نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال چهارم، شماره ٤، زمستان ١٣٩٦
صفحات ٦٠- ٤٩

تعیین کمّی سلامت پوشش گیاهی بر اساس قابلیت بازگشت‌پذیری

مرضیه تابع، دانشجوی دکترای بیابان‌زدایی، گروه مهندسی علوