

## فهرست مطالب

۶۲	۳-۲- نظریه اکوسیستم.....
۶۴	۵-۲- نظریه سایبرنتیک.....
۶۵	۶-۲- نظریه اطلاعات.....
۶۷	۷-۲- نظریه شبکه.....
۶۸	۸-۲- نظریه ترمودینامیک.....
۷۰	۹-۲- نظریه خودسازماندهی.....
۷۳	۱۰-۲- تلفیق نظریه‌های یاد شده.....
۷۷	فصل ۴. ویژگی‌های سیستمی اکوسیستم‌ها.....
۷۷	۱-۴- مقدمه.....
۷۸	۲-۴- پیچیدگی.....
۸۲	۳-۴- عدم قطعیت.....
۸۴	۴-۴- تکمیل‌کنندگی.....
۸۶	۵-۴- کل‌گرایی.....
۹۳	فصل ۵. رویکرد سیستمی به رابطه میان انسان و اکوسیستم‌ها.....
۹۳	۱-۵- مقدمه.....
۹۵	۲-۵- دیدگاه جریان‌های فیزیکی.....
۹۷	۳-۵- دیدگاه نظام دست‌اندرکار.....
۹۹	۴-۵- تلفیق دو دیدگاه جریان‌های فیزیکی و نظام دست‌اندرکار.....
۱۰۰	۵-۵- چارچوب مفهومی پیشنهادی برای تجزیه و تحلیل سیستمی رابطه.....
۱۰۰	میان انسان و اکوسیستم‌ها.....
۱۰۲	۶-۵- کاربرد مدل‌سازی در تجزیه و تحلیل سیستمی رابطه میان انسان و اکوسیستم‌ها.....
۱۰۹	فصل ۶. فرآیند تجزیه و تحلیل سیستمی اکوسیستم‌ها.....
۱۰۹	۱-۶- مقدمه.....
۱۰۹	۲-۶- مراحل تجزیه و تحلیل سیستمی اکوسیستم‌ها.....
۱۱۱	۳-۶- مثالی از اجرای فرآیند تجزیه و تحلیل سیستمی اکوسیستم‌ها.....

۱	فصل ۱. مفاهیم پایه‌ای رویکرد سیستمی.....
۱	۱-۱- مقدمه.....
۲	۲-۱- سیستم.....
۱۷	۳-۱- تجزیه و تحلیل سیستمی.....
۲۵	فصل ۲. رویکرد سیستمی به اکوسیستم‌ها.....
۲۵	۱-۲- مقدمه.....
۲۶	۲-۲- اجرای اکوسیستم.....
۲۸	۳-۲- ساختار اکوسیستم.....
۲۹	۴-۲- کارکرد اکوسیستم.....
۳۰	۵-۲- توالی اکوسیستم.....
۳۳	۶-۲- تکامل اکوسیستم.....
۴۰	۷-۲- ثبات اکوسیستم.....
۴۵	۸-۲- پایداری اکوسیستم.....
۴۷	۹-۲- سلامتی اکوسیستم.....
۵۰	۱۰-۲- یکپارچگی اکوسیستم.....
۵۲	۱۱-۲- اثرات انسان بر اکوسیستم.....
۵۵	فصل ۳. نظریه‌های مرتبط با رویکرد سیستمی به اکوسیستم‌ها.....
۵۵	۱-۳- مقدمه.....
۵۶	۲-۳- نظریه عمومی سیستم‌ها.....
۵۸	۳-۳- نظریه عمومی سیستم‌های زنده.....

## مفاهیم پایه‌ای رویکرد سیستمی

۱

### ۱-۱- مقدمه

واژه اکولوژی، اول بار، در سال ۱۸۶۹ توسط زیست‌شناس آلمانی، ارنست هکل<sup>۱</sup>، به کار گرفته شد، اما اکولوژی به مثابه یک رشته علمی حدود ۱۰۰ سال پیش توسط ال‌اسوالو<sup>۲</sup>، استاد شیمی دانشگاه M.I.T، بنیان‌گذاری شده. اکولوژی به مطالعه کنش و واکنش<sup>۳</sup> میان موجودات زنده با یکدیگر و با محیط بی‌جان آنها شامل نور خورشید، دما، رطوبت و عناصر غذایی حیاتی می‌پردازد. اکولوژیست‌ها می‌کوشند تا کنش و واکنش میان موجودات زنده، جمعیت‌ها، جامعه‌ها، اکوسیستم‌ها و اکوسفر را درک نمایند.

اکولوژی سیستمی<sup>۴</sup> در دهه ۱۹۵۰ به جامعه علمی معرفی گردید، اما از اواسط دهه ۱۹۶۰ پس از آنکه شعله بحث‌های زیست محیطی در کتاب‌های معروفی مانند بهار خاموش اثر راشل کارسون<sup>۵</sup> به سال ۱۹۶۲ زبانه کشید، به رویکردی<sup>۶</sup> فراگیر بدل شد. کتاب محدودیت‌های رشد اثر میدوز<sup>۷</sup> و همکاران به سال ۱۹۷۲ را نیز باید از اولین و مهمترین ادبیات انتشار یافته در این زمینه برشمرد که ضرورت روی‌آوری به اکولوژی جدید و کل‌گرا را یادآور گردید.

توجه به اکوسیستم‌ها به منزله سیستم‌های پیچیده<sup>۸</sup> و از یک نقطه نظر کل‌گرا در طول دو دهه اخیر به واسطه نگرانی درباره محیط زیست گسترش چشمگیری یافته است. ما می‌خواهیم واکنش طبیعت را به اثراتی که بر آن وارد می‌کنیم، درک نماییم و اذعان داریم که روش‌های جزگرا<sup>۹</sup> از عهده حل مشکلات زیست محیطی بر نمی‌آیند، زیرا:

(الف) در اکوسیستم‌ها اثرات<sup>۱۰</sup> دوارز انتظار، یعنی اثراتی که دور از زمان و مکان مورد انتظارند، رخ می‌دهند و دلیل آن پیوندهای بی‌شمار میان اجزای<sup>۱۱</sup> اکوسیستم‌های مختلف و اثرات غیر مستقیمی است که در اکوسیستم‌ها وجود دارند.

(ب) اکوسیستم‌ها بسیار پیچیده‌اند و این امر موجب می‌شود که تجزیه و تحلیل<sup>۱۲</sup> و درک<sup>۱۳</sup> تمامی جزئیات آنها غیر ممکن گردد.

از این رو، باید از رویکرد دیگری سود جست که اکولوژی سیستمی خوانده می‌شود و بر ویژگی‌های کل اکوسیستم تأکید دارد. به عبارت دیگر، اکولوژی سیستمی به ما یاری می‌دهد تا واکنش اکوسیستم‌ها

- |                   |                  |                   |                    |
|-------------------|------------------|-------------------|--------------------|
| 1- Ernst Haeckel  | 2- Ellen Swallow | 3- Interaction    | 4- System Ecology  |
| 5- Rachel Carson  | 6- Approach      | 7- Meadows et al. | 8- Complex Systems |
| 9- Reductionist   | 10- Effects      | 11- Components    | 12- Analysis       |
| 13- Understanding |                  |                   |                    |

فصل ۷. کاربرد رویکرد سیستمی به تجزیه و تحلیل اکوسیستم‌ها.....	۱۱۷
۱-۷- مقدمه.....	۱۱۷
۲-۷- رویکرد سیستمی به مدیریت اکوسیستم‌ها.....	۱۱۸
۳-۷- مهندسی اکولوژیکی: ابزار کاربرد رویکرد سیستمی به اکوسیستم‌ها.....	۱۱۹
۴-۷- کاربرد مفاهیم مرتبط با رویکرد سیستمی به اکوسیستم‌ها در مهندسی اکولوژیکی.....	۱۲۴
۵-۷- کاربرد نظریه‌های مرتبط با رویکرد سیستمی به تجزیه و تحلیل اکوسیستم‌ها در مهندسی اکولوژیکی.....	۱۲۹
واژه‌نامه.....	۱۳۷
کتابنامه.....	۱۴۳

(الف) فون برتالانفی<sup>۱</sup> که قبل از جنگ جهانی دوم، نظریه عمومی سیستم‌ها<sup>۲</sup> را بنیان‌گذار و انجمن مطالعه سیستم‌های عمومی را تأسیس نمود.

(ب) نوربر وینر<sup>۳</sup> استاد دانشگاه MIT، که در ساخت و کاربرد دستگاه‌های نشانه‌گیری خودکار برای توپ‌های ضد هوایی شرکت داشت و در سال ۱۹۴۸ کتاب معروف خود به نام سایبرنتیک<sup>۴</sup> را منتشر کرد.

(ج) شانون<sup>۵</sup> مهندس مخابرات و ارتباطات راه دور که کتاب مهمی با نام «نظریه ریاضی ارتباطات» را انتشار داد.

(د) مک‌کولای<sup>۶</sup> که متخصص اعصاب و روان بود و دامنه تحقیقات خود را به ریاضیات و مهندسی گسترش داد و علم جدیدی به نام بیونیک<sup>۷</sup> را پایه‌ریزی نمود.

(ه) فورستر<sup>۸</sup> که مهندس برق و بنیان‌گذار «نظریه پویایی عمومی سیستم‌ها» بود و کارهای وی منشأ گزارش باشگاه رم تحت عنوان «محدودیت‌های رشد» شد که در سال ۱۹۷۲ منتشر گردید.

به اعتقاد فون برتالانفی سیستم عبارت از مجموعه واحدهایی است که میان این واحدها ارتباط متقابل وجود دارد. دوسوسور<sup>۹</sup> از پیشگامان دانش زبان‌شناسی، سیستم را کُل<sup>۱۰</sup> سازمان‌یافته‌ای می‌داند که دارای عناصر متعددی است و این عناصر را فقط در ارتباط با یکدیگر و براساس جایگاهی که در این کُل دارند می‌توان تعریف نمود. به عقیده لوزورن<sup>۱۱</sup>، سیستم مجموعه‌ای از عناصر به‌شمار می‌رود که این عناصر با مجموعه‌ای از روابط به هم ارتباط می‌یابند.

