۱ ـ برخی مقدمات ضروری از زیست‌شناسی، ریاضیات و اسلوب‌شناسی علمی

۱-۱- زیست‌شناسی

جمعیت یکی از مفاهیم بنیادی در علوم محیطی است. این اصطلاح، در مواردی که بدون توصیف به کار رفته باشد، همواره به گروهی از افراد اطلاق می‌شود که همگی به یک گونه واحد تعلق داشته باشند. ولی آیا چند نفر در یک جمعیت قرار دارند و یا این که جمعیت به چه میزان فضا را اشغال می‌کند؟

تعریف جمعیت در مواردی که اعضای یک گونه در منطقه وسیعی گسترش یافته باشند و تنها مانع بین افراد مختلف فاصله باشد مشکل‌تر می‌شود.

در این موارد بامعنی‌ترین روش در تعریف جمعیت بر اساس تأثیری است که هر فرد می‌تواند بر دیگری داشته باشد. لذا جمعیت را به عنوان سیستم پویایی می‌شناسیم که از افرادی با تأثیر متقابل بر هم تشکیل شده باشد.

افراد یک جمعیت علاوه بر آمیزش روابط متعدد دیگری نیز با یکدیگر دارند. اگر تعداد افراد در واحد سطح از حد طبیعی تجاوز کند گوییم که تراکم جمعیت (تعداد در واحد سطح) افزایش یافته است. اگر افزایش تراکم موجب شود که تقاضا برای غذا، پناهگاه و احتیاجات دیگر از حد موجود در محیط فراتر رود نتیجتاً رقابت بروز خواهد کرد. رقابت بین دو یا چند نفر زمانی بروز می‌کند که مجموع احتیاجات آنها برای یک یا چند منبع از حد مهیایی آن منابع فراتر رود.

رقابت موجب دو نوع تأثیر بر افراد رقیب می‌شود: یکی تأثیر کوتاه مدت یا بوم‌شناختی و دیگری درازمدت یا تکاملی. در هر دو مورد تنازع بقا در جریان است که منجر به پیروزی بعضی افراد و شکست برخی دیگر می‌گردد.

چهار نوع از اثرات کوتاه مدت رقابت برای جمعیت مهم می‌باشند، زایش، بقا یا رشد جمعیت ممکن است کاهش یابد و یا مهاجرت به خارج افزایش حاصل نماید.

رقابت ممکن است همراه با برخورد جسمی واقعی بین افراد باشد.

با این وصف رقابت الزاماً نمی‌بایست به صورت برخورد جسمانی باشد. اگر فردی گرسنه می‌ماند، به این دلیل که دیگران غذای موجود را قبلاً خورده‌اند، رقابت درگرفته است. گواین که رقبای غذاییش هرگز او را لمس نکرده و یا حتی به او نزدیک نیز نشده‌اند. رقابت تأثیری بر تکامل درون جمعیت نیز دارد.

دو نوع از عوامل محیطی افراد را می‌کشند، و یا میزان تولید مثل آنها را کاهش می‌دهند: عوامل وابسته به تراکم جمعیت و عوامل مستقل از تراکم.

عوامل وابسته به تراکم با افزایش تراکم جمعیت تأثیرات شدیدتری دارند. کمبود غذا یک عامل وابسته به تراکم است. ولی بعضی عوامل از قبیل کاهش شدید درجه حرارت یا رگبار تگرگ، بدون توجه به این که تراکم چقدر باشد، نسبت واحدی از جمعیت را خواهند کشت. اینها عوامل مستقل از تراکم می‌باشند.

چهار اصطلاح در رابطه با برداشت انسان از جمعیت‌ها به کار برده می‌شود، زی‌توده یا وزن زنده (biomass)، محصول سربار (standing crop)، باردهی (productivity) و محصول (yield). وزن زنده یک جمعیت عبارت از کل وزن آنها، یعنی حاصل ضرب تعداد افراد جمعیت در وزن متوسط افراد است. محصول سربار یعنی تعداد افراد یک جمعیت یا وزن زنده آنها در یک زمان معین است. بهره‌وری یا باردهی مقدار بافت‌های زنده‌ای است که به وسیله‌ی یک جمعیت در واحد زمان ساخته می‌شود. محصول عبارت است از آن چیزی است که به وسیله‌ی انسان برداشت می‌شود.

جامعه سطح بالاتری از سازمان است که در محیط زیست با آن سروکار داریم، یعنی مجموعه تمام جمعیت‌های گونه‌های گیاهان و حیواناتی که در یک محیط زندگی می‌کنند.

جوامع نیز، مانند یک فرد زنده، دورانی از تولد، رشد و کهولت را سپری می‌نمایند. تفاوت در اینجاست که جوامع نمی‌میرند، بلکه یک گروه از گیاهان و حیوانات جایگزین دیگری می‌گردند. یک جامعه وقتی به وجود می‌آید که یک محیط غیرمسکون، همچون گدازه سرد شده آتشفشانی، برای اولین بار مورد هجوم گروهی از گونه‌های پیشاهنگ قرار گیرد. این گونه‌ها محیط زیست را چنان تغییر می‌دهند که گونه‌های دیگر قادر به هجوم و پایداری در آن گردند. در آخر این موضع به وسیله‌ی گونه‌هایی اشغال می‌شود که جامعه را زیر سلطه خویش بگیرند و به جای این که به وسیله‌ی گونه‌های دیگر

جایگزین شوند، خود جایگزین خویشتن گردند. اکنون ما یک جامعه قله یا کلیماکس (Climax) داریم. تمامی این فرایند جایگزینی گروه‌های گونه-ها، به وسیله‌ی یکدیگر، که از طریق تغییر محیط زیست صورت گرفت، توالی (succession) خوانده می‌شود.

اکوسیستم یک سطح سازمانی حتی بالاتر از جامعه است. اکنون ما نه تنها تمام گونه‌های گیاهان و حیوانات یک محیط، بلکه همچنین ماده‌ای را که در سیستم به گردش می‌آید و انرژی را که به سیستم نیرو می‌دهد نیز مورد توجه قرار می‌دهیم. نور خورشید و حرارت برای گیاهان انرژی فراهم می‌آورند تا بافت‌های خویش را از گاز کربنیک، آب و جمعی از مواد معدنی خاک بسازند. برخی از این بافت‌ها سپس به وسیله‌ی حیواناتی خورده می‌شوند، که خود ممکن است به وسیله حیوانات دیگر خورده شوند. تمام بافت‌های زنده، در نهایت، به وسیله‌ی جمع بسیار متنوعی از تجزیه‌کنندگان از هم پاشیده می‌شوند و یک بار دیگر به صورت خاک درآمده و آماده مصرف مجدد به وسیله‌ی اکوسیستم می‌گردند.

۲-۱- ریاضیات

همانند فیزیک، شیمی و علوم دیگر، دانشمند محیط‌شناس نیز به میزان تغییرات اعداد توجه دارد. لذا، اگر متغیری مثل N اندازه‌گیری شده باشد، ما نسبت به میزان تغییراتی که N در زمان نشان می‌دهد توجه می‌نماییم.

مفهوم میزان تغییرات در شکل۱ ترسیم شده است. یکی از ساده‌ترین فرمول‌های میزان تغییرات که در علم محیط‌شناسی به کار می‌رود: فرمول مربوط به قانون رشد توانی (exponential growth law) می‌باشد. این قانون الگویی از رشد را توصیف می‌کند که در آن میزان تغییرات N نسبت به زمان، dN/dt، متناسب با مقدار موجود، N، در هر زمان است. فرض کنید که r نشان‌دهنده اختلاف بین میزان لحظه‌ای زایش سرانه و میزان لحظه‌ای مرگ و میر سرانه باشد. در آن صورت r میزان لحظه‌ای خالص افزایش سرانه جمعیت می‌باشد. آنگاه قانون رشد توانی ما به طور ساده عبارت خواهد بود:

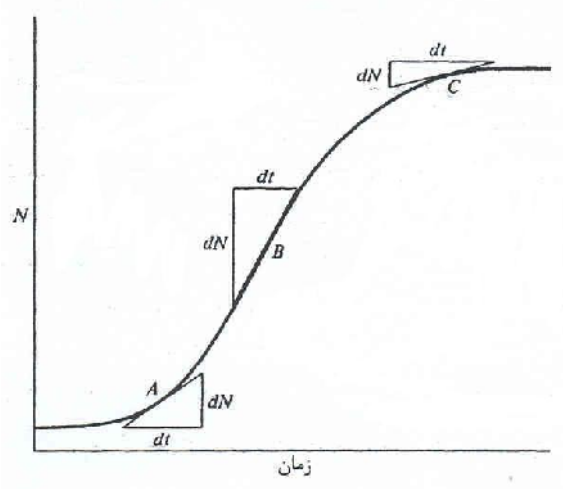
$$\frac{dN}{dt} = rN$$

با استفاده از توابع اولیه، می‌توان نشان داد که مقدار N در هر نقطه از زمان عبارت است از:

$$\int \frac{dN}{N} = r\int dt$$

$$\ln N_t = \ln N_0 + rt$$

$$N_t = N_0 e^{rt}$$



شکل ۱- میزان تغییر یک متغیر N در زمان. در این جا منحنی S شکل فرم مشخص منحنی تغییرات جمعیت در زمان را ترسیم می‌نماید. میزان تغییرات در هر نقطه مثل A و B یا C می‌تواند بر حسب تانژانت منحنی در آن نقطه در نظر گرفته شود. با ساختن مثلث برای هر یک از سه تانژانت مشاهده می-

شود که وقتی که N و A تازه شروع به رشد می‌کند تغییر N، یعنی dN، در تغییر بسیار جزئی زمان، dt، بسیار کم است. کسر dN/dt میزان تغییر N را نسبت به t در نقطه A بیان می‌کند. در B رشد تسریع گردیده و dN/dt از A و B بسیار کمتر است. اگرچه میزان تغییر در سه نقطه متفاوت است، با این وصف، هر کدام را می‌توان با یک قانون ساده بیان نمود:

$$\frac{dN}{dt} = rN\frac{N_{\max} - N}{N_{\max}}$$

که در آن N_{max} حداکثر متوسط جمعیتی است که به دست خواهد آمد و r نرخ لحظه‌ای زاد و ولد منهای نرخ لحظه‌ای مرگ و میر است. از آن جا که میزان‌های تغییر را به صورت فرمول‌های ساده می‌توان بیان کرد، در حالی که مقادیر (در این مورد N) را نمی‌توان، لذا فرمول‌های میزان تغییرات در علم محیط‌شناسی نیز مانند علوم دیگر بسیار به چشم می‌خورند.

تأثیر تجمعی: به وسیله‌ی متغیری ایجاد می‌شود که در یک زمان طولانی عمل می‌کند. لذا تماس هر روز با آلوده‌سازهای هوا در طول دو دهه ممکن است اثر مرگ‌آوری داشته باشد، که پس از یک تماس مختصر به وجود نمی‌آید. **تأثیر آستانه‌ای** وقتی به وجود می‌آید که شدت یک عامل سببی از آستانه مشخص درگذرد. مثلاً معلوم شده است که برخی حیوانات به دنبال غذا نمی‌گردند، مگر این که سطح گرسنگی آنها از آستانه معینی فراتر رود. **تأثیر کنش متقابل** وقتی ایجاد می‌شود که دو یا چند متغیر طوری با یکدیگر عمل کنند که نتیجه ائتلاف آنها چیزی کمتر یا بیشتر از آن باشد که از جمع کردن هر یک از آنها می‌توان انتظار داشت.

ما در سراسر این کتاب با ضوابط متعددی از تغییرپذیری یک گروه از مشاهدات سروکار خواهیم داشت. دو تا از این ضوابط عبارت‌اند از **واریانس** یک **نمونه** و انحراف معیار یک **جمعیت**. واریانس معیاری از تغییرپذیری یک نمونه است که از جمعیتی برداشته شده باشد. انحراف معیار، که از روی واریانس محاسبه می-شود، تخمینی از تغییرپذیری خود جمعیت است.

مباحث به **همبستگی و رگرسیون** نیز اشاره خواهد شد. ضریب همبستگی نشان می‌دهد که تغییرات یک متغیر تا چه اندازه با تغییرات متغیر دیگر همبستگی دارد. **ضریب رگرسیون** اجازه می‌دهد که، مشروط به داشتن مقادیر یک متغیر مستقل X، مقدار یک تابع Y را اندازه بگیریم. معانی این اصطلاحات در شکل ۲ ترسیم گردیده است.

فرض کنید که از متغیرهای Y و X چند جفت اندازه‌گیری داشته باشیم. اگر فرض کنیم که Y به طریقی تحت تأثیر X قرار دارد، پس Y تابع و X متغیر در نظر گرفته می‌شود. یکی از ساده‌ترین روابط مفروض خط راست است:

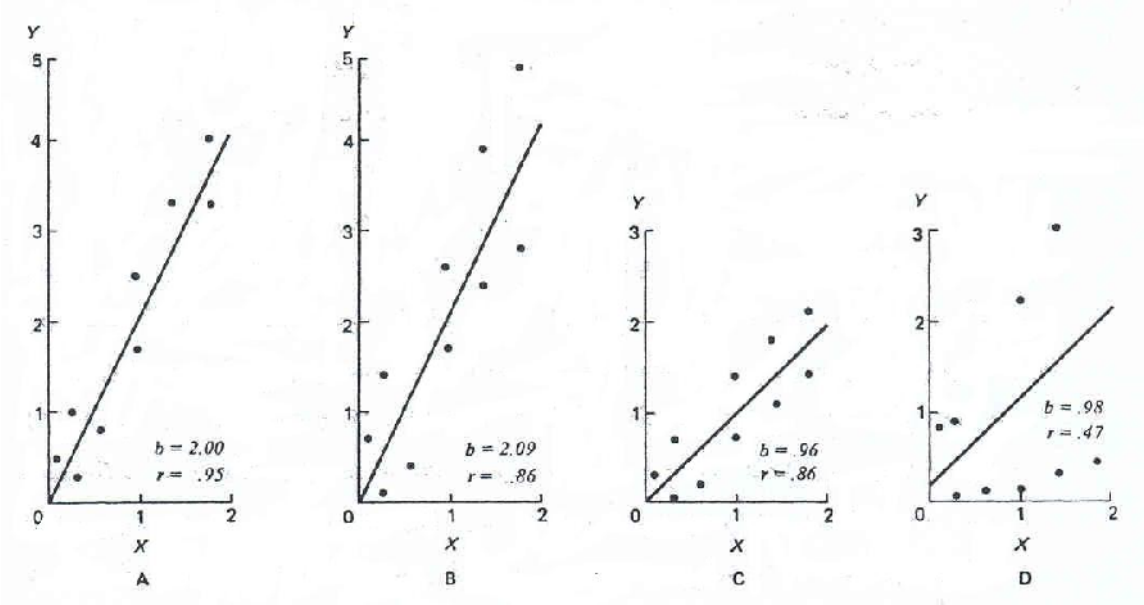
$$Y = a + bX$$

در این معادله b ضریب رگرسیون است که می‌توان آن را از روی یک سری اندازه‌گیری‌های Y و X محاسبه نمود.

ضریب همبستگی r از درجه همبستگی بین X و Y حکایت می‌نماید. هر چه مقدار b بیشتر باشد مقدار r نیز بیشتر است، و هر چه پراکنش نقاط مشاهده شده در اطراف بهترین خط سازگار با آمارها، که با استفاده از تکنیک آماری حداقل مربعات (least squares) کشیده شده، بیشتر باشد مقدار r کمتر خواهد شد. این یک محاسبه جبری است که مقادیر a و b را برای خطی محاسبه می‌کند که مجموع مربعات انحراف‌های آمارها را حول آن خط به حداقل کاهش می‌دهد.

یادآوری این نکته بسیار مهم است که **همبستگی الزاماً به معنی یک رابطه علت و معلولی بین متغیرهای مشاهده شده نیست**. ضریب همبستگی بزرگ می‌تواند صرفاً بر اساس تصادف نیز به وجود آید، و یا به این دلیل که دو متغیر تحت تأثیر یک متغیر سوم بوده‌اند که اندازه‌گیری نشده است.

ضریب رگرسیون می‌تواند هر مقداری را به خود بگیرد، ولی ضریب همبستگی فقط بین ۱- تا +۲ واقع می‌شود.



شکل ۲- چهار ترکیب ممکن از ضرایب کم و زیاد رگرسیون (b) و ضرایب کم و زیاد همبستگی (r). A و B شیبی حدود دو برابر C و D دارند و ضریب محاسبه شده رگرسیون آنها نیز حدود دو برابر بزرگتر است. همچنین ضریب همبستگی نیز در A و B بزرگتر است. آمارهای مشاهده شده B و D پراکنده‌تر بوده و در نتیجه ضرایب همبستگی آنها نیز کوچکتر از A و C می‌باشد. گرچه پراکندگی C کمتر از B است ولی ضریب همبستگی آن بزرگتر نیست، زیرا که شیب آن کمتر می‌باشد. لذا این چهار شکل وابسته بودن ضریب همبستگی را به دو عامل، که ظاهراً در این چهار شکل متفاوت بود، نشان می‌دهند، شیب و پراکندگی.

۳-۱- اسلوب‌شناسی علمی

پدیده‌های بسیار گسترده‌ای را بر اساس معدودی از اصول می‌توان درک نمود. یک اصل چیست؟ اصل اصطلاحی است که برای بیان تعمیم‌های کلی، که تا به این مرحله از گسترش علم محیط‌شناسی در توجیه موقعیت‌های خاص مختلف مفید به نظر می‌رسند، به کار می‌رود. با این وصف، اصول دارای سرچشمه‌های کاملاً متفاوتی می‌باشند.

مثلاً، اصول اول و دوم قوانین آزمایش شده و پذیرفته شده علمی هستند، که سابقه معتبر طولانی در زمینه‌های مختلف علمی داشته‌اند. بعضی اصول دیگر صرفاً تعمیم‌های عملی به شمار می‌روند که برخی از پدیده‌ها را برای محققین مختلف به صورت قابل قبولی توصیف می‌کنند. معدودی از اصول فقط مورد قبول اندکی از دانشمندان بوده و هنوز موضوع جر و بحث‌های شدیدی می‌باشند.

علم یک فرایند پویای فرهنگی است که تکامل فکری انسان را بیان می‌نماید و لذا رشد و تحول می‌یابد، درست آن طور که جهان زنده نیز متحول می‌شود.

این واقعیت که هنوز بسیاری چیزها در باره جهان می‌بایست کشف شود و بسیاری از آگاهی‌های امروز ما ناچیز یا ناقص‌اند، خود می‌بایست قوه تخیل، خلاقیت، کنجکاوی و ابتکار دانشجویان را به مبارزه طلبد.

در ادامه‌ی این موضوع به چهار روش تحقیق اشاره خواهد شد. سه تای آنها صور مختلف تجربه‌اند، چهارمی روش مقایسه است که به عنوان روش نیرومندی در دست چارلز داروین بود.

اولین روش آزمایش یک نظریه همان روش تجربی کلاسیک است (روش استقرا) که مثلاً در تاریخ فیزیک تجربی بسیار برجسته بوده است.

یک فرم دیگر آن قیاس یا پی بردن از کل به جزء به جای استقرا می‌باشد. در این روش نظریه را از طریق برپا کردن آزمایش و به دست آوردن آمارها محک نمی‌زنیم بلکه، با کاربرد ریاضیات، پی‌آمدهای یک فرضیه را قیاس می‌نماییم.

در چند سال اخیر روش دیگری جهت آزمایش نظریات فراهم آمده است، مدلسازی کامپیوتری، مثلاً می‌توانیم برنامه یک مدل ریاضی را، که مقلد رفتار یک جنگل باشد، در کامپیوتر بریزیم. آن گاه می‌توان این نظریه را که از ۵ استراتژی مختلف اداره جنگل در یک دوره ۱۰۰ ساله استراتژی شماره ۵ باردهی جنگل را از نظر خمیر کاغذ حداکثر می‌نماید، مورد آزمایش قرار داد.

چهارمین طریق آزمایش یک نظریه، روش مقایسه‌ای داروین است. فرض کنید که نظریه زیر را داشته باشیم. جمعیت حیوانات منطقه‌ای، که درجه حرارت آن همیشه تغییرات شدیدی دارد، در مقابل ۱۰ درجه تغییر درجه حرارت نوسان کمتری نشان می‌دهد تا جمعیت‌هایی که درجه حرارت منطقه زندگیشان به طور معمول نوسانات کمتری دارد. این نظریه را می‌توان با جمع‌آوری آمارهایی راجع به جمعیت‌های بسیار از مناطق متعدد و به کار بردن کامپیوتر، برای مقایسه عکس‌العمل هر کدام از جمعیت‌ها در مقابل تغییر معین درجه حرارت، محک زد. در اینجا هیچ آزمایشی صورت نگرفته ولی نظریه از طریق مقایسه آمارهای مربوط به پدیده اصلی در شرایط متفاوت آزمایش شده است.

۱-۲- اصول بهره‌برداری از منابع

مجموعه اصول می‌بایست طوری عنوان شوند که چهار هدف اصلی تحقق یابد:

اول این که سبک ارائه آنها می‌بایست روابط منطقی بین اصول مختلف را در مجموعه آشکار سازد.

دوم این که پیکر اصلی نظریه می‌بایست هم یک سیستم استقرایی و هم قیاسی باشد.

سوم این که، اصول می‌بایست به اندازه کافی کلی و بنیادی بیان شوند، تا این که بتوان بسیاری اصول دیگر را که از قبل در منابع وجود دارند، به صورت ملحقات یا موارد ویژه، از آنها استنتاج نمود.

بالاخره پیکر اصلی نظریه، می‌بایست عمداً طوری طراحی شوند که قابل عمل باشد.

هر اصل بر اساس انطباق با طرح بعد بیان شده است.

هر اصل با شماره‌ای مشخص شده تا به وسیله‌ی آن در قسمت‌های بعدی این کتاب بتوان به آن رجوع نمود. خود اصل به دنبال شماره بیان گردیده است.

سپس استخراج منطقی آن از اصول قبلی (اگر چنین استخراجی صورت گرفته باشد) آورده می‌شود.

سپس دلایلی که بر مبنای آنها اصل پایه‌گذاری شده، منحصراً ترسیم می‌شود.

و بعد دلالتها، موارد خاص، تعمیم‌ها و ملحقات، جزء به جزء آورده می‌شود.

آن گاه تفسیر مختصری از اشارات خاص آن اصل در مورد انسان یا این مطلب که جامعه جدید تکنولوژیک به چه میزان بر وفق یا علیه این اصل عمل می‌نماید ارائه می‌گردد.

اصل ۱ تمام انرژی که به یک فرد، جمعیت، یا اکوسیستم وارد می‌شود می‌تواند در آن ذخیره شده یا از آن خارج گردد. انرژی می‌تواند از شکلی به شکل دیگر تغییر یابد، ولی نمی‌تواند محو، منهدم و یا خلق شود.

این اصل همچنین به نام قانون بقای انرژی نیز شناخته می‌شود.

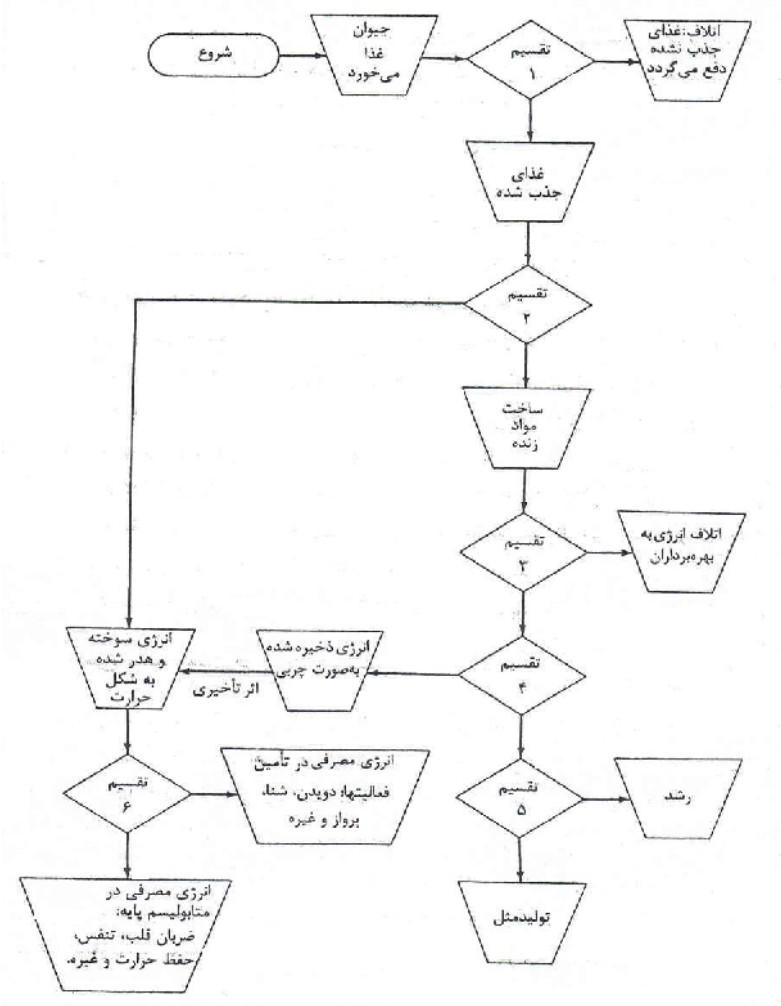
بر مبنای این اصل می‌بایست تمام انرژی وارد شده به فرد، جمعیت یا اکوسیستم را به حساب انرژی خارج شده یا ذخیره شده گذاشت. اهمیت این نکته در آن جاست که سیستم‌های زنده را می‌توان به صورت مبدل‌های انرژی تصور نمود و این خود به معنی امکان معین و مشخص ساختن استراتژی‌های مختلف در تبادلات انرژی است. نتیجتاً، این موضوع که ما حساب کالری‌ها را نگاه داریم برای ما همان قدر آموزنده و مفید است که برای یک تاجر نگه داشتن حساب پولهای ورودی و خروجی به تجارتش مفید می‌باشد.

