محیط‌زیست و توسعه، سال ۱۰، شماره ۱۹، بهار و تابستان ۱۳۹۸، از صفحه ۵ تا ۱۸

یکپارچگی بوم‌شناختی و مروری تحلیلی بر شاخص‌های آن

فاطمه جهانی‌شکیب*[۱]، سید حامد میرکریمی[۲]

۱ استادیار، گروه محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه بیرجند، ایران
۲ استادیار، گروه محیط‌زیست، دانشکده شیلات و محیط‌زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۸/۱۵؛ تاریخ تصویب: ۱۳۹۸/۰۴/۱۰)

چکیده

در سیستم‌های بوم‌شناختی، اجزای زیستی و غیرزیستی (فیزیکی و شیمیایی) اثرات متقابلی بر یکدیگر دارند. درک و سنجش این سیستم‌ها و تعاملات درونی و بیرونی آن‌ها دشوار است. در عین‌حال، برای اتخاذ تصمیمات مدیریتی درباره اکوسیستم‌ها، براساس اصل یکپارچگی کل سیستم، به اطلاعاتی در مورد کل وضعیت و روندهای اکوسیستمی آن‌ها نیاز است. اکوسیستم زمانی یکپارچگی دارد که تغییرات ویژگی‌های بوم‌شناختی آن در محدوده طبیعی تغییرات رخ دهد و از طرف دیگر، تحمل اختلالات و تغییرات حاصل از فعالیت‌های انسانی و طبیعی را داشته باشد. در این‌صورت اکوسیستم از شرایط موجود خود خارج نمی‌شود و روند خودسامان‌دهی را ادامه می‌دهد. شاخص‌های کارآمد برای سنجش یکپارچگی بوم‌شناختی باید بیانگر اطلاعات اصلی راجع‌به ترکیب، ساختار و کارکرد اکوسیستم و یا به‌عبارتی دارای جامعیت باشند. تبیین مفهوم نظری یکپارچگی بوم‌شناختی و مرور شاخص‌های آن در سلسله مراتب بوم‌شناختی به‌عنوان ابزار برنامه‌ریزی محیط‌زیست از اهداف این تحقیق هستند. در این راستا پارامترهای هر شاخص از نظر جامعیت مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان داد که شاخص‌های گونه‌ای و اکوسیستمی بیشتر متمرکز بر وضعیت درونی اکوسیستم هستند. درحالی‌که شاخص‌های یکپارچگی سیمای‌سرزمین علاوه بر وضعیت درونی به رژیم‌ها و فرآیندهای اختلالی ناشی از عوامل طبیعی و فعالیت‌های بشری توجه دارد.

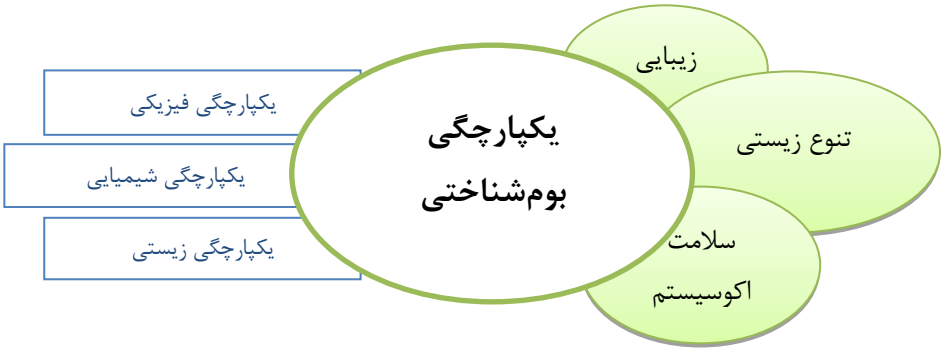
کلید واژه‌ها: یکپارچگی بوم‌شناختی، کارکرد، اکوسیستم، شاخص، سیمای‌سرزمین

* نویسنده مسئول: Email: jahanishakib@birjand.ac.ir

سرآغاز

سیستم‌های بوم‌شناختی اساسا ترکیب پیچیده‌ای از اجزای زیستی و غیرزیستی (فیزیکی و شیمیایی) هستند که اثرات متقابلی بر یکدیگر دارند (Reza & Abdullah, 2011). پیش‌بینی رفتار چنین سیستم‌های پیچیده‌ای، دشوار است و لازم است به‌منظور اقدامات مدیریتی و تصمیمات سیاسی، اطلاعاتی در مورد وضعیت و روندهای اکوسیستمی آنها داشته باشیم. تصمیمات مدیریتی باید بر پایه مفهوم یکپارچگی کل سیستم بوده و حتی‌الامکان دارای اطلاعاتی باشد که بتوان با تئوری‌های بوم‌شناسی کنونی اثرات آنها را درک و یا پیش‌بینی کرد (Andreasen et al., 2001).

مفهوم یکپارچگی، ریشه در برخی مفاهیم بوم‌شناختی ترکیب یافته با ارزش‌های انسانی دارد و در گذر زمان سیر تکاملی داشته است (Regier, 1993). در سال ۱۹۸۱ کالر و دودلِی توانایی یک اکوسیستم را در حمایت و نگهداشت تعادل و تطابق جامعه، یکپارچگی زیستی نامیدند (Karr & Dudley, 1981). یکپارچگی زیستی حفظ ویژگی‌های ساختاری و کارکردی یک محل خاص یا رضایت‌بخش برای جامعه است (Cairns, 1977). باربور و همکاران مولفه‌های یکپارچگی بوم‌شناختی را سلامت اکوسیستم، تنوع‌زیستی، ثبات، پایداری، طبیعی بودن، بکر بودن و زیبایی بشمار می‌آورند (Barbour et al., 2000). از طرفی آندرسن و همکاران یکپارچگی بوم‌شناختی را حاصل یکپارچگی زیستی، فیزیکی و شیمیایی می‌دانند بطوری‌که جمع‌بندی کنونی از ابعاد مختلف یکپارچگی بوم‌شناختی بصورت شکل (۱) شناخته شده است (Andreasen et al., 2001).



شکل (۱): مولفه‌های اصلی یکپارچگی بوم‌شناختی (Andreasen et al., 2001)

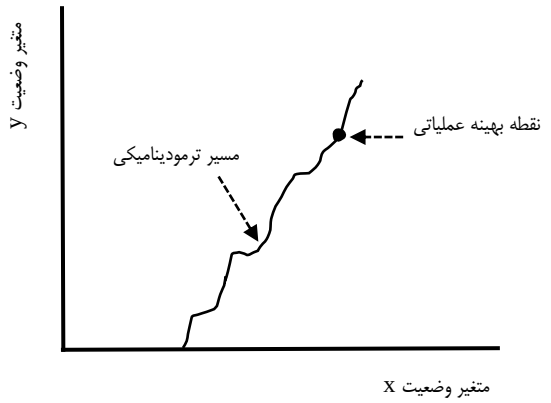
در اکثر تعاریف یکپارچگی؛ تمامیت، جامعیت و دست‌نخوردگی پیشنهاد شده است و شاخص مناسب آن نیز باید دارای این ویژگی‌ها باشد. سیستمی که دارای یکپارچگی است در برابر اکثر آشفتگی‌های ناشی از فرآیندهای طبیعی محیط‌زیست و اختلالات انسانی مقاوم است و قابلیت احیا دارد (Andreasen et al., 2001). بعبارت دیگر اکوسیستم زمانی یکپارچگی دارد که ویژگی‌های بوم‌شناختی مهم و فرآیندهای آن، در محدوده طبیعی تغییرات رخ دهند و تحمل اختلالات انسانی و طبیعی وارد بر آنها را داشته باشد و از شرایط موجود خود خارج نشود (Timko & Innes, 2009). یکپارچگی بوم‌شناختی ویژگی‌های برگشت‌پذیری[۱] و ظرفیت خودساماندهی[۲] سیستم را نیز در برمی‌گیرد (Kay, 1993). مفهوم خودساماندهی، چارچوب نظری مرجعی را برای تعریف یکپارچگی بوم‌شناختی فراهم می‌کند.

