فصل سوم

سیستم و اکوسیستم

اهداف آموزشی

بعد از مطالعه‌ی این فصل خواهید توانست :

هدف‌های شناختی:

۱ــ مفهوم سیستم و تفاوت میان سیستم‌های ایستا و پویا را بیان نمایید.

۲ــ مفهوم اکوسیستم را شرح دهید.

۳ــ مفهوم زنجیره و شبکه‌ی غذایی را بیان کنید.

۴ــ چرخه‌ی مواد، انرژی و اختلال‌های به‌وجود آمده در آن را شرح دهید.

۵ــ با فرآیند توالی در اکوسیستم‌ها آشنا شده و نقش این فرآیند را در تکامل سیستم‌های اکولوژیک بیان نمایید.

هدف‌های رفتاری:

۱ــ اقلام تولید و مصرف آب در سطح استان خود را مشخص کند.

۲ــ مقدار آب در دسترس و آب مصرفی در سطح استان را تعیین کند.

۳ــ مخزن آبی طراحی کند که میزان آب ورودی و خروجی به آن در حدی باشد که ارتفاع آب در مخزن ثابت بماند.

۴ــ نمودار وضعیت بارندگی و خشکی شهر خود را با استفاده از اطلاعات هواشناسی محل برای دوره‌های خاص تعیین کند.

۵ــ از هدر رفتن و اسراف در مصرف آب جلوگیری کند.

هدف‌های نگرشی:

۱ــ به چگونگی تأمین و مصرف آب در شهر خود علاقه نشان دهد.

۲ــ نسبت به میزان دسترسی به آب و میزان مصرف آب در شهر خود حساس باشد.

۳ــ بر تناسب آب مصرفی و آب موجود شهرخود تأکید کند.

۴ــ به میزان بارندگی سالانه در شهر خود حساس باشد.

سیستم و اکوسیستم

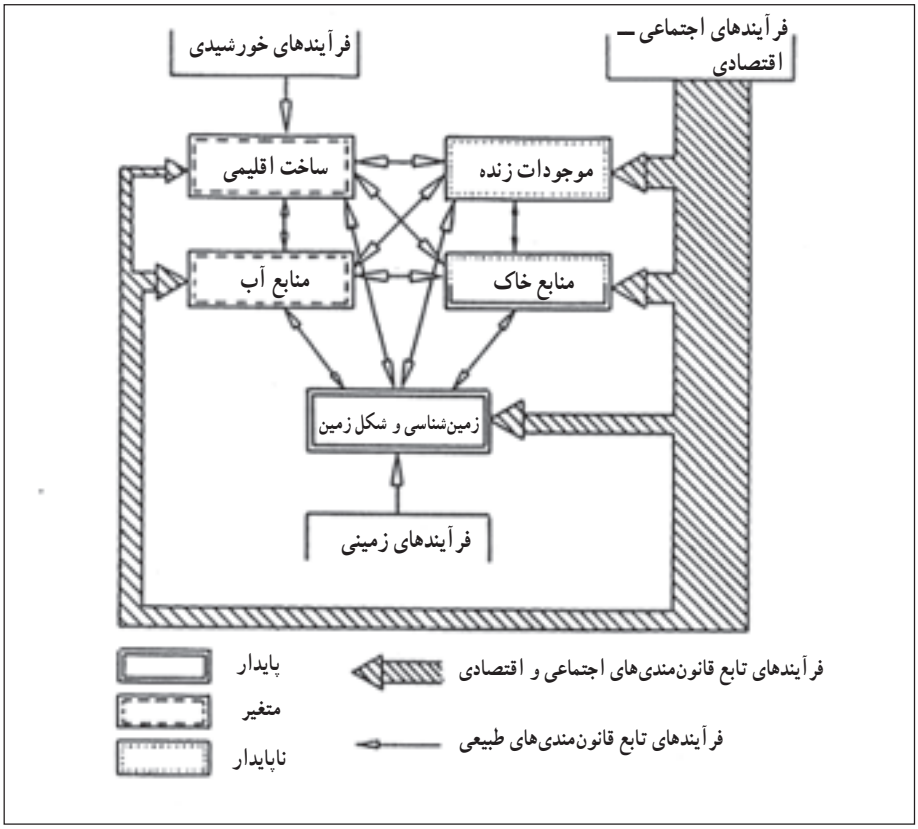
بیان مفاهیم بنیادی در شناخت، تشریح و تحلیل اکوسیستم‌ها

در فصل دوم با مفاهیم عمومی دانش اکولوژی آشنا شدیم، ولی درباره‌ی این‌که **پدیده‌های اکولوژیک جملگی دارای ساختی سیستمیک می‌باشند**، صحبتی به میان نیامد. مبحث حاضر به تشریح این بخش از دانش اکولوژی اختصاص یافته است. تحلیل یا نگرش سیستمی نه‌تنها مهم‌ترین ابزار شناخت و تشریح پدیده‌های اکولوژیک است که، مهم‌ترین ابزار علمی جهت شناخت و درک کل بیوسفر یا زیست‌کره به‌شمار می‌آید.

در حقیقت واژه‌ی اکوسیستم، مخفّف سیستم اکولوژیک است. از این رو، در وهله‌ی نخست به بیان مفاهیم کلیدی در نگرش سیستمی و سپس به نحوه‌ی کاربرد این مفاهیم در دانش اکولوژی می‌پردازیم. **سیستم عبارت است از مجموعه‌ای هدفمند از عناصر (عوامل، اجزاء، قطعات، نیروها) که به گونه‌ای درکنار یکدیگر قرارگرفته‌اند (برهم سوار شده یا نسبت به یکدیگر تنظیم یافته‌اند) که بتوانند با یکدیگر، در جهت انجام یک کار یا رسیدن به یک هدف مشخص عمل نمایند.** این تعریف در مورد یک اکوسیستم سالم و طبیعی نیز مصداق دارد. در یک اکوسیستم کلیه‌ی عوامل بی‌جان و جاندار با یکدیگر در ارتباط بوده و به اشکال مختلف زیر، یکدیگر را تحت تأثیر قرار می‌دهند:

- عامل **اقلیم** در تشکیل منابع آب، خاک، پوشش گیاهی و نیز شکل بخشیدن به زیستگاه‌های حیات وحش دخالت دارد؛
- عامل **آب** در وضعیت اقلیم، منابع خاک، پوشش گیاهی و حیات جانوری دخالت آشکار دارد؛
- عوامل **زمین‌شناسی و خاک** در وضعیت منابع آب و پوشش گیاهی دارای تأثیر مستقیم و بر وضعیت حیات جانوری و اقلیم دارای تأثیر غیرمستقیم می‌باشند؛
- عامل توپوگرافی یا **شکل زمین**، به‌ویژه در ایرانِ کوهستانی، در تکوین شرایط اقلیمی، منابع آب، خاک، پوشش گیاهی و زیستگاه‌های حیات وحش نقشی بسیار جدی و تعیین کننده برعهده دارد؛
- عوامل **رویش طبیعی و حیات جانوری**، نه تنها به‌عنوان محصول نهایی و برآیند تعامل‌های یاد شده، بلکه به عنوان شاخص کیفیت و درجه‌ی تکامل سیستم‌های اکولوژیک نیز عمل می‌نمایند.

شکل ۱ تصویری بسیار کلی از روابط متقابل میان اجزاء و عوامل دخیل در ساخت اکوسیستم‌ها را نشان می‌دهد.



شکل ۱ــ تصویری عمومی از روابط متقابل عوامل طبیعی در یک سیستم اکولوژیک و تأثیرگذاری عوامل اجتماعی ــ اقتصادی بر سیستم

بنابراین هرگاه طبیعت بر مبنای نگرش سیستمی مورد توجه قرار گیرد، به سهولت این نتیجه حاصل خواهد آمد که «آن‌چه طبیعت نامیده می‌شود، پدیده‌ای است پویا، تصویری است از تعامل نیروها و شبکه‌ای است شکل‌یافته از تأثیر و تأثر متقابل عوامل و نیروهای طبیعی». در حقیقت وجود همین کنش و واکنش‌های متقابل است که تفاوت موجود میان **یک سیستم و یک مجموعه** را به‌وجود می‌آورد. برای مثال می‌توان تپه‌ای از ماسه و یا جانوران درون یک باغ‌وحش را درنظر گرفت ؛ در تپه‌ی ماسه‌ای، هر دانه ماسه و در باغ‌وحش هر گونه جانوری برای خود یک سیستم

ــ ولی سیستم‌هایی با ساخت و ماهیت متفاوت ــ به حساب می‌آید. ولی مجموعه‌ی دانه‌های ماسه و مجموعه‌ی جانوران یک باغ‌وحش را نمی‌توان یک سیستم به شمار آورد. به همین دلیل هرگاه در یک تلّ ماسه یا جانوران یک باغ‌وحش نوعی جابه‌جایی صورت پذیرد، در کل مجموعه هیچ اتفاق قابل توجهی رخ نمی‌دهد. برعکس، در سیستم‌ها و به تبع آن در اکوسیستم‌ها، انجام هرگونه دستکاری ــ برای مثال زه‌کشی تالاب، احداث سد بر روی رودخانه، احداث مجتمع‌های صنعتی، شهرسازی، جنگل‌تراشی و تبدیل اراضی به دست آمده به ویلا و مانند آن ــ نمی‌تواند واکنش سیستم را به همراه نداشته باشد. زیرا در یک اکوسیستم کلیه‌ی عوامل بی‌جان و جاندار، از طریق چرخه‌ی مواد، جریان انرژی و تبادل اطلاعات با یکدیگر در ارتباط‌اند، بدین سبب، دستکاری در اجزای سیستم می‌تواند پیامدهایی را به همراه آورد که، در کل سیستم انتشار می‌یابد و از این طریق مکانیسم‌های کنترل کننده‌ی سیستم را مختل می‌سازد.

