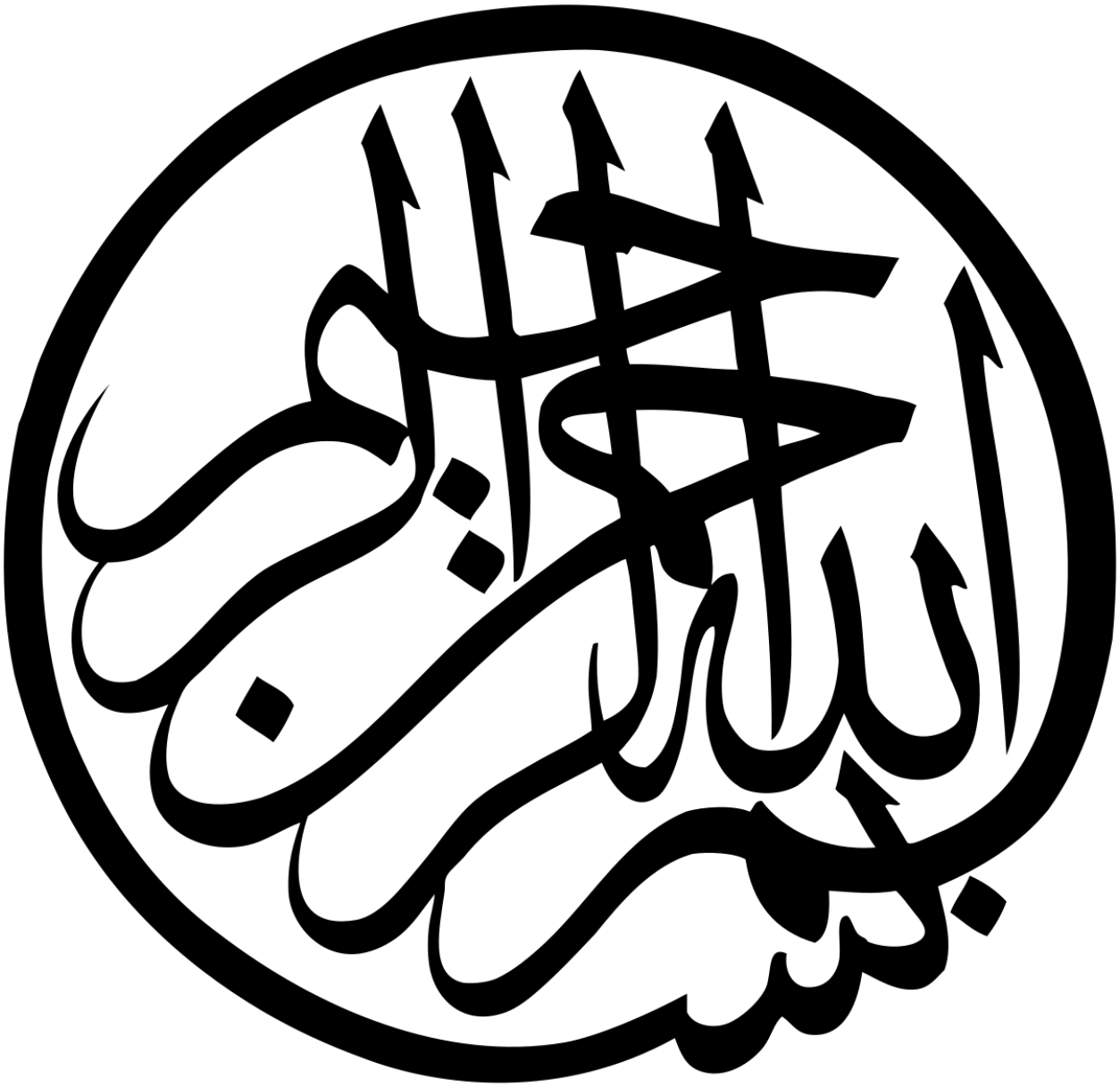

بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه جیرفت

دانشکده علوم

گروه زیست شناسی گیاهی

درس مبانی بوم شناسی

موضوع:

انتقال ماده و انرژی در اکوسیستم

(منبع: کتاب بوم شناسی، اردکانی، فصل سوم)

مدرس:

دکتر حسینی

اسفند ۹۸

فصل سوم

اصول و مفاهیم انتقال ماده و انرژی در سیستم‌های اکولوژیک

۳-۱ انتقال ماده در اکوسیستم‌ها

زمین سیستمی پویا و تکامل یابنده است و حرکت و ذخیرهٔ مواد بر فرایندهای فیزیکی، شیمیایی و زیست شناختی آن به شدت تأثیر می‌گذارد. اگر قرار باشد که زمین خود را بشناسیم باید توجه خود را بر موادی که در آن حرکت می‌کنند و یا ذخیره می‌شوند و بر نحوهٔ همکنشی آن با سایر مواد در محیط متمرکز کنیم.

در ارتباط با انتقال و جریان ماده در هر اکوسیستم می‌بایست ابتدا به مفهوم **زنجیره‌های غذایی**[1] اشاره نمود. زنجیرهٔ غذایی به مجموعهٔ پی در پی از موجودات زنده اطلاق می‌گردد که در این مجموعه هر موجود زنده قبل از آن که توسط موجود زنده بعدی مصرف شود، از موجودات زندهٔ قبل از خود تغذیه می‌کند(۳۵و۳۷).

