الأنظمة البيئيّة الطبيعية ـ مفاهيم بيئيّة
Natural Ecosystem - Ecological Concepts

2024/ **2025**

المفاهيم البيئية - مكونات البيئة - الدورات البيوجيولوجية

مقدمة عن البيئة:

البيئة Environment هي الوسط الذي يعيش فيه الكائن الحي بما يملكه من تضاريس وتربة وهواء ومياه وحيوانات ونباتات، وما يؤثر على هذه المكونات من عوامل المناخ كالحرارة والرطوبة والأمطار والرياح والإشعاعات...الخ، بالإضافة إلى الإنسان وأنشطته المختلفة .

وعلم البيئة Environmental science هو العلم الذي يدرس شروط أو ظروف وجود الكائنات الحية والعلاقات المتبادلة بينها وبين الوسط الذي تعيش فيه، لذلك فهو يدرس التفاعلات المركّبة التي تحدث بين الأحياء والمحيط الحيوي.

تعتبر الأرض كوكباً فريداً من كواكب النظام الشمسي له ظروف مناسبة لتطور الأشكال المختلفة وبقاءها على قيد الحياة، كوجود المياه والهواء عليها وامتلاكها للمحيط الحيوي. وتعتبر الأرض بيئة الجنس البشري، لكن البشر لا يعيشون في عزلة عن أشكال الحياة الأخرى على الأرض، كما أنهم يعتمدون عليها في الغذاء والسكن والضرورات الأخرى.

تتبع أنواع النباتات والحيوانات التي تعيش في منطقة معيّنة على البيئة الطبيعية في تلك المنطقة، وبالتالي فالبيئة التي يعيش فيها الفرد البشري تشمل البيئة الطبيعية أو غير الحية، والبيئة الحيوية أو الحيّة. تشمل البيئة الطبيعية الأرض، والمياه، والهواء، بينما تتضمّن البيئة الحيوية النباتات، والحيوانات، والكائنات الحية الأخرى. البيئة الطبيعية والحيوية تتفاعل مع بعضها البعض. يقود التغيّر في البيئة الطبيعية إلى تغيّر في البيئة الحيوية أو العكس بالعكس. وبالتالي فالبيئة هي مجموع الشروط والتأثيرات الخارجية التي تؤثر على حياة وتطور الكائنات الحية.

العناصر الطبيعية والحيوية في البيئة ديناميكية في طبيعتها، إلا أن التغييرات تحدث بشكل بطيء أو مفاجأ في طبيعة الأشكال الأرضية، وقد تؤدّي التغيرات طويلة الأجل التي تحدث في البيئة الطبيعية إلى انقراض أنواع محددة من النباتات والحيوانات لم تستطع التكيف مع هذه التغيرات، بينما يتكيّف تطور الأنواع الجديدة مع البيئة الطبيعية الجديدة. تبدو التغيرات في البيئة الطبيعية، وكذلك التحولات المترافقة في البيئة الحيوية، كظواهر طبيعية مرافقة للتاريخ الطويل للأرض، نتيجةً لبعض العمليات الطبيعية أو النشاطات البشرية.

مر علم البيئة بتطورات متتابعة حتى وصل إلى الوضع الحالي:

- وجد ليفن هوك Leven Hoke في العام 1687 أن زوجاً واحداً من الذباب ينتج نحو 746496 ذبابة في ثلاثة أشهر، وكانت هذه المحاولة الأولى للحساب النظري لمعدل زيادة عدد الأفراد في الطبيعة.
- صنف بوفون Bofon في العام 1756 جماعات الإنسان والحيوان والنبات، واعتبر أن الخصوبة العالية لكل نوع تتحد بمجموعة من العوامل المحددة.
- أصدر مالثوس Malthus في العام 1798 كتاباً حول تعداد الجماعات اعتبر فيه أن المتعضية تستطيع أن تزداد وفق متوالية هندسية، بينما يزداد الغذاء وفق متوالية حسابية، ويتأثر معدل الزيادة وفق مالثوس بوفرة الغذاء. وقد تبنى داروين Darwin طروحات مالثوس ووصف الطبيعة بالمكان الذي تتنافس فيه الكائنات الحية على الفضاء والغذاء.
- وضع المتخصص بالمعادن الروسي فلاديمير فيرنادسكي Vladimer Vernadsky في العام 1800 فكرة أن الأرض نظام كيميائي تدور فيه العناصر عبر التربة والكائنات الحية والغلاف الجوّي.
- وجد نيكولاس دي ساوسور Nicholas de Saussure في العام 1804 لدى دراسته لبعض النباتات أنها قد اكتسبت كتلةً إضافية بأخذها خلال المسامات ثاني أكسيد الكربون من الهواء والنتروجين من التربة.
- وجد الألماني جوستس فون لايبيغ Justus von Liebig في العام 1842 أن نمو وتكاثر كائن حي ما في موطن معين يتطلبان مواد أساسية ضرورية، تختلف حسب نوع الكائن وحسب حاجته. وتشكل المادة الأساسية التي توجد بكميات قريبة من الحد الأدنى الحرج اللازم للنمو العامل المحدد في هذه الحالة للنمو والتكاثر – قانون لايبيغ للحدّ الأدنى(Liebig's Law of the Minimum).
- استخدم هنري تورد في العام 1858 كلمة الايكولوجيا Ecology في رسائله ولكنه لم يعرّف مضمونها.

- عرف أرنست هيغل في العام 1869 الايكولوجيا بأنها مجموعة العلاقات التي تربط الحيوان مع وسطه العضوي وغير العضوي، وقد أخذ هذا التعبير من المصطلح الإغريقي (Oikos) والذي يعني محل أو منزل الإقامة و (Logos) والذي يعني علم.
- وصف ستيفن فوربز Stephen Forbes في العام 1887 البحيرة ككائن حي معقّد يحافظ فيه المفترسون والفرائس على تعداد بعضهم البعض في المستويات المثالية، فالبحيرة شبيهة بكائن علوي superorganism والأنواع فيها شبيهة بالأحياء في الخلية أو بالخلايا في الكائن الحي.
- أعاد بلاكمان Blackman في العام 1905 صياغة قانون لايبيغ وذلك ضمن قانون العوامل المحددة Law of limiting factors.
- وضع شيلفورد V. E. Shelford في العام 1913 قانون التحمّل Shelford's Law Of Tolerance كتطوير لقانون العوامل المحددة.
- عرّف تشارلز إلتون Charles Elton في العام 1927 البيئة بأنها التاريخ الطبيعي، وأدخل مفهوم السلاسل الغذائية food chains وشبكات ومستويات التغذية، وكان أول من أوجد مفهوم الموضع الملائم للكائن Niche وهو دور أو وظيفة الكائن ضمن نظامه.
- طوّر يوجين وهاوارد أودوم Eugene and Howard Odum في العام 1963 علم بيئة النظام البيئي ecosystem ecology بإدخال مفهوم تدفق الطاقة ودورات المادة لفهم الكائن الحي وبيئته.
- قدّم عالم البيئة السّير آرثر تانسلي Sir Arthur Tansley في العام 1935 مفهوم النظام البيئي ecosystem ، حيث لم يفصل الأنواع عن بيئتها الخاصّة التي تشكل فيها نظام طبيعي واحد.
- في ستّينيات القرن الماضي جرى وضع برنامج المحيط الحيوي الدولي International Biosphere Program ، حيث بدأت دراسة تدفق الطاقة ودورة المغذيات في الأنظمة البيئية في كافة أنحاء العالم.
- اليوم: يلعب علم النظام البيئي ecosystem science دورا مهماً في دراسة القضايا المتعلقة بالتغييرات العالمية والمحيط الحيوي.

