Archive of SID

پژوهش‌های محیط‌زیست، سال ۶، شماره ۱۱، پاییز و زمستان ۱۳۹٤، از صفحه ۷۱ تا ۸٤

معرفی روشی جهت ارزیابی و پایش «سلامت اکوسیستم» با به‌کارگیری فناوری سنجش از دور

نادیا عباس زاده تهرانی

دکترای برنامه ریزی محیط زیست، استادیار پژوهشگاه هوا فضا، وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۳/۲۰؛ تاریخ تصویب: ۱۳۹۴/۱۲/۰۹)

چکیده

گسترش آثار منفی فعالیت‌های انسانی و در نتیجه از بین رفتن بخش عمده‌ای از ساختار و عملکرد اکوسیستم‌های مهم در سراسر جهان، از مهمترین مباحث محیط‌زیستی قرن حاضر محسوب می‌شود که ضرورت ارزیابی و کنترل روندهای مخرب مذکور را نمایان می‌سازد. ارزیابی و پایش سلامت اکوسیستم به معنای بررسی مستمر عملکرد کلی سیستم شامل: نظارت بر وضعیت پایایی و پایداری ساختار و عملکرد و فرایندها و میزان قدرت بازگشت پذیری آن پس از بروز آشفتگی و تنش است. سلامت اکوسیستم همواره با تدوین شاخص‌هایی کمی و بررسی تغییرات آنها در طول زمان پایش می‌شود. به نظر می رسد پتانسیل‌های موجود در فناوری سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی و تلفیق آنها توانایی ایجاد داده‌های فضایی (با تواتر بالای زمانی، مکانی و طیفی و غیره) می‌تواند در تدقیق و بهبود شاخص‌های به کار رفته درپایش و ارزیابی سلامت اکوسیستم مفید باشد. بنابراین، تحقیق حاضر به بررسی و امکان‌سنجی ایجاد یک روش نوین جهت پایش و ارزیابی سلامت اکوسیستم با تکیه بر شاخص‌های مکانمند حاصل از فناوری سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی پرداخته است. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که از میان شاخص‌های سنجش از دوری ارزیابی سلامت و پایداری اکوسیستم‌ها، نقشه پوشش گیاهی با تواتر زمانی مناسب و شاخص‌های گیاهی مانند NDVIوLAI بیشترین نقش را در برآورد سلامت اکوسیستم ایفا می‌نماید. این تحقیق، به‌کارگیری متریک‌های منظر و تنوع زیستی، همچنین تلفیق شاخص‌های غیر سنجش از دوری (مانند برآورد فشار محیط‌زیستی در مقایسه با ظرفیت برد منطقه) با شاخص‌های عنوان شده را جهت براورد دقیق تر سلامت اکوسیستم پیشنهاد می‌نماید.

کلید واژه ها: سلامت اکوسیستم، سنجش از دور، شاخص، توان، ساختار، تاب آوری

*نویسنده مسئول: Email: tehrani@ari.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

سرآغاز

گسترش آثار منفی فعالیت‌های انسانی و در نتیجه از بین رفتن بخش عمده‌ای از ساختار و عملکرد اکوسیستم‌های مهم در سطح جهان، از مهمترین مباحث محیط‌زیستی قرن حاضر محسوب می‌شود. امروزه، شواهد بسیاری مبتنی بر وجود مقادیر بالای استرس در بیشتر اکوسیستم‌های تحت سلطه انسان و از دست رفتن تدریجی کارایی آنها وجود دارد. خدمات فراهم شده توسط این اکوسیستم‌ها برای رفاه زندگی انسانی بسیار مهم هستند. از آن جایی که اکوسیستم‌های تحت تنش، شدیدا تخریب شده و تنزل کیفیت پیدا می‌کنند، قابلیت فراهم کردن خدماتی که قبل از بروز تنش و آشفتگی ارایه می‌کردند را از دست می‌دهند. بنابراین، توانایی محیط‌زیست در پایدار ساختن فعالیت‌های اقتصادی و سلامت انسان‌ها به تدریج کاهش می‌یابد. اکوسیستم‌ها در نتیجه تداوم فشار، به طور تدریجی دچار فروافت و تخریب می‌شوند؛ مگر آن که انسان‌ها استراتژی‌هایی پیشگیرانه و بازیابی‌کننده، جهت حصول به سلامت و یکپارچگی اکوسیستم‌ها اتخاذ نمایند.

در این راستا، ارزیابی و پایش سلامت اکوسیستم، به‌معنای بررسی مستمر عملکرد کلی سیستم، شامل: نظارت بر وضعیت پایایی و پایداری ساختار و عملکرد و فرایندها و میزان قدرت بازگشت‌پذیری آن پس از بروز آشفتگی‌ها و استرس‌ها می‌باشد. سلامت اکوسیستم همواره با تدوین شاخص‌هایی کمّی و بررسی تغییرات آنها در طول زمان، پایش می‌شود.

به طورکلی، ایده«سلامت» برای نمایش سرزندگی افراد و اخیرا برای جمعیت‌ها (انسان ها، حیوانات اهلی وحیات‌وحش) به‌کار می‌رود. بسط موضوع سلامت به اکوسیستم‌ها، در پاسخ به شواهد جمع‌آوری شده از ناکارآمدی بسیار اکوسیستم‌های تحت غلبه انسان، صورت گرفته‌است. گسترش ایده سلامت به سطوح منطقه‌ای (اکوسیستم‌ها، حوضه‌های آبریز، حوضه‌های آبخیز و سیمای سرزمین) فرصت‌های جدیدی را جهت تلفیق علوم اجتماعی، طبیعی و بهداشتی، فراهم می‌آورد. تعریف سلامت اکوسیستم با اکولوژی تنش[۱]مرتبط است که سلامت را براساس ساختار سیستم، برگشت‌پذیری (تاب آوری) و قدرت[۲] آن و عدم وجود علایم پریشانی در اکوسیستم تعریف می‌کند. این تعریف همچنین شامل وجود فعالیت‌های اساسی و ویژگی‌های کلیدی است که سیستم حیات را پایدار می‌سازد. یک اکوسیستم سالم، پایدار و پویاست، سازمان و استقلال خود و نسبت بین تنش (استرس) و تاب آوری (تاب آوری) خود را حفظ می کند.

مفهوم «سلامت جمعیت انسانی» باید در یک چارچوب اکولوژیکی به‌عنوان یک تفسیر از ظرفیت پشتیبانی حیات توسط محیط‌زیست در نظر گرفته شود. در نتیجه، سلامت جمعیت یک ملاک مهم برای پایداری محسوب می‌شود؛ چیزی که در طول زمان نشان می‌دهد که آیا به طور رضایت بخشی حیطه‌های اکولوژیکی و اجتماعی را پایدار ساخته‌ایم یا خیر؟

سیستم‌های پشتیبان‌حیات بیوسفر، شامل سیستم‌های خشکی و آبی تولید غذا، تالاب‌ها که کیفیت آب را حفظ می‌کنند، محدودیت‌های اکولوژیکی وارد برعوامل بیماری‌های عفونی و ناقلان آنها و بافرینگ (یا ضربه گیری) در مقابل بلایای‌طبیعی (مانند: سیلاب‌ها، طوفان‌ها و زمین‌لغزش و غیره) می باشند که توسط جنگل‌های حفاظت‌شده و خطوط ساحلی ارایه می‌شود.اگر تغییرات محیط‌زیستی بزرگ‌مقیاس مانند: تغییرات اقلیمی، تخریب سرزمین و ازدست‌دادن تنوع‌زیستی اتفاق بیافتد، باید انتظار کاهش ظرفیت پشتیبان‌حیات بیوسفر را داشته باشیم.

در نهایت، به نظر می‌رسد پتانسیل‌های موجود در فناوری سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی و تلفیق آنها (توانایی ایجاد داده‌های فضایی با تواتر بالای زمانی، مکانی و طیفی) می‌تواند در تدقیق و بهبود شاخص‌های بکار رفته در پایش و ارزیابی سلامت اکوسیستم مفید باشد. بنابراین، تحقیق حاضر به بررسی و امکان‌سنجی ایجاد یک روش نوین جهت پایش و ارزیابی سلامت اکوسیستم با تکیه بر به‌کارگیری شاخص‌های فضایی حاصل از فناوری سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی می‌پردازد.