در همین‌جا لازم است به بیان دو مفهوم کلیدی دیگر در تحلیل سیستم‌ها پرداخته شود :

۱ــ محیط سیستم،

۲ــ سیستم‌های ایستا و پویا.

یک سیستم، به دلیل انسجام اجزای تشکیل‌دهنده‌اش، دارای **یک درون و یک بیرون یا محیط** است. مجموعه‌ی عواملی که قادرند بر سیستم تأثیر گذارده و یا از آن تأثیر بپذیرند، **محیط سیستم** نامیده می‌شود[۱]. درست است که اکوسیستم‌های زمین جملگی با یکدیگر در ارتباط‌اند و در نهایت بزرگ‌ترین اکوسیستم، یعنی اکوسفر[۲] را به وجود می‌آورند، ولی زیر سیستم‌های تشکیل‌دهنده‌ی اکوسفر در درون خود از ساختاری منسجم برخوردارند و تنها زمانی که به طرف حاشیه‌ی اکوسیستم حرکت می‌کنیم، این پیوندها ضعیف و ضعیف‌تر شده و آرام‌آرام و سایه روشن‌وار، از طریق یک نوار انتقالی، یک اکوسیستم با یک یا چند اکوسیستم دیگر پیوند خورده و به‌تدریج عوامل تشکیل‌دهنده‌ی اکوسیستم یا اکوسیستم‌های بعدی قوی‌تر و پررنگ‌تر ظاهر می‌شوند. برای مثال، هرگاه از جنگل گلستان (واقع در استان گلستان) به طرف استان خراسان برویم، سیمای پوشش گیاهی و به همراه آن سیمای محیط طبیعی به تدریج از سیمای جنگلی به سیمای استپی تبدیل می‌گردد. در اکولوژی به این قبیل نوارهای انتقالی عنوان **اکوتن** اطلاق می‌شود. مدارهای رویشی در حاشیه‌ی دریاچه‌های آب شیرین و تالاب‌ها بهترین الگو برای نمایش این قبیل تغییرات می‌باشند.

۱ــ A. Bechmann (1979): Nutzwertanalyse, Bewertungstheorie und Planung, Verlag Paul Haupt, pp.232 - 234.

۲ــ Ecosphere

در بررسی و تشریح اکوسیستم‌ها توجه به این نکته نیز ضروری است که **کلیه‌ی سیستم‌های زنده و ازجمله اکوسیستم‌ها، تشکیل‌دهنده‌ی سیستم‌هایی باز می‌باشند. سیستم‌های باز، سیستم‌هایی هستند که از محیط خود تأثیر پذیرفته و در گذر زمان تغییر حالت می‌دهند.** سیستم‌های بسته فاقد صفات ذکر شده در مورد سیستم‌های باز می‌باشند ؛ یعنی نه با محیط خود دارای تبادل انرژی، ماده و اطلاعات‌اند و نه با گذشت زمان تغییر می‌یابند. البته ممکن است در دید نخست کره‌ی زمین سیستمی بسته به‌نظر رسد، ولی حتی کره‌ی زمین نیز به سبب دریافت انرژی از خورشید، سیستمی باز محسوب می‌شود.

از آن‌جا که سیستم‌های زنده جملگی در زمره‌ی سیستم‌های باز و پویا به‌شمار می‌آیند، به همین سبب از قوانین حاکم بر سیستم‌های باز و پویا نیز تبعیت می‌کنند. در مورد اجتماع‌های زیستی، چه در مقیاس کوچک (یک برکه یا تالاب کوچک) و چه در مقیاس چشم‌اندازهای طبیعی و وسیع، قوانین سیستم‌های پویا و باز مصداق می‌یابد. در اینجا میان عوامل جاندار در درون خود از یک سو و عوامل بیجان و جاندار از سوی دیگر روابطی متقابل برقرار می‌شود. در نتیجه‌ی پیدایش این روابط، سیستمی متکی به خود پدید می‌آید که سیستم اکولوژیک، و اختصاراً اکوسیستم نامیده می‌شود. **یک اکوسیستم از آن رو به خود متکی است که، خود شامل عوامل تولیدکننده، مصرف‌کننده و بازسازی کننده می‌باشد؛ یعنی در درون سیستم هم عمل تولید، هم مصرف آنچه که تولید شده و هم بازسازی آنچه که به مصرف رسیده است، به انجام می‌رسد.** بنابراین ازنظر ساخت، عملکرد و کارایی، یک اکوسیستم زمانی سالم می‌ماند که در آن، بین فرآیندهای تولید، مصرف و بازسازی نوعی تعادل و موازنه‌ی پویا برقرار باشد. این تعادل پویا اساس نیروی خود تنظیمی و خودترمیمی اکوسیستم‌ها را تشکیل می‌دهد. بنابر موارد یاد شده **یک اکوسیستم عبارت است از سیستمی پویا، متشکل از موجودات زنده و زیستگاه غیرآلی آن‌ها که به میزان معینی قادر به خود ترمیمی و خود تنظیمی باشد**[1].

تعادل پویا بیانگر وضعیتی است که در آن، علی‌رغم افت و خیزهای مداوم و کون‌وفساد مستمر در اجزای تشکیل‌دهنده‌ی سیستم، سیستم همواره در سطحی خاص از جریان انرژی، چرخه‌ی مواد و تبادل اطلاعات حفظ می‌شود. در این حالت آنچه پایدار می‌ماند، عملکرد سیستم است، زیرا جریان‌های ورودی و خروجی آن در تعادل با یکدیگر قرار داشته و از این طریق حفظ تعادل پویای کلّ اکوسیستم را میسر می‌سازند. برای مثال، تراز سطح آب در حوضچه‌ای که میزان ورودی و خروجی آن با یکدیگر برابر است، تعادلی پویا و پایدار به حساب می‌آید ؛ لذا دقت در این نکته‌ی حساس بسیار

---

۱ ــ H.Ellenberg (1973): Okosystemforschung, Springer Verlag, pp.1-2.

حائز اهمیت است. **در یک اکوسیستم طبیعی و سالم با کمک مکانیسم‌های تنظیم کننده، وضعیتِ بسیار نامتعادل و شکننده‌ای حفظ می‌شود که، هر لحظه امکان فروریختن آن وجود دارد.** در مثال حوضچه، هرگاه در میزان ورودی یا خروجی آب به حوضچه کوچک‌ترین اختلالی ایجاد شود، تعادل موجود در تراز آب سطح حوضچه به سرعت در هم می‌ریزد. در مورد تعادل پویا در اکوسیستم‌ها نیز، تا زمانی که ورودی و خروجی سیستم در نسبتی متعادل با یکدیگر قرار داشته باشند وضع به همین منوال است و اکوسیستم می‌تواند تعادل پویای خود را حفظ نماید ؛ در غیر این‌صورت، حداقل، خروج اکوسیستم از مسیر تکامل طبیعی امری قطعی است. لیکن ــ *همان‌گونه که در مبحث توالی در اکوسیستم‌ها مشاهده خواهد شد* ــ وقوع چنین تغییراتی را نباید همیشه با دید منفی ارزیابی نمود.

با توجه به باز بودن اکوسیستم‌ها و تأثیرپذیری آن‌ها از محیط سیستم، اکوسیستم‌ها، در طول تاریخ تکامل خود، مکانیسم‌هایی را به‌وجود آورده‌اند که، جهت دریافت، هضم و یا دفع عوامل محیطی نامساعد، عمل می‌کنند ؛ برای مثال قابلیت خود تنظیمی و خود ترمیمیِ اکوسیستم‌ها از این جمله است. به‌طور کلی هرچه یک سیستم تکامل یافته‌تر و پیچیده‌تر باشد (برای مثال جنگل‌های شمال یا جنگل‌های پیرانشهر)، به همان نسبت قابلیت خود تنظیمی و خود ترمیمی آن نیز بیشتر است. این‌جاست که **ویژگی پایداری در سیستم‌ها به نحوی بارز اهمیت خود را نمایان می‌سازد.** در یک تعریف کلی **هرچه توانایی یک سیستم در دفع اختلال‌های وارده بیشتر باشد، به همان نسبت بر قابلیت پایداری سیستم افزوده می‌شود.** حفاظت از پایداری اکوسیستم‌ها در ارتباط با حفظ تعادل اکولوژیک، در سیستم نقشی بنیادین برعهده دارد. زیرا در یک اکوسیستم نامتعادل و در نتیجه فاقد پایداری ــ برای مثال به عواقب جنگل تراشی‌های شمال ایران و سیل‌های خانمان‌برانداز ناشی از آن بیندیشید ــ کوچک‌ترین اختلال (مثلاً بارش یک رگبار یا وقوع یک زمین‌لرزه‌ی خفیف) می‌تواند به بروز فاجعه‌ای بزرگ منتهی شود.

