

واژه‌های کلیدی: توان اکولوژیکی زیست‌بوم، شاخص‌های پایداری، مدل مفهومی ارزیابی سلامت آبخیز، نمایه‌های زیست‌بوم سالم.

مقدمه

شناسایی ابزار حفظ سلامت^۳ و یکپارچگی^۴ سامانه زمین^۵ یکی از اصول اساسی است که از کنفرانس ایالت متحده^۶ در خصوص توسعه اقتصادی و محیط زیست در سال ۱۹۹۲ شکل گرفت [۳]. تخریب سریع^۷ سامانه‌های تامین‌کننده نیازهای جهان ضرورت پایش موثر محیط زیست و توسعه شاخص‌های عملکرد سلامت این سامانه‌ها را بیش از پیش توجیه می‌کند. حفظ سلامت محیط زیست هدف غایی مدیریت جامع محسوب می‌شود اما به دلیل عدم توفیق در حفظ منابع آب و خاک، نیازمند کاربرد اصول مدیریت سازگار^۸ و ارزیابی عملکرد آن با هدف استفاده بهینه از منابع زیست‌بوم^۹ بدون رساندن آسیب به آن‌هاست.

برای درک و مدیریت سامانه‌های پیچیده (مانند سامانه‌های بوم‌شناختی^{۱۰} و اقتصادی) نیاز به روش‌های ارزیابی عملکرد کلی سامانه یا به عبارتی دیگر ارزیابی سلامت نسبی آن وجود دارد. اخیراً با نگاهی به تحقیقات گسترده انجام شده توسط سازمان حفاظت محیط زیست ایالات متحده آمریکا^{۱۱} (EPA) مشاهده می‌شود که این سازمان شروع به تغییر رویه خود در پایش و اجرای فعالیت‌های حفاظتی خود از صرفاً حفاظت "سلامت انسانی" به سمت حفاظت "سلامت بوم‌شناختی" کرده است. علاوه بر این هیئت مشاوران علمی سازمان حفاظت محیط زیست^{۱۲} [۱۳] بیان کرده است: "EPA باید توجه بیش‌تری در کاهش خطر بوم‌شناختی بنماید زیرا که این امر موجب کاهش خطرات سلامت انسانی می‌شود. ارتباط بسیار تنگاتنگی بین سلامت انسان و سلامت بوم‌شناختی وجود دارد و بایستی در سیاست‌گذاری‌های ملی محیط زیست منعکس شود." هر چند این بیانیه اهمیت پرداختن به سلامت بوم‌شناختی را به عنوان

سلامت آبخیز (قسمت سوم): مدل مفهومی بنیه، ساختار و انعطاف‌پذیری (VOR)

زینب حزباوی^۱ و سیدحمیدرضا صادقی^{۲*}

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۸/۰۶ تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۱/۱۲

چکیده

اقبال روزافزون محققان، سیاست‌گزاران و برنامه‌ریزان جهان به بحث توسعه پایدار از یک سو و افزایش بی‌رویه جمعیت، تخریب محیط زیست، نابودی گونه‌های جانوری و استفاده بیش از حد از منابع طبیعی از سوی دیگر مؤید ضرورت کسب اطلاعات لازم در خصوص وضعیت سلامت زیست‌بوم‌های مختلف حوزه‌های آبخیز می‌باشد. تا بدین وسیله بتوان تا حد امکان برنامه‌ریزان کلان کشور را در راستای افزایش پایداری حوزه‌های آبخیز و استفاده بهینه از منابع موجود یاری نمود. امروزه حفظ سلامت زیست‌بوم به عنوان یک رویکرد جدید در مدیریت محیط‌زیست مورد توجه سطوح مختلف مدیریتی، تصمیم‌گیری و سیاست‌گذاری قرار گرفته است و روش‌های متنوعی برای ارزیابی سلامت زیست‌بوم‌ها ارائه شده است. یکی از این روش‌ها استفاده از مدل‌های مفهومی شاخص‌محور می‌باشد. بر این اساس پژوهش فعلی به معرفی مدل مفهومی بنیه-ساختار-انعطاف‌پذیری (VOR) مورد استفاده برای ارزیابی سلامت زیست‌بوم پرداخته است تا بتوان با کمک آن اطلاعاتی ارزشمند برای انجام مطالعات جامع در راستای مدیریت جامع و همه‌جانبه حوزه‌های آبخیز کسب نمود. تعیین سلامت حوزه‌های آبخیز در بسیاری از مناطق جهان از جمله ایالات متحده آمریکا، چین، هند، کانادا و استرالیا به‌خوبی مورد توجه قرار گرفته است. در حالی که در ایران هنوز مطالعات مستندی در زمینه ارزیابی سلامت آبخیز ارائه نشده است. حال آن‌که تخریب زمین در ایران به دلیل رشد فزاینده صنعتی و مدیریت نامناسب کشاورزی به یک معضل اساسی تبدیل شده است، لذا پایش حوزه‌های آبخیز و تعیین وضعیت سلامت آن‌ها در امر برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری به منظور مدیریت سازگار اجتناب‌ناپذیر است.

3- Health

4- Integration

5- Earth System

6- United Nation

7- Rapid Deterioration

8- Adaptive Management

9- Ecosystem

10- Ecological Systems

11- United States Environmental Protection Agency- US EPA

12- EPA's Science Advisory Board- SAB

۱- دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور مازندران، ایران.

۲- استاد گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور مازندران، ایران، نویسنده مسئول، Email: Sadeghi@modares.ac.ir

هدف اولیه EPA می‌رساند، اما سوالی در این زمینه مطرح می‌شود که منظور از سلامت زیست‌بوم چیست؟ در فرهنگ‌های لغت، سلامت، وضعیت ذهن، بدن و روحیه را تعریف کرده است. هم‌چنین شرایط تغذیه یا رفاه^۱ به‌عنوان سلامت و به‌صورت کاملاً مبهم تعریف شده است. حال آن‌که برای تامین شرایط لازم برای مدیریت موثر محیط زیست، تعریف شفاف‌تر و کاربردی‌تر از سلامت قابل کاربرد برای تمام سامانه‌های پیچیده در تمام سطوح مقیاسی مانند موجودات زنده، زیست‌بوم‌ها و سامانه‌های اقتصادی مورد نیاز می‌باشد.

تاکنون منظور از سلامت یک زیست‌بوم و یا سامانه مشخص به طور دقیقی تعریف نشده است. سلامت یک زیست‌بوم از نظر مفهومی و به‌طور کلی مشابه با سلامت بدن یک انسان است اما از نظر کاربردی متفاوت از تعاریف سلامت انسان در نظر گرفته می‌شود. در تعریف سلامت یک زیست‌بوم بایستی هم سلامت ساختاری^۲ و هم سلامت عملکردی^۳ سامانه را لحاظ کرد. مفهوم سلامت زیست‌بوم برای اولین بار توسط Costanza و Rapport مطرح شد. آن‌ها بیان کردند که زیست‌بوم باید بتواند پایداری^۴ و قابلیت ارتجاعی خود در برابر حوادث تخریب‌ساز طبیعی یا انسانی را حفظ کند. حفظ سلامت و پایداری این زیست‌بوم تابع سلامت مولفه‌های تشکیل‌دهنده آن و به نوعی شاخص‌های سلامت است [۴، ۶، ۱۲، ۱۴، ۱۷ و ۱۸]. بر همین اساس، تبیین شاخص‌های سلامت و نهایتاً روش‌های ارزیابی مبتنی بر همین شاخص‌ها به‌منظور ارزیابی کمی وضعیت سلامت زیست‌بوم ضروری است. یکی از روش‌های ابداع شده در این زمینه، مدل مفهومی شاخص‌محور بنیه^۵، ساختار^۶ و انعطاف‌پذیری (تاب‌آوری یا برگشت‌پذیری)^۷ (VOR) می‌باشد. در این مدل به ارزیابی سلامت زیست‌بوم از دو بعد سلامت عملکردی و ساختاری آن پرداخته می‌شود. از منظر این رویکرد اگر قدرت تولید منابع زنده با ارزش و ساختار و تنوع آن‌ها در زیست‌بوم مشخص کم شود و نیز آسیب‌پذیری نسبت به فشارها و قدرت بازسازی سامانه در برابر فشارها کم شود سلامت آن کاهش پیدا می‌کند.

تئوری مدل VOR و نحوه محاسبه شاخص‌های آن

به‌طور کلی تحقیقات اولیه در خصوص ارزیابی سلامت زیست‌بوم شامل استفاده از شاخص‌های زیستی^۸ به‌عنوان نمایه‌هایی از سلامت زیست‌بوم، تاکید بر جنبه‌هایی مشخصی مانند رابطه تنوع-فراوانی، انعطاف‌پذیری یا جریان انرژی و رتبه‌بندی سلامت کنونی زیست‌بوم با مقایسه وضعیت اکولوژیکی کنونی و وضعیت مرجع بوده است. سپس ارزیابی سلامت زیست‌بوم به‌صورت روش کمی توسط

Costanza [۲] با ارائه شاخص سلامت (HI)^۹ به‌شرح رابطه (۱) و با هدف ارزیابی سلامت زیست‌بوم مرتعی^{۱۰} مطرح شد.