مثلاً ما علاقمند به این هستیم که بدانیم جریان ورود کالری‌ها به صورت غذا چگونه توسط موجود زنده بین رشد، تولید مثل، سوخت و ساز، و مواد دفعی تقسیم می‌شود. در مورد حیوانات قسمتی از انرژی به صورت مدفوع به هدر می‌رود و قسمتی نیز پس از خورده شدن توسط بهره‌برداران (صیادان و

انگل‌ها) ناپدید می‌گردد. متابولیسم حیوانی نیز به دو قسمت تقسیم می‌شود. یکی آن قسمت است که فقط برای فعال نگه داشتن ماشین اصلی بدن به کار می‌رود (متابولیسم پایه) و دیگری قسمتی که فعالیت‌ها را تأمین می‌نماید.

شکل ۳ نموداری است از چگونگی تقسیم جریان انرژی ورودی به قسمت‌هایی با مقاصد مختلف. اولین تقسیم سهمی از انرژی ورودی را به عنوان اضافات جذب نشده حذف می‌نماید. در تقسیم دوم انرژی جذب شده به قسمتی که برای سوخت و قسمتی که برای مواد زنده مصرف خواهند شد تقسیم می‌گردد. تقسیم سوم نشان‌دهنده سهمی از انرژی است که از هر فرد متوسط این جمعیت به نفع بهره‌برداران ناپدید می‌شود. چهارمین تقسیم انرژی ادغام شده در مواد را به دو بخش تقسیم می‌کند که یکی فوراً برای رشد و تولید مثل به کار می‌رود (پروتئین) و قسمت دیگر به صورت چربی ذخیره می‌شود تا بعداً در موارد لازم به صورت سوخت مصرف گردد. پنجمین تقسیم سهم مربوط به رشد و تولید مثل را به دو قسمت مربوطه‌اش تقسیم می‌نماید. ششمین تقسیم انرژی مربوط به سوخت را به سهم مربوط به متابولیسم پایه و سهمی که برای فعالیت‌های اضافه بر آن و فراتر از اعمال اصلی بدن لازم است تقسیم می‌نماید.

هر یک از تقسیمات از دو بخش تشکیل یافته که نشان می‌دهد چه مقدار از انرژی وارد شده به آن لوزی به هر یک از دو خروجی می‌رسد. می‌توانیم هر گونه از موجودات زنده را به صورت حریف مسابقه‌دهنده‌ای در مقابل طبیعت مجسم کنیم که موفقیت او بر اساس تغییرات وزن زنده گونه‌اش اندازه‌گیری می‌شود. اگر چنانچه یک گونه وزن زنده‌اش را به طور متوسط از نسلی به نسل دیگر حفظ می‌کند در این مسابقه موفق است و چنانچه تعداد افراد گونه از نسلی به نسل دیگر افزایش می‌یابد در این مسابقه بسیار موفق است. و اگر گونه منقرض می‌شود در بازی موفق نبوده است.



شکل ۳ـ نحوه عمل قانون اول ترمودینامیک را در یک حیوان فرضی عمومی ترسیم می‌کند. نمودار به این منظور طراحی شده تا نشان دهد که چگونه تمام جویبار انرژی ورودی را می‌توان از طریق یک سری انشعابات به اعمال نهایی تقسیم نمود.

با استفاده از آن، که شبیه نمودارهایی است که در توصیف برنامه کامپیوتر به کار می‌رود وضع کامل انرژی ورودی به بدن در نظر گرفته شده است. هر یک از دو شکل هندسی به کار رفته معنی خاصی دارند.

لوزی: این شکل تقسیم جریان انرژی ورودی را به دو جزء تشکیل دهنده‌اش نشان می‌دهد.

ذوزنقه: این شکل مقدار انرژی ورودی یا خروجی به هر قسمت یا فرایند را نشان می‌دهد.

این نمودار به آن منظور طراحی نشده که روال فرایندهای بدن را تقلید کند، بلکه مقصود فقط نشان دادن این مطلب است که چگونه وضعیت نهایی غذایی مصرفی را می‌توان به صورت چند مکانیسم کلیدی ترسیم نمود. در واقع غذا قبل از این که تماماً به صورت مدفوع دفع شود به شکل سوخت، چربی و پروتئین تغییر و تبدیل‌هایی را از سر گذرانده است.

اصل ۲ ـ کارایی هیچ سیستم مبدل انرژی کامل نیست

این نوعی بیان قانون دوم ترمودینامیک، یعنی یکی دیگر از مبانی اصلی علوم فیزیکی است.

این بدان معنی است که، گرچه انرژی هرگز در جهان از بین نمی‌رود، ولی همواره به فرم کم‌ارزشتری تبدیل می‌شود. مثلاً انرژی مورد استفاده یک حیوان به صورت غذا، فشرده و مفید، به دست می‌آید، با این وصف حرارت تولید شده در پرواز، شنا و دویدن حیوان از بین می‌رود و دیگر به کاری نمی‌آید. در واقع تمام انرژی موجود در این کره یک تمایل همه‌جانبه و برگشت‌ناپذیر برای فروسایی به فرم حرارت دارد، که به صورت تشعشع در فضا ناپدید می‌گردد.

تمام فرایندهای حیات نیز کم راندمان می‌باشند، به این معنی که فقط جزء کمی از انرژی مفید وارد شده به یک موجود زنده، یک جمعیت، یا اکوسیستم در مرحله بعد به صورت آماده برای استفاده موجودات، جمعیت‌ها، یا اکوسیستم‌های دیگر باقی می‌ماند. از آن جا که انرژی برای موجودات مهم است ولی تبدیل انرژی کارآمد نیست، لذا روش‌های افزایش کارایی در مصرف انرژی ممکن است غالباً برای موجودات زنده مهم باشند.

تعریف منابع

یک مفهوم بنیادی در بحث محیط زیست موضوع منابع است، حال چه موضوع صحبت گیاهان و حیوانات طبیعت باشد و یا سیستم‌های شهری انسان. با یک لحظه اندیشه به یاد می‌آید که منبع چیزی است که مفید واقع شود، ولی چگونه می‌توان این مفید بودن را اندازه گرفت، و لذا چطور می‌بایست منبع را تعریف کرد؟ یک ضابطه مهم در مفید بودن منبع تأثیر آن بر میزان تولیدمثل جمعیت گیاه یا حیوانی که از آن استفاده می‌کند بیشتر خواهد شد. در عین حال وقایع متعددی می‌توانند در زندگی یک گیاه یا حیوان، از آغاز تولد تا زمان آمادگی تولیدمثل، دخالت کنند. نتیجتاً اثرات مفید افزایش یک منبع در اوایل زندگی ممکن است به وسیله‌ی اثرات مضر کم شدن یک منبع دیگر در مراحل بعدی زندگی باطل شده و یا پوشیده گردد. لذا مفیدترین و عملی‌ترین معیار تأثیر یک منبع عبارت از انعکاس آن در تبدیل انرژی است، نه تولید مثل.

یک منبع در تمام تغییرات مهیایی خود تأثیر مثبت نخواهد داشت. تأثیر مثبت فقط در آن موقع اتفاق می‌افتد که مهیایی یک منبع تا یک سطح مطلوب یا کافی افزایش می‌یابد. لذا ما تعریف زیر را خواهیم داشت:

یک منبع عبارت از هر چیز مورد احتیاج فرد موجود زنده، جمعیت یا اکوسیستم است که با افزایش مهیایی خویش، تا یک سطح مطلوب یا کافی، افزایش میزان تبدیل انرژی را اجازه دهد.

اصل ۳ ـ ماده، انرژی، فضا، زمان و تنوع همگی انواع منابع به حساب می‌آیند.

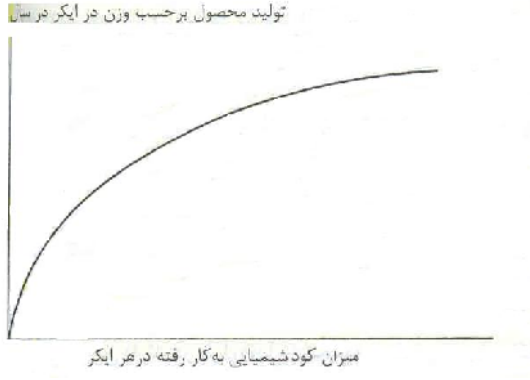
با توجه به اصل فیزیک و شیمی واضح است که پیشروی میزان تبدیل انرژی به وسیله‌ی سیستم‌های زنده متناسب با افزایش میزان مهیایی ماده و انرژی است.

فضا نیز می‌بایست به طریق مشابهی عمل کند. تشابه بین تراکم فلئورورها و فاصله بین یک حیوان از نزدیکترین حیوان همگونه جنس مخالفش را در نظر بگیرید. اگر تراکم فلئورورها از تراکم مطلوب بالا یا پایین‌تر باشد مضر خواهد بود. اگر فاصله با نزدیکترین همسایه نیز بیش از حد کوتاه است، نشان می‌دهد که تراکم جمعیت احتمالاً آن چنان زیاد است که، به دلیل جنگ با یکدیگر، برخورد یا سایر ناهنجاریها، افراد دیگر جمعیت در فرایند جفتگیری مداخله خواهند کرد. اگر فاصله با نزدیکترین جنس مخالف بیش از حد زیاد است، احتمال یافتن جفت موردنظر بسیار کم بوده و باروری که عملاً انجام می‌گیرد از حداکثر ممکن آن کمتر خواهد بود. **بنابراین تأثیر فضا به طور اصولی مشابه با تأثیر ماده و انرژی است و بنا به تعریف، فضا یک منبع به حساب می‌آید.**

زمان نیز یک منبع است نه یک متغیر مستقل. مثلاً پستانداران کویر را در نظر بگیرید که برای بقای خود به آب‌موندها وابستگی دارند. در طول فصل خشک که تعداد آب‌موندها کاهش می‌یابد، پستانداران می‌بایست از یک آب‌موند خشک شده به دیگری، که دارای آب است، مهاجرت نمایند. این که آیا این مهاجرت به انجام می‌رسد یا نه بستگی به این دارد که آیا پستاندار به اندازه کافی انرژی در اختیار دارد که با شتاب متوسط به اندازه کافی راه را به طرف نزدیکترین موضع مناسب دیگر بپیماید یا نه.

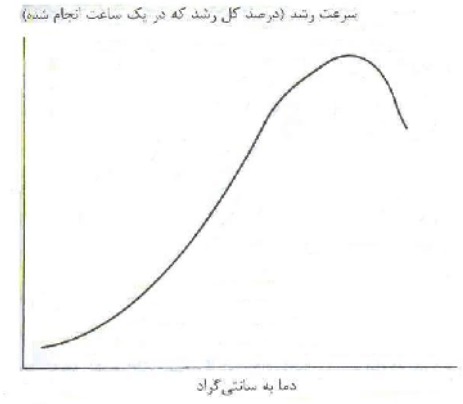
تنوع نیز گاه می‌تواند یک منبع به حساب آید. مثلاً هر چه تنوع غذاهای مصرفی یک گونه بیشتر باشد آسیب‌پذیری گونه در قبال تغییر یک عامل محیطی، که غذای او را از بین می‌برد، کمتر است. یعنی اگر یک گونه فقط از یک گونه دیگر به عنوان غذا می‌خورد، در قبال هر اتفاقی که برای غذایش پیش آید نسبت به انقراضهای محلی آسیب‌پذیر خواهد بود. برای گونه دیگری که از ۱۰۰ گونه مختلف تغذیه می‌کند، احتمال این که تغییر یک عامل محیطی هر ۱۰۰ گونه غذایش را از بین ببرد بسیار بعید است.

این اصل فقط یک تعمیم عملی بوده و در مجموع معتبر می‌باشد. یک استثنای مهم گونه‌ای است که فقط از یک یا دو گونه گیاه تغذیه می‌کند، مشروط به این که، آن گونه‌ها در پهنه وسیعی از جامعه، گونه‌های غالب باشند.

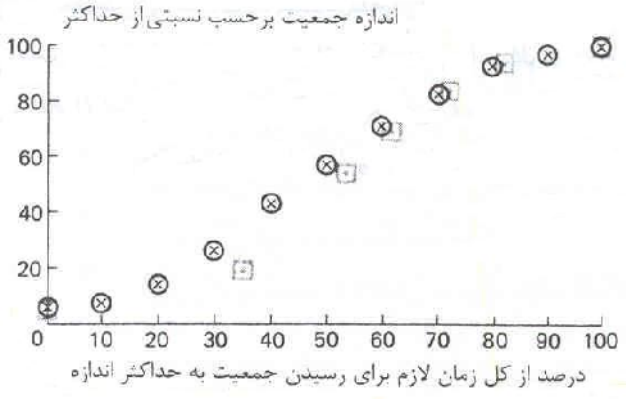


شکل۴- تأثیر ماده در باردهی زیستی. توسط این منحنی عکس‌العمل معمولی محصول در قبال افزایش یک کود به خصوص تشریح شده است. این منحنی عکس‌العمل محصول به قانون میچرلیخ موسوم است.

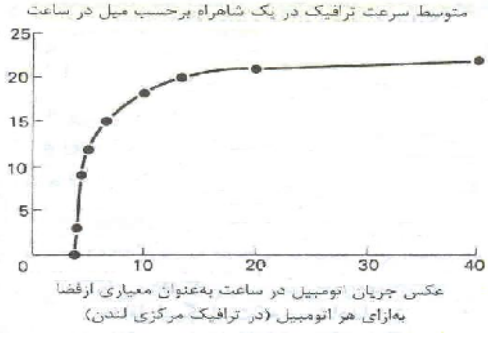
شکل۴- تأثیر ماده را در باردهی زیستی نشان می‌دهد. عکس‌العمل مشخص محصولات کشاورزی به کود شیمیایی از این قبیل است، که به قانون میچرلیخ موسوم می‌باشد. این قانون کاشف خود را قادر ساخت تا بر اساس آزمایشهای گلخانه‌ای مقدار کود شیمیایی لازم برای مزارع را محاسبه کند. شکل۵ تأثیر حرارت را بر واکنشهای زیستی نشان می‌دهد. در اینجا حرارت، که نوعی از انرژی است، یک منبع تلقی می‌شود. شکل۶ چگونگی رشد جمعیت را در زمان نشان می‌دهد و نقش زمان را به عنوان یک منبع ترسیم می‌نماید. شکل۷ تأثیر فضا، به ازای هر اتومبیل، را بر متوسط سرعت ترافیک نشان می‌دهد. شکل ۸ تأثیر تعداد گونه‌های درختان میزبانی را که هر فلسبال (پروانه و شب‌پره) از آن تغذیه می‌کند بر انبوهی نسبی هر یک از گونه‌های پروانگان و شب‌پره‌ها تصویر می‌نماید. این شکل به عنوان تمثیلی است از تأثیر تنوع گونه‌های غذا بر باردهی یک جمعیت، زیرا که انبوهی نسبی معیاری است از مقدار تبدیل انرژی به وسیله‌ی یک گونه. از این اصل کلی بسیاری مفاهیم ویژه را می‌توان برداشت نمود. تراکم محلی سیر انرژی باعث می‌شود که توزیع فضایی ماده، از طریق بالا رفتن میزان تبدیل انرژی به ازای هر جمعیت، در آن محل تغییر یابد. یک شهر در واقع یک چنین چیزیست.



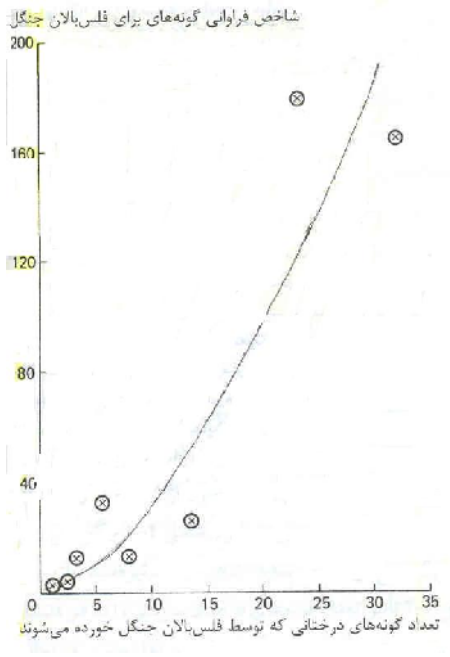
شکل ۵- یک مثال مشخص از اثر انرژی بر میزان تبدیل آن در سیستم‌های زیستی است. این شکل ایده‌آل از تأثیر حرارت بر سرعت رشد تخمهای حشرات است.



شکل ۶- نمونه‌ای از روش به حساب آوردن زمان به عنوان یک منبع. وقتی یک جمعیت برای اولین بار به محیط تازه‌ای وارد می‌شود، اندازه‌اش در دوره بعد از آن به فرم خاصی افزایش می‌یابد تا این که به نقطه حداکثری که محیط قادر به تأمین آن است برسد. تا رسیدن به این نقطه حداکثر، اندازه جمعیت توسط فرصتی که برای رشد در اختیارش بوده است معین می‌گردد. در این مفهوم و در این موارد، زمان منبع محدودکننده به حساب می‌آید. الگوی رشد در موارد متعدد می‌تواند به وسیله‌ی این منحنی S شکل، که به آن الگوی رشد هلالی نیز می‌گویند، توصیف شود.



شکل ۷- مثالی از نقش فضا به عنوان یک منبع: تأثیر فضا به ازای هر اتومبیل در جاده‌های مرکز لندن بر سرعت متوسط ترافیک.



شکل ۸- تنوع به عنوان یک منبع. این شکل اثر تعداد گونه‌های مختلف درختان میزبان را که توسط گونه‌های فلسبالان جنگل خورده می‌شوند بر روی فراوانی گونه‌های فلسبالان نشان می‌دهد. تعداد گونه‌های مختلف درختانی که هر حشره از آنها می‌خورد معیاری از مهیایی غذایی نیست، بلکه معیاری از تنوع غذاست. لذا یک معیار از پیچیدگی یا تنوع محیط است. فراوانی گونه‌های مختلف حشرات معیاری از میزان فرآوری انرژی توسط گونه‌های مختلف است.

اصل ٤ ـ هر گاه مهیایی هر نوع منبعی از قبل به اندازه کافی زیاد باشد، تأثیر افزایش یک واحد دیگر بر آن غالباً همراه با افزایش مهیایی خود منبع، تا سرحد یک حداکثر، کاهش می‌یابد. بالاتر از این حداکثر هیچ گونه تأثیر مثبتی ایجاد نخواهد شد. برای همه انواع منابع، به جز زمان و تنوع، افزایش مهیایی در بالاتر از این حد، به دلیل اثرات مسموم‌کننده، ممکن است مضر نیز باشد. این اصل اشباع یا خالی شدن است. در مورد بسیاری از پدیده‌ها، با افزایش منبع به طرف حداکثر، احتمال انهدام سیستم اضافه می‌شود.

برای هر فرایند حد بالای ثابتی از میزان انرژی مهیا می‌تواند وجود داشته باشد، تا آن فرایند را تأمین نماید. همچنین برای هر فرایندی که بخواهد فرایند موردبحث را از نظر انرژی تأمین کند نیز حد بالای ثابتی از راندمان تبدیل انرژی وجود خواهد داشت. به علاوه، همچنان که هر فرایند به سطح محدودکننده خود نزدیک می‌شود، فراهم شدن بیشتر منبع این احتمال را افزایش می‌دهد که بیشتر شدن منبع فقط موجب می‌شود تا فرایند به حد محدودکننده خویش اصابت کند.

این موضوع را با توجه به شکل ۵ می‌توان روشن ساخت. هر سیستم زیستی دارای حد بالای ثابتی در استفاده از حرارت است. این حد به وسیله‌ی عوامل متعددی از قبیل گونه، سن، زمینه قبلی حرارتی و فصل سال معین می‌شود. افزایش بیشتر حرارت مهیا، در بالاتر از سطح مطلوب، موجب کاهش نرخ زیستی تبدیل انرژی می‌شود، که در این مورد آن را از روی سرعت رشد اندازه‌گیری می‌کنند. سطح مطلوب یا کافی آماده بودن، در مورد هر پنج نوع منبع، به همین صورت اتفاق می‌افتد.

شکل‌های ۴ تا ۷ همگی این اصل را ترسیم می‌نمایند. در مورد شکل۸ چنین نیست، زیرا که حتی در موقع وجود بیشترین تعداد گونه‌های آزاد غذا نیز یک حد مطلوب یا کافی از تنوع گونه‌های غذایی به دست نیامده است. لذا هنوز اصل ۴ را بایستی به عنوان یک تعمیم عملی در نظر گرفت. ما هنوز به اندازه کافی دلایل در دست نداریم که بدانیم آیا این اصل در همه موارد شمول پیدا می‌کند یا نه.

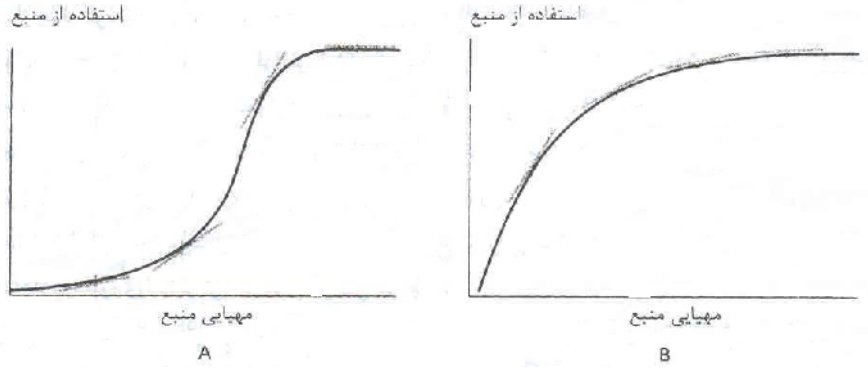
اولین استنباط ضمنی مهم از این اصل، بر طبق شکل۵ این است که در مورد منابع غالباً یک سطح مطلوب از مهیایی وجود دارد. در سطوحی از مهیایی که چه بالاتر یا پایین‌تر از این حد مطلوب باشند، هر معیار مناسبی از تأثیر منبع بر سیستم‌های زیستی که انتخاب شود، در مقایسه با حد مطلوب، مقادیر کمتری را نشان خواهد داد. این مطلب دارای پی‌آمدهای بسیار مهمی است. این که بگوییم به ازای هر فرد در جمعیت سطح مهیایی مطلوبی از منابع وجود دارد، در واقع طرز دیگری از بیان این مطلب است که با توجه هر فرایند، در قبال مهیایی معینی از منابع، تعداد مناسبی از افراد برای هر جمعیت در محیط وجود خواهد داشت. به این دلیل است که طی دورانهای طولانی زمان، تعداد افراد در جمعیت‌های گیاهان و حیوانات، به جای افزایش یا کاهش تدریجی، در اطراف مقدار معینی نوسان کرده‌اند.

به عبارت دیگر با کاهش عرضه منابع، به ازای هر فرد، تنازع بقا شدیدتر و با افزایش منابع خفیف‌تر می‌گردد. در نتیجه تراکم اضافی جمعیت منجر به کاهش جمعیت شده و تراکم‌های خیلی پایین‌تر از حد معمول منجر به افزایش جمعیت خواهند شد. به زبان دیگر روند تراکم جمعیت به شدت تحت تأثیر تراکم جاری آن است. به این پدیده به عنوان تنظیم وابسته به تراکم جمعیت اشاره می‌کنند. نقش تراکم در روند تعداد افراد جمعیت از طریق تأثیر بر میزان زایش، مرگ و میر، رشد و مهاجرت افراد اعمال می‌گردد.

اصل ۵ ـ منابع به دو صورت کاملاً متفاوت وجود دارند: گروهی که افزایش مهیایی آنها مصرف بیشترشان را تحریک می‌کند و گروهی که اثر تحریک‌کنندگی ندارند.

اصل ۵ به دو صورت مختلف وجود دارد. از یک طرف می‌توان موقعیتی را تصور کرد که در آن فراهم بودن یک منبع هیچ اثر تحریک‌کنندگی در مصرف آن منبع نداشته باشد.

A و B در شکل ۹ روابط تحریک‌کننده و غیرتحریک‌کننده را، که بین فراهم بودن منبع و استفاده از آن وجود دارد، به ترتیب ترسیم می‌کنند. در هر دو مورد فراهم بودن منبع عبارت است از تراکم آن نوع غذایی که جستجو می‌شود.



