتمعات النباتية التى تعيش تحت هذه الظروف هى الأشن القشرية البرتقالية، وهى نباتات مقاومة للجفاف وقادرة على الإلتصاق بالصخور المعراة. وسرعان ما يعمل هذا المجتمع الأشنى على تكوين طبقة رقيقة من التربة تسمح لمجتمع الحزازيات بالتواجد والتكاثر. وهذا المجتمع الأخير يعمل بدوره على تحسين التربة وزيادة معدل ما تحتفظ به من الماء مما يؤدى إلى وجود وسط أكثر ملائمة لمعيشة مجتمع آخر أكثر احتياجاً للماء والمواد الغذائية، ولذا نجد أن مجتمع الحشائش يلى مجتمع الحزازيات، ومن

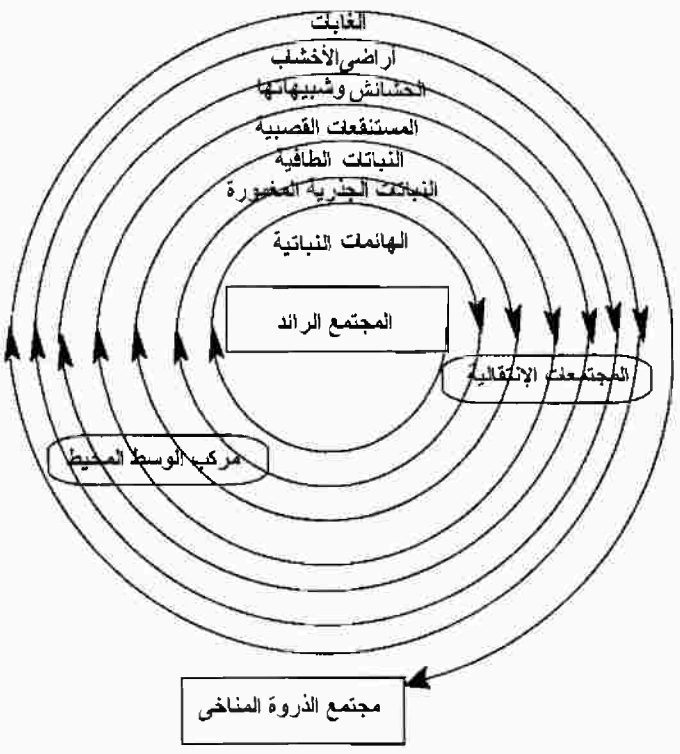
الحشائش المشهورة فى هذا التعاقب الفوستوكا (Festuca ovina)، بالإضافة إلى بعض الحوليات والنباتات الموسمية. وهكذا يأتى مجتمع ويزول آخر حتى نصل فى النهاية إلى مجتمع الذروة المناخى الذى يتكون من أشجار البلوط ذات الجذور العميقة القادرة على البقاء والمنافسة وحفظ التوازن مع الظروف البيئية السائدة.

أنواع التعاقب:

يعرف التعاقب الذى يبدأ على أوساط جفافية بإسم التعاقب الجفافى (Xerosere)، وينقسم إلى قسمين أحدهما يبدأ على سطح صخرى كما هو الحال فى المثال السابق ويسمى التعاقب الصخرى (Lithosere) والآخر يبدأ على سطح رملى ويسمى تعاقب الكثبان الرملية (Psammosere). ولكن نظراً لطبيعة تكوين هذه الكثبان الرملية فإن ما ينمو عليها من نباتات يختلف تماماً عن تلك التى تنمو على المسطحات الصخرية. ففى انجلترا وشمال أفريقيا نجد أن المجتمع النباتى الرائد الذى يبدأ فى غزو الكثبان الرملية هو من النجيليات ويعرف بإسم قصب الرمال (*Ammophila arenaria*). وهو نبات لا يقاوم الجفاف فحسب ولكن يتميز بجذوره الشدادة التى تجذب النباتات داخل الرمال كلما جرَفت الرياح الرمال السطحية. يلى هذا المجتمع مجتمعات نباتية أخرى تختلف باختلاف الظروف السائدة، وخاصة فيما يتعلق بكمية المطر، حتى تصل فى النهاية إلى مجتمع الذروة المناخى.