چشم‌اندازهای طبیعی سالم به‌عنوان اکوسیستم‌هایی گسترده، باز و پویا، به‌طور همزمان، هم به‌عنوان **سیستم‌های فوق پایدار و هم به‌عنوان سیستم‌هایی که از پایداری چندگانه برخوردارند، مطرح می‌باشند. قابلیت فوق‌پایداری بر دامنه‌ی نوسان‌ها یا انعطاف‌پذیری توان خودتنظیمی اکوسیستم وسعت بخشیده و پایداری چندگانه، برای اکوسیستم چشم‌انداز، به‌عنوان یک اکوسیستم کلان، این امکان را فراهم می‌آورد که، میان کلیه‌ی اکوسیستم‌های کوچک‌تر موجود در خود ــ یا زیر سیستم‌های خود ــ همانند یک رهبر ارکستر، تعادل و هماهنگی ایجاد نماید.**

در حقیقت بین «قابلیت خود تنظیمی» و «میزان پایداری» اکوسیستم‌ها با یکدیگر رابطه‌ای مستقیم وجود دارد. به بیان دیگر، پایداری اکوسیستم‌ها و به‌ویژه پایداری چندگانه و فوق پایداری،

دقیقاً به وضعیت خود تنظیمی اکوسیستم برمی‌گردد. اکوسیستم‌های طبیعی به دلیل باز بودن سیستم نسبت به هر نوع فشار وارده از سوی محیط سیستم از خود واکنش نشان می‌دهند. تا زمانی که فشارهای وارده، بر توان خود تنظیمی اکوسیستم غلبه نیافته‌اند، اکوسیستم می‌تواند فشارهای ناشی از محیط خود را پذیرا شده و بعد از طی دوره‌ای از عدم تعادل ــ که مدت آن بستگی تام به میزان فشار وارده دارد ــ مجدداً به وضعیت اولیه‌ی خود برگردد. ولی زمانی که فشارهای وارده بیش از توان خود تنظیمی و ظرفیت قابل تحمل اکوسیستم باشد، اکوسیستم به ناچار دچار اختلال شده و به‌طور کامل درهم می‌ریزد. مشکل اساسی نیز معمولاً از همین مرحله آغاز می‌شود ؛ بدین‌ترتیب که در اکثر موارد دخالت‌های انسانی در اکوسیستم‌ها از چنان عمق و دامنه‌ای برخوردار است که مرزهای ظرفیت قابل تحمل اکوسیستم را پشت سر گذارده و کل سیستم را به سمت تباهی سوق می‌دهد.

ظرفیت قابل تحمل یک اکوسیستم عبارت است از حداکثر فشاری که آن اکوسیستم می‌تواند بدون درهم ریختن مکانیسم‌های تنظیم کننده خود، تحمل نماید[1]. مفهوم ظرفیت قابل تحمل در اکوسیستم‌ها و به تبع آن در محیط زیست را می‌توان با کمک چند مثال ساده از سیستم‌های انسان ساخت که در زندگی روزمره مورد استفاده قرار می‌گیرند، قابل لمس نمود. در مثال‌های زیر، عدم رعایت ظرفیت سیستم توسط استفاده کننده می‌تواند عملکرد سالم سیستم را مختل و در مواردی، سلامت استفاده کننده را با خطر جدی مواجه سازد :

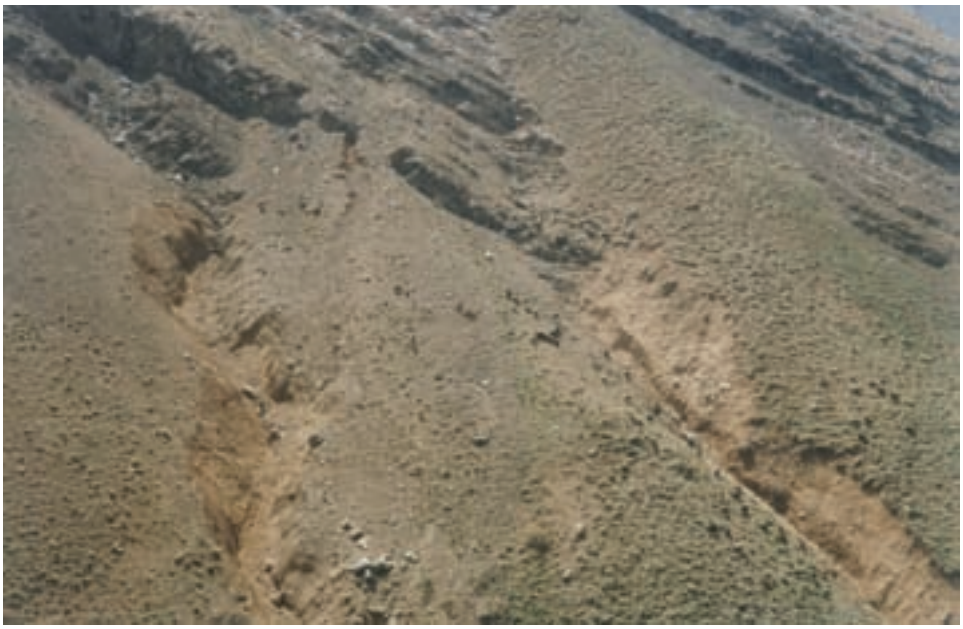
- ظرفیت قابل تحمل آسانسور در حمل مسافر،
- ظرفیت قابل تحمل شبکه‌ی راه‌های شهری در پذیرش خودرو،
- ظرفیت قابل تحمل اسکلت ساختمان برای پذیرش بار،
- ظرفیت قابل تحمل قایق پارویی در پذیرش مسافر،
- ظرفیت قابل تحمل فیوز برق در تحمل بار الکتریکی.

بر مبنای این مثال‌ها، می‌توان توان یا ظرفیت یک سیستم را میزان فشارپذیری یا بارپذیری آن تا سطحی دانست که سیستم مورد استفاده قادر باشد کار خود را به درستی و بدون بروز هرگونه اختلال انجام دهد. در مثال‌های بالا عدم رعایت ظرفیت قابل تحمل سیستم ــ مثلاً ظرفیت آسانسور یا قایق ــ حتی می‌تواند به فاجعه منتهی گردد. وضعیت در اکوسیستم‌های طبیعی نیز دقیقاً به همین منوال است، با این تفاوت که، در سیستم‌های انسان ساخت ممکن است آثار عدم رعایت ظرفیت قابل تحمل آناً آشکار شود، ولی در اکوسیستم‌های طبیعی بی‌آمدهای ناشی از دخالت‌های نابجای انسان به کندی

۱ــ سازمان جهانی حفاظت / برنامه توسعه سازمان ملل / بنیاد حفاظت از طبیعت (۱۳۷۷) : مراقبت از زمین ؛ راهبردی برای زندگی پایدار، ترجمه‌ی عبدالحسین وهاب‌زاده، انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد، ص ۶۰.

برملا می‌گردد. برای مثال جنگل‌تراشی، زراعت در شیب‌های بسیار تند و چرای دام در منطقه‌ی پیرانشهر ــ سردشت نه تنها باعث بروز لغزش و فرسایش شدید خاک شده، بلکه زیستگاه‌های حیات‌وحش کوهستانی را نیز به تباهی کشیده است.

شکل ۲ــ لغزش شدید خاک؛ جاده‌ی پیرانشهر ــ سردشت



شکل ۳ــ فرسایش خندقی و لغزش خاک در دامنه‌ی ارتفاعات میان پیرانشهر ــ سردشت

هیچ سیستم زنده‌ای و در نتیجه هیچ اکوسیستمی نمی‌تواند بدون برخورداری از مکانیسم‌های تنظیم کننده به حیات خود ادامه دهد. هرگاه کارکرد سالم مکانیسم‌های یاد شده میسر نباشد، اکوسیستم محکوم به نابودی است. به همین دلیل اگر قرار است بخشی از طبیعت تحت حفاظت درآید، اقدامات حفاظتی می‌بایست به نحوی تنظیم شود که، امکان کارکرد سالم مکانیسم‌های تنظیم کننده‌ی اکوسیستم مورد نظر را فراهم آورد.

زنجیره‌ی غذایی، جریان انرژی و چرخه‌ی مواد

در مباحث گذشته عنوان گردید که، پیش از آن‌که واژه‌ی اکولوژی جای خود را در میان علوم طبیعی باز کند، از اصطلاح «اقتصاد طبیعت» استفاده می‌شد ؛ یعنی دخل، خرج، مقایسه و نتیجه‌گیری ؛ دقیقاً همان روشی که هریک از ما در مورد حساب بانکی خود اعمال می‌نماییم. موضوع دخل و خرج طبیعت، یعنی این‌که طبیعت مواد و انرژی لازم جهت تکامل و بازسازی خود را از کجا و چگونه تأمین می‌نماید، هنوز در زمره‌ی پرسش‌های محوری دانش اکولوژی قرار دارد. از این رو شناخت فرآیندهای جاری در طبیعت، هرچند بسیار ضروری است، ولی به تنهایی کافی نیست ؛ لذا باید تا حد امکان کوشید و این فرآیندها را به صورت کمّی شناسایی کرد و بیان نمود[1]. درحقیقت پاسخ به این پرسش از طریق بررسی زنجیره و شبکه‌ی غذایی، چرخه‌ی مواد و جریان انرژی در اکوسیستم‌ها تحقق می‌یابد.

همان‌گونه که قبلاً اشاره گردید، عوامل تشکیل‌دهنده‌ی یک اکوسیستم را می‌توان در دو گروه بی‌جان و جاندار تقسیم نمود. هریک از این عوامل همانند اجزای سازنده‌ی یک سیستم عمل نموده و حاصل عملکردشان پیدایش اشکال مختلف اکوسیستم‌ها می‌باشد. فعالیت و تحرک در اکوسیستم‌ها برعهده‌ی سه گروه اصلی قرار دارد :

۱ــ تولید کنندگان، که عمدتاً از گیاهان سبزینه‌دار تشکیل یافته‌اند،

۲ــ مصرف‌کنندگان، که خود در سه گروه عمده قابل طبقه‌بندی می‌باشند :

الف ــ گیاه‌خواران،

ب ــ گوشت‌خواران،

پ ــ همه چیزخواران.

۳ــ تجزیه‌کنندگان یا احیاءکنندگان ؛ این گروه بقایای مواد آلی را ــ اعم از مواد گیاهی یا

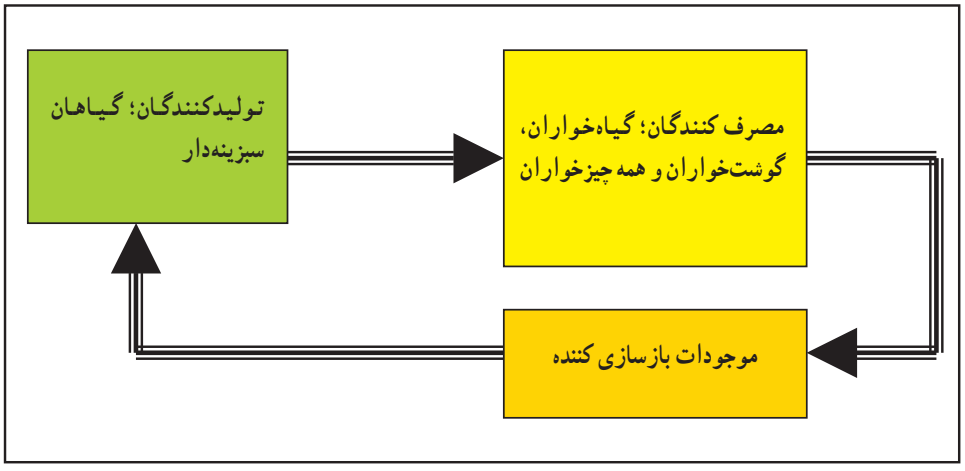
---

۱ ــ K.H.Kreeb (1979):Okologie und menschliche Umwelt, UTB/G. Fischer Verlag , pp.71 - 72.

جانوری ــ تجزیه نموده و به مواد اولیه‌ی قابل استفاده برای گیاهان، یا در حقیقت تولیدکنندگان اولیه، مبدل می‌سازند. شکل ۴ نمایش ساده‌ای از چرخه‌ی مواد در اکوسیستم‌هاست.

در اکوسیستم‌ها تنها گیاهان سبز هستند که نقش تولیدکننده را برعهده دارند. گیاهان سبز با استفاده از دی‌اکسید کربن موجود در هوا، آب و مواد معدنی موجود در خاک و در نهایت بهره‌برداری از نور خورشید، مواد آلی یا انرژی بیوشیمیایی تولید می‌نمایند. در طول این فرآیند که **فتوسنتز** نامیده می‌شود، اکسیژن تولید و آزاد شده و سپس مورد استفاده‌ی کلیه زیستمندان قرار می‌گیرد. بر این اساس یک اکوسیستم زمانی کامل و سالم به‌حساب می‌آید که از پوشش گیاهی کافی و فعال برخوردار باشد. بدون پوشش گیاهی، هیچ اکوسیستمی را نمی‌توان کامل دانست.

بعد از گیاهان یا تولید کنندگان اولیه، جانوران گیاه‌خوار وارد عمل می‌شوند (خرگوش، آهو، جبیر، کَل و بز، قوچ و میش و مانند آن) و سپس جانورانی که از طریق شکار جانوران گیاه‌خوار خوراک خود را تأمین می‌نمایند. (روباه، گرگ، راسو، پلنگ، پرندگان شکاری و غیره). در مرحله‌ی آخر جانورانی قرار دارند که هم از غذاهای گیاهی و هم از غذاهای جانوری تغذیه می‌نمایند (شغال، خرس، کلاغ معمولی و مانند آن). به این ترتیب نوعی **زنجیره‌ی غذایی** به وجود می‌آید ؛ مثلاً خرگوشی که گیاه‌خوار است خود خوراک پرنده‌ای شکاری می‌شود. ولی غالباً روابط غذایی به این سادگی نبوده و یک جانور ممکن است عضو چندین زنجیره‌ی غذایی باشد. **از ترکیب چندین زنجیره‌ی غذایی، یک شبکه‌ی غذایی به‌وجود می‌آید.**

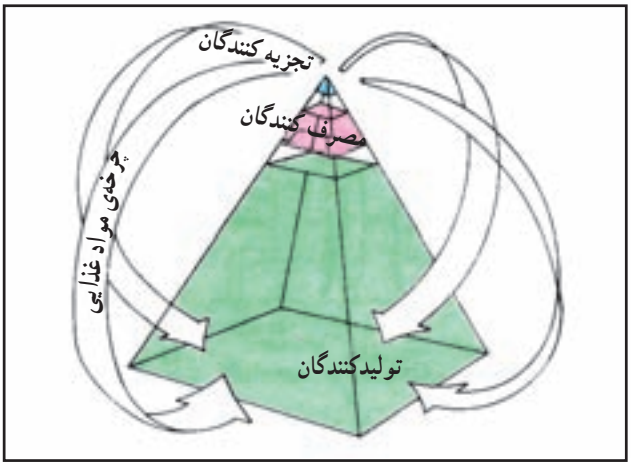


شکل ۴ــ نمایش ساده‌ی چرخه‌ی مواد در اکوسیستم‌ها

در آخرین مرحله، تجزیه‌کنندگان یا احیاکنندگان وارد عمل شده و بقایای گیاهی و جانوری را به ترکیب‌های ساده‌تر معدنی تبدیل نموده و در اختیار گیاهان قرار می‌دهند. در این‌جا می‌بایست میان لاشه خواران (اعم از بقایای گیاهی یا جانوری) و کانی‌کنندگان تمایز قایل شد. کرم‌ها، حلزون‌ها، حشرات و لاروِ حشرات، از مواد مرده‌ی گیاهی و جانوری تغذیه نموده، مواد مذکور را خرد کرده و از این طریق زمینه‌ی فعالیت را برای کانی‌کنندگان آماده می‌سازند.

کانی‌کنندگان که عمدتاً از باکتری‌ها و قارچ‌ها تشکیل یافته‌اند، علاوه بر تبدیل مواد آماده شده توسط لاشه‌خواران، فضولات لاشه خواران و سایر موجودات را نیز به ترکیبات غیرآلی تبدیل می‌کنند. محصول این فعالیت دی‌اکسید کربن، آب و مواد کانی مورد نیاز گیاهان است.

همان‌گونه که اجزای یک اکوسیستم از نظر مواد غذایی به یکدیگر وابسته‌اند و تشکیل یک شبکه‌ی غذایی را می‌دهند، در خصوص جریان انرژی نیز این وابستگی و پیوند وجود دارد. انرژی تابشی خورشید منشأ اصلی جریان انرژی در اکوسیستم‌هاست. به همین سبب است که مرز اکوسیستم‌ها و به تبع آن کل زیست‌کره را می‌توان تا خورشید ادامه داد.



شکل ۵ ــ گروه‌های دخیل در شبکه‌ی غذایی و چرخه

گیاهان سبزینه‌دار انرژی تابشی خورشید را دریافت نموده و آن را طی فرآیند فتوسنتز به انرژی بیوشیمیایی تبدیل می‌نمایند. از کلّ انرژی تابیده شده، فقط حدود ۵ درصد آن در اکوسیستم مورد استفاده قرار می‌گیرد (میانگین ۱ تا ۳ درصد).

از مقدار انرژی دریافت شده توسط گیاهان، هنگام انتقال از یک سطح تغذیه به سطح دیگر، به‌طور مداوم کاسته می‌شود. در طول فرآیند انتقال انرژی به سطوح مختلف بین ۱۰ تا ۲۰ درصد از انرژی دریافت شده از بازدهی مفید برخوردار است، در حالی‌که حدود ۹۰درصد آن، اکثراً به صورت

انرژی حرارتی حاصل از تنفس، هدر می‌رود. **این پدیده‌ای است که به زبان نگرش سیستمی به آن انتروپی[1] گفته می‌شود. قانون ثبات انرژی** می‌گوید که : مقدار کلّ ماده و انرژی موجود در جهان ثابت است ؛ یعنی، انرژی نه آفریده می‌شود و نه از بین می‌رود. قانون دوم ترمودینامیک یا قانون انتروپی نیز بیان می‌کند که ماده و انرژی فقط در یک جهت حرکت می‌کنند ؛ یعنی، از صورت قابل استفاده به صورت غیرقابل استفاده یا از قابل دسترس به غیرقابل دسترس یا از نظم به طرف بی‌نظمی. **درحقیقت، انتروپی معیاری است که معلوم می‌دارد از انرژی قابل استفاده در هر زیر سیستم موجود در زیست‌کره، چه مقدار به شکل غیرقابل استفاده درمی‌آید**[2]. هر دو قانون فوق را می‌توان در یک جمله چنین بیان کرد : کلّ انرژی موجود در جهان ثابت و کلّ انتروپی مدام در حال افزایش است.

برای مطالعه‌ی بیشتر

مثلاً اگر تکه‌ای زغال‌سنگ را بسوزانیم، انرژی باقی می‌ماند، البته به‌صورت دی‌اکسید گوگرد و دیگر گازها که در فضا پراکنده می‌شوند. در این فرآیند انرژی از بین نرفته است ولی می‌دانیم که هیچ‌گاه نخواهیم توانست بار دیگر آن تکه زغال سنگ را بسوزانیم و همان کار را از آن به‌دست آوریم. توضیح این مسئله در قانون دوم انرژی (ترمودینامیک) آمده است که می‌گوید، هر وقت انرژی از حالتی به حالت دیگر تبدیل شود باید جریمه‌ای پرداخت کرد. آن جریمه عبارت است از کم شدن مقداری از انرژی قابل استفاده برای انجام دادن کاری در آینده. به همین ترتیب زمانی که گیاهی می‌میرد، انرژی موجود در آن از بین نمی‌رود بلکه فقط به جای دیگری از محیط انتقال می‌یابد[3].

بنابراین، زمانی که از چرخه‌ی مواد و جریان انرژی صحبت به میان می‌آید، باید به این نکته توجه کرد که در طول این فعل و انفعال‌ها همواره از ماده و انرژی قابل دسترس مقداری کاسته می‌شود. به‌طور خلاصه، جریان انرژی در یک اکوسیستم مراحل زیر را طی می‌نماید :

- ورود انرژی خورشیدی به اکوسیستم ؛

---

۱ ــ Entropy

۲ــ جرمی ریفکن / تد هوارد (۱۳۷۴) ؛ جهان در سراشیبی سقوط، ترجمه‌ی محمود بهزاد، انتشارات سروش، ص ۲۳.

۳ــ همان، صص ۵۳ ــ۵۲.

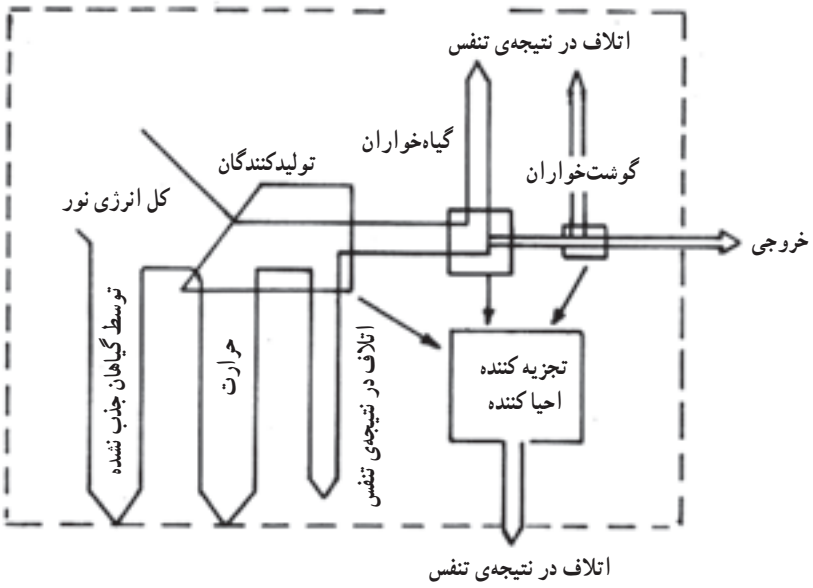
- تبدیل انرژی خورشیدی به انرژی بیوشیمیایی ؛
- پخش انرژی بیوشیمیایی در شبکه‌ی غذایی ؛
- خروج انرژی از سیستم، غالباً به صورت انرژی هدر رفته.

در شکل ۶ جریان انرژی و اتلاف آن در یک اکوسیستم به نمایش گذارده شده است. همان‌گونه که در شکل مشاهده می‌شود، هریک از مراحل استفاده از انرژی با اتلاف همراه است.

در یک اکوسیستم، برخلاف جریان انرژی که همانند یک خیابان یک طرفه همواره در یک جهت حرکت می‌کند، جریان مواد به صورت چرخه است. شرط اساسی جهت راه‌اندازی و تداوم این جریان‌های چرخه‌ای، باقی ماندن مواد و زائدات موادّ آلی و غیرآلی در محل است ؛ برای مثال، تشکیل موادّ کانی در خاک و پیدایش پوشش گیاهی در یک منطقه در ارتباط مستقیم با یکدیگر قرار دارند. ولی در نتیجه‌ی دخالت‌های گوناگون انسان این روابط به اشکال مختلف دچار اختلال می‌شوند.

چرخه‌ی مواد به سه صورت انجام می‌گیرد :

۱ــ چرخه‌ی موادّ جامد: جهت درک چگونگی چرخه‌ی موادّ جامد، می‌توان به بررسی فرآیند تشکیل هوموس در خاک پرداخت. لایه‌ی هوموس که شرط اصلی تشکیل آن، باقی ماندن بقایای گیاهی و جانوری بر سطح خاک است، حاصل پوسیدن و تجزیه‌ی فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیک این بقایاست. بر روی این بقایا، جانداران مختلف اعمال زیر را انجام می‌دهند :



شکل ۶ ــ جریان و اتلاف انرژی در یک اکوسیستم

الف) گروهی به خرد کردن بقایای گیاهی و جانوری می‌پردازند ؛ مانند حلزون‌ها، هزارپاها و لارو برخی از حشرات که مرحله‌ای خاص از دگردیسی خود را در خاک می‌گذرانند.

ب) گروهی دیگر از جانوران مانند کرم‌ها، با ترشح موادِ به شدت قلیایی بقایای گیاهی را متلاشی می‌کنند سپس آن‌ها را به عنوان موادّ غذایی مورد استفاده قرار می‌دهند. موادّ جذب شده در بدن این جانوران با ذرات موادّ معدنی مخلوط شده و در نهایت، به صورت فضولات جانوری، وارد خاک می‌شوند. این فضولات نیز به مصرف تغذیه‌ی میکروارگانیسم‌های خاک می‌رسند.

پ) باکتری‌ها و قارچ‌ها لاشه‌ی جانوران خاک‌زی (مانند حلزون، کرم، خرخاکی، هزارپا و مورچه) را تجزیه می‌کنند. در این مرحله، موادّ تجزیه شده توسط انواع موش‌ها، خرگوش، پایکا، گراز و ... با خاک مخلوط می‌شود.

ت) در آخرین مرحله، مواد آن‌چنان تجزیه می‌شوند و از نظر شیمیایی تغییر ساخت می‌یابند که یا در ساختمان بدن جانوران و میکروارگانیسم‌های خاک‌زی جای می‌گیرند یا به صورت هوموس خاک ظاهر می‌شوند.

در طول فرآیند تجزیه‌ی بقایای گیاهی و جانوری، همواره موادّ معدنی محلول، مانند نیترات‌ها، سولفات‌ها، فسفات‌ها و بی‌کربنات‌ها آزاد می‌شوند. بخشی از این مواد وارد آب موجود در خاک می‌شود، سپس مجدداً توسط گیاهان جذب می‌گردد. در ضمن، بخش باقی‌مانده به کلوئیدهای خاک می‌پیوندند.