شکل ۹- نمایش ایده‌آل از اختلاف بین موقعیت تحریک‌کننده (A) و موقعیت غیرتحریک‌کننده استفاده از منبع (B) است. در مورد B هر یک از خطوط مماس بر منحنی شیب کمتری از خطوط مماس شده در سطوح پایین‌تر مهیایی منبع دارند. یعنی هیچ دامنه‌ای از مهیایی منبع وجود ندارد که در داخل آن افزایش مهیایی منبع زاویه خطوط مماس بر منحنی را اضافه کند (اضافه شدن تغییر در میزان استفاده از منبع در رابطه با اضافه شدن مهیایی آن). در مورد A دامنه حدواسطی از مقادیر مهیایی منبع وجود دارد که در آنها افزایش مهیایی موجب افزایش زاویه خط مماس می‌شود. دلیل این امر آن است که پیدا کردن بیشتر یک منبع فرایند استفاده از آن را تحریک می‌کند.

بسیاری از پدیده‌های معمول و متداول تجسمی از اصل ۵ می‌باشند. مثلاً وقتی جمعیت یک موجود زنده در محیط جدید رشد می‌کند، بحرانی‌ترین منبع محدودکننده زمان است. اندازه‌ای که جمعیت به خود گرفته به عنوان معیاری از کاربرد منبع می‌باشد.

اصول مربوط به تنوع

اصل ۶ ـ آن افراد و گونه‌هایی که زادگان بیشتری دارند جایگزین رقبای خود می‌شوند.

به کمک دانش بی‌پایانی که همیشه با درک اتفاقات گذشته همراه است، این مطلب می‌بایست همیشه روشن بوده باشد که، اگر یک اختلاف توارثی در میزان انطباق با محیط فیزیکی یا زیستی وجود داشته باشد، و اگر تراکم جمعیت برای بروز رقابت به حد کافی زیاد باشد، آنگاه ناسازگارترین افراد حذف و معدوم خواهند شد.

به طور متوسط ما انتظار داریم که سازش‌یافتگان جای ناسازگاران را بگیرند. این موضوع تلویحاً بدان معنی است که سازش‌یافتگان فرزندان بیشتری از سازش نیافته‌ها برجای می‌گذارند. افراد یا گونه‌های سازگارتر آنهایی هستند که اثر زیانبارشان بر روی دیگران بیش از اثر زیانبار دیگران بر روی آنهاست (از طریق جنگ یا مداخله)، یا این که آنها در رابطه با صیادان، عوامل فیزیکی محیط، بیماریها و یا غذای فراهم، از دیگران سازگارترند. در بعضی موارد سازگارترین افراد یا گونه‌ها و جوامع مخصوص یک محیط معین قادر به پایداری در آن جا هستند، زیرا که در مجموع میزان تولیدمثل بیشتری از هر مهاجم احتمالی دارند.

بنابراین، چنین استنباط می‌شود که اگر شرایط تغییر کند ممکن است یک یا جمعی از گونه‌های متفاوت بهتر با آن سازگار باشند. لذا، اولین موج گیاهانی که مثلاً به یک تپه شنی یا گدازه‌های سرد شده آتشفشان حمله می‌کنند، آن منطقه را، از طریق عمل خویش در به وجود آوردن هوموس، به صورت محیط زیست برای موج بعدی درمی‌آورند و نتیجتاً این موج جدید جای گونه‌های پیش‌آهنگ را می‌گیرد. این فرایند جانشین شدن امواج گونه‌ها، که یکی پس از دیگری صورت می‌گیرد، به نام توالی (succession) خوانده می‌شود.

اصل ۷ ـ تنوع پایدار یا متعادل (Steady state diversity) جوامع در محیطهای قابل پیش‌بینی بیشتر است.

این مطلب پی‌آمد اصول ۴ و ۶ است. شرایط در همه محیط‌ها تا حدودی نوسان می‌کند، ولی قابلیت پیش‌بینی و دامنه نوسانات آنها از زیستگاهی به زیستگاه دیگر متفاوت است. از آنجا که برای هر گونه یک شرایط مطلوب وجود دارد، لذا مهم است که شرایط یک محیط معین تا چه مدت برای او مطلوب می‌باشد. به اضافه در هر محیط، به دلیل تصادف محض نیز، توزیع گونه‌ها از نظر تراکم، از بسیار فراوان (معدودی گونه‌ها) تا بسیار نادر (بسیاری گونه‌ها) انتظار می‌رود. اگر شرایط فیزیکی یک محیط چنان به صورت غیرقابل پیش‌بینی و شدید نوسان نماید، ه در اثر آن تعداد افراد همه گونه‌ها کاهش یابد، این وضع شرایطی را به وجود می‌آورد که برای گونه‌های نادر غیرقابل تحمل است، زیرا کاهش قدر مطلق تعداد برای آنها چنان است که احتمال استقرار مجدد را منتفی می‌سازد.

به طور خلاصه یک محیط فیزیکی پایدار جایی است که بسیاری از گونه‌ها (فراوان و نادر) قادر به انطباق با شرایط مطلوب خویش باشند.

منظور ما از قابلیت پیش‌بینی عبارت از نظم و ترتیب الگوهاست. مثلاً اختلاف بزرگی بین درجه حرارت روز و شب و یا سردترین و گرمترین روزهای سال ممکن است وجود داشته باشد. با این وصف اگر درجه حرارت (یا نور، یا بارندگی) در وقت معین یک دوره دقیقاً مشابه آن در زمان مربوطه‌اش در دوره بعدی باشد، یک طرح کاملاً قابل پیش‌بینی به حساب آمده و موجود زنده می‌تواند عکس‌العمل مناسبی را در قبال آن تکامل ببخشد. ولی موجود زنده نمی‌تواند در شرایطی که متوسط درجه حرارت سردترین ماه امسال ۴۰ درجه فارنهایت از سردترین ماه مشابه در سال قبلی پایین‌تر باشد عکس‌العمل کاملی را تکامل دهد.

اصل ۸ ـ این که آیا یک زیستگاه به وسیله‌ی تنوع گونه‌های یک گروه خویشاوند اشباع می‌شود یا نه، بستگی به چگونگی جدا شدن آشیانها در آن گروه خویشاوند دارد.

اگر یک گروه خویشاوند معین از موجودات در احتیاجات محیطی خود به طرز چشمگیری تخصصی شده باشند، می‌توان منطقاً انتظار داشت که هر گونه آنها آشیان بسیار تنگ و محدودی داشته باشد، و محیط بتواند بسیاری از آنها را، بدون رقابت با یکدیگر، در خود جای دهد. از سوی دیگر، اگر گروه خویشاوند معینی از موجودات به وسیله‌ی عادات غذایی بسیار عمومی و مقاومت به دامنه وسیعی از تغییرات عوامل محیطی مشخص شده باشند، محیط تعداد بسیار کمتری از آنها را می‌تواند در خود جای دهد.

اصل ۹ ـ تنوع در هر جامعه متناسب با وزن زنده تقسیم بر باردهی است.

بعضی دانشمندان استدلال می‌کند که بین وزن زنده، سیر انرژی و تنوع در سیستم‌های زیستی باید رابطه‌ای وجود داشته باشد. فرض کنید سیستمی مقدار B (به جای وزن زنده) ماده را ذخیره کند و یک جریان انرژی P (به جای باردهی. به عنوان معیار سیر خالص انرژی در واحد زمان) داشته باشد که از آن ماده عبور می‌کند. حال فرض کنید که با این سیر انرژی جریان مواد مربوطه‌اش نیز همراه باشد. به اضافه فرض کنید که این ماده جاری مجاز به مبادله با ماده ذخیره شده باشد. آن گاه متوسط مدتی را که ماده در این سیستم صرف می‌کند عبارت است از:

$$\bar{t} = K\frac{B}{P}$$

لکن D، یعنی تنوع یا پیچیدگی سازمانی سیستم، نیز متناسب با $\bar{t}$ است، زیرا که D معیار مدت متوسطی است که انرژی در مسیر خود از ابتدای ورود تا هنگام ترک سیستم صرف می‌کند. در نتیجه نسبت زیر برقرار است:

$$D = K\frac{B}{P}$$

این اصل بدان معنی است که، با افزایش پیچیدگی سازمان، کارایی سیستم‌های زیستی از نظر انرژی افزایش می‌یابد. یعنی، با افزایش تنوع، مخارج تأمین انرژی هر واحد وزن زنده کم می‌شود.

اصل ۱۰ ـ در یک محیط فیزیکی با ثبات نسبت وزن زنده به باردهی، با گذشت زمان، تا حد معینی افزایش حاصل می‌کند.

این مطلب پی‌آمد اصول ۷ و ۹ است. اگر در محیط فیزیکی با ثبات، D با گذشت زمان افزایش یابد و D متناسب با B/P باشد، پس نسبت B/P نیز می‌بایست در محیط فیزیکی با ثبات افزایش پیدا کند.

این اصل فوق‌العاده مهمی است، زیرا حکایت از آن می‌کند که در هر کجا محیط فیزیکی به اندازه کافی باثبات باشد که افزایش تنوع را میسر نماید، سیستم‌های زیستی در جهت افزایش راندمان استفاده از انرژی تکامل پیدا می‌کنند. یعنی اگر حداکثر P ممکنه به وسیله تشعشع ورودی خورشید تثبیت شده، ولی D و B در طول زمان اضافه می‌شوند، پس هر کوانتوم انرژی که برای یک سیستم زیستی فراهم شود می‌تواند، به دلیل پیچیدگی بیشتر سازمانی آن، وزن زنده بیشتری را تأمین کند.

می‌توان انتظار داشت که جمعیت‌ها و اکوسیستم‌ها طوری در فضا سازمان یافته باشند که مخارج انرژی حرکت (یا حمل و نقل) آنها، به نسبت انرژی به دست آمده در هر فعالیت، به حداقل برسد. این نکته هسته مرکزی نظریه توزیع، پراکنش، جمع‌آوری غذا و حمل و نقل است که پدیده‌های بسیار متنوعی را به هم پیوند می‌دهد.

در رابطه با این اصل، مهمترین نکته برای بشریت این است که ما آن را نقض می‌کنیم. با توسعه جوامع بشری مخارج انرژی هر واحد تولید ناخالص ملی کاهش می‌یابد، ولی همزمان با آن تولید سرانه ناخالص ملی چنان سریع اضافه می‌شود که در واقع مخارج انرژی سرانه بالا می‌رود.

اصل ۱۱ ـ سیستم‌های بالغ از سیستم‌های نابالغ بهره‌کشی می‌کنند

یعنی اکوسیستم‌ها، سطوح غذایی، و جمعیت‌های بالغ انرژی، وزن زنده و تنوع را از حریف نابالغ مربوطه خویش می‌ربایند. به عبارت دیگر انرژی، ماده و تنوع در مسیر شیب افزایش تنوع، یا پیچیدگی سازمانی، و یا از زیرسیستم‌های کم تنوع به متنوع، جریان می‌یابند.

این نکته از اصل ۵ استنباط می‌شود، که می‌گوید افزایش مهیایی یک منبع (از قبیل تنوع) ممکن است محرکی برای به کار بردن باز هم بیشتر همان منبع باشد. به اضافه این موضوع از اصل ۹ نیز استنباط می‌شود، که می‌گوید، با افزایش تنوع یک سیستم، راندمان استفاده از انرژی آن نیز اضافه می‌گردد. یک راه افزایش راندمان در استفاده از انرژی عبارت از بهره‌کشی از قسمت‌های دیگر سیستم است، که انرژی خود را صرف جمع‌آوری ماده و انرژی می‌نمایند.

ولی علاوه بر آن، افراد جوان از مزارع، روستاها و شهرکها به طرف شهرهای بزرگ حرکت می‌کنند، لذا توزیع سنی نیز در مسیر شیب تنوع تغییر می‌کند. کشورها، ایالتها و شهرهای فقیر با صرف مخارج بسیار به تربیت پزشک، آموزگار، دانشمند، مهندس و حرفه‌های دیگر همت می‌گمارند، که آنها سپس آموزشهای خود را به شهرهای بزرگی بیاورند که فعالیتهای اقتصادی فراوانتری (تنوع بیشتر) داشته و به آنها حقوق بیشتری می‌پردازند. بنابراین استعدادها نیز در شیب افزایش تنوع حرکت می‌کنند. تقریباً در همه معاملاتی که بین کشورهای عقب‌مانده و پیشرفته انجام می‌گیرد، حتی اگر چنین معاملاتی به قصد کمک به کشورهای عقب‌مانده باشد، باز هم سود خالص کشورهای پیشرفته بیشتر است. پرندگان از درخت‌زارها به مراتع مجاور پراکنده می‌شوند و، با پاک کردن مداوم آنها از بذر و سایر قسمتهای وزن زنده و انرژیهای ذخیره شده، توالی آنها را به طرف بلوغ متوقف می‌سازند. مورچگان و زنبورها دائماً مواد را از ناحیه بهره‌کشی خود به لانه می‌کشند، درست به همان صورت که شهرها مواد روستاهای اطراف خویش را جمع‌آوری می‌نمایند.

اصل ۱۲ ـ کامل بودن سازگاری هر صفت بستگی به اهمیت نسبی آن صفت در محیط دارد

این مطلب پی‌آمد اصول ۶ و ۷ است. اگر انتخاب صورت می‌گیرد، و تنوع نیز در محیط باثبات به تدریج اضافه می‌شود، پس می‌توان انتظار داشت که سازگاری با یک محیط به خصوص به طور مداوم بهبود یابد. لذا استنباط می‌شود که اکوسیستم‌های بالغ، که در زیستگاه‌های پایدار تکامل یافته‌اند، نیاز ضروری به واکنشهای هوموستاتیک در مقابل نوسانات غیرقابل پیش‌بینی و دامنه‌دار محیط فیزیکوشیمیایی نداشته باشند. در عوض، می‌توان در آنها سازگاریهای حساس رفتاری و بیوشیمیایی در مقابل عوامل زیستی و اجتماعی محیط را یافت نمود.

تکامل در محیط‌های غیرقابل پیش‌بینی ایجاب می‌کند که جمعیت عکس‌العمل قابل انعطافی را برای خویش حفظ نماید. این به معنی بالا بودن درجه تنوع است. موفقیت تکاملی در محیط‌های باثبات، که از نظر زیستی پیچیده‌اند، مساوی است با عکس‌العمل‌های کامل پیچیده (ولی غیرقابل انعطاف) به مجموعه‌ای از مضامین محیط که سرشار از اطلاعات باشند.

یک نکته مهم در این اصل این است که یک استراتژی بهترین وجود ندارد، این که بهترین استراتژی چیست بستگی به ثبات محیط فیزیکی خواهد داشت.

۲ اصول مربوط به نوسانات جمعیت

اصل ۱۳ ـ محیط‌های فیزیکی با ثبات موجب افزایش تنوع زیستی در جوامع بالغ می‌شوند، که این خود به نوبه جمعیت‌ها را به ثبات تشویق می‌نماید.

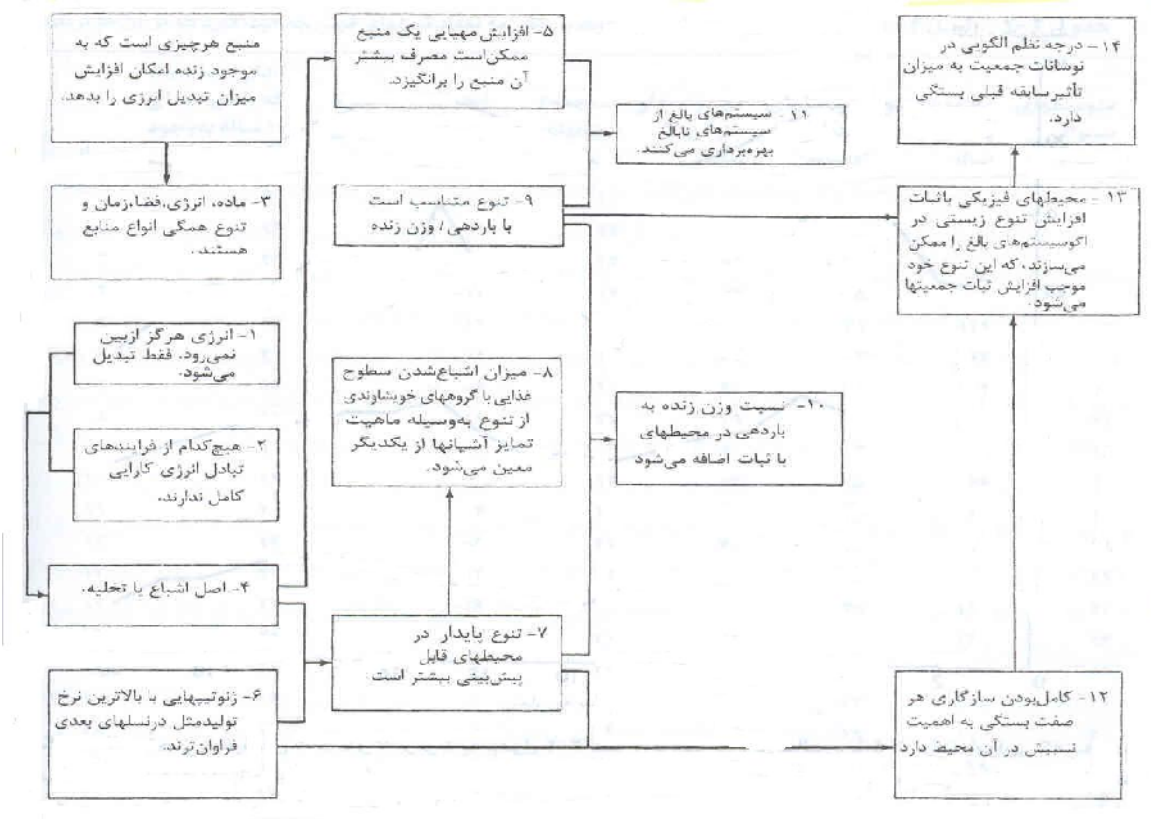
بر اساس اصول قبلی، چهار استدلال مختلف موید این اصل است.
اول این که اصل ۷ می‌گوید پیچیدگی سازمانی در محیط‌های فیزیکی باثبات بر روی هم انباشته می‌شود. به عبارت دیگر تعداد گونه‌ها و تنوع مسیرهای غذایی جامعه افزایش فراوان خواهد یافت. یعنی در جامعه بالغ تعداد مسیرهای جریان ماده و انرژی اضافه می‌شود و اگر یکی از آنها دچار اشکال شود تعداد مسیرهای دیگری که می‌توانند جای آن را بگیرند در این سیستم‌ها بیش از جوامع ساده‌تر (نابالغتر) است. لذا، مشروط به این که محیط فیزیکوشیمیایی از ثبات قابل توجهی برخوردار باشد، ریسک جوامع بالغ کمتر شده و در نتیجه ثبات اکوسیستم اضافه می‌شود.
ثانیاً اصل ۱۳ به دلیل دیگری نیز از اصل ۷ استنباط می‌شود: اگر ثبات محیط فیزیکی شرط قبلی انباشتگی تنوع زیستی و پیچیدگی سازمانی است، پس همان ثبات فیزیکی خود نیز موجب ثبات جمعیت در اکوسیستم خواهد شد.
استدلال سوم در تأیید اصل ۱۳ از اصل ۱۲ ناشی می‌شود که می‌گوید سازشهای حساس و پیچیده، و سیستم‌های کنترل، در پاسخ به شرایط زیستی و اجتماعی محیط جوامع نابالغ تکامل می‌یابند. کار این انطباقها اطمینان یافتن از تعادل و ثبات است. جامعه بالغ عبارت از یک سیستم تعادلی با پس‌خور (feedback) فوق‌العاده پیچیده است.
بالاخره استدلال دیگر مربوط به اصل ۱۳، از اصل ۹ گرفته می‌شود، که اشاره به رابطه بین بلوغ (تنوع زیاد) و راندمان استفاده از انرژی می‌کند. راندمان زیاد یعنی حداقل اتلاف، نوسانات جمعیت به کمک بازسازی یا روگشت (turn-over) شدید وزن زنده (میزان زایش و مرگ) میسر می‌گردد، که خود معیاری از اتلاف است. در نتیجه، نوسانات دامنه‌دار از مشخصات اکوسیستم‌ها، سطوح غذایی، یا جمعیت‌های نابالغ می‌باشد.
در دنیای انسانی راندمان استفاده از انرژی در شهرهایی که صنایع بسیار بزرگ معدودی دارند، زیاد است و این به دلیل اقتصادی بودن مقیاس کار آنها است، که صنایع کوچک از آن بی‌بهره‌اند. با این وصف در این جا نیز کارایی زیاد، مانند جهان گیاهان و حیوانات، با عدم انعطاف، برگشت‌ناپذیری و آسیب‌پذیری در مقابل تغییرات فاجعه‌آمیز مرتبط می‌باشد. این انحراف انسان از وابستگی به انرژی جاری (خورشید) به طرف انرژی ذخیره شده (سوختهای فسیلی و هسته‌ای) است که موجب از هم گسیختن رابطه بین تعداد مسیرهای جریان انرژی و راندمان استفاده از آن می‌گردد. در دنیای انسانی راندمان استفاده از انرژی هدفی نسیت که به اندازه حداکثر نمودن مصرف خود انرژی مهم باشد. در این طرز فکر به وضوح چنین تصور می‌شود که منابع نامحدود انرژی تا ابد فراهم خواهند بود و از نظر ترمودینامیکی هیچ محدودیتی در میزان سوختن انرژی وجود ندارد. واضح است که این طرز فکر از مشخصات دوره بسیار کوتاهی از مرحله رشد در تاریخ بشر است، حال آنکه وضعی که امروز در طبیعت مشاهده می‌شود محصول یک تعادل درازمدت می‌باشد.
انسان، در ارتباط با اهمیت این اصل، به چه طرز وحشتناکی درصدد کاهش تنوع گونه‌ها و تنوع الگوها برآمده است. تعداد گونه‌های گیاهان عالی در بسیاری کشورها در حال کاهش است و اگر روند فعلی تغییر نکند در عرض یک یا دو دهه آینده بسیاری پستانداران و پرندگان بزرگ قابل شکار نیز در معرض انقراض قرار خواهند گرفت. حتی تعداد گونه‌های حشرات نیز به شدت کاهش می‌یابد و این خود تا حدودی وقوع طغیانهای بزرگ آفات را، در زمینهای وسیعی که به زیر کشت یک گیاه رفته‌اند، توجیه می‌نماید. انگلها و صیادانی که آفات را کنترل می‌کنند در تراکمهای بسیار کمتری از میزبان خویش به سر می‌برند و اگر عملیات کشاورزی تراکم هر آفت و دشمنانش را ۹۹٪ کاهش دهند، اثر قدر مطلق این کاهش احتمال انقراض دشمنان آفت، ولی نه خود او، را به شدت بالا می‌برند.

اصل ۱٤ ـ میزان نظم موجود در الگوی نوسانات یک جمعیت بستگی به تعداد نسلهای قبلی دارد که بر جمعیت اثر می‌گذارند.

فقدان تنوع در زنجیرهای غذایی جوامع نابالغ موجب بی‌ثباتی زیاد جمعیت‌های آنها می‌شود. به اضافه اگر ماهیت این بی‌ثباتی به صورتی است که معدودی گونه‌ها طوری با هم در حال عمل متقابل باشند که اختلاف فازهایزمانی گسترده‌ای در سیستم به وجود آید، آن گاه احتمال به وجود آمدن نوسانات بسیار منظم فراهم گردیده است. مثلاً فرض کنید که تغذیه سیاه‌گوش به شدت متکی به خرگوش وحشی باشد و خرگوش به معدودی گونه‌های گیاهان و گیاهان به بعضی مواد معین غذایی خاک وابسته باشند.

فرض کنید که در سال t جمعیت خرگوش بیش از حد فراوان شود و به همین دلیل گرسنگی همگانی موجب کاهش بقای آنها در t+۱ گردد. این خود می‌تواند موجب افزایش مواد غذایی خاک در t+۳، افزایش تولید بافتهای گیاهی در t+۴، افزایش جمعیت خرگوش در t+۵، افزایش جمعیت سیاهگوش در t+۶ یا t+۷ گردد. به عبارت دیگر تراکم جمعیت سیاهگوش تحت تأثیر سیستمی است که با تأخیر فازهای طولانی، یا ماند (inertia) زیاد مشخص می‌شود.

اگر روند تعداد در جمعیت از نسل g به نسل g+۱ تقریباً به طور کامل به وسیله حالت سیستم در g معین شود، نوسانات جمعیت می‌تواند کاملاً نامنظم باشد. مثلاً اگر روند از g به g+۱ تا حد زیادی تحت تأثیر عوامل محیطی آشفته‌کننده‌ای چون سردی آب، خشکسالی، یا عمق برف در زمان g باشد، این مطلب صادق خواهد بود. از سوی دیگر اگر تأثیر حالت سیستم در g-۱، g-۲ ، و نسلهای قبل از آن، به نسبت تأثیر حالت g ، بر روند تغییرات از g به g+۱ زیاد باشد، آن گاه طرح نوسانات جمعیت بسیار منظم خواهد بود. یعنی تأخیر فازهای طولانی باعث به وجود آمدن ماند، و در نتیجه باعث نظم الگویی سیستم می‌شود.



شکل ۱۰-۲ نمودار روابط منطقی بین چهارده اصل بنیادی.