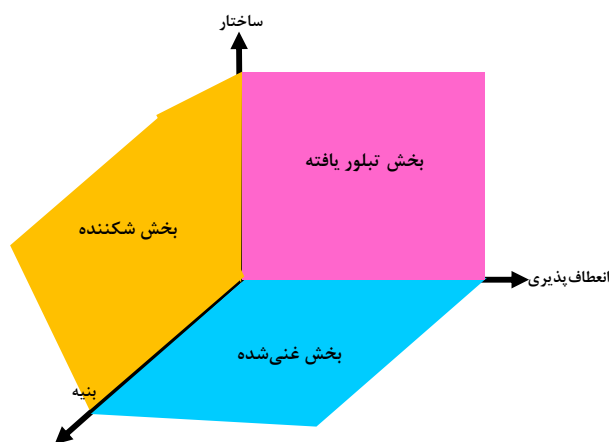
$$HI = V \times O \times R \quad \text{رابطه (۱)}$$

در این رابطه، HI، V، O و R به‌ترتیب نمایان‌گر شاخص سلامت، بنیه یا قدرت تولید، ساختار و میزان انعطاف‌پذیری زیست‌بوم است. منظور از قدرت تولید توانایی زیست‌بوم در میزان تولید اولیه آن از لحاظ پوشش گیاهی می‌باشد. هم‌چنین ساختار به‌معنی تنوع گونه‌ای و تعداد ارتباطات بین مولفه‌های زیست‌بوم بوده و انعطاف‌پذیری ظرفیت سامانه در حفظ ساختار و عملکرد آن در برابر تنش‌های وارده محسوب می‌شود. اما شکل توسعه‌یافته مدل مفهومی VOR با هدف قاطع ارزیابی سلامت زیست‌بوم توسط Costanza و Mageau [۴] مطرح و سلامت زیست‌بوم به‌عنوان یک واحد اندازه‌گیری جامع، چندمقیاسی، پویا و سلسله‌ای^{۱۱} از سه شاخص بنیه، ساختار و انعطاف‌پذیری معرفی شد. آن‌ها بیان کردند که یک زیست‌بوم، زمانی سالم و پایدار است که قادر باشد بنیه (عملکرد)^{۱۲} و ساختار خود در طول زمان در مقابله با تنش‌های بیرونی را حفظ کند و از انعطاف‌پذیری مناسب برخوردار باشد. Mageau [۱۰] و Costanza و Mageau [۴] ارتباط بین سه شاخص نام‌برده را به‌صورت شکل ۱ نمایش داده‌اند.

سه مولفه سلامت زیست‌بوم در سه بعد از شکل ۱ نشان داده شده است. وقتی مقدار یکی از مولفه‌ها صفر باشد یک صفحه دو بعدی تشکیل خواهد شد. اولین صفحه توصیف‌گر سامانه دارای ترکیبی از مشخصات ساختار و انعطاف‌پذیری می‌باشد و این سامانه فاقد مشخصات بنیه می‌باشد. این نوع از سامانه‌های بدون بنیه یا دارای مقدار کمی از بنیه مانند سطوح یخی، صخره‌ها و مواد معدنی هستند که سطوح متبلور^{۱۳} می‌باشند. دومین صفحه سامانه‌های دارای ترکیبی از انعطاف‌پذیری و بنیه و بدون ساختار مشخص هستند. سامانه‌های با ساختار کم یا فاقد آن دریاچه‌های غنی شده از مواد مغذی^{۱۴}، رودخانه‌ها و برکه‌ها هستند. هم‌چنین زیست‌بوم‌های دارای توالی اولیه جز این نوع سامانه‌ها در نظر گرفته می‌شود. سومین صفحه بیان‌گر سامانه‌های دارای ترکیب‌های مختلفی از بنیه و ساختار و طبعاً غیر قابل انعطاف هستند. تغییرات طبیعی در محیط‌های بیرونی قابلیت انعطاف‌پذیری سامانه را سلب می‌کنند. این سامانه‌ها مانند زیست‌بوم‌های کشاورزی، آبی و نهالستان‌ها هستند و شکننده^{۱۵} و بی‌دوام خواهند بود. سامانه‌های بلوری، غنی‌شده^{۱۶} و شکننده سالم نیستند. یک سامانه سالم بایستی ترکیبی متعادل از سه مشخصه بنیه، ساختار و انعطاف‌پذیری داشته باشد. یک زیست‌بوم سالم

- 9- Health Index
- 10- Rangeland Health Assessment
- 11- A Comprehensive, Multi-Scale, Dynamic, Hierarchical Measure
- 12- Function
- 13- Crystallized
- 14- Nutrient Enriched Lakes
- 15- Brittle
- 16- Eutrophic

