مقرر حماية البيئة – السنة الخامسة

المحاضرة الأولى

الدكتور المهندس بسام العجي

قسم الهندسة البيئية –كلية الهندسة المدنية– جامعة دمشق

الأنظمة البيئيّة الطبيعية ـ مفاهيم بيئيّة
Natural Ecosystem - Ecological Concepts

2022-2023

Damascus University

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.

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: إطلاع

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 ، بإستعمال 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، أو 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 والمواد، 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 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 فتنتقل 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 يحتلا نفس الموطن البيئيّ 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 .

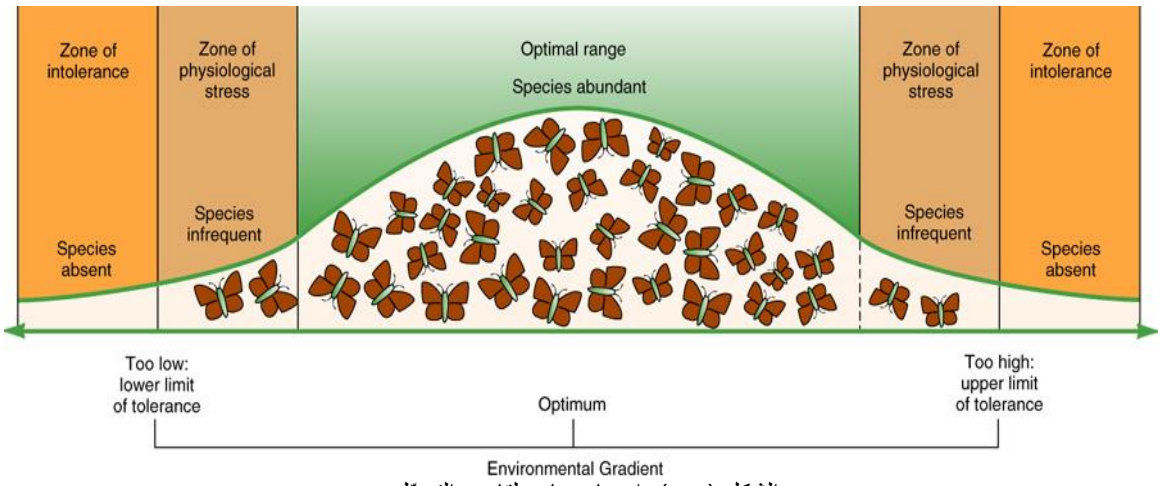
قانون التحمل: The Law Of Tolerance

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 كامل الأشكال الحية 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 شيفلورد 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 قد يخفض حدود التحمّل للعوامل الأخرى. إن عدم تطرق قانون التحمّل إلى العوامل المحدّدة الحيوية كالافتراس والتنافس والمنافسة يحد من قابلية تطبيقه. 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. ويبين الشكل (1-1) ايضاح بياني لقانون التحمّل.

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 المرتفعة أو المنخفضة خلال السنة) وفترة الجفاف الطويلة على البيئة من العوامل الأكثر أهمية في تحديد انتشار وتوزع الكائن الحي، 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 ألا نتوقّع وجود نفس أنواع الكائنات الحية التي تعيش حتى ضمن مناطق صغيرة جداً يفترض أنها متشابهة.

اعتبارات أخرى شبيهة قد تطبق على السمات الأخرى للبيئة، فقد يكون مناخ منطقة ما ذات تربة غنية بالنتروجين والبوتاسيوم مثالياً لنوع معيّن من النبات، إلا أن غياب أو نقصان الفوسفور عن الحد الذي يحتاجه النبات قد يمنعه من النمو في هذه المنطقة.



الشكل (1-1): ايضاح بياني لقانون التحمّل

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:

أدخل هذا المفهوم إلى البيولوجيا من قبل لامارك 1809، وفي الجيولوجيا من قبل 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.