شکل ۱۰- نمودار روابط منطقی بین چهارده اصل بنیادی

به این ترتیب ۱۴ اصل بنیادی محیط زیست خاتمه می‌یابد. البته مبانی بسیار دیگری در مورد علم محیط‌شناسی وجود دارند، ولی از آن جا که به مباحث اختصاصی‌تر مربوط می‌شوند در فصل‌های بعد به آنها خواهیم پرداخت. برای خاتمه دادن به این فصل نمودار شکل ۱۱ را ارائه می‌کنیم که در آن روابط منطقی موجود بین اصول مورد بحث خلاصه گردیده است.

نمودار نشان می‌دهد که مجموعه این اصول یک ساختمان نظری به هم پیوسته و مرتبط را به وجود می‌آورند که در آن اصول ۷، ۹، ۱۲ و ۱۳، نسبت به شبکه پیوندهای مجموعه، دارای روابط منطقی اساسی و تعیین‌کننده می‌باشند. یک نکته ضمنی مهم که از وجود روابط منطقی بین این مجموعه، در مقایسه با روابط تجربی، به دست می‌آید، این است که به همین دلیل تمامی این ساختمان نظری در مجموع قانع‌کننده‌تر می‌باشد. یعنی این که هنوز در

باره بعضی از این اصول اطلاعات کافی در دست نیست تا مبنای تجربی کاملاً قانع‌کننده‌ای برای آنها فراهم آورد. با این وصف، به دلیل ارتباط و به هم پیوستگی منطقی اصول، هر یک از آنها در این مجموعه اعتباری بیشتر از آن دارند که بر اساس شواهد تأییدکننده خود به تنهایی می‌توانستند داشته باشند.

مثلاً برای ملاک قرار دادن اصل ۱۲ به صورت ایده‌آل، آگاهی وسیع از توارث و پویایی جمعیت انواع ماهیهای توده‌های مرجانی مورد نیاز است. با این وجود چون این اطلاعات کمیابند، تمایل ما به معتبر شناختن اصل ۱۲، با توجه به اطلاعاتی که اصول ۶، ۷، ۹ و ۱۰ را تأیید می‌کنند، افزایش می‌یابد.

۳ ـ متغیرهای اصلی بوم‌شناسی: ماده، انرژی، فضا، زمان و تنوع

۳-۱- انگیزه به کار بردن این نوع طبقه‌بندی متغیرها

با طبقه‌بندی متغیرها به ماده، انرژی، فضا، زمان و تنوع به هدفهای چندی نائل می‌شویم.

۱ ـ در واقع با نشان دادن چگونگی کنش متقابل این متغیرها در هر فرایند زیست‌محیطی از یک دید سیستم نگرانه قوی به جهان نگاه می‌کنیم. یعنی عادت می‌کنیم که چگونگی اثر هر قسمت از سیستم را بر سایر قسمتها به خاطر داشته باشیم. این طرز نگرش به درک عمیقی از چگونگی عمل پدیده‌های پیچیده و همچنین اهمیت فرایند جزء در فرایند کل می‌انجامد.

۲ ـ اگر بتوانیم نشان دهیم که چگونه این ۵ نوع متغیر در هر فرایندی با یکدیگر کنش متقابل دارند، آن گاه همه قسمتهای زیست محیطی را در قالب یک نظریه واحد با یکدیگر مرتبط کرده‌ایم.

۳ ـ وقتی به پدیده‌های بوم‌شناسی بر حسب این ۵ نوع از عوامل می‌نگریم در واقع به یک راه بسیار پویا و فرایندنگر در این زمینه رهبری می‌شویم. این روش در مورد پویایی واقعی پدیده‌ها بصیرت بیشتری از روش تشریحی را فراهم می‌آورد، که فقط به توصیف وضع سیستم در زمان‌های مختلف می‌پردازد.

۴ ـ وقتی از دید تکامل به کنش متقابل این ۵ نوع عامل می‌نگریم متوجه می‌شویم که بایستی فرایندها را به عنوان منبای استراتژیهایی بررسی کنیم که سود و زیان هر فرایندی را با یکدیگر متعادل می‌کنند.

۵ ـ امتیاز مهمی که با نگرش فرایندها از دید کنش متقابل ماده، انرژی، فضا، زمان و تنوع حاصل می‌شود این است که این روش طبقه‌بندی متغیرها موجب آشکار شدن مبانی مشترک بین پدیده‌هایی می‌شود که در غیر این صورت کاملاً نامربوط می‌نمودند.

۳-۲- مثالی از کنش متقابل بین ۵ دسته متغیرهای بوم‌شناسی

پنج دسته متغیرهای بنیادی در فرایندهای زیست‌محیطی عبارت‌اند از ماده، انرژی، زمان، تنوع و فضا. هر پدیده پیچیده‌ای را می‌توان در نهایت بر حسب این گروه متغیرها درک نمود، و بالعکس همه آنها نیز می‌بایست در توجیه کامل هر پدیده دخالت داشته باشند، عمل آنها را می‌توان در یک موقعیت واقعی زیست‌محیطی به صورت شکار یک گاومیش توسط شیرها توصیف نمود.

شیرها در شکار خود از یک چرخه رفتاری می‌گذرند، به این صورت که آخرین غذای خورده شده را هضم می‌کنند، به دنبال غذای تازه می‌گردند، وقتی آن را یافتند تعقیب کرده و بالاخره می‌خورند. زمان لازم برای جستجو به فاصله متوسط بین شیرها و غذای آنها، و در نتیجه به تراکم غذا (صید) بستگی خواهد داشت. اگر تعقیب بخواهد موفقیت‌آمیز باشد، لازم است که وقتی بالاخره شیرها محل غذا را پیدا کردند تغییرات قابل توجهی در سرعت و شناب آنها صورت گیرد. با استفاده از جبر ساده می‌توان نشان داد که زمان، تنوع، انرژی، فضا و ماده چگونه در این عمل صیادی دخالت دارند.

اگر E_m = انرژی که به صورت غذا صرف گردیده، بر حسب معادل کالری آن باشد.

D_f = متوسط فاصله‌ای که صیاد برای تعیین محل غذا (صید) می‌بایست جستجو کند.

E = انرژی که به ازای هر واحد فاصله در جستجوی غذا به کار می‌رود.

E_p = انرژی اضافه که برای تعقیب فعالانه صید لازم است.

E_r = میزان متابولیسم وقت استراحت که در واحد زمان بین به دست آوردن یک غذا و غذای بعدی مصرف می‌شود.

T_e, T_d, T_s, T_p = زمانی که به ترتیب صرف خوردن، هضم، جستجو، و تعقیب می‌شود.

بنابراین انرژی خالصی (E_g) که از خوردن یک وعده غذا به دست می‌آید عبارت است از:

$$E_g = E_m - \left[D_f(E) + E_p + E_r(T_e + T_d + T_s + T_p)\right]$$

نقش انرژی در این مورد واضح است، زیرا معادله بر حسب کالری بیان می‌شود. این معادله برای صیاد نقش تعیین‌کننده دارد، زیرا مقدار انرژی به دست آمده از یک وعده غذا را، که می‌تواند صرف فعالیت، رشد، و تولیدمثل شود، نشان می‌دهد. اگر حاصل آن منفی باشد، یعنی انرژی خرج شده در تهیه غذا بیشتر از انرژی به دست آمده از آن باشد، موجود رشد منفی خواهد داشت (یعنی وزنش کم خواهد شد). زمان از آن جهت وارد معادله می‌شود که فاصله بین دو غذا $(T_d + T_s + T_p)$ تعیین‌کننده مقدار انرژی است که متابولیسم پایه حیوان در فاصله دو غذا می‌سوزاند. فضا به صورت فاصله_ای که صیاد برای یافتن غذا می‌بایست طی کند (D_f) و ماده به صورت مقدار غذای خورده شده وارد معادله می‌شوند و مقدار ماده مصربی از E_m خواهد بود. البته هر یک از عوامل زمان، فضا، ماده و انرژی به صور مختلف وارد این معادله می‌شوند. مثلاً زمان در انرژی که صرف مرحله تعقیب می‌شود دخالت دارد، زیرا که افزایش سرعت در واحد زمان شتاب محسوب می‌شود، و نیرو مساوی است با ماده ضربدر شتاب. بنابراین شتاب تعیین‌کننده مصرف انرژی است که برای حمله واقعی مورد نیاز می‌باشد.

با این وصف، به منظور فراهم آوردن شرایط بررسی کنش متقابل این عوامل در پدیده-های بوم‌شناسی، لازم است که ابتدا آنها را جداگانه مورد توجه قرار دهیم. آن گاه خواهیم توانست استراتژیهای مختلف گونه‌ها و اجتماعات گونه‌ها (جوامع) را در مورد این عوامل و کنشهای متقابل آنها مورد بررسی قرار دهیم.

۳-۳- ماده

اطلاعات تفصیلی فراوانی را می‌توان در مورد مواد معدنی، آب، خاک و هوا ارائه نمود. ولی بسیاری از آنها صرفاً نمایانگر جلوه‌های مختلف شش اصل بنیادی می‌باشند. لذا قبل از بررسی چهار گروه عوامل دیگر، از طریق رسیدگی به این شش اصل، که در مورد همه نوع اثرات ماده بر موجودات زنده به کار می‌آیند، یک شالوده نظری را برای بحث پی‌ریزی می‌نماییم. این اصول همه به یکدیگر مربوط بوده و جملگی نظریه یکپارچه و جامعی را به وجود می‌آورند که درک اطلاعات تفصیلی اثر ماده بر موجودات زنده را ساده می‌سازد. شماره‌گذاری اصول در این فصل ادامه سیستم شماره‌گذاری فصل قبل خواهد بود. هر اصلی، که قبلاً در فصل ۲ معرفی شده باشد، شماره اولیه خود را حفظ خواهد کرد.

اصل ۵ ـ در مورد هر موجود زنده Y و هر عامل X، مهیایی معینی از آن عامل وجود دارد که باعث حداکثر شدن هر کدام از فرایندهای موجود زنده می‌شود. این عامل ممکن است غلظت یک عنصر شیمیایی چون پتاسیم در آب، قطر ذرات خاک، یا تراکم گازهایی چون گازکربنیک در هوا باشد. فرایند ممکن است میزان رشد، میزان تولیدمثل، میزان حرکت یا هر فرایند زیستی دیگر باشد.

فرایندهای مختلف ممکن است نسبت به یک عامل حدود مطلوب مختلفی داشته باشند و یا حدود مطلوب یک فرایند واحد (مثلاً تنفس) ممکن است در اوقات مختلف سال یا مراحل مختلف دوره زندگی موجود متفاوت باشد. هر گاه سطح مهیایی این عامل از X_{max}، که باعث به وجود آمدن حداکثر میزان Y_{max} می‌شود، کمتر یا بیشتر باشد میزان فرایند نیز کمتر خواهد شد. تراکمهایی از X که خیلی کمتر یا بیشتر از X_{max} باشند Y را با شرایط مرگ‌آور روبه‌رو می‌کنند و گونه آن موجود را منقرض می‌نمایند. فاصله بین دو حوزه مرگ‌آور را می‌توان حوزه طاقت (Zone of tolerance) نام گذارد.

بسیاری از پدیده‌های همه کس آشنا را می‌توان بر اساس این اصل فوراً درک نمود. فرض کنید که X تراکم آب در خاک باشد، و ما بخواهیم میزان رشد یک گیاه از گونه Y را به حداکثر برسانیم. اگر X از حد X_{max} فراتر رود، لوله‌های زهکش، نهرها و کانالها را به کار می‌گیریم، تا خاک را

زهکشی کرده و سطح آب را به X_{max} بازگردانند. اگر X کمتر از X_{max} شود خاک را آب‌پاشی یا آبیاری می‌نماییم. اگر X پتاسیم است و مقدار آن در خاک خیلی کم می‌باشد، کود به کار می‌بریم تا تراکم آن را افزایش دهیم.
نکته مهمی وجود دارد که به خوبی درک نگردیده است. این که بگوییم یک ماده معین در محیط مفید یا مضر است بی‌معنی خواهد بود، مگر آن که غلظت معینی را برای آن مشخص نماییم. موادی چون آب و نمک که معمولاً موثر خوانده می‌شوند، اگر بیش از حد وجود داشته باشند، مضرند و موادی چون عناصر نادر از قبیل مولیبدن، که معمولاً موثر به حساب نمی‌آیند، ممکن است غلظتشان به حدی کم باشد که از رشد گیاهان و حیوانات جلوگیری کنند.

اصل ۱۵ ـ این که چه قسمتهایی از زمین می‌تواند در زمان معین مورد سکونت هر موجود معینی قرار بگیرد بستگی به حوزه طاقت کلی آن موجود نسبت به همه عوامل خواهد داشت.

اصل ۱۶ ـ بوم‌شناسی مدتهای طولانی قانونی به نام قانون مینیموم لیبیگ (Liebig) داشته است. این قانون می‌گوید که حتی اگر همه مواد مورد احتیاج رشد گیاه به جز یکی در غلظت مناسب وجود داشته باشند، ناکافی بودن آن یک، که غلظتش خیلی کم است، رشد را متوقف خواهد کرد.

اصل ۱۷ ـ از آن جا که هر گونه از نظر احتیاجات محیطی کمی با دیگران متفاوت است، لذا اختلافات جزئی محیط در زمان یا مکان موجب پیدایش دسته‌هایی از گونه‌ها می‌شود که جای یکدیگر را در فضا (Coenocline) یا زمان (توالی) می‌گیرند.

اصل ۱۸ ـ این قانون از بسط اصل ۵ به دست می‌آید. اگر لازم است که مواد مختلف در زمان و مکان و شکل صحیح فراهم باشند، پس موجودات زنده وابسته به مکانیسمهایی هستند که مهیایی مواد ضروری را ممکن می‌سازند.

اصل ۱۹ ـ اختلاف ماده و انرژی در این است که اگرچه یک کوانتوم انرژی فقط یک بار از یک زنجیر غذایی عبور می‌کند، ماده مکرراً در آن چرخش می‌نماید (قانون بقای ماده)، و بنابراین بازدهی یک زنجیر غذایی بستگی به فرایندهایی دارد که میزان چرخه مواد را در سیستم معین می‌کنند.
حال مواد مختلف را به تفصیل بررسی می‌کنیم تا ببینیم که چگونه شش اصلی را که برشمرده شد ترسیم می‌نمایند.

۳-٤- مواد معدنی
سیلیسیوم عنصر بسیار فراوان پوسته زمین است. در عین حال از مواد مهم تشکیل دهنده بافتهای حیوانی و گیاهی نبوده و، لذا به ندرت محدودکننده می‌شود. ولی فسفر ممکن است نادر باشد و، چون از مواد مهم تشکیل دهنده بافتهای حیوانی و گیاهی است، لذا غالباً احتمال محدودکنندگی آن می‌رود. از آنجا که احتمال محدود شدن رشد گیاهان توسط سه عنصر ازت، پتاسیم و فسفر بیش از دیگران است، نقش اصلی کودها جبران کمبود این عناصر در خاک می‌باشد.
به علت آن که برای هر فرایند زیستی حد مطلوبی از غلظت هر ماده وجود دارد (اصل ۵)، لذا مصرف مداوم کودها برای تأمین احتیاجات یک نوع فرایند در یک ناحیه ممکن است با کمال تأسف به تراکم بیش از حد طاقت فیزیولوژیکی سایر فرایندها در مناطق دیگر منجر شود (اصل ۱۷).

۳-۵- خاک
عواملی که خصوصیات خاک را در هر منطقه تعیین می‌کنند ۵ دسته‌اند: مواد زمین‌شناسی، یا موادی که خاک تا حدودی از آنها ساخته شده، آب و هوا به خصوص بارندگی، پستی و بلندی، پوشش گیاهی، و عمر خاک. همه این عوامل کنش متقابل دارند.

این پنج گروه عوامل در تعیین باردهی خاک بسیار مهم‌اند، زیرا آنها خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و چگونگی ساختمان لایه‌های افقی آن را معین می‌کنند. خصوصیات حاصله به نوبه خود برای باردهی خاک اهمیت دارند، زیرا آنها تعیین می‌کنند که آیا مواد غذایی معدنی با غلظت کافی برای گیاهان فراهم‌اند و آیا در دسترس گیاهان قرار دارند یا نه. همچنین آیا عکس‌العمل خاک نسبت به آب چگونه است.

در مورد اغلب خاکها کنش متقابل آب و هوا، پوشش گیاهی، عمر کافی و فراز و نشیب مناسب، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی را معلوم می‌کنند. مقصود از فراز و نشیب مناسب این است که خاک می‌بایست در موضع نسبتاً مسطحی قرار داشته باشد، والا هیچ گاه در یک نقطه به قدر کافی توقف نمی‌کند که تحت تأثیر آب و هوا و پوشش گیاهی جا بیافتد و خصوصیات یک خاک بالغ را پیدا نماید.

هیچ گاه یک خاک تماماً از ذرات یک اندازه تشکیل نمی‌شود. بهترین خاک مخلوطی از ذرات با اندازه‌های متفاوت است که حدود ۴۰٪ آنها شن، ۴۰٪ لای و ۲۰٪ رس باشد. این نوع خاک لوم (Loam) خوانده می‌شود. اگر خاک خیلی شنی باشد، آب بسیار کمی در خود نگه می‌دارد و «ریزبومهای» (microhabitats) داخل آن برای موجودات ریز خاک، که در تبدیل مواد آلی مرده به املاح معدنی مورد نیاز گیاهان بسیار مهم هستند، سخت خواهد شد (اصل ۱۹). از سوی دیگر چنانچه خاک تماماً رس باشد به هنگام مرطوب شدن مانند چسب غلیظ می‌شود و اگر برای کشاورزی به کار رود موانع متعددی را پیش خواهد آورد. اول اینکه، به دلیل چسبندگی، کار در آن تقریباً غیرممکن است. ثانیاً ذرات چنان کوچک و خلل و فرج آنها ریز می‌شود که آب و املاح محلول به ذرات می‌چسبند و به اندازه کافی در اختیار ریشه‌های گیاهان قرار نمی‌گیرند. لذا بهترین خاک آن است که ذراتی از همه اندازه‌ها را در خود داشته باشد. خاک به اندازه کافی به ذرات بسیار ریز محتاج است تا بتواند مواد آلی را به قدر کافی فراهم کند. به ذرات درشت نیز احتیاج دارد تا دانه‌بندی خوبی داشته و حرکت آب و هوا در آن به قدر کافی میسر باشد، تا این که انواع موجودات بتوانند در آن زندگی نمایند (اصل ۱۸).

۶-۳- آب

علاوه بر نکات واضحی که هر کس می‌تواند در باره آب بگوید، دو واقعیت دیگر وجود دارد که از نظر بوم‌شناسی بسیار مهم است.

اول این که آب عامل فوق‌العاده مهمی در انتقال و مصرف انرژی است.

دومین اهمیت عمده آب در مواد شیمیایی بسیار متنوعی است که به صورت املاح در آن محلولند. تراکم بسیاری از این املاح در آب فوق‌العاده ناچیز است، در عین حال، احتمال دارد اثرات زیستی آنها بسیار مهم باشد.

۷-۳- هوا

اهمیت هوا فقط از نظر تنفس و حفاظت ما در مقابل ذرات ریز و درشتی نیست، که از فضا برخورد می‌کنند. هوا وسیله تعیین‌کننده کمیت و کیفیت انرژی خورشیدی است که به ما می‌رسد. هوا، همچون آب، می‌تواند با غلظتهای ناچیز بسیاری از مواد آلوده‌ساز مسموم‌کننده شود.

هوای اطراف کره به دو لایه تقسیم شده که اهمیت زیستی دارند: تروپوسفر یا توده تحتانی هوا، و استراتوسفر یا توده فوقانی آن.

اهمیت این دو لایه در این است که چون لایه زیرین اختلاطهای عمودی دارد، ولی لایه فوقانی از نظر حرارت ثابت بوده و اختلاطی ندارد، لذا ذرات معلق در هوا که مانع از ورود تابشهای خورشیدی شوند، بسته به این که تا چه ارتفاعی صعود کرده باشند، از نظر مدت، اثرات متفاوتی خواهند داشت.

۸-۳- انرژی

چهره انرژی به صور مختلف در پویایی سیستم‌های زنده، ظاهر می‌شود، که بعضی از آنها آشکار، ولی برخی دیگر چندان واضح نمی‌باشند.

انرژی از آن جهت برای گیاهان و حیوانات مهم است که میزان وقوع فرایندهای آنها را تعیین می‌کند. گرم شدن موجب می‌شود که میزان واکنش هر سیستم یا پدیده تا یک نقطه حداکثر افزایش یابد، ولی با گرم شدن بیشتر از این نقطه میزان آن واکنش کاهش می‌یابد:

مهمترین شکل به دست آوردن انرژی برای حیوانات خوردن غذا و برای گیاهان فتوسنتز است.

اصل ۲۰ ـ غذاهای مختلف از نظر محتوی انرژی در واحد وزن با یکدیگر تفاوت بسیار دارند: این موضوع استراتژی تحصیل غذای موجودات را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

اثر انرژی بر موجودات مثبت است، زیرا برای گیاهان روشنایی لازم در فتوسنتز و برای حیوانات گرما و غذای لازم جهت تأمین فعالیتها، رشد، و تولید مثل را فراهم می‌آورد. با این وجود متغیرهای انرژی نیز، چون ماده، در مواردی که به دو حد بالا و پایین حوزه‌های مرگ‌آور نزدیک یا وارد می‌شوند اثرات منفی به بار می‌آورند. نور، حرارت و پرتوهای هسته‌ای همگی در مقادیر بیش از حد معمول زیان‌آورند.

اصل ۲۱ ـ گونه‌ای که آشیان ویژه‌ای را اشغال می‌کند، مسلماً راندمانش در استفاده از منابع آن آشیان بیش از گونه‌های بیگانه‌ای است که سعی در هجوم و جانشینی او دارند.

اصل ۲۲ ـ ساختمان‌هایی بیشتر دوام می‌آورند که در مقابل هر واحد انرژی مهیا بیشترین توانایی تأثیر را بر آینده داشته باشند.

با توسعه جوامع، وزن زنده‌ای که توسط هر واحد جریان انرژی تأمین می‌شود افزایش می‌یابد. حال از آنجا که انباشته شدن فضای یک ناحیه با مواد زنده به وضوح برآینده زیستی آن ناحیه تأثیر دارد، لذا سه روند زیر با یکدگر ارتباط پیدا می‌کنند، توسعه جامعه، افزایش نسبتهای B/E (افزایش راندمان انرژی) در نتیجه توسعه جامعه، و افزایش تأثیر سیستم بر آینده خودش.
این پدیده بنیادی که در اینجا توصیف شد توالی نام دارد. یعنی فرایندی که از طریق آن موجودات زنده یک ناحیه به کمک فعالیت‌های خود، طوری محیط را دگرگون می‌کنند که برای موج تازه‌ای از موجودات زنده، که جانشین خود آنها خواهند شد، مناسبتر گردد. غالباً در کتب درسی این پدیده به صورت تبدیل تدریجی دریاچه به باتلاق، که در اثر پر شدن دریاچه با مواد آلی پیش می‌آید، و یا به صورت تبدیل تدریجی یک ناحیه ساحلی به جنگل ترسیم می‌شود، که با اشغال ساحل توسط امواج پی در پی گیاهان و تثبیت تپه‌های شنی صورت می‌گیرد. ولی یک مثال مصور دیگر از توالی را می‌توان در اطراف آتشفشانهای فعال یافت نمود. توالی در این مورد نیز، همچون جاهای دیگر، نقش زمان را، بمانند ماده و انرژی به عنوان یک منبع، ترسیم می‌نماید.
دگرگونی چرخه‌های زیست ـ زمین ـ شیمیایی می‌تواند استفاده گیاهان و حیوانات از انرژی را به طرق مختلف تحت تأثیر قرار دهد. اولاً میزان واکنشهای موجودات زنده به درجه حرارت، و در مورد گیاهان به نور، بستگی دارد. هر فرایندی که بر مهیایی حرارت و نور اثر عمده داشته باشد، نتیجتاً بر میزان استفاده موجودات زنده از انرژی نیز تأثیر خواهد گذاشت. ثانیاً تا هنگامی که غلظتهای مناسب مواد معدنی موردنیاز فراهم نباشند گیاهان نمی‌توانند مواد زنده را با حداکثر میزان ممکن بسازند. از سوی دیگر غلظتهای بیش از حد مواد معدنی نیز می‌توانند برای گیاهان و حیوانات سمی باشند.

۹-۳- فضا

صرف‌نظر از منابعی که ممکن است در فضا وجود داشته باشد، خود فضا نیز متضمن نکات متفاوتی برای موجودات زنده است. این نکات را در سه دسته می‌توان موردنظر قرار داد. وسعت فضا در قبال هر فرد، ساختمان فضای مهیا، و پراکنش گونه‌های مختلف در آن.

۱-۹-۳- مقدار فضا به نسبت هر فرد

اصل ۲۳ ـ توزیع فضایی هر موجود زنده تا حدودی تعیین‌کننده راندمان استفاده از انرژی آن موجود و جمعیتش می‌باشد.