- 1- Well-being
- 2- Structural Healthy
- 3- Functional Healthy
- 4- Sustainability
- 5- Vigor
- 6- Structure
- 7- Resilience
- 8- Bio-indicators



شکل ۱- ارتباط تئوری بین سه شاخص بنیه، ساختار و انعطاف پذیری (اقتباس از Costanza و Mageau [۴] و Mageau [۱۰])

پوشش گیاهی (کلروفیل، نیتروژن، فسفر و محتوای رطوبت) به طور مستقیم یا غیر مستقیم مرتبط با NPP هستند. علاوه بر این، افزایش NPP گاهی اوقات مثل افزایش گونه های گیاهی مهاجم به معنی بهبود زیست بوم نیست. بنابراین توزیع گونه های گیاهی مهاجم را می توان به عنوان شاخص بالقوه دیگری از بنیه زیست بوم در نظر گرفت.

ساختار زیست بوم نشان دهنده تنوع گونه ای و ارتباطات بین گونه های یک زیست بوم است. متغیرهای بیانگر ساختار شامل غنای گونه ای، تنوع سیمای سرزمین، ویژگی های ساختاری مثل ارتفاع تاج پوشش، شاخص سطح برگ، ریخت شناسی تاج پوشش و ساختار افقی که توسط توزیع مکانی پوشش سبز، NPV و خاک لخت می باشد.

انعطاف پذیری زیست بوم نیز به توانایی زیست بوم برای بقا در حالت کنونی خود و برگشت به حالت قبل از تنش مثل تغییر اقلیم طبیعی، آتش سوزی سریع و فعالیت های انسانی مثل چرا و آتش اطلاق می شود. انعطاف پذیری در یک زمان مشخص ممکن است بر اساس نسبت شاخص سلامت زیست بوم مثل زی توده زمینی قابل اندازه گیری در قبل و بعد از تخریب ارزیابی شود. سنجش از دور به دلیل قابلیت ارزیابی شاخص سلامت زیست بوم زمینه تخمین قابلیت انعطاف پذیری زیست بوم نسبت به تخریب را فراهم می کند. هر چند داده های سنجش از دور باید با فراوانی بالا در طول زمان اندازه گیری شوند تا زمان تکثیر و تولید را پوشش دهند. شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی (NDVI)^۵ برای ارزیابی انعطاف پذیری نسبت به تغییر اقلیم و چرا به طور گسترده استفاده شده اند. هر چند شاخص های دیگر گیاهی مثل شاخص بهبود یافته پوشش گیاهی با تنظیم انعکاس خاک (ATSAVI)^۶ نیز به وفور استفاده شده است. مفهوم انعطاف پذیری زیست بوم و مولفه های

بایستی مولفه های تنوع موثر و راه های انتقال تنوع را توسعه بدهد (قدرت ساختاری بالا) و این در حالی است که فراوانی و قدرت انعطاف پذیری خود در برابر تنش ها و فشارهای بیرونی را حفظ کند و بنیه ذاتی خود در راستای بازیابی سریع در برابر تنش ها و در یک مسیر درست را به کار بگیرد [۴ و ۱۰].

ماهیت مکانی وقایع رخ داده در زیست بوم ها، زمینه ارزیابی و پایش سلامت زیست بوم غیریکنواخت از نظر مکانی با استفاده از سنجش از دور را فراهم می کند [۹]. اما به دلیل این که اکولوژیست ها ممکن است علم کافی در خصوص سنجش از دور برای حل مسائل اکولوژیکی در مقیاس محلی تا جهانی را نداشته باشند و از طرفی عدم اطلاع کافی متخصصان سنجش از دور در مورد مشکلات اکولوژیکی نگرانی هایی را به وجود آورده است. بنابراین بایستی تلاش لازم برای پرکردن خلأ تحقیقاتی موجود بین این دو جامعه علمی به عمل آورد. همان گونه که سابقاً اشاره شد، اندازه گیری های پویا و یک پارچه از خصوصیات بنیه، ساختار و انعطاف پذیری زیست بوم، زمینه یک ارزیابی و پایش موثر سلامت زیست بوم را فراهم می کند. برای هر خصوصیت زیست بوم، متغیرهای بسیاری وجود دارد، هر چند این متغیرها ممکن است برای هر زیست بوم متفاوت باشد.

به طور کلی بنیه می تواند از طریق اندازه گیری سوخت و ساز، تولید و حاصل خیزی خاک اندازه گیری شود. رایج ترین متغیر بنیه، تولید خالص اولیه (NPP)^۱ یا تولید ناخالص اولیه (GPP)^۲ یک زیست بوم می باشد. متغیرهای دیگری از جمله پوشش گیاهی سبز، زی توده گیاهی سبز، نسبت پوشش یا زی توده پوشش غیرفتوسنتزی (NPV)^۳ به پوشش سبز، پوشش خاک لخت و پوشش پوسته زیستی خاک (BSC)^۴ در مناطق خشک و نیمه خشک و خصوصیات زیستی

1- Net Primary Productivity (NPP)

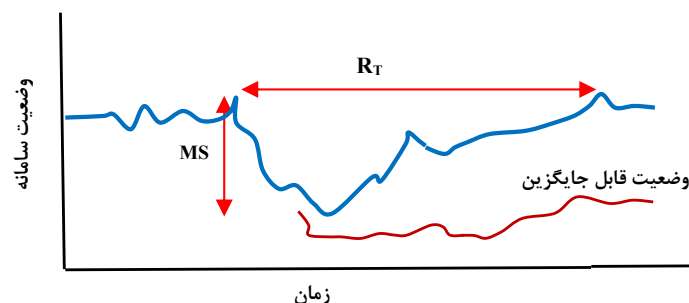
2- Gross Primary Production (GPP)

3- Non-Photosynthetic Vegetation (NPV)

4- Biological Soil Crust (BSC)

5- Normalized Difference Vegetation Index- NDVI

6- Adjusted Transformed Soil-Adjusted Vegetation Index- ATSAVI



شکل ۲- مفهوم انعطاف پذیری و ارتباط بین دو مولفه حداکثر فشار (MS) و زمان برگشت سامانه به حالت طبیعی (R_T) (اقتباس از Mageau [۱۰])

سه متغیر شاخص تنوع سیمای سرزمین، یکنواختی فرسایش و یکنواختی رواناب و برای شاخص انعطاف پذیری، متغیرهای شاخص غنای سیمای سرزمین، تغییرات فرسایش و تغییرات رواناب استفاده کردند. نتایج حاصل از ارزیابی سلامت نشان داد که زیرحوزه‌های مختلف حوزه آبخیز مطالعاتی دارای سلامت مشابه نبوده‌اند. همچنین Li [۸] از مدل VOR برای ارزیابی سلامت مراتع آلی دشت Qinghai-Tibetan واقع در چین استفاده نمودند. آن‌ها سه معیار زی توده سطح زمین، مواد آلی و میزان فتوسنتز برای شاخص بنیه، سه معیار وزن مخصوص، تنوع زیستی و میزان گونه‌های اولیه برای محاسبه شاخص ساختار و دو معیار پوشش گیاهی و ظرفیت تحمل^۳ را برای بیان شاخص انعطاف پذیری منطقه مطالعاتی به کار بردند. سپس از روش انتروپی^۴ برای تعیین وزن هر شاخص و از مدل VOR برای آشکارسازی شاخص‌های سلامت استفاده شد. نتایج حاصل از ارزیابی سلامت در چهار کرت مستقر شده در منطقه مطالعاتی نشان داد که حداکثر امتیاز سلامت مربوط به کرت با کم‌ترین تخریب بود و کم‌ترین امتیاز سلامت حاصل از مدل VOR در کرت دارای حداکثر اختلال و تخریب به دست آمد. در واقع رفتار سلامت کرت‌های مورد ارزیابی از یک رفتار ثابتی تبعیت کرد و میزان سلامت با افزایش میزان تخریب، کاهش داشته است. همچنین Li [۹] به‌طور کلی برای ارزیابی سلامت زیست‌بوم و Xu و Guo [۱۶] به‌طور خاص برای ارزیابی سلامت اراضی علف‌زار یک مقایسه مروری در خصوص نحوه استفاده از مدل VOR با کمک سنجش از دور انجام دادند. در این پژوهش مجموعه‌ای از شاخص‌های فیزیکی و زیستی^۵ مبتنی بر سنجش از دور برای محاسبه سه شاخص بنیه، ساختار و انعطاف پذیری مربوط به مدل VOR به شرح مندرج در جدول ۱ مورد بررسی قرار گرفت. همچنین خلاصه‌ای از مطالعات انجام شده به‌صورت مطالعه موردی در خصوص ارزیابی کمی سلامت زیست‌بوم با بهره‌گیری از مدل مفهومی VOR در جدول ۲ ارائه شده است.

تاثیرگذار بر آن شامل حداکثر میزان فشار وارد آمده بر زیست‌بوم^۱ و مدت زمان لازم برای برگشت زیست‌بوم به حالت طبیعی^۲ در شکل ۲ نشان داده شده است.