قدم العرب إسهامات عديدة في مجال علم البيئة فيُعد الجاحظ أول من أسس فكرة المكافحة الحيوية (Biological control) ، ويعتبر المجريطي أول من تحدث عما يعرف اليوم بمراتب الهيمنة لدى الحيوانات (Domi-nance Heirarchy)، ودرس القزويني تأثير البيئة على الحيوانات من خلال ما يعرف اليوم بالتداخلات الحيوية (Biological intertion ships)، إضافةً إلى إسهامات أخرى في علم البيئة لا مجال لذكرها هنا .

أصناف البيئة :

من السهل خلال دراسة علم الايكولوجيا تقسيم البيئة إلى أصناف أساسية كبيرة مثل:

- البيئة البرية Terrestrial Environmentوالتي تستند على دراسة الأرض مثل دراسة السهول العشبية، أو الصحاري، أو الغابات.
- بيئة المياه العذبة Freshwater Environment: والتي يمكن أن تقسّم إلى بيئة المواطن الثابتة مثل البحيرات، والخزانات المائية، وبيئة المواطن المتحركة مثل الجداول، والأنهار، ويقوم علم المياه العذبة (Limnology) بدراسة هذا الصنف من البيئة.
- البيئة البحرية Marine Environment: وتقسم إلى بيئتين أساسيتين للمياه المالحة:

هما بيئة المياه الضحلة للإفاريز القارية وتسمى Neritic Zone وبيئة المياه الأعمق للمحيط وتسمى Oceanic Region، ويقوم علم بيئة المحيطات (Occanography) بدراسة هذا الصنف من البيئة.

- علم البيئة الفردية Autecology العلم الذي يهتم بدراسة بيئة نوع واحد أو بيئة مجموعة محدودة مترابطة تعيش مع بعضها وتتأثر ببعضها وبالبيئة المحيطة.
- بعلم البيئة الجماعية Synecology العلم الذي يدرس التعايش لنوعين أو أكثر من أنواع الكائنات الحية حيث يقوم هذا العلم بدراسة تأثير جميع العوامل البيئية للجماعات، بما في ذلك العناصر الحية والعناصر الغير حية في منطقة بيئية محددة، على الأنواع المدروسة.

مجالات دراسة العلوم البيئية:

ويمكن تصنيف علم الايكولوجيا كذلك في مصطلحات تدفقات الطاقة والمواد، في علوم عدة :

- كعلم ايكولوجيا المحصول Crop Ecology،
- وعلم الايكولوجيا الحيوانية Animal Ecology،
- وعلم الايكولوجيا النباتية Plant Ecology،
- وعلم الايكولوجيا البرية Terrestrial Ecology،
- وعلم الايكولوجيا المائية Aquatic Ecology،
- وعلم الايكولوجيا البحرية Marine Ecology،
- وعلم ايكولوجيا المتحجرات Paleoecology،
- وعلم الايكولوجيا الفيزيولوجية Physiological Ecology،
- وعلم ايكولوجيا المناظر الطبيعية Landscape Ecology، وهو علم يدرس التجمّعات في جوار الأنظمة البيئية، ومثال على ذلك: البرك، المستنقعات، والغابات.
- وعلم الايكولوجيا العالمية Global Ecology
- وعلم ايكولوجيا التلوث Pollution Ecollgy
- وعلم ايكولوجيا الأحياء Organismal Ecology تكيفات الكائنات الحية الفردية
    - علم ايكولوجيا السلوك Behavioral Ecology
    - علم ايكولوجيا السكان Population Ecology
    - علم ايكولوجيا الجالية Community Ecology
- وعلم ايكولوجيا النظام البيئي Ecosytem Ecology.

يدمج علم البيئة فكرة نظرية الإستنتاج الافتراضي، باستعمال الملاحظات والتجارب لإختبار التفسيرات الإفتراضية من الظواهر البيئيّة. يواجه علماء البيئة تحديات إستثنائية في أغلب الأحيان في أبحاثهم بسبب تعقيد أسئلتهم، تنوع مواضيعهم، والفسحة الكبيرة للوقت والفضاء في أغلب الأحيان التي لا بد من إجرائها في جميع دراساتهم. الأسئلة البيئيّة تشكّل إستمرارية لعلوم البيئة من المجالات الأخرى مثل علم الأحياء biology، بما في ذلك علم الوراثة genetics، علم التطور evolution، علم الفيزيولوجيا physiology، وعلم السلوك behavior، بالإضافة إلى العلوم الأخرى، مثل الكيمياء، والفيزياء، والجيولوجيا ، وعلم أرصاد جوية meteorology.

النظام البيئي Ecosystem:

النظام البيئي هو مجموع مختلف الأجزاء البيولوجية وغير البيولوجية لمنطقة ما والتي تتفاعل فيما بينها لتسبب نمو النباتات، وتعفنها، ولتشكل الترب، أَو الرواسب، ولتغير من كيمياء المياه (John Aber and Jerry Melillo).

يتكون النظام البيئي من جميع الكائنات الحية والأحواض غير الحيّة التي تتفاعل معها هذه الكائنات (Chapin).

النظام البيئي هو جالية الكائنات الحية وتفاعلاتها ضمن البيئة الطبيعية التي تتدفّق الطاقة والمواد خلالها عبر السلاسل الغذائية.

ويشمل محيط النظام البيئي مجموعة معقّدة من العلاقات بين المصادر الحية (جالية الكائنات الحية) والبيئة غير الحية وقاطني تلك المنطقة، فعلى سبيل المثال، الكلاب، والطيور، والحشرات، والأعشاب المنخفضة، والشجيرات (العناصر الحيّة) تتفاعل مع بعضها البعض كما تتفاعل مع التربة الجافّة، والرياح القوية، والمطر العرضي (العناصر غير الحية) لتكوين نظام المرج قصير العشب البيئي. فالنظام البيئي هو بنية شديدة التعقيد يزداد ثباتها واستقرارها بزيادة تعقيدها مما يجعلها عرضة للنشاطات البشرية المؤذية للبيئة والتي تعمل على تبسيط هذا النظام وجعله أكثر عرضة للأخطار.

علم بيئة النظام البيئي Ecosystem Ecology:

علم يعنى بدراسة حركة الطاقة والمادة، بما في ذلك الماء، والمواد الكيميائية، والمواد المغذّية، والملوثات من وسط إلى آخر ضمن النظام البيئي، أو بين النظام البيئي ومحيطه ومن وإلى وضمن الأنظمة البيئية (Aber & Melillo) . أو هو علم يعنى بدراسة التفاعلات بين الكائنات الحية وبيئتهم كنظام متكامل (Chapin).

عمليات النظام البيئي Ecosystem Processes :

من العمليات الممثلة للنظام البيئي التركيب الضوئي Photosynthesis، عملية التنفس Respiration، التجوية Weathering، التبخير Evaporation، الموت والتفسخ.

قوانين البيئة الأساسية:

1- كل شيء مرتبط بكل شيء آخر، Everything is connected to everything else ، أي أن خطر صغير في مكان ما يمكن أن يكون له أثر كبير على المدى البعيد في مكان آخر. يشير هذا القانون إلى التعقيد الشديد للأنظمة البيئية وارتباطاتها. وعلى الرغم من التعقيد الشديد للطبيعة إلا أنها تملك مرونة كبيرة. فرغم هذا الترابط للطبيعة فإن الأنظمة البيئيّة يمكن أن تواجه كوارث مفاجئة فالنظام البيئي يمكن أن يفقد نوع ما وأن يمرّ بالكثير من التحولات الهامّة بدون إنهيار، فهو مستقرّ بخواص التعويض الذاتية الديناميكية؛ إلا أن هذه الخواص نفسها يمكن أن تؤدّي إلى إنهيار خطير للنظام البيئي إذا تعرضت للاجهادات الضخمة.