این اصل برای جامعه انسانی نیز، همچون گیاهان و حیوانات، بسیار مهم است. اگر فضا در قبال هر فرد زیاد باشد، فاصله متوسط بین افراد زیاد خواهد بود، مشروط به این که افراد به طور یکنواخت توزیع شده باشند. اگر تراکم غذا کم باشد، فاصله متوسط تا نزدیکترین غذا زیاد می‌گردد. مورد اول حاکی از فاصله زیادی است که برای یافتن جفت، و دوم برای یافتن غذا، می‌بایست طی گردد. یک نتیجه مهم افزایش فاصله متوسط همانا اضافه شدن مخارج طی کردن فضا است. موجود زنده برای حرکت می‌بایست انرژی اضافه و فراتر از آنچه برای تأمین متابولیسم پایه‌اش لازم است کسب نماید.

فاصله متوسط یک موجود زنده از هر چیز، خواه غذا باشد یا جفت، بسیار مهم است. زیرا این فاصله احتمال وقوع هر حادثه را معین می‌کند. اگر، به علت کمی تراکم جفت یا غذا، فواصل بسیار زیادند ممکن است موجود نتواند، قبل از خالی شدن ذخیره انرژی که برای پرداخت مخارج حرکتش لازم دارد، جفت یا غذا را پیدا کند. در این مورد موجود از بین رفته و یا تولید مثل نخواهد کرد، اگر این وضع در مورد تعداد کافی از افراد گونه اتفاق بیافتد، نسل گونه از میان خواهد رفت.

نکته دیگر در مورد فضای موجود به ازای هر فرد در جهت عکس این یکی کار می‌کند. فضایی را که هر فرد جستجو می‌کند نه فقط ممکن است بسیار زیاد، بلکه امکان دارد بسیار کم باشد. زمانی این وضع اتفاق می‌افتد که ازدحام بیش از حد موجب رقابت شدید بر سر فضای مورد نیاز اعمال حیاتی گردد.

۲-۹-۳- ساختمان فضای مهیا

ساختمان فضا نیز، همچون مقدار سرانه آن، به طرق مختلف برای موجود زنده اهمیت دارد.

بعضی موجودات به هیچ وجه قادر به زندگی در یک زیستگاه نیستند، مگر آن که قسمتی از فضای آن دارای ساختمان ویژه‌ای باشد. مثلاً نوزادان بسیاری حیوانات آبزی به مناطق خیلی کم عمق حاشیه خلیجها احتیاج دارند، تا در آنجا از تعقیب صیادان آبزی سنگین جثه در امان باشند.

یک عامل دیگر فضا که برای پویایی جمعیت گیاهان و حیوانات نکات ضمنی مهم بسیار دارد، درجه ناهمگونی (لکگی یا patchiness) زیستگاه است که نقطه مقابل یکنواختی (تجانس) آن می‌باشد. ناهمگونی زیاد فضایی، همچون بسیاری از عوامل دیگر، برای گونه اثرات خوب و بد دارد. به طور کلی اگر فقط یک گونه X را در نظر بگیریم، به نفعش خواهد بود که در محیط بسیار یکنواختی زندگی کند، که در آن مساحتهای وسیع یکدست، همگی دارای شرایط آب و هوایی، خاک، فراز و نشیب و الگوی حیاتی (biota) یکسان باشند.

اما وقتی محیط به دلیل بریده شدن به قطعات کوچک نامتشابه، به صورت یک الگوی موزاییکی ناهمگون درآمده باشد، مشکلات نه تنها برای X بلکه برای آنها که از X می‌خورند نیز پیش می‌آید. فوایدی که تأثیر خالص همه این آثار برای X دارند ممکن است بیش از جبران خسارات ناشی از ناهمگونی محیط باشند.

یک جنبه مهم دیگر از ساختمان فضایی مربوط به عدم یکنواختی پستی و بلندیها می‌شود. به این صورت که اثر حرارتی خورشید در بالای تپه‌ها و کف دره‌ها متفاوت است، زیرا خصوصیات این مناطق به عنوان گیرندگان حرارت با یکدیگر فرق می‌کند.

۱۰-۳- زمان

حیات به طور عمده مسابقه‌ای بر علیه زمان است، مسابقه‌ای برای به دست آوردن انرژی در مدتی که مهیا است و قبل از این که منابع آن به علت فرارسیدن تاریکی شب، آخر فصل، یا اتمام یک منبع انرژی فراهم، از دسترس خارج گردد. حتی برای انسان نیز حیات یک مسابقه در زمینه گسترش تکنولوژی‌هایی است که استفاده از منابع انرژی خارجی را، قبل از به پایان رسیدن منابع موجود، میسر نمایند. مثلاً تصور کنید که گونه انسان قبل از اتمام سوختهای فسیلی و قبل از سوختن تمام سنگهای معدن اورانیوم در نیروگاه‌های غیرزاینده، موفق به گسترش وسیع فن‌شناسی نیروگاه‌های عظیم زاینده و جوش هسته نگردد.

این که آیا وقت مهیای کافی برای تأمین حیات هر گونه گیاه یا حیوان هر گونه گیاه یا حیوان فراهم است یا نه، بستگی به دو دسته عوامل در رابطه با زمان دارد: یکی عوامل مشخص‌کننده مکان، و دیگری عوامل مشخص‌کننده گونه‌هایی که قرار است در آن مکان زندگی کنند.

۱-۱۰-۳- زمان مهیا به عنوان صفت مشخصه یک مکان

هر مکان را می‌توان به وسیله مدت زمانی که در یک روز، سال، یا سالهای پشت سر هم، برای انجام یک فرایند زیستی خاص مناسب است مشخص نمود. مدت زمانی که در طی آن شرایط طوری در حوزه طاقت باشد، که رشد بتواند بی‌وقفه ادامه یابد، معین‌کننده مقدار کل وزن زنده‌ای است که گونه، قبل از اتمام آن دوره زمانی مناسب، می‌تواند جمع نماید. گونه قادر به ماندن در یک مکان به خصوص نیست مگر آن که بتواند انرژی کافی برای دوام تا دوره مناسب بعدی را به دست آورد. حداکثر وزن زنده انباشته شده بستگی به مدت زمان مهیایی دارد که شرایطش انباشته شدن آن وزن زنده را امکان می‌دهند.

کمبود زمان یکی از محدودیتهای بحرانی منابع برای همه موجودات زنده است. زمان برای جستجو و، در صورت نیاز، تعقیب غذا، یافتن جفت، انتخاب محل تولید مثل و استراحت، یا مخفی شدن از دشمنان لازم است. رشد و تولیدمثل هم نیازمند به زمان است. حتی اگر بزرگترین و قویترین حیوانات نیز نتوانند از عهده این دشمن برآمده و بر آن پیروز شوند، از میان خواهند رفت. اگر به دلیلی یک شیر نتواند انرژی را به طور متوسط با همان سرعتی که می‌سوزاند جانشین کند، سرانجام خواهد مرد.

با گسترش این ایده می‌توان گفت که بین طول مدت مهیا برای جستجو و نوسانات تراکم غذا کنش متقابل مهمی وجود دارد.

زمان به دلیل اصل ۷، مربوط به انباشتگی تدریجی تنوع نیز مهم است. هر چه زمانی که حین آن محیط به قدر کافی مساعد و انباشتگی گونه‌ها میسر است طولانی‌تر باشد، تعداد گونه‌های انباشته شده بیشتر خواهد بود: یعنی الگوی حیات (biota) متنوع‌تر خواهد بود.

۱۱-۳- تنوع

تنوع هر دسته از چیزها از روی طرق ممکنه ترکیب شدن آنها با یکدیگر اندازه گرفته می‌شود. برای مشخص ساختن ماهیت یک جامعه، بسیاری انواع اطلاعات دیگر را نیز ممکن است جمع‌آوری نمود. وصف خصوصیات توارثی جمعیتها معیاری از محتوی اطلاعاتی (تنوع) آنهاست. تشکل گونه‌ها در شبکه غذایی نیز همین طور است. درجه نظم و ترتیبی که توسط گرایشهای زمانی یک گونه ابراز می‌شود شاخصی از محتوی اطلاعاتی است.

اصل ۲٤ ـ تنوع گونه‌ها در یک محیط بستگی به مساحت، انزوای جغرافیایی، غنای محیطی و تنوع بوم‌شناختی دارد. تنوع بوم‌شناختی به نوبه خود بستگی به طول مدتی دارد که یک زیستگاه از ثبات بی‌وقفه شرایط اقلیمی برخوردار بوده است.

مساحت سرزمین اصلی، خود به تنهایی به عنوان بهترین چیزی است که از روی آن می‌توان تنوع را پیش‌بینی نمود. ارتفاع از سطح دریا پیش‌بینی کننده خوب دیگری برای تنوع است. هر دوی این متغیرها نشان‌دهنده تنوع بوم‌شناختی، یعنی عامل مهمی هستند که احتمال گونه‌سازی یعنی فرایند انشقاق گونه قدیمی به دو ی چند گونه جدید، را افزایش می‌دهند. غنای محیطی بر حسب مقدار بارندگی اندازه‌گیری شده بود. بارندگی زیاد موجب افزایش غنای محیط، و خشکی منجر به ایجاد شرایط کویری، می‌شود. افزایش غنای محیطی باعث افزایش تنوع گونه‌ها می‌شود. افزایش فاصله از سرزمین اصلی نیز تنوع را اضافه می‌کند، زیرا این فاصله تأثیر مکانیسمهای جداسازی، که تشویق‌کننده گونه‌سازی هستند، را افزایش می‌دهد.

اثر شیبهای محیطی بر تنوع گونه‌ها بستگی به این دارد که کدام عوامل محیطی برای هر گروه بخصوص از موجودات زنده از همه مهمتر می‌باشند.

۱۳-۳- کنش متقابل پنج گروه متغیرهای بنیادی

تاکنون روشن گردید که ۵ گروه متغیرها چنان به طرز ناگشودنی با یکدیگر بافته شده‌اند که بررسی هر فرایند بدون در نظر گرفتن هر پنج گروه آنها غیرممکن است. لذا مهیایی ماده معین‌کننده تراکم مواد زنده و در نتیجه فضای مهیا برای هر فرد می‌باشد. این به نوبه خود تعیین‌کننده زمان لازم برای یافتن جفت و یا غذا خواهد بود. انرژی که در واحد زمان به یک محیط وارد می‌شود مشخص می‌کند که موجودات زنده تا چه حد می‌توانند از مواد آماده محیط استفاده نمایند.

لذا صرفاً ذکر این موضوع که کنش متقابل وجود دارد به درک چگونگی عمل جهان، یا به اداره هر فرایندی در جهان، که ما به هر شکل علاقمند به مطلوب نمودن آن هستیم، کمک زیادی می‌نماید. لذا می‌بایست در ساختن مدلهای تصویری استادانه‌ای همت گماریم که به کمک آنها بتوان نقش هر یک از عوامل را در رفتار کل سیستم درک نمود. آن گاه می‌توان آنها را در مطالعات الگوسازی کامپیوتری به کار برد. هدف این مطالعات یادگیری این مطلب است که چگونه می‌توان دنیای واقعی را با مدلهای ریاضی کامپیوتری مطابقت داد.

جریان انرژی موجود زنده را می‌توان به صورت زیر به عوامل تشکیل‌دهنده‌اش تجزیه نمود، خواه این موجود یک حیوان باشد یا انسان:

$$E_N = E_C - E_W - E_B - E_G - E_R - E_A - E_L$$

این معادله نشان می‌دهد که انرژی خالص به دست آمده، E_N، را می‌توان از روی جریانهای انرژی تشکیل‌دهنده‌اش بر حسب کالری محاسبه نمود:

E_C = انرژی مصرف شده

E_W = انرژی تلف شده (دفع شده یا به کار نرفته)

E_B = مخارج انرژی متابولیسم پایه

E_A = مخارج انرژی فعالیتها، درحدی بالاتر از متابولیسم پایه

E_G = مخارج انرژی رشد

E_R = مخارج انرژی تولیدمثل

E_L = انرژی تلف شده از طریق بهره‌کشی گونه‌های دیگر از این موجود

حال می‌توان هر یک از این اجزا را، بر حسب همه عواملی که روی آن عمل می‌کنند، بیان داشت. بدین ترتیب چهار گروه متغیرهای بنیادی دیگر نیز در سیستم معادلات گنجانیده می‌شوند.

مثلاً مقدار غذای خورده شده را می‌توان به صورت حاصلضرب این عوامل بیان نمود: T_S ، یعنی وقت صرف شده در جستجوی غذا، N_C ، تعداد غذاهای مصرف شده به ازای هر واحد زمان صرف شده در جستجوی غذا، و E_m، محتوای متوسط انرژی هر فقره غذا.

$$E_C = T_S N_C E_M$$

هر یک از T_S و N_C را می‌توان به اجزای تعیین‌کننده آنها تجزیه نمود. زمان جستجو بستگی به فاصله متوسط بین غذاها و فاصله متوسط بین حیوانات جستجوگر دارد، و تعداد غذاهای مصرفی نیز به همان عوامل وابسته است. با پیشروی قدم به قدم برای تجزیه بیشتر به عناصر ساده‌تر، می‌توان به تدریج سیستمی از معادلات را ایجاد نمود. معادلاتی که به کمک آنها مثلاً نشان داده شود که با انتخاب یک منطقه که فاصله متوسط بین رقبای جستجوگر و بین غذاها احتمال به دست آوردن غذا در قبال واحد زمان را به حداکثر می‌رساند، غذای خالص به دست آمده چگونه افزایش می‌یابد. یعنی این که افزایش فاصله متوسط بین جستجوگرها امتیازی برای هر فرد جستجوگر محسوب می‌شود، زیرا این وضع موجب می‌شود که وقت تلف شده در رقابت مستقیم با جستجوگرها به حداقل برسد. از سوی دیگر فاصله بیش از حد بین غذاها نامطلوب است، زیرا برای یافتن آنها وقت بسیار زیادی صرف می‌شود. از آنجا که یکی از متغیرها نماینده زیان و دیگری نماینده سود است، لذا مسئله استراتژی انتخاب قیمت مناسب مطرح می‌شود. با این وجود اهمیت کامپیوتر در مواردی واقعاً زیاد می‌شود که انواع متفاوت سود و زیانها (دخل و خرجها) در انتخاب استراتژی مطلوب دست‌اندرکار باشند.

به طور کلی استراتژیهای جوامع طبیعی و انسانی از نظر انرژی کاملاً متفاوت به نظر می‌رسند و دلیل عمده‌ی آن هم مهیا بودن سوختهای فسیلی و هسته‌ای برای انسان است. در واقع جوامع طبیعی درصدد حداکثر نمودن راندمان انرژی هستند، در حالی که انسان به فکر حداکثر نمودن مقدار کل انرژی، بدون در نظر گرفتن راندمان استفاده از آن، است.

یک راه دیگر برای تلفیق هر ۵ گروه متغیر این است که ببینیم در طی فرایند توالی، همراه با توسعه جوامع، روابط بین ماده، انرژی، فضا و تنوع چگونه می‌شود.

۴ ـ مکانیسم‌های خودنظم در سیستم‌های بوم‌شناختی

افراد هر جمعیتی از موجودات زنده از نظر ریخت، فیزیولوژی، و رفتار اختلافات فراوانی با یکدیگر دارند. مجموعه خصوصیات ظاهری هر فرد اساس فنوتیپ او را تشکیل می‌دهند. افراد همچنین از نظر استعداد ذاتی و ساخت توارثی، یعنی ژنوتیپ، نیز با یکدیگر اختلاف دارند. آنها که به بهترین وجه با نیازهای زیستگاه خود منطبق باشند، قادر به ادامه زندگی و تولیدمثل خواهند بود. از آنجا که فرزندان شایسته‌ترین افراد شباهتهای روشنی با والدین خود دارند، لذا فرزندان افراد شایسته می‌توانند نسلهای متمادی به رندگی خود ادامه دهند. بنابر آن چه گفته شد، می‌توان انتظار داشت که همواره سازگاری بین فنوتیپها و محیط به طور دائم توسعه یابد، چراکه فنوتیپها در نهایت بازتابی از ژنوتیپهای خود می‌باشند. بنابراین بعد از نسلهای متوالی که در طی آن انتخاب فنوتیپها و ژنوتیپها در انطباق با نیازهای محیط، به طور دائم ادامه یافت، می‌توان انتظار داشت که دقت سازگاریها بسیار چشمگیر شده باشد و این همان چیزی است که ما انتظار آن را داریم. انتظار داریم که تکامل موجب انتخاب افرادی گردد که قادر به انطباق سریع با آن دسته از تغییرات محیطی باشند، که کم و بیش از تواتر یا نظم معینی برخوردارند. این سازگاریها در عمل دیده می‌شوند و باز هم دقت آنها در پاسخ به نیازهای محیط ما را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

تمام سازگاریها را می‌توان به عنوان عکس‌العملهای خودنظم‌کننده یا متعادل‌کننده گونه‌ها در مقابل تغییرات محیط محسوب نمود.

در این فصل شواهد مختلفی از مکانیسمهای خودنظم در سیستم‌های زنده، یعنی انطباق فیزیولوژیکی، ریخت‌شناسی، و رفتاری حیوانات با محیط خود و همچنین نحوه عمل مکانیسمهای خودنظم در سطوح فرد، جمعیت، سیستم‌های دوگونه‌ای با کنش متقابل، و جامعه متشکل از گونه‌ها را مورد بررسی قرار می‌دهیم.

۱-٤- سازش ریخت‌شناسی با محیط

بسیاری از خصوصیات حیوانات به روشنی نمایانگر انطباق آنها با نوع به خصوصی از زندگی می‌باشند: خرگوش، کانگورو، ملخ، موش کانگورو، و قورباغه صاحب پاهای جهنده‌ای هستند که مناسب زندگی در علفزار است. حیواناتی که از مورچه‌ها و موریانه‌ها تغذیه می‌کنند پوزه‌ای دراز دارند، بعضی از مارمولکها صاحب دم قابل ترمیم‌اند که تنها لقمه کوچکی از غذا نصیب شکارگران می‌سازند. رنگ‌آمیزی بال بعضی از پروانه‌ها و شب‌پره‌ها به شکل چشمهای بوف و یا مار است و شکارگران را از حمله به آنها باز می‌دارد. با این وصف هیچ کدام از سازشهای ریخت‌شناسی به دقت سازشهای مربوط به رنگ‌آمیزی استتاری حیرت‌انگیز نیستند.

۲-٤- سازگاری فیزیولوژیکی با محیط

یکی از مهمترین انواع سازگاریهای حیوانات مجموعه مکانیسمهایی است که به آنها اجازه انطباق با تغییرات درجه حرارت محیط را می‌دهند که انواع متعددی از آنها را می‌توان یافت نمود. تفاوت عمده حیوانات مختلف از نظر این مطلب در آن است که عده‌ای از حیوانات از جمله پرندگان و پستانداران، دارای درجه حرارت ثابتی هستند (خونگرمها). در صورتی که بقیه درجه حرارت بدنشان متناسب با درجه حرارت محیط تغییر می‌کند (خونسردها).

گروه مهم دیگری از سازگاریها آنهایی هستند که با تنظیم میزان تولیدمثل، رشد و بقا، ثبات جمعیت را حفظ می‌کنند. دلیل باقی ماندن هر گونه این است که، به طور متوسط در درازمدت، می‌تواند وزن زنده خود را از نسلی به نسل دیگر حفظ نماید. مکانیسمهای این کار بسیار متنوع بوده و می‌توان گفت هر موجودی با روش مخصوص به خود به بازی بقا در مقابل طبیعت سرگرم است. متغیرهایی که چگونگی این بازی را اندازه می‌گیرند به قرار زیر می‌باشند:

۱ ـ تعداد متوسط نوزادان هر مادر

۲ ـ کاهش‌پذیری نرخ زاد و ولد

۳ ـ متوسط وزن نوزادان در زمان تولد، در مقایسه با وزن مادران

۴ ـ کاهش‌پذیری این وزن

۵ ـ کاهش‌پذیری در وسعت قلمرو لازم برای هر فرد

۶ ـ میزان رشد و نمو از زمان تولد تا موقع بلوغ

۷ ـ کاهش‌پذیری در میزان رشد

۸ ـ میزان بقای نوزادانی که مادرانشان تحت تأثیر تنشهای محیط قرار گرفته‌اند

۹ ـ بقای نوزادان به عنوان تابع تنشی که خود آنها تحت تأثیر ش قرار می‌گیرند

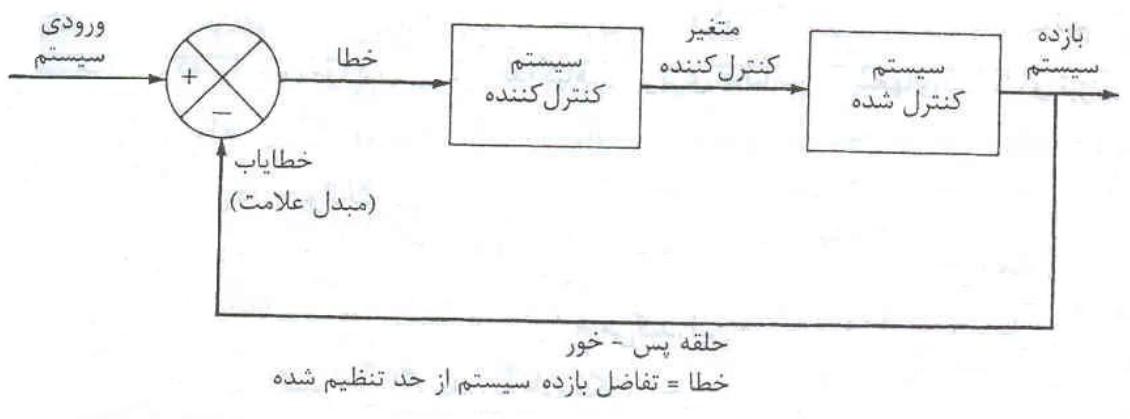
۱۰ ـ سن بلوغ

گونه‌ها جانب صرفه‌جویی را نیز رعایت می‌کنند. یعنی هر گونه فقط می‌تواند آن قسمت از لیست مذکور را حداکثر کند که ثباتش را تأمین می‌نمایند. جیره‌بندی کالری مصرفی را، تا حدودی به وسیله‌ی یک اصل دیگر مارگالف (۱۹۶۸) نیز می‌توان توجیه نمود.

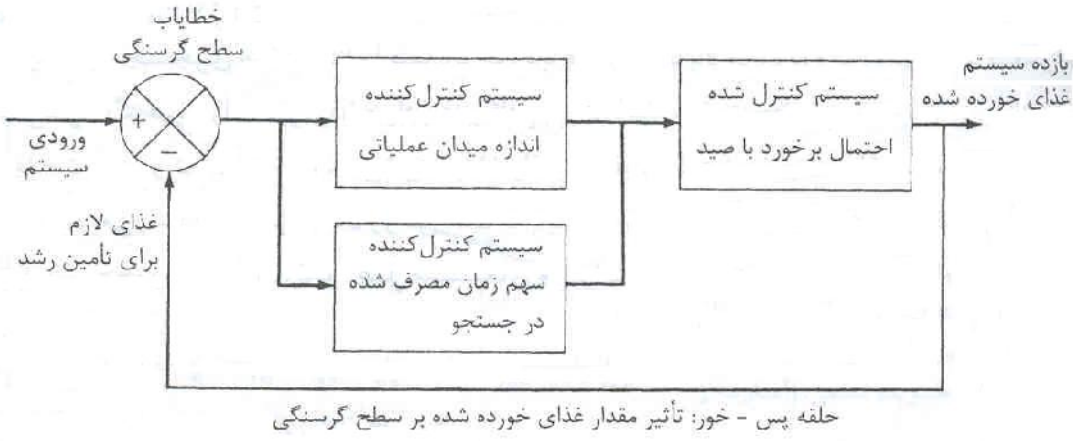
اصل ۲۵ ـ تغییرات بزرگ و غیرقابل پیش‌بینی محیط باعث انتخاب گونه‌های پرزادوولد می‌شود.

۳-٤- سازگاریهای رفتاری در برابر محیط

کلید درک مکانیسمهای هوموستاتیک در همه موارد رفتار حیوانات یا واکنش گیاهان (یا هر پدیده هوموستاتیک دیگر)، مفهوم سیستم کنترل پس‌خور است (شکل ۴-۴). این سیستم‌ها نحوه عمل بسیاری از پدیده‌ها را توجیه می‌کنند، ولی عامل اصلی در همه آنها همان چیزهایی است که در شکل ۴-۴ ترسیم شده است. نکته کانونی این سیستم عبارت است از پیامی که به یک خطایاب پس‌خور می‌شود تا انحراف نحوه عمل سیستم، از حد تعیین شده، را ردیابی نماید. این ردیاب باعث تبدیل علائم محرک سیستم شده، و از این طریق عمل سیستم تصحیح می‌شود. اصطلاح پس‌خور منفی از این واقعیت ناشی می‌شود که علامت به وسیله خطایاب تغییر می‌کند. شکل ۵-۴ نشان می‌دهد که چگونه می‌توان این مدل ذهنی را، در جستجو و تعقیب یک بی‌مهره صید به وسیله یک بی‌مهره صیاد، پیاده نمود. وقتی صیادی گرسنه نیست احتیاجی ندارد که انرژی خود را در کمین کردن و از پا درآوردن صید تلف نماید، ولی چنانچه به هنگام گرسنگی هم کمین نکرده و صید را از پا درنیاورد، خود از گرسنگی خواهد مرد. واضح است که در این مورد نیز، همچون اغلب پدیده‌های دیگر، اختیاج به نوعی مکانیسم کنترل‌کننده است تا رفتار صیاد را با نیازهای غذایی او تطبیق دهد.