دو نوع زنجیرهٔ غذایی وجود دارد. نوع اول، زنجیره‌های غذایی هستند که با گیاهان زنده‌ای که توسط موجودات علفخوار بلعیده می‌شوند، آغاز می‌گردد (**زنجیره‌های چرا**[2]). نوع دوم نیز با بقایای کم و بیش تجزیه شدهٔ موجودات جانوری و یا گیاهی مرده‌ای که توسط **گند خواران**[3] مصرف می‌شود، شروع می‌گردد (**زنجیره‌های لاش و لاشبرگ یا تجزیه**[4]). در مورد زنجیره‌های نوع اول که (با گیاهان سبز آغاز می‌شوند)، طبقه بندی زیر قابل تشخیص است (شکل ۱-۳):

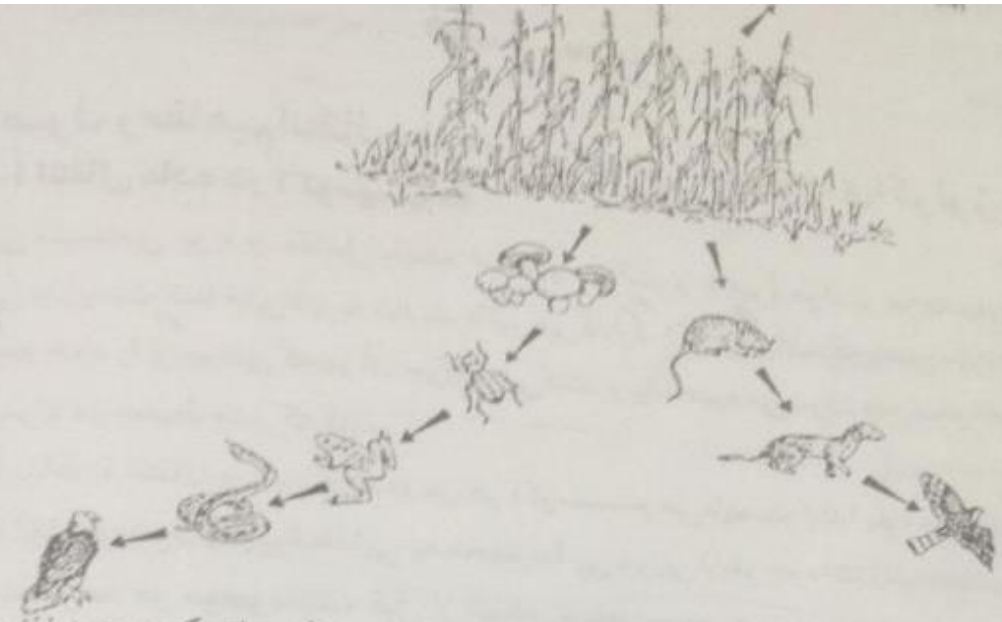
الف) تولید کنندگان: تولید کنندگان به گیاهان کلروفیلی گفته می‌شود. به عبارت دیگر شامل موجودات زنده‌ای هستند که قادرند انرژی حاصل از نور خورشید را به صورت انرژی شیمیایی در طی فرایند فتوسنتز به صورت مواد آلی در خود ذخیره کنند (چربی‌ها، هیدراتهای کربن و پروتئین‌ها) (شکل ۲-۳).

این عمل در محیط‌های آبی توسط آلگ‌های میکروسکوپی، فیتوپلانکتون‌ها و گیاهان آبزی صورت می‌گیرد.

ب) مصرف کنندگان ردیف اول (سطح اول): مصرف کنندگان ردیف اول از موجوداتی

1- Food Chains 2- Grazing Food Chain 3- Saprophages

4- Detritus Food Chain



شکل ۱-۳: زنجیره غذایی ساده که با گیاهان آغاز می‌شود. عناصر غذایی از یک موجود زنده به موجود زندهٔ دیگر در طی زنجیره‌های غذایی منتقل می‌شوند(۵۳).

هستند که از تولید کنندگان اتوتروف (خود غذا ساز) تغذیه می‌کنند. این گروه از موجودات معمولاً شامل علفخواران می‌باشند. در محیط‌های زمینی علفخواران غالباً شامل حشرات، پستانداران، جوندگان و سُمداران می‌باشند. در محیط‌های دریایی و آبهای شیرین مهمترین علفخواران عبارتند از خرچنگ‌های کوچک اندام و نرم تنانی که از فیتوپلانکتون‌ها تغذیه می‌کنند.

ج) مصرف کنندگان ردیف دوم (سطح دوم) موجوداتی هستند که با اتکاء به مصرف کنندگان ردیف اول یا علفخواران به زندگی خود ادامه می‌دهند. بنابراین، این دسته از موجودات شامل گوشتخوارانند که در گروه‌های بسیار متنوعی طبقه بندی می‌شوند.