2- كلّ شيء يجب أن يذهب إلى مكان ما Everything must go somewhere . يعيد هذا القانون صياغة القانون الأساسي للثيرموديناميكا، الذي يشير إلى انه لاتوجد في الطبيعة نفاية نهائية وأن المادة والطاقة محفوظتان. فالحيوانات مثلاً تفرز ثاني أكسيد الكاربون إلى الهواء والمركّبات العضوية إلى التربة تساعد هذه النفايات في نمو النباتات التي تتغذى عليها الحيوانات.

3- الطبيعة تعرف أفضل Nature knows best فالطبيعة تعرف أكثر مما تعتقد بأنّ تدخلك قد يساعدها. فمن المحتمل أن تقود العوائق التي يخلقها الإنسان في نظام الطبيعة إلى أضرار غير محسوبة على هذا النظام. طوّرت الأحياء خلال ملايين السنين من التطور مجموعة كبيرة من المواد والتفاعلات التي شكلت مع بعضها المحيط الحيوي الحي، وعندما أدخلت الصناعة الكيمياوية النفطية الحديثة آلاف المواد الجديدة التي لم تكن موجودة أصلاً في الطبيعة دخلت هذه المواد الجديدة بسهولة إلى العمليات الكيمياوية الحيوية الموجودة، إلا أنها سببت تدميراً لبعض الأنظمة وأشكالاً كثيرة من الموت والمرض. لذلك يقال إن غياب مادة معيّنة من الطبيعة تكون في أغلب الأحيان إشارة إلى عدم التوافق مع كيمياء الحياة.

4- لاشيء يأتي من لاشيء Nothing comes from nothing ، يعني هذا القانون بأنّك يجب أن تعمل شيء لكي تحصل على شيء بالمقابل. بحسب القانون الثاني للديناميكا الحرارية فإنّ الإنسان يستهلك الطاقة لكن بدون أن يحطّمها، أي يحولها إلى أشكال لم تعد مناسبة للعمل، فعلى سبيل المثال تستهلك السيارة الطاقة الكيميائية المخزنة في البنزين أما

الأشكال الغير مناسبة المتبقية من الطاقة قتنتقل إلى عادم السيارة مع الدخان.إن أي تحويل للطاقة يقود دوماً إلى خفّض هذه الطاقة لذا فإنّ التكاليف البيئيّة للإنتاج هي مرتفعة دائماً.

قانون التنافس Law of Competition:

لا يمكن لنوعين أن يشغلا نفس الوظيفة البيئيّة ويتنافسان على نفس المصادر تماماً في نفس الموطن لفترة طويلة جداً. إحدى المجموعات ستكسب ميزة تجبر المجموعة الأخرى على التحرّك أو تغيير السلوك أو الانقراض.

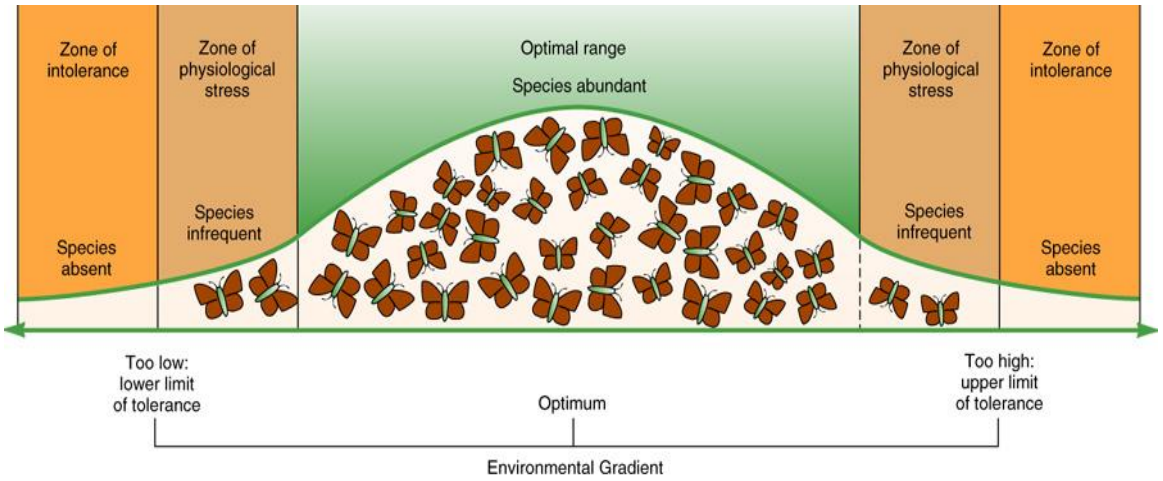
قانون التحمل: The Law Of Tolerance

إن أهمية عامل بيئي واحد قد عرف من قبل جوستس فون لايبيغ Justus von Liebig منذ العام 1840 بما يسمى بقانون لايبيغ للحدّ الأدنى Liebig's Law of the Minimum والذي ربط نمو النبات بأي عامل من العوامل الضرورية يقل عن حدوده اللازمة ضمن البيئة المحليّة. أعاد بلاكمان Blackman في العام 1905 صياغة قانون لايبيغ وذلك ضمن قانون العوامل المحددة Law of limiting factors، عندما أشار إلى أن النمو والتكاثر للكائن الحي أو لمجموعة من الكائنات الحية يرتبط بمجموعة معقدة من الشروط أو العوامل، وأن أي منها يصبح شرطاً أو عاملاً محدداً لنمو وتكاثر هذا الكائن أو هذه المجموعة من الكائنات عندما يقترب من حد التحمل الأدنى أو الأعلى أو يتجاوزهما. وسّع شيلفورد V. E. Shelford قانون لايبيغ ليطبّقه على الحيوانات أيضا ويأخذ في الحسبان أن الزيادة الكبيرة جداً قد تكون مشابهة للانخفاض الكبير جداً ضمن قانون التحمّل Shelford's Law Of Tolerance حيث ربط نمو وتكاثر كائن حي ما في موطن معين باكتمال مجموعة معقدة من الشروط، ويقود النقص أو الزيادة النوعية والكمية في العوامل المتعددة التي يمكن أن تقترب من حدود التحمل لهذا الكائن الحي إلى انقراض الكائن الحي أو عدم نجاحه في التكاثر. يفرض قانون شيلفورد للتحمل أنّ انتشار النوع سيحدد بمدى تحمّله للعوامل البيئية المحليّة، وتعتبر الفرضية بأن عاملاً محدداً وحيداً مضلّلة، حيث تتفاعل العوامل البيئية المختلفة في الطبيعة بطرائق مختلفة يستحيل معها تحديد عاملاً واحداً كعامل محدد، فعندما يكون هنالك شرط واحد غير مثالي إنما محتمل لنوع ما فإن ذلك قد يخفض حدود التحمّل للعوامل الأخرى. إذا لم يتطرق قانون التحمّل إلى العوامل المحدّدة الحيوية كالافتراس والتنافس والمنافسة، فإن ذلك يحد من قابلية تطبيقه فقط. إنّ وفرة النوع مرتبطة بتذبذب المتغيرات البيئية ضمن الحدود المثالية لذلك النوع في المنطقة المدروسة. ويكون النوع نادراً في المناطق التي تواجه إجهاداً فيزيولوجياً، حيث تكون قيم المتغيرات البيئية فيها إما عالية جداً أو منخفضة جداً، فالنوع لا يتواجد مطلقاً في المناطق خارج حدود تحمله العليا والدنيا.