سلامت اکوسیستم

ایده سلامت اکوسیستم در دهه ۸۰ میلادی، به ادبیات محیط‌زیست وارد شد. سلامت اکوسیستم برای اولین بار به صورت مقابل تعریف شد: «سیستم اکولوژیکی که سالم و عاری از سندرم زجر[۳] است؛ اگر ایستا و پایدار باشد». با تکامل دانش اکولوژی، ایده سلامت اکوسیستم به مفهومی جامع شامل اکولوژی، اقتصاد و جمعیت بسط یافت.ایده سلامت اکوسیستم سه فاز تکمیلی مشخص را پشت سر گذاشته است (Su et al., 2010).

www.SID.ir

Archive of SID

- در فاز اول به ویژگی‌های خود اکوسیستم توجه شده‌است.
- سپس به خدماتی که به انسان‌ها می‌دهند
- در نهایت، ویژگی‌های اکوسیستم و خدمات آن برای انسان‌ها

در تلفیق با یکدیگر، بررسی شده‌است. جدول (۱) تاریخچه تکامل ایده سلامت اکوسیستم را نمایش می‌دهد.

جدول (۱): تاریخچه تکامل ایده سلامت اکوسیستم

زمان	رخداد
<۱۹۰۰	Huttonدر سال ۱۷۸۸برای اولین بار ایده سلامت طبیعی را مطرح کرد: کره زمین به عنوان یک ابر ارگانیسم خود تنظیم.
۱۹۰۰–۱۹۳۹	Clements & weaver در سال ۱۹۲۹ معرفی اکوسیستم به مثابه یک موجود زنده با ویژگی‌های سالم و ناسالم: فرضیه‌های توالی جامعه و کلیماکس (نقطه اوج).
۱۹۴۰–۱۹۶۹	Leopold در سال ۱۹۴۱ اولین بار «سلامت سرزمین»را مطرح کرد. و «بیماری سرزمین» را برای توصیف اختلال عملکرد سرزمین بکار برد. همچنین، ایده «سلامت لنداسکیپ» را مطرح کرد: به صورت ظرفیت سرزمین جهت احیای خودش.
۱۹۷۰–۱۹۷۹	Woodwell در سال ۱۹۷۰ تاثیر تنش‌های آلودگی را بر روی ساختار و عملکرد اکوسیستم مورد بررسی قرار داد.
	Barret در سال ۱۹۷۶اهمیت مقوله «اکولوژی استرس» را مطرح نمود.
	Odum در سال ۱۹۷۹ مبحث اکولوژی سیستمی را ارتقا داد: اکوسیستم‌هایی که «خود تنظیم هستند»و «بازخوردارند»، که می توانند پس از بروز استرس خود را احیا کنند، نیاز به دخالت مدیریتی ندارند.
	Rapport و همکاران در سال ۱۹۷۹، تیوری«سلامت سرزمین» لیوپولد را توسعه دارد و واژه «پزشکی اکوسیستم» را به عنوان روشی برای ارزیابی اکوسیستم به روشی یکپارچه مطرح نمود.
۱۹۸۰–۱۹۸۹	انجمن اکولوژی آمریکا، سمپوزیومی را بنام «روش‌های یکپارچه نمایش و مدیریت اکوسیستم‌های تحت تنش» در کنفرانس سالانه ۱۹۸۴ برگزار کرد.
	Rapport و همکارانش در سال ۱۹۸۵: اکوسیستم نمی تواند به عنوان موجود در نظر گرفته شود و نمی تواند تحت ناملایمات به طور مستقل پاسخ دهد.
	اکولوژیست هایی مانند کاستانزا و راپورت بیان کردند که اکوسیستم‌ها تحت استرس ناکارآمد می شوند و نمی توانند خدمات پایه و ضروری را برای انسان‌ها فراهم کنند. آنها مبحث سلامت اکوسیستم را مطرح و توجه عموم را به تخریب محیط زیست جلب نمودند.
	سازمان جهانی بهداشت (WHO) پروژه «شهرهای سالم» را بنا نهاد.
	Schaeffer و همکاران در سال ۱۹۸۸، محاسبه سلامت اکوسیستم را مدنظر قرار داد و اصول ارزیابی و روش‌های آن را مطرح نمود.
	در سال ۱۹۸۹,Rapport سلامت اکوسیستم را به صورت «ایستایی» و «پایداری» سیستم توضیح داد که می‌تواند توسط توان تولید، ساختار و تاب آوری، نشان داده شود.
	انجمن مدیریت سلامت اکوسیستم آبی در کانادا ایجاد شد.
ادامه دارد – ۱۹۹۰	Rapport در سال ۱۹۹۲، ایده schaeffer به عنوان «نبود بیماری»، به سوی یک «سندرم جامع زجر اکوسیستم» را توسعه داد. در این زمان موضوع «سلامت» به طور گسترده ای توسط دانشگاهیان و محققان مطالعه می‌شد.
	ژورنال‌های مختلف علمی در مورد سلامت اکوسیستم ایجاد شدند.
	Shear در سال ۱۹۹۶، ارزیابی اکوسیستم آبی منطقه Great Lakes را انجام داد.
	چندین کتاب مهم (به ویژه توسط راپورت) در فاصله سال‌های ۱۹۹۵ تا ۲۰۰۴، در زمینه سلامت اکوسیستم ایجاد شد.
	Gue و همکارانش در سال ۲۰۰۲، برروی سلامت اکوسیستم شهری در چین مطالعه کردند.

منبع جدول: (Su et al., 2010)

راپورت و همکارانش، وظایف اکوسیستم را متشکل از دو بخش در نظر گرفته اند: برآورده ساختن نیازهای منطقی انسان‌ها و در عین حال حفظ سازمان خودش (Rapport et al., 1998). بنا به‌نظر کاستانزا، در یک اکوسیستم سالم، موارد زیر برقرار است (Wang et al., 2008).

۱. وجود قابلیت هموستازی (خود تنظیمی) ۲. عدم وجود بیماری ۳. وجود تنوع و پیچیدگی . حفظ پایایی و تاب آوری (برگشت پذیری) ۵. توان یا حوزه عمل برای رشد و تولید ۶. تعادل میان اجزای سیستم. کاستانزا تاکید می کند که وجود همه یا بیشتر این ویژگی‌ها به طور همزمان ضرورت دارد؛ در نتیجه او یک

www.SID.ir

Archive of SID

اندکس (نمایه) کلی سلامت سیستم را ارایه کرده است:

$$\mathbf{HI} = V * O * R$$

در این فرمول، V برابر با توان تولید (عملکرد)، O برابر با شاخص ساختار سیستم و R برابر با شاخص تاب آوری است.با ارایه این نمایه،کاستانزا مهمترین و کلیدی ترین خواص اکوسیستم را جهت پوشش‌دادن به مفهوم سلامت اکوسیستم به کار برده است (Jørgensen et al., 2005).

Kay از واژه شادابی اکوسیستم[۴]- اشاره به توانایی یک اکوسیستم در حفظ سازمان خود- استفاده می کند. بنابراین میزان یا مقیاس یکپارچگی، باید منعکس کننده دو جنبه از وضعیت سازمانی یک اکوسیستم باشند: یعنی ساختار و عملکرد. عملکرد، شامل فعالیت‌های کلی اکوسیستم است و ساختار، ارتباطات داخلی میان اجزای سیستم می‌باشد. مقیاس‌های عملکرد، میزان انرژی کسب شده توسط سیستم را نشان می‌دهد. مقیاس‌های ساختار، نشان دهنده مسیری که اکسرژی سرتاسر سیستم حرکت می‌کند، می‌باشد. بنابراین، میزان اکسرژی ذخیره شده در سیستم می تواند یک نمایانه منطقی برای ساختار باشد. سلامت اکوسیستم می تواند با اندازه‌گیری برگشت‌پذیری (تاب آوری) هنگام بروز تنش خارجی، توان تولید (عملکرد) و سازمان (ساختار) آن ارزیابی شود.

توان تولید: بر اساس فعالیت، متابولیسم و توان تولید اولیه اندازه گیری می‌شود. یک مثال از کاهش توان تولید در حوزه آبریز Great Lakes در شمال امریکا،کاهش تعداد آبزیان و کاهش حاصلخیزی خاک کشاورزی درون این حوزه آبریز است.

سازمان[۵]: می‌تواند در قالب تنوع و تعداد تعاملات میان مولفه‌های سیستم، ارزیابی شود.یک مثال خوب از حوزه آبریز Great Lakes،کاهش تنوع ریختی و عملکردی آبزیان به دلیل وجود استرس‌های چندگانه است.