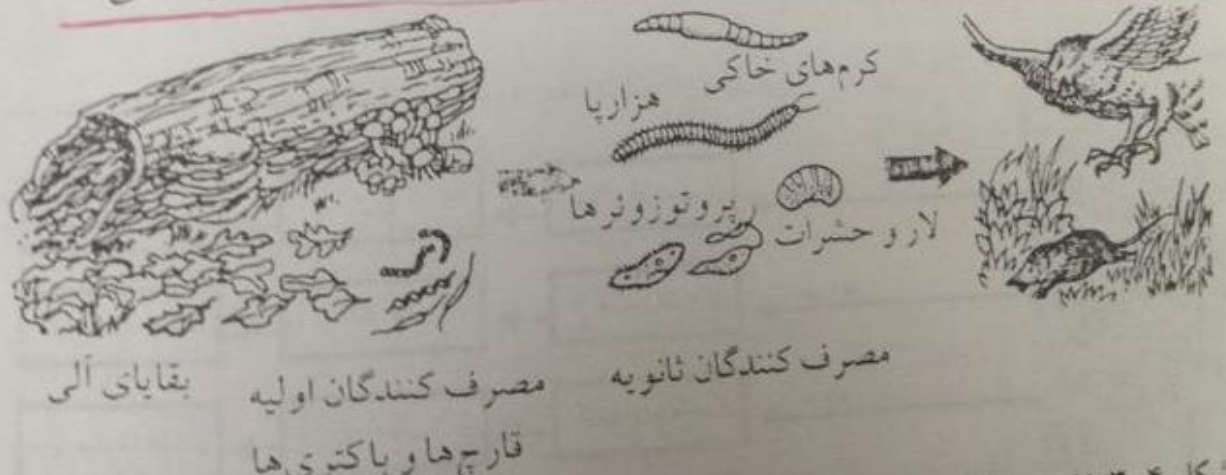
د) مصرف کنندگان ردیف سوم (سطح سوم): گوشتخوارانی هستند که از سایر گوشتخواران و یا به عبارت دیگر از مصرف کنندگان ردیف دوم تغذیه می‌کنند. مصرف کنندگان ردیف دوم و سوم ممکن است شامل موجودات شکارچی باشند و یا انگل‌ها و موجوداتی باشند که از اجساد مرده تغذیه می‌کنند. به همان ترتیبی که در بالا شرح داده شد، می‌توان مصرف کنندگان ردیف‌های چهارم و پنجم و غیره را هم مشخص نمود (شکل ۳-۳).

۵) تجزیه کنندگان: تجزیه کنندگان آخرین حلقهٔ زنجیره غذایی را تشکیل می‌دهند. مهمترین افراد این گروه، میکروارگانیسم‌هایی هستند (نظیر باکتری‌ها، مخمرها، قارچ‌ها) که به اجساد و فضولات بر جا مانده از موجودات یورش برده و با تجزیهٔ آنها، بازگشت تدریجی عناصر معدنی موجود در مواد آلی را به محیط تضمین می‌نماید.

قارچ‌ها عمدتاً در تجزیه مواد سلولزی گیاهی دخالت می‌کنند در حالی که باکتری‌ها به جسد جانوران حمله می‌کنند. در زنجیرهٔ غذایی طعمه جویان، تولید کنندگان توسط جانوران علفخوار مصرف می‌گردند. این جانوران خود توسط گوشتخواران کوچک جثه‌ای که خود به مصرف گوشتخواران بزرگ جثه می‌رسند، شکار می‌گردند و زنجیرهٔ غذایی به همین ترتیب ادامه پیدا می‌کند. به تدریج که در طول زنجیره غذایی طعمه جویان پیش می‌رویم، مشاهده می‌کنیم که لااقل در موارد کلی، افراد درشت جثه‌تر شده ولی از تعدادشان کاسته می‌شود.

زنجیره‌های نوع دوم نیز معمولاً با مواد آلی غیر زنده آغاز می‌گردند و مصرف کنندگان ردیف اول در این قبیل موارد، گندخواران (ساپروفاژها) هستند (شکل ۴-۳).

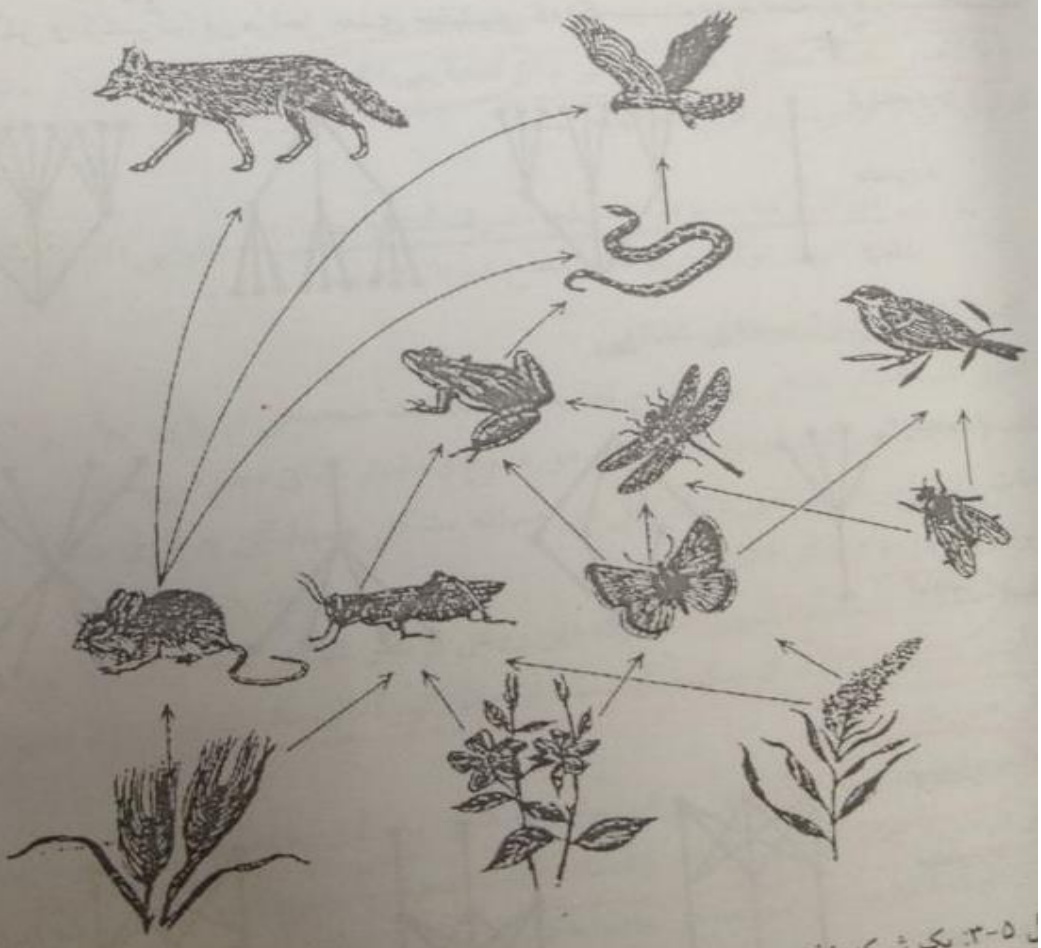
این زنجیره‌های غذایی در اعماق ژرف دریاها و نقاط تاریک غارها که به علت عدم وجود نور کافی گیاهان کلروفیلی قادر به رشد نیستند، دیده می‌شوند. همچنین زنجیره‌های غذایی زیر خاک از این نوع هستند. در این گونه محیط‌ها، ساپروفیت‌های غالب علاوه بر قارچ‌ها و باکتری‌ها عبارتند از کرم‌های خاکی و بند پایان. یکی از پدیده‌های مهمی که در خاک رُخ می‌دهد عبارت است از فرایند **کوپروفاژی**[1]. بسیاری از جانوران، فضولات و مواد زائد خود را پس از آن که در طی مدت استقرارشان در خاک از باکتری‌ها و قارچ‌ها غنی شدند، مجدداً مصرف می‌کنند.