بر اساس سابقه تحقیق موجود، دو تعریف متفاوت از نظر مفهومی برای انعطاف پذیری ارائه شده است. Pimm [۱۱] انعطاف پذیری را به‌عنوان زمان لازم برای یک سامانه برای بازیابی خود از فشارها می‌داند. حال آن‌که Holling [۷] انعطاف پذیری را به‌عنوان بزرگی فشار وارده بر سامانه می‌داند که موجب شده سامانه به وضعیت قبلی خود برنگردد. Mageau [۱۰] این دو تعریف را در هم تلفیق کرده و همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود انعطاف پذیری را تلفیقی از هر دو مولفه حداکثر فشار وارده به سامانه (MS) و مدت زمان بازیابی سامانه به حالت طبیعی (R_T) می‌داند. مدت زمان بازیابی به سادگی از طریق محاسبه زمان مورد نیاز برای سامانه تا این‌که خود را از طیف وسیعی از تنش‌ها و فشارهای وارده بر آن بازیابی کند و به حالت اولیه برگردد قابل تخمین است. همچنین همان‌گونه که در شکل ۲ نشان داده شده است بزرگی فشار وارده مقداری است که باعث شده تا سامانه به‌طور کلی از حالت اولیه خارج شده و به حالت جدیدی دست یافته و موجب جابجایی وضعیت سامانه شده است. بنابراین نسبت بزرگی فشار وارده به مدت زمان بازیابی سامانه به‌عنوان انعطاف پذیری در نظر گرفته می‌شود.

مطالعات انجام شده در زمینه کاربرد مدل ROV در

تعیین سلامت زیست‌بوم

در زمینه کاربرد مدل VOR، Suo [۱۵] سلامت زیست‌بوم ۱۲ زیرحوزه آبخیز رودخانه Jinghe واقع در دشت Huangtu چین با استفاده از مدل Costanza مبتنی بر سه شاخص بنیه، ساختار و انعطاف پذیری با استفاده از مشاهدات زمینی و داده‌های سنجش از دور در مقیاس سالانه را ارزیابی کردند. آن‌ها برای شاخص بنیه از متغیرهای NDVI، فرسایش و عمق رواناب، برای شاخص ساختار

3- Carrying Capacity

4- Entropy Method

5- Biophysical

1- Maximum Stress- MS

2- Return Time- R_T

جدول ۱- متغیرهای بیوفیزیکی برای تخمین شاخص‌های سلامت زیست‌بوم مورد استفاده در مدل مفهومی VOR

ردیف	شاخص‌های سلامت زیست‌بوم	متغیرهای مورد نظر	توضیحات
۱	بنیه	تولید ناخالص اولیه (GPP)	کل انرژی تثبیت شده توسط گیاه از طریق فتوسنتز در یک مدت زمان معین
		تولید خالص اولیه (NPP)	میزان تنفس توسط گیاه- $NPP=GPP$
		تولید ثانویه	کل تولید زی‌توده گیاهی توسط هتروتروف
		کل زی‌توده	کل زی‌توده گیاهی
		میزان حجم زنده (GR)	مقدار نسبی مواد زنده و غیر زنده
		میزان گونه‌های علفی پایا و دائمی	درصد علف همیشه سبز در کل علف سبز ^۱
		میزان رطوبت علف	نسبت بین (وزن علف سبز منهای وزن علف زنده خشک شده) به وزن علف زنده
		رطوبت خاک	نسبت بین (وزن خاک منهای وزن خاک خشک) به وزن خاک
		حاصل خیزی خاک	میزان مواد مغذی اولیه گیاهان شامل نیتروژن، فسفر و پتاسیم
		ذخیره کربن	کربن ذخیره شده در علف و خاک
		علف هرز	درصد علف هرز نسبت به کل علف
۲	ساختار	تنوع زیستی	درجه تغییرات علف‌های سبز ^۲
		تنوع سیمای سرزمین	درجه تغییرات الگوهای سیمای سرزمین
		تنوع علف سبز	درصد علف در هر واحد حجم
		غیریکنواختی افقی	تنوع علف در جهت افقی
		غیریکنواختی عمودی	تنوع علف در جهت عمودی
		پوشش سطح زمین	درصد پوشش علف سبز، بوته، پهن‌برگان، خاک لخت، سنگ و پوسته سطح زمین (خزه و گل سنگ)
		بافت خاک	بعد نسبی دانه‌بندی مواد معدنی خاک با اندازه‌های متفاوت
		چرخه مواد مغذی	به‌طور نرمال گیاهان مواد مغذی را از اتمسفر و خاک می‌گیرند. وقتی گیاهان توسط دام‌ها مصرف می‌شوند، مواد مغذی از گیاهان به دام‌ها انتقال پیدا می‌کنند. بعد از مرگ دام، مواد مغذی توسط سامانه تجزیه‌کننده تجزیه شده و به مواد غیر آلی قابل استفاده توسط گیاهان تبدیل می‌شوند.
		جریان انرژی	جریان‌های انرژی از انرژی خورشیدی به تولید خالص اولیه و سپس به تولید ثانویه و نهایتاً به سامانه تجزیه‌کننده انتقال می‌یابند.
		دمای حداکثر در فصل رشد	دمای حداکثر در دوره رشد گیاه
		دمای حداقل در فصل رشد	دمای حداقل در دوره رشد گیاه
۳	انعطاف‌پذیری	دمای تجمعی سالانه	دمای تجمعی در یک سال
		توزیع فصلی بارش	درصد بارش در فصل رویشی گیاه یا فصل قهوه‌ای