یکپارچگی بوم‌شناختی درباره سه بُعد از خودساماندهی سیستم‌های بوم‌شناختی است؛ الف. بهزیستی یا رفاه ب. برگشت‌پذیری پ. ظرفیت توسعه، تولید و رشد. اولی راجع به سلامت بوم‌شناختی سیستم و قدرت و رفاه آن است که چگونه می‌تواند در شرایط موجود رشد کند و توسعه یابد؛ موضوع اصلی آن شرایط موجود اکوسیستم است. بعد دوم یکپارچگی درباره توان پاسخ به استرس‌های اکوسیستم است، موضوعی که اغلب به برگشت‌پذیری یا توان ارتجاعی اشاره دارد. این مطلب درباره میزان اثر اختلالات خارجی بر شرایط سیستم است و نشان می‌دهد که توانایی تولید و احیا سیستم هنگام مواجه با تغییرات چگونه است. بعد سوم یکپارچگی راجع به توان بوم‌شناختی سیستم در تداوم خودساماندهی است. این عامل مربوط به توان توسعه، تولید و رشد در شرایط عادی محیط‌زیست است. بنابراین

در سیستم‌های پیچیده، می‌توان بیان کرد یکپارچگی بوم‌شناختی درباره حفظ یکپارچگی فرآیندهای خود سامانده است که دارای سه بعد مذکور
است (Kay & Regier, 2000).

در تدوین راهبردهای جامع و سیستمی حفاظت محیطزیست به یکسری الزامات مفهومی نیاز است که اکوسیستم‌ها را به‌عنوان شبکه‌ای از تعاملات، بین پارامترهای زیستی و فیزیکی، شیمیایی بداند. مطالعات متعددی که تاکنون در راستای بررسی ابعاد مختلف نظری تهیه دستورالعمل بالقوه یکپارچگی انجام شده است، یکپارچگی را در نقش ویژگی‌های کارکردی اکوسیستم (جریان ماده و انرژی، ذخیره و اتلاف انرژی)، خودساماندهی، عوامل بوم‌شناختی و ویژگی‌های نوظهور (مثل ویژگی شکوفایی و تجمعی در سطح خاصی از سلسله مراتب) توضیح داده است (Müller et al., 2000; De Groot, 1992; Müller & Fath, 1998). همچنین امکان در نظرگرفتن کارکردهای اساسی یا خدمات پشتیبانی اکوسیستم در قالب شاخص‌های یکپارچگی وجود دارد (Kandziora et al., 2013). ویژگی‌های کارکردی دیگری همچون عوامل ترمودینامیکی، شیب هدررفت ترمودینامیکی نیز در برخی از اشکال مطالعات یکپارچگی مدنظر قرار گرفته است (Joergensen & Nielsen, 1998).

کای و اشنایدر (۱۹۹۲) در چارچوب ترمودینامیکی بر این باور بودند که یکپارچگی اکوسیستم اشاره به توانایی اکوسیستم برای حفظ سازمان آن دارد. معیارهای یکپارچگی باید بازتاب کننده‌ی حالت سازمانی یک اکوسیستم باشد (Regier, 1992). در این دیدگاه سازمان اکوسیستم، دارای دو بعد متمایزِ کارکردی و ساختاری است. کارکرد به تمامی فعالیت‌های اکوسیستم؛ و ساختار نیز به اتصال میان اجزای سیستم اشاره دارد. معیارهای کارکردی باید نشان‌دهنده‌ی مقدار انرژی ذخیره‌شده توسط سیستم و مسیرهای افت انرژی باشد (مثل تنفس، تبخیر و تعرق). معیارهای ساختاری باید نشان‌دهنده‌ی مسیرهای جابجایی انرژی میان سیستم باشند. به‌عنوان مثال معیارهای مقدار بازچرخش در اکوسیستم، سطوح غذایی موثر گونه‌ها و میانگین ویژه آشیان‌ها، همگی تا اندازه‌ای مقدار انرژی مصرف شده در اکوسیستم را نشان می‌دهد. در هر وضعیت محیطزیستی، حداقل یک نقطه بهینه برای سیستم وجود خواهد داشت که در آن نقطه، کارکرد سیستم بیانگر همان تعامل بهینه بین عوامل گرداننده‌ی سیستم است (Kay & Schneider, 1992). در شکل (۲) نقطه بهینه‌ی اکوسیستم‌ها، نقطه‌ای است که در آن نیروهای بی‌نظم‌کننده محیط خارجی، نیروهای متعادل ترمودینامیکی را تغییر می‌دهد و آنها را ساماندهی می‌کند. کلیماکس جامعه در توالی بوم‌شناختی می‌تواند نمونه‌ای از نقطه بهینه یک اکوسیستم باشد. کلیماکس جامعه نشان‌دهنده تعادل میان نیروهای نظم‌دهنده و بی‌نظم‌کننده در اکوسیستم است.



شکل (۲): در اکوسیستم، ترمودینامیک بالا می‌رود تا جایی‌که به نقطه بهینه برسد. متغیرهای وضعیت می‌توانند تولید خالص و زیتوده باشند. متغیر محیطزیستی می‌تواند تابش سالانه خورشید باشد (Kay & Schneider, 1992)

در رویکرد ترمودینامیکی، خودساماندهی فرآیندی است که سیستم، ساختار و کارکرد درونی خود را به‌گونه‌ای تغییر می‌دهد تا سیستم را به نقطه‌ی بهینه عملیاتی برساند و سیستم را در آنجا نگه دارد. هر تحلیلی از خودساماندهی باید با تعریف سیستم و محیط آن، اجزای سیستم و محیط‌های کوچکتر آن شروع شود. در عین حالی که خودساماندهی در اکوسیستم‌ها در حال رخ دادن است، نوسانات خارجی محیطزیست، اکوسیستم را به سمت بی‌نظمی[۳] سوق می‌دهند.

در این نوع طرز فکر، احساس ما از سیستم به‌عنوان یک کل است، یعنی همان یکپارچگی که باید با توان خود، سازمان اکوسیستم را حفظ کند و روند خودساماندهی را ادامه دهد. اگر سیستمی توانایی حفظ سازمان اکوسیستم را در مقابل تغییرات محیطزیستی داشته باشد، گفته می‌شود آن اکوسیستم دارای یکپارچگی است. اگر سیستمی در حفظ سازمان خود ناتوان باشد بنابراین، یکپارچگی خود را از دست داده است. در واقع یکپارچگی، توانایی رسیدن سیستم به نقطه بهینه و حفظ آن

است. احیا یکپارچگی فیزیکی، شیمیایی و زیستی اکوسیستم‌ها، فرآیندهای بوم‌شناختی همئوستازی لازم را برای سیستم فراهم می‌کند و هزینه‌های مدیریت انسانی را به حداقل می‌رساند (Regier, 1992).

مبانی توسعه شاخص‌های یکپارچگی بوم‌شناختی

شاخص‌ها زمانی ابزاری مناسب هستند که اطلاعات اولیه‌ی یک موضوع، آنقدر پیچیده باشد که کنترل آن بدون جمع‌آوری آنها ممکن نباشد، این نکته به‌خصوص در مورد مسایل محیط‌زیستی مصداق دارد. بنابراین شاخص‌های بوم‌شناختی باید نشان‌دهنده شرایط بسیار پیچیده به شکل بسیار خلاصه باشند (Müller et al., 2000). شاخص‌های بوم‌شناختی را می‌توان برای ارزیابی شرایط محیط‌زیستی بکار گرفت تا یک علامت هشدار برای تغییرات محیط فراهم کند یا علل مسایل محیط‌زیستی را بشناساند. از آنجا که انتخاب شاخص‌های کارآمد، کلید موفقیت در برنامه‌های پایش است؛ شاخص‌های بوم‌شناختی باید بر پیچیدگی‌های اکوسیستم غلبه کنند و درعین‌حال آنقدر ساده باشد که بتوان آنها را بطور مداوم در پایش اکوسیستم استفاده کرد. سه موضوع اصلی درمورد بکارگیری شاخص‌های بوم‌شناختی به‌عنوان ابزار مدیریت منابع عبارتند از (Dale & Beyeler, 2001):

۱. وابستگی برنامه‌های پایش به تعداد کمی از شاخص‌ها و عدم موفقیت به‌کارگیری آنها در سیستم‌های بوم‌شناختی بسیار پیچیده
۲. وابسته‌بودن انتخاب شاخص‌های بوم‌شناختی به برنامه‌های مدیریتی که گاهی دارای اهداف بلندمدت و مبهمی است
۳. برنامه‌های مدیریت و پایش اغلب فاقد دقت علمی هستند که این دلیل ناکامی آنها در استفاده از یک دستورالعمل تعریف شده برای تعیین شاخص‌های بوم‌شناختی می‌شود.

چالش روبه‌رشدی که در استفاده از شاخص‌های بوم‌شناختی وجود دارد تعیین می‌کند که معیارهای مختلف سیستم‌های بوم‌شناختی باید کل سیستم را توصیف کنند و در عین حال به اندازه کافی برای مدلسازی موثر، کارآمد و ساده باشند. شاخص‌های بوم‌شناختی بزرگی تنش‌ها، میزان وقوع تنش‌ها یا درجه پاسخ بوم‌شناختی هنگام وقوع تنش‌ها را تعیین می‌کنند (Suter, 1993). در مجموع هنوز چالش بزرگی درباره تجمیع شاخص‌های بوم‌شناختی با اهداف اجتماعی- اقتصادی مدیریت منابع باقی مانده است (Dale & Beyeler, 2001).