يعرف التعاقب الذى يحدث فى المناطق الرطبة أو المغطاه بمياه بالتعاقب المائى (شكل ٢٣)، وينقسم إلى قسمين أحدهما يحدث فى المياه العذبة ويسمى تعاقب المياه العذبة (Hydrosere)، أما الثانى فيحدث فى المياه المالحة ويعرف بإسم تعاقب المياه المالحة (Halosere). فى حالة المياه العذبة يبدأ ظهور

المجتمعات الأولية حينما يكون قاع البحيرة على بعد عدة أقدام من سطح المـــاء. فنبات البشنين (*Nymphaea alba*) على سبيل المثال يعمل على الإسراع من رفع قاع البحيرة بترسيب المواد الغرينية، وبهذا تصبح الظروف مناسبة لنمو مجتمـع آخر من النباتات يسوده نبات البـــوص (*Phragmites australis*) وذيـــل القـــط (*Typha* sp.) وهذا المجتمع الجديد من شأنه أن يعمل على زيـــــادة رفـــع قـــاع البحيرة فتصبح مناسبة لمجتمع أكثر تقدماً وتعقيداً، وهكذا يستمر قاع البحيرة فى الإرتفاع مع مواسم تعاقب المجتمعات الإنتقالية حتى يصبح أرضاً عالية يغطيـــها مجتمع الذروة المناخى للوسط التى تتواجد فيه .



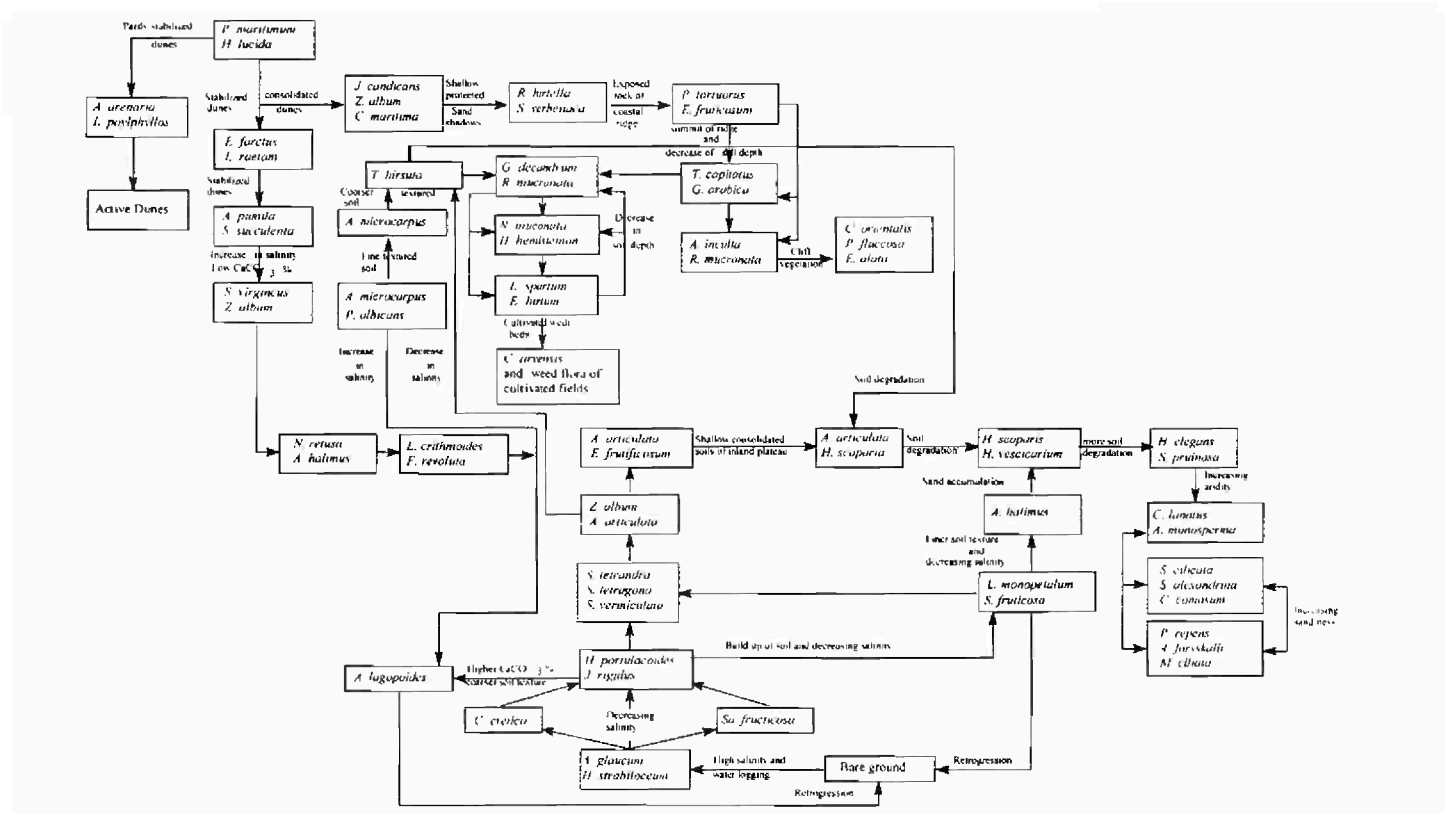
شكل (٢٣). مخطط يوضح مراحل التعاقب المختلفة: مثال التعاقب المائى (نقلاً عن Sharma 1981)