به اجمال می‌توان گفت، یک سیستم مجموعه‌ای از اجزاست که این اجزا به شیوه‌ای منظم و از نظر تئوری قابل پیش‌بینی با هم کنش و واکنش دارند و بدین ترتیب، کارکرد<sup>۱۲</sup> واحدی را ارائه می‌نمایند. بین اجزای یک سیستم وابستگی متقابل<sup>۱۳</sup> وجود دارد و به همین دلیل یک کُل از این اجزا پدید می‌آید که ویژگی‌های آن متفاوت از ویژگی‌های اجزای سیستم می‌باشد. بنابراین، در تعریف سیستم سه نکته اساسی وجود دارد:

- (الف) سیستم مجموعه‌ای از اجزاست.  
 (ب) بین این اجزای فراوان روابط متقابل وجود دارد.  
 (ج) این مجموعه یک کُل را پدید می‌آورد که دارای ویژگی‌هایی متفاوت از اجزای خود می‌باشد.

## ۱-۲-۱- اجزای سیستم

### ۱۳-۱-۱-۱-۲-۱- ستانده

همه سیستم‌ها دارای داده‌هایی هستند که به صورت ماده<sup>۱۵</sup>، انرژی<sup>۱۶</sup> و اطلاعات<sup>۱۷</sup> به آنها وارد می‌شود.

1- Von Bertalanffy	2- General Systems Theory	3- Norbert Wiener	4- Cybernetics
5- Shannon	6- Mc Cullach	7- Bionics	8- Forrester
9- De Saussure	10- Whole	11- Lesourne	12- Function
13- Interdependence	14- Input-Output	15- Matter	16- Energy
17- Information			

## رویکرد سیستمی به تجزیه و تحلیل اکوسیستم‌ها

را به اثراتی که بر آنها وارد می‌کنیم درک نماییم، بدون اینکه از تمام جزئیات آنها آگاه باشیم. این کار درست مانند این است که تلاش کنیم واکنش‌های انسان را درک نماییم، بدون آنکه از تمامی ویژگی‌های همه سلول‌های بدن انسان و همه واکنش‌های بیوشیمیایی داخل سلول‌ها آگاهی داشته باشیم. این رویکرد علمی مضمّن آن است که ما قادر نیستیم یک توصیف<sup>۱</sup> کامل از اکوسیستم‌ها ارائه نماییم، به طوری که تمامی جنبه‌های آنها را در برگیرد. ما تنها قادریم یک توصیف جزئی از اکوسیستم‌ها عرضه کنیم، به طوری که این توصیف برخی جنبه‌های اکوسیستم را پوشش دهد.

رویکرد کل‌گرا به اکوسیستم‌ها تحت واژه‌ها و عبارات مفهومی مختلف مانند تجزیه و تحلیل اکوسیستم<sup>۲</sup>، اکولوژی اکوسیستمی<sup>۳</sup>، اکولوژی پیچیده<sup>۴</sup>، پژوهش اکوسیستمی<sup>۵</sup> و رویکرد اکوسیستمی<sup>۶</sup> خوانده شده است. تنوع اصطلاحات یاد شده ناشی از نقطه نظرهای مختلف درباره بررسی کل‌گرای سیستم‌های اکولوژیکی است. گوناگونی مذکور به خاطر بین رشته‌ای بودن علوم محیط زیست نیز می‌باشد.

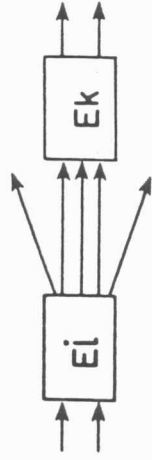
این نگاه اکولوژیکی کل‌گرا به منابع طبیعی و محیط زیست بیان می‌کند که فعالیت‌ها و بهره‌برداری‌های انسان در داخل اکوسیستم‌ها و نه خارج از آنها صورت می‌گیرد. علاوه بر این، رویکرد سیستمی به اکوسیستم‌ها انسان را از نوع پرستی و خودمحوری بر حذر می‌دارد و تأکید می‌نماید که حفظ سلامتی و سرزندگی اکوسیستم‌ها برای پایداری اقتصادی ضروری است و فواید درازمدت اقتصادی بر عواید کوتاه مدت مالی مقدم هستند. این رویکرد از مزایای ذیل برخوردار است:

- (الف) حمایت از سرمایه‌های طبیعی  
 (ب) حمایت درازمدت از اکوسیستم‌ها و فرایندهای اکولوژیکی  
 (ج) حفظ تنوع بیولوژیکی  
 (د) استفاده و بهره‌برداری پایدار از منابع  
 (ه) شناخت و حمایت از دانش سنتی، عرف‌ها، هنجارها و فعالیت‌های مردم محلی  
 به اجمال می‌توان گفت، رویکرد سیستمی به اکوسیستم‌ها یکی از ابزارهای نیل به پایداری آنها یا توسعه پایدار به شمار می‌رود.  
 در این فصل، چارچوب مفهومی رویکرد سیستمی ارائه می‌گردد تا سنگ‌بنای یک دیدگاه فلسفی و تعریف اصطلاحات، واژه‌ها و مفاهیم مرتبط با رویکرد یاد شده گذارده شود.

## ۲-۱- سیستم

مفهوم جدید سیستم در خلال سه یا چهار دهه اخیر با تحقیقات علمی در شاخه‌های مختلف علوم و فنون، مسایل جنگ جهانی دوم و مطالعات مربوط به اقتصاد ملی کشورها پدید آمده است. در میان پدید آورندگان این مفهوم نام پنج دانشمند بیش از دیگران به چشم می‌خورد:

1- Description	2- Ecosystem Analysis	3- Ecosystem Ecology	4- System Ecology
5- Complex Ecology	6- Ecosystem Research	7- Ecosystem Approach	8- System



شکل ۲-۱. پیوند دو جزء یک سیستم، به‌طوری که ستانده‌های یک جزء پس از خروج از آن جزء به صورت داده به جزء دیگر وارد می‌شوند.

## ۲-۱-۲- جریان‌ها/فرآیندهای تبدیل<sup>۱</sup>

همان‌طور که اشاره شد، داده‌های سیستم با تخری معین در درون آن جریان پیدا می‌کنند. وقتی امکان شناخت دقیق ماهیت عملیاتی که در درون سیستم بر روی داده‌ها صورت می‌گیرد وجود نداشته باشد از اصطلاح «جعبه سیاه»<sup>۲</sup> استفاده می‌شود. در یک جعبه سیاه فقط رابطه بین داده‌هایی که به آن وارد می‌شود و ستانده‌هایی که از آن خارج می‌گردد را در نظر می‌گیرند. در ذیل، می‌کشیم تا این جعبه سیاه را بکشاییم.

در سیستم‌های پویا<sup>۳</sup> روابطی از ماده، انرژی و اطلاعات میان اجزای سیستم برقرار است که این روابط تحت نام پیوندها<sup>۴</sup> خوانده می‌شود. این پیوندها وقتی میان اجزای سیستم ایجاد می‌شود که یک ستانده معین که از یک جزء سیستم خارج می‌شود، در عین حال داده جزء دیگری از آن سیستم باشد و به آن جزء وارد گردد.

شکل ۲-۱ پیوند دو جزء یک سیستم را نشان می‌دهد. به‌طور کلی، همه داده‌های اجزای یک سیستم به منزله مؤلفه‌های یک بردار داده هستند. یعنی،  $I = (x_1, x_2, \dots, x_n)$  و همه ستانده‌های این اجزا به منزله مؤلفه‌های یک بردار ستانده می‌باشند. یعنی،  $O = (y_1, y_2, \dots, y_m)$ . بنابراین، در شکل ۲-۱، سه مؤلفه  $OE_i$  مؤلفه‌های  $IE_i$  نیز به شمار می‌روند. این شرایط از پیوند میان اجزای سیستم را می‌توان از نظر ریاضی با رابطه ذیل تشریح نمود:  $I(k) = K_{ik}O(k)$  در این رابطه ماتریس  $K_{ik}$  نشان می‌دهد که مؤلفه‌های بردار ستانده یک جزء از یک سیستم، با مؤلفه‌های بردار داده جزء دیگری از آن سیستم پیوند برقرار می‌نماید. اگر پیوندهای یاد شده میان اجزای سیستم وجود داشته باشد، آن را با عدد یک و در صورتی که وجود نداشته باشد، آن را با عدد صفر نمایش می‌دهیم. بدین ترتیب به یک ماتریس می‌رسیم:

$$K_{ik} = \begin{bmatrix} \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ \cdot & 1 & \dots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ 1 & \cdot & \dots & \cdot \end{bmatrix}$$

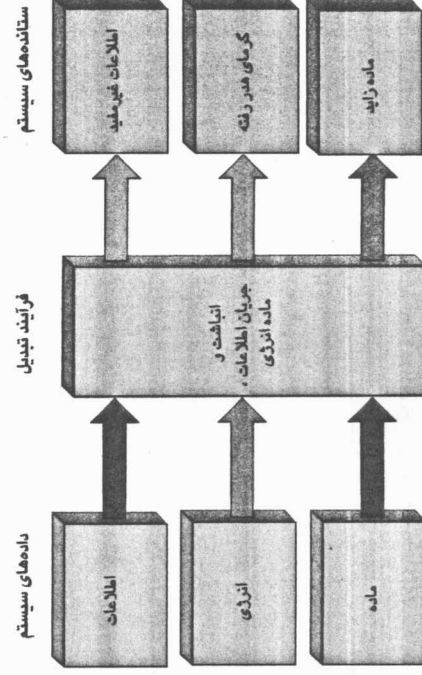
اگر فرض کنیم که هیچ جزئی از سیستم نمی‌تواند با خودش پیوند برقرار نماید ( $K_{ii} = K_{ii} = 0$ ) (والی آخر)، آنگاه، مجموع پیوندهای میان اجزای سیستم در قالب یک ماتریس ساختار به قرار ذیل قابل نمایش می‌باشد:

ماده هر چیزی است که وزن دارد و فضای فیزیکی را اشغال می‌کند. انرژی عبارت از توانایی انجام کار می‌باشد. براساس قانون اول ترمودینامیک، انرژی نه می‌تواند به‌وجود آید و نه می‌تواند از بین برود، بلکه از شکلی به شکل دیگر تبدیل می‌گردد. ماده ممکن است دارای انرژی جنبشی<sup>۱</sup> (وقتی که حرکت می‌کند و بر ماده دیگر نیرو وارد می‌نماید)، انرژی پتانسیل<sup>۲</sup> (به خاطر میدان ثقل خود)، یا انرژی جرم باقیمانده<sup>۳</sup> (انرژی که آزاد خواهد شد، اگر جرم به انرژی تبدیل شود) باشد. ماده و انرژی معادل هم هستند و یکی از آنها می‌تواند به دیگری تبدیل شود. از این رو، می‌توان از اصطلاح مرکب «ماده/انرژی» استفاده نمود.

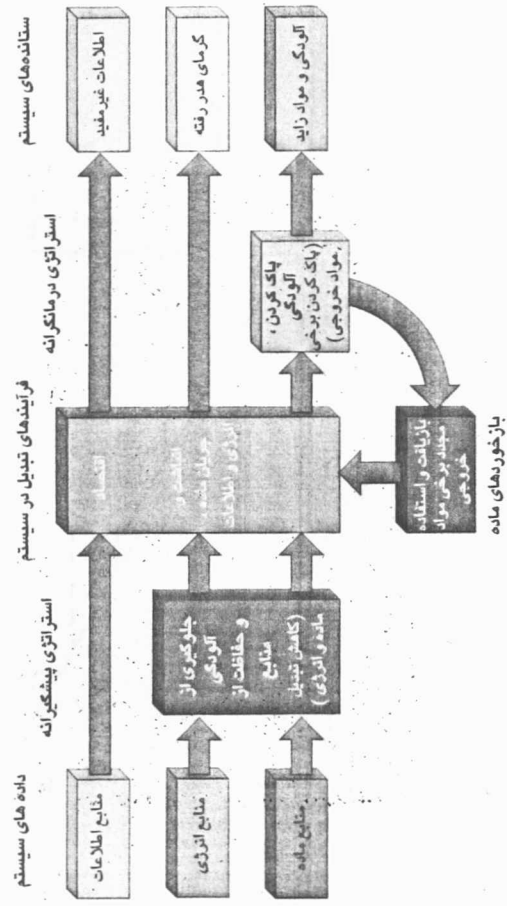
اطلاعات توسط شانون و ویپر<sup>۴</sup> به عنوان معیار عدم قطعیت یک رویداد و رفع این عدم قطعیت به وسیله یک پیام<sup>۵</sup> تعریف شده است. این پیام به معنی وسیع کلمه عبارت از هر اثری بدون توجه به نوع یا ماهیت فیزیکی آن می‌باشد و مستقل از سازوکار انتقال پیام است.

وقتی ماده، انرژی و اطلاعات به درون سیستم راه پیدا می‌کنند. می‌توانند در آن انباشته شوند. برای مثال، می‌توان از جمعیت نام برد که حاصل انباشت<sup>۶</sup> گروهی از افراد یک گروه معین می‌باشد که این افراد در یک زمان معین و در یک مکان معین با یکدیگر به سر می‌برند. اندازه یک جمعیت معین نشان‌دهنده انباشتی است که حاصل اختلاف خالص زادوولد و مرگ‌ومیر افراد آن جمعیت می‌باشد، البته با این فرض که مهاجرت به درون و بیرون جمعیت صورت نگیرد.

داده‌های سیستم با تخری معین در درون آن جریان پیدا می‌کنند. در نهایت این جریان‌های ماده، انرژی و اطلاعات از سیستم خارج می‌شوند و ستانده‌های سیستم را به‌وجود می‌آورند (شکل ۱-۱).



شکل ۱-۱. نمودار داده‌ها، جریان‌ها/فرآیندهای تبدیل و ستانده‌های ماده، انرژی و اطلاعات در یک سیستم.



شکل ۳-۱. نمودار داده‌ها، جریان‌ها، فرآیندهای تبدیل و ستانده‌های یک سیستم (اقتصادی) با دو استراتژی کاهش آلودگی.

می‌دهد. در این شکل، دو استراتژی کاهش آلودگی بر اساس رویکرد سیستمی تشریح شده است. استراتژی پیشگیرانه بر کنترل داده‌های سیستم استوار است. در این استراتژی کاهش یا حذف آلودگی و حفاظت منابع از طریق کاهش جریان‌های ماده و انرژی در درون سیستم اقتصادی مورد تأکید قرار می‌گیرد. استراتژی در مانگرانه با واکنش‌گرانه بر بازیافت یا استفاده مجدد از ستانده‌های سیستم مانند مواد زائد خروجی از آن تکیه می‌کند. در این استراتژی، پاک‌سازی آلودگی یا کنترل ستانده‌های سیستم از طریق کاهش آلاینده‌ها به سطح قابل قبول، پس از آنکه آلودگی ایجاد و از سیستم اقتصادی خارج گردید، صورت می‌گیرد.

۲-۲-۱- انواع سیستم بسته<sup>۱</sup> و سیستم‌های باز<sup>۲</sup>.  
در جهان واقعی، از نظر ارتباط سیستم‌ها با محیط خود می‌توان آنها را بر دو نوع دانست: سیستم‌های بسته<sup>۱</sup> و سیستم‌های باز<sup>۲</sup>.

در سیستم بسته انرژی و اطلاعات میان سیستم و محیط آن مبادله می‌شود، اما تبادل ماده صورت نمی‌گیرد. برای مثال، زمین یک سیستم بسته است که انرژی را از خورشید دریافت می‌کند، اما اساساً هیچ ماده‌ای به فضا روانه نمی‌کند و تقریباً مقادیر غیر قابل توجهی ماده از فضا به صورت غبارهای کیهانی و غیره دریافت می‌نماید.

یک سیستم باز ماده، انرژی و اطلاعات را با محیط خود مبادله می‌کند. انسان یک سیستم باز محسوب می‌شود که ماده را به صورت آب، غذا و هوا و نیز انرژی را به بدن خود وارد می‌کند و این

$$\begin{bmatrix} 0 & k_{12} & \dots & k_{1N} \\ k_{21} & 0 & \dots & k_{2N} \\ k_{N1} & k_{N2} & \dots & 0 \end{bmatrix}$$

از نظر علم سایبرنتیک، ساختار یا سازمان یک سیستم عبارت از مجموعه روابطی است که اجزای آن سیستم را با همه روابط هم‌شکل<sup>۱</sup> آنها ترکیب می‌کند.

پیوند اطلاعاتی میان اجزای سیستم‌هایی برقرار می‌شود که این سیستم‌ها از تنظیم سایبرنتیک برخوردارند و با سیستم‌های فیزیکی از نظر ظرفیت پردازش و مبادله اطلاعات تفاوت دارند. همچنین، ظرفیت تبدیل و مبادله ماده/انرژی آنها نیز با هم فرق دارد. این پیوند اطلاعاتی شامل تبدیل محرک‌های فیزیکی به ادراکات، شکل‌گیری مفاهیم، فرآیندهای قیاسی و استقرایی، یادگیری و نظریه‌پردازی است که بخشی از اطلاعات فرهنگی پردازش شده در سیستم‌های ابداعی بشر را تشکیل می‌دهند.

همان‌طور که پیشتر گفته شد، جریان‌های ماده، انرژی و اطلاعات وقتی از سیستم خارج می‌شود، ستانده‌های سیستم را به وجود می‌آورد. این ستانده‌ها به سینک<sup>۲</sup>‌هایی که در محیط سیستم قرار دارند، وارد می‌گردند.

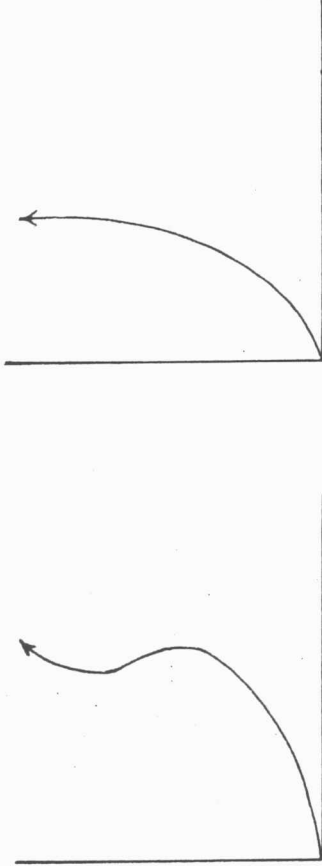
## ۳-۱-۲- حلقه بازخورد<sup>۲</sup>

حلقه بازخورد از دیگر اجزای سیستم به شمار می‌رود و وقتی بروز می‌کند که یک تغییر منجر به برخی تغییرات دیگر گردد، به‌طوری که تغییرات اخیر در نهایت تغییر اولیه را کند یا تند نمایند.

حلقه‌های بازخورد تعیین می‌کنند که چگونه پدیده‌ها در طول زمان روی می‌دهند. این بازخوردها هنگامی ظاهر می‌شوند که ستانده‌ای از ماده، انرژی و اطلاعات به عنوان داده به سیستم خوراکه می‌شود. برای مثال، در بازیافت قوطی‌های آلومینیومی این قوطی‌ها ذوب می‌شوند و دوباره به یک سیستم تولید قوطی آلومینیومی خوراکه می‌گردند. بدین ترتیب، یک حلقه بازخورد ماده به وجود می‌آید که نیاز به اکتشاف، استخراج و فرآوری کانی آلومینیوم را کاهش می‌دهد و با این کار، از مواد زائد یعنی از دور ریزی قوطی‌های آلومینیومی به محیط زیست کاسته می‌شود.

در علم سایبرنتیک بر خلاف علم فیزیک و روانشناسی به روابط علی دو سویه توجه می‌شود. روابط علی خطی یا یک سویه که در آن یک جزء بر جزء دیگر اثر می‌گذارد اما جزء دوم بر جزء اول اثر ندارد، پایه رابطه علت و معلولی در فیزیک و رابطه محرک - پاسخ در روانشناسی را می‌سازد. اما در روابط علی دوسویه که مورد علاقه علم سایبرنتیک می‌باشد، هر جزء سیستم بر جزء دیگر آن اثر می‌گذارد و از آن اثر می‌پذیرد. بنابراین، در سیستم‌هایی که از تنظیم سایبرنتیک برخوردارند، مقادیر ستانده سیستم دوباره بر مقادیر داده سیستم اثر می‌گذارد و از این رو، حلقه‌های بازخورد را به وجود می‌آورد.

شکل ۳-۱ اجزای اساسی یک سیستم اقتصادی یعنی داده، ستانده، جریان‌ها و بازخورد را نمایش



اقتصاد فزاینده‌ای که برای مدتی چهار رکود می‌شود و سپس دوباره فزاینده‌ای سریعی می‌یابد.

فزاینده‌گی با تصاعد هندسی

شکل ۵-۱. نمودار غیرخطی ساده که تصاعد هندسی و منحنی S را نمایش می‌دهد.

(الف) کنش و واکنش میان اجزای یک سیستم پیچیده غیر خطی است.

(ب) اجزای سیستم پیچیده دارای سازمان سلسله مراتبی هستند.

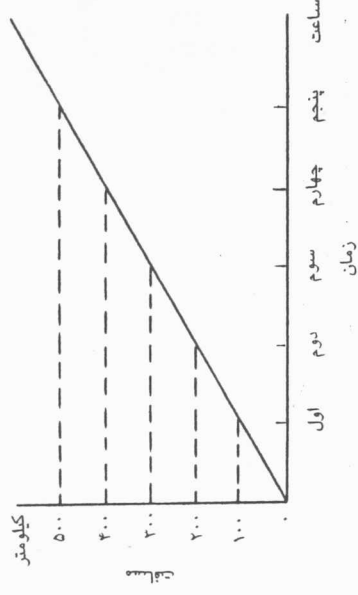
در طبقه‌بندی سیستم برای آنها انواع دیگری نیز ذکر نموده‌اند که در فصل سوم به بررسی از این انواع و تعاریف مربوطه اشاره می‌گردد.

۳-۲-۱- ویژگی‌های سیستم

یک سیستم مجموعه‌ای از اجزاست که بین این اجزا هماهنگی برقرار می‌باشد تا سیستم از برخی ویژگی‌های اختصاصی برخوردار شود. همه سیستم‌ها، به ویژه سیستم‌هایی که در این کتاب مورد بحث قرار می‌گیرند، دارای ویژگی‌های ذیل هستند:

(الف) سیستم‌ها دارای سازمان سلسله مراتبی<sup>۱</sup> می‌باشند. یعنی هر سیستم از چند طبقه اجزا برخوردار است. هر طبقه شامل تعدادی اجزا است. هر جز می‌تواند به چند پاره تقسیم گردد و هر پاره ممکن است به چند خرده پاره<sup>۲</sup> تفکیک شود. خرده‌پاره‌ها می‌توانند مولکول‌ها و مولکول‌ها ممکن است اتم‌ها را در برگیرند. اتم‌ها نیز نوترون‌ها، الکترون‌ها و الی آخر را شامل می‌گردد.

(ب) بین اجزای سیستم ارتباط<sup>۳</sup> برقرار است، در غیر این صورت هماهنگی<sup>۴</sup> بین آنها صورت نمی‌گیرد. این ارتباط را می‌توان به کمک مفهوم شبکه<sup>۵</sup> تعریف نمود. اگر این شبکه را به‌طور تفصیلی بشناسیم، یعنی بدانیم که این شبکه چگونه کار می‌کند، می‌توانیم درک درستی از این نکته بدست آوریم که یک سیستم چگونه به منزله یک سیستم عمل می‌کند.



شکل ۴-۱. نمودار خطی ساده سرعت متوسط یک اتومبیل در یک بزرگراه.

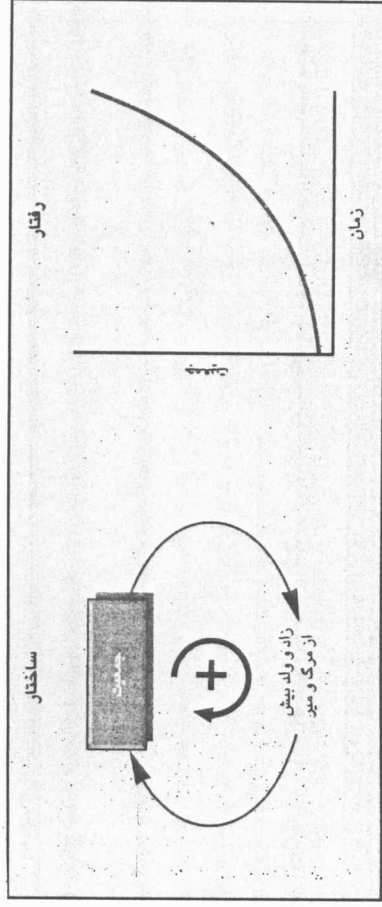
داده‌ها را تغییرشکل می‌دهد و مصرف می‌نمایند تا زنده و سالم بمانند. از سوی دیگر، مواد زائد مانند اوره، مدفوع، سلول‌های مرده پوست بدن، هوای بازدم، عرق و نیز گرمای با کیفیت پایین را به محیط منتقل می‌نماید. انسان و دیگر موجودات زنده فقط در صورتی زنده و سالم می‌مانند که در سیستم بدن آنها داده‌های انواع معینی از ماده و انرژی با ستانده‌های انواع معینی از ماده و انرژی در تعادل باشد.

در این کتاب، ما با نوعی سیستم سروکار داریم که سیستم پیچیده خوانده می‌شود. سیستم پیچیده سیستمی است که اجزای فراوان دارد و هر یک از این اجزا در سیستم نقش معینی را بازی می‌کنند. اجزای یاد شده بر اساس یک سلسله مراتب درونی سازمان می‌یابند و این اجزا و مراتب آنها به شکل‌های مختلف با هم پیوند دارند. کنش و واکنش میان اجزای یک سیستم پیچیده به شکل و نوع خاصی صورت می‌گیرد و به صورت غیر خطی<sup>۲</sup> ظاهر می‌شود.

کنش و واکنش‌های خطی ساده را می‌توان به کمک روابط ریاضی نمایش داد و در این روابط به متغیرها مقادیر ثابتی را اضافه یا کم نمود. مانند یک اتومبیل که در یک بزرگراه با سرعت متوسط حرکت می‌کند و در شکل ۴-۱ به نمایش در آمده است. اما در کنش‌ها و واکنش‌های غیر خطی، متغیرها به ضریبی که ممکن است خود تابع متغیرهای دیگری باشند، ضرب یا تقسیم می‌شوند. این همان حالتی است که در «تصادف هندسی» دیده می‌شود که در آن مقادیری که روی محور عمودی نمایش داده می‌شوند، در واحد زمان دو برابر می‌گردند. این حالت را در منحنی S شکل نیز مشاهده می‌کنیم (شکل ۵-۱).

از این رو، در تعریف سیستم‌های پیچیده، علاوه بر سه نکته‌ای که در تعریف سیستم بدان‌ها اشاره شد، یعنی تعداد زیاد اجزا، روابط متقابل اجزا و کلیت جدید حاصل از روابط متقابل اجزا باید دو نکته دیگر را نیز افزود:





شکل ۱-۶. ساختار و رفتار یک حلقه بازخورد مثبت ساده.

محیط زیست سرشار از بازخوردهای مثبت می‌باشد که برخی مطلوب و برخی دیگر نامطلوبند. برای مثال، تا وقتی زاد و ولد انسان بیش از مرگ و میر وی باشد، جمعیت وی به‌طور نمایی افزایش خواهد یافت (شکل ۱-۶). افزایش زاد و ولد و کاهش مرگ و میر به معنی انباشت روزافزون جمعیت می‌باشد. این شکل بازخورد مثبت را می‌توان مطلوب یا نامطلوب دانست. این امر بستگی به آن دارد که رشد جمعیت را به منزله مزیت اقتصادی، یعنی تعداد نیروی کار بیشتر و تعداد مصرف‌کننده بیشتر در نظر بگیریم یا این‌که آن را یک خسران زیست‌محیطی، یعنی ازدحام و آلودگی بیشتر و تخریب و تهمی شدن منابع تلقی نماییم.

صنعتی شدن نمونه دیگری از بازخورد مثبت را نشان می‌دهد. ماشین و تکنولوژی مورد استفاده در صنعت منجر به ثروت بیشتر می‌گردد که این ثروت برای ماشین و تکنولوژی بیشتر سرمایه‌گذاری می‌شود و به نوبه خود ثروت افزونتری را به ارمغان می‌آورد.

اثر گلخانه‌ای<sup>۱</sup> نیز مثال بارزی از سازوکار بازخورد مثبت است. بخار آب اتمسفر موجب می‌شود که گرما به دام بیفتد. بدین ترتیب، با افزایش دما آب بیشتری از سطح اقیانوس‌ها تبخیر می‌شود و دمای اتمسفر را باز هم افزایش می‌دهد و الی آخر.

شایان یادآوری است. بازخورد مثبت همواره با محدودیت روبرو می‌شود. چه رشد نمایی و چه فروپاشی ناگهانی نمی‌تواند در دنیای محدودی که منابع محدودی دارد تا ابد ادامه پیدا کند. سازوکار بازخورد منفی یک تغییر را به سوی کاهش آن سوق می‌دهد. برای مثال، ما جهت زنده ماندن باید دمای بدن خود را در یک دامنه معین نگه داریم، بدون توجه به این‌که دمای بیرون بدن چگونه است (شکل ۱-۷). این پدیده را هوموستازی<sup>۲</sup> می‌نامند.

هوموستازی به معنی حفظ شرایط مساعد درونی با وجود تغییر شرایط بیرونی است. سیستم‌های

(ج) هماهنگی و پیوندهای میان اجزای سیستم به سیستم برخی ویژگی‌های اختصاصی می‌دهد که ویژگی‌های نوآمده<sup>۱</sup> نامیده می‌شوند. به همین دلیل است که یک سیستم بیش از جمع اجزای خود می‌باشد. ویژگی‌های نوآمده را در فصل دوم بیشتر تشریح خواهیم نمود.

(د) فرآیندهایی که در درون سیستم و میان سیستم و محیط آن جریان دارند را می‌توان به صورت جریان‌های ماده، انرژی و اطلاعات توصیف نمود. برای مثال، یک سیستم تولیدی دارای جریان مشخص ماده است که از مواد خام شروع و به محصول نهایی و اندکی مواد زائد منتهی می‌گردد. جریان انرژی نیز از سوخت فسیلی، برق و غیره آغاز و به گرما ختم می‌شود. جریان اطلاعات هم به صورت برنامه‌های مدیریتی، طرح‌های مهندسی، رسم‌ها، نقشه‌ها و غیره برقرار می‌گردد.

(ه) یک سیستم از قوانین بنیادین طبیعت مانند قانون جاذبه<sup>۲</sup>، قانون بقای ماده<sup>۳</sup> و قوانین ترمودینامیک<sup>۴</sup> پیروی می‌کند. جاذبه از کشش میان خورشید و زمین به وجود می‌آید که به زمین امکان می‌دهد تا اتمسفر را به دور خود نگه دارد و نیز موجب می‌گردد که مواد شیمیایی در چرخه‌های ماده به سوی پایین (رو به زمین) حرکت کنند. قانون بقای ماده می‌گوید که در هر تغییر فیزیکی یا شیمیایی معمولی، ماده نه از بین می‌رود و نه خلق می‌گردد بلکه از شکلی به شکل دیگر تبدیل می‌شود. قانون اول ترمودینامیک که قانون بقای انرژی نام دارد بیان می‌کند که در هر تغییر فیزیکی یا شیمیایی معمولی، انرژی نه از بین می‌رود و نه خلق می‌گردد بلکه از شکلی به شکل دیگر تبدیل می‌شود. قانون دوم ترمودینامیک یا قانون آنتروپی<sup>۵</sup> می‌گوید که در هر تبدیل انرژی حرارتی به کار، همواره مقداری انرژی دچار افت کیفیت می‌شود و به صورت انرژی حرارتی با کیفیت پایین روانه محیط می‌گردد.

قوانین بقای ماده و انرژی برای طراحی جریان‌ها و فرآیندهای جاری در سیستم بسیار سودمند و یک دید کلی از آنچه در سیستم روی می‌دهد، بدست می‌دهند و به ما می‌آموزند که چگونه می‌توان با تغییر این جریان‌ها، سیستم را بهتر مدیریت نمود.

(و) سیستم‌ها پیچیده‌اند و از مدل یک سیستم می‌توان به‌عنوان یک ابزار مفید سود جست و به کمک آن پیچیدگی سیستم را مطالعه نمود.

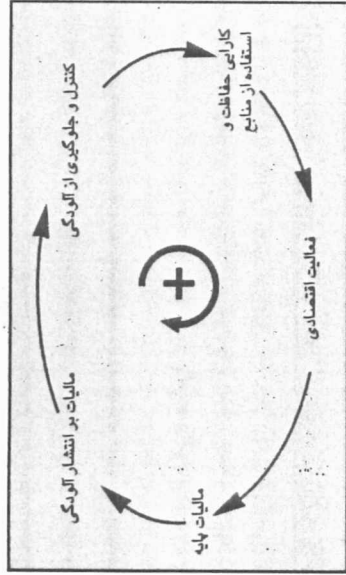
۱-۲-۴- برخی رفتارهای سیستم‌های پیچیده

۱-۲-۴- بازخورد

مفهوم بازخورد را پیشتر بررسی نمودیم. بازخورد به دو صورت مثبت و منفی دیده می‌شود. بازخورد مثبت چرخه‌ای است که در آن یک تغییر که در جهت معین روی می‌دهد، اطلاعاتی را فراهم می‌آورد که موجب می‌گردد سیستم در همان جهت تغییر نماید. یک بازخورد مثبت ممکن است بسته به نتایج آن مطلوب یا نامطلوب تلقی شود.







شکل ۹-۱. با فعال کردن حلقه‌های بازخورد مثبت در نقاط حساس می‌توان کارایی استفاده و حفاظت از منابع را تقویت نمود.

جایه جاکند. هر یک از آنها به تنهایی قادرند فقط ۴۵ کیلوگرم را از سطح زمین بلند کنند. اما اگر آن دو با هم همکاری نمایند و از نیروی ماهیچه‌ای خود به‌طور کامل استفاده کنند، می‌توانند درخت را از جاده بیرون بکشند. این مثال استفاده از سینرژی برای حل مسئله را یادآوری می‌کند.

اکثر تغییرات سیاسی توسط گروه کوچکی از مردم صورت می‌گیرد که با یکدیگر همکاری (سینرژی‌زایی) دارند و بدین ترتیب، کوشش‌های خود را مضاعف می‌نمایند. پژوهش‌های علوم اجتماعی نشان می‌دهند که بیشتر تغییرات سیاسی یا تغییر باورهای فرهنگی به کوشش حدود ۵۷ درصد از افراد جامعه که به شیوه‌ای سازمان‌یافته با یکدیگر همکاری می‌نمایند، انجام می‌شود.

سینرژی موجب تشدید عمل حلقه‌های بازخورد مثبت می‌گردد و از این رو، می‌تواند تشدیدکننده تغییراتی باشد که مطلوب تلقی می‌شوند. البته سینرژی می‌تواند تغییرات زیانبار را نیز تشدید نماید. برای مثال، گرم شدن زمین که در پائین‌ترین لایه اتمسفر زمین (تروپوسفر) رخ می‌دهد و نازک شدن لایه ازن که در لایه دوم اتمسفر (استراتوسفر) صورت می‌گیرد، می‌توانند در تعامل با یکدیگر به صورت سینرژیستیک عمل کنند و وضع را بدتر نمایند. یعنی در حالی که تروپوسفر گرم می‌شود و استراتوسفر سرد می‌گردد، تشکیل ابر یخی بر فراز قطب جنوب بیشتر می‌شود. این ابرهای یخی می‌توانند با ایجاد سطح جامد که واکنش‌های شیمیایی مخرب لایه ازن بر روی آنها صورت می‌گیرد، موجب از بین رفتن ازن یا نازک شدن آن برفراز قطب جنوب گردد.

گرم شدن زمین در نتیجه سوزاندن سوخت‌های فسیلی و جنگل‌زدایی باعث می‌شود که سرعت واکنش‌های شیمیایی که در ایجاد دوده نقش دارند، افزایش یابد. کاهش ازن مفید لایه استراتوسفر نیز موجب می‌گردد که اشعه ماورای بنفش بیشتری به سطح زمین برسد و دوده بیشتری در تروپوسفر تشکیل شود. بنابراین، گرم شدن هوا در تروپوسفر و نازک شدن ازن مفید در استراتوسفر در تعامل با هم به‌طور سینرژیستیک عمل می‌نمایند تا ازن زیانبار بیشتری را در تروپوسفر ایجاد کنند. گیاهان و جانورانی که تحت تأثیر هر یک از این دو تهدید ضعیف می‌شوند، در نتیجه کُش و واکنش سینرژیستیک این دو عامل به مراتب آسیب‌پذیرتر خواهند شد.

ما با شناسایی چنین کُش‌ها و واکنش‌های سینرژیستیک بالقوه زیانبار و اهرم‌هایی که آنها را فعال

تولیدی مالیات وضع گردد، صاحب آن واحد تولیدی تشویق می‌شود که راه‌هایی برای کاهش انتشار آلودگی و در نتیجه کاهش میزان مالیات پیدا کند یا فن‌آوری جدیدی اختراع نماید که آلودگی را کنترل کند و یا به منظور کاهش یا حذف آلاینده‌ها به طراحی مجدد فرآیندهای سیستم روی آورد. محیط زیست پاک‌تر نیز موجب سلامت بیشتر انسان‌ها، گیاهان و جانوران می‌گردد و بدین ترتیب، هزینه‌های بهداشتی، درمانی، بیمه و پاک‌سازی محیط کاهش می‌یابد. از این رو، مالیات آلودگی در نهایت به جیب پرداخت‌کننده بر می‌گردد.