مهم‌ترین عوامل محیطی که می‌توانند عمل تجزیه‌ی موادّ آلی و تبدیل آن به هوموس را تسهیل نمایند، عبارت‌اند از :

- نوع و مقدار مواد آلی ؛
- دمای محیط ؛ هر چه دمای محیط بیشتر باشد، به همان نسبت فرآیند تجزیه سریع‌تر به انجام می‌رسد.
- آب ؛ خشکی باعث توقف فعالیت موجودات خاک‌زی می‌گردد. از سوی دیگر، غرقابی شدن خاک نیز باعث کاهش خلل و فرج خاک و در نتیجه، کاهش هوای خاک می‌شود که این روند نیز به سهم خود مانع فعالیت موجودات خاک‌زی می‌گردد.
- تهویه‌ی خاک ؛ تهویه‌ی مناسب خاک شرایط زندگی و فعالیت برای موجودات خاک‌زی را مساعد می‌سازد ؛ زیرا اکثر این موجودات هوازی هستند. به همین مناسبت، تهویه‌ی مطلوب خاک به تجزیه‌ی موادّ آلی کمک می‌نماید.
- اسیدیته یا pH خاک ؛ افزایش اسیدیته‌ی خاک، باعث کاهش تعداد کرم‌های بارانی که در

تجزیه‌ی مواد آلی نقش مهمی برعهده دارند، می‌گردد.

● دخالت انسان ؛ انسان قادر است به اشکال مختلف بر فرآیند تشکیل هوموس تأثیر بگذارد. ساده‌ترین شکل این تأثیر برداشت موادّ آلی تولید شده از سطح خاک است. استفاده از سموم، که منجر به حذف موجودات خاک‌زی می‌شود، یا مبارزه‌ی بی‌امان با انواع موش‌ها ــ بدون آن‌که درباره‌ی نوع، جمعیت، نوع تغذیه و سایر ویژگی‌های اوت اکولوژیک موش‌ها اطلاعاتی در دست باشد ــ از جمله‌ی این تأثیرات است.

در چرخه‌ی موادّ جامد نه تنها موادّطبیعی **بلکه موادّ آلاینده‌ای که به اشکال مختلف در اثر فعالیت‌های گوناگون انسان وارد محیط زیست می‌گردند نیز، شرکت می‌نمایند**. مهم‌ترین ویژگی این قبیل آلاینده‌ها، ثبات و پایداری آن‌هاست ؛ یعنی، عناصر یا ترکیبات مذکور توسط فرآیندهای طبیعی تجزیه نشده و به همین دلیل قادرند به طرق مختلف سلامت محیط زیست و کلیه‌ی زیستمندان را به‌طور جدی تهدید نمایند ؛ برای مثال، می‌توان به فلزات سنگین مانند سرب، کادمیوم، جیوه، موادّ رادیواکتیو و نیز ترکیبات پایدار پلی‌کلر بی‌فنیل (PCB) اشاره کرد. آلاینده‌های مذکور که جملگی از پایداری بسیار بالایی برخوردارند، به صورت‌های مختلف وارد محیط زیست شده و در خاک، گیاهان و در نهایت، اکوسیستم‌ها تجمع می‌یابند. زمانی که این مواد وارد چرخه‌ی مواد در اکوسیستم‌ها می‌شود، دیگر رهایی از آن‌ها چندان ساده نیست ؛ برای مثال، کادمیوم می‌تواند از طریق سوخت زغال‌سنگ و نفت، تولید موادّ پلاستیک، ذوب فلزات و استفاده ازکودهای فسفاته وارد خاک شود و از این مسیر به درون گیاهان راه یابد. در این صورت، موجود زنده‌ای که از گیاهان آلوده به کادمیوم استفاده می‌نماید، دچار بیماری ناشی از تجمع کادمیوم در بدن یا *ایتای ایتای* (*Itai Itai*) می‌گردد.

۲ــ چرخه‌ی گازها در طبیعت: جهت شناخت چرخه‌ی گازها در طبیعت و درک چگونگی اختلال‌های وارد بر آن‌ها، چرخه‌ی گازهای CO_2 ، O_2 و NO_x به ترتیب مورد بررسی قرار می‌گیرد.

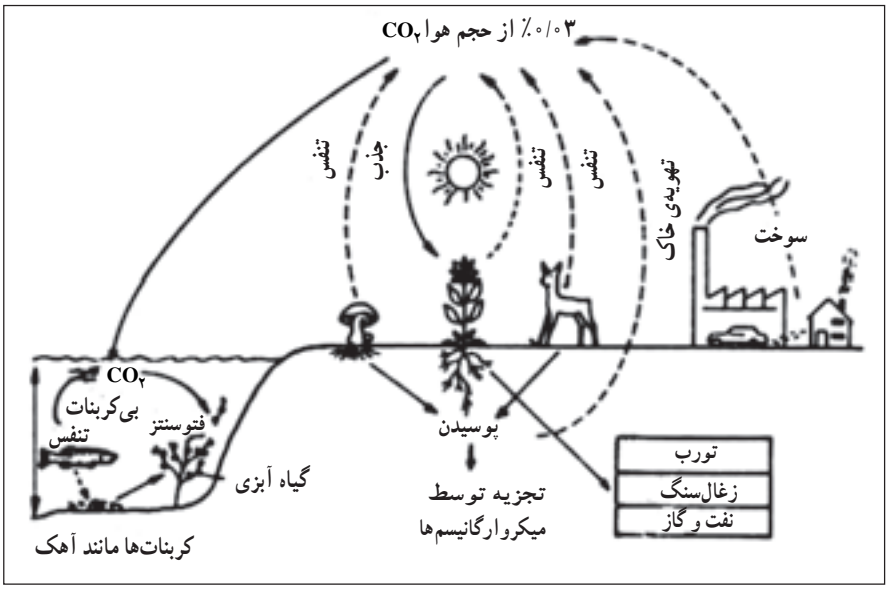
الف) چرخه‌ی دی‌اکسید کربن: کربن عنصری است که مشخص کننده‌ی ترکیبات آلی و موجد حیات است. اما این عنصر در ساختمان موادّ غیرآلی مانند ــ CO_2 و $CaCO_3$ ــ نیز دخالت دارد. از کلّ کربن موجود در زیست‌کره، یعنی ۲۶×۱۰^{۱۵} تن، تنها ۰/۰۵ درصد آن در ترکیبات بیوژن (biogenic) تثبیت گردیده است. از این مقدار، ۶۴درصد در سوخت‌های فسیلی (تورب، زغال‌سنگ، نفت، گاز و ...)، ۳۲ درصد در موادّ آلی‌ای که هنوز تجزیه نشده‌اند و ۴درصد در ساختمان موجودات زنده (biomass) تثبیت گردیده است. قسمت اعظم از مقدار اخیرالذکر به گیاهان خشکی مربوط می‌شود.

با توجه به این‌که در شرایط طبیعی و محیط‌های غیرآلوده مقدار دی‌اکسید کربن هوا ۰/۰۳ درصد از حجم هوا را به خود اختصاص می‌دهد، این منبع پایان‌ناپذیر به‌نظر می‌رسد. دی‌اکسید کربن موجود در هوا برای زندگی گیاهان حائز اهمیت است. گیاهان طیّ فرایند فتوسنتز، CO_2 هوا را جذب و به ترکیبات بسیار پیچیده‌ی آلی تبدیل و سپس در کلّ شبکه‌ی غذایی پخش می‌کنند.

$$6CO_2 + 12H_2O + 675\,kcal \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6O_2 + 6H_2O$$

دی‌اکسید کربن گرفته شده از هوا، مجدداً از طریق فرآیند تنفس بازسازی و جایگزین می‌شود. بیشترین مقدار CO_2 توسط میکروارگانیسم‌های خاک و در طول فرآیند بازسازی زائدات موادّ آلی (همان فرآیند معدنی یا کانی شدن) به‌وجود می‌آید. از آن‌جا که فتوسنتز عمدتاً در طول روز و عمل تنفس در ساعات شب رخ می‌دهد، مقدار CO_2 آتمسفر طیّ اوقات روز و شب دارای نوساناتی قابل اندازه‌گیری است.

آن‌چه تا کنون گفته شد، دربرگیرنده‌ی وضعیت عادی چرخه‌ی کربن در طبیعت است ولی طیّ حداقل سه دهه‌ی اخیر ثابت شده است که چرخه‌ی طبیعی کربن نیز ــ همانند چرخه‌ی موادّ جامد در طبیعت ــ دچار اختلال‌هایی بسیار جدی و پردامنه گردیده است. تحقیقات انجام شده در این زمینه نشان می‌دهد که از آغاز انقلاب صنعتی در اروپا تا کنون، غلظت دی‌اکسید کربن آتمسفر از ppm۲۸۰ به ppm۳۷۰ (یک واحد در یک میلیون واحد) رسیده است. این رقم تقریباً ۳۰درصد بیش از غلظت دی‌اکسید کربن هوا در دوران پیش از انقلاب صنعتی و اصولاً، بیش از غلظت این ترکیب در هوا در



شکل ۷ــ چرخه‌ی کربن در طبیعت

طول ۲۰ میلیون سال اخیر است[۱]. سه چهارم از دی‌اکسید کربنی که توسط انسان در هوا تخلیه شده است، حاصل استفاده از سوخت‌های فسیلی در وسایل نقلیه‌ی موتوری، نیروگاه‌ها و فضاهای مسکونی، و یک چهارم آن حاصل جنگل‌تراشی‌های گسترده بوده است. اقیانوس‌ها و گیاهان تنها می‌توانند نیمی از این مقدار را جذب نمایند، مابقی با نرخ رشدی برابر ۰/۴درصد در سال در آتمسفر انباشته شده و به‌عنوان مهم‌ترین گاز گلخانه‌ای به افزایش دمای زمین کمک می‌نماید. پیش‌بینی دانشمندان در مورد افزایش دمای آتمسفر بین ۱/۵ تا ۵ درجه‌ی سانتی‌گراد متغیر است. ممکن است در نگاه اوّل این ارقام چندان قابل توجه به نظر نرسد ولی باید به یاد آورد که از آخرین دوره‌ی یخبندان‌های وسیع در سطح کره‌ی زمین، دامنه‌ی نوسان دمای آتمسفر هیچ‌گاه از حداکثر ۲ درجه‌ی سانتی‌گراد تجاوز ننموده است.