يدخل في تركيب المحيط الحيوي جزء الغلاف الجوي السفلي (التربوسفيرا والجزء السفلي من الستراتوسفيرا) بارتفاع 15–20 كم، وكامل غلاف الهيدروسفيرا hydrosphere الذي تلاحظ فيه الحياة، أي حتى عمق 11 كم في المحيطات، وإلى الجزء العلوي من قشرة الأرض (الليتوسفيرا lithosphere) بعمق 100–200 م وأكثر، وامتد مع الاكتشافات العلمية الحديثة ليصل إلى عدة كيلومترات في عمق الغلاف اليابس.

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 أو مصنعو الغذاء، ومستهلكوه، ومحلّلوه

مكوّنات البيئة وفق المراجع الأمريكية:

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

المحيط البشري– مراحل التطور البشري

يعرّف المحيط البشري Anthrosphere بأنه جزء البيئة المصنعة أو المعدّلة من قبل الإنسان، والمستخدم لتأمين نشاطاته.

ويبين الشكل (2–1) ارتباط الغلاف البشري مع باقي الأغلفة (الغلاف الجوي والمائي واليابس والحيوي)، وارتباط الأغلفة السابقة مع بعضها البعض.

بما أن المحيط البشري هو نتيجة للتكنولوجيا، فمن الملائم مناقشة التكنولوجيا من هذه النقطة، فالتكنولوجيا تشير إلى الطرائق 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. واستناداً إلى التكنولوجيا يمكن عرض المراحل التي مرت بها الطبيعة كما يلي:

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: بدأت التكنولوجيا بالتطور بسرعة كبيرة عندما بدأ 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. بدأ بعد ذلك طهور بعض التكنولوجيات المبدعة مثل الطباعة بالخشب، واخترع البارود، وشهد القرن التاسع عشر انفجاراً

في التكنولوجيا، فظهر القطار البخاري، والتلغراف، والهاتف، والكهرباء، واخترع محرّك الاحتراق الداخلي الذي اعتبر ثورة في عالم النقل في القرون اللاحقة كما استخدم الحديد والفولاذ في بناء الجسور والمنشآت الهندسية.