مرور تحقیقات گذشته نشان می‌دهد شاخص‌های بوم‌شناختی کارآمد باید دارای چند معیار باشند: الف. قابل اندازه‌گیری ب. پاسخگو در مقیاس‌های مختلف پ. دارای واکنش و حساسیت مشخص به اختلالات انسانی و تنش‌های محیطی باشد و در یک حالت قابل پیش‌بینی واکنش دهد، همچنین دارای تغییر در طول زمان و تغییرپذیری کمی در واکنش‌ها باشد و تغییرات مورد انتظار به‌کمک فعالیت‌های مدیریتی قابل‌برگشت باشند ت. یکپارچه و جمع‌پذیر ث. ساده و انعطاف‌پذیر د. مفید، مرتبط و انطباق‌پذیر ج. دارای جامعیت باشند (Reza & Abdullah, 2011; Dale & Beyeler, 2001; Andreasen et al., 2001; Suter, 1993).

در حالت ایده‌آل مجموعه شاخص‌ها باید بیانگر اطلاعات اصلی راجع به ترکیب، ساختار و کارکرد باشند یعنی دارای جامعیت باشند (Lindenmayer et al., 2000). در این پژوهش علاوه بر مرور شاخص‌های یکپارچگی بوم‌شناختی، از میان معیارهای بیان شده بر معیار جامعیت نیز تمرکز شده است، مولفه‌های بوم‌شناختی که جامعیت را تعریف می‌کنند عبارتند از:

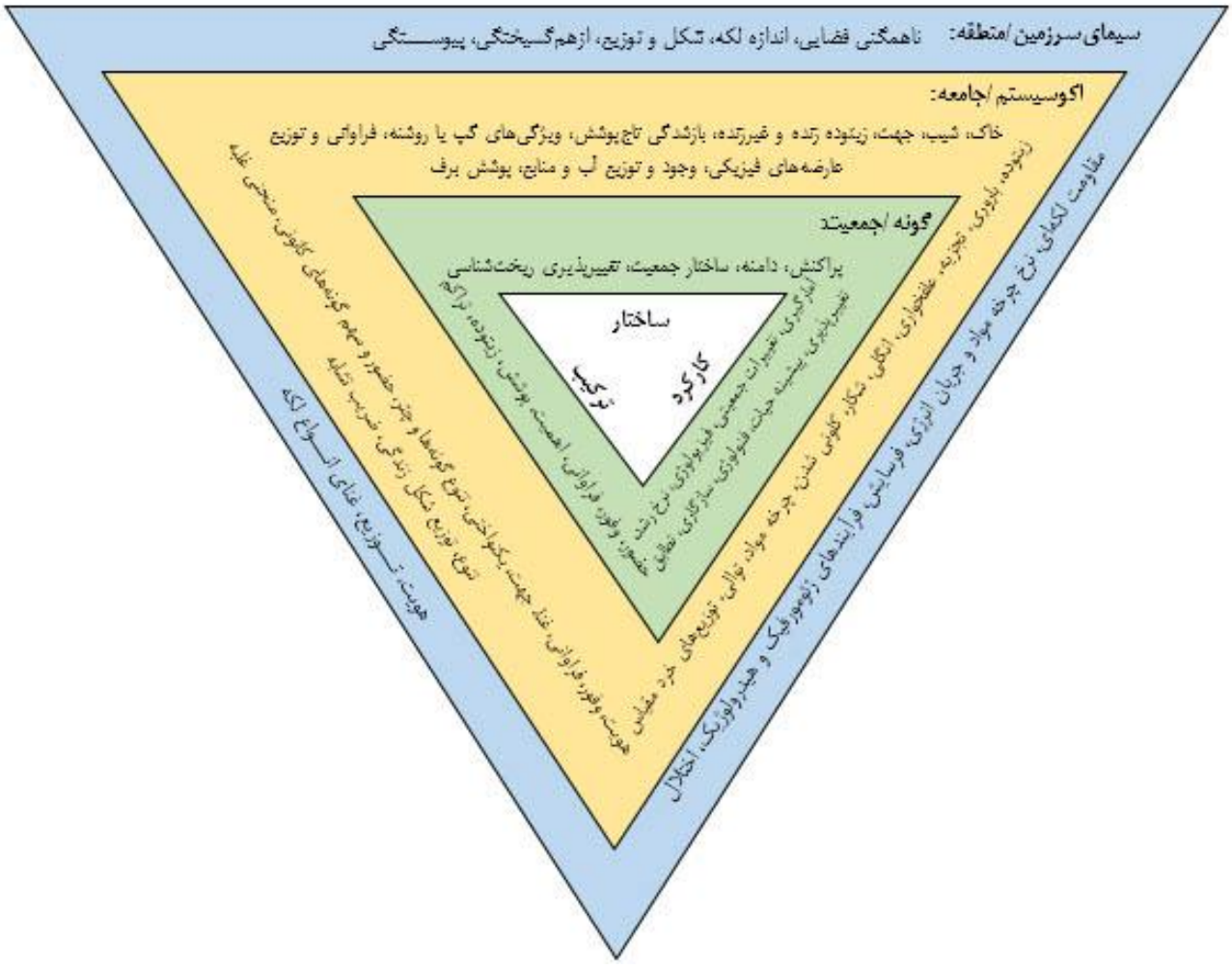
- **ترکیب:** معیارهای ترکیبی بر بیوتا تمرکز دارند و مهم‌ترین مرحله برای معیارهای ترکیبی، انتخاب نهادهای زیستی[۴] (گونه‌ها، گروه‌های کارکردی و غیره) است. گونه‌های نامزد این شاخص می‌توانند گونه‌های کلیدی باشند که شامل گونه‌هایی است که فرآیندهای اصلی اکوسیستم بر آن غالب است (مانند گونه‌های حساس، بیوتای نادر و درمعرض انقراض). انتخاب آنها بشدت وابسته به بستر است و از منطقه‌ای به منطقه‌ی دیگر و از اکوسیستمی به اکوسیستم دیگر متفاوت خواهد بود. انتخاب گونه‌ها با استفاده از دانش زیستی کارشناسان انجام می‌شود و برای قضاوت در انتخاب آنها سطحی از مهارت تاریخ طبیعی نیاز است (Karr & Chu, 1999). معیارهای ترکیبی شامل حضور یا عدم‌حضور، فراوانی، تراکم گونه‌های کانونی، گونه‌های شاخص، گونه‌های کلیدی، گونه‌های خارجی در سطح گونه و اکوسیستم هستند (Noss, 1990).
- **ساختار:** هزینه اندازه‌گیری تعداد زیادی از شاخص‌ها در زیستگاه (در مقیاس یک سایت یا در مقیاس سیمای‌سرزمین) ممکن است بیشتر از کارآمدی شاخص‌هایی باشد که برمبنای موجودات زنده است (Andreasen et al., 2001). معیارهای ساختاری در زیستگاه گونه شامل جمعیت، پراکنش، دامنه و

غیره است (Noss, 1990). در الگوی فضایی، معیارهای ساختاری می‌توانند درصد پوشش در مراحل توالی و دردسترس بودن زیستگاه را برای گونه‌های شاخص دربرگیرد. معیارهای ساختاری عبارتند از: مقدار زیستگاه در سیمای‌سرزمین، اندازه متوسط لکه‌های زیستگاهی، فاصله متوسط بین لکه‌ای، تفاوت در اندازه لکه‌ها، تفاوت در فاصله‌های بین زیستگاهی و پیوستگی سیمای‌سرزمین[۵] (Riitters et al., 1995).

- **کارکرد:** در بررسی کارکردها چیزی مهم‌تر از سلامتی و یکپارچگی اکوسیستم از عمل مداوم بیوژئوشیمیایی طبیعی، هیدرولوژیکی، بوم‌شناختی و فرآیندهای تکاملی نیست. انواع فرآیندهای کلیدی، زیستی (مانند: شکار، گیاه‌خواری، رقابت و بزرگنمایی زیستی) و فیزیکی یا غیرزیستی (مانند: هوازدگی، فرسایش، اسیدی شدن خاک، دوره آبی، لندفرم‌ها) و همچنین ترکیب این دو (مانند: تجزیه[۶]، اختلال، توالی) هستند؛ که معیارهای کارکردی را در بردارد (Andreasen et al., 2001). حساسیت موجودات زنده به شدت، بزرگی و سایر ویژگی‌های فرآیندهای طبیعی بیانگر اینست که اندازه‌گیری مستقیم فرآیندها بدون داشتن اطلاعاتی از بیوتا می‌تواند برای سنجش یکپارچگی مفید نباشد. هرچند ترکیب سنجش مستقیم فرآیندها با اطلاعات مربوط به پاسخ گونه‌های حساس به فرآیند یا محدود به فرآیند می‌تواند برای ورود به شاخص یکپارچگی بوم‌شناختی بسیار ارزنده باشد (Lambeck, 1997).

تحلیل سیستم بوم‌شناختی

سلسله مراتب بوم‌شناختی شامل اجزای ترکیبی، ساختاری و کارکردی است که با ترکیب خود سیستم بوم‌شناختی را تعیین می‌کند.



شکل (۳): سلسله مراتب بوم‌شناختی و مهم‌ترین اجزای آن (Dale & Beyeler, 2001; Noss, 1990)

همچنان که در شکل (۳) ملاحظه می‌شود سلسله مراتب بوم‌شناختی، ابزارهایی را جهت انتخاب مجموعه شاخص‌های نشان‌دهنده خصوصیات مهم سیستم فراهم می‌کند. همه سیستم‌های بوم‌شناختی حاوی عناصر ترکیبی و ساختاری هستند که منجر به فرآیندهای بوم‌شناختی می‌شوند. شرایط وابسته به پایداری کارکردهای اصلی بوم‌شناختی است که هر کدام به نوبه خود عناصر ترکیبی و ساختاری را تولید می‌کنند. اگر ارتباط‌های بین فرآیندهای مدنظر و عناصر ترکیبی و ساختاری شکسته شود، آنگاه پایداری و یکپارچگی در خطر می‌افتد و ممکن است بازسازی سخت و پیچیده شود (Dale & Beyeler, 2001). همچنین در این شکل ابعاد دیگری از سطوح سلسله مراتبی تودرتو (مثلث‌های تودرتو) را نشان می‌دهد. بنابراین سطوح گونه یا جمعیت، اکوسیستم یا جامعه و سیمای‌سرزمین یا منطقه هر یک بیانگر مقیاس در محیط‌های طبیعی به‌شمار می‌روند. اغلب اندازه‌گیری ویژگی‌های ساختاری ساده‌تر از اندازه‌گیری ترکیب و کارکرد است و می‌تواند اطلاعاتی راجع به ترکیب و کارکرد سیستم منتقل کند. گاهی اوقات، معیارهای یک مقیاس می‌توانند اطلاعاتی را درباره مقیاس‌های دیگر فراهم کنند (Lindenmayer et al., 2000). مثلا اندازه بزرگترین لکه‌ی یک زیستگاه، گونه‌ها یا سطوح غذایی جانوری را محدود می‌کند بطوری‌که به‌تنهایی می‌توانند براساس اندازه حداقل قلمروشان پشتیبانی شوند. سیستم بوم‌شناختی می‌تواند به مانند هدف متحرکی با متغیرهای مختلف سیستمی باشد که به آهستگی تغییر می‌کنند و در طولانی‌مدت ثابت نیستند (Walters & Holling, 1990).

کاار در سال ۱۹۸۱ به‌منظور ارزیابی ترکیب، ساختار و کارکرد بوم‌شناختی سیستم‌های پیچیده بوم‌شناختی روش ساده و کارآمدی را به صورت جدول (۱) ارایه داد. وی سلسله مراتب بوم‌شناختی را در کنار فرآیندها در نظر گرفت و شاخص‌های مناسب برای اندازه‌گیری یکپارچگی بوم‌شناختی را پیشنهاد کرد. این شاخص‌ها بیانگر تغییرات رخ داده در سطوح مختلفِ سلسله مراتب بوم‌شناختی از سطح ژن تا منطقه هستند. برخی محققان مانند ناس ژن را به طور جداگانه به‌عنوان یک سطح سلسله مراتبی شناسایی کرده‌اند و ویژگی‌های فرآیندی و ساختاری برای آن قایل شده‌اند (Noss, 1990). اما به‌دلیل هزینه بالای جمع‌آوری و پایش بانک ژنی، اغلب مطالعات ژنتیکی بر روی جمعیت گونه‌های جانوری نادر و درختان مهم تجاری انجام شده است.

جدول (۱): مولفه‌ها و شاخص‌های پیشنهادی برای یکپارچگی بوم‌شناختی (برگرفته از Karr, 1981)

سلسله مراتب بوم‌شناختی	فرآیندها	شاخص‌های پیشنهادی
ژن	سمیت محیط‌زیست جهش‌زایی	دگرگونی فیزیکی خسارات و آسیب‌ها فشار انگلی
گونه/ جمعیت	محدوده همگرایی و واگرایی انقراض	محدوده اندازه تعداد جمعیت
	وفور نوسانات کلونی‌شدن	ساختار سنی و تعداد رفتار پراکندگی
اکوسیستم/ جامعه	رقابت فرآیندهای شکار و انگلی جریان انرژی	غنای گونه‌ای برابری گونه‌ای تعداد سطوح غذایی
سیمای‌سرزمین/ منطقه	اختلال توالی	از هم‌گسیختگی توزیع فضایی جوامع پایداری زیستگاه‌ها

در این تحقیق به اشاره‌ای مختصر از شاخص‌های آن در جدول (۱) بسنده شده است و شاخص‌های یکپارچگی در سه سطح یا مقیاس گونه یا جمعیت، اکوسیستم یا جامعه و سیمای‌سرزمین یا منطقه مورد بررسی قرار گرفته است.

شاخص‌های یکپارچگی در مقیاس گونه

شاخص‌های یکپارچگی گونه‌ای مختلفی به تفکیک در اکوسیستم‌های آبی و خشکی بکار گرفته شده‌اند. تحقیق در مورد شاخص یکپارچگی زیستی (IBI)[۷] به‌عنوان شاخص در اکوسیستم‌های آبی توسط دانشمندان نسبتاً کامل شده است. اگرچه ماهی‌ها و نرم‌تنان کف‌زی شاخص بوم‌شناختی رایجی محسوب می‌شوند (Barbour et al., 2000). IBI بیشتر بیانگر ترکیب زیستی (تنوع) و ساختار زیستی است. IBI اساسا از مطالعات آبزیان به‌وجود آمد و توسط بسیاری از محققان حمایت شده است. این شاخص درمورد نرم‌تنان کف‌زی بزرگ، جلبک‌ها، پلانکتون، تالاب‌ها، رودخانه‌ها و خورها (Jungwirth et al., 2002)، گیاهان آوندی و پرندگان (Rasuli, 2011) دیگر انواع ارگانیسم‌ها بکار رفته است (Zhang et al., 2015، به نقل از Ji-cui & Jin-ren, 2008).

در اکوسیستم‌های خشکی گیاهان به‌عنوان پوشش سطحی مهم در اکوسیستم، دارای مزایایی از جمله: زیتوده گیاهی، پوشش گیاهی، نوع گیاه، شاخص سطح برگ، سن گیاه، درجه تخریب، شرایط رشد درختی و نقش تغذیه‌ی برگی می‌باشند (Zhang et al., 2012). یکپارچگی بوم‌شناختی در خشکی با تعیین گونه‌های شاخص گیاهی برآورد می‌شود. شاخص گیاهی روشی در پایش سنجش از دوری برای رشد و توزیع گیاهان است. بدلیل جذب متفاوت طول موج‌های مختلف در گیاهان سبز، بیشتر نور مادون قرمز نزدیک توسط گیاه بازتاب داده می‌شود و طول موج مرئی نور توسط بیشتر گیاهان سبز جذب می‌شود. بازتاب مادون قرمز نزدیک و ترکیب خطی و غیرخطی در باندهای قرمز می‌تواند ویژگی‌های طیفی را حذف کند و سپس شاخص پوشش گیاهی را تشکیل دهد. بطور معمول تصاویر TM و +ETM دارای هفت باند هستند که باند ۳ سنجنده TM با طول موج ۰/۶۳-۰/۶۹، بخش طیفی مادون قرمز به عنوان جاذب‌ترین باند کلروفیل، باند ۴ با طول موج ۰/۹۰- ۰/۷۶، بخش مادون قرمز میانی، به تفاوت‌های پوشش سبز به‌عنوان باندهای رایج حساس هستند. شاخص نرمال پوشش گیاهی NDVI[8] به صورت معادله (۱) تعریف شده است. IR نشان‌دهنده باند مادون قرمز نزدیک و R بیانگر باند قرمز است. NDVI واکنش به اعمال فتوسنتزی را به‌خوبی نمایش می‌دهد که ارزش بالای آن نشانگـر پوشش گیاهی متراکم‌تـر و شاداب‌تر (یکپارچه‌تر) است (Schowengerdt, 1997).