ب) چرخه‌ی اکسیژن در طبیعت: اکسیژن تشکیل دهنده‌ی ۲۱درصد از حجم هواست. اکسیژن به موازات پیدایش گیاهان و آغاز فتوسنتز در حدود ۱/۸ میلیارد سال پیش وارد آتمسفر گردید ولی در آن زمان، مقدار اکسیژن موجود در آتمسفر تنها ۰/۰۱ مقدار کنونی آن بود.

در هوای موجود در خاک نیز اکسیژن وجود دارد. در این‌جا ممکن است تحت شرایط نامساعد مانند انجماد خاک، فشردگی افق فوقانی خاک و یا اشباع شدن آن از آب، اکسیژن موجود در هوای خاک دچار کاهش شدید شود. اکسیژن خاک را عمدتاً موجودات خاک‌زی و ریشه‌ی گیاهان مصرف می‌کنند.

در محیط‌های آبی نیز اکسیژن وجود دارد. در آب، دو عامل دما و نور بر مقدار اکسیژن تأثیری تعیین‌کننده دارند. مقدار اکسیژن موجود در آب با دما رابطه‌ای معکوس دارد ؛ یعنی، هرچه بر دمای آب افزوده شود به همان نسبت از مقدار اکسیژن آن کاسته می‌شود ؛ از این رو، زمانی که برخی واحدهای صنعتی و نیروگاه‌ها آب مصرفی خود را که به دلایل مختلف دچار گرما شده است وارد رودخانه‌ها، خلیج‌ها و دریاها می‌نمایند، در محدوده‌ای که دمای این منابع پذیرنده دچار افزایش می‌شود، میزان اکسیژن محلول در آب اُفت می‌کند و این عامل باعث مرگ و میر ماهیان می‌شود. در این خصوص، آزادْماهیان نسبت به کاهش اکسیژن محلول در آب، در مقایسه با کپورماهیان، حساسیت بیشتری نشان می‌دهند.

مقدار نور نافذ در آب به همراه افزایش عمق آب کاهش می‌یابد ؛ بدین ترتیب، مقدار تولید اکسیژن توسط گیاهان آب‌زی نیز کاستی می‌گیرد. به همین دلیل، حضور گیاهان سبزینه‌دار آب‌زی به سطوح فوقانی محیط‌های آبی محدود می‌شود ؛ یعنی، محدوده‌ای که در آن گیاه هنوز قادر است نور خورشید را دریافت کند و عمل فتوسنتز انجام دهد.

---

۱ ــ Zusammenfassung des. Berichtes des Intergovermrntal Panel on Climate Change (2001), p.3.

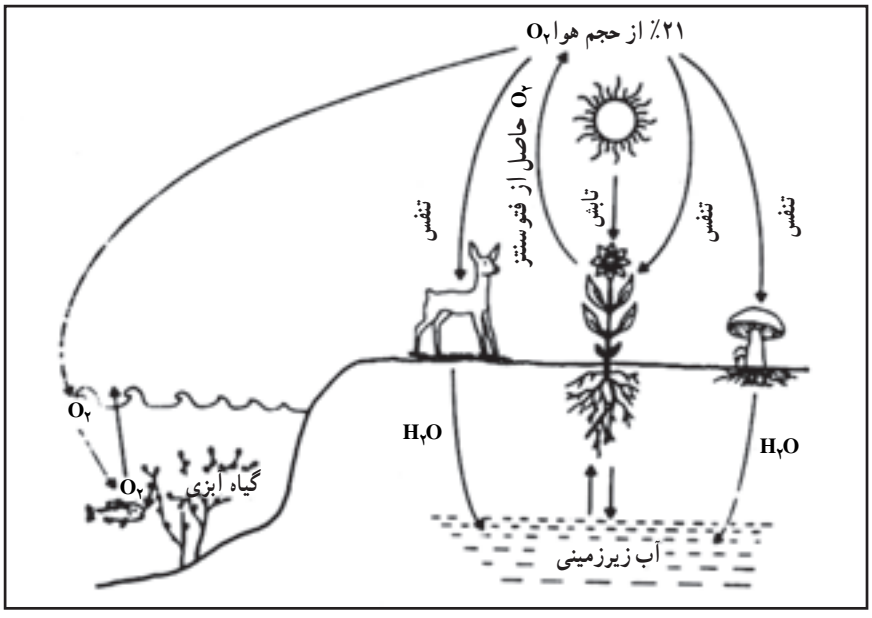
برای آن‌که غلظت اکسیژن موجود در آتمسفر ثابت بماند، باید میان دو فرایند تولید و مصرف اکسیژن تعادل برقرار شود. در طبیعت، اکسیژن به دو طریق تولید می‌شود :

۱ــ تجزیه‌ی فتوشیمیایی بخار آب در آتمسفر فوقانی توسط اشعه‌ی ماورای بنفش ؛

۲ــ فتوسنتز گیاهان، که در مقایسه با مورد نخست از اهمیتی بیشتر برخوردار است.

دانشمندان بر این عقیده‌اند که اکسیژن موجود در آتمسفر، وجود خود را مدیون مازاد اکسیژنی است که گیاهان تولید می‌کنند ؛ برای مثال، یک هکتار جنگل راش سالانه ۲۱تن اکسیژن تولید می‌کند. از این مقدار، ۹ تن به مصرف خود جنگل می‌رسد و ۱۲ تن باقی‌مانده، وارد آتمسفر می‌شود و تداوم حیات سایر موجودات زنده را ممکن می‌سازد. با توجه به نقشی که گیاهان و به‌ویژه جنگل‌ها می‌توانند در تولید اکسیژن و به تبع آن، بهکرد کیفیت زیستی بیوسفر داشته باشند، می‌توان به وضوح عواقب تخریب پوشش گیاهی را به تصور درآورد.

پ) چرخه‌ی ازت در طبیعت: گیاهان سبز به عنوان تولید کننده، ازت مورد نیاز خود را عمدتاً از هوا می‌گیرند. با وجودی که ۷۸درصد از حجم هوا را ازت تشکیل می‌دهد، نیاز گیاهان به ازت آن‌قدرحیاتی است که کمبود آن می‌تواند برای آن‌ها اثرات نامطلوبی به همراه داشته باشد. باید توجه داشت که ازت در زمره‌ی عناصر سازنده‌ی حیات به‌شمار می‌آید و در ساختمان اسیدنوکلئیک و پروتئین‌ها نقشی بنیادی را برعهده دارد. کلیه‌ی موجوداتی که خود قادر به ساختن موادّ آلی نیستند ــ عمدتاً مصرف کنندگان ــ مجبورند ازت مورد نیاز خود را از گیاهان دریافت کنند.



شکل ۸ ــ چرخه‌ی اکسیژن در طبیعت

گیاهان ازت مورد نیاز خود را توسط ریشه و به‌صورت NO_2^- ، NO_3^- و NH_4^+ دریافت می‌کنند. در فضایی از خاک که توسط ریشه اشغال می‌شود ــ یا **ریزوسفر** (Rhyzosphere)ــ گیاهان قادرند ازت را به صورت اسیدهای آمینه نیز جذب کنند.

به دلیل محدودیت‌ها که در جذب ازت توسط ریشه وجود دارد، فعالیت باکتری‌ها جهت رفع این محدودیت‌ها اهمیتی بسزا می‌یابد ؛که برای مثال، باکتری‌های غده‌ای که با ریشه‌ی گیاهان تیره پروانه آسا وارد همزیستی می‌شوند (اصطلاحاً **ریزوبیوم** نام گرفته‌اند) در تأمین ازت موردنیاز این گیاهان نقش قابل‌توجهی ایفا می‌کنند.