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

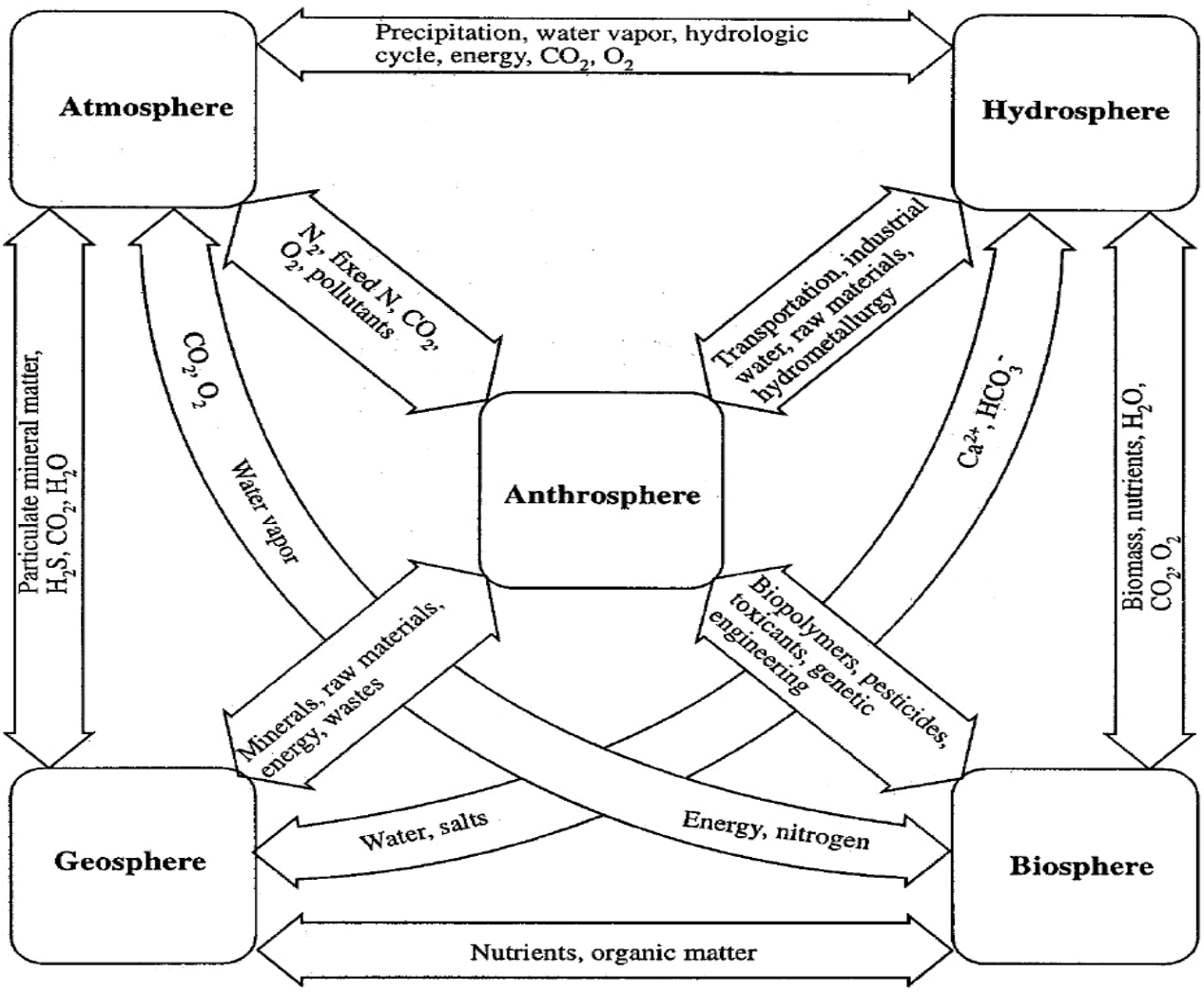
1. الاستخدام المتزايد للموارد الطبيعية
2. ظهور أشكال متعددة من التلوث في المياه والهواء والتربة
3. ازدياد التخريب في الغطاء النباتي على سطح الأرض
4. اختفاء بعض أشكال الأنواع النباتية والحيوانية.

مرحلة الإنسان المبذر:

بدأت هذه المرحلة مع بداية القرن العشرين وتميزت 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 معاناة الطبيعة من التدهور الشديد في جميع أجزائها، وبدأ التناقص المريع للأنواع النباتية والحيوانية، وكان التأثير البيئي للزراعة هائل جداً، وبدأت بالظهور مشاكل البيئة العالمية مثل الاحتباس الحراري، والمطر الحمضي، واستنزاف طبقة الأوزون، والضباب الدخاني، والتصحر، والتلوث الشديد للمجمعات المائية...الخ.

مرحلة الإنسان المفكر:

كان تأثير المحيط البشري على كوكب الأرض متعدداً وعميقاً، فقد انتشرت المنتجات الضارّة في المحيط البشري وفي الأغلفة البيئية الأخرى كنتيجة للنشاطات البشرية في أواخر القرن الماضي مع التطور السريع للصناعة والاتصالات والنقل والتكنولوجيا الحيوية والتكنولوجيا الحديثة المستندة إلى المواد المحسّنة كالبلاستيك، وألياف الفيبر، والخزف، والبوليميرات...الخ. وقد وجدت المنتجات الضارّة كالمعادن الثقيلة السامّة؛ ومركّبات الكلور العضوية؛ والنفايات الصناعية؛ والأسمدة الفوسفاتية؛ وحمأة مياه الصرف الصحي والصناعي...الخ، طريقها إلى المياه، والهواء، والتربة، وإلى مختلف الكائنات الحيّة، فتأذت أغلفة البيئة المختلفة من انتشار هذه الملوثات حيث وصلت 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 مسببةً الكثير من المشاكل البيئية، حيث لم يعر التقدّم التكنولوجي السابق أهمية تذكر للتأثيرات البيئية، فقد اعتمد استمرار الإنسان والكوكب علاقة تفاعلية ثنائية بين العلم والتكنولوجيا، أما الآن فقد أصبح تطبيق تكنولوجيا التسوية للنتائج البيئية التحدي التقني الأعظم للتكنولوجيا، وأصبح استمرار الإنسان والكوكب يتطلب علاقة تفاعلية ثلاثية تضمن بشكل إضافي إدراج ضرورات حماية البيئة في 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 محرزاً تطوراً كبيراً في مجال حماية البيئة من نشاطاته المؤذية.