جمع‌بندی

یک رابطه تنگاتنگ بین سلامت آبخیز و خدمات آن وجود دارد. خدمات زیست‌بوم به عملکرد آن بر می‌گردد که بدین‌وسیله به جامعه انسانی منفعت‌هایی مانند سم‌زدایی مواد شیمیایی، تصفیه آب و تولید گونه‌های مفید می‌رساند. حال آن‌که تنش‌های محیطی کیفیت و کمیت ارائه این‌گونه خدمات را کاهش می‌دهد. در عوض زیست‌بوم‌های سالم طیف وسیعی از خدمات را فراهم می‌کنند. به همین منظور تلاش در حفظ سلامت خاک و آب از طریق پایش مداوم

و مدیریت مؤثر برای دستیابی به خدمات مورد نیاز از زیست‌بوم‌ها ضروری است. از آن‌جایی‌که ارزیابی سلامت حوزه آبخیز مبتنی بر شرایط حاکم بر کشور به‌عنوان الگویی برای مدیریت صحیح و یکپارچه منابع آب و خاک ضرورت داشته و از مهم‌ترین برنامه‌های مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز محسوب می‌شود. بنابراین استفاده از مدل مفهومی VOR برای ارزیابی سلامت حوزه‌های آبخیز کشور و تعیین متغیرهای مناسب با شرایط اقلیمی، خاک‌شناسی و پوشش گیاهی کشور و بومی‌سازی آن پیشنهاد می‌شود.

جدول ۲ خلاصه‌ای از مطالعات انجام شده در زمینه ارزیابی سلامت زیست‌بوم با بهره‌گیری از مدل VOR

ردیف	پژوهشگران	شاخص‌های سلامت زیست‌بوم	متغیرهای مورد استفاده برای تبیین شاخص‌ها
۱	Suo و همکاران (۲۰۰۸)	بنیه ساختار انعطاف‌پذیری	NDVI
			مدول فرسایش
			عمق رواناب
			تنوع سیمای سرزمین
			یکنواختی فرسایش
			یکنواختی رواناب
			غنای سیمای سرزمین
۲	Chen و همکاران (۲۰۱۰)	بنیه ساختار انعطاف‌پذیری	تغییرات فرسایش
			تغییرات رواناب
			متوسط NDVI سالانه
			تغییرات مرکز ثقل پوشش گیاهی
			شیب
			زی‌توده سطح زمین ۳
			میزان فتوسنتز
۳	Li و همکاران (۲۰۱۳)	بنیه ساختار انعطاف‌پذیری	مواد آلی
			جرم مخصوص
			تنوع زیستی
			میزان تولید اولیه گونه‌های گیاهی
			میزان تاج پوشش گیاهی
			ظرفیت چرا

Ecological Engineering. Ecological engineering, 45: 24-29.

4. Costanza, R., Mageau, M., 1999. What is a Healthy Ecosystem? Aquatic Ecology, 33(1): 105-115.

5. Boesch, D.F., Paul, J.F., 2001. An Overview of Coastal Environmental Health Indicators. Human and Ecological Risk Assessment, 7(5): 1-9.