شکل ۴-۳: زنجیره غذایی ساده که با بقایای آلی آغاز می‌شود. در این حالت تجزیه کنندگان در آخرین جزء زنجیره قرار نگرفته‌اند. باکتری‌ها و قارچ‌هایی که روی بقایای آلی فعالیت می‌کنند، از طریق آزاد سازی عناصر غذایی امکان بقای موجودات خاکزی را فراهم می‌نمایند. این مواد قابل انتقال به سایر

زنجیره‌های غذایی از تعداد مختلفی حلقه تشکیل شده‌اند و معمولاً تعداد حلقه‌ها حداقل ۳ تا ۵ عدد می‌باشد. زنجیره‌های غذایی مستقل از یکدیگر نبوده و در یک جامعهٔ طبیعی گونه‌های زیادی از موجودات زنده را می‌توان یافت که از انواع مختلف منابع غذایی استفاده می‌کنند. یعنی برخی از حلقه‌ها بین آنها مشترک‌اند. در نتیجه زنجیره‌های غذایی با هم تداخل می‌یابند و یک **شبکهٔ غذایی**[1] را تشکیل می‌دهند (شکل ۵-۳).

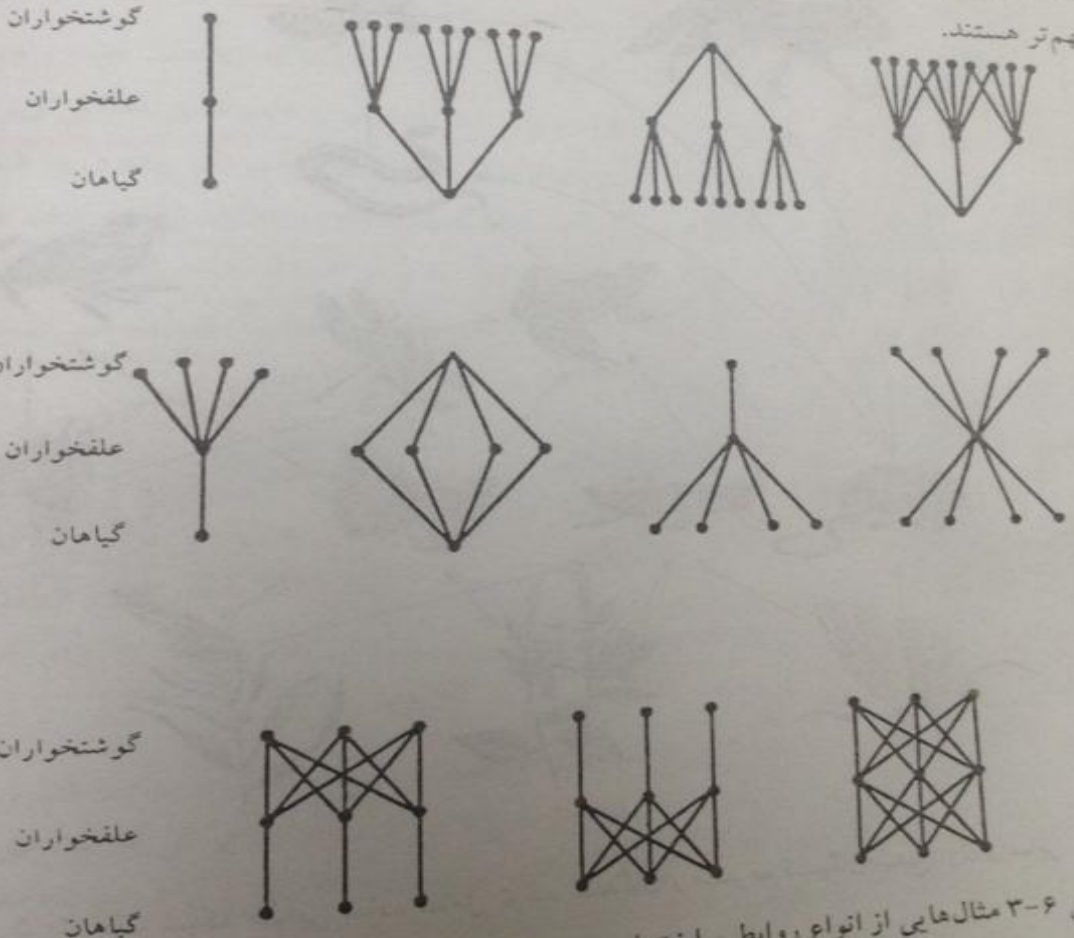
این فراوانی باعث می‌شود که حیات موجودات در اثر از بین رفتن یک یا چند ماده غذایی با اشکال مواجه نشود. تغذیهٔ انسان از ماهی‌ها، طیور، دام‌ها و گیاهان باعث تداخل زنجیره‌های مختلف زمینی و آبی با یکدیگر می‌شود.