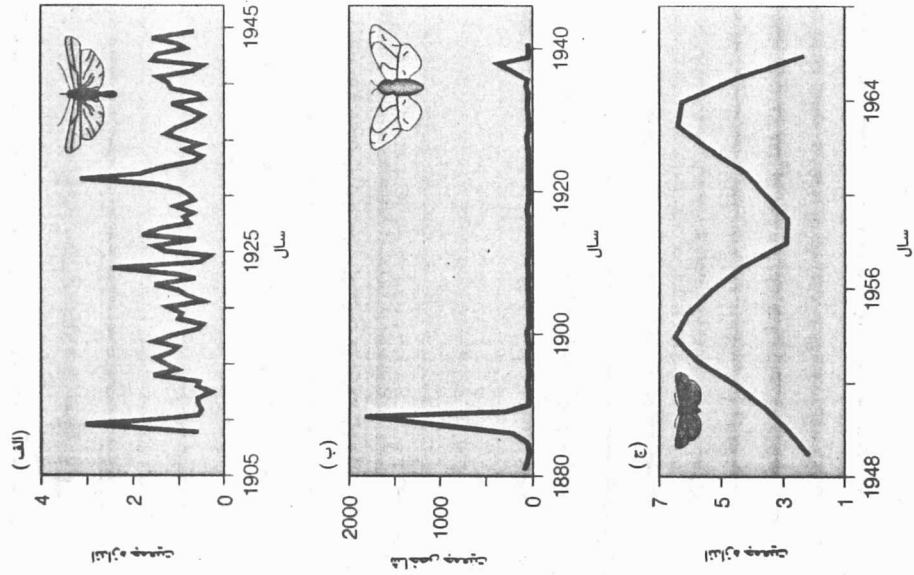
مالیات بستن بر انتشار آلاینده‌ها مبتنی بر رویکردی است که «پرداخت از سوی آلوده‌کننده» خوانده می‌شود. بدیهی است این پرداخت با مقاومت آلوده‌کننده رو به رو خواهد شد، زیرا این بدان معنی است که او باید هزینه آلودگی را متحمل شود. پس می‌کوشد تا قیمت محصولات خود را افزایش دهد، مگر این‌که قادر باشد به نوآوری‌هایی برای پاک‌سازی یا جلوگیری از آلودگی دست بزند. رویکرد پرداخت از سوی مالیات‌دهنده یا مصرف‌کننده که در حال حاضر حاکم است، بر این نکته استوار می‌باشد که هزینه‌های آلودگی به مالیات‌دهندگان یا افرادی که محصولات را می‌خرند و نیز به نسل آینده منتقل گردد. این بدان معنی است که در نهایت نسل آینده هزینه‌های آلودگی ما را به شکل سلامتی کمتر و هزینه‌های پزشکی و بیمه‌درمانی بیشتر پرداخت خواهد نمود. بدیهی است، این هزینه‌ها پنهان هستند، زیرا در قیمت‌های بازاری محصولاتی که مصرف‌کنندگان می‌خرند، وارد نمی‌شوند.

وضع مالیات بر انتشار آلاینده‌ها این سیستم را تغییر خواهد داد، به‌طوری که از این طریق قسمت اعظم یا تمامی هزینه‌های زیست محیطی محصولات وارد قیمت‌های بازاری آنها می‌شود. این پدیده «قیمت‌گذاری براساس هزینه کامل»<sup>۲</sup> نام دارد. بدین ترتیب، مصرف‌کنندگان برای خرید محصولات پول بیشتری می‌دهند، اما کل هزینه‌های آنان به خاطر سلامتی بیشتر و هزینه‌های درمانی کمتر کاهش خواهد یافت.

هدف عمده علوم محیط زیست آن است که حلقه‌های بازخورد مثبت و اهرم‌های یاده شده را در سیستم‌های پیچیده طبیعی، اقتصادی و اجتماعی کشف نماید تا براساس آنها اقدامات اصلاحی را برنامه‌ریزی و اجرا کند و به پایداری سیستم‌های تأمین‌کننده زندگی روی زمین و انسان‌ها و اقتصاد آنها کمک نماید (شکل ۹-۱).

۲-۴-۳- سینرژی

در حساب همیشه ۱ به علاوه ۱ برابر است با ۲. اما در یک سیستم ممکن است ۱ به علاوه ۱ بیشتر از ۲ گردد. دلیل آن وجود کُش‌ها و واکنش‌های سینرژیستیک<sup>۳</sup> می‌باشد. کُش و واکنش سینرژیستیک وقتی روی می‌دهد که دو یا چند فرآیند در تعامل قرار گیرند، به‌طوری که اثر ترکیبی آنها بیش از اثرات جداگانه هر یک از آنها باشد. وقتی دو فرد برای انجام یک کار با یکدیگر همکاری می‌کنند، سینرژی رخ می‌دهد. برای مثال، فرض کنید دو نفر بخواهند یک درخت ۱۴۰ کیلوگرمی را که در عرض یک جاده افتاده است،



شکل ۱-۱. داده‌های مربوط به سه گونه پروانه که نشان‌دهنده سیستم‌های پویایی هستند که تحت تأثیر هرج و مرج می‌باشد.

تشکیل دهنده آن و نحوه و میزان ارتباط بین آنها به منظور دستیابی به مبنایی برای طراحی و اجرای یک سیستم بهینه است. تجزیه و تحلیل سیستمی رامی‌توان کاربرد روش علمی برای حل مسایل سیستم‌های پیچیده خواند. این رویکرد شامل نظریه‌ها و تکنیک‌های مطالعه، توصیف و پیش‌بینی سیستم‌های پیچیده می‌باشد که از روش‌های پیشرفته ریاضی و آماری سود می‌جوید. البته، شالوده تجزیه و تحلیل سیستمی را مجموعه‌ای از تکنیک‌های کمی نمی‌سازد، بلکه پایه آن را یک استراتژی فراگیر حل مسئله تشکیل می‌دهد.

بدیهی است، رویکرد سیستمی تنها رویکرد سودمند به حل مسئله به شمار نمی‌رود. در طول تاریخ بشر، روش آزمون و خطا به‌طور گسترده و مفید برای حل مسایل به کار گرفته شده است. اما استفاده از

می‌کند می‌توانیم برخی مشکلات زیست محیطی را پیش‌بینی، درمان و حتی پیشگیری نماییم. با شناسایی سینتریزم‌های درست قادر خواهیم بود که با سینتریزم‌های زیانبار مقابله کنیم، سینتریزم‌های مفید را افزایش دهیم و کیفیت زندگی را روی زمین بهبود ببخشیم.

### ۳-۲-۱- هرج و مرج

ما سیستم‌ها را به منزله یک کل می‌شناسیم که دارای رفتاری هستند که این رفتارها منظم می‌باشند و از نظر تئوری قابل پیش‌بینی هستند. اما شواهدی وجود دارد که می‌گوید رفتار برخی سیستم‌ها تصادفی، هرج و مرج وار و غیر قابل پیش‌بینی می‌باشد. گاه رفتار غیر قابل پیش‌بینی سیستم‌ها ناشی از خود سیستم است. در مورد چنین سیستم‌هایی گفته می‌شود که آنها «هرج و مرج وار» هستند. یک سیستم هرج و مرج وار از الگویی پیروی می‌کند که این الگو هرگز تکرار نمی‌شود. رفتار چنین سیستم‌هایی به‌طور کلی تابع یک الگوست، اما جزئیات رفتار آنها بی‌نهایت متغیر می‌باشد. امواج یک اقیانوس، جنبش یک برگ در باد و تغییرات روزانه آب و هوا، مثال‌هایی از رفتار هرج و مرج وارانه هستند.

در نوسانات جمعیت بسیاری از گیاهان و جانوران که در طول زمان روی می‌دهد می‌توان هرج و مرج را مشاهده نمود. شکل ۱-۱ نوسانات سال به سال جمعیت سه گونه پروانه را نمایش می‌دهد. در هر یک از این شکل‌ها، شکل کلی منحنی ثابت به نظر می‌رسد، اما جزئیات آنها از یک چرخه به چرخه بعدی متغیر است. برخی دانشمندان چنین رفتاری را ناشی از وجود هرج و مرج در این سیستم‌ها می‌دانند. برخی دیگر عقیده دارند که ممکن است این رفتار به خاطر رفتار غیر هرج و مرج وار و منظمی باشد که جزئیات و کنش‌ها و واکنش‌های آن هنوز شناخته نشده است. در هر صورت، ما قادر نیستیم پیش‌بینی کنیم که چنین سیستم‌هایی چگونه رفتار می‌کنند.

سیستم‌های هرج و مرج وار می‌توانند به آشفتگی‌های هر چند ناچیز بی‌نهایت حساس باشند. معنی این گفته آن است که اگر بخواهیم در یک سیستم دستکاری نماییم و در برخی متغیرهای آن یک تغییر کوچک ایجاد کنیم، این تغییر کوچک به سرعت بزرگ می‌شود و یک تغییر چشمگیر غیر قابل پیش‌بینی را در رفتار کلی سیستم به وجود می‌آورد. به این پدیده اثر پروانه‌ای<sup>۲</sup> اطلاق می‌گردد. اثر پروانه‌ای می‌گوید که وقتی یک پروانه بال‌هایش را به هم می‌زند، این عمل می‌تواند موجب تغییرات کوچک در جنبش هوا شود و در نهایت، این تغییرات کوچک باعث جریانی از تغییرات بسیار غیر قابل پیش‌بینی در سراسر یک جنگل یا حتی سراسر سیاره زمین گردد. نتیجه عملی اثر هرج و مرج آن است که اگر بخواهیم یک مدل تقریباً کامل از یک سیستم داشته باشیم، ممکن است کوچکترین خطای اندازه‌گیری موجب شود که رفتار پیش‌بینی شده برای سیستم کاملاً متفاوت از رفتاری باشد که واقعاً از سیستم بروز می‌کند.

### ۳-۱- تجزیه و تحلیل سیستمی<sup>۳</sup>

تجزیه و تحلیل سیستمی عبارت از شناخت جنبه‌های مختلف سیستم، چگونگی کارکرد اجزای

رویکرد داشته باشند. اغلب، آنان رویکرد کل‌گرا و رویکرد جامع را مانند هم تلقی می‌کنند و این طرز تلقی مشکلاتی را به بار آورده است. بنابراین، ضروری است تفاوت دو شیوه جامع و یکپارچه را روشن نماییم.