الشكل (2–1): ارتباط الغلاف البشري مع باقي الأغلفة

الدورات البيوجيوكيميائية : Biogeochemical Cycles

تخضع المواد في البيئة لتغييرات كيميائية وفيزيائية مستمرة بين الأغلفة البيئية المختلفة، 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 البيوجيوكيميائية. 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 المحرك الأساسي لهذه الدورات.

تملك الغازات فترة مكث تتراوح من عدة أيام حتى بضعة آلاف من السنين، حيث يملك غاز الميثان على سبيل المثال فترة مكث متوسطة في الجو قدرها أربع سنوات تقريباً، بينما تملك بعض المواد الصلبة فترة مكث قد تصل إلى مئات الملايين من السنين كالصوديوم المنحل في مياه البحر والذي يملك فترة مكث حوالي 210 مليون سنة، وقد تملك بعض المواد في الغلاف الصخري فترات المكث أطول من ذلك بكثير.

تتواجد في الطبيعة عشرات العناصر الأساسية التي يعتبر تواجدها ضروري لدورة الحياة على الأرض، إلا أن الأوكسجين، والماء، والكربون، والنيتروجين، والفوسفور، والكبريت، هي أكثر العناصر الرئيسة تأثيراً في النظام البيئي الحيوي، حيث أنها تدخل في تكوين المادة الحية (الكتلة الحيوية) للكائنات من خلال تواجدها على شكل مركبات كيميائية ضرورية مختلفة كالكربوهيدرات،

والبروتينات، والدهون، والفيتامينات ...الخ. تتحول العناصر السابقة في النظام البيئي من شكل لآخر ومن حالة لأخرى من خلال الدورات البيوجيوكيميائية التي تلعب دوراً مهماً في وضع سياسات حماية البيئة المحيطة، والتي تملك أهميةً كبيرةً في التعرف على غنى أو فقر النظام البيئي بالعناصر السابقة، وفي رصد مستويات التلوث في النظام البيئي.

يصنف بعض الباحثين الدورات السابقة إلى نوعين أساسيين يطلق على الأول اسم الدورة الغازية exogenic cycles مثل دورات الكربون والنتروجين، والأكسجين، والهيدروجين، والماء، ويطلق على الثاني 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 أغلب الكائنات الحية على المياه اعتماداً كبيراً للاستمرار في الحياة. تتواجد المياه في الطبيعة بأشكال مختلفة: على شكل بخار في الهواء، أو سائل في الأنهار والبحيرات والبحار والمحيطات وفي جوف الأرض، أو متجمد على شكل جليد في القطبين، ويعتمد هذا التواجد 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 والتي تستند إلى الحركة المستمرة للمياه بين سطح الأرض والغلاف الجوي. تتضمّن دورة المياه توازناً ديناميكياً بين عمليتي التبخر والهطول. تتبخر المياه من سطوح كلاً من الغلاف المائي واليابس وترشح أيضاً من خلايا النبات الحيّة. يدور بخار المياه المنتج في كافة أنحاء الغلاف الجوي، حيث يسقط في النهاية كثلج وكمطر ليعود للتبخر من جديد وهكذا. يعتبر كلاً من الثلج والمطر المصدر الأولي لكلّ المياه الصالحة للشرب drinkable (potable) water على الأرض. يمكن للمياه أن تجري على سطح الأرض وصولاً إلى الجداول والأنهار لتصل في نهاية الطريق إلى البحيرات والمحيطات، وتعتمد كمية الجريان المطري على مسامية ونفاذية ورطوبة وسماكة الترب، حيث تبقى بعض المياه في التربة لتعود إلى الجو بواسطة التبخير، وتمتص النباتات جزءً من المياه من التربة ليرشح بعض منه من أوراقها. قد تتحرّك بعض المياه تحت تأثير الجاذبية خلال طبقات الصخور المسامية لتصل إلى الطبقات الكتيمة، حيث تتجمع لتشكل المياه الجوفيّة التي تعتبر مصدر تغذية الآبار والينابيع والأنهار والبحيرات.