ل ۵-۳: یک شبکه غذایی ساده شامل

در مراحل ابتدایی جانشینی (توالی)، زنجیره‌های غذایی کوتاه و خطی هستند و به راحتی قابل تخریب‌اند چون اگر یکی از ارتباطات قطع شود، جایگزینی برای آن وجود ندارد. همزمان با گذشت زمان و افزایش تنوع موجودات زنده، ساختار غذایی اکوسیستم کامل‌تر شده و زنجیره‌های غذایی طولانی‌تر تشکیل می‌شوند و به یکدیگر متصل می‌گردند. در نتیجه شبکه‌های غذایی بسیار پیچیده به وجود می‌آیند. در شکل ۶-۳ الگوهای مختلفی از شبکه‌های غذایی نشان داده شده است.

هر چه ساختار غذایی اکوسیستم پیچیده‌تر باشد، اکوسیستم پایدارتر می‌شود و اگر یکی از ارتباطات آن مختل گردد، جریان انتقال ماده و انرژی از مسیرهای دیگری دنبال می‌گردد. زنجیره‌های غذایی چرا در مراحل اولیهٔ جانشینی اهمیت دارند در حالی که زنجیره غذایی تجزیه کنندگان (لاش و لاشبرگ) در مراحل بعدی جانشینی که اکوسیستم به مرحلهٔ بلوغ رسیده است، مهم‌تر هستند.



شکل ۶-۳ مثال‌هایی از انواع روابط ساختمانی که بین گونه‌های مختلف یک شبکه غذایی دیده می‌شوند. هریک از دایره‌ها نشان دهندهٔ یک گونه هستند که از یکدیگر تغذیه می‌کنند (۳۸).

۳-۱-۱ سطح تغذیه‌ای[1]

گیاهان اولین سطح زنجیره غذایی را تشکیل می‌دهند. هنگامی که در یک زنجیرهٔ غذایی چند موجود زندهٔ مختلف با تعداد مراحل تغذیه‌ای یکسان از سطح گیاهان جدا شده باشند، می‌گویند این موجودات به یک سطح تغذیه‌ای تعلق دارند (یعنی سطح تغذیه‌ای عبارت است از فاصلهٔ هر یک از موجودات زنده نسبت به تولید کنندگان در یک زنجیرهٔ غذایی).

یک موجود زنده ممکن است به طور همزمان به چندین سطح تغذیه‌ای مختلف تعلق داشته باشد. مثلاً شیخک (حشره طعمه جو) قادر است یا از ملخ‌های علفخوار متعلق به سطح دوم تغذیه‌ای سدجوع نماید و یا از برخی بند پایان گوشتخوار که متعلق به سطح سوم غذایی می‌باشند، استفاده نماید. در حالت اول این حشره جزء سطح سوم تغذیه‌ای بوده و در حالت دوم جزء سطح چهارم تغذیه‌ای به شمار خواهد رفت.

با کاهش تعداد سطوح غذایی می‌توان **کارآیی اکولوژیکی**[2] را افزایش داد. کارآیی اکولوژیکی از فرمول زیر قابل محاسبه است:

$$\text{کارآیی اکولوژیکی} = \frac{\text{میزان تولید مربوط به سطح مصرف کننده (صیاد)}}{\text{میزان تولید مربوط به سطح میزبان (صید)}} \times ۱۰۰$$

۳-۱-۲ تعیین رژیم‌های غذایی

تعیین شبکه‌های غذایی و سطوح تغذیه‌ای، شناخت صحیحی از رژیم غذایی گونه‌های مختلف را ایجاب می‌کند. لیکن تاکنون در مورد نوع و مقدار غذای مصرفی بخش اعظم گونه‌ها، اطلاعات دقیقی در دست نمی‌باشد. حلّ این مسئله مشکل بوده لیکن به طرق مختلف می‌توان با آن برخورد نمود(۳و۳۵و۳۷).

الف) مشاهدهٔ مستقیم: بدیهی است که این روش از نظر تئوری ساده‌ترین راه است، لیکن کاربرد آن در مورد حیوانات کوچک و آن دسته از جانورانی که نزدیک شدن به آنان دشوار است، به سختی صورت می‌گیرد.

ب) معاینهٔ محتویات معده: این روش بیشتر در مورد پرندگان به کار برده می‌شود. استفاده از این روش در مورد جانوران آبزی نیز نسبتاً ساده است. معهذا بایستی توجه داشت که این روش معایبی نیز دارد. غالباً مواد باقیمانده در معده به دشواری قابل تشخیص است و اگر حیوان مورد بررسی تنها بخش‌های سیال شکار خود را جذب نموده باشد، امکان اشتباه بسیار است.

ج) استفاده از رادیو ایزوتوپ‌ها: با استفاده از رادیو ایزوتوپ‌ها (مواد رادیواکتیو) نظیر

1- Trophic Level
2- Ecological Efficiency

فسفر-۳۲ یا سزیم-۱۳۷، می‌توان رژیم‌های غذایی موجودات زندهٔ زنجیره‌های غذایی و شبکه‌های غذایی را مطالعه نمود. در این روش گیاهان و یا طعمه‌های گوشتخواران به رادیو ایزوتوپ‌ها آغشته شده و سپس مسیر انتقال این مواد در حلقه‌های مختلف زنجیرهٔ غذایی از طریق ردیابی با دستگاههای مخصوص مشخص می‌گردد. روشی است دقیق که هیچ یک از روش‌های دیگر ویژگی‌های آن را ندارد.

۳-۱-۳ هرم‌های اکولوژیکی[۱]

اغلب اکوسیستم‌ها دارای تعداد بسیار زیادی زنجیرهٔ غذایی و شبکه‌های غذایی پیچیده هستند و بررسی و تعیین الگوهای جریان انرژی و ماده بین تک تک افراد آنها چندان ساده نیست. لذا برای انجام تحلیل‌های لازم بهتر است دسته بندی‌های خاصی انجام شود. مقدار مادهٔ موجود در هر سطح غذایی را می‌توان با استفاده از نمودار به صورت هرم‌های اکولوژیکی نشان داد (بهترین روش نشان دادن وضعیت آماری هر جامعه از جنبه‌های مختلف، ترسیم نمودار یا هیستوگرام است که در مطالعات زیست محیطی از هرم‌های اکولوژیکی استفاده می‌شود)(۳و۱۳و۳۵و۳۷).

هرم‌های اکولوژیکی تشکیل شده‌اند از مستطیل‌هایی که عرضشان یکسان بوده ولی طول آنها متغیر و مُبیّن میزان هر یک از پارامترهای مورد بررسی در سطوح مختلف زنجیره غذایی می‌باشد. ساختمان تغذیه‌ای یک اکوسیستم یا یک زنجیرهٔ غذایی را می‌توان یا برحسب تعداد افراد یا برحسب مقدار بیوماس و یا برحسب انرژی تعیین نمود. بنابراین انواع هرم‌های اکولوژیکی عبارتند از:

الف) هرم تعداد[۲]: در یک زنجیرهٔ متشکل از طعمه جویان، اگر مستطیل‌های افقی و هم عرض نشان دهندهٔ هر یک از سطوح تغذیه‌ای را طوری بر روی یکدیگر قرار دهیم که طول این مستطیل‌ها نشان دهندهٔ تعداد افراد موجود در هر سطح غذایی باشد، شکلی به دست خواهد آمد موسوم به هرم تعداد که هر چه زنجیره دارای تعداد بیشتری سطوح تغذیه‌ای باشد، ارتفاع این هرم نیز بیشتر خواهد بود. این نوع از هرم‌ها اوّلین بار در سال ۱۹۲۷ توسّط **التون**[۳] مطرح گردید.

در این هرم معمولاً تعداد افراد به تدریج از سطح اول تغذیه‌ای به سمت سطوح آخر کاهش پیدا می‌کند لذا شکل هرم به صورت مثلثی خواهد بود که رأس آن رو به بالا قرار دارد. دو نکتهٔ مهم در این نوع هرم‌ها دیده می‌شود.

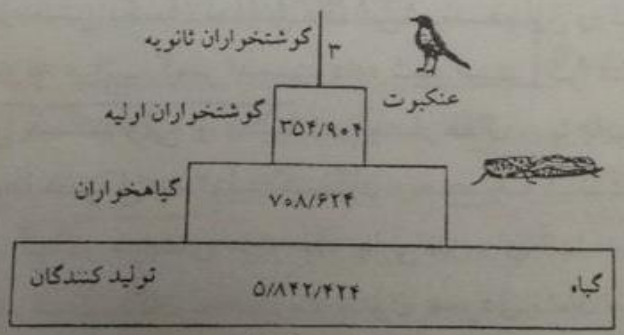
1- Ecological Pyramids 2- Pyramid of Number 3- Elton (1927)

نکته اول این که، در هر اکوسیستم تعداد جانوران کوچک جثه بیشتر از تعداد افراد بزرگ جثه است همچنین جانوران کوچک جثه با سرعت بیشتری زاد و ولد می‌کنند.

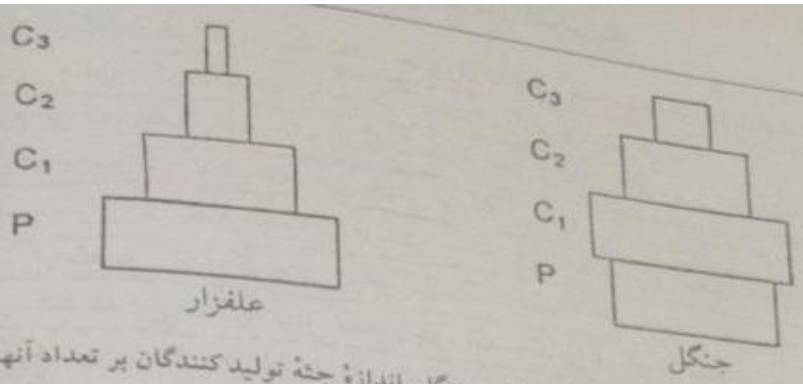
نکتهٔ دوم این که، طعمهٔ کلیهٔ جانوران گوشتخوار نمی‌تواند از حدّ معینی بزرگتر یا کوچکتر باشد. زیرا یک جانور نمی‌تواند طعمه‌ای خیلی بزرگتر از خود را از بین برده و مورد تغذیه قرار دهد. از طرف دیگر بزرگی جثه طعمه نیز بایستی به نحوی باشد که برای طعمه جو بازدهی کافی داشته باشد. اگر طعمه از اندام کوچکی برخوردار باشد، طعمه جو لاجرم بایستی تعداد بیشتری از آنان را صید کند که این خود به دلیل عدم وجود طعمهٔ کافی و یا به واسطهٔ نبودن وقت لازم، غیر ممکن است. برای مثال هر شیر درنده برای این که بتواند به حیات عادی خود ادامه دهد، سالیانه به ۵۰ گورخر احتیاج دارد. یا **مگس تسه تسه**[1] در منطقهٔ دریاچهٔ ویکتوریا به پستانداران و پرندگانی که قطر گلبول قرمز خون آنها بین ۷ تا ۱۸ میکرون است حمله می‌کند زیرا گلبول‌های بزرگتر، از دهانهٔ خرطوم مگس قادر به عبور نیستند.

هرم تعداد دارای ارزش توجیهی چندانی نیست زیرا با صرف نظر از اندازه و وزن، به کلیهٔ افراد به یک مقدار بهاء می‌دهد. نکتهٔ قابل توجه این است که اگر تولید کنندگان و یا موجودات مربوط به اولین سطح کوچک باشند رأس هرم به طرف بالا خواهد بود و اگر تولید کنندگان و یا موجودات متعلق به اولین سطح بزرگ جثه باشند رأس هرم به طرف پایین (معکوس) خواهد بود (شکل ۷-۳ و ۸-۳).

ب) هرم بیوماس[2]: در این نوع هرم، وزن موجودات حاضر در هر سطح غذایی مورد توجه قرار می‌گیرد. عموماً وزن تولید کنندگان بر وزن علفخواران و وزن علفخوران بر وزن گوشتخواران غلبه دارد. بنابراین در اغلب اوقات هرم بیوماس به شکل مثلثی است که رأس آن رو به بالاست. لیکن در موارد استثنایی در بعضی اکوسیستم‌ها دیده می‌شود که رأس آن رو به پائین قرار گرفته است (شکل ۹-۳).



شکل ۷-۳: هرم تعداد(۵۴).

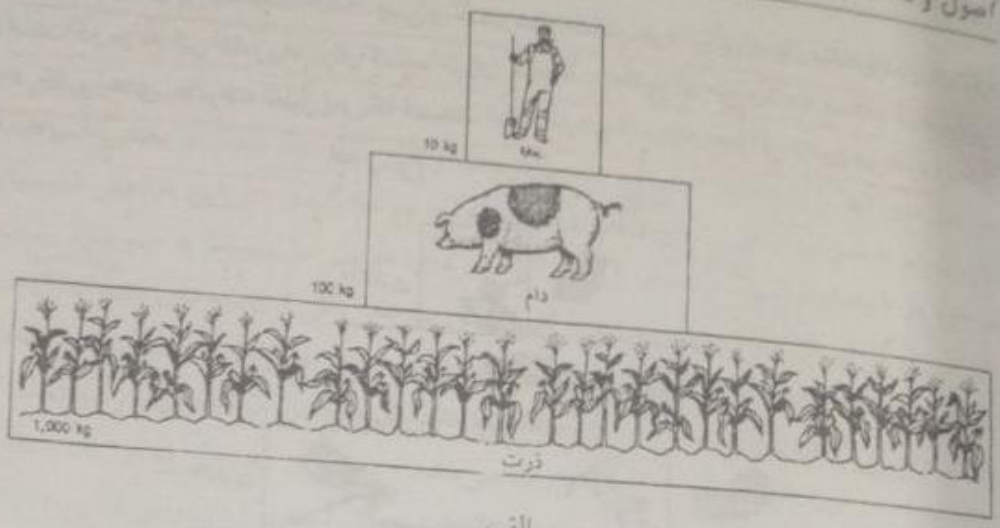


شکل ۸-۳. هرم تعداد در دو منطقهٔ علفزار و جنگل. اندازهٔ جثهٔ تولید کنندگان بر تعداد آنها مؤثر است و شکل هرم را تغییر می‌دهد(۴۸).

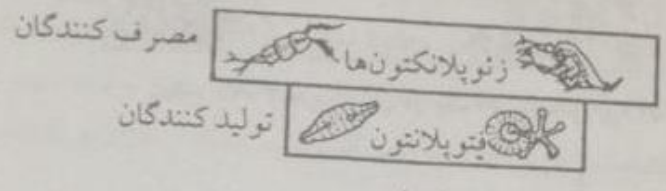
مورد اخیر ممکن است در دو حالت پیش آید. اولاً در حالتی که اندازه‌گیری‌ها در سطوح بسیار محدود و کوچک انجام شود و ثانیاً در حالتی که تولید کننده‌ها اندازهٔ بسیار کوچک و میزان رشد بسیار سریعی دارند. برای مثال در اکوسیستم‌های آبی بیوماس فیتوپلانکتون‌ها ممکن است از بیوماس زئوپلانکتون‌ها کمتر باشد و زئوپلانکتون‌ها نیز، از ماهی‌ها کمتر باشند. از آنجایی که هرم بیوماس نشان دهندهٔ مقدار مادهٔ زنده در هر یک از سطوح تغذیه‌ای می‌باشد، لذا نسبت به هرم تعداد مفیدتر است. لیکن بر این نوع نحوهٔ ارائه نیز ایراداتی وارد می‌شود. اول این که در این روش کلیهٔ اعضاء و انواع بافت‌های موجودات دارای اهمیّت یکسانی هستند، در حالی که هر یک از بافت‌ها و اعضاء دارای ترکیب شیمیایی مخصوص به خود بوده و قابلیت انرژی زایی متفاوتی دارند. دومین نقطه ضعف این روش، چشم پوشی کردن از عامل زمان می‌باشد. زیرا بیوماس اندازه‌گیری شده ممکن است در طی چندین روز تولید و انباشته شده باشد (مثل گیاهان علفی) و یا این که طی چندین ده سال به وجود آمده باشد (مثل جنگل‌ها) و این در حالی است که هر دو مورد با اهمیتی یکسان نمایش داده می‌شوند. در این روش، به‌خصوص به نقش باکتری‌های تجزیه کننده به مراتب کمتر اهمیت داده شده است زیرا میکروارگانیسم‌ها دارای بیوماس بی‌نهایت اندکی هستند ولی از متابولیسم بسیار فعّال و پویایی برخوردارند. بدیهی است که میکروارگانیسم‌ها همزمان به تولید کنندگان و مصرف کنندگان یورش می‌برند لذا بایستی به هنگام نمایش آنها در هرم‌های مربوطه، جایی نیز برای آنها در نظر گرفت به طوری که معمولاً آنها را در کنار مصرف کنندگان به صورت ستون عمودی نشان می‌دهند (شکل ۱۰-۳).