وفى المياه المالحة يبدأ التعاقب بنبات خريزة (*Salicornia* sp.) وذلك فى المناطق المنحسر عنها موج البحر، وبعد أن يكون سطح التربة قد غسل قليلاً بفعل مياه المطر. وبتوالى تحسن صفات التربة عن طريق غسل الأملاح وزيادة المادة العضوية فإن سلسلة من المجتمعات النباتية تتوالى على المنطقة ويساهم كل منهم فى دفع عجلة التحسين دفعة تلو الأخرى حتى نصل فى النهاية مجتمع الذروة المناخى.

والشكل (٢٤) يوضح مختلف العلاقات التعاقبية المفترضة بين المجتمعات النباتية السائدة فى مختلف المواطن بالساحل الشمالى الغربى للبحر المتوسط بمصر (Hammouda 1988) يمثل الكثبان الرملية الساحلية (Coastal sand dunes) والهضاب الصخرية (Rocky palteaux) والمستنقعات الملحية (Salt marshes).

المجتمع تحت الذروى (Subclimax community):

لا يكون الغطاء النباتى فى المناطق ذات التضاريس المختلفة متجانساً فى جميع الأماكن، ولكن بدلاً من ذلك توجد مساحات يغطيها مجتمع الذروة المناخى وأخرى تتبادل معها وتغطى بمجتمعات نباتية لم تصل بعد إلى هذا المستوى من الغطاء النباتى المستقر. ويرجع السبب فى ذلك بصفة أساسية إلى أن سطح الأرض قد يكون شديد الإنحدار، أو أنه مسطح ولكن الماء الأرضى قريب من سطح التربة مما يجعلها فى حالة تشبع مستمر. وفى حالة المنحدر الشديد يكون من الصعب تكوين ونمو التربة بالقدر الكافى إذ أنها تجرف باستمرار معرضة بذلك المادة الأصلية للجو، وتسمى مثل هذه السطوح المعراة دائماً بإسم التربة الهيكلية (Skeletal soil). لهذا السبب نجد أن المجتمع النباتى يصبح غير قادر على النمو والإرتقاء إلى المجتمعات المتقدمة فى سلم التعاقب بل يظل حبيساً أو مغلولاً عند حلقة مبكرة فى سلسلة التعاقب.



شكل (٢٤). مخطط تمثيلى للعلاقات التعاقبية بين المجتمعات النباتية السائدة فى مختلف المواطن بالساحل الغربى للبحر المتوسط بمصر