شکل ۴-۴- عوامل منطقی تشکیل‌دهنده یک سیستم کنترل پس ـ خور



شکل ۵-۴- واکنشهای رفتاری یک بی‌مهره صیاد نسبت به سطح گرسنگی و تراکم صید، به عنوان یک سیستم پس خور منفی

٤-٤- مکانیسمهای تنظیم‌کننده کنش متقابل جمعیت دوگونه

کنش متقابل بین دوگونه انواع متعددی دارد. اصطلاح کلی این گونه کنشها «همبودی» یعنی زندگی با هم است. حدود چنین تغییراتی بسیار وسیع می-باشد. از یک طرف ممکن است تمامی سود برای یک گونه باشد، یا حداقل در نگاه اول چنین به نظر آید، و یا این که هر دو گونه از آن به یک اندازه سود ببرند. در یک انتها رقابت جای می‌گیرد که در آن گونه‌ها برای کسب منابع محدود، با یکدیگر در ستیزند، و می‌توان نشان داد که هر دو از این کار صدمه می‌بینند. پس از آن بهره‌کشی قرار دارد (رابطه انگلی یا صیادی)، که در آن به یک گونه صدمه وارد می‌شود. در نزدیکی انتهای دیگر همسفرگی (commensalisms) جای دارد، که در آن یک گونه سود می‌برد، ولی بر دیگری هیچ صدمه‌ای وارد نمی‌شود. مثلاً دارچسبهایی نظیر خزه اسپانیایی، با آویزان شدن به گیاهان دیگر زندگی می‌کنند، و خرچنگ منزوی از پوسته خالی حلزونها استفاده می‌نماید. در انتهای مقابل سودبری دوجانبه (mutualism) واقع می‌شود، یعنی رابطه‌ای که هر دو گونه از آن سود می‌برند.

طبیعت بی‌نهایت پیچیده است و غالباً این پیچیدگی به صوری است که ما نسبت به آنها به طرز وحشتناکی جاهل مانده‌ایم. در نتیجه هنگامی که آگاهانه، یا غالباً ندانسته و تصادفی، تغییرات عمده‌ای در جهان به وجود می‌آوریم، مکانیسمهای هوموستاتیک فوق‌العاده پیچیده را به صورتی دگرگون می‌سازیم که خود قادر به پیش‌بینی عواقب آنها می‌باشیم و به همین دلیل است که گاه چیزهای عجیب و غریبی اتفاق می‌افتد.

مثلاً همگان باور دارند که حشره‌کشها جمعیت آفات را تنظیم می‌کنند، ولی کوشش ناچیزی صرف تبلیغ در باره مطالعات دقیقی شده که در آنها، برعکس تصور عمومی، حشره با قطع سمپاشی ناپدید و با شروع سمپاشی پدیدار شده است. خسارت در زمان قطع سمپاشی، و نه در موقع سمپاشی، به حداقل خود می‌رسد.

این که چرا حشره‌کشها باعث افزایش جمعیت آفت می‌شوند به خاطر مرگ و میری است که به دنبال هر سمپاشی، علاوه بر آفت، نصیب گوشتخواران (صیادان و انگلها) نیز می‌گردد. بنابراین درصدد کاهش مساوی در تعداد گوشتخواران و علفخواران باعث می‌شود که گوشتخواران از نظر قدر مطلق تعداد، در وضعیت مخاطره‌آمیزی قرار بگیرند.

٥-٤- رقابت بین گونه‌ای

پدیده رقابت بین گونه‌ای در زمانی اتفاق می‌افتد که دو یا چند گونه محتاج به منبع حیاتی واحدی باشند. اگر تراکم جمعیت همه آنها بر روی هم به اندازه کافی بزرگ و منبع حیاتی محدود باشد، دیر یا زود رقابت بین گونه‌ای منجر به صدمه زدن به یک یا هر دو گونه خواهد شد. این صدمات به صورت کاهش بقا، رشد، تولید مثل و احتمالاً مهاجرت ظاهر می‌شود.

رقابت بین گونه ها با دو اصل مرتبط است.

اصل ۲۶ ـ گونه‌های مختلف، که آشیانهای بوم‌شناختی کاملاً مشابهی دارند، نمی‌توانند مدتهای طولانی در یک زیستگاه با هم زندگی کنند.

اصل ۲۷ ـ گونه‌های مختلف که به طور نامحدود با یکدیگر همزیستی می‌کنند لزوماً بایستی آشیانهای مختلف داشته باشند.

٦-٤- بهره‌کشی

شکارگری و زندگی انگلی دو نمونه بارز از یک پدیده کلی هستند، که همه آنها را می‌توان تحت عنوان استثمار یا بهره‌کشی قرار داد. هر وقت که یک گروه نسبت به حمله آسیب‌پذیر و گروه دیگر آماده حمله باشد ـ اعم از این که سیستم شامل موشکهاست یا زنبوران انگل یا مگسهایی که به کرمینه پروانه‌ها حمله می‌کنند. اعم از این که کرمینه زنبورهای اره‌ای باشند، یا ملخها، سیاهگوشها در حمله به خرگوش باشند، یا دسته‌های راهزن ـ در همه این موارد معمولاً سه جنبه بارز وجود دارد.

۱ ـ اگر شمار افراد گروهی که به حمله آسیب‌پذیرند اضافه شود، میزان رشد تراکم حمله‌کنندگان افزایش خواهد یافت.

۲ ـ با اضافه شدن شمار افراد آسیب‌پذیر به حمله، نسبت افراد آسیب‌پذیری که مورد حمله قرار می‌گیرتد و از بین می‌روند، کم می‌شود.

۳ ـ همراه با زیاد شدن جمعیت حمله‌کننده‌ها، درجه موثر بودن هر یک از آنها به تدریج کم می‌شود.

نکات اول و دوم منجر به تکوین اصل جدیدی می‌شود که امتیاز مهمی دارد.

اصل ۲۸ ـ هر موجود زنده نسبت به افزایش مهیایی هر یک از گونه‌های غذاییش به دو صورت واکنش نشان می‌دهد: یکی از طریق بالا بردن حضور آن غذا در رژیم غذاییش (واکنش عملی) و دیگری از طریق افزایش تعداد خود، تا این که بتواند به طرز کاملتری از ذخیره کاهش یافته آن غذا استفاده کند (واکنش عددی).

به هر حال، اینها معدودی از مکانیسمهایی هستند که خود ـ نظمی سیستم‌های صید ـ صیاد، و انگل ـ میزبان را افزایش می‌دهند. هولینگ (۱۹۶۸) به بسیاری دیگر از اینها از جمله مکانیسمهای زیر، اشاره کرده است:

اصل ۲۹ ـ صیادان به هنگام کمیاب بودن صید، میزان متابولیسم خود را کاهش می‌دهند. (لذا، سهم بیشتری از انرژی خورده شده صرف تولیدمثل می‌شود، و کارایی انرژی بالاتر می‌رود.)

اصل ۳۰ ـ سیستم‌های صید ـ صیاد به طریقی عمل می‌کنند که کارایی انرژی را حداکثر نمایند. وقتی صید متراکم باشد، صیاد قسمت بیشتری از هر صید را تلف می‌کند.

اصل ۳۱ ـ فوق ـ انگلها (انگل انگلهای دیگر)، یا صیادان ثانویه (صیاد صیادان دیگر) مانع از افزایش جمعیت انگلها و صیادان می‌شوند و در نتیجه از دامنه نوسانات این سیستم‌های سه‌گونه‌ای می‌کاهند.

اصل ۳۲ ـ انگلها تخم خویش را به صورت پیوسته به هم (کپه‌ای) توزیع می‌کنند و به این ترتیب نوسانات سیستم انگل ـ میزبان را تخفیف می‌دهند.

۷-٤- مکانیسمهای تنظیم‌کننده در سطح جامعه

همچنان که جوامع در جریان توالی توسعه می‌یابند، افزایش تنوع آنها باعث ایجاد امکانات جدید برای تنوع باز هم بیشتر می‌شود. هر چه تنوع گونه‌های گیاهان بیشتر باشد، آشیانهای بیشتری برای حیوانات به وجود می‌آید تا از آنها تغذیه کنند. همچنین، گیاهان بلند باعث به وجود آمدن آشکوبهای مختلف گیاهی، و در نتیجه ریز ـ بومهای بیشتر با اطلاعات صحرایی نشان داده که هر چه آشکوب‌بندی پوشش گیاهی بیشتر باشد پرندگان متنوعتری را

در خود جای می‌دهد. خودافزایی تنوع، موجب خودافزایی ثبات می‌گردد. هر چه رقبای استفاده کننده از یک غذا بیشتر باشند، ثبات جمعیت هر کدام از گونه‌ها بیشتر می‌شود.

تمام پیچیدگیهای ساختمانی محیط یک مکانیسم تنظیم‌کننده را به وجود می‌آورند، تا نوسانات جمعیتهای جامعه را کم کرده، و از نوسانات پردامنه سیستم‌های بین گونه‌ای ممانعت به عمل آورد. گذرگاه‌های کوهستانی، دره‌ها، پوششهای انبوه گیاهی، شیبهای ارتفاع، و رودخانه‌ها، هنگی بر تنوع ساختمانی زیستگاه می‌افزایند. هر کودکی که قایم باشک بازی کرده باشد می‌داند که وقتی بازی در یک خانه بزرگ با راهروها و اطاقهای زیاد، و راه-پله‌های متعدد بین طبقات انجام می‌گیرد، بازی طولانی‌تر و جالب‌تر می شود. به همین طریق، وقتی جامعه از نظر علفخواران، انگلها، صیادان و سایر گونه‌ها غنی‌تر باشد، احتمال این که هر گونه به وسیله دشمنان یا رقبایش منقرض شود کمتر می‌شود، زیرا محیط از نظر ساختمانی پیچیده‌تر شده و یافتن موجودات مشکل‌تر می‌گردد.

به طور خلاصه، هرچه طبیعت را بیشتر مطالعه می‌کنیم، بیشتر تحت تأثیر، نه تنها نظم و ترتیب، بلکه مکانیسمهای فوق‌العاده متنوعی قرار می‌گیریم که حفظ تعادل آن زا بر عهده دارند. در این سیاره دو گروه از نیروها می‌توانند ضربات کاری بر این نظم وارد آورند: یک دسته نیروهای بسیار قدیمی – نیروهای ژئوفیزیکی و آب و هوایی – و دسته دیگر نیروهای جدید که از نفوذ روز افزون انسان ناشی می‌شوند.

۵ ـ اختلالات ناشی از آب و هوا در سیستم‌های بوم‌شناختی

تأثیر اختلالات جوی بر سیستم‌های زیست‌شناختی

تأثیر اختلالات جوی بر سیستم‌های بوم‌شناختی نمونه‌های ویژه‌ای از نحوه عمل چهار اصل عمومی مربوط به اثر هر گونه اغتشاش می‌باشد.

اصل ۳۳ ـ اختلالات وارد بر سیستم‌ها ممکن است اثراتی داشته باشند که مدتها بعد از خود آن اختلالات نمایان گردند (این همان تأثیر اختلاف فاز است که به علت مکانیسمهای تأخیر ـ زمانی اتفاق می‌افتد).

اصل ۳٤ ـ اختلال در یک بخش از سیستم منجر به اختلال در سایر بخشهای آن سیستم خواهد شد و دامنه وسعت اختلالات جدید، از نظر میانگین درازمدت و انحراف معیار در مقام مقایسه، بسیار بزرگتر از اختلالات سبب‌شونده از نظر متوسط و انحراف معیار خودش، می‌باشد. (هر چه سیستم پیچیده‌تر باشد تعداد حالات متغیری، که تحت تأثیر قرار می‌گیرند، بیشتر می‌شود. این همان «تأثیر تحریک‌کننده و تشدیدشونده» است.)

اصل ۳۵ ـ اگر یک اختلال واحد به طور مکرر بر سیستمی وارد شود، اثرات آن می‌تواند بیش از حد انتظار باشد. حال یا این وضع به خاطر اثرات تجمعی است و یا به دلیل اینکه اثرات وارده از حد آستانه فراتر رفته‌اند.

اصل ۳٦ ـ تأثیر دو یا بیش از دو اختلال مجزا، که بر یک سیستم زیست‌شناختی وارد آمده باشند، بسیار بیشتر یا بسیار کمتر از آن چیزی است که از مجموع اثرات مجزای آن اختلالات می‌توان انتظارش را داشت.

این همان اثر کنش متقابل یا اثر تشدیدکنندگی دو عامل بر روی هم است که اصطلاحاً «هم‌بیشی» (synergism) نامیده می‌شود. این اصل زمانی مصداق عمل پیدا می‌کند که یک عامل محیطی موجود زنده را چنان ضعیف نماید که موجود نسبت به تأثیر یک عامل دیگر به طور غیرعادی آسیب-پذیر شود.

اصل ۳۷ ـ سرعت واکنش جمعیت یک گونه نسبت به تغییرات مناسب‌کننده محیط بستگی به میزان بازسازی (turnover rate) افراد در آن جمعیت دارد.

نشانه‌های زیست‌شناختی حاکی از وسعت اختلالات جوی

اصل زیر مربوط به تمایز بین میانگین سختی آب و هوای یک موضع در طی زمان و وسعت نوسانات در آن موضع است.

اصل ۳۸ ـ تأثیر اقلیم و آب و هوا بر جمعیت را می‌توان به دو جزء تقسیم نمود. تأثیر سختی و تأثیر بی‌ثباتی، که یک یا هر دوی آنها می‌توانند زیان‌بخش باشند.

٦ ـ انسان، سوختهای فسیلی و آلودگی، اختلال و تباهی سیستم‌های بوم‌شناختی

اثر انسان بر دنیای طبیعی با توجه به اصول ۳، ٤، ۱۰، ۱۱ و ١٤

در سه فصل قبلی به اصولی که نحوه عمل دنیای طبیعی را مشخص می‌سازند اشاره شد. حال توجه خود را به اثر انسان بر دنیای طبیعی، با توجه به اصولی که در فصل دوم آورده شد، معطوف می‌داریم.

پنج اصل از چهارده اصلی که در آن فصل گفته شد از نظر تمدن صنعتی جدید بسیار حائز اهمیتند و این بیشتر بدان دلیل است که ما به نحوی عمل می‌کنیم که گویی این اصول در کارهای دنیا هیچ گونه اهمیتی ندارند. ارتباط این اصول با چگونگی طرز عمل تمدنها موضوعی است که به سرعت باید مورد توجه قرار گیرد والا خطر در کمین خواهد بود. با اشاره به این که چطور هر یک از اصول ذکر شده با امور انسانی در ارتباطند، بحث کلی این فصل را آغاز می‌کنیم.

اصل ۳ می‌گوید که ماده، انرژی، فضا، زمان و تنوع همگی انواع منابع محسوب می‌شوند. مطلب موردبحث این فصل عبارت از این است که بسیاری از مشکلات بشری از آن جا سرچشمه گرفته یا می‌گیرند که فضا، زمان و تنوع همچون ماده و انرژی به عنوان منبع در نظر گرفته نشده‌اند، در حالی که از اشکالاتی که به وسیله‌ی آنها بر ما وارد شده است نمی‌توان چشم‌پوشی نمود. یکی از نکات ضمنی این اصل آن است که چون ماده در داخل اکوسیستم در حال چرخش است، باید وسایلی باشد که این مواد را پس از عبور از اکوسیستم تجزیه نموده و برای مصرف مجدد آماده نماید. مسئله آلودگی و از بین بردن زباله‌های ما تا اندازه‌ای به علت عدم توجه به اهمیت چرخش حدود ۳۰ عنصری است که به وسیله‌ی موجودات تجزیه‌کننده در جوامع طبیعی صورت می‌گیرد. به زبان ساده، آلودگی معادل فنی زباله‌های تجزیه نشده دنیای طبیعی است.

یکی دیگر از مفاهیم ضمنی مهم اصل ۳ این است که مهیایی یک منبع می‌تواند تعیین‌کننده ظرفیت قابل تحمل محیط برای یک جمعیت باشد. وابستگی فزاینده ما به سوختهای فسیلی و هسته‌ای، که منابع ذخیره‌ای هستند، برخلاف خورشید که منبع جاری است، به این معنی خواهد بود که ما ظرفیت قابل تحمل محیط را برای انسان افزایش می‌دهیم. به این مطلب توجه کافی مبذول نشده است که اگر به هر دلیل نتوانیم این ظرفیت قابل تحمل را برای انسان حفظ کنیم وضعیت خطرناکی پیش می‌آید.

با از بین بردن تنوع در مناطق غیرمسکونی جهان، مشکلات مختلفی را برای بشر به وجود آورده‌ایم. غافل از این که تنوع در حفظ پایداری سیستم منبع ارزشمندی محسوب می‌شود.

اصل ۴ حاکی از آن است که برای هر منبع، در هر فرایندی در محیط، حد مطلوبی از مهیایی وجود دارد. و نیر همین اصل حاکی از آن است که اثرات اشباع و تخلیه همه فرایندها را محدود می‌سازد، زیرا برای دسترسی به هر منبعی حدی از مهیایی وجود دارد. بنابراین، اگر ما هوا و آب را بیش از حد توانایی آنها در هضم آلاینده‌ها اشباع سازیم و یا بیش از حد توانایی تجزیه‌کنندگان در خارج کردن بعضی مواد از محیط، که به وسیله‌ی تغییر و تبدیل آنها صورت می‌گیرد، فشار وارد آوریم، آلودگی می‌تواند به ویژه خطرناک باشد. هر چیزی برای رشد احتمالی خود دارای یک استعداد ذاتی است خواه به دلیل محدودیت در مواد خام موردنیاز باشد و یا اختلال در پیشرفت مسافرتهای هوایی به علت اشباع شدن فضای هوایی فرودگاه‌ها.

به علاوه این اصل برای انسان یک مفهوم ضمنی بسیار مهم نیز دارد و آن حد مطلوب محصول است. برای تمام موجوداتی که مورد استفاده ما قرار می‌گیرند از نظر بهره‌برداری یک میزان مطلوب وجود دارد. یکی از منابع فضا زیاد شده و تراکم به اندازه‌ای کاهش می‌یابد که تکافوی تولیدمثل لازم برای جایگزینی آنها که مورد بهره‌برداری قرار گرفته‌اند را نمی‌کند و گونه منقرض خواهد شد.

اصل ۱۰ مربوط به افزایش کارایی استفاده از انرژی در جوامع پس از مرحله پیشاهنگ است. در واقع انسان در جهت مخالف عمل می‌کند: باتکوین جوامع صنعتی، کارایی ما در مصرف انرژی نه تنها زیاد نشده بلکه کمتر می‌گردد.

اصل ۱۱ بیان می‌دارد که سیستم‌های نابالغ مورد بهره‌برداری سیستم‌های بالغ قرار می‌گیرند. به این دلیل است که در مجاورت شهرهایی که از خدمات مختلف، صنایع و مزایای فرهنگی برخوردارند نمی‌توان شهرهای بزرگ جدیدی را ایجاد نمود. بنابراین برنامه «شهرهای جدید» که در آن سعی می‌شود در مناطق تازه شهرهای جذاب جدیدی ساخته شوند، با مشکلات واقعی مواجه است. در این برنامه فراموش می‌شود که شهرهای موجود همواره انگل شهرهای جدید خواهند بود.

اصل ۱۴ می‌گوید که اثرات اختلاف فاز زمانی بر جمعیت‌ها موجب به وجود آمدن گشتاورهای بزرگی می‌گردند که الگوی نوسانات جمعیت را منظم می‌سازند. انسان خود نمونه غایی چنین جمعیت‌هایی است که به وسیله اثرات اختلاف فاز تحت تأثیر قرار گرفته و جمعیتش خارج از کنترل هر نیرویی، به جز نیروهای ذاتی خود، گردیده است. در این فصل ماهیت نیروهایی که این ماند (inertia) ایجاد می‌کند مورد تحلیل قرار خواهد گرفت.

حال توجه خود را به این بحث مفصل معطوف می‌داریم که چطور انسان در طی فعالیتهای خود پنج اصل مذکور را نادیده گرفته است.

اصل ۳ ـ انسان در اکوسیستم جهانی مواد را با سرعتی بیش از آنچه زباله‌های تولیدی آنها پوسیده شوند به حرکت درمی‌آورد. در نتیجه، تجمع عظیمی از مواد یا آلودگیها به وجود می‌آید که به آسانی در داخل سیستم جذب نشده و قابل چرخش مجدد نمی‌باشند. در تأیید این موضوع باید گفت که، بسیاری از زباله‌های حاصل از تمدن، مانند پلاستیک، برخلاف زباله‌های اکوسیستم‌های طبیعی غیرقابل استحاله زیستی هستند. این مسئله به مراتب وخیمتر نیز خواهد شد، زیرا در چند دهه آینده هیچ صنعتی سریعتر از صنایع پلاستیک‌سازی رشد نخواهد کرد.

آلودگی یکی از چندین اثر جنبی زیان‌آور استفاده عظیم انرژی در تمدنهای مدرن است. از آن جا که این میزان مصرف زیاد به طور یکنواخت روی زمین توزیع نشده و در برخی از محلهای مشخص (شهرها) متمرکز گردیده، لذا تولید آلودگی نیز تمرکز فضایی دارد و این خود از بین بردن آنها را حادتر می‌نماید.

در ۱۲ سال اخیر روش انسان در بهره‌برداری از انرژی دو صورت مشخص داشته است. اول این که انرژی نه تنها از نظر مقدار بلکه از نظر مصرف سرانه نیز مرتباً افزایش یافته است. دوم این که در استفاده از نوع منبع ذخیره نیز تغییر کلی صورت گرفته است، بدین ترتیب که تمایل او از منابع متکی به انرژی ورودی سالانه خورشید (چوب، حیوان و انرژی انسانی) به طرف منابع انرژی که مدتها قبل ذخیره شده‌اند (ذغال سنگ، گاز، نفت و سوختهای هسته‌ای) سوق داده شده است. برخی ارقام اهمیت این دو تغییر را روشن خواهند ساخت.

از اصل ۳ چنین برداشت می‌شود که میزان مصرف انرژی می‌تواند مشخص‌کننده ظرفیت قابل تحمل محیط برای انسان باشد. با استفاده ما از سوختهای فسیلی ظرفیت قابل تحمل کره زمین به مقدار زیادی افزایش یافته است. با این وصف، ما به مراتب سریعتر از آنچه اکثر مردم فکر می‌کنند سوختهای فسیلی را به اتمام می‌رسانیم: با تهی کردن منابع سهل‌الوصول انرژی (نفت خام و گاز طبیعی)، به منظور بالا بردن ظرفیت قابل تحمل دنیا، اگر ذغال یا سوختهای هسته‌ای، نتوانند پس از تخلیه منابع نفت خام و گاز به مقیاس وسیعی جایگزین آنها گردند، انسان در معرض خطر کاهش شدید ظرفیت قابل تحمل قرار خواهد گرفت. این موضوع عبارت از اصل برگشت‌ناپذیری است، یعنی همیشه نمی‌توان ردپای تاریخ یک سیستم را دنبال کرد. در وضعیت ما سوختهای سهل‌الوصول که زمانی در دسترس بوده‌اند برای بار دیگر وجود نخواهد داشت.

یکی دیگر از عواقب افزایش سیر عظیم انرژی در جهان این است که، به علت عدم توزیع یکنواخت انرژی در بین گونه‌ها، تنوع دنیای زنده رو به کاهش می‌رود. این بدان معنی است که پایداری اکوسیستم جهانی کمتر شده، و به دلیل اختلالاتی چون بیماریهای گیاهی، آفت و تغییرات هوا، آسیب‌پذیری آن در مقابل نوسانات پردامنه افزایش می‌یابد.

نسبت بسیار زیادی از کل انرژی مصرفی به حمل و نقل عمومی اختصاص داده شده است. اهمیت موضوع در این است که جوامع بشری، از طریق تبادل افراد و مواد فراوان یا مناطق گوناگون، مرتباً از دنیای طبیعی متفاوت‌تر می‌شوند. این تبادل متضمن صرف مبالغ هنگفتی به صورت حمل و نقل است که مهمترین هزینه تمدن جدید محسوب می‌شود. حمل و نقل عمومی هسته مرکزی مسئله آلودگی را نیز تشکیل می‌دهد.