رزلیانس (تاب آوری)[۶]: (ظرفیت خنثی کنندگی): بر اساس ظرفیت و توان سیستم در حفظ ساختار و عملکردش در حضور استرس، اندازه گیری می‌شود. وقتی از تاب آوری سیستم تجاوز شود، سیستم می‌تواند به وضعیت جایگزین[۸] دیگری وارد شود.یک مثال خوب، تغییر از آبزیان کفزی به پلاژیک غالب در حوزه آبخیز Great Lakes است. حال این سوال پیش می‌آید که چگونه می‌توانیم تعریفی کاربردی از سلامت اکوسیستم ارایه دهیم که با امکانات برابر، در سیستم‌های پیچیده و در تمامی مقیاس‌ها قابل به‌کارگیری باشد؟

نخست آن که، تعریف مناسب و درخور از سلامت اکوسیستم، باید ایده سلامت را که در بالا به آن اشاره شد، تلفیق کند. به ویژه باید مقیاسی ترکیبی از تاب آوری سیستم، امید به زندگی، تعادل، ساختار (تنوع) و تولید (متابولیسم) باشد. دوم، تعریف باید توصیف جامع از سیستم باشد. توجه به فقط یک بخش از سیستم به بقیه قسمت‌ها وزن صفر می دهد. سوم، تعریف نیاز به به‌کارگیری فاکتور وزن‌دهی دارد تا مولفه‌های مختلف سیستم را بتوان با هم مقایسه و تلفیق کرد. باید وزن دهی به کار رود برای مولفه‌هایی که به وابستگی عملکردی پایداری سیستم بر مولفه ها، مرتبط هستند و وزن‌ها باید با تغییر سیستم، تغییر کنند تا بتوانند تعادل را در نظر بگیرند و چهارم، تعریف باید سلسله مراتبی باشد تا بتواند تعامل مقیاس‌های مختلف زمانی و مکانی را نشان دهد. بنا به نظر کاستانزا و همکارانش، یک سیستم اکولوژیکی زمانی سالم و عاری از سندرم دیسترس (زجر) است که ایستا و پایدار است- یعنی فعال است و ساختار و خودگردانی[۷] و تاب آوریش را نسبت به تنش در طول زمان حفظ می کند (Costanza et al., 1992). بنابراین، سلامت اکوسیستم بطور نزدیکی مرتبط با ایده پایداری است که معیاری جامع، چندمقیاسی و پویا برای تاب آوری، ساختار و توان سیستم است. جهت سالم و پایدار بودن، یک سیستم باید سطح فعالیت متابولیک خود و همچنین ساختار داخلی و سازماندهی خود را حفظ کند (تنوع فرایندها بطور مؤثری به همدیگر مرتبط هستند). همچنین، باید در مقابل تنش‌های بیرونی- در طول یک چارچوب زمانی و مکانی معمول در سیستم- قابلیت برگشت‌پذیری خود را حفظ کند. در عمل این مفهوم به چه معناست؟

جدول (۱)، سه مولفه اصلی این ایده پیشنهادی برای سلامت اکوسیستم (تاب آوری، سازمان و قدرت) را به همراه مفاهیم و معیارهای مرتبط در رشته‌های گوناگون نشان می‌دهد.

سه مولفه اساسی سلامت اکوسیستم

توان (Vigor) یک اکوسیستم، معیاری از فعالیت، متابولیسم یا قدرت باروری آن است. برای مثال، تولید ناخالص اولیه در سیستم‌های اکولوژیکی و تولید ناخالص ملی در سیستم‌های اقتصادی. فرض بر این است که توانایی یک سیستم جهت بهبود یافتن از یک استرس، به متابولیسم کلی، جریان انرژی (Odum, 1971) و یا «چشم انداز رشد آن»[۸] (Bayne, 1987) وابسته

www.SID.ir

Archive of SID

است که برابر با اختلاف میان انرژی مورد نیاز جهت نگهداری سیستم و انرژی دردسترس سیستم، برای تمامی منظورها می‌باشد. هر یک از این معیارها، در توانایی‌های سیستم جهت پاسخ گویی به تنش‌های کلی دیده شده‌است.

سازماندهی یک سیستم، به تعداد و تنوع تعاملات میان مولفه‌های سیستماشاره دارد. معیارهای سازماندهی تحت تاثیر تنوع گونه‌ای و تعداد مسیرهای تبادل ماده بین اجزا قرار دارد. برای مثال، مشخصه یک سیستم بسیار سازمان‌یافته، تنوع بالای اجزای تخصصی و مسیرهای تخصصی تبادل مرتبط با آنهاست. با کاهش تنوع گونه‌ایی و کاهش درجه تخصصی بودن مسیرهای تبادل، سازماندهی کاهش می یابد.درک این مساله مهم است که برای هر سطح تنوع گونه‌ای، سازماندهی می‌تواند با توجه به الگوی مسیرهای تبادل میان آنها تغییر کند.

سیستمی که دارای گونه‌هایی است که فقط از یک یا دو نوع گونه خاص تغذیه می کنند و در عوض آنها هم صید یک یا دو گونه دیگر می‌شوند، نسبت به سیستمی که همان تعداد تغذیه کننده عمومی با مسیرهای چندگانه تبادل بین آنها دارد، میزان سازماندهی بیشتری دارد. بنابراین سازماندهی بسط معیار قدیمی«تنوع» است که الگوهای تبادل میان اجزای سازمان را نیز در نظر می‌گیرد.

تاب آوری یا برگشت‌پذیری یک سیستم، به توانایی سیستم در حفظ ساختار و الگوهای رفتاری‌اش هنگام بروز استرس اشاره دارد (Holling,1986). در این مطالعه، منظور از تاب آوری، توانایی سیستم در حفظ توان و سازماندهی‌اش هنگام استرس می‌باشد.

یک سیستم سالم، سیستمی است که از تاب آوری کافی هنگام بروز آشفتگی‌های کوچک مقیاس مختلف برخوردار است.

ایده تاب آوری سیستم دو مؤلفه اصلی دارد: یک جنبه مهم که به طور گسترده‌ای استفاده می‌شود، اشاره دارد به طول مدت زمانی که طول می‌کشد تا یک سیستم از استرس بازیابی شود؛ جنبه دیگر به شدت استرسی که سیستم می‌تواند تحمل کند و یا آستانه مشخص سیستم برای جذب استرس‌های مختلف،مربوط است. نکته‌ای که باید مورد توجه قرار گیرد، این است که وضعیت سیستم هنگامی که استرس از آستانه‌ها گذر می‌کند، می‌تواند از«سقوط کامل سیستم» تا وارد شدن به «وضعیت ایستای دیگر» (که شرایط مطلوب‌تری را با توجه به استرس موجود برای سیستم فراهم می‌کند)، متفاوت باشد. در واقع، می‌توان گفت یک سیستم سالم، می‌تواند تنوع موثر گونه‌ها و مسیرهای تبادلی را ایجاد کند. در حالی که، ریداندنسی (افزونگی) و تاب آوری (برگشت‌پذیری) خود را به عنوان بیمه‌ای در مقابل استرس و توانایی قابل ملاحظه جهت بازیابی سریع یا به‌کارگیری استرس در جهت مثبت، حفظ می‌نماید.

تجارب و تحقیقات پیشین

در طول دهه گذشته، پیشرفت‌های بسیاری در حیطه شناخت سلامت اکوسیستم صورت گرفته‌است که می توان به مطالعات ارزشمند (Waltner-Toews, 1996; Bertollo, 2001; Muñoz-Erickson et al., 2007; Bunch et al., 2008; Waltner-Toews et al., 2008; Wiegand et al., 2010) اشاره نمود. اگرچه که کاربردهای عملی این ایده، محدودتر بوده است. در هر حال، مطالعات کاربردی بسیاری وجود دارند که از روش‌های دیگری استفاده می‌کنند که در آنها تعدادی از اصول رهیافت اکوسیستمی به کار می رود. همچنین، شاخص‌های متعددی برای سلامت اکوسیستم در نظر گرفته شده‌اند و در آنها، هر سه جنبه «قدرت»، «سازمان» و «تاب آوری» به اشکال مختلفی به عنوان مقیاس‌های سلامت اکوسیستم مطرح شده اند. مانند: مطالعات (Schaeffer et al., 1988; Jørgensen, 1992; Havens, 1994; Callicott, 1995; Levins, 1995; Xu, 1997; Su et al., 2010).

Jorgensen (1995 a,b) اکسرژی، اکسرژی ساختاری و ظرفیت‌های بافری اکولوژیکی را به عنوان شاخص‌های اندازه‌گیری سلامت اکوسیستم معرفی کرده‌است. Xu (1997) از اندکس تنوع، اندکس وضعیت تروفیک، اکسرژی و اکسرژی ساختاری و ظرفیت بافری فیتوپلانگتون بعنوان ظرفیت اکولوژیکی ارزیابی سلامت اکوسیستم در دریاچه Chao که دریاچه ای کم عمق و اوتروفیک در چین است استفاده کرد.