يجب أن يقوم علماء البيئة بتحليل الشروط البيئية الميكروية للموطن الميكروي، وذلك لفهم العوامل الطبيعية التي يجب أن تتحمّلها الكائنات الحية. فاستمرار الأنواع في موطن ما، يتطلب منها جهداً فيزيولوجياً للبقاء والتكاثر في هذا الموطن البيئي. يعتبر تذبذب الطقس (درجات الحرارة الأعلى أو الأخفض خلال السنة)، ومرور فترة جفاف طويلة على البيئة من العوامل الأكثر أهمية في تحديد انتشار وتوزع كائن حي. فالنبات الذي لا يستطيع تحمّل درجات الحرارة الأخفض من الصفر 0°C سيكون غير قادر على البقاء في المنطقة ذات المناخ الدافئ (درجة حرارة سنوية متوسطة 25°C مثلاً) إذا هبطت درجة الحرارة إلى أقل من 0°C ولو ليوم واحد في السّنة، فعلى الرغم من أنه قد تكون جميع الشروط الأخرى في المنطقة مثالية بالنسبة للنبات، لكن شرطاً واحداً لا يستطيع تحمّله يمنعه من النمو.

يمكن لاختلافات الطقس أن تكون محلية، فقد تصل اختلافات درجة الحرارة ضمن منطقة صغيرة، إلى عدّة درجات بين الأماكن الظليلة والأماكن المكشوفة، أو بين الارتفاعات الأرضية والمختلفة فوق سطح الأرض. اختلافات محليّة أخرى قد نجدها ضمن منطقة صغيرة نسبياً كالرطوبة، وسرعة الرياح، وكمية نور الشمس، ونوع التربة...الخ، ولذلك يجب أن لا نتوقّع وجود نفس أنواع الكائنات الحية تماماً تعيش في جميع الاتجاهات حتى ضمن منطقة صغيرة جداً.

نفس أنواع الاعتبارات تطبق على السمات الأخرى للبيئة. فقد يكون مناخ المنطقة مثالياً لنوع معيّن من النبات، وقد تكون التربة غنية بالنتروجين والبوتاسيوم، إلا أن غياب أو نقصان الفوسفور عن الحد الذي يحتاجه النبات قد يمنعه من النمو في المنطقة.



مستوى التراتبية في الحياة:

الذرة :

الجزيء : ارتباط ذرتين أو أكثر

العضية : تراكم للجزيئات الكبرية محاط لغشاء مثل المتقدرات وصانعات الغذاء الخضراء

الخلية: الوحدة البنيوية للكائنات الحية

النسيج: خلايا متشابهة تؤدي نفس الوظيفة

العضو: مجموعة نسج تؤدي نفس الوظيفة

الجهاز العضوي: عدة أعضاء مترابطة الوظيفة

الكائن :

الجمهرة: عدة كائنات من نفس النوع

المجتمع: أفراد من أنواع مختلفة في مكان محدد

النظام البيئي: المجتمع مع البيئة الفيزيائية المحيطة

المحيط الحيوي

المحيط الحيوي Biosphere:

عبارة تلاحظ كثيراً في الأبحاث البيولوجية والجيولوجية والفلسفية. دخل هذا المفهوم إلى البيولوجيا من قبل لامارك 1809، وفي الجيولوجيا زيوس في عام 1875. عرف لامارك المحيط الحيوي بأنه محيط الكائن، واستخدمه زيوس لتوسيع أبحاث هيكل وتطور قشرة الأرض، إلا أنه لم يكتب شيئاً عملياً عن فحوى المحيط الحيوي. الدراسة الأولى للمحيط الحيوي قام بها فيرنادسكي (Vladimir Vernadsky)، حيث تناول المحيط الحيوي كجسم جيولوجي يحدد شكله ووظيفته خواص الأرض والفضاء كالقشرة الفعالة للأرض والتي يشترك فيها نشاط الأحياء والإنسان، وتظهر كعوامل جيوكيميائية ذات مقياس ومفهوم على مستوى الكوكب. ظهر المحيط الحيوي تحت تأثير الطاقة الشمسية نتيجة العمليات البيوكيميائية الطويلة. وهو عبارة عن الغلاف حول الأرض بما في ذلك مجال المواد الحية المنتشرة في هذا الغلاف كما تتضمن المواد نفسها.

يدخل في تركيب المحيط الحيوي جزء الغلاف الجوي السفلي (التربوسفيرا والجزء السفلي من الستراتوسفيرا) بارتفاع 15–20 كم، والهيدروسفيرا hydrosphere التي تلاحظ الحياة فيها حتى عمق 11 كم في المحيطات ، والجزء العلوي من قشرة الأرض (الليتوسفيرا lithosphere) بعمق 100–200 م وأكثر.

مكونات البيئة وفق المراجع الأوربية:

يتكون النظام البيئي من المكونات التالية:

- **المكونات غير الحية** والبيئة الفيزيائية للنشاط Abiotic Components: وهي المركبات والعناصر العضوية وغير العضوية مثل الكربون والهيدروجين والفوسفات وغيرها؛ والعناصر الفيزيائية كالجاذبية، والاشعاع، والطاقة الشمسية؛ والعناصر الغذائية؛ والمناخ (حرارة –رطوبة– ضغط –هواء)؛ والمياه؛ والتربة والهواء،...الخ.
- **المكونات الحية** Biotic Components: لكلّ نظام بيئي منتجونه، ومستهلكوه، ومحلّلوه:
- كائنات منتجة PRODUCERS:

تسمى النباتات بالكائنات المنتجة لأنها قادرة على إستخدام طاقة اشعاع الشمس لإنتاج الغذاء (سكّر). وهي الكائنات الحية ذاتية التغذية التي تصنع غذائها بنفسها من المواد غير العضوية البسيطة (Co2+H2O)مستفيدةً من عملية التمثيل الضوئي وهي النباتات الخضراء بأشكالها المختلفة بما فيها الطحالب. وتنتج النباتات الخضراء عشرات مليارات الأطنان من المواد العضوية سنوياً . تخزن النباتات طاقة الشمس على شكل هيدروكربونات، وتستخدم من قبل النباتات لدعم كل الوظائف الحياتية كالنمو ونضوج الفاكهة والتنفس، وتقوم الكائنات الحية الأعلى في السلسلة الغذائية باستخدام الطاقة الكيميائية هذه وتحولها إلى الأشكال المختلفة خلال السلسلة الغذائية. السلسلة الغذائية هي توالي الكائنات الحية في الجالية التي تشكّل سلسلة الإطعام التي تتحول فيها الطاقة من كائن حي لآخر، حيث يقوم الكائن (المفترس) باستهلاك الكائن الأخفض منه في السلسلة ليصبح هو فريسة للكائن الأعلى منه في السلسلة الغذائية. تقع النباتات المصنعة لليخضور في أسفل السلسلة photosynthesizing plant ، يليها عادةً أكلة الأعشاب herbivoreتعقبها أكلة اللحوم carnivores ، وأخيرا المفككات decomposers.

- كائنات مستهلكة CONSUMERS:

تسمى الحيوانات بالكائنات المستهلكة، حيث أن الحيوانات لا تستطيع صنع غذائها الخاص لذا فهي تأكل النباتات و/أو الحيوانات الأخرى. أي هي الكائنات التي تستمد غذائها من الكائنات الحية الأخرى مثل الحيوانات والحشرات، أي هي الكائنات غير ذاتية التغذية والتي تعتمد في تغذيتها على المواد العضوية في الكائنات الأخرى. وتتواجد جماعات مختلفة لهذه الكائنات:

- الحيوانات آكلة النبات فقط HERBIVORES.
- الحيوانات آكلة اللحوم من المرتبة الأولى CARNIVORES وهي التي تأكلّ حيوانات أخرى فقط.
- الحيوانات آكلة اللحوم من المرتبة الثانية OMNIVORESوهي التي تأكل كلا النباتات والحيوانات.

- كائنات مفككة DECOMPOSERS:

وهي الكائنات التي تعتمد في عملية غذائها على تحلل المادة أي على تفكيك جثث وبقايا الكائنات الحية الأخرى , وتقوم هذه الكائنات بتحرير مركبات بسيطة خلال عمليات التفكيك تستفيد منها الكائنات المنتجة في غذائها مثل الفطور والبكتريا.