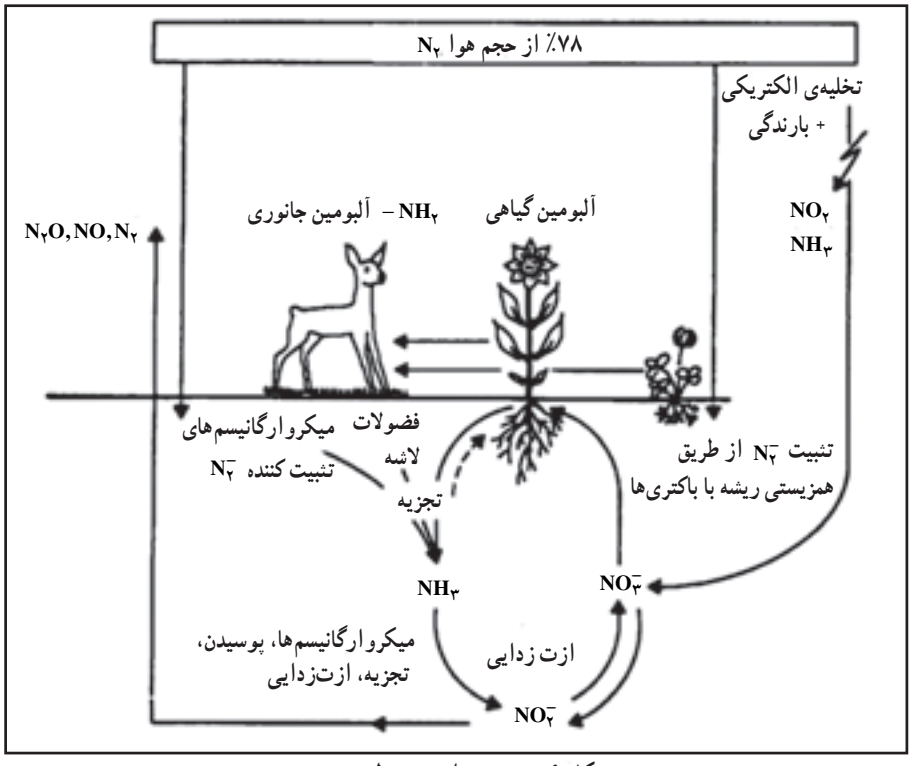
در یک طبقه‌بندی عمومی می‌توان چرخه‌ی ازت را به چهار مرحله‌ی اصلی زیر تقسیم نمود :

۱ــ تثبیت ازت از طریق فرآیندهای بیولوژیک یا تخلیه‌ی الکتریکی (رعد و برق) که شامل واکنش‌های فیزیکی و شیمیایی است ؛

۲ــ جذب ازت توسط گیاهان و سپس توزیع آن در اکوسیستم از طریق شبکه‌ی غذایی ؛

۳ــ کانی‌سازی بقایای موادّ آلی ؛

۴ــ تغییر و تحولاتی که توسط میکروب‌ها به انجام می‌رسد.



شکل ۹ــ چرخه‌ی ازت در طبیعت

در بین مراحل چهارگانه‌ی بالا، مرحله‌ی چهارم از اهمیت بیشتری برخوردار است. در این مرحله، مقادیر قابل‌توجهی ازت که می‌تواند مورد استفاده‌ی گیاهان قرار گیرد، توسط میکروارگانیسم‌ها جذب گردیده و از جمله به مولکول ازت (N_2) و دی‌ازت اکسید (N_2O که بیشتر به گاز خنده مشهور است) تبدیل می‌گردد و سپس به آتمسفر برگردانیده می‌شود. در کنار این فرآیند که **ازت‌زدایی** نامیده شده است و در رقابت با نیاز گیاهان به ازت قرار دارد، باید به آب‌شویی ازت نیتراته نیز اشاره نمود که به سهولت صورت می‌گیرد و ازت مورد نیاز گیاهان را از دسترس خارج می‌کند. به همین دلیل است که در فعالیت‌های زراعی، جهت رفع کمبود ازت خاک، از کودهای ازته استفاده می‌شود.

طیّ سال‌های اخیر، مشخص شده است که چرخه‌ی طبیعی ازت نیز تغییرات سنگینی را متحمل گردیده است. انسان به طرق مختلف حجم عظیمی از ترکیبات ازته را در آتمسفر تخلیه می‌نماید. از آن‌جا که میزان ازت تخلیه شده از ظرفیت قابل‌تحمل اکوسیستم زمین فراتر می‌رود، به‌طور فزاینده‌ای بر میزان ازت انباشته شده در آتمسفر و ماورای آن افزوده می‌شود. مهم‌ترین منبع پخش آلاینده‌های ازته در محیط زیست سوخت‌های فسیلی ــ خصوصاً بنزین مصرفی در خودروهای بنزین سوز ــ است. علاوه بر آن، در تولید کود شیمیایی و اسید نیتریک نیز همواره مقداری ازت آزاد می‌شود که وارد آتمسفر می‌گردد. در بین اکسیدهای ازت، گاز دی ازت اکسید یا گاز خنده موقعیتی قابل توجه دارد.

همان‌گونه که قبلاً اشاره شد، در طول فرآیند ازت‌زدایی که توسط میکروارگانیسم‌های خاک صورت می‌گیرد، همواره مقداری گاز دی‌ازت اکسید آزاد شده و وارد آتمسفر می‌شود. استفاده‌ی مفرط از کودهای ازته در کشاورزی می‌تواند تولید N_2O را شدت بخشد. این گاز بسیار پایدار است. دی ازت اکسید از یک سو، در زمره‌ی گازهایی به شمار می‌آید که باعث افزایش دمای آتمسفر می‌شوند و از سوی دیگر، در شمار گازهای فرساینده‌ی لایه‌ی ازون قرار دارد ؛ از این رو، استفاده‌ی مفرط ازکودهای ازته نه‌تنها بر اقتصاد کشور لطمه وارد می‌آورد بلکه عوارض زیست‌محیطی بسیار نامطلوبی را نیز در پی دارد.

۳ــ چرخه‌ی آب در طبیعت: بر اثر تابش خورشید بر سطح آب‌های آزاد همواره مقداری آب تبخیر می‌شود و به طرف بالا صعود می‌کند. طیّ این حرکت صعودی، به دلیل کاهش دمای آتمسفر، از دمای بخار آب نیز کاسته می‌شود، بخار آب به صورت ابر در می‌آید و دوباره به صورت انواع بارش به سطح زمین باز می‌گردد. البته گیاهان به وسیله‌ی تعرّق، خاک براثر تبخیر و جانوران از طریق بازدم سهمی در ایجاد بخار آب و در نتیجه ابر دارا هستند ولی این سهم در مقایسه با مقدار تبخیر حاصل از تابش خورشید بر سطح آب‌های آزاد بسیار ناچیز است.

ابر اشباع شده شروع به باریدن می‌کند و مقداری از این بارش یا به‌طور مستقیم وارد آب‌های آزاد می‌گردد (چرخه‌ی کوتاه) یا نخست بر سطح خشکی می‌بارد و پس از گذشتن از مراحل مختلف، دوباره به سوی منابع اصلی آب، یعنی آب‌های سطحی و زیرزمینی جاری می‌شود (چرخه‌ی بلند). بدین‌ترتیب می‌توان چرخه‌ی آب را بسته تلقی نمود.

برای مطالعه‌ی بیشتر

با توجه به آن‌چه که در مورد چرخه‌ی طبیعی سه نوع از گازها ذکر گردید، مشاهده می‌شود که چرخه‌های مذکور به نحوی بسیار جدی و تهدیدآمیز دچار اختلال گردیده‌اند. در گذشته، آلودگی‌های محیط زیست عموماً جنبه‌ی محلی داشت ولی امروزه ابعاد جهانی یافته است ؛ از این رو، مقابله با آن‌ها نیز عزمی جهانی را می‌طلبد. با وجود این نباید به کشورهایی که از نظر نظامی قدرتمند هستند، این امکان داده شود که تحت لوای محیط زیست به دخالت در امور دیگر کشورها بپردازند.

چرخه‌ی طبیعی آب نیز به دلیل وجود انواع موادّ آلاینده در محیط زیست ــ به ویژه در هوا و آب ــ دچار اختلال شده است. به همراه چرخه‌ی طبیعی آب در طبیعت، مقادیر هنگفتی موادّ آلاینده نیز به گردش درمی‌آید و سراسر کره‌ی مسکون را آلوده می‌سازد ؛ از این رو، استفاده‌ی روزافزون از سوخت‌های فسیل، به‌ویژه سوخت‌های پستی چون زغال‌سنگ، مازوت، گازوئیل و نیز در نتیجه‌ی فعالیت‌های گسترده‌ی تولیدی و صنعتی، مقادیر عظیمی موادّ آلاینده وارد هوا می‌شود. از جمله‌ی این آلاینده‌ها، گاز دی‌اکسید گوگرد یا SO_2 است که با رطوبت هوا ترکیب می‌شود و اسیدسولفوریک (H_2SO_4) تولید می‌کند. حاصل این فعل و انفعال‌ها، پیدایش **باران‌های اسیدی** است که موجب تخریب گسترده‌ی جنگل‌های اروپا و آمریکا شده است.

باران‌های اسیدی بر عامل اکولوژیک خاک نیز تأثیر می‌گذارد و باعث ظهور تغییرات عمیق در خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیک آن می‌گردد. بر این مبنا، تحت تأثیر باران‌های اسیدی نه تنها اندام‌های هوایی گیاهان دچار آسیب می‌شود بلکه اندام‌های زیرزمینی نیز از طریق خاک اسیدی شده، آسیب می‌بینند.