$$NDVI = \frac{IR-R}{IR+R} \qquad (۱)$$

شاخص‌های یکپارچگی در مقیاس اکوسیستم

شاخص‌های بوم‌شناختی باید نشان‌دهنده‌ی شرایط بسیار پیچیده اکوسیستم به‌شکل بسیار خلاصه باشند. در جدول (۲) هشت متغیر اکوسیستمی به‌عنوان اجزاء اصلی نشان‌دهنده‌ی یکپارچگی اکوسیستمی پیشنهاد شده است. این متغیرها بر اساس قواعد کارکردی هستند که هنگام توسعه اکوسیستم تغییر یافته یا بهینه‌سازی[۹] می‌شوند. همه‌ی این ویژگی‌های کارکردی باید به‌عنوان زیر واحدهایی درک شوند که در خدمت توصیف یک اکوسیستم جامع باشند. همچنین اساس این رویکرد یک تئوری پویا و هدف‌گرا است که می‌تواند برای توصیف سیستم‌های در حالت ایستا به کار رود. با توجه به تئوری خصوصیات هم تنوع‌زیستی و هم ناهمگنی غیرزیستی به‌لحاظ ترمودینامیکی مدام در حال تغییر هستند و در سیستم‌های طبیعی بهینه می‌شوند. با توجه به رهیافت خدمات اکوسیستمی این دو خصیصه، پیش‌نیازهای ضروری جهت عرضه خدمات را فراهم می‌کند (Kandziora et al., 2013; Müller et al., 2000).

شاخص‌های یکپارچگی در مقیاس سیمای‌سرزمین

- الگوی تنوع سیمای‌سرزمین، مبنای تغییرات محیط‌زیستی است. شاخص الگوی سیمای‌سرزمین، شاخص مناسبی در ارزیابی یکپارچگی بوم‌شناختی در منطقه است. در اینجا بر اساس مرور پژوهش‌های گذشته شاخص‌های زیر معرفی می‌شود:
- **ازهم‌گسیختگی**[۱۳]: در سیماهای‌سرزمین طبیعی، از هم گسیختگی منجر به کاهش مقدار زیستگاه (خسارت زیستگاهی) و تقسیم زیستگاه باقیمانده به قطعات کوچکتر و جداسازی بیشتر شده است. در معادله (۲) P_{ij} محیط لکه ij، a_{ij} مساحت لکه است. وقتی که تمام لکه‌ها مربع هستند، MSI=1 به معنی میزان پیچیدگی شکل لکه‌هاست. گستره سیمای‌سرزمین، در برخی موارد شدت دخالت عوامل انسانی را در سیمای‌سرزمین نشان می‌دهند (Zhang et al., 2012).

$$FS = 1 - \frac{1}{MS}\left(MSI = \frac{\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}\frac{0.25P_{ij}}{\sqrt{a_{ij}}}}{N} \right) \quad (۲)$$

• **قطعه‌بندی**[۱۴]: نماینده‌ی کل مساحت در سیمای‌سرزمین است. در معادله (۳) N تعداد کل لکه‌هاست. این شاخص، توزیع انواع و اقسام سیماهای سرزمین را نشان می‌دهد. شاخص‌ها برای تحلیل توزیع فضایی عناصر سیمای‌سرزمین استفاده می‌شوند. جدایی بیشتر سیمای سرزمین در توزیع جغرافیایی یعنی ازهم‌گسیختگی بیشتر آن (Zhang et al., 2012).

جدول (۲): شاخص‌های اکوسیستمی یکپارچگی (Kandziora et al., 2013)

شاخص یکپارچگی بوم‌شناختی	تعریف	شاخص‌های بالقوه
جذب اکسرژی[۱۰]	به معنی توانایی اکوسیستم‌ها جهت ارتقاء ورودی انرژی قابل استفاده. اکسرژی حاصل ترمودینامیک است و انرژی کاهش یافته را که تبدیل به کار مکانیکی می‌شود، اندازه‌گیری می‌کند. اکسرژی جذب شده برای تولید زیتوده مصرف می‌شود.	تولید خالص اولیه (t C/ha*a, kJ/ha*a) شاخص سطح برگ
ایجاد آنتروپی[۱۱]	انرژی‌های غیرقابل تبدیلی که به محیط سیستم صادر می‌شود، کاهش می‌یابد.	میزان کربن در سال ناشی از تنفس
ظرفیت ذخیره‌سازی	توانایی اکوسیستم برای ذخیره مواد غذایی، انرژی و آب هنگام در دسترس بودن و آزاد کردن آنها هنگام نیاز.	ازت و کربن آلی در خاک (kg/ha/a) ازت و کربن در زیتوده (kg/t/a)
چرخش مواد و کاهش هدررفت مواد مغذی	توانایی اکوسیستم در ممانعت از خروج عناصر غیرقابل‌برگشت به سیستم، اشاره به چرخه مواد و ریزمغذی‌ها.	تصفیه عناصر غذایی مثل: N, P (kg/ha/a, mg/l)
جریانات زیستی آب	چرخه آبی تحت تأثیر توسط فرآیندهای گیاهی در سیستم.	تعریق / کل تبخیر و تعرق
کارآیی سوخت‌و ساز	مقدار انرژی مورد نیاز برای حفظ زیتوده معین، همچنین به‌عنوان شاخص تنش برای سیستم.	تنفس / زیتوده
ناهمگنی[۱۲]	توانایی اکوسیستم در عرضه اکوسیستم‌های مناسب برای گونه‌های مختلف، برای گونه‌هایی با گروه‌های کارکردی و برای فرآیندها. این شاخص برای کارکردی بودن اکوسیستم‌ها لازم است.	مولفه‌های غیرزیستی زیستگاه شاخص‌های ناهمگنی (مثل میزان هوموس خاک (٪)) تعداد یا مساحت زیستگاه‌ها (n/ha)
تنوع‌زیستی	حضور یا عدم حضور گونه‌های انتخابی، گروه‌های (کارکردی) گونه‌ها، مولفه‌های زیستی زیستگاه، یا ترکیب گونه‌ای	گونه‌های شاخص نشان‌دهنده‌ی یک پدیده معین یا حساسیت به تغییر مشخص (n/ha) تعداد گونه‌های منتخب (n) شاخص شنون – وینر شاخص سیمپسون

$$F_i = \frac{D_i}{S_i}\left(D_i = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{N}{A}}, S_i = \frac{A_i}{A} \right) \quad (۳)$$

• **چیرگی**[۱۵]: P_i در معادله (۴) درصد مساحت نوع لکه i است، m تعداد انواع سیماهای سرزمین است. این شاخص تعداد عناصر سیمای‌سرزمین و انواع آن را در تغییر سیمای‌سرزمین نشان می‌دهد.

$$H = -\sum_{i=1}^{m}(P_i \ln P_i) \quad (۴)$$

• **تنوع**[۱۶]: این شاخص بیانگر بیشترین احتمال اختلاف در سیمای‌سرزمین است. در معادله (۵) مقدار مساحت $D \geq 0$ است.

$$D = \ln m + \sum_{i=1}^{m}(P_i + \ln P_i) \quad (۵)$$

• **پایداری**[۱۷]: سیمای‌سرزمین شامل دو ویژگی توان برگشت‌پذیری[۱۸] و توان مقاومت[۱۹] در سیمای‌سرزمین است. میزان مقاومت مستقیماً به کارکردهای داخلی ربط دارد که می‌تواند عمل نرمال در پایداری بوم‌شناختی را تضمین کند؛ و

این امر نقش مهمی در حفظ پایداری کل سیمای‌سرزمین ایفا می‌کند. پایداری بواسطه مولفه‌های اصلی بوم‌شناختی از قبیل انواع، تعداد، توزیع فضایی و زمانی ناهمگنی‌ها و کنترل آن محدود می‌شود. شاخص کمی ناهمگنی تنوع (H) در معادله (۶) نشان می‌دهد که هنگام تغییرات اکوسیستم، بکارگیری این شاخص می‌تواند بطور بصری تغییر ناهمگنی را نشان دهد. این شاخص پایداری، تغییرات اکوسیستم را در نتیجه‌ی مقاومت آشکار می‌کند. شاخص تنوع شنون[۲۰]، نسبت انواع مختلف سیمای‌سرزمین را به تعداد کل نواحی محاسبه می‌کند همچنین تعداد انواع سیمای‌سرزمین را بر می‌شمارد. فرمول آن به شرح زیر است (Zhang et al., 2012):

$$H = -\sum_{i=1}^{m}(P_i \ln P_i) \qquad (۶)$$

P_i به معنی احتمال ظهور لکه نوع i در سیمای‌سرزمین است، m به معنی تعداد انواع لکه‌هاست. زمانی‌که $p_i = \frac{1}{n}$ باشد، H به حد بیشینه خود می‌رسد $H_{max} = \lim_{x\to\infty}(n)$. زمانی‌که H افزایش می‌یابد، پیچیدگی ترکیب سیمای‌سرزمین نیز افزایش می‌یابد.

- **پیوستگی:** پیوستگی سیمای‌سرزمین درجه‌ای از تسهیلات و موانع حرکت موجودات سیمای‌سرزمین در لکه‌های منابع است (Tischendorf & Fahrig 2000; Taylor et al. 1993). آسیب‌های طبیعی و انسان منشأ به طبیعت می‌تواند ارتباطات مکانی میان لکه‌های طبیعی را تغییر دهد. کاهش قابلیت ارتباطات مکانی و تخریب‌های مربوط به پیوستگی فاکتور مهمی در تعیین یکپارچگی بوم‌شناختی منطقه است. پیوستگی سیمای‌سرزمین می‌تواند از دو جنبه ساختاری و کارکردی اندازه‌گیری شود (Reza & Abdullah, 2011). نقش اساسی پیوستگی برای تنوع‌زیستی و اکوسیستم و شناخت شفاف از ضرورت آن باعث رشد قابل ملاحظه مطالعات در این زمینه شده است (Poodat et al., 2015).

پیوستگی ساختاری: اغلب با استفاده از کوتاه‌ترین فاصله اقلیدسی اندازه‌گیری می‌شود. این معیار به‌طور موفقیت‌آمیزی در کمی‌سازی پیوستگی عارضه‌های سیمای‌سرزمین ساده تا پیچیده استفاده شده است (Moilanen & Nieminen, 2002). معادله (۷) برای اندازه‌گیری پیوستگی ساختاری می‌تواند استفاده شود.

$$S = \sum_{i=1}^{n} A_i^c \sum\nolimits_{j\neq 1} D(d_{ij}, \alpha) A_j^b \qquad (۷)$$

در این معادله A_i مساحت لکه (i (=1, 2…, n؛ پارامتر b و c نشان‌دهنده‌ی مقیاس منطقه است، لکه i هدف است و لکه j مبدأ مهاجرت است؛ $D(d_{ij}, \alpha)$ اثر فاصله بر نرخ مهاجرت را اندازه می‌گیرد؛ d_{ij} فاصله بین دو لکه i و j است و α بردار گونه‌هاست (پارامترهای ویژه‌ای که قدرت پراکنش گونه‌ها را تشریح می‌کند). این فرمول می‌تواند براساس نیازهای ارزیابی تغییر داده شود (Reza & Abdullah, 2011).

پیوستگی کارکردی: واکنش‌های رفتاری موجودات را به الگوی سیمای‌سرزمین در نظر می‌گیرد. این معیار را می‌توان با میانگین توانایی حرکت بین دو لکه اندازه گرفت که به‌عنوان موفقیت مهاجرت و پراکنش شناخته می‌شود (Taylor et al., 2006).

$$T_i = \sum\nolimits_{K=1}^{n} W_{ik} A_K \left(\frac{A_i}{\bar{A}}\right) \qquad (۸)$$

در رابطه (۸) Ti نشان دهنده‌ی پیوستگی کارکردی؛ A_i مساحت لکه مرکزی (یا قطعه باقیمانده) است، A_k مساحت لکه‌ی منفرد در محدوده مطالعه است؛ $\bar{A}$ میانگین مساحت‌های کل لکه‌هاست و W_{ik} تعامل بین لکه‌ی k و تمام لکه‌های دیگر (i) را نشان می‌دهد (Reza & Abdullah, 2011).

در مناطق شهری نیز آلبرتی (2010) نشان داده است که الگوها و فرآیندهای انسانی و بیوفیزیکی به نوبه خود بر کارکردهای اکوسیستمی (یکپارچگی زیستی و رفاه انسانی) تأثیرگذار بوده و می‌تواند جابجایی‌های سیستمی را ایجاد کند که وابسته به مسیر توسعه است. کارکرد اکوسیستمی، از خدمات مهم در مناطق شهری حمایت می‌کند. کارکردها، آب پاکیزه، ترسیب‌کننده‌های کربنی و فیلتر آلاینده‌ها، شرایط معتدل اقلیمی، کنترل سیلاب، حفاظت خاک از فرسایش و حفظ تنوع‌زیستی را فراهم می‌کند. تغییر در کارکردهای اکوسیستمی موجب بازخور در نیرو محرکه‌های تغییر می‌شود (Alberti, 2010).

در نهایت ماتریسی به‌صورت جدول (۳) تشکیل شد که شاخص‌های یکپارچگی بوم‌شناختی را در سلسله مراتب مختلف با توجه به معیار جامعیت مورد بررسی قرار داده است.

بحث و نتیجه‌گیری

با مرور مفهوم یکپارچگی از ابعاد مختلف می‌توان نتیجه گرفت که یکپارچگی غالباً به معنی توانایی حفظ و نگهداری تعادل اکوسیستم در برابر اکثر آشفتگی‌های طبیعی و اختلالات انسانی

است. تعادل نیروی بنیادینی است که اکوسیستم را کنترل می‌کند و آنرا به سمت ثبات پیش می‌برد. بنابراین سیستمی که یکپارچگی دارد؛ ویژگی‌های بوم‌شناختی (ترکیب، ساختار و کارکرد) و فرآیندهای آن در محدوده طبیعی تغییرات رخ دهند و از شرایط موجود خود خارج نشود، بعبارتی دارای ظرفیت خودساماندهی خواهد بود. در مفهوم یکپارچگی، آشفتگی و اختلال به‌عنوان عامل بیرونی مورد توجه است. در این تحقیق بررسی شاخص‌های یکپارچگی در مقیاس‌های مختلف و سلسله مراتب بوم‌شناختی نشان داد که شاخص‌های گونه‌ای، اکوسیستمی بیشتر متمرکز بر وضعیت درونی اکوسیستم هستند. در حالی که شاخص‌های بوم‌شناختی سیمای سرزمین علاوه بر وضعیت درونی به رژیم‌ها و فرآیندهای اختلالی ناشی از طبیعت و فعالیت‌های بشری توجه دارد. شاخص‌های یکپارچگی در بستر سیمای‌سرزمین با رویکرد آسیب‌شناسانه خود به برنامه‌ریزان کمک می‌کند، توجه درخوری به کارکردهای بوم‌شناختی به موازات ساختارهای بوم‌شناختی در تدوین برنامه‌های کاربری زمین و ارزیابی محیط‌زیست داشته باشند.

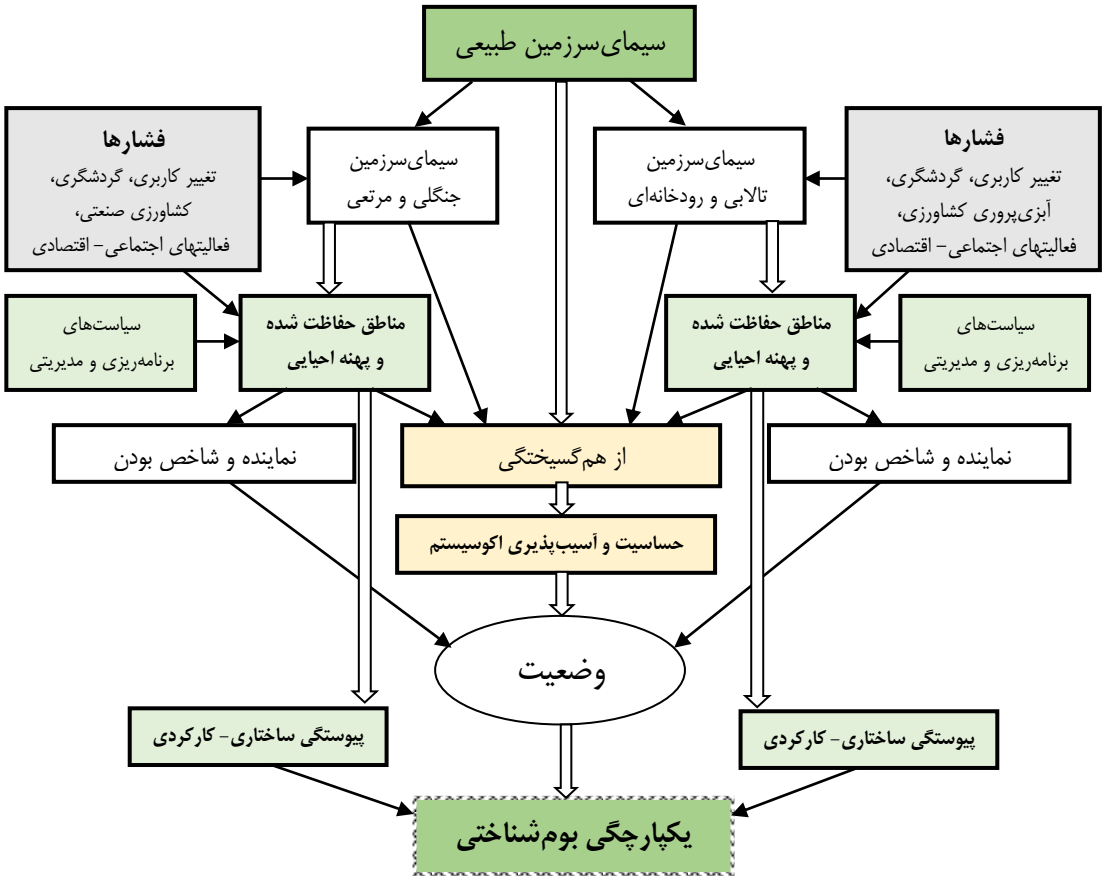
جدول (۳): ارزیابی شاخص‌های یکپارچگی در سلسله مراتب بوم‌شناختی بر اساس معیار جامعیت

شاخص / معیار			جامعیت		
			ترکیبی	ساختاری	کارکردی
سلسله مراتب بوم‌شناختی	گونه/ جمعیت	آبزی	*	*	
		خشکی‌زی	*	*	
	اکوسیستم/ جامعه	جذب اکسرژی			*
		ایجاد آنتروپی			*
		ظرفیت ذخیره‌سازی			*
		چرخش مواد و کاهش هدررفت مواد مغذی			*
		جریانات زیستی آب			*
		کارآیی سوخت‌و ساز			*
		ناهگمنی	*		*
		تنوع‌زیستی	*	*	
	سیمای‌سرزمین/ منطقه	ازهم‌گسیختگی		*	*
		قطعه‌بندی		*	
		چیرگی	*	*	
		تنوع	*	*	
		پایداری	*		*
		پیوستگی	*	*	*

مساله اصلی در ارزیابی بوم‌شناختی و فرآیند تصمیم‌گیری مدیریت پایدار، پیچیدگی اکوسیستم‌هاست. برای درک پیچیدگی اجزا و ارتباطات سیستم‌های انسان و محیط‌زیست اقدامات زیادی برای ایجاد ساختارهای نشان‌دهنده نظم سیستم‌های پیچیده محیط‌زیست انجام شده است. رایج‌ترین رویکرد به نظر می‌رسد چرخه‌ی مدیریت تطبیقی DPSIR[21] باشد که بر اساس مدل خدمات اکوسیستم است (Jahanishakib et al., 2015). در این چرخه کارکردها به‌عنوان شاخص‌های یکپارچگی اکوسیستمی هستند که به‌عنوان اساس و پایه عرضه خدمات اکوسیستمی درک می‌شوند. بنابراین، خدمات اکوسیستمی با همکاری ساختار و کارکرد اکوسیستمی در ترکیب با دیگر ورودی‌ها، رفاه انسانی را حاصل می‌کند. کارکردهای اکوسیستمی اغلب به‌عنوان فرآیند محوری استفاده می‌شود که مکمل ساختارهای اکوسیستمی است که اشاره به واحدهای بوم‌شناختی سازنده و الگوها دارد. مفهوم نسبی کارکرد اکوسیستمی شدیدا وابسته به فرآیندها و ساختارهای بوم‌شناختی است که آنها پیش‌نیاز توان خودسامان‌دهی اکوسیستم و توانایی عرضه خدمات اکوسیستمی هستند. این ویژگی‌های اکوسیستمی در مفهوم یکپارچگی اکوسیستم خلاصه شده است. بعبارتی می‌توان گفت کارکردهای اساسی اکوسیستم تحت عنوان خدمات پشتیبانی

اکوسیستم (یعنی آن فرآیندهایی که برای ایجاد دیگر خدمات اکوسیستمی لازم هستند) محسوب می‌شوند. یکپارچگی اکوسیستم به‌عنوان یک شاخص ترکیبی برای ارزیابی توسعه پایدار مفید است. اثرات کاربری زمین بر اکوسیستم توجه زیادی را در تغییر محیط‌زیست جهانی به خود جلب کرده است. همانطور که ژانگ و همکاران بیان کرده‌اند (۲۰۱۲)؛ الگوهای مختلف کاربری زمین و شدت آنها اثر مهمی در یکپارچگی بوم‌شناختی دارد که می‌تواند در ساختار و ترکیب اکوسیستم مستقیما بازتاب شود. اختلالات انسانی شدیدی به‌ویژه تغییر کاربری، گونه‌ها و زیستگاه‌های آنها را آسیب‌پذیر کرده است. وجود این تخریب و کاهش توان خودساماندهی سیستم وجود دارد و مانع از یکپارچگی بوم‌شناختی سیستم می‌شود.

مساله دیگری که در برنامه‌ریزی بوم‌شناختی وجود دارد این است که حفاظت تنوع‌زیستی در سیماهای‌سرزمین چندکارکردی و انسان‌غالب به مقیاس مکانی کلان نیازمند است چون انواعی مختلفی از اکوسیستم‌ها بصورت تو در تو و کنار هم در بستر سطح کلان یا منطقه قرار گرفته‌اند. بنابراین لازم است یکپارچگی بوم‌شناختی را در مقیاس منطقه‌ای اندازه‌گیری کرد تا تصویر کاملی از ترکیب، ساختار و کارکرد اکوسیستم دریافت شود. درک ویژگی‌های یکپارچگی بوم‌شناختی و فرآیندهای مکانی ناشی از تنش‌های انسانی ضروری است و پیش‌نیاز توسعه یکپارچگی بوم‌شناختی در سطح منطقه است. محققان اروپایی اکولوژی سیمای‌سرزمین را به‌منزله توجه و تمرکز بوم‌شناسی بر مناطق جغرافیایی تعریف کردند. بنابراین سیمای‌سرزمین عرصه‌ای را فراهم می‌کند که در آن، دستیابی به توازن اقتصاد، محیط‌زیست و جامعه (توسعه پایدار) در منطقه دنبال شود. رویکردهایی مثل تحلیل فراکتال می‌تواند در شناسایی مقیاس‌هایی که پدیده‌های طبیعی به صورت سیستماتیک تکرار می‌شوند، کمک کند (Selman, 2015). برای دستیابی به مناظر پایدارتر باید فعالیت‌های کاربری زمین در واحدهای فضایی مدیریت شود تا ویژگی‌های خودساماندهی طبیعت تقویت شود. به منظور نظارت و توسعه پایدار مناظر، باید مدام با الگوها و فرآیندهای طبیعی کار شود و به آنها در مقیاس مناسب پاسخ داده شود.



شکل (۳): فرآیندهای موثر بر ویژگی‌های یکپارچگی بوم‌شناختی (با تلخیص از Reza & Abdullah, 2011)

بدین ترتیب چارچوب بخش‌های موردنظر مطالعات یکپارچگی بوم‌شناختی در مقیاس سیمای‌سرزمین به شکل (۳) پیشنهاد می‌شود در این شکل ویژگی‌های یکپارچگی بوم‌شناختی در مقیاس سیمای‌سرزمین طبیعی و همچنین تاثیر فرآیندهای مختلف مکانی در یکپارچگی بوم‌شناختی نمایش داده شده است. با وجود فشارهای فعالیت‌های بشری (تغییر کاربری، گردشگری، آبزی‌پروری، کشاورزی، فعالیت‌های اجتماعی- اقتصادی) طبیعت دچار ازهم‌گسیختگی شده و اکوسیستم‌ها آسیب‌پذیر می‌شوند. از این‌رو پیشنهاد می‌شود به‌منظور حفاظت سیماهای طبیعی مدیران با سیاست‌ها و برنامه‌ریزی‌ها از تخریب بیشتر جلوگیری کنند و با تعیین مناطق حفاظت‌شده و مناطقی جهت احیا و بازسازی از تنوع‌زیستی حفاظت کنند.

همچنان‌که در جدول (۳) ملاحظه می‌شود؛ از بین شاخص‌های یکپارچگی بوم‌شناختی در سطح سیمای‌سرزمین، شاخص پیوستگی بدلیل درنظر گرفتن ابعاد ترکیبی، ساختاری و کارکردی دارای جامعیت بیشتری است. این شاخص همچنین قابلیت ارزیابی کمی ساختاری و کارکردی را داراست و تعامل این دو بعد را می توان بررسی کرد.