۳- هرم انرژی[1]: هرم انرژی بهترین نحوهٔ نمایش چگونگی کارکرد کلی جامعه می‌باشد. زیرا تعداد و وزن موجوداتی که در هر سطح غذایی وجود دارند، نه فقط بستگی به مقدار انرژی

1- Pyramid of Energy



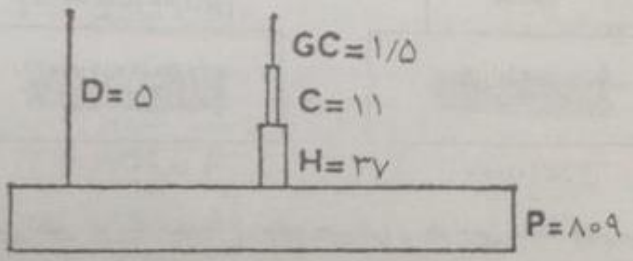
الف



(ب)

شکل ۹-۳: هرم بیوماس(۵۴).

الف) رأس هرم به طرف بالا ب) رأس هرم به طرف پائین

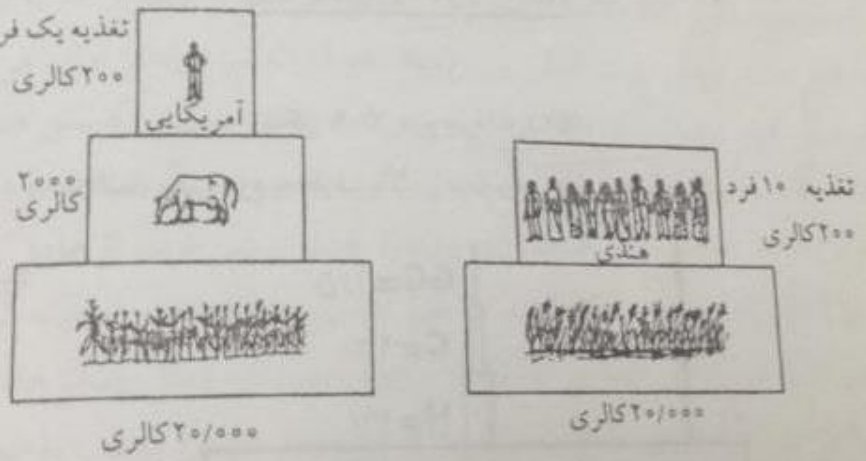


شکل ۱۰-۳ تعیین وضعیت تجزیه کنندگان در هرم‌های اکولوژیکی(۴۸).

تثبیتی در سطح تغذیه‌ای ما قبل خود دارد، بلکه به نسبتی که غذا تولید می‌شود نیز بستگی دارد. شکل هرم انرژی تحت تأثیر دو عامل بزرگی جثه و نسبت متابولیسم افراد قرار نداشته و اگر تمام‌منابع انرژی لحاظ گردد، شکل هرم با توجه به اصل دوم ترمودینامیک همیشه به شکل مثلثی خواهد بود که رأس آن رو به بالا قرار دارد. در این نوع هرم، هر یک از سطوح تغذیه‌ای تشکیل شده است از مستطیلی که طول آن متناسب است با مقدار انرژی که در واحد سطح (یا حجم) و در واحد زمان در آن سطح تغذیه‌ای ذخیره گردیده است (شکل ۱۱-۳).

در کشورهای پر جمعیت مانند چین و هندوستان شکل هرم انرژی بسیار ساده بوده و نشانگر آن است که مردم این کشورها برای کسب انرژی عمدتاً به منابع گیاهی وابسته هستند در صورتی که در کشورهای پیشرفته نظیر امریکا قسمت اعظم انرژی از منابع حیوانی تأمین می‌شود (شکل ۱۲-۳).

شکل ۱۱-۳. هرم انرژی در یک اکوسیستم آبی (۵۴).



شکل ۱۲-۳. جوامعی نظیر امریکا عمدتاً از منابع حیوانی و جوامعی مانند هندوستان از منابع گیاهی استفاده می‌کنند. نکتهٔ قابل توجه آن است که حذف شدن یکی از سطوح تغذیه‌ای، به مردم هندوستان اجازه می‌دهد که مقدار کالری به میزان حدود ۱۰ برابر بیش از آن چه که مردم امریکا از گیاهان کسب می‌نمایند، مستقیماً به دست آورند (۵۴).