مكوّنات البيئة وفق المراجع الأمريكية هي:

- الغلاف المائي Hydrosphere (المياه)
- الغلاف الجوي Atmosphere (الهواء)
- الغلاف اليابس Lithosphere (الأرض)
- الغلاف الحيوي Biosphere (النباتات، والحيوانات، والميكروبات)
- الغلاف البشري Anthrosphere (الإنسان يصنع الأشياء)

المحيط البشري– مراحل التطور البشري

يعرّف المحيط البشري Anthrosphere بأنه جزء من البيئة المصنعة أو المعدّلة من قبل الإنسان، والمستخدم لتأمين نشاطاته. يظهر في الشكل 2 العلاقة بين الغلاف الجوي والغلاف المائي والغلاف اليابس والغلاف الحيوي، وارتباطها مع بعضها البعض وكذلك ارتباطها مع نشاطات الإنسان أي مع التكنولوجيا (الغلاف البشري).

بما أن المحيط البشري هو نتيجة للتكنولوجيا، فمن الملائم مناقشة التكنولوجيا من هذه النقطة، فالتكنولوجيا تشير إلى الطرق التي يتعامل فيها الإنسان مع المواد والطاقة، وقد اعتمدت التكنولوجيا بشكل كبير على المبادئ العلمية. التي اعتمدت على الاكتشاف، والتفسير، وتطوير النظريات فيما يخص الظواهر الطبيعية للطاقة، والمادة، والزمن، والفراغ استناداً إلى المعارف الأساسية للعلم، وزود علم الهندسة الإنسان بالخطط اللازمة لإنجاز أهداف عملية محددة، لتقوم التكنولوجيا باستخدام هذه الخطط لتنفيذ الأهداف المطلوبة.

مرحلة التنظيم الذاتي للطبيعة: كان تأثير الإنسان على الأرض صغيراً جداً في مرحلة التنظيم الذاتي للطبيعة، أي في بداية ظهور الإنسان في المحيط الحيوي، واعتمد الإنسان في هذه المرحلة على الصيد وجمع الثمار في غذائه، وعلى قطع بعض أشجار الغابة في بناء مساكنه البسيطة مستخدماً أدوات بدائية مصنوعة من الحجارة، والأخشاب، والعظام.

المرحلة الأولى لاضطراب التوازن البيئي: وقد بدأت التكنولوجيا بالتطور بسرعة كبيرة عندما بدء الإنسان يستقر في المدن، وبدأت المراحل الأولى لاضطراب التوازن البيئي مع بداية قيام الإنسان بتربية الماشية، وبالزراعة، حيث ازداد قطع وحرق الإنسان للغابات، وانقرضت بعض الأصناف النباتية والحيوانية.

مرحلة الإنسان المستكشف والمخترع:

تطورت التكنولوجيا مع تطور حاجات الإنسان، فقاد تدجين الحصان لاختراع العجلة، وتطورت الهندسة المعمارية لتمكن الإنسان من إنشاء الأبنية المرتفعة، وتطور علم الهيدروليك لتحسين وسائل الري، وشهدت العصور اليونانية والرومانية تطور الآلة، فظهرت الرافعة والبكرة، والطائرة، واللولب، والمنجنيق لرمي القذائف في الحرب، والنواعير لتحريك المياه، والتي طورت لاحقاً لإنتاج الطاقة. بدأت بعض التكنولوجيات المبدعة مثل الطباعة بالخشب، واخترع البارود، وشهد القرن التاسع عشر انفجاراً في التكنولوجيا، فظهر القطار البخاري، والتلغراف، والهاتف، والكهرباء كمصدر للطاقة، واستخدام الحديد والفولاذ في بناء الجسور والمنشآت الهندسية، والإسمنت، والتصوير الفوتوغرافي، واختراع محرّك الاحتراق الداخلي الذي اعتبر ثورة في عالم النقل في القرون اللاحقة.

وبدأ الإنسان في هذه المرحلة بالاستكشاف والاختراع لتبدأ مرحلة جديدة من اضطراب التوازن البيئي والتي اتسمت :

1- الاستخدام المتزايد للموارد الطبيعية

2- ظهور أشكال متعددة من التلوث في المياه والهواء والتربة

3-ازداد التخريب في الغطاء النباتي على سطح الأرض

4- اختفت بعض أشكال الأنواع النباتية والحيوانية.

مرحلة الإنسان المبذر :

مع بداية القرن العشرين تميزت هذه المرحلة بتطور التكنولوجيا والاستخدام الواسع والمتزايد للطاقة، والتسارع المتزايد جداً في عمليات التصنيع، وفي المعلوماتية، والنقل، والاتصال، وظهور تشكيلات واسعة من المواد الكيميائية، واستخدام أساليب الزراعة المكثفة، والانفجارات السكانية، وعشوائية التخطيط...الخ. وقد بدأ الإنسان في هذه المرحلة بالتبذير وبالاستجرار الجائر للموارد الطبيعية، فبدأت تعاني الطبيعة من التدهور الشديد في جميع أجزائها، وبدأ التناقص المريع للأنواع النباتية والحيوانية، وكان التأثير البيئي للزراعة هائل جداً، وكذلك بدأت بالظهور مشاكل بيئية عالمية مثل الاحتباس الحراري، والتصحر العالمي، واستنزاف طبقة الأوزون، والتلوث الشديد للمجمعات المائية...الخ.

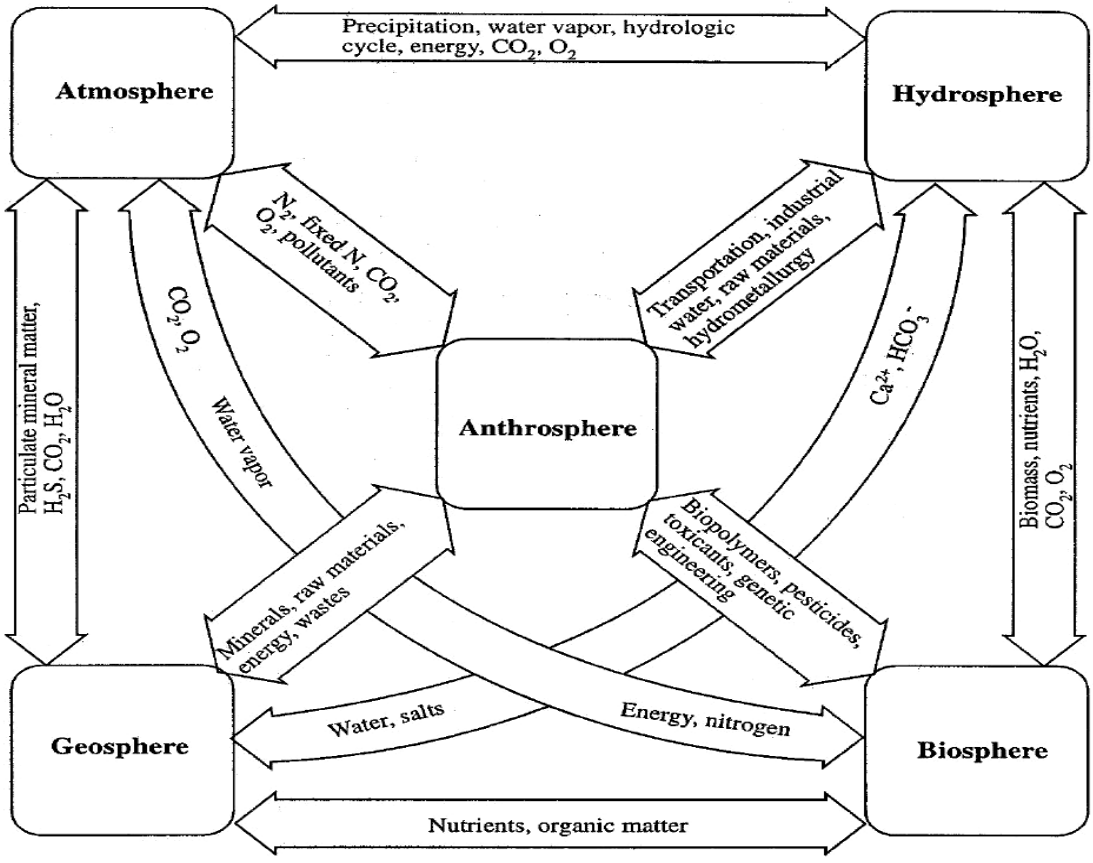
مرحلة الإنسان المفكر:

وفي أواخر القرن الماضي دخل الكومبيوتر في التطبيقات الواسعة للصناعة، والاتصال، والنقل، وتطورت التكنولوجيا الحيوية. ويعود التقدّم التقني لذلك القرن بشكل كبير إلى التطبيق الواسع للإلكترونيات؛ والتكنولوجيا الحديثة المستندة إلى المواد

المحسّنة كالبلاستيك، وألياف الفيبر، والخزف، والبوليميرات...الخ. لم يعر التقدّم التكنولوجي أهمية تذكر للتأثيرات البيئية، فقد تطلب استمرار الإنسان والكوكب علاقة تفاعلية ثنائية بين العلم والتكنولوجيا، أما الآن فقد أصبح التحدي التقني الأعظم للتكنولوجيا هو تطبيق تكنولوجيا التسوية للنتائج البيئية، وأصبح استمرار الإنسان والكوكب يتطلب في الوقت الحالي علاقة تفاعلية ثلاثية، حيث ضمت بشكل إضافي ضرورات حماية البيئة إلى العلاقة التفاعلية السابقة. وبدأ الإنسان في هذه المرحلة بالتفكير بضرورة وضع علاقة جديدة بينه وبين الطبيعة، فبدأ يبحث عن حلول جديدة لمشكلة الطاقات التقليدية وملوثاتها، وبدأ يفكر بالمحافظة على التنوع الحيوي ويحسن من آلية استثماره للموارد الطبيعية.

تأثيرات المحيط البشري على الأرض:

كان تأثير المحيط البشري على كوكب الأرض متعدداً وعميقاً، حيث انتشرت المنتجات الضارّة في المحيط البشري بالإضافة إلى الأغلفة البيئية الأخرى كنتيجة للنشاطات البشرية، ومن هذه المنتجات: المعادن الثقيلة السامّة؛ ومركّبات الكلور العضوية؛ والنفايات الصناعية؛ والأسمدة الفوسفاتية، وحمأة مياه الصرف الصحي والصناعي...الخ، وقد وجدت النفايات الخطرة والملوثات ذات الأصول البشرية طريقها إلى المياه، والهواء، والتربة، والكائنات الحيّة فتأذت أغلفة البيئة الأخرى بهذه الملوثات، ووصلت مركبات الهيدروفلوروكربون، وغازات الكربون، والنتروجين، إلى الغلاف الجوي مهددةً طبقة الأوزون في طبقة الستراتوسفير، وازداد تركيز المغذيات، والمعادن الثقيلة، والمبيدات، والأسمدة، ورشاحة وغازات النفايات الصلبة في مكونات الأغلفة البيئية المختلفة.



الشكل (2)

الدورات البيوجيوكيميائية : Biogeochemical Cycles

تخضع المواد في البيئة لتغييرات كيميائية وفيزيائية مستمرة، أي أن هنالك تغير داخلي طبيعي دائم للمواد بين الغلاف الجوي, وغلاف اليابسة والغلاف المائي، وتزيد التأثيرات البشرية الضارة أو المفيدة من هذه الحركة للمواد أو تنقص منها. وإحدى طرائق عرض حركة المادة خلال البيئة الجيولوجية العالمية هي استخدام الدورات الجيوكيميائية. تمثّل الصناديق في الدورات خزانات المواد، بينما تظهر الخطوط اتجاه حركة (جريان) المواد بين هذه الخزانات. تسمى أجزاء الدورة التي يجري فيها احتجاز العنصر

الكيميائي لفترة طويلة من الزمن هذه بالمستودعات Reservoirs، بينما تسمى أجزاء الدورة التي يجري فيها احتجاز العنصر الكيميائي لفترة قصيرة من الزمن بالخزانات Pools. وتدعى الفترة الزمنية الوسطية لبقاء مادة معيّنة في المستودعات، أو الخزانات بزمن المكث residence time

وتعتبر الطاقة اللازمة لإنتقال المركبات، أو العناصر من مستودع، أو خزان إلى آخر والتي يجري الحصول عليها بشكل أساسي من الشمس المحرك الأساسي لهذه الدورات.

يمكن أن تتراكم المواد التي تملك فترة مكث طويلة لتتجمع بتراكيز عالية أعلى من تلك التي تملك فترة مكث قصيرة، ولذا فربّما تملك تأثيراً أكبر على البيئة. تملك الغازات فترة مكث تتراوح من عدة أيام حتى بضعة آلاف من السنين، ومثال على ذلك فالميثان غاز يملك فترة مكث متوسطة في الجو قدرها أربع سنوات تقريباً. وهنالك مواد تواجدت في البيئة منذ ملايين السنين كالصوديوم المنحل في مياه البحر منذ حوالي 210 مليون سنة. إن فترات المكث لبعض المواد في الغلاف الصخري هي أطول من ذلك بكثير. يعكس هذا الاختلاف قابلية حركة المواد وقدرتها على التفاعل الكيميائي مع المواد الكيميائية الأخرى.

تحتوي قشرة الأرض كامل عناصر الجدول الدوري الطبيعية غير الصنعية. ويشكل الأوكسجين، والسيليكون، والألمنيوم، والحديد، والمغنيزيوم، والكالسيوم، والصوديوم، والبوتاسيوم النسبة الغالبة من مكونات الغلاف الصخري للأرض، إلا أن الأوكسجين، والكربون، والنيتروجين، والفوسفور، والكبريت، هي أكثر العناصر الرئيسة تأثيراً في النظام البيئي الحيوي ، حيث أنها تدخل في تكوين المادة الحية (الكتلة الحيوية) للكائنات على شكل مركبات كيميائية مختلفة، كالكربوهيدرات، والبروتينات، والدهون، والفيتامينات ...الخ.

تتواجد في الطبيعة عشرات العناصر الأساسية التي يعتبر تواجدها ضروري لدورة الحياة على الأرض. تتحول هذه العناصر في النظام البيئي من شكل لآخر ومن حالة لأخرى من خلال الدورات البيوجيوكيميائية.

إن الدورات البيوجيوكيميائية ذات العلاقة الأكبر مع الغلاف الحيوي هي دورات الكربون، والأكسجين، والماء، والنتروجين، والفوسفور، والكبريت. تلعب الدورات السابقة دوراً مهماً في وضع سياسات حماية البيئة المحيطة، وتملك أهمية كبيرة في التعرف على غنى أو فقر النظام البيئي بالعناصر السابقة، وفي رصد مستويات التلوث في النظام البيئي. يصنف بعض الباحثين الدورات السابقة إلى دورتين أساسيتين يطلق على الأولى اسم الدورة الغازية exogenic cyclesمثل دورات الكربون والنتروجين، والأكسجين، والهيدروجين، والماء، ويطلق على الثانية اسم الدورة الرسوبية endogenic cycles وتسمى أحياناً بالدورات غير المكتملة لأن قسماً من موادها تنتهي في التربة والصخور، وتستغرق عودتها إلى الدورة زمناً طويلاً، مثل دورات الفوسفور، والكبريت، والعناصر الكيميائية الأخرى .