تاکنون سیستم‌های شاخص بوم‌شناختی بسیار زیادی ارایه شده است ولی دارای قابلیت اجرایی کمی هستند. بعلاوه تحقیق درباره یکپارچگی اکوسیستم از دیدگاه سیمای‌سرزمینی بطور زیادی توسط محققان مغفول مانده است (Zhang et al., 2012). درصورتی‌که منطقه‌ای با سیماهای مختلف، کلیدی است برای یافتن سیستم ارزیابی جامع که در برگیرنده‌ی تمام ابعاد اکوسیستم است. سپس سیستم ارزیابی می‌تواند بصورت کمی ساختار سیمای‌سرزمین را توصیف کند و ارتباط درونی ساختار و کارکرد سیمای‌سرزمین را منعکس کند، می‌تواند تغییر الگو و ساختار سیمای‌سرزمین را تحلیل کند. سیمای‌سرزمین و مقیاس‌های زمانی میان‌مدت، زمینه‌های زیادی را پوشش می‌دهند.

یادداشت‌ها

1. Self-Organizing
2. Resilience
3. Disorganize
4. Biological Entities
5. Landscape Connectivity
6. Decomposition
7. Index of Biotic-Integrity
8. Normalized Difference Vegetation Index
9. Optimization
10. Exergy Capture
11. Entropy
12. Heterogeneity
13. Fragmentation
14. Segmentation
15. Dominance
16. Diversity
17. Stability
18. Resistance Ability
19. Resilience Ability
20. Shannon Diversity Index
21. Drivers, Pressures, State, Impact, Response

تقدیر و تشکر

بدینوسیله از کمک‌های جناب آقای دکتر عبدالرسول سلمان ماهینی استاد گروه محیطزیست دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان در تهیه این مقاله، تشکر و قدردانی می‌گردد.

فهرست منابع

Abdullah, S. A. & Nakagoshi, N. 2007. Forest fragmentation and its correlation to human land use change in the state of Selangor. Peninsular Malaysia, Ecological Management, 241(1), 39–48.

Alberti, M. 2010. Maintaining ecological integrity and sustaining ecosystem function in urban areas. Current Opinion in Environmental Sustainability, 2(3), 178-184.

Andreasen, J. K.; O'Neill, R. V.; Noss, R., & Slosser, N. C. 2001. Considerations for the development of a terrestrial index of ecological integrity. Ecological indicators, 1(1), 21-35.

Barbour, M. T.; Swietlik, W. F.; Jackson, S. K.; Courtemanch, D. L.; Davies, S. P., & Yoder, C. O. 2000. Measuring the attainment of biological integrity in the USA: a critical element of ecological integrity: Springer, 453-464.

Cairns, J. 1977. Quantification of biological integrity. US Government Printing Office.

Dai J. & Ni J. 2008. Benthos the animals in aquatic ecosystem health assessment of the effect analysis. The ecological environment, 17(6), 2107-2111.

Dale, V. H. & Beyeler, S. C. 2001. Challenges in the development and use of ecological indicators. Ecological indicators, 1(1), 3-10.

De Groot, R. S. 1992. Functions of Nature. Wolters- Noorhoff BV.

Jahanishakib, F.; Malekmohammadi, B.; Zebardast, L.; & Adeli, F.; 2015. Investigate the potential and application of ecosystem services as ecological indicators in the DPSIR model (Case Study: Choghakhor Wetland). Environmental Reaserch, 5 (10), 109-120.

Joergensen, S. E. & Nielsen, S. N., 1998. Thermodynamic orientors: exergy as a goal function in ecological modelling and as an ecological indicator for the description of ecosystem development. In: Müller, F., Leupelt, M. (Eds.), Eco Targets, Goal Functions and Orienters. Springer, Berlin, 63–86.

Jungwirth, M.; Muhar, S., & Schmutz, S. 2002. Re-establishing and assessing ecological integrity in riverine landscapes. Freshwater Biology, 47(4), 867-887.

Kandziora, M.; Burkhard, B., & Müller, F. 2013. Interactions of ecosystem properties, ecosystem integrity and ecosystem service indicators - A theoretical matrix exercise. Ecological Indicators, 28 (1), 54-78.

Karr, J. R. & Chu, E. 1999. Restoring Life in Running Waters: Better Biological Monitoring. Island Press, Washington, DC.

Karr, J. R. & Dudley, D. R. 1981. Ecological perspective on water quality goals. Environ. Manage, 5 (1), 55–68.

Kay, J. J. & Regier, H. A. 2000. Uncertainty, complexity, and ecological integrity: insights from an ecosystem approach. Implementing Ecological Integrity, Springer Netherlands, 121-156.

Kay, J. J. & Schneider, E. D. 1992. Thermodynamics and measures of ecological integrity Ecological indicators. Springer, 159-182.

Kay, J. J. 1993. On the nature of ecological integrity: some closing comments. Ecological Integrity and the Management of Ecosystems, St. Lucie, Delray Beach, FL.

Lambeck, R. J. 1997. Focal species: a multi-species umbrella for nature conservation. Conserv. Biol. 11, 849–856.

Lindenmayer, D. B.; Margules, C.R. & Botkin, D.B. 2000. Indicators of biodiversity for ecological sustainable forest management. Conservation Biol, 14, 941–950.

Moilanen, A. & Nieminen, M. 2002. Simple connectivity measures in spatial ecology. Ecology, 83(4), 1131-1145.

Müller, F. & Fath, B. 1998. The physical basis of ecological goal functions. In: Müller, F., Leupelt, M. (Eds.), Eco Targets, Goal Functions and Orienters. Springer, Berlin, 269–285.

Müller, F.; Hoffmann-Kroll, R. & Wiggering, H. 2000. Indicating ecosystem integrity-theoretical concepts and environmental requirements. Ecological modelling, 130(1), 13-23.

Noss, R. F. 1990. Indicators for monitoring biodiversity: a hierarchical approach. Conservation Biology, 1(4), 355–364.

Poodat, F.; Barghjelveh, Sh.; & Mirkarimi, S. 2014. An analytical overview on how to measure ecological linkage to protect biodiversity in cities. 5 (11), 195-210.

Rasuli, S. 2011. Structural integrity evaluation of biosphere reservoirs in landscape (Case Study: Miankaleh biosphere reserve). Desertation of Ph.D. Faculty of Environment. University of Tehran. 27-36

Regier, H. A. 1992. Indicators of ecosystem integrity, Ecological indicators, Springer, 183-200.

Regier, H. A. 1993. The notion of natural and cultural integrity. In Ecological integrity and the management of ecosystems. Woodley, S. & Kay, J. CRC Press, 3-18 pp.

Reza, M. I. H. & Abdullah, S. A. 2011. Regional Index of Ecological Integrity: A need for sustainable management of natural resources. Ecological indicators, 11(2), 220-229.

Riitters, K. H.; O'Neill, R.V.; Hunsaker, C.T.; Wickham, J.D.; Yankee, D.H.; Timmons, S.P.; Jones, K.B. & Jackson, B.L. 1995. A factor analysis of landscape pattern and structure metrics. Landscape Ecol, 10, 23–39.

Schowengerdt, R. A. 1997, Remote Sensing: Models and Methods for Imagery Processing, 2nd Ed.

Selman, P. 2015. Planning at the landscape scale. Translated by Fatemeh Jahanishakib & Fatemeh Adeli sardoo. Tehran. Khaniran Publication. Avaye ghalam, p 240.

Suter, G. 1993. Ecological Risk Assessment. Lewis Publishers, Ann Arbor, MI.

Taylor, P. D.; Fahrig, L. & With, K. A. 2006. Landscape connectivity: back to the basics. In: Crooks, K., Sanjayan, M. A. (Eds.), Connectivity Conservation. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

Taylor, P. D.; Fahrig, L.; Helein, K. & Merriam, G. 1993. Connectivity is a vital element of landscape structure. Oikos, 68, 571-573.

Timko, J. A. & Innes, J. L. 2009. Evaluating ecological integrity in national parks: Case studies from Canada and South Africa. Biological Conservation, 142(3), 676-688.

Tischendorf, L. & Fahrig, L. 2000. On the usage and measurement of landscape connectivity. Oikos, 90 (January), 7–19.

Walters, C. J. & Holling, C.S. 1990. Large-scale management experiments and learning by doing. Ecology, 71, 2060–2068.

Zhang, D.; Fu, M. & Du, C. 2012. Ecological Integrity Evaluation Based on Landscape Index, In Remote Sensing, Environment and Transportation Engineering (RSETE), 2012 2nd International Conference on, IEEE, 1-6.