6. Hazbavi, Z., Sadeghi, S.H.R., 2016. Watershed Health Characterization using Reliability-Resilience-Vulnerability Conceptual Framework based on Hydrological Responses. Land Degradation and Development. DOI:

منابع

1. Chen, Z., Yin, Q., Li, L., Xu, H. 2010. Ecosystem Health Assessment by using Remote Sensing Derived Data: A Case Study of Terrestrial Region along the Coast in Zhejiang Province. Proceedings of the 2010 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Honolulu, HI, USA, 25-30 July 2010, 4526-4529.
2. Costanza, R. 1992. Toward an Operational Definition of Health. In: Ecosystem Health- New Goals for Environmental Management, Washington, DC: Inland Press, 239-256.
3. Costanza, R., 2012. Ecosystem Health and

14. Sadeghi, S.H.R., Hazbavi, Z., 2017. Spatiotemporal Variation of Watershed Health Propensity through Reliability-Resilience-Vulnerability based Drought Index (Case Study: Shazand Watershed in Iran). *Science of the Total Environment*, 10.1016/j.scitotenv.2017.02.098.
15. Suo, A.N., Xiong, Y.C., Wang, T.M., Yue, D.X., Ge, J.P. 2008. Ecosystem Health Assessment of the Jinghe River Watershed on the Huangtu Plateau. *Ecohealth*, 5: 127–136.
16. Xu, D., Guo, X., 2015. Some Insights on Grassland Health Assessment based on Remote Sensing. *Sensors*, 15: 3070-3089.
17. Zeng, R., Zhao, Y., Yang, Z. 2010. Emergy-based Health Assessment of Baiyangdian Watershed Ecosystem in Temporal and Spatial Scales. *Procedia Environmental Sciences*, 2: 359–371.
18. Zhang, F., Zhang, J., Wu, R., Ma, Q., Yang, J. 2015. Ecosystem Health Assessment based on DPSIRM Framework and Health Distance Model in Nansi Lake, China. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 30: 1235-1247.
- 10.1002/ldr.2680.
7. Holling, C.S., 1986. The Resilience of Terrestrial Ecosystems: Local Surprise and Global Change. In: Sustainable Development of the Biosphere, Clark WC, Munn RE (editors), New York: Cambridge University Press, pp 292–317.
8. Li, Y., Dong, S., Wen, L., Wang, X., Wu, Y., 2013. Three-Dimensional Framework of Vigor, Organization, and Resilience (VOR) for Assessing Rangeland Health: A Case Study from the Alpine Meadow of the Qinghai-Tibetan Plateau, China. *Ecohealth*, 10: 423-433.
9. Li, Z., Xu, D., Guo, X., 2014. Remote Sensing of Ecosystem Health: Opportunities, Challenges, and Future Perspectives. *Sensors*, 14: 21117-21139.
10. Mageau, M.T., Costanza, R., Ulanowicz, R.E., 1995. The Development and Initial Testing of a Quantitative Assessment of Ecosystem Health. *Ecosystem Health*, 1: 201–213.
11. Pimm, S.L. 1984. The Complexity and Stability of Ecosystems. *Nature*, 307: 321–326.
12. Rapport, D.J., Costanza, R., McMichael, A.J. 1998. Assessing Ecosystem Health, *Trends in Ecology and Evolution*, 13: 397-402.
13. SAB, Science Advisory Board. 1990. Reducing Risk: Setting Priorities and Strategies for Environmental Protection. SAB-EC-90-021. EPA, Washington, available at: <https://www.epa.gov/aboutepa/reducing-risk-setting-priorities-and-strategies-environmental-protection>, 2016.

**Abstract****Watershed Health (Part three): Vigor, Organization and Resilience
Conceptual Model**Z. Hazbavi¹ and S.H.R. Sadeghi^{2*}

Received: 2016/10/27 Accepted: 2017/01/31

The increasing interest of world researchers and policy makers to sustainable development concept as well as excessive increase in population, degradation and overuse of natural resources confirmed the necessity of the ecosystem health assessment. It is very important to help planners and managers country wide toward increasing the watershed sustainability and optimizing the use of available resources. Nowadays, ecosystem health has been concerned a lot and become an important index of regional sustainable development for managers and decision makers. Several approaches have been recommended for ecosystem health assessment. One of these approaches is indicator-based conceptual models. Accordingly, the objective of this study is to introduce vigor, organization and resilience (VOR) model for assessing ecosystem health through the simultaneous integration of qualitative and quantitative analyses. This model has been well considered by USA, China, India, Canada and Australia for watershed health assessment, but has not been yet considered in Iran. Due to the rapid growth of the industrial activities and the bad management of agricultural land in Iran, the ecosystem is gradually deteriorating, which makes it important to assess the ecosystem health and take measures to restore the damaged ecosystem towards adaptive management planning.

Keywords: *Ecological potential of ecosystem, Watershed health assessment conceptual model, Sustainable indicators, Health ecosystem indices*

1. Ph.D. Student of Watershed Management Sciences and Engineering, Tarbiat Modares University.

2. Professor Department of Watershed Management Engineering, Tarbiat Modares University, Noor 4641776489, Mazandaran, Iran, Corresponding Author, E-mail: sadeghi@modares.ac.ir