دورة المياه الطبيعية (الدورة الهيدرولوجية) The natural water cycle

تعتبر المياه عنصراً هاماً للحياة على سطح الأرض، حيث تعتمد النبات والحيوانات والإنسان على المياه اعتماداً كبيراً للاستمرار في الحياة. تتواجد المياه في الطبيعة بأشكال مختلفة: غازي على شكل بخار في الهواء، أو سائل في الأنهار والبحيرات والبحار والمحيطات وفي جوف الأرض، أو متجمد على شكل جليد في القطبين، وتعتمد كل هذه العمليات اعتماداً مباشراً على عناصر الطقس المختلفة من حرارة وضغط جوي ورياح وعلى الأوضاع الطبوغرافية والجيولوجية لليابسة.

إن المياه على سطح الأرض هي جزء من دورة المياه الطبيعية، أو الدورة الهيدرولوجية العالمية. تستند هذه الدورة إلى الحركة المستمرة للماء بين سطح الأرض والغلاف الجوي.

تتضمّن دورة المياه توازناً ديناميكياً بين عمليتي التبخر والهطول. تتبخر المياه من سطوح كلاً من السطح المائي والسطح الأرضي وكذلك ترشح أيضا من خلايا النبات الحيّة. يدور بخار المياه المنتج في كافة أنحاء الجو، حيث يسقط في النهاية كثلج وكمطر. يعتبر الثلج والمطر المصدر الأولي لكلّ المياه الصالحة للشرب drinkable (potable) water. يمكن للمياه أن تسلك طريقين مختلفين، اعتماداً على كمية المطر، فإذا كان المطر غزيراً فإن كمية كبيرة جداً من المياه ستجري على سطح الأرض وصولاً إلى الجداول والأنهار، ولتصل في نهاية الطريق إلى البحيرات والمحيطات. تعتمد كمية الجريانات المطرية على المسامية

porosity، والنفاذية permeability ، وسماكة التربة، ومحتوى رطوبتها السابقة moisture content . تبقى بعض المياه في التربة وتعود إلى الجو بواسطة التبخير، كما ترشح من أوراق النباتات بعد أن تمتصّ من قبل جذورها. قد تتحرّك بعض المياه تحت تأثير الجاذبية خلال طبقات الصخور المسامية، حتى تصل إلى الطبقات الكتيمة، حيث تجمع لتشكل المياه الجوفيّة التي تعتبر مصدر تغذية الآبار والينابيع والأنهار والبحيرات. يرتفع أو ينخفض سطح المياه الجوفيّة بفعل الشروط الطبيعية تبعاً لشروط الطقس السائدة.

دورة الأوكسجين The Oxygen Cycle :

يكاد يكون الأوكسجين موجوداً في دورات جميع العناصر الأخرى.

تحتاج تقريبا كلّ الكائنات الحيّة إلى الأوكسجين، حيث تستخدمه معظم الكائنات الحية الأوكسجين خلال عملية التنفس، بهدف تأمين الطاقة إلى الخلايا الحية.

تعتبر النباتات بداية دورة الأوكسجين. تقوم النباتات القادرة على إستخدام طاقة الشمس بتحويل ثاني أكسيد الكربون والمياه إلى الكربوهيدرات والأوكسجين في العملية المسمّاة بالتركيب الضوئي.

تشكّل الحيوانات النصف الآخر من دورة الأوكسجين. فهي تستنشق الأوكسجين الذي يستعمل لتفكيك الكربوهيدرات إلى الطاقة في العملية مسمّاة بالتنفس والشبيهة بمعادلة التركيب الضوئي.

فالأوكسجين ينتج في النباتات ويستهلك في الحيوانات. لكن دورة الأوكسجين ليست في الحقيقة بتلك البساطة. فالنباتات بحاجة لأن تقوم بتحليل الكربوهيدرات إلى طاقة كما تفعل الحيوانات، فتقوم باستهلاك قليلاً من الأوكسجين المنتج في عملية التركيب الضوئي لتحطيم الكربوهيدرات، لكي تعيش وتنمو. وتقوم النباتات بامتصاص الأوكسجين من الهواء وبطرح ثاني أكسيد الكربون كما تفعل الحيوانات. بالرغم من أنّ النباتات تنتج تقريباً من الأوكسجين نهاراً عشر مرات كمية استهلاكها ليلاً، إلا أن استهلاك النباتات للأوكسجين في الليل قد يخلق شروطاً غير مناسبة (انخفاض الأوكسجين) في بعض البيئات المائية. يتواجد الأوكسجين في المياه على شكل أوكسجين منحل DO. في الطبيعة، حيث يدخل الأوكسجين إلى المياه من الهواء عندما يقفز المياه عبر الصخور وتسمح المنطقة السطحيّة العالية للماء بالانتقال السريع جداً للأوكسجين من الهواء إلى المياه. تستخدم الكائنات الحية الدقيقة الأوكسجين المنحل في المياه لتفكيك المواد العضوية، مستهلكةً الأوكسجين خلال العملية. وتسمى النسبة التي يستهلك فيها الأوكسجين من قبل الكائنات الحيّة في المياه بنسبة نفاذ الأوكسجين Oxygen uptake rate (O.U.R.).

دورة الكربون Carbon Cycle:

يعتبر الكربون (Carbon) من العناصر المهمة على الأرض وهو عنصر واسع الانتشار في الطبيعة بأشكال مختلفة: صلب في تركيب الصخور، وسائل في تركيب خلايا النباتات الحية، وغازي في الهواء والتربة. يتواجد الكربون فى جميع أشكال الحياة العضوية، حيث أنه يشكل الهيكل الكربوني لكل المركبات الحيوية مثل الجلوكوز (Glucose) , والتريوز (Triose)، والبنتوز (Pentose)، واللاكتوز (Lactose)، والنشاء (Starch)، والجليكوجين (Glycogen)، والسليلوز (Cellulose)، والدهون، والشموع، والأحماض الأمينية، وملايين المركبات الكربوهيدراتية الأخرى. وهو المكون الأساسي للخشب، والفحم، والبترول، والأحماض النووية (Nucleic acids)، ومركبات الطاقة. ويعتبر بعض الباحثين دورة الكربون دورةً للأوكسجين والهيدروجين أيضاً بسبب إرتباط هذه العناصر جميعاً في دورة واحدة.

يشكل غاز ثاني أكسيد الكربون CO_2 حوالي % 0.3 من الغلاف الجوي، وتعتبر هذه النسبة نسبةً توازنيةً تسبب زيادتها المشاكل البيئية والصحية. يسير الكربون ضمن دورة مغلقة يُستهلك خلالها هذا الغاز من قبل النباتات المائية والأرضية، حيث تقوم النباتات، وبعض الكائنات الحية الأولية، وبعض الطلائعيات بتنقية الهواء من الكميات الزائدة من الكربون من خلال عملية التركيب الضوئي، وذلك بتثبيتها ثاني أكسيد الكربون لإنتاج الغذاء، والخشب، والأكسجين، والمركبات الهيدروكربونية. تقوم الكائنات السابقة

خلال عملية التركيب الضوئي بامتصاص غاز ثاني أكسيد الكربون من الجو، والضوء من أشعة الشمس، والمياه من التربة، لتصنع مما سبق السلاسل الكربونية، والكاربوهيدرات، لتستهلك جزءً من الطاقة الناتجة في في بعض التفاعلات المباشرة، وتخزن المتبقي في أغشيتها وأوراقها وثمارها والتي تنتقل إلى الحيوانات المستهلكة لهذه النباتات ومن ثم إلى الإنسان والحيوان المستهلك للحيوانات السابقة، كما ثم ما يلبث الكربون أن يعود إلى الغلاف الجوي.

يذوب ثاني أوكسيد الكربون في مياه البحار والمحيطات، ويستخدم الغاز المنحل في المحيطات من قبل العضويات البحرية marine biota خلال عملية التركيب الضوئي، ويعود جزء من هذا الغاز إلى الجو خلال عملية التبادل بين المحيطات والغلاف الجوي، ويترسب جزء منه في أعماق البحار والمحيطات على شكل دقائق جيرية.