بنابر تعریف، واژه جامع به معنی فراگیر و همه شمول است. در نتیجه، تفسیر جامع یک سیستم بدان معنی است که همه آنچه در سیستم وجود دارد باید تعریف گردد و تجزیه و تحلیل‌گر سیستم باید تمامی اجزای سیستم و تمامی روابط میان این اجزا را بررسی نماید. چنین تفسیری متضمن چند نکته است. اول آنکه، این تفسیر چنین انتظاری را به وجود می‌آورد که اگر ما با سعی تمام بر روی اکوسیستم کار کنیم و در اکوسیستم همه چیز را مطالعه نماییم، قادر خواهیم بود که اکوسیستم را درک کنیم و بدین ترتیب، آن را کنترل و مدیریت نماییم. دوم آنکه، این تفسیر بیان می‌دارد که وقت بسیار زیادی لازم است تا کار تجزیه و تحلیل یا برنامه‌ریزی اکوسیستم به انجام رسد.

در نتیجه، این احتمال قوی وجود دارد که «برنامه» تدوین شده برای اکوسیستم بیشتر یک سند تاریخی باشد تا یک سند استراتژیک، زیرا ممکن است تا زمانی که همه کارها بر روی اکوسیستم به انجام برسند، گذشته سپری شده اکوسیستم در برنامه منعکس گردد.

از سوی دیگر، رویکرد یکپارچه شالوده مفهوم کل‌گرایی را در خود دارد، اما در مقایسه با رویکرد جامع مفهوم عملی‌تری است و از جنبه کاربردی بیشتری برخوردار می‌باشد. تفاوت اساسی رویکرد جامع و رویکرد یکپارچه در این است که یک رویکرد یکپارچه به دنبال آن نیست که همه اجزا و همه روابط میان این اجزا را تجزیه و تحلیل نماید، بلکه تأکید خود را بر اجزا و روابط کلیدی می‌گذارد. در نهایت، اگر در مطالعه یک اکوسیستم اجزا و روابط کافی را بررسی نماییم، رویکرد یکپارچه تا جایی پیش می‌رود که به رویکرد جامع تبدیل می‌شود.

معمولاً در تجزیه و تحلیل اکوسیستم‌ها از رویکرد یکپارچه بهره می‌گیریم، زیرا:

(الف) این رویکرد می‌پذیرد که بعید است بتوانیم همه تغییرات یک سیستم را درک کنیم. اگر تجزیه و تحلیل‌گران و برنامه‌ریزان اکوسیستم بتوانند اجزایی را که موجب ۸۰-۷۵ درصد تغییرات یک

سیستم می‌شوند، در نظر بگیرند و درک نمایند، باید بسیار خشنود باشند.

(ب) در یک اکوسیستم به‌طور معمول یک تعداد نسبتاً اندک از متغیرها باعث نسبت بزرگی از تغییرات می‌شوند. در نتیجه درک نقش این تعداد اندک از متغیرها کافی است تا براساس آنها استراتژی‌های مؤثر برای مدیریت اکوسیستم را تدوین کنیم. تلاش و وقت مضاعفی که صرف می‌نماییم تا اجزایی را بشناسیم و درک کنیم که ۲۵-۲۰ درصد بقیه تغییرات سیستم را موجب می‌شوند، اغلب چندان به درک ما از سیستم نمی‌افزاید.

(ج) حتی اگر بتوان بیشتر متغیرها را شناسایی و درک نمود، بسیاری از آنها را نمی‌توان به آسانی و به کمک مدیران اصلاح کرد یا تغییر داد. بنابراین، ارزش افزوده این کار چندان زیاد نیست.

(د) رویکرد یکپارچه موجب انتظارات واقع‌بینانه‌تری از یک برنامه می‌شود و این امکان را فراهم می‌آورد که برنامه در یک چارچوب زمانی منطقی‌تر به انجام برسد.

این روش برای حل برخی مسائل بسیار زمان‌بر و هزینه‌زا می‌باشد. روش علمی حل مسئله ایجاب می‌کند که از مشاهدات منظم‌تری بهره بگیریم و اگر لازم باشد بخش‌هایی از پدیده مورد مطالعه را اختیار نماییم و دست‌کاری کنیم. دانشمندان از رویکرد سیستمی کمک می‌گیرند تا اطلاعات حاصل از آزمون و خطا یا نظرات کارشناسی و روش علمی را به شکلی با هم تلفیق کنند که توصیف قاعده‌مند ساختار و پویایی سیستم‌های زنده میسر گردد.

از اواخر دهه ۱۹۶۰، اکولوژیست‌ها به استفاده روز افزون از تجزیه و تحلیل سیستمی برای شبیه‌سازی اکوسیستم‌ها و مطالعه ساختار و کارکرد آنها روی آورده‌اند. تجزیه و تحلیل سیستمی ابزار سودمندی است که برای پژوهش و برنامه‌ریزی اکوسیستم‌ها به منزله سیستم‌های پیچیده و پویا به کار می‌رود. مزیت عمده این رویکرد آن است که به کمک آن می‌توان سیستم‌های بزرگ و بسیار پیچیده‌ای را بررسی نمود که مطالعه دقیق و کامل آنها به روش‌های میدانی یا آزمایشگاهی میسر نیست.

اساساً، تجزیه و تحلیل سیستمی علم پیچیده‌ای است. در نتیجه، خود این علم به صورت یک نظام بسیار پیچیده از نظریه‌ها و روش‌ها تکوین یافته است. وظیفه تجزیه و تحلیل سیستمی درک کنش‌ها و واکنش‌ها و پویایی سیستم‌ها و نیز تلفیق نقش و اهمیت واحدهای ساختاری جدا از هم در یک سیستم است، به‌طوری که از این تلفیق یک کل پیچیده و پویا به‌وجود آید. در کنار این هدف کلی باید گفت که ویژگی دوم تمامی شاخه‌های علمی مرتبط با سیستم‌ها این است که همه آنها از یک روش‌شناسی مبتنی بر ریاضی و فیزیک سود می‌جویند که این روش‌شناسی از رایانه کمک می‌گیرد.

رویکرد سیستمی به اکوسیستم‌ها، تجزیه و تحلیل‌گران و برنامه‌ریزان اکوسیستم‌ها را تشویق می‌کند تا با تأکید بر کل اکوسیستم، اجزای آن و روابط میان این اجزا یک تصویر کلان از اکوسیستم بدست آورند. چنین دیدگاهی حائز اهمیت است زیرا به ما یادآوری می‌کند که برای مثال، بسیاری از مشکلات مربوط به منابع آب مانند آلودگی آب یا سیلاب را نمی‌توان با تأکید محض بر آب حل نمود. اکثر عوامل آلودگی آب از فعالیت‌های انسان در خشکی ناشی می‌شوند و پتانسیل تخریب سیلاب به شدت تحت تأثیر بهره برداری از خشکی قرار دارد. از سوی دیگر، بسیاری از مشکلات مربوط به خشکی‌ها مانند کاهش تولید کشاورزی و از بین رفتن تنوع زیستی در نتیجه کاهش یا افزایش شدید آب رخ می‌دهد. بنابراین، حائز اهمیت خواهد بود که تصویر کلانی از اکوسیستم داشته باشیم و فقط بر یک جز یا یک بخش از آن تأکید ننماییم. نکته مهم در اینجا است که یک اکوسیستم را تا چه اندازه کلان به نظر بگیریم و چه تعداد از اجزای آن و روابط میان اجزا را منظور نماییم. اگر این تصویر کلان خیلی بزرگ باشد، ممکن است تجزیه و تحلیل‌گران و برنامه‌ریزان در پیچیدگی اجزا و روابط چند گانه آن گرفتار آیند و قادر نباشند تجزیه و تحلیل خود را در یک دوره زمانی منطقی به انجام رسانند.

رویکرد سیستمی به اکوسیستم متراوف دیدگاه کل‌گرا است. چنین دیدگاهی به دو شیوه یعنی یا به شیوه جامع<sup>۱</sup> و یا به شیوه یکپارچه<sup>۲</sup> اعمال می‌گردد. شایان یادآوری است که اکثر تجزیه و تحلیل‌گران اکوسیستم مدعی یک‌پارگی رویکرد سیستمی یا کل‌گرا هستند، بدون آنکه تفکر روشنی نسبت به این

برای درک رفتار هر سطح از سلسله مراتب یاد شده کافی نیست که فقط سطح پایین‌تر از آن را در نظر بگیریم. هر سطح را باید با توجه به خود آن سطح و رابطه آن سطح با سطوح دیگر مطالعه نمود. این رویکرد خاطر نشان می‌سازد که وقتی یک اکوسیستم یا یک اکوسیستم زراعی را مطالعه می‌کنیم باید به لایه‌ها یا سلسله مراتب مختلف آن توجه نماییم.

کانوی از چهار ویژگی اکوسیستم‌های زراعی یاد می‌کند که متضمن درک اکوسیستم‌های دیگر نیز می‌باشد (شکل ۱-۱).

(الف) بهره‌وری<sup>۱</sup>. عبارت از ستانده یا عملکرد یا درآمد خالص یک محصول به ازای هر واحد داده یا نهاده برای تولید آن محصول است. اغلب بهره‌وری را براساس عملکرد یا درآمد به ازای هکتار یا کل کالاهای و خدمات تولید شده به ازای خانواده یا جمعیت در یک کشور اندازه‌گیری می‌کنند. بهره‌وری را می‌توان بر حسب کیلوگرم غله، چوب، ماهی یا گوشت اندازه‌گیری نمود یا آن را به واحد کالری، پروتئین، ویتامین یا پول تبدیل کرد. داده‌ها یا نهاده‌های اساسی اکوسیستم‌های زراعی شامل زمین، کار و سرمایه است.

(ب) ثبات<sup>۲</sup>. عبارت است از پایداری<sup>۳</sup> بهره‌وری نسبت به نیروهای کوچک به وجود آورنده آشفتگی که از تغییرات و چرخه‌های نرمال محیط پیرامون ناشی می‌شود. این تغییرات ممکن است در متغیرهای اقلیمی یا متغیرهای آب رودخانه‌ها و آبخوان‌ها یا تقاضای بازار برای محصول رخ دهد.