(Mageau et al., 1998) اشاره می‌کند که «توان تولید» بطور کاربردی می‌تواند توسط «بهره‌وری یا حاصلخیزی» ویا از طریق انرژی و مادهٔ سیستم اندازه‌گیری شود. «ساختار» می تواند توسط تنوع اجزاء و درجه ارتباط دو طرفه‌اشان ارزیابی شود. تاب آوری نیز می‌تواند توسط توانایی سیستم در حفظ ساختار و الگوهای رفتاری آن در هنگام استرس و تنش محاسبه گردد (Holling, 1986).

در مطالعه LU و همکاران ۲۰۰۳، توان تولید توسط مقادیر نسبی طول شاخه‌های جدید، ساختار توسط میانگین مقادیر نسبی

www.SID.ir

Archive of SID

ارتفاع گیاه، قطر زمین و دامنه تاج و تاب آوری توسط ظرفیت سیستم در مواجهه با استرس و بازگشت به وضعیت اولیه پس از خاتمه استرس در نظر گرفته‌شده‌است (Pimm, 1984; Holling, 1986). این ویژگی توسط ظرفیت سیستم در بازگشت بعد از یک تلاطم و تنش اندازه‌گیری می‌شود. در این مطالعه نور خورشید به وفور وجود دارد و عامل محدودکننده رشد در شرایط استرس، آب است. بنابراین، هنگامی‌که شاخص‌های تاب آوری در نظر گرفته می‌شوند، مقادیر رطوبت متناسب آشیان اکولوژیک (نیچ) به عنوان شاخص تاب آوری در نظر گرفته شده است.

ارتباطی تنگاتنگ و نزدیکی میان سلامت اکوسیستم و خدمات اکوسیستم وجود دارد. خدمات اکوسیستم عملکردهایی است که برای جوامع انسانی سودمندی دارد. مانند: سم‌زدایی مواد شیمیایی، پالایش آب، تولید گونه‌های مورد استفاده جهت تغذیه انسان و غیره. استرس و تنش به طور معمول هم کمیت و هم کیفیت این خدمات را کاهش می‌دهد. بر عکس، اکوسیستم‌های سالم، دامنه کاملی از خدمات اکوسیستمی را ارایه می‌کنند. در مدیریت پایدار اکوسیستم‌ها و جهت حصول به شاخص‌های پایداری، می توان وضعیت خدمات اکوسیستمی را به عنوان شرایط آرمانی در نظر گرفت و هدف را حصول به آنها از طریق پایش و مدیریت فعال اکوسیستم قرار داد.

شاخص‌های سنجش‌ازدوری سلامت اکوسیستم

مطالعات اخیر نشان داده که مشکلات اکولوژیکی مانند: از دست دادن تنوع‌زیستی گرفته تا تغییرات کاربری اراضی، از پیشرفت فناوری‌های زمین- مکانی مانند GIS و سنجش‌از دور، هم در فراهم نمودن داده و هم در دسترسی به ابزارهای آنالیز داده‌های مکان دار، منفعت بسیار برده است. تلفیق سنجش از دور و GIS برای نقشه سازی و پایش اکولوژیکی اگرچه در مطالعات گذشته اشاره شده است (Estes, 1993; Stoms & Goodchild, 1994; Franklin, 1995) اما همچنان روز به‌روز با بحرانی‌تر شدن مشکلات اکولوژیکی، بیش از پیش اهمیت پیدا می کنند (EPA, 1998).

در مرور منابعی که اخیرا در مورد کاربردهای سنجش‌از دور در تحقیقات اکولوژیکی انجام شده است، سه حیطه کاربرد عمده خاطر نشان شده است: طبقه بندی کاربری اراضی، اندازه گیری‌های تلفیقی اکوسیستم و آشکارسازی تغییرات چند زمانه (Kerr & Ostrovsky, 2003).

پیشرفت‌های مناسب در توسعه تیوری‌های سنجش از دور و داده‌ها و فناوری آن در طول ۳۵ سال گذشته، موجب ایجاد روش‌های کلی و مناسبی جهت جمع‌آوری داده از پهنه‌های بسیار وسیع شده است که برای بسیاری از ویژگی‌های اکولوژیکی می تواند برآوردهای قابل اطمینان بیشتری را نسبت به روش‌های پیمایش زمینی، ایجاد کند (Davis & Roberts, 2000).

داده‌های سنجش‌از دوری، در مطالعات اکولوژیکی در وهله اول جهت مشخص کردن پوشش گیاهی، توصیف ساختار زیستگاه و اندازه‌گیری خواص بیوفیزیکی استفاده می‌شوند. توانایی متغیرهای سنجش‌از دوری در عمل، به عنوان جایگزین خواص مهم اکولوژیکی(مانند تنوع زیستی، بهره وری) تابعی از نزدیکی ارتباط میان تابش اندازه‌گیری شده و متغیرهای محیط‌زیستی مورد نظر می‌باشد. متغیرهای«وضعیت» آنهایی هستند که می‌توانند به طور مستقیم توسط تابش امواج الکترومغناطیسی اندازه گیری شوند. مانند: اندکس سطح برگ و یا بیوماس (Curran, 2001; Curran et al., 1998). در حالی که، اغلب متغیرهای محیط‌زیستی وجود دارند که به طور غیرمستقیم با اندازه گیری‌های واقعی تابش مرتبط هستند. مانند: تنوع‌زیستی و بهره وری که مورد توجه اکولوژیست‌ها می‌باشند. طیف گسترده‌ای از گزینه‌ها برای انتخاب به منظور بهره‌گیری از ارتباطات شناخته شده ما بین مقادیر داده‌های نوری/ مایکروویو و خواص بیوفیزیکی پدیده‌های اکولوژیکی وجود دارد.

مروری بر شاخص‌های سنجش‌از دوری سلامت اکوسیستم

با بررسی مطالعات انجام شده و نتایج تحقیقات، به نظر می‌رسد: تلفیق نتایج به صورت یک رهیافت یکپارچه می تواند در انتخاب شاخص‌های نهایی سلامت اکوسیستم با تکیه بر شاخص‌های سنجش از دوری، راهگشا باشد.

در جدول ((۲)، نتایج مطالعات در مورد شاخص‌های سنجش‌از دوری و غیر سنجش‌از دوری مولفه‌های سلامت اکوسیستم ارایه شده است.

براین اساس، مولفه‌های اصلی سلامت اکوسیستم در اکثر مطالعات، توان تولید، سازمان و تاب آوری در نظر گرفته شده است. در مورد مولفه «توان تولید» که در ادبیات موضوع به صورت: فعالیت، متابولیسم و توان تولید اولیه تعریف شده است،

www.SID.ir

Archive of SID

ویژگی اکوسیستم مرتبط با آن که بر سلامت اکوسیستم تاثیرگذار است، به طورکلی به صورت چهار ویژگی معرفی شده است:

۱. میزان بهره‌وری یا حاصلخیزی ۲. میزان کل انرژی ورودی به سیستم ۳. اختلاف میان انرژی در دسترس و انرژی لازم برای نگهداری سیستم یا اختلاف انرژی ورودی به خروجی ۴. نسبت تبخیر- تعرق واقعی و بالقوه.

شاخص‌های غیر سنجش‌از دوری که جهت برآورد توان تولید در مطالعات گذشته در نظر گرفته شده است، عبارتند از:

۱. میزان تولید ناخالص اولیه (ماده یا انرژی ورودی به سیستم) (GPP)
۲. میزان تولید خالص اولیه (ماده یا انرژی در دسترس برای اکوسیستم) (NPP)
۳. میزان امرژی (نوعی از اکسرژی که تبدیل به یک نوع انرژی (مثلا نور خورشید) می‌شود و به کیفیت انرژی توجه دارد.
۴. میزان اکسرژی (اختلاف میان انرژی در دسترس و انرژی لازم برای نگهداری سیستم. [انرژی ورودی- انرژی خروجی (انتروپی) = اکسرژی]

و شاخص‌های سنجش از دوری برآورد «توان تولید» به صورت زیر خلاصه شده‌اند:

۱. به‌کارگیری تصاویر ماهواره‌ای و استخراج و پردازش NDVI[۹] (جهت بررسی تولید ناخالص اولیه)
۲. به‌کارگیری و پردازش NDVI به‌همراه داده‌های مدل رقومی ارتفاع (DEM)
۳. به‌کارگیری داده‌های NDVI به‌همراه دمای سطح زمین

ویژگی هایی در سیستم که مرتبط با مولفه «ساختار» (که به صورت: تنوع اجزا و تعاملات میان مولفه‌های سیستم تعریف شده است) می‌باشند، عبارتند از:

۱. تنوع ریختی و عملکردی اجزا، تنوع‌زیستی (تنوع گونه‌ای)
۲. تغییر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی(در پهنه‌های آبی مانند سطح آب، دما، کدورت، رسوب‌گذاری و در کف دریا: ترکیب بستر، درجه لجن‌گیری، جمعیت بازمانده)
۳. تبادل ماده و انرژی بیشتر در ساختارهای پیچیده تر
۴. تمایل به درونی کردن یا بازیافت زایدات خود در ساختارهای پیچیده و منسجم‌تر

مهمترین شاخص‌های غیرسنجش از دوری ارایه شده حاصل از مطالعات گوناگون پیشین، عبارتند از:

۱. شاخص‌های تنوع‌زیستی (مانند: شانون) ۲. تغییرات بیوماس+ شاخص وضعیت تغذیه۳. ارتفاع گیاه، ساختار و دامنه تاج ۴. تغییرات کاربری اراضی ۵. تغییر شدت استفاده از زمین ۶. تغییرات رطوبت ۷. تراکم پوشش

در حالی که شاخص‌های سنجش ازدوری پیشنهاد شده در مطالعات به طورکلی شامل موارد زیر می باشند:

۱. شاخص NDVI جهت اندازه گیری بیوماس، درصد پوشش، تراکم ساقه، سلامت توده سرپا و تنوع‌زیستی
۲. پوشش اراضی طبقه بندی شده حاصل از تصاویر ماهواره‌ای به همراهDEM
۳. آشکارسازی تغییرات پوشش به روش تسلدکپ جهت نقشه سازی تاج پوشش گیاهی
۴. شاخص سطح برگ LAI
۵. انحراف استاندارد حداکثر NDVI ماهانه (بررسی ساختار و ترکیب گونه ای)
۶. DEM (مدل رقومی ارتفاعی زمین) جهت استخراج: Topographic Wetness Index, Stream Power Index و Sediment Transport Index

(اندکس‌هایی که جهت بررسی وضعیت رطوبت و رسوبگذاری و فرسایش پهنه به کار می‌رود و از طریق نقشه DEM قابل محاسبه می باشند).

بهترین تعریف از مولفه «تاب آوری» به صورت: توانایی سیستم در حفظ ساختار و عملکردش هنگام بروز استرس و تنش، ارایه شده است. ویژگی هایی از اکوسیستم که نشان دهنده آن هستند، عبارتند از:

۱. پایداری عملکرد و ساختار سیستم ۲. یکپارچه بودن سیستم و تکه تکه نشدن آن ۳. نشانه‌های تنش اولیه: کاهش نرخ تولید، کاهش نرخ تجزیه، از دست دادن مواد مغذی و نشانه‌های تنش پیشرفته: تغییرات ساختاری، شیفت در ترکیب گونه‌ای ۴. عدم وجود «سندرم زجر اکوسیستم» که با پایش (تغییر در اندازه یا طیف جامعه، غنای گونه‌ای، میزان گونه‌های مهاجم یا مقاوم، بیماری، ایستایی و درجه تجمع زیستی مواد آلاینده) اندازه گیری می شود.

شاخص‌های غیرسنجش از دوری معرفی شده در مطالعات مختلف جهت پایش تاب آوری عبارتند از:

۱. نسبت (MS/RT) به معنای: حداکثر تنش قابل تحمل برای سیستم تقسیم بر زمان احیا یا ریکاوری (مدت زمان بازگشت

www.SID.ir

Archive of SID

سیستم به وضعیت اولیه) ۲. کاهش نرخ تولید/ تنفس (نشانه اختلال در عملکرد سیستم) ۳. شاخص‌های تکه تکه شدگی زیستگاه مانند (متریک‌های سیمای سرزمین: ترکیب، ارتباط، منزوی شدن، اندازه، آرایش) ۴. عوامل محدودکننده محیطی مانند نور، رطوبت (Lu et al., 2003) ۵. تغییرات آلودگی‌ها ۶. تغییرات اندازه موجودات (افزایش استرس موجب شیفت به سمت افراد کوچک‌تر می‌شود) و شاخص‌های سنجش از دوری معرفی شده در مطالعات گوناگون عبارتند از:

۱. بررسی و پایش NDVI دوره‌ای ۲. محاسبه متریک‌های منظر و تکه‌تکه (پهرو) شدگی شامل: متریک‌های انزوا، فاصله، تراکم، تعداد و نوع پچ، غنای نوع پچ، میانگین اندازه پچ ۳. انحراف معیار پچ (جهت نشان دادن ناهمگونی منظر) ۴. ضریب تغییرات اندازه پچ (جهت نشان دادن تغییرپذیری نسبی سراسر منظر).

علاوه بر موارد مذکور، شاخص سلامت اکوسیستم جامع، مطالعه و تلفیق شاخص‌های اکولوژیکی (کیفیت منابع آب، خاک، هوا، تنوع‌زیستی، تولید محصول) و شاخص‌های اجتماعی (جمعیت، اشتغال، درآمد) و شاخص‌های تعاملی حاصل تعاملات اکولوژیک و اجتماعی (کاربری زمین، تصمیمات مدیریتی و ترجیحات اجتماعی) را به طور هم زمان جهت حصول به دید جامع از سلامت اکوسیستم، پیشنهاد می‌نماید.

جدول (۲): شاخص‌های مهم سلامت اکوسیستم پیشنهاد شده در مطالعات مختلف

مولفه سلامت	تعریف	خصوصیت اکوسیستم مرتبط با سلامت	شاخص غیر سنجش از دوری	شاخص سنجش از دوری و GIS
توان تولید	فعالیت- متابولیسم- توان تولید اولیه (Mageau et al. 1995)	بهره‌وری یا حاصلخیزی	GPP [۱۰] (Mageau et al. 1995)	NDVI جهت بررسی تولید ناخالص اولیه (Friedle et al .1994) Ramsey et al.,1995)
		میزان کل انرژی ورودی به سیستم	NPP [۱۱] (Mageau et al. 1995) (Wulder,1998)	NDVI + دمای سطح زمین (Running,1990)
		اختلاف میان انرژی در دسترس و انرژی لازم برای نگهداری سیستم یا اختلاف انرژی ورودی به خروجی	امرژی [۱۲] (Zeng et al., 2010)	DEM [۱۴] (مستخرج از تصاویرسنجش‌از دوری یا نقشه): محاسبه Solar radiation
		تبخیر- تعرق واقعی و بالقوه	اکسرژی [۱۳] (Xu et al. 2012)	
ساختار	تنوع اجزا و تعاملات میان مولفه‌های سیستم (Mageau et al. 1995)	تنوع ریختی و عملکردی اجزا- تنوع‌زیستی (تنوع گونه ای)	مهمترین : شاخص تنوع‌زیستی (مانند: شانون)	NDVI (اندازه گیری بیوماس، درصد پوشش،تراکم ساقه، سلامت توده سرپاو تنوع زیستی) (Kerr & Ostrovsky, 2003; Alpine, 2005; Seto et al. 2004)
			تراکم پوشش	
			تغییرات بیوماس+ شاخص وضعیت تغذیه	پوشش اراضی طبقه بندی شده + DEM. (Luoto et al., 2002b; Storms & Estes, 1993)
			ارتفاع گیاه، ساختار و دامنه تاج (Lu et al., 2003)	آشکارسازی تغییرات پوشش به روش تسلدکپ جهت نقشه سازی تاج پوشش گیاهی (Cohen & Florella, 1998)
			تغییرات کاربری اراضی	شاخص سطح برگ LAI (Wulder, 1998)

www.SID.ir

Archive of SID

ادامه جدول (۲): شاخص‌های مهم سلامت اکوسیستم پیشنهاد شده در مطالعات مختلف

مولفه سلامت	تعریف	خصوصیت اکوسیستم مرتبط با سلامت	شاخص غیر سنجش از دوری	شاخص سنجش از دوری و GIS
		تغییر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی (در پهنه‌های آبی مانند سطح آب، دما، کدورت، رسوب گذاری و در کف دریا: ترکیب بستر، درجه لجن‌گیری، جمعیت بازمانده)	تغییر شدت استفاده از زمین	انحراف استاندارد حداکثر NDVI ماهانه (بررسی ساختار و ترکیب گونه ای)
		ساختارهای پیچیده‌تر، تبادل ماده و انرژی بیشتری دارند.	تغییرات رطوبت	نقشه پوشش گیاهی + DEM (Trescino et al., 2001)
		ساختارهای پیچیده و منسجم تر، تمایل به درونی کردن یا بازیافت زایدات خود دارند.		DEM (مدل رقومی ارتفاعی زمین) جهت استخراج: Topographic Wetness Index Stream Power Index[۱۵] Sediment Transport Index
تاب آوری	توانایی سیستم در حفظ ساختار و عملکردش هنگام بروز استرس و تنش (Holling, 1986)	پایداری عملکرد و ساختار سیستم	نسبت MS/RT[۱۶]	NDVI دوره ای (جهت نشان دادن تغییرپذیری نسبی سراسر منظر) (Mc Gorigal, 2002)
		یکپارچه بودن سیستم و تکه تکه نشدن آن	کاهش نرخ تولید/ تنفس (نشانه اختلال در عملکرد سیستم)	متریک‌های منظر و تکه تکه شدگی: متریک های: انزوا، فاصله پچ ها، لبه، تعداد پچ، غنای نوع پچ، تراکم پچ، میانگین اندازه پچ، انحراف معیار پچ (جهت نشان دادن ناهمگونی منظر)
		نشانه‌های تنش اولیه : کاهش نرخ تولید، کاهش نرخ تجزیه، از دست دادن مواد مغذی	شاخص‌های تکه تکه شدگی زیستگاه. مانند (متریک‌های سیمای سرزمین: ترکیب، ارتباطهٔ منزوی شدن، اندازه، ارایش) (Karr, 1991)	
		عدم وجود سندرم زجر اکوسیستم که با پایش(تغییر در اندازه یا طیف جامعه، غنای گونه ای، میزان گونه‌های مهاجم یا مقاوم، بیماری، ایستایی و درجه تجمع زیستی مواد آلاینده) اندازه گیری می‌شود (Rapport et al., 1985)	عوامل محدودکننده محیطی مانند نور، رطوبت (Lu et al., 2003)	ضریب تغییرات اندازه پچ
			تغییرات اندازه موجودات[۱۷]	
			تغییرات آلودگی ها	

منبع: (تهرانی، ۱۳۹۳)

روش پژوهش

در این تحقیق، با بررسی مطالعات پیشین درخصوص شاخص‌ها و مولفه‌های سلامت اکوسیستم و از طرفی دیگر بررسی مطالعات انجام شده در مورد توانایی‌های فناوری سنجش‌از دور در پایش این شاخص‌ها و به‌کارگیری تجارب و نظر کارشناسی، چارچوبی مناسب جهت تلفیق فناوری مذکور در مطالعات سلامت اکوسیستم معرفی شده است. همان طور که عنوان شد، سلامت اکوسیستم به طورکلی به معنای پایدار نگه داشتن یکپارچگی ساختار و عملکرد اکوسیستم – و خدمات مرتبط با آنها– می‌باشد. شاخص‌های سلامت اکوسیستم در واقع باید دور یا نزدیک شدن به سمت پایداری را اندازه بگیرند (McMullan, 1997). یک اکوسیستم سالم، یک واحد اجتماعی– اکولوژیکی است که «پایدار و با ثبات» است. بدان‌معنا که ساختار و برگشت‌پذیری خود را در مقابل تنش‌ها در طول زمان حفظ کرده و در حالی‌که

www.SID.ir

Archive of SID

می‌تواند دوام اقتصادی (و توان تولید پایدار) داشته باشد، جوامع انسانی و محیط طبیعی را نیز پایدار نگه می‌دارد. جهت ایجاد یک چارچوب مناسب برای ارزیابی پایداری اکوسیستم شهری باید به مباحث مهم زیر توجه ویژه داشت (UNU/IAS, 2003):

۱. خدمات و کالاهای شهری (انسانی و اکولوژیکی)
۲. آثار منفی فعالیت‌های انسانی
۳. مقیاس آثار
۴. تدوین شاخص‌های مناسب ارزیابی در چارچوب فشار- وضعیت- پاسخ (PSR)

در تحقیق حاضر، جهت تعیین شاخص‌های سلامت اکوسیستم همان طور که پیشتر عنوان شد، به‌منظور در نظر گرفتن تمامی جنبه‌های موثر بر سلامت اکوسیستم، از چارچوب PSIR استفاده شده‌است. در ادامه تحقیق و با به‌کارگیری شاخص‌ها در یک اکوسیستم مشخص، جهت تعیین ضریب اهمیت (وزن و یا سهم) هر یک از شاخص‌های منتخب، می‌توان از رهیافت تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی (AHP) استفاده کرد (Tehrani & Makhdoum, 2013).

در نهایت، با استفاده از رابطه زیر، اندکس نهایی سلامت اکوسیستم محاسبه می‌شود.

$$HI = \sum_{i=1}^{n} \mathrm{Wi} * \mathrm{Ci}$$

HI= اندکس جامع سلامت اکوسیستم Wi= وزن شاخص‌ها Ci= ارزش کمی و بدون بعد شاخص ها.

با در نظر گرفتن ویژگی‌هایی که جهت تدوین شاخص‌های سلامت اکوسیستم لازم است، مانند: لحاظ نمودن ابعاد مختلف بیولوژیکی، اجتماعی، داشتن حساسیت بالا، کاربردی بودن، قابلیت اندازه‌گیری، قابل تفسیر و تلفیق پذیری و به‌صرفه بودن و در دسترس بودن داده‌های قبلی و دراز مدت، قابلیت پیش‌بینی داشتن و غیر مخرب بودن، تداوم داشتن و دارای مقیاس مناسب بودن و به‌روز بودن، تلاش شده تا در حد امکان، ویژگی‌های مذکور جهت معرفی شاخص‌های نهایی سلامت اکوسیستم مورد توجه قرار گیرند. جهت تعیین اندکس نهایی سلامت اکوسیستم لازم است شاخص‌های سنجش‌از دوری با یکسری از شاخص‌های غیر سنجش‌از دوری مربوط به اکوسیستم شهری از جمله تراکم جمعیت و میزان سرانه GDP ادغام شوند.

یافته‌ها

در این تحقیق، با به‌کارگیری نتایج حاصل از مطالعات پیشین و همچنین پتانسیل‌های فناوری سنجش‌از دور و GIS در پایش سلامت اکوسیستم‌ها، شاخص‌های سلامت اکوسیستم با معرفی شاخص‌های سنجش از دوری موثر، در جدول (۳) معرفی شده‌اند. با به‌کارگیری چارچوب «فشار-وضعیت- اثر- پاسخ» (PSIR)، در بخش فشار، عوامل محرک اولیه یا ایجادکننده فشار در نظر گرفته شده‌اند که در اکوسیستم‌های پسرفته، از مهمترین این عوامل، افزایش میزان جمعیت و متعاقب آن مصرف مواد و انرژی مرتبط با آنها و دستکاری عظیم در شکل زمین و پوشش اراضی و کاربری ناحیه و وارد آوردن فشار جمعیتی به صورت مصرف منابع و انتشار زایدات بیش از ظرفیت تحمل اکوسیستم می‌باشد که در قالب شاخص‌های سنجش‌از دوری: اندکس بیابان‌زایی (مناطق تحت خطر بیابان‌زایی) و درصد مناطق تخریب‌شده به کل ناحیه و شاخص‌های غیر سنجش‌از دوری مکانمند: تراکم ناخالص جمعیت، جای پای اکولوژیک (هکتار سرانه سرزمین مورد نیاز جهت برآورد مصارف جمعیت ساکن در محلی خاص) و میزان فشار محیط‌زیستی وارد بر منطقه در مقایسه با ظرفیت برد آن (حداکثر جمعیت یا فشار حاصل از آنها که توسط یک اکوسیستم به طور پایدار تحمل می‌شود)، به تصویر کشیده می‌شود.

در بخش «وضعیت اکوسیستم» دو مولفه «توان تولید» و «ساختار»، با توجه به لزوم پرداختن به آنها در بررسی مطالعات قبلی، مد نظر قرار گرفته است. درمورد مولفه «توان تولید»، در بخش شاخص‌های سنجش‌از دوری، شاخص تولید ناخالص اولیه (GPP) و درصد پوشش گیاهی با توجه به ویژگی‌هایی که جهت انتخاب شاخص‌ها در گزارش ذکر شده‌است، در نظر گرفته شده‌اند که داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز جهت برآورد آنها عبارتند از : NDVI، DEM و نقشه پوشش گیاهی/ کاربری اراضی که تمامی از طریق پردازش داده‌های سنجش از دوری قابل استحصال است.

در مورد مولفه ساختار، در بخش سنجش از دوری، شاخص‌های: پوشش گیاهی، تراکم پچ‌ها و تنوع سیمای سرزمین در نظر گرفته شده‌اند. داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز نیز عبارتند از: NDVI، نقشه پوشش اراضی، LAI, DEM (شاخص سطح برگ)، شاخص تراکم پچ، شاخص انحراف معیار پچ. در بخش غیر

www.SID.ir

Archive of SID

سنجش از دوری نیز شاخص تنوع‌زیستی شانون[۲۴] در نظر گرفته شده است.

در بخش«اثر»، مولفه «تاب آوری» (قدرت بازگشت به شرایط اولیه پس از بروز آشفتگی) در نظر گرفته شده است. شاخص‌های سنجش از دوری این مولفه عبارتند از: تغییرات کاربری اراضی، تنوع‌زیستی و متریک‌های منظر که داده‌ها و اطلاعات مرتبط با آنها برابرند با: تفاوت NDVI دوره ای، متریک‌های انزوا، فاصله تراکم، تعداد و نوع پچ، غنای نوع پچ، میانگین اندازه پچ می باشد. همچنین، شاخص غیر سنجش از دوری سلامت اکوسیستم در چارچوب پیشنهادی عبارتند از: شاخص تنوع‌زیستی شانون، نسبتMS/RT، میزان عوامل محدودکننده محیطی، تغییرات اندازه موجودات، درصد گونه‌های مهاجم یا مقاوم می باشد.

جدول (۳): شاخص‌های پیشنهادی سلامت اکوسیستم

چارچوب PSIR	سلامت اکوسیستم	شاخص‌های سنجش از دوری	داده یا اطلاعات مورد نیاز	شاخص‌های غیر سنجش از دوری
فشار	آشفتگی‌های بالقوه	– اندکس بیابان‌زایی (DRI)[۱۸] (Dragan et al., 2005) – درصد مناطق تخریب شده به کل ناحیه	– NDVI – نقشه پوشش گیاهی/ کاربری اراضی Land cover/Land use map	– تراکم ناخالص جمعیت – جای پای اکولوژیک[۱۹] یا میزان فشار محیطزیستی وارد بر منطقه در مقایسه با ظرفیت برد[۲۰] آن
وضعیت	توان تولید	– تولید ناخالص اولیه (GPP) – درصد پوشش گیاهی – نسبت کاربری اراضی	– NDVI – DEM – نقشه پوشش گیاهی/ کاربری اراضی	
	ساختار سازمان	– میزان پوشش گیاهی – اندکس تراکم پچ‌ها – اندکس تنوع سیمای سرزمین	– NDVI – نقشه پوشش اراضیDEM + – LAI[۲۱] – شاخص تراکم پچ – شاخص انحراف معیار پچ	شاخص تنوع‌زیستی شانون
اثر	تاب آوری (قدرت بازگشت به شرایط اولیه پس از بروز آشفتگی)	– تغییرات کاربری اراضی – تنوع زیستی – متریک‌های منظر	– تفاوت NDVI دوره‌ای – متریک‌های انزوا، فاصله تراکم، تعداد و نوع پچ، غنای نوع پچ، میانگین اندازه پچ	– شاخص تنوع‌زیستی شانون – نسبت MS/RT[۲۲] – میزان عوامل محدودکننده محیطی – تغییرات در اندازه موجودات – درصد گونه‌های مهاجم یا مقاوم
پاسخ	پاسخ طبیعی	– شاخص فرسایش خاک[۲۳]	NDVI و شیب	– تنوع زیستی(گیاهی و جانوری)
	پاسخ اجتماعی			– میزان سرانه GDPسبز – نرخ جنگل‌کاری – میزان سواد محیطزیستی

در بخش «پاسخ» نیز پاسخ‌های طبیعی و اجتماعی در نظر گرفته شده‌اند. شاخص‌های سنجش‌از دوری بخش طبیعی عبارتند از: شاخص فرسایش خاک که با به‌کارگیری شاخص NDVI و ویژگی‌های شکل زمین، قابل استحصال می‌باشد. شاخص غیرسنجش از دوری در این بخش نیز تنوع‌زیستی (گیاهی و جانوری) در نظر گرفته شده است.

در مورد مولفه پاسخ اجتماعی نیز شاخص‌های غیرسنجش از دوری میزان سرانه GDP سبز و نرخ جنگل‌کاری و میزان سواد محیطزیستی در نظر گرفته شده است.

بحث و نتیجه گیری

همان طور که مطالعات پیشین نیز تایید می‌کنند، از میان

www.SID.ir

Archive of SID

شاخص‌های سنجش‌از دوری ارزیابی سلامت و پایداری اکوسیستم‌ها، نقشه پوشش گیاهی با تواتر زمانی مناسب و شاخص‌های گیاهی مانند NDVI و LAI بیشترین نقش را در برآورد سلامت اکوسیستم ایفا می نمایند. این تحقیق به‌کارگیری شاخص‌های مکانمند مانند متریک‌های منظر و تنوع‌زیستی و همچنین تلفیق شاخص‌های غیر سنجش از دوری (مانند برآورد فشار محیط‌زیستی در مقایسه با ظرفیت برد منطقه) با شاخص‌های عنوان شده را جهت براورد دقیق تر سلامت اکوسیستم پیشنهاد می‌نماید.

همان طور که عنوان شد، در جمع‌بندی روش‌های ارایه شده و پیشنهادی این گزارش به نظر می‌رسد، تلفیق نتایج به صورت یک رهیافت یکپارچه یعنی تکیه بر شاخص‌های سنجش‌از دوری به‌همراه به‌کارگیری شاخص‌های غیر سنجش از دوری موثر، می تواند در معرفی یک اندکس نهایی سلامت اکوسیستم موفق عمل کند. به ویژه آن که در اکوسیستم‌های پسرفته (مانند اکوسیستم شهری) به دلیل بهم‌خوردن توازن طبیعی عملکرد و ساختار و فرایند و مقادیر بالای ورودی مواد و انرژی و خروجی زیاد مواد زاید و آلاینده‌ها، تلفیق شاخص‌های مربوط به مصرف ماده و انرژی و تولید زایدات در برآورد صحیح تر میزان سلامت اکوسیستم، بسیار مفید خواهد بود.

آنچه مسلم است، نحوه امتیازدهی و تلفیق شاخص‌های مذکور با توجه به ویژگی‌های منطقه مورد مطالعه، مقیاس موردنظر، نوع و مقیاس داده سنجش‌از دوری، هدف مطالعه و داده‌ها و اطلاعات دردسترس و مکمل، تفاوت خواهدکرد. نتایج این تحقیق، به صورت به‌کارگیری شاخص‌های سنجش از دوری سلامت اکوسیستم در غالب یک مدل GIS ایی برای ارزیابی آثار سدسازی بر روی سلامت اکوسیستم حوزه آبریز سد طالقان، بصورت کاربردی مورد آزمون قرار گرفته است که موفقیت این روش را جهت برآورد وضعیت سلامت اکوسیستم مذکور نشان می‌دهد (جعفری،۱۳۹۳).

نتایج این تحقیق آشکار می‌سازد که سنجش‌از دور، ابزاری قدرتمند جهت گردآوری داده‌های محیط‌زیستی است که در صورت تلفیق با دیگر داده‌های مرتبط، می تواند در مطالعات اکوسیستمی متنوع، مورد استفاده قرار گیرد.

باید توجه داشت که اخذ و پردازش داده‌ها می تواند در مواردی هنوز گران و دشوار باشد. اما پردازش داده‌های سنجش‌از دوری، تنها راهی است که می‌توان توسط آن، داده‌های به‌روز و یکپارچه پوشش گیاهی جهانی و تغییرات آنها را به دست آورد که اعتبار و صحت آنها با روش‌های آماری می‌تواند مورد تایید قرار گیرد. همان طور که با گذشت زمان، پردازش داده‌ها و اخذ آنها تکامل پیدا می‌کند، باید در انتظار روزی بود که پوشش اراضی و تغییرات اکوسیستم‌های جهانی، به طور معمول، به‌هنگام شود و در مدل‌های مختلف جهت پایش وضعیت آنها به کار گرفته‌شود. مدل‌هایی که شناخت و درک بشریت را از پویایی‌های سیستم‌های پیچیده متعاملی که پشتیبان و پایدارکننده حیات بر سطح کره زمین هستند، ارتقاء می‌بخشند.