وفى حالة قرب مستوى الماء الأرضى من سطح التربة نجد أيضاً أن المجتمع النباتى يصبح غير قادر على التبدل والرقى ويظل عند مرحلة أقل من تلك التى تمثل مرحلة الغطاء الذروى المناخى. ففى انجلترا مثلاً توجد بعض المناطق يسودها نبات الصفصاف (*Salix* sp.)، بينما المناخ السائد فى هذه المناطق يسمح بوجود غطاء ذروى مناخى من نبات البلوط (*Quercus* sp.)، ولكن نظراً لتشبع التربة بالماء بصفة مستمرة، توقف التعاقب عند هذه المرحلة من سلسلة التعاقب. مثل هذه المجتمعات التى أصبحت غير قادرة على أن تتبدل بغيرها من المجتمعات الأكثر رقياً فى سلم التعاقب بسبب الظروف السابقة تسمى بالمجتمعات تحت الذروية (Subclimax communities). لو فرضنا أن الظروف المائية فى التربة تحسنت وذلك بانخفاض مستوى الماء الأرضى أو بعمل مصارف صناعية فإن المجتمع الحبيس يبدأ فى التغيير ليعطى مجتمعاً جديداً أكثر تقدماً فى سلم التعاقب.

التعاقب العكسى (Plagiosere):

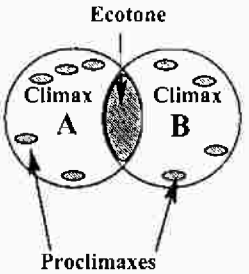
يوجد فى مساحات شاسعة من العالم مجتمعات نباتية تسبب فى وجودها الإنسان وما يملكه من حيوانات رعوية. وقد أوضحت دراسة المجتمعات النباتية منذ العصور الوسطى حتى وقتنا هذا أن أراضى انجلترا المكسوة الآن بحشائش المراعى كانت فيما مضى مغطاة بغطاء نباتى من الأشجار يمثل غطاء الذروة المناخى. ولما أدخل الإنسان حيوانات الرعى كان لها كبير الأثر فى تغيير المجتمع النباتى وذلك نتيجة عدم وجود الفرصة أمام بادرات الأشجار للنمو والإزدهار، ومن ثم فكلما ماتت شجرة أو اقتلعت لا يحل غيرها محلها. وفى النهاية أصبحت الحشائش والنباتات الأخرى المتأقلمة مع الحيوانات الرعوية صاحبة السيادة وتلاشت الأشجار تماماً فى هذه المناطق.

نتيجة لهذا الرعى الجائر تدهور الغطاء النباتى الأولى الممثل للذروة المناخية وحل محله مجتمعات متتالية فى سلم التعاقب العكسى حتى وصل فى النهاية إلى مجتمع فى حالة اتزان مع المناخ السائد والحيوانات الرعوية المنتشرة. هذا المجتمع الأخير يسمى المجتمع المعكوس (Plagioclimax community = disclimax communiy). أما سلسلة المجتمعات التى حدثت حتى أدت إلى هذا المجتمع الأخير فتعرف باسم سلسلة التعاقب العكسى (Plagiosere). وإذا توقف الرعى فى هذه المناطق فإن سلسلة أخرى من المجتمعات تبدأ فى التواجد الواحد تلو الآخر حتى الوصول إلى مجتمع الذروة المناخى.

المجتمع بعد الذروى والمجتمع قبل الذروى :

لو تصورنا منطقة مناخية على سطح الأرض فإننا نجدها غالباً تتجاور من جهة بمنطقة مناخية أكثر حرارة وأشد جفافاً، ومن جهة أخرى بمنطقة مناخية أقل حرارة وأكثر مطراً، ومن ثم فإن المنطقة التى تجاور المنطقة الرطبة قليلة الحرارة تتمتع بمناخ أكثر برودة ومطراً ومن ثم يكسوها غطاء نباتى أغنى من الغطاء الطبيعى للمنطقة ويسمى هذا المجتمع بالمجتمع بعد الذروى (Post-climax community). أما المناطق المجاورة للجهة الأخرى حيث الحرارة والجفاف فإنها تتأثر جزئياً بهذا المناخ غير الملائم فنجد أنها تكتسى بغطاء نباتى أقل غزارة وغنى من الغطاء الطبيعى للمنطقة ويسمى هذا الغطاء النباتى بالمجتمع قبل الذروى (Pre-cilmax community). مثال آخر للمجتمع بعد الذروى هو الغطاء النباتى الذى ينمو على حواف القنوات المائية التى تعبر الصحارى، إذا أن وجود المياه فى هذه القنوات يغير من طبيعة الغطاء النباتى بالصحراء ويحيله إلى غطاء نباتى يعبر عما يمكن أن تكون عليه الصحراء لو تحولت إلى مناطق رطبة، ومعنى هذا أن ما يحدد طبيعة الغطاء النباتى فى هذه

الحالة هو عامل الرطوبة. وعادة ما تسمى مناطق التداخل هذه بين مجتمعات الذروة المناخية المختلفة بإسم المناطق الإنتقالية (Ecotones) والمجتمعات التى تقطنها بإسم المجتمعات الذروية الأولية (Proclimaxes).