وتطلق الكثير من عمليات الاحتراق كاحتراق الوقود والغابات غاز ثاني أكسيد الكربون، وكذلك تطلق عملية التنفس عند الإنسان، والحيوان، وعمليات تحلل المواد العضوية هذا الغاز، والذي يعود عبر دورته من جديد من خلال الأمطار الحامضية أو بامتصاصه من قبل المسطحات المائية متحداً مع بخار المياه وهكذا تستمر الدورة.

دورة النيتروجين Nitrogen Cycle :

يشكل النيتروجين النتروجين أربعة أخماس الغلاف الجوي تقريباً، وتعتبر فضلات الكائنات الحية، ومنتجات تحللها، مصدراً مهماً للنيتروجين. يساعد النتروجين في صنع البروتينات، والمواد الكيميائية الأساسية للكائنات الحية، ويدخل في تكوين الكثير من المواد الأخرى، حيث يعتبر النيتروجين عنصراً أساسياً في تكوين الحياة على سطح الأرض.

النتروجين مركباً خاملاً كيميائياً في درجات الحرارة والضغوط العادية، لذلك فإنّ إتاحة النتروجين من الجو محدودة جداً، لذلك لا يستخدم النيتروجين بصورة مباشرة من الغلاف الجوي، وإنما لا بد من تحويله إلى مركبات تستطيع الكائنات الحية استخدامها. ويصبح النتروجين الجوي جزءً من المحيط الحيوي عن طريق تثبيت النتروجينNitrogen fixation . هذه العملية تحول النتروجين إلى شكل قابل للذوبان تستطيع النباتات امتصاصه عبر نظام جذورها. يحدث أكثر من نصف عمليات تثبيت النتروجين السنوية عن طريق النباتات، يحدث التثبيت خلال العمليات صناعية، وعمليات الاحتراق. البكتيريا اللاهوائية والطحالب الخضراء المزرقة والمتواجدة بكثرة في التربة والمحيطات تقوم بعملية تثبيت النتروجين، حيث تحوّل هذه الكائنات الحية النتروجين إلى الأمّونيا، باستخدام محفّز الإنزيم النتروجيني enzyme catalyst nitrogenase . يمكن للكائنات الحية التعايشية المتواجدة في العقد الجذرية للبقوليات أن تؤمن هذا الأنزيم أيضاً. إنّ الآلية معقّدة جداً يدخل فيها عنصر المولبيديوم وجزيئات البروتين الحديدية ذات الكتلة الجزيئية الضخمة جداً.

تقوم البكتيريا بعملية تثبيت النتروجين فتحول غاز النتروجين الموجود في التربة إلى مركبات نتروجينية تستخدمها النباتات لإنتاج البروتينات، والأحماض الأمينية، وتعمل البكتيريا على تحويل البروتينات الموجودة في فضلات الكائنات الحية، أو بقاياها بعد موتها إلى أمونيا، ثم تقوم بكتيريا أخرى بتفكيك الأمونيا والمركبات النتروجينية محولةً إياها من جديد إلى غاز النتروجين.

دورة الكبريت: Sulfur Cycle

- لا يوجد الكبريت ومركّباته في الجو لكنّه يشترك في الدورة الجيوكيميائية المعقّدة، حيث يدخل الكبريت في تركيب المواد العضوية الحيوانية والنباتية. لذا يعد من العناصر الأساسية اللازمة لحياة الكائنات الحية. يعتبر الغلاف الصخري الخزان الرئيسي للكبريت، وتبدأ دورة الكبريت بخروجه خلال عملية التجوية الكيميائية لبعض أنواع الصخور التي تحتويه مثل صخور الجبس $CaSO_4$، وخام الكبريت الحر. وينتقل الكبريت على شكل كبريتات منحلة SO_4 إلى المياه السطحية أو الجوفية خلال ملامستها لهذه الصخور، لينتقل الجزء الأكبر منه إلى مياه البحار والمحيطات وترسب الكبريت متحولة مع الزمن الطويل إلى صخور من جديد كصخور الآنهيدريت.وبذلك تغلق دورة الكبريت على هذا الوجه.

- تمتص النباتات جزءً من الكبريت الذي يعبر التربة على شكل كبريتات منحلة، حيث يدخل في تركيب موادها العضوية، وخاصةً البروتينات النباتية. ينتقل هذا الكبريت الموجود في المواد العضوية النباتية إلى المستهلكات الأعلى في السلسلة الغذائية، ليعود من جديد إلى التربة بعد موت المستهلكات والنباتات، حيث تقوم المحللات بتحليل المواد العضوية الحاوية على الكبريت، وتحريره من جديد لتبدأ دورة الكبريت من جديد
- تعتبر البلانكتونات الضوئية البحرية المنتج الرئيس لكبريتيد الديميثيل (CH3)2S، (dimethyl sulphide)، الذي يتأكسد بواسطة الأوكسجين إلى ثاني أكسيد الكبريت وبعد ذلك إلى أيون الكبريتات (VI) SO4. ينحل ثاني أكسيد الكبريت الناتج عن أكسدة المركّبات التي تحتوي على الكبريت بسهولة في المياه ليشكل محاليل حمضية –حمض الكبريت.
- وتمتاز دورة الكبريت عن دورة الفوسفور بتكون طور غازي للكبريت لا يوجد مثله في دورة الفوسفور، إذ يمكن للكبريت أن يصل إلى الغلاف الجوي على شكل غازين أساسيين هما: ثاني أوكسيد الكبريت SO2، وكبريت الهيدروجين H2S، كما ينتج غاز ثاني أوكسيد الكبريت بشكل رئيس عن عمليات حرق الوقود الأحفوري، والفحم الحجري المحتويين له أساساً. ويمكن أن ينتج غاز ثاني أوكسيد الكبريت عن عمليات أكسدة الكبريت بفعل بكتريا الكبريت Thiobacillus ذاتية التغذية الكيميائية. ويصل غاز كبريت الهيدروجين، وهو غاز سام، إلى الغلاف الجوي نتيجة عمليات التحلل اللاهوائية للمركبات العضوية المحتوية على الكبريت. تساهم كذلك البراكين في وصول الغازين السابقين إلى الغلاف الجوي. يساهم غاز ثاني أوكسيد الكبريت عند تفاعله مع المياه في تشكيل حمض الكبريت H_2SO_4، والذي يسهم في تشكيل المطر الحمضي والذي يعتبر أحد المشاكل الخطرة على البيئة في عالمنا المعاصر.

دورة الفوسفور Phosphor cycle

يعتبر الفوسفور واحداً من العناصر المهمة في العمليات الحيوية للكائنات الحية، فهو مكون رئيس مهم في تركيب ATP , ADP ، بالإضافة إلى كونه أحد مكونات أغشية الخلايا RNA, DNA، وأحد مركبات العظام والأسنان.

تختلف دورة الفوسفور عن دورات العناصر السابقة في أن الغلاف الجوي لا يشكل أحد خزاناته. يتواجد الفوسفور في القشرة الأرضية على شكل فوسفات، الذي يتحد بدوره مع أيون موجب، كأيون الكالسيوم، مكوناً فوسفات الكالسيوم الموجود في العديد من صخور القشرة الأرضية النارية والرسوبية، وينتقل إلى المياه الملامسة. وتلعب العوامل الجوية كالأمطار والرياح دوراً مهماً في نقل أيون الفوسفات خلال عمليات التجوية للصخور الحاوية على الفوسفات إلى مياه الأنهار والبحار، ومن ثم إلى النباتات عبر التربة، وبعد ذلك إلى الكائنات الحية المستهلكة، وكذلك تمتصه النباتات البحرية لينتقل إلى الطيور التي تعيش على هذه النباتات. يعود الفوسفور من جديد إلى التربة عند تحلل النباتات والحيوانات الميتة، أو فضلاتها الحاوية على الفوسفور لتغلق الدورة.