فضا یکی از منابع بحرانی انسان است. در اطراف شهرها مناطق مسکونی زیادی ایجاد گردیده‌اند. این کار به نحوی صورت گرفته که زمینهای شهری و زراعی در مناطق وسیعی از اراضی اطراف شهرها همچون صفحه شطرنج در هم آمیخته‌اند. این موضوع نتایج مضر متعددی دارد. اولاً منجر به اتلاف بهترین اراضی کشاورزی می‌شود. زیرا هنگامی که اراضی کشاورزی در محاصره شهرکها قرار گرفتند ممکن است به زمین‌بازانی فروخته شوند که بلافاصله نسبت به توسعه آنها اقدام ننموده بلکه آنها را تا بالا رفتن قیمتها به همان نحو رها می‌کنند. این اراضی نه زمین کشاورزی محسوب می‌شوند و نه اراضی شهری. واقعاً جای تأسف است، زیرا غالباً بهترین زمینهای زراعی در اطراف شهرها واقع شده‌اند ـ شهرهایی که در آغاز دهکده‌هایی بودند که در وسط بهترین اراضی زراعتی منطقه قرار داشتند. ثانیاً این الگوی شطرنجی موجب می‌شود که دادن خدمات به هر یک از خانه‌ها بسیار گران تمام شود. زیرا این الگو باعث افزایش فاصله متوسط بین خانه‌هایی می‌شود که در مناطق کمربند شهر واقع شده‌اند، و در نتیجه طول لوله‌های گاز و سیمهای برق و تلفن و غیره افزوده می‌گردد. با این وجود، شاید بدترین جنبه گسترش مناطق کمربند شهر افزایش حمل و نقل باشد که بر تمام فعالیتهای بشری اثر گذاشته و موجب تلف شدن وقت، انرژی، و فضا می‌گردد.

این واقعیت که خود فضا، مستقل از دیگر منابعی که در داخل آن قرار گرفته‌اند یک منبع است و می‌تواند یک عامل محدودکننده باشد، به طور فزاینده‌ای هسته مرکزی مشکل ما را به صورت اشباع شدن فضای هوایی نزدیک فرودگاه‌های بزرگ، راه‌بندانها، مسئله پیدا کردن جاهای جدید برای فرودگاه، محل دفع زباله، و نیروگاه‌های تولید برق تشکیل می‌دهد. ما از نظر انواع بخصوص فضا با کمبود مواجه هستیم. موضوع کمبود تمام فضاها مطرح نیست؛ بلکه در مناطق پرجمعیت با کمبود فضاهای مفید، که از نظر ما ارزش خاصی داشته باشند، رو به رو هستیم.

انسان اهمیت زمان را به عنوان یک منبع بحرانی مهم مرتباً نادیده می‌گیرد. یعنی این حقیقت که احتمال وقوع یک حادثه بستگی به زمان مهیا برای وقوع آن حادثه دارد نادیده گرفته می‌شود. مثلاً همه عقیده دارند که نیروگاه‌های زاینده و واکنشهای کنترل شده جوش هسته‌ای می‌توانند، قبل از پایان یافتن کامل گازهای طبیعی و نفت خام، جایگزین آنها شوند. حال آن که در این باور فراموش شده است که برای توسعه فنون و مهارتهای جدید و همچنین ساختن تعداد تأسیسات متعدد جدید وقت بسیاری لازم است تا این فن‌شناسی در مقیاس وسیعی به کار رود.

گونه انسان به اهمیت تنوع به عنوان یک منبع ارزشمند توجه چندانی ننموده است. ما، با ساده‌سازی و کم تنوع نمودن دنیا، خود را در مقابل خطرات اقتصادی و زیستی آسیب‌پذیر نموده‌ایم. مارگالف (۱۹۶۳& ۱۹۶۸) خاطر نشان ساخته است که اثر خالص تمدن عبارت است از افزایش جریان انرژی در سیستم‌های زیستی و ساده نمودن ساختمان آنها. این امر باعث تخریب انواع مکانیسم‌های متعادل‌کننده‌ای می‌شود که در فصل ۴ از آنها گفتگو به عمل آمد. یکنواختی داخل شهرها، بین شهرهای مختلف، و همسانی اراضی اطراف شهرها با سرعت سرسام‌آوری افزایش می‌یابد. تمامی این سرزمین، به علت از بین بردن جنگل و تبدیل آن به اراضی زراعی، به صورت یکنواخت درمی‌آید، و هنگامی که با کشت وسیع زمین به وسیله‌ی یک گونه یا حتی یک نژاد از گیاهان می‌خواهیم که مقیاس کشاورزی را اقتصادی نماییم، این فرایند را به سرحد نهایی خود می‌رسانیم. به طور کلی، در حال حاضر انسان به عنوان یک گونه به نحوی عمل می‌کند که نظم ساخته و پرداخته خود را، به هزینه از بین رفتن نظم طبیعی کره زمین، افزایش می‌دهد. یعنی سوختهای فسیلی سوزانیده شده، گونه‌های حیوانی و گیاهی ریشه‌کن گردیده، و با تبدیل جوامع طبیعی به کشتهای وسیع تک گیاهی، الگوی جامعه و تنوع گونه‌های آن کاهش داده می‌شود.

حال، اهمیت این مطلب عمومی را به وسیله‌ی ارائه چهار مکانیسم روشن می‌سازیم: اثر ساده‌سازی جامعه بر امراض و آفات، اثر روندهای کشاورزی به سوی روشهای تک کشت بر پایداری اقتصادی، اثر ساده‌سازی جامعه بر زیستگاه‌های حاشیه‌ای، و اثر فقدان تنوع اقتصادی بر رکورد اقتصاد شهرها.

در هر جایی که اراضی وسیعی زیر کشت یک گیاه قرار گیرند، تعداد گونه‌های حشرات کاهش می‌یابد، ولی فراوانی متوسط به ازای هر گونه افزایش یافته و در نتیجه احتمال این که یک گونه خاص از نظر تراکم به حدی برسد که به صورت آفت درآید زیاد خواهد بود. علت آن است که حشرات باقیمانده، برای پراکنده شدن در منطقه، وقت و انرژی کمتری را تلف می‌کنند و تمام دنیا برایشان به صورت فرشی از گیاه مطلوب و قابل خوردن گسترده می‌شود.

به همین دلیل کشورهایی که ثبات اقتصادی آنها بیشتر متکی به یک محصول است شدیداً در معرض ناپایداری اقتصادی قرار دارند.
ساده‌سازی بیش از اندازه جوامع در زیستگاه‌های حاشیه‌ای، همچون مناطق کویری و نیمه‌خشک، موجب افزایش خطر صدمه حشرات و پستانداران علف‌خواری می‌شود که برای یک یا چند گیاه باقیمانده به صورت آفت درمی‌آیند. تنوع گونه‌ها خطر هر یک از آنها را کاهش می‌دهد.
این اصل در مورد زندگی اقتصادی یک شهر، همان‌گونه که جین جیکوبس (۱۹۶۹) خاطرنشان ساخته، نیز صادق می‌باشد. شهرهایی که خواسته‌اند از مقیاس اقتصادی برخوردار باشند، در نتیجه سرنوشت اقتصادی خود را با سرنوشت اقتصادی یک صنعت بزرگ به هم پیوسته‌اند، معمولاً اگر بازار آن صنعت بزرگ کاهش یافته و قطع گردد، در مقابل رکورد اقتصادی بسیار آسیب‌پذیر خواهند بود.
همین اصل در مورد تنوع گروه‌های سنی داخل یک جمعیت نیز صادق است. هر چه تنوع گروه‌های سنی، متوسط سن جمعیت، و نسبت جمعیت در گروه‌های سنی بالا بیشتر باشد، سختی و مقاومت جمعیت، در مقابل اختلالات محیطی بیشتر خواهد شد. دلیل این موضوع آن است که افراد جوان نسبت به اختلالات محیطی آسیب‌پذیری بیشتری دارند.
به همین طریق جمعیت انسان نیز فقط در صورتی امکان فعالیت مطلوب خود را خواهد داشت که از توزیع سنی تقریباً پایداری برخوردار باشد. در جوامع انسانی، همچون سایر جوامع، کارایی انرژی گونه در صورتی حداکثر است که توزیع سنی پایدار باشد. در توزیع سنی مخدوش که در آن مثلاً تعداد جوانها بسیار زیاد و تعداد افراد مسن بسیار کم باشد، مقدار زیادی از انرژی صرف تولیدمثل و بزرگ کردن بچه‌ها می‌شود. در مورد حیوانات مقدار تلفات وزن زنده در سنین جوانی به علت رقابت، همنوع‌خواری، شکار، وجود انگلها و گرسنگی، زیاد است. در مورد انسان وجود تعداد زیاد جوانها موجب می‌شود که مقدار زیادی از مالیات و سرمایه سرانه صرف هزینه‌های آموزشی گردد.
نقش تنوع را می‌توان به عنوان یک منبع، که با کم کردن ریسک موجب افزایش پایداری می‌شود، با مثالهای بسیاری روشن ساخت. مثلاً با از بین بردن ۱۱۴۲۸۰۰۰ اسب کاری در بین سالهای ۱۹۴۰ تا ۱۹۶۰، سرزمین آمریکا ساده‌تر گردید (لاندزبرگ و همکاران، ۱۹۶۳). اگر به طور تقریبی مقدار زمین لازم برای تغذیه هر اسب در ایالات متحده سه برابر زمین موردنیاز برای انسان باشد، بنابراین از بین فتن اسبهای کاری موجب آزاد شدن زمین برای تغذیه ۳۴ میلیون نفر دیگر گردیده است. ولی این فقط یک درآمد خالص به حساب نمی‌آید، زیرا می‌توان گفت که اسب شبیه یک دستگاه خازن عظیم است که به وسیله‌ی خورشید شارژ شده و در شرایط بحرانی از انرژی ذخیره شده‌اش استفاده می‌شود. با کشتن این حیوان امکان ذخیره انرژی برای مواقع بحرانی را از بین می‌بریم. در واقع این یکی دیگر از راههایی است که با ساده‌سازی اکوسیستم جهانی چشم‌انداز ناپایداری آن گسترده‌تر می‌گردد.

اصل ۴ ـ آلودگی می‌تواند یکی از عوامل محدودکننده جمعیت بشری باشد. یعنی، اثرات جنبی جمعیت بر هوا، بهداشت عمومی و رشد گیاهان ممکن است به قدری زیاد باشد که حداکثر جمعیت مجاز را محدود نماید. یکی از اثرات به ویژه مهم مواد آلاینده هوا عبارت است از تأثیر آن بر سهم انرژی خورشیدی که می‌تواند به سطح کره زمین برسد. همان طور که در فصل ۵ نشان داده شد، تأثیر مقدار کدورت هوا ـ سپهر بر سهم انرژی ورودی خورشید، که بسته به تغییرات شدت و تواتر فعالیتهای آتشفشانی تغییر می‌کند، چنان زیاد است که از نوسانات سال به سال شدت تابش ورودی درمی‌گذرد. این موضوع به ما نشان می‌دهد که آلودگی هوا در اثر وجود ذرات ریز، که نوعی دیگر از کدورت هوا است، ممکن است همین اثر را داشته باشد.
یکی از خصوصیات احتمالی مواد آلوده‌کننده کنش «هم‌بیشی» است. یعنی وجود یک ماده آلاینده می‌تواند اثر ماده دیگر را تشدید نماید. در این صورت اثر خالص مجموعه مواد آلوده‌کننده بیش از مجموع اثرات تک‌تک آنها می‌شود. مفهوم ضمنی این مطلب آن است که وجود یک آلاینده بخصوص می‌تواند اهمیت دور از انتظاری داشته باشد، زیرا ممکن است نحوه عمل آن با سایر مواد آلوده‌کننده طوری باشد که سمیت مواد شیمیایی حاصله از سمیت هر یک از مواد تشکیل‌دهنده‌شان بیشتر باشد. مثلاً ثابت شده است که مواد مختلف آلوده‌کننده هوا با یکدیگر ترکیب شده و تحت تأثیر انرژی نور مواد جدیدی را به وجود می‌آورند.
دومین خاصیت مهم آلودگی در کره زمین این است که غالباً آنچه را که انجام می‌دهیم عواقب مستقیمی ندارند، بلکه این عواقب به صورت اثرات جنبی غیرقابل انتظار در برخی از فعالیتها، که با منبع منهدم شده ارتباطی ندارند، ظاهر می‌گردند. مثلاً تراکم جمعیت گوسفند، بز، خرگوش و دیگر حیواناتی که از علوفه‌های نزدیک سطح زمین استفاده می‌کنند، احتمالاً در دنیای بدوی به وسیله جمعیت‌های بزرگ صیادان مثل شیر، گرگ، سیاه‌گوش، گربه

وحشی و شیر کوهستانی در حدی نگه داشته می‌شد که علفزارها قادر به تأمین آنها باشند. ولی انسان این صیادان را شکار نموده و از تراکم جمعیت آنان کاسته است. در نتیجه جمعیت علفخواران تا حد انهدام علفزارها افزایش یافته است. بسیاری از مناطق دنیا، به خصوص مناطق نیمه‌خشک، با چرای زیاد بز، گوسفند و علفخواران از بین رفته و یا نزدیک به از بین رفتن هستند. مثال دیگر مسمومیت آب در زیستگاه ماهیها و صدفها (آبهای کم عمق و مصبها) در سواحل است، که به وسیله‌ی جریان آب زهکش مزارعی که در آنها حشره‌کشها و کودهای شیمیایی بسیار مصرف شده‌اند، ایجاد می‌گردد. مثال دیگر آثار تغییرات شیمیایی محیط بر چرخه‌های وسیع زمین ـ شیمیایی دنیا است. مثلاً ثابت شده است که غلظتهای خیلی کم حشره‌کش د.د.ت برای برخی موجودات کوچک دریایی سمی است. از جایی که این موجودات در تبدیل گازکربنیک به اکسیژن و مصرف فسفات و پتاسیم دریا و تبدیل آنها به مواد مورد مصرف موجودات رده‌های بالاتر زنجیر غذایی اهمیت دارند، لذا این مسمومیت می‌تواند عواقب بسیار جدی دربرداشته باشد. نتیجه این که به هنگام محاسبه نسبت خرج به دخل یک فعالیت، این نکته اهمیت بسیار دارد که به امکان وقوع عوارض جانبی زیان‌آور نیز توجه داشته باشیم.

آلودگی و تخریب دنیا عواقب وخیم جریان شدید و فزاینده انرژی در داخل اکوسیستم انسانی است. اگر آنچه برای سیر انرژی پیش‌بینی شده است اتفاق بیفتد، آن وقت بدون شک مسئله آلودگی از این هم بدتر خواهد شد. تنها راه مبارزه با این مسئله به چرخش درآوردن دوباره مواد، و یا ترجیحاً کاهش سرعت جریان انرژی است.

یکی دیگر از خصوصیات اساسی آلودگی و تخریب کره زمین به وسیله‌ی انسان این است که این عوامل موقتاً از کنترل عوامل وابسته به تراکم به طور کامل خارج شده‌اند. دلیل این موضوع آن است که بیشتر جمعیت‌های حیوانات به یک منبع ثابت پایه بستگی دارند. در نتیجه هنگامی که بیش از حد از آن منبع بهره‌برداری کنند این منبع تهی شده و حیوانات گرسته می‌مانند. در نتیجه، کاهش میزان توالد و بقا، جمعیت را با منابع پایه به حالت تعادل بازمی‌گردانند. ولی جمعیت انسان امروزی رو به افزایش است، زیرا او دیگر به منابع پایه ثابت وابستگی ندارد. برعکس، به علت تغییر مسیر از انرژی خورشیدی به انرژی هسته‌ای و فسیلی، می‌تواند تا زمانی که بهره‌برداری از این منابع انرژی افزایش می‌یابد ظرفیت قابل تحمل کره زمین را نیز افزایش دهد.

همچنین انسان قادر به رقابت بوده و بنابراین مرتباً تعداد گونه‌های دیگر کره زمین را به نحوی کاهش می‌دهد که هیچ یک از گونه‌های دیگر قبلاً قادر به این کار نبوده‌اند. اگر گونه‌های گیاهان غذایی با چرای بیش از حد علفخواران از بین بروند، خود علفخواران نیز از بین خواهند رفت. با این وصف انسان همه چیزخوار نهایی است: ما از نظر غذایی چنان از موجودات و زیستگاه‌های متنوعی استفاده می‌کنیم که بسیاری ازگونه‌های گیاهان و حیوانات را، قبل از آن که خود به وسیله‌ی کنبودها کنترل شویم، ریشه‌کن خواهیم ساخت.

در فصل دوم خاطرنشان شد که با افزایش تنوع در اکوسیستم کارایی مصرف انرژی نیز افزوده می‌شود. ما، با تغییر مداوم کشاورزی به سوی تک کشتی، کارایی را در اکوسیستم کاهش داده و به خاطر بالا بردن مقدار محصول اکوسیستم‌ها را نیازمند به کودپاشی می‌سازیم. یعنی بیشتر وابسته به انرژی کمکی خود در کشاورزی (نیروی بنزین، صنایع کود و غیره) می‌شویم که به نوبه خود بستگی ما را به سوختهای فسیلی، و اخیراً سوختهای هسته‌ای، افزایش می‌دهند. در نتیجه اگر هر گونه کمبودی در این سوختها به وجود آید، سرتاسر تمدن ما به طور فزاینده‌ای در معرض فاجعه قرار خواهد گرفت.

ساده‌سازی اکوسیستم احتمال ناپایداری آن را افزایش می‌دهد. دلیل این ادعا آن است که اگر تمام یک منطقه به وسیله‌ی غذای یک آفت یا بیماری پوشیده شود، آن حشره آفت یا آن عامل بیماری نباتی به سرعت سرتاسر منطقه را فراخواهد گرفت. همچنین تک کشتی تکامل نژادهای تخصص یافته و هر چه مخربتر آفات گیاهان زراعتی را مورد تأکید قرار خواهد داد. اصولاً بهره‌برداری انسان از اکوسیستم‌ها باعث تأکید بر افزایش باردهی بیشتر آنها در واحد سطح می‌گردد. از جایی که فقط اکوسیستم‌های نبالغ با نسبت زیاد باردهی به وزن زنده می‌توانند چنین تولیدی داشته باشند، لذا در واقع این اکوسیستم‌ها همان چیزی هستند که ما آنها را انتخاب کرده‌ایم. به هر حال قیمت این کار گزاف است. همچنین یکی از خصوصیات این اکوسیستم‌های نابالغ پایداری کم آنها است. کم بودن پایداری علل متعددی دارد. حساسیت به امراض، که هم اکنون شرح آن گذشت، یکی از این علل است. کم بودن تعداد گونه‌ها و در نتیجه پایین بودن تعداد مکانیسمهای متعادل‌کننده در سطح جامعه یکی دیگر از این علل می‌باشد. همچنین در جوامعی که به مقدار زیاد مورد بهره‌کشی قرار می‌گیرند، متوسط سن گیاهان و حیوانات پایین است. بهره‌کشی شدید از جمعیت، از طریق کاهش احتمال رسیدن افراد به سنین بالا، متوسط سن آنها را تقلیل می‌دهد. همچنین بهره‌کشی فشرده از یک سرزمین باعث می‌شود که پرورش موجودات به طرف گونه‌های کوتاه عمر یعنی، از درختان به طرف غلات، یا از گاومیش وحشی به طرف گاو سوق داده شود. به طور کلی افراد جوان نسبت به نوسانات محیط حساسترند.

بنابراین هر چه متوسط سن جمعیت و جامعه پایین‌تر باشد، آسیب‌پذیری متوسط حیوانات نسبت به تغییرات وسیع شرایط محیطی بیشتر است. لذا، مکانیسمهای متعددی وجود دارند که ساده‌سازی جامعه را با آسیب‌پذیری آن مرتبط می‌سازند.

نتیجه این که مکانیسمهای متعددی ظرفیت قابل تحمل کره زمین برای انسان را به وضوح محدود می‌سازند و همان‌طور که از اصل چهارم مستفاد می‌گردد، برای هر گونه‌ای، چه انسان و چه گونه‌های دیگر، سطح مطلوبی از نظر فراوانی وجود دارد.

اصل ۱۰ ـ در فصل سوم نشان داده شد که هر چه تنوع جوامع طبیعی بالا می‌رود، کارایی مصرف انرژی نیز زیادتر می‌شود. چون در جوامع انسانی سرعت تجمع وزن زنده به شکل ساختمان و مصنوعات دیگر زیاد بوده و میزان تنوع به شکل ذخیره اطلاعات، تنوع مشاغل، ابزارها، و سایر تولیدات نیز در حال افزایش است، لذا با توجه به اصل ۱۰ می‌توان انتظار داشت که کارایی مصرف انرژی ما نیز افزایش یابد. دو معیار اندازه‌گیری کارایی که بیشتر جلب توجه می‌کنند عبارت‌اند از مصرف سرانه انرژی و مصرف انرژی به ازای هر واحد تولید ناخالص ملی.

نتیجه می‌گیریم که اگر راندمان انرژی را بر اساس هزینه انرژی هر واحد تولید ناخالص ملی در نظر بگیریم، کارایی در حال افزایش است. ولی اگر کارایی انرژی بر اساس هزینه سرانه انرژی توصیف گردد آن گاه سیر کارایی سیستم نزولی خواهد بود.

در مورد کاهش راندمان انرژی لازم برای تأمین هر فرد توجیه‌های اساسی متعددی وجود دارد. برای آگاهی بیشتر از این مسئله در ابتدا لازم است ببینیم انرژی ما به کجا می‌رود.

در سال ۱۹۶۸، ۲۴٪ از انرژی مصرفی در ایالات متحده مستقیماً صرف حمل و نقل شده است. علاوه بر این سهم بزرگ دیگری از مصرف انرژی جامعه به صورت ساختن وسائط نقلیه، راههای اطراف فرودگاهها، جاده‌ها و حریم آنها، هزینه‌های تهیه، ساخت و تبدیل مواد خام اتومبیل، وسایل و ساختمانهای وابسته به آن می‌باشد. لذا به نظر می‌رسد که حمل و نقل به تنهایی بزرگترین مصرف‌کننده انرژی جامعه باشد. به جای تحلیل جنبه‌های کل هر یک از روندهای مصرف انرژی، فقط حمل و نقل را به این دلیل مورد تحلیل قرار می‌دهیم که بعضی از جنبه‌های اساسی جریان انرژی در جامعه انسانی را روشن نماییم.

اساس سازمان فضایی جامعه در فرهنگ صنعتی جدید تغییرات عظیمی کرده است. سابقاً بخش بزرگی از جمعیت یا در مزارع زندگی می‌کردند و یا در دهکده‌های کوچکی که خدمات لازم را در اختیار گروه‌های زارع قرار می‌دادند. در چنین شرایطی غالباً مصرف‌کننده نزدیک محصولاتی قرار گرفته است که به مصرف می‌رسند. ولی با تکوین جوامع، افراد از مزارع و دهکده‌های زراعی فاصله بسیار گرفته و شهرها نیز شدیداً توسعه پیدا نموده‌اند. یعنی فاصله متوسط بین:

- کود و مزارعی که از آن استفاده می‌کنند
- مزرعه و مردمی که محصولات آن را به مصرف می‌رسانند
- مردم و مغازه‌هایی که از آن خرید می‌نمایند
- مردم و محل کارشان
- مردم و محل تفریحشان

بسیار افزایش یافته است. اینها فقط مثالهای معدودی هستند. با کمی تفکر می‌توان دریافت که اگر الگوی فضایی جوامع تا حدودی دگرگون شود چگونه راندمان استفاده از انرژی بیشتر و زندگی ارزانتر و مطبوعتر خواهد شد، زیرا وقت و انرژی کمتری در تبادلات به مصرف خواهد رسید.

به طور خلاصه، ما در جامعه_ای زندگی می‌کنیم که هرگز به قدر کافی به راندمان استفاده از انرژی نیاندیشیده است و دلیل عمده آن عدم توجه به این نکته است که انرژی ممکن است در آینده کمیاب شده و یا آن که مصرف ناجور آن مهمترین عامل به وجودآورنده آلودگی باشد.

اصل ۱۱ ـ زمانی مارگالف این اصل را بدین صورت عنوان نمود که، اکوسیستم‌های بالغ اکوسیستم‌های نابالغ را مورد بهره‌کشی قرار می‌دهند، و یا به طور کلی‌تر، اکوسیستم‌های نابالغ به وسیله‌ی رقبال بالغ‌تر و سازمان یافته‌تر خود مورد استثمار قرار می‌گیرند.

وی اظهار می‌دارد که معمولاً اگر دو سیستم از نظر درجه سازمان‌یابی با یکدیگر متقاوت باشند، واحد کم سازمان یافته مقداری انرژی به واحد سازمان یافته‌تر داده و در نتیجه این عمل تنوع در واحد کم سازمان از بین رفته و بر تنوع واحد سازمان یافته‌تر افزوده می‌گردد، (مارگالف، ۱۹۶۸). مارگالف

متوجه گردید که این اصل در همه موارد صادق و در حقیقت مبین روابط انسان در جامعه نیز می‌باشد. واقعاً جای تأسف است که توسعه سریع شهرهایی که نظم زیادی در آنها برقرار است انرژی مناطق اطراف را می‌مکد و بدین ترتیب از بهبود وضع آنها جلوگیری به عمل می‌آورد.
یکی از معیارهای این اصل عبارت است از ترکیب سنی جمعیت مهاجر به شهرهای در حال توسعه و مقایسه آن با ترکیب سنی جمعیت نقاطی که مهاجرت از آنجا صورت گرفته است. اگر در بین مهاجرین سهم جوانان بین ۲۰ تا ۳۵ ساله به طرز غیرعادی زیاد باشد نیروی اقتصادی زیادی به شهر وارد شده اضافه می‌گردد. این گروه سنی قبلاً آموزش خود را به خرج مالیات‌دهندگان محل دیگر کسب نموده‌اند و نظر به جوان بودنشان، هزینه‌های سرانه پزشکی و خدمات اجتماعی زیادی نیز ندارند. در ایجاد و توسعه صنعت، تجارت و فعالیتهای حرفه‌ای و آموزشی وجود افراد قوی که در سنین جویندگی قرار داشته باشند بسیار با اهمیت است.