یادداشت‌ها

1. Stress Ecology
2. Vigor
3. Distress syndrome
4. Ecosystem Integrity
5. Organization
6. Resilience
7. Alternate state
8. Scope of growth
9. Normalized Deference Vegetation Index
۱۰. تولید ناخالص اولیه (ماده یا انرژی ورودی به سیستم)
۱۱. تولید خالص اولیه (ماده یا انرژی در دسترس برای اکوسیستم)
۱۲. نوعی از اکسرژی است که تبدیل به یکنوع انرژی (مثلا نور خورشید) می گردد و .به کیفیت انرژی توجه دارد.
۱۳. اختلاف میان انرژی در دسترس و انرژی لازم برای نگهداری سیستم : انرژی ورودی- انرژی خروجی (انتروپی) = اکسرژی
۱۴. مدل رقومی ارتفاعی زمین
۱۵. شاخص توان فرسایشی پهنه بالادست (در حوضه‌های آبریز)
۱۶. حداکثر تنش قابل تحمل برای سیستم تقسیم بر زمان احیاء یا ریکاوری (مدت زمان بازگشت سیستم به وضعیت اولیه)
۱۷. افزایش استرس موجب شیفت به سمت افراد کوچکتر می‌شود.
18. Desertification Risk Index
19. Ecological Footprint (هکتار سرانه سرزمین مورد نیاز جهت برآورد مصارف جمعیت ساکن در محلی خاص)
20. Carrying Capacity ((حداکثر جمعیت یا فشار حاصل از آنها که توسط یک اکوسیستم بطور پایدار تحمل می‌شود
21. Leaf Area Index (شاخص سطح برگ)
۲۲. نسبت حداکثر تنش قابل تحمل تقسیم بر زمان لازم جهت احیاء یا ریکاوری سیستم
23. Soil erosion index
24. Shannon-wiener index:

www.SID.ir

Archive of SID

فرمول ۱ $H' = -\sum_{i=1}^{s} p_i \ln p_i$

H': شاخص شانون- وینر، p_i: فراوانی نسبی هر گونه،
s: تعداد گونه‌ها

فهرست منابع

جعفری، پ .۱۳۹۳. معرفی یک سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیری مکانی فازی برای ارزیابی سلامت و پایداری اکوسیستم. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشکده مهندسی نقشه برداری. دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی.

عباس زاده تهرانی، ن. ۱۳۹۳. بررسی و تدوین شاخص‌های ارزیابی و پایش سلامت اکوسیستم با بهره‌گیری از فناوری سنجش‌از دور و GIS. پژوهشکده سامانه‌های فضانوردی.پژوهشگاه هوافضا.

Barrett, G.W. 1976. Stress ecology. Bioscience; 26(3):192–4.

Bayne, BL.1987. The Effects of Stress and Pollution on Marine Animals. Praeger, New York.

Beasley, V.2005. Ecosystem health concept and practice from the veterinary hygiene point of view. University of Illinois .USA.

Clements, F.E. & Weaver, J.E. 1929. Plant ecology. New York: McGraw-Hill

Costanza, R.; NortonB. G. & HaskellB. D. 1992. Ecosystem health: new goals for environmental management. Island Press, Washington, D.C., USA.

Curran, P. J.; Milton, E. J.; Atkinson, P. J. & Foody, G. M. 1998. Remote sensing: fromdata to understanding. In Longley, P. A., Brooks, S. M., McDonnell, R. and Macmillan,B. (eds), Geocomputation: A Primer. Wiley: Chichester, UK, 33–59.

Curran, P. J. 2001. Remote sensing: using the spatial domain. Environmental and Ecological Statistics 8, 331–344.

Davis, F.W. & Roberts, D.A. 2000. Stand structure in terrestrial ecosystems. In Sala,O. E., Jackson, R. B., Mooney, H. A. and Howarth, R. W. (eds), Methods in EcosystemScience. Springer: New York, NY, USA, 7–30.

Dragan, M.; Sahsuvaroglu, T.; Gitas, I. & Feoli, E. 2005. Application and validation of a desertification risk index using data for Lebanon, Management of Environmental Quality: An International Journal, Vol. 16 Iss: 4, pp.309 – 326.

EPA (Environmental Protection Agency). 1998. Ecological Research Strategy.EPA/600/R-98/086, June 1998. EPA: Washington, DC, USA; 130 Available at:http:/www.epa.gov /ORD/ WebPubs /final.

Guo, X. R.; Yang, J.R. & Mao, X.Q. 2002. Primary studies on urban ecosystem health assessment. China Environ Sci; 22(6):525–9 in Chinese.

Holling, C. S .1986. The resilience of terrestrial ecosystems: Local surprise and global change. In: Clark WC and Munn RE (eds) Sustainable Development of the Biosphere. Cambridge University Press, Cambridge.

Hutton J. 1788. Member of the Royal Academy of Agriculture at Paris. p. 209–304.

Jørgensen, S. E.; Costanza, R. & Xu, F. L. 2005. Handbook of Ecological Indicators for Assessment of Ecosystem Health. CRC Press, 2000 N.W. Corporate Blvd., Boca Raton, Florida 33431. ISBN 1 56670 665 3.

Kerr, J. T. & Ostrovsky, M. 2003. From space to species: ecological applications forremote sensing. Trends in Ecology and Evolution 18, 299–305.

Leopold, A. 1941.Wilderness as a land laboratory. Living Wilderness; 6: 3.

Lu, H. M.; Raupach, T.; McVicar, & Barrett, D. 2003. Decomposition of vegetation cover into woody and

www.SID.ir

Archive of SID

herbaceous components using AVHRR NDVI time series. Remote Sensing of Environment, 86, 1–18.

Mageau, M. T.; Costanza, R. & Ulanowicz, R. E. 1998. Quantifyingthe trends associated with developing ecosystems. Ecol Modeling.

McMullan, C. 1997 .Indicators of urban ecosystem health. McMaster University. www.idrc. ca/en/ev-345-210-1.CD.topic.html.

Odum, E.P.1979. Perturbation theory and the subsidy–stress gradient. Bioscience; 29(6):349–52.

Odum, H. T. 1971. Environment, Power and Society. Wiley, New York.

Pimm, S. L. 1984. The complexity and stability of ecosystems. Nature 307: 321–326.

Rapport, D. J. 1992. What is clinical ecology? In: Costanza R, Norton BG, Haskell BD, editors.Ecosystem. Health: New Goals for Environmental Management. Island Press,Washington D.C; p. 144–56.

Rapport, D.J. 1989.What constitute ecosystem health. Perspect Biol Med; 33(2):120–32.

Rapport, D.J.; Thorpe, C. & Regier H.A. 1979. Ecosystem medicine. Bull Ecol Soc Am; 60: 180–2.

Rapport, D.J.; Costanza, R. & McMichael, A. J. 1998. Assessing ecosystem health. TREE press, vol.13, no. 10.

Su, M.; Fath, B.D. & Yang, Z. 2010. Urban ecosystem health assessment: A review. Science of the Total Environment 408, 2425–2434.

Rapport, D. J; Regier, H.A. & Hutchson T.C. 1985. Ecosystem behavior under stress. Am Nat; 125: 617–40.

Schaeffer, D.J.; Henricks, E.E. & Kerster, H.W. 1988. Ecosystem health: I measuring ecosystem health. Environ Manage; 12(3):445–55.

Shear, H. 1996. The development and use of indicators to assess the state of ecosystem health in the Great Lakes. Ecosyst Health; 2:241–58

1Tehrani, A.N. & Makhdoum, F.M. 2013.Implementing a spatial model of Urban Carrying Capacity LoadNumber (UCCLN) to monitor the environmental loads of urbanecosystems, Case study: Tehran metropolis. Ecological Indicators 32(2013)197–211.

2UNU/IAS. 2003. Urban ecosystem analysis: Identifying tools and methods. UNU/IAS Report. United Nation University.

Wang, W.; Ding, Y.; Cheng, X. & Zhao, S. 2008. Ecosystem Health Assessment in Inner Mongolia Region Basedon Remote Sensing and GIS. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol.37. Part B1. Beijing.

Wiegand, J.; Raffaelli, D.; Smart, J. C. R. & White, P.C.L. 2010. Assessment of temporal trends in ecosystem health using a holistic indicator. Journal of Environmental Management 91 (2010) 1446e1455.

Woodwell, G.M. 1970. Effects of pollution on the structure and physiology of ecosystems. Science; 168:429–33.

XU, F.; YANG, Z.F.; CHEN, B. & ZHAO, Y.W. 2012. Ecosystem Health Assessment of Baiyagdian Lake Based on Thermodynamic Indicators. The 18th Biennial Conference of International Society for Ecological Modelling. Procedia Environmental Sciences 13 (2012) 2402–2413.

Xu, F.L.; Zhao, Z. Y. & Zhan, W. 2005. An ecosystem health index methodology (EHIM) for Lake Ecosystem health assessment. Ecological Modeling, 188, pp. 327-339.

Zeng, R.; Zhao, Y. & Yang, Z. 2010. Emergy-based Health Assessment of Baiyangdian Watershed Ecosystem in Temporal and Spatial Scales. International Society for Environmental Information Sciences 2010 Annual Conference (ISEIS). Procedia Environmental Sciences 2 (2010) 359–371.

www.SID.ir