دورة الأوكسجين The Oxygen Cycle :

يبدأ النصف الأول من دورة الأوكسجين من خلال قيام النباتات الخضراء ذاتية التغذية القادرة على استخدام طاقة الشمس بتحويل ثاني أكسيد الكربون والمياه إلى الكربوهيدرات والأوكسجين في العملية المسمّاة بالتركيب الضوئي، تقوم غيرية التغذية بتشكيل النصف الآخر من دورة الأوكسجين، فهي تستنشق الأوكسجين الذي يستخدم لتفكيك الكربوهيدرات لإنتاج الطاقة في العملية المسمّاة بالتنفس، 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 قليل 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 له ليلاً، إلا أن استهلاك النباتات للأوكسجين في الليل قد يخلق شروطاً غير مناسبة (انخفاض الأوكسجين) في بعض البيئات المائية.

دورة الكربون Carbon Cycle:

يعتبر الكربون 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 هيكل جميه المركبات الحيوية مثل الجلوكوز (Glucose)، والتريوز (Triose)، والبنتوز (Pentose)،

واللاكتوز (Loctose)، والنشاء (Starch)، والغليكوجين (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 حيث تسبب زيادتها المشاكل البيئية والصحية. يتحرك 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 بعض التفاعلات المباشرة، وتخزن المتبقي في أغشيتها وأوراقها وثمارها والتي تنتقل إلى الحيوانات المستهلكة لهذه النباتات ومن ثم إلى الإنسان والحيوان المستهلك للحيوانات السابقة، ثم ما يلبث الكربون أن يعود إلى الغلاف الجوي من خلال عمليات التنفس والتحلل المختلفة أو من خلال عمليات الاحتراق المختلفة كاحتراق الوقود والغابات، ليعود للسقوط من جديد من خلال الأمطار الحامضية أو بامتصاصه من قبل المسطحات المائية متحداً مع بخار المياه وهكذا تستمر الدورة.

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 الغازي بين المحيطات والغلاف الجوي، ويترسب جزء منه في أعماق البحار والمحيطات على شكل دقائق جيرية.

دورة النتروجين Nitrogen Cycle :

يشكل النتروجين 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.

يعتبر النتروجين مركباً خاملاً كيميائياً في درجات الحرارة والضغوط العادية، لذلك فإنّ إتاحة النتروجين من الجو محدودة جداً، حيث لا يجري استخدام النيتروجين بصورة مباشرة من الغلاف الجوي، وإنما لا بد من تحويله إلى مركبات تستطيع الكائنات الحية استخدامها عن طريق تثبيت النتروجينNitrogen fixation . تحول هذه العملية النتروجين إلى شكل قابل للذوبان تستطيع النباتات امتصاصه عبر نظام جذورها. يحدث أكثر من نصف عمليات تثبيت النتروجين السنوية عن طريق النباتات، كما يحدث التثبيت أيضاً خلال بعض العمليات الصناعية، وعمليات الاحتراق. تقوم البكتيريا اللاهوائية والطحالب الخضراء المزرقة والمتواجدة بكثرة في التربة والمحيطات 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 $CaSO4$، وخام الكبريت الحر. وينتقل الكبريت على شكل كبريتات منحلة $SO4$ 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 كبريتية.
- وتمتاز دورة الكبريت عن دورة الفوسفور بتكوين 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 SO_2، وكبريت الهيدروجين H_2S، 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 إلى الغلاف الجوي نتيجة عمليات التحلل اللاهوائية للمركبات العضوية المحتوية على الكبريت. تساهم البراكين كذلك 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 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 .