اصل ۱۴ ـ این اصل می‌گوید که در جمعیت‌هایی که به وسیله سیستم‌های علت و معلولی تنظیم می‌شوند و تحت تأثیر اختلاف فازهای زمانی قرار دارند، الگوی نوسانات جمعیت نظم قابل توجهی دارد. در واقع این جمعیتها به وسیله گشتاور بزرگی مشخص می‌شوند: روند جمعیت در هر نقطه از زمان به وسیله‌ی تاریخ گذشته آن سیستم تعیین می‌گردد. یعنی اگر در جمعیت و یا سیستم «جمعیت ـ محیط» مکانیسمهایی وجود داشته باشند که مثلاً جمعیت در حال افزایش را به افزایش و جمعیت در حال کاهش را به کاهش باز هم بیشتر وادار کنند، آن گاه تغییرات آن جمعیت بسیار منظم خواهد گردید. آیا در جمعیتهای انسانی چنین مکانیسمی وجود دارد؟
در حقیقت، در جمعیتهای بشری مکانیسمی عمل می‌کند که همواره جمعیت فزاینده را در حال رشد باز هم بیشتر نگاه می‌دارد. این مکانیسم نتیجه عمل توأم دو پدیده است: سرعت باروری در زنان جوان زیاد بوده و با رشد جمعیت نسبت زنان جوان در داخل جمعیت باز هم افزونتر می‌گردد. بنابراین هنگامی که جمعیت با سرعت رشد می‌کند، سرعت اضافه شدن زنان جوان به جمعیت بیش از مرگ و میر و کسر شدن زنان پیر از جمعیت است. نتیجتاً نسبت زنان جوان در جمعیت بالا می‌رود و چون قدرت باروری هر زن جوان زیادتر است، رشد جمعیت نیز اضافه می‌گردد. بنابراین هر چه جمعیت انسان بالا رود تداوم افزایش نیز بیشتر می‌شود، مگر آن که برخی مکانیسمهای دیگر این روند را معکوس سازند.

۷ ـ دریاچه: نمونه بارزی از یک اکوسیستم قابل بهره‌برداری

اکوسیستم‌ها انواع گوناگونی دارند. رودخانه، جویبار، جنگل صنوبر، کویر، جنگل پرباران استوایی، علفزار، جزیره مرجانی، کف اقیانوس، و چشمه‌های آب گرم مثالهایی از این انواعند: از میان انواع اکوسیستم‌ها، دریاچه بیش از دیگران مورد مطالعه قرار گرفته و علاوه بر این از زمانهای بسیار قبل به عنوان یک سیستم در نظر گرفته می‌شده است.
ما در این فصل دریاچه را به منظور مجسم ساختن اصولی، که عمل آنها در تمام اکوسیستم‌ها مهم است، به کار می‌گیریم.
اولین اصل این که اکوسیستم‌ها محصول تاریخ خود هستند. مقصود این است که نیروهای عمل‌کننده یک اکوسیستم در هر زمان می‌توانند با اثرات دقیق و محکم خود خصوصیات آن را تدریجاً تغییر دهند. یعنی این که تمام سیستم در مسیر توالی قرار می‌گیرد (اصل ۱۷) و دریاچه نمونه بارزی از این مطلب است. هنگامی که از توالی یک اکوسیستم گفتگو می‌کنیم منظور ما فقط این نیست که گونه‌های حیوانات و گیاهان برای سازگاری با محیط تغییر یافته خویش دستخوش تغییرات مداوم توارثی می‌گردند. بلکه منظور این است که به علت تغییراتی که اتفاق می‌افتند، به تدریج مناسبت اکوسیستم برای بعضی گونه‌ها کمتر و برای برخی دیگر بیشتر می‌گردد. به همین دلیل، ترکیب گونه‌ای دریاچه تغییر می‌کند. این فرایند ممکن است چندین موج متوالی گونه‌ها را دربرداشته باشد.

توالی در دریاچه

هنگامی که یک دریاچه به وجود می‌آید، معمولاً در ابتدا فاقد مواد آلی بوده و آب غالباً خیلی صاف است. تراکم حیات گیاهی و حیوانی دریاچه پایین بوده، و به دلیل شفافیت زیاد، نور به اعماق زیاد نفوذ نموده و فتوسنتز تا اعماق ۶۰ متر و بیشتر هم صورت می‌گیرد. به دلیل عمق زیاد و به علت آن که

بخش گرمازای طیف نور خورشید (مادون قرمز) نمی‌تواند در آن نفوذ کند، معمولاً آب سرد است. ساکنین اصلی آن را گونه‌هایی تشکیل می‌دهند که مانند قزل‌آلای دریاچه‌ای، آبهای سرد و غنی از اکسیژن را دوست دارند. به این دریاچه‌ها اولیگوتروف، یعنی دریاچه‌هایی که مقدار مواد غذایی آنها کم است، می گویند.

میزان فعالیتهای زیستی دریاچه‌ها به تدریج افزایش می‌یابد، مگر آن که اقلیم بسیار سرد بوده و یا تشکیلات زمین‌شناسی آن از نظر مواد غذایی بسیار ضعیف باشد. مواد آلی مثل جلبکها (پلانکتونهای گیاهی) و حیوانات کوچک (پلانکتونهای جانوری) و مواد ریز در سطح آب تجمع پیدا کرده و در نتیجه شفافیت آن در ابتدا به تدریج و سپس به سرعت کاهش می‌یابد. یعنی نور نمی‌تواند مانند قبل در آن نفوذ نماید و فعالیت‌های فتوسنتزی دریاچه بیشتر و بیشتر به سطح آن محدود می گردد. با افزایش مقدار فعالیت‌های زیستی در هر واحد آب در واحد زمان، سرعت تولید مواد ریزه حاصل از این فعالیتها نیز افزایش می‌یابد. مواد به کف دریاچه رانده می‌شوند و همراه با آنچه از طریق جویبارهای زهکش‌کننده مناطق مجاور وارد گردیده، موجبات پر شدن دریاچه و کم‌عمق شدن آن را فراهم می‌آورند. سرعت و تنوع فعالیت‌های زیستی، به ویژه در آبهای کم‌عمق حاشیه دریاچه، بسیار زیاد است. بدین ترتیب دریاچه‌های اولیگوتروف به صورت مزوتروف درمی‌آیند.

این سرعتهای رسوب‌گذاری بسیار متغیر بوده و برخی از دریاچه‌های مزوتروف بسیار کند به مرحله بعدی می‌رسند، و یا اصولاً نمی‌رسند، ولی برخی دیگر از دریاچه‌های مزوتروفیک به تدریج پر شده و کاملاً کم‌عمق می گردند. این نوع دریاچه‌ها در بسیاری از جاها فقط ۱۵ تا ۳۰ فوت عمق دارند. افزایش فعالیت زیستی و تمرکز موجودات زنده، و در نتیجه تولید مواد ریزه، موجب تیره شدن آب می گردند. در این شرایط نور به ندرت از عمق ۱۰ فوت به پایین نفوذ می کند. اکنون دریاچه بسیار گرمتر شده و ترکیب گونه‌ای تمامی حیات دریاچه دستخوش دگرگونی گردیده است.

خلیجهای خیلی کم عمق پر از لجن گردیده و حالت باتلاقی به خود می گیرند. دریاچه در مجموع از لحاظ مواد غذایی بسیار غنی می‌باشد. چون عمق دریاچه کم گردیده و جریانهای بالا رو به سادگی صورت می گیرند و فعالیتهای زیستی نیز زیاد شده‌اند، لذا آبهای سطحی از نظر مواد غذایی بسیار غنی می‌باشند. اکنون دریاچه یک دریاچه یوتروف نامیده می‌شود.

سرانجام این فرایند زمانی است که دریاچه به حدی کم عمق شده و موجودات زنده آن به حدی انباشته شده باشند که دریاچه به صورت یک دریاچه دیستروف درآید. چنین دریاچه‌ای در جهت تبدیل به مرداب و باتلاق و سپس به خشکی، آخرین مرحله توالی آبی محسوب می‌شود. در این حالت گیاهان نیمه آبی و خشکزی رسوبات مرطوبی را، که تاکنون در دریاچه انباشته شده، تسخیر می کنند. پوسیدگی مواد اکسیژن را به میزان بیشتر از آنچه گیاهان تولید می کنند مصرف نموده و سرانجام دریاچه خفه می‌شود. تیرگی آب به حدی است که نور فقط تا عمق ۳ فوت می‌تواند در آن نفوذ کند. نبض فعالیتهای زیستی موجودات آبی به شدت کاهش می‌یابد و بالاخره دریاچه می‌میرد.

انسان با تغییر میزان مواد غذایی، به وسیله وارد نمودن فاضلاب یا سایر محصولات تمدن، بر میزان پیشروی دریاچه به سوی این مراحل زنجیره‌ای تأثیر می گذارد. از جایی که سرعت ایجاد دریاچه‌ها، به دلیل احتمال کم حادث شدن وقایع زمین‌شناسی، اندک است، فعالیتهای انسان می‌تواند در از بین بردن دریاچه‌های موجود جهان بر ایجاد دریاچه‌های جدید، در اثر فعالیتهای زمین‌شناسی یا احداث سدها، پیشی گیرد. در نتیجه این کار تعداد دریاچه‌ها کاهش می‌یابد. با توجه به لذت انکارناپذیری که هر کس از وجود یک دریاچه می‌برد، به نظر نمی‌رسد که رخ دادن چنین وضعیتی به صلاح جمعی ما باشد. یعنی این که ما بایستی جمعاً در جهت کاهش سرعت یوتروفی شدن دریاچه‌ها اقدام نماییم. غالب مردم بایستی مزیت حفظ دریاچه اریه را به صورت یک دریاچه، بر تبدیل آن به گندابی مملو از مواد شیمیایی سمی، درک نمایند. برای حفظ دریاچه‌ها به صورت دریاچه لازم است دولت با مجاهدات مستمر و شدید خود مانع از آن شودکه از دریاچه‌ها به عنوان گندابهای غول‌پیکر جهت سرازیر نمودن اضافات شمیایی و فاضلابها استفاده گردد.

۸ ـ جنگل: مطالعه عوامل تعیین‌کننده ساختمان و پویایی اکوسیستم

جنگل، بهره‌برداری ملی از زمین و سیاست اقتصادی

بدون شک انسان در حال حاضر مهمترین عامل تعیین‌کننده ساختمان و پویایی اکوسیستم جنگلی است.

یک بررسی همه جانبه از روند آینده عرضه و تقاضای منابع در آمریکا نگرانی مربوط به سرنوشت آینده جنگلها را به خوبی موجه می‌سازد. وقتی در این کشور، همچون سایر کشورها، تقاضا برای همه نوع زمین بر عرضه آن پیشی گیرد، زمینهای زیر جنگل برای رفع این نیاز قربانی خواهند شد. یعنی افزایش نیاز به زمینهای شهری موجب غارت زمینهای کشاورزی می‌شود، و آنها به نوبه خود زمینهای جنگلی را غارت می‌نمایند تا نیازهای غذایی را تأمین کنند.

سرنوشت جنگلها در ممالکی که از گذشته دور تاکنون جمعیت انسانی متراکمی داشته‌اند، به خوبی روشن است. جنگلها در این نقاط یا کاهش یافته و یا ریشه‌کن گردیده‌اند، مگر آن که جامعه به قیمت چشم‌پوشی از برخی هدفهای دیگر در حفظ آنها مجدانه کوشیده باشد.

به طور خلاصه اثرات جنگلها بر تمدن نمایشگر اصل ۳ است، چراکه جنگلها هم تأمین کننده ماده و هم انرژی انسان هستند.

جنگلها اثرات متعددی بر سایر منابع دارند. این اثرات از طریق سه گروه از مسیرهای به هم پیوسته سببی بروز می‌نمایند: اینها عبارت‌اند از مسیرهایی که جنگل از طریق آنها بر آب و هوا، خاک و تغییرات میزان آب مهیا برای سایر منابع مثل کشاورزی، تأثیر می‌گذارد.

چنین به نظر می‌رسد که جنگل بر میزان بارندگی تأثیر داشته باشد. یعنی در مناطقی که درختان جنگل قطع شده باشند، میزان بارندگی کمتر از حد انتظار است.

واضح است که درختان بادشکن از سرعت باد، و در نتیجه از تبخیر گیاهانی که در طرف دیگر این کمربند درختی قرار دارند، می‌کاهند. این بدان معنی است که بر طبق انتظار، رشد محصولات کشاورزی در پناه درختان بیشتر است. راجع به فواید درختان برای تولیدات کشاورزی ارقام متعددی انتشار یافته، ولی این ارقام بسته به نوع درخت، نوع محصول، و سایر جنبه‌های موقعیت، با یکدیگر اختلاف بسیار دارند.

درختان بر آب و هوا نیز اثرات معتدل‌کننده دارند. حذف جنگلها موجب بروز تغییرات دامنه‌دار آب و هوایی از داغ تا سرد و از خشک تا مرطوب می‌گردد و در نتیجه منطقه را برای گیاهان بعدی نامطلوب‌تر می‌سازد. دیر زمانی است که از اثرات عظیم درخت بر ساختمان و فرسایش خاک، و در نتیجه مقدار و تغییرات آبی که به مرور زمان از یک حوزه آبخیز فراهم می‌شود، آگاه بوده‌ایم. لودرمیلک (۱۹۳۰) یادآور گردیده که مواد پوسیده کف جنگل مانع از آن می‌شوند که قطرات باران با نیروی زیاد خود به خاک اصابت نمایند. بدون این مواد قطرات باران خاک را فشرده کرده و ظرفیت جذب آن را کاهش دهند. اگر جنگل‌ها از میان برده شوند رگبارهای تند خاک لخت را به صورت مخلوطی از گل برهم می‌زنند و آب در نفوذ خود به داخل خاک ذرات معلق آن را به داخل می‌برد و خلل و فرج داخل خاک را تا حدودی مسدود می‌نماید، به طوری که با مسدود شدن این حفرات، آب کمتر از حد معمول جذب خاک خواهد شد. این بدان معنی است که با ریزش باران قسمت بیشتری از آن، به جای جذب شدن، سریعاً از سطح آبخیز خارج خواهد گردید. این همان موقعیتی است که موجب جاری شدن سیلابهای تند در مناطق کویری می‌شود: ظرفیت جذب بسیار کم خاک موجب می‌شود که تقریباً تمام باران نازل شده به جای مهار شدن سریعاً جاری گردد. در واقع ما یک فرایند بسیار پیچیده را توصیف می‌کنیم، زیرا جاری شدن هرزآب به ایجاد سیلابهای نیرومندی منجر می‌شود که هوموس و قسمت سطحی خاک، یعنی مهمترین عامل باردهی زیستی آن، را شسته و با خود می‌برد.

به طور خلاصه جنگلها از نظر حفظ حاصلخیزی، تنظیم جریان آب باران به زمینهای کشاورزی، تعدیل بادهای شدید، تعدیل شرایط تبخیر، حرارت و رطوبت، به حداقل رسانیدن فرسایش و گرد و غبار، و افزایش بارندگی برای کشاورزی، اهمیت دارند.

۹ ـ آبخیز: نمونه‌ای از استفاده‌های چندگانه و علائق متضاد

آبخیز جزئی از خشکی است که نزولات جوی از سطح آن جمع‌آوری شده و سپس در جوی، نهر، رودخانه، یا دریاچه جاری می‌گردد. از جایی که آبخیزها غالباً به دریاچه‌ها ریخته شده و پوشیده از جنگل می‌باشند، برای انجام تحقیقات در زمینه مسائلی که در دو فصل قبل به آنها اشاره شد مورد توجه قرار گرفته‌اند.

در علم محیط‌شناسی کمتر موضوع میان‌رشته‌ای (interdisciplinary) را می‌توان یافت که مانند استراتژی مطلوب مدیریت آبخیز جنجال‌برانگیز باشد. البته باید چنین انتظاری را داشت، زیرا فقط انواع معدودی از اراضی هستند که مانند آبخیزها توانایی این همه استفاده‌های متنوع را داشته باشند. حداقل ۱۱ نوع استفاده را می‌توان مشخص نمود:

۱. آبخیزها به عنوان محل مناسب کشت درختانی که از آنها برای تهیه الوار و خمیر چوب استفاده می‌شود اهمیت اقتصادی زیادی دارند.
۲. چون آبخیزها غالباً از دره‌هایی با شیب تند، که ارتفاع آنها از کف رودخانه افزایش می‌یابد، تشکیل یافته‌اند لذا این نوع آبخیزها از نظر ذخیره آب و استفاده‌های نیروی برق آبی بسیار قابل اهمیت می‌باشند.
۳. آبخیزها بسته به شیب و نوع خاکشان، ممکن است از نظر کشاورزی حائز اهمیت باشند: خاک کفه حوضه ممکن است از نظر چرای دام، پرورش درختان میوه و پرورش محصولات صیفی بسیار مناسب باشد.
۴. آبخیزها از نظر شکار، ماهیگیری، کوهنوردی، یا گردش اهمیت تفریحی زیادی دارند.
۵. صنایع خانه‌سازی و مستغلات برای ایجاد خانه-های تفریحی، خانه دوم، خانه برای بازنشستگان می‌تواند در آبخیزها توسعه یابد.
۶. رودخانه‌های کف حوضه ممکن است محل تخم‌گذاری ماهیهای تجارتی مهمی چون ماهی قزل‌آلا باشند.
۷. همین رودخانه‌ها ممکن است مرکز تجمع قبایلی باشند که ماهی منبع مهم غذایی آنها را تشکیل می‌دهد.
۸. آبخیز ممکن است مرکز مهم استخراج معادن باشد.
۹. رودخانه کف دره می‌تواند از نظر ذخیره آب و جلوگیری از سیل مهم باشد. این ذخیره آب موجب می‌شود که جریان آن در طول سال و نیز از سالی به سال دیگر یکنواخت بماند.
۱۰. علاوه بر این، آب ذخیره شده ممکن است برای انتقال به مناطقی که با کمبود دائمی آن مواجه هستند به کار رود.
۱۱. آبخیز برای علاقمندان به طبیعت و حفظ منابع طبیعی ممکن است صرفاً از نظر حفاظت حیات وحش دارای ارزشهای متفاوتی باشد.

واضح است که تعدادی از موارد این لیست از لحاظ اقتصادی بسیار جالب توجه می‌باشند. همچنین روشن است که تعدادی از این علایق به طور مستقیم با یکدیگر در تضاد قرار دارند، زیرا استراتژی بهره‌برداری یک گروه از استفاده‌کنندگان ممکن است با منافع استفاده‌کنندگان دیگر در همان حوضه اصطکاک پیدا نماید. برخی از این اصطکاکها روشن است، ولی بعضی دیگر چندان واضح نیستند. مثلاً فرض کنید آیا در یک حوضه اگر درختان نزدیک رودخانه قطع شوند مفید خواهد بود یا نه؟ اگر در وهله اول هدف ما انتقال آب به سایر نقاط باشد، این درختان باید قطع گردند. زیرا به علت مهیایی زیاد آب مقدار تعرق هر درخت در واحد زمان به مراتب بیشتر از درختان دیگر حوضه است. ولی اگر ماهیگیری منبع اقتصادی مهمی باشد، در این صورت قطع درختانی که روی رودخانه سایه افکنده‌اند بد خواهد بود. این درختان بر روی رودخانه یا جویبار سایه انداخته و آن را خنک نگه می-دارند تا بدین وسیله ماهیهایی که از نظر غذایی، تجارتی و تفریحی مهم هستند محافظت شوند (لونو و روتاچر، ۱۹۶۸. مثلاً قزل الا و آزاد نمی‌توانند در آب گرم زندگی کنند. از طرف دیگر ماهیهای غیرخوراکی قادر به تحمل درجات حرارت بالا هستند. لذا منافع افرادی که علاقه دارند آب حوضه به جای دیگری انتقال یابد با منافع کسانی که علاقمند به حفظ جمعیت ماهیهای قزل‌آلا و آزاد هستند با یکدیگر در تضاد مستقیم است.

در واقع هر یک از موارد استفاده ۱۱ گانه‌ای که ذکر شد به طور مستقیم با یک یا چند مورد دیگر در تضاد می‌باشد. از نقطه نظر عملیات استحصال چوب، منطقی‌ترین استراتژی قطع کامل است که در آن کلیه درختان یک قسمت تواماً قطع شوند. ولی این موضوع باعث کاهش ظرفیت جذب آب در حوضه شده و به جای آن که آب به وسیله‌ی ریشه‌های درختان زنده نگهداری شود، نسبت مقدار آبی که در سطح زمین جاری می‌گردد افزایش می‌یابد. در نتیجه، عملیات قطع کامل درختان برخلاف هدفهای کنترل سیلاب است که در آن سعی می‌شود جریان آب حوضه یکنواخت گردد، نه اینکه مقدار آب بلافاصله پس از بارندگی بسیار زیاد بوده و در بقیه فصل فقط باریکه‌ای از آب وجود داشته باشد.

اگر کنترل سیلابها هدف اصلی باشد، در این صورت تمایل ما بر این است که قدرت جذب آب در آبخیز را افزایش داده و مقدار روان ـ آب (runoff) را به حداقل برسانیم. ولی اگر هدف اصلی ما به دست آوردن حداکثر بارندگی به صورت آبهای جاری به منظور آبیاری یا ذخیره آب در پایین‌دست حوضه باشد، در این صورت استراتژی ما متفاوت خواهد بود.

به طور کلی پیشنهاد می‌کنیم که تجزیه و تحلیلهای نسبت دخل و خرج ابزار مفیدی است ولی باید کلیه مخارج و منافع نامرئی نیز در تحلیل به حساب بیایند. به خصوص در مورد انتخاب استراتژی مناسب مدیریت آبخیز، که منافع غیراقتصادی نیز دارند، این ضوابط را باید درمدنظر داشت.

نتیجه‌گیری

تعداد علایق متضاد و رقیب در آبخیزداری بیانگر ماهیت واقعی جامعه جدید در یک دنیای کوچک است. پیچیدگی ذاتی همه این شرایط تصمیم‌گیری درباره عاقلانه‌ترین و عینی‌ترین استراتژی مدیریت منابع را بسیار مشکل می‌سازد. تنها راه این است که از دو وسیله تواماً استفاده کنیم. اول این که پیچیده‌ترین تجزیه و تحلیلهای نسبت مخارج / منافع را انجام دهیم و ارزش فعلی هر یک از استراتژیهای ممکن را محاسبه نموده و با استفاده از مدلسازی کامپیوتری، مخارج و منافع هر یک از استراتژیها را برای آینده‌ای هر چه دورتر به دست آوریم. دوم این که لازم است در مورد استراتژی انتخاب شده، بر اساس هدفهای اصولی برای یک جامعه دموکراتیک، قیودی را اعمال نماییم.

در این فصل کاربرد اصل ۱۳ در جامعه تشریح گردیده است. اگر پایداری زاییده تنوع باشد، در این صورت ارزنده است که دولت میزان عایدات سیاسی و اقتصادی را که منجر به اندوختن قدرت و ثروت می‌گردند، طوری تنظیم کند که هیچ یک از آنها نتواند به هزینه دیگران سریعاً رشد نماید. بسیاری از کاربردهای نامعقول اراضی که ما شاهد آن هستیم به دلیل عدم وجود مقررات کافی دولتی است. بنابراین مسکونی نمودن زمینهای وحشی کار ساده‌ای می‌باشد زیرا که همه امتیازات به نفع زمین‌خواران است. در این مورد وجود قوانین دولتی الزامی است، زیرا تغییرات آزادانه بازار مانع از توسعه بیش از حد نخواهد گردید. این موضوع به دلیل اختلاف فازهای زمانی در سیستم اقتصادی است: بسیاری از زمینهای وحشی قطعه‌بندی یا تسطیح می‌شوند، قبل از آن که این موضوع مسجل شود که آیا واقعاً در آن مناطق تقاضا برای خانه‌سازی وجود دارد یا آن که زمین‌خواران در مورد تقاضا اغراق کرده‌اند.

۱۱ ـ سیستم‌های کشاورزی

مسئله جایگزینی استراتژیهای مطلوب‌کننده طبیعت به وسیله‌ی استراتژیهای مطلوب‌کننده بشر

چهار هدف استراتژی کشاورزی را ذیلاً می‌توان به ساده‌ترین صورت بیان نمود:

۱. تولید حداکثر محصول در واحد سطح، به طوری که با سه هدف بعدی منطبق باشد.
۲. عملکرد با حداکثر سود
۳. حداقل رسانیدن بی‌ثباتی سال به سال در تولید
۴. عملکرد به صورتی که مانع از تباهی درازمدت ظرفیت تولیدی سیستم کشاورزی شود

هدف کلی استراتژی کشاورزی این است که جامعه طبیعی را که احتمالاً بسیار متنوع و باثبات، ولی از نظر مفید بودن به حال انسان باردهی کمی به ازای هر واحد وزن زنده داشته است، به وسیله‌ی یک سیستم کم‌تنوع و پربار جایگزین کند، بدون این که در این بین ثبات را قربانی نماید. مقصود از باردهی در این جا عبارت از میزان تولید بافتهای گیاهی و حیوانی در واحد زمان است.