التغير الدائرى فى المجتمعات النباتية (Cyclic vegetational changes) :

ليس من الدقة وصف مجتمعات الذروة المناخية بأنها ذات وضع ثابت ليست لها القدرة على أن تتغير. فبالإضافة إلى عوامل البيئة المحيطة والتى من شأنها أن تنظم التركيب الشامل للمجتمعات النباتية فإن هناك أيضاً عوامل داخلية متأصلة فى كل مجتمع (Interinsic factors) تعمل على إحداث تغييرات مستمرة فى نوعيته وتركيبه ولكن على نطاق موضوعى محدود. هذا التغيير المحدود لا يؤدى إلى تعاقب من النوع السابق الذكر ولكنه يرمز إلى تسلسل دائرى من مراحل أو أحداث فى مختلف المواقع من الغطاء النباتى. هذه الأحداث يمكن أن ترى متكررة على امتداد الغطاء النباتى، والمجموع الشامل لهذه المراحل تكون أو تعبر عن التركيب الكلى للغطاء النباتى. ومن ثم فبينما يعبر التعاقب عن تغير مستمر ذو اتجاه واحد يؤدى فى النهاية بالغطاء النباتى إلى مرحلة اتزان، فإن التغير الدائرى داخل الغطاء النباتى يرمز إلى تذبذبات دائرية داخل هذا الغطاء حول قيمة وسطية.

أعطى العالم وات (Watt) مثالاً تقليدياً كنموذج للتغير الدائرى فى الغطاء النباتى يعرف بدورة التلال والمنخفضات (Hammock and hollow

(cycle). ترمز هذه الدورة إلى سلسلة من الأحداث تؤدى إلى سلسلة من المظاهر فى طبيعة الغطاء النباتى تكون فى مجموعها تركيب ذو نسق قطعى (mosaic)، وكل قطعة تعتبر حلقة مرتبطة زمنياً بما يجاورها من قطع أخرى والكل فى حركة دائرية. وقد أمكن أيضاح العلاقة بين هذه المراحل بفحص الترسبات العضوية فى أحد المجتمعات النباتية بانجلترا. وقد وجد أن المرحلة الأولى من النموات النباتية سادها نوع يسمى سفاجنم كابيداتام (*Sphagnum capidatum*) الذى يغزو المستنقعات المائية المنخفضة. إلا أن هذا النوع سرعان ما يحل محله نوع آخر والذى بدوره يستبدل بنوع ثالث يسمى سفاجنم بابيلوزم (*Sphagnum papillosum*). وعند هذه المرحلة من التعاقب الدقيق (Micro-succession) تكون المجتمعات النباتية قد استطاعت أن تبنى تربة تعلو سطح الماء، وعندئذ يغزو هذه التربة نبات يسمى كاللونا فولجانز (*Culluna vulgaris*) وأنواع أخرى من النباتات المشابهة، كما يظهر أيضاً نوع من الأشن يعرف بإسم كلادونيا أربيسكولا (*Cladonia arbuscula*). إلا أن هذا الغطاء النباتى لا يستمر طويلاً فسرعان ما يبدأ نبات كاللونا فى الموت والتحلل كما تبدأ التربة فى التعرض لعوامل التعرية التى تزيلها تدريجياً مكونة فى النهاية منخفض يمتلئ بالماء مرة أخرى، وفى نفس الوقت تعمل التربة المنقولة على بناء تل آخر فى مكان مجاور. ومن ثم فإن هذا النوع من الأنظمة البيئية يتكون من مجموعة من التلال والمنخفضات المتجاورة والمتباينة الغطاء النباتى، وكل مرحلة أو مظهر مرتبط زمنياً بما يجاوره من مراحل والتى فى مجموعها تكون نظام بيئى مستقر ومتزن مع الظروف البيئية المحيطة.