(ج) پایداری<sup>۴</sup>. عبارت از ظرفیت یک اکوسیستم زراعی برای حفظ بهره‌وری است، در حالی که تابعی از نیروهای به وجود آورنده آشفتگی می‌باشد. دامنه این نیروهای آشفتنه‌کننده از آشفتگی‌های منظم اما نسبتاً ملایم مانند فقر و شوری خاک تا آشفتگی‌های کمتر منظم و غیر قابل پیش‌بینی و تا آشفتگی‌های بسیار بزرگتر مانند سیلاب‌ها، خشکسالی‌ها و آفات جدید را در بر می‌گیرد.

(د) عدالت. عبارت از یکنواختی یا عدم یکنواختی توزیع منافع بهره‌وری میان افراد جامعه می‌باشد. عدالت از طریق توزیع منافع و هزینه‌های تولید کالاها و خدمات در یک اکوسیستم زراعی اندازه‌گیری می‌شود.

کانوی بیان نمود که چهار ویژگی فوق را می‌توان به عنوان شاخص‌های عملکرد سیستم به کار برد. وقتی این ویژگی‌ها را به عنوان شاخص‌های عملکرد مورد استفاده قرار می‌دهیم، این شاخص‌ها می‌توانند بده - بستن‌هایی را که ممکن است صورت گیرند، نشان دهند. برای مثال، وی معتقد بود که یک پروژه بزرگ آبیاری ممکن است ما را به بهره‌وری کل بالایی برساند، اما این بهره‌وری به هزینه عدالت و پایداری بدست می‌آید. اگر برای تحقق عدالت تلاش کنیم، ممکن است سد راه بهره‌وری شویم.

کانوی یادآوری نمود که نظام‌های سنتی کشاورزی مانند کشت تناوبی معمولاً منجر به بهره‌وری و ثبات کم می‌شوند، اما عدالت و پایداری بالایی را به بار می‌آورند (جدول ۱-۱). نظام‌های سنتی زراعی از نظر بهره‌وری و ثبات نمره متوسط می‌گیرند، اما نمره پایداری آنها بالا و نمره عدالت آنها متوسط است. وقتی فن‌آوری‌های جدیدی به یک اکوسیستم زراعی معرفی می‌گردد، معمولاً بهره‌وری افزایش

بنابر آنچه گفته شد، شایان اهمیت است که تجزیه و تحلیل‌گران اکوسیستم‌ها پیش از آنکه مدعی بکارگیری رویکرد سیستمی باشند به تفکری روشن از مقصود خود در بکارگیری این رویکرد دست پیدا کنند. داشتن یک تصویر کلان از یک سیستم، اجزای آن و روابط میان این اجزا ارزش مفهومی بسیار بالایی دارد، اما در عمل اگر یک اکوسیستم که خیلی بزرگ یا خیلی پیچیده است مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرد حاصل کار چندان ارزشمند نخواهد بود. در صورتی که تجزیه و تحلیل‌گران و برنامه‌ریزان قادر نباشند یک استراتژی یا یک برنامه مفید تدوین نمایند، به‌طوری که به کمک آن مشکلات منابع و محیط زیست حل گردد، اعتبار رویکرد سیستمی زیر سؤال خواهد رفت تا جایی که ممکن است مدیران از اجرای آن استراتژی یا برنامه سر باز زنند.

### ۱-۳-۱- نمونه‌ای از تجزیه و تحلیل یک اکوسیستم

کانوی<sup>۱</sup> مفهوم تجزیه و تحلیل اکوسیستم‌های زراعی را ارائه نمود که بسیاری از ویژگی‌های یک رویکرد یکپارچه به اکوسیستم‌ها را در خود دارد. وی معتقد بود که اکوسیستم‌های زراعی سیستم‌های اکولوژیکی هستند که به واسطه فعالیت انسان دستخوش تغییر شده‌اند تا غذا، الیاف و دیگر فراورده‌های کشاورزی را تولید کنند. اکوسیستم‌های زراعی همه سیستم‌های اکولوژیکی دیگر ساختار پیچیده و پویایی پیچیده‌ای دارند.

انگیزه کانوی از تجزیه و تحلیل اکوسیستم‌های زراعی آن بود که ظرفیت ما را افزایش دهد تا مشکلاتی را که از کاربرد فن‌آوری‌های جدید در کشاورزی به وجود آمده‌اند حل نماییم. وی به‌طور خاص علاقمند بود که پیامدهای زیست محیطی انقلاب کشاورزی را که در کشورهای در حال توسعه با تولید بذره‌های جدید آغاز شد، مطالعه نماید. انقلاب کشاورزی وقتی روی داد که بذره‌های جدید به همراه آبیاری و مواد شیمیایی مورد استفاده قرار گرفتند و افزایش چشمگیر تولید غذا را موجب شدند. اما انقلاب سبز مشکلات کوتاه مدت و میان مدتی را به بار آورد که از آن جمله افزایش آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز، افت ساختمان و حاصلخیزی خاک و افزایش فقر و بی‌عدالتی قابل اشاره‌اند.

با بروز مشکلات زیست‌محیطی و اقتصادی - اجتماعی ناشی از فن‌آوری انقلاب سبز، هر یک از این مشکلات جدا از هم مورد بررسی قرار گرفتند. اما در بسیاری موارد این مشکلات به هم مرتبط بوده‌اند. از این رو، مفهوم تجزیه و تحلیل اکوسیستم‌های زراعی شکل گرفت تا یک رویکرد کل‌گرا و چند رشته‌ای به مشکلات مذکور به وجود آید.

کانوی اعتقاد داشت که نقطه عطف رویکرد یاد شده مفهوم سیستم و دیگر مفهوم مرتبط با آن یعنی سلسله مراتب سیستمی است. بر این اساس، او یادآوری نمود که جهان طبیعی یا سیستم‌های زراعی را می‌توان به منزله سلسله مراتبی از سیستم‌ها در نظر گرفت. برای مثال، سیستم‌های طبیعی شامل سطوح موجود زنده، جمعیت، جامعه، اکوسیستم، بیوم و بیوسفر هستند. یک اکوسیستم زراعی نیز در برگیرنده سطوح گیاه، محصول زراعی، زمین زراعی، نظام کشت و کار، روستا، منطقه، کشور و جهان می‌باشد.

## ۲-۱- مقدمه

مفهوم اکوسیستم به منزلهٔ یک واحد اکولوژیکی شامل اجزای زنده و غیرزنده‌ای است که این اجزا در تعامل با هم به سر می‌برند تا یک سیستم با ثبات را به وجود آورند. این مفهوم نو نیست و در ادبیات حوزهٔ زیست‌شناسی و اکولوژی تاریخچه‌ای طولانی دارد. گاه از آن به‌طور تصریحی تحت واژه‌های دیگر مانند بیوسنوز<sup>۱</sup> یاد شده و گاه به‌طور تلویحی مورد اشاره قرار گرفته است.

در سال ۱۹۳۵، سرآرتور تانزلی<sup>۲</sup>، که نقش عمده‌ای در توسعهٔ اکولوژی در جزایر بریتانیا داشت، پیشنهاد نمود که از این مفهوم نه تنها برای اطلاق به پیچیدگی موجودات زنده، بلکه جهت اشاره به پیچیدگی کل فاکتورهای فیزیکی که محیط موجودات زنده را می‌سازند نیز استفاده گردد. توسعهٔ نظری مفهوم اکوسیستم و انجام پژوهش‌های مرتبط با این توسعه از دههٔ ۱۹۴۰ و به‌طور عمده ۱۹۵۰ روی داد. این توسعه به دنبال آرایهٔ دیدگاه لیندمن<sup>۳</sup> به اکوسیستم مبتنی بر پویایی و روابط غذایی آن رخ نمود که چارچوب مفهومی و نقطهٔ آغاز پژوهش در اکولوژی را بنیان گذارد.

یک اکوسیستم جامعه‌ای از سیستم‌های زنده یا گونه‌های مختلف است که این گونه‌ها با یکدیگر و با محیط بی‌جان خود کنش و واکنش دارند. اندازه یک اکوسیستم اختیاری است و براساس سیستم خاصی که می‌خواهیم آن را مطالعه کنیم، تعریف می‌شود. واحد مطالعه ما ممکن است کوچک باشد، مانند بخشی از یک رودخانه یا جنگل یا یک قطعه از علفزار یا بیابان یا قسمتی از یک تالاب و غیره. همچنین ممکن است واحد مطالعه ما بزرگ باشد، مانند کل یک اکوسیستم خشکی اعم از جنگل، مرتع، بیابان و غیره. اکوسیستم‌ها می‌توانند طبیعی یا مصنوعی (انسان ساخت) باشند. زمین‌های کشاورزی، استخرهای آبی پروری و دریاچه‌های مصنوعی پشت سدها، مثال‌هایی از اکوسیستم‌های انسان ساخت هستند. همهٔ اکوسیستم‌های کرهٔ زمین همراه با هم اکوسفر را می‌سازند.

رویکرد سیستمی به اکوسیستم‌ها مستلزم مرور مفاهیم مرتبط با اکولوژی نظری (ساختار منابع، پویایی منابع، ساختار جامعه، پویایی جامعه، بوجه انرژی، بوجه ماده، شبکه‌های غذایی و غیره)، پویایی اکوسیستم (توالی و تکامل)، توسعهٔ زیست محیطی در اکوسیستم (ثبات، پایداری، سلامت و یکپارچگی اکوسیستم) و نظریه عمومی سیستم‌ها می‌باشد. در این بخش به مفاهیم اکولوژی نظری، پویایی اکوسیستم و توسعهٔ زیست محیطی در اکوسیستم اشاره می‌کنیم. نظریه عمومی سیستم‌ها را در فصل سوم به تفصیل تشریح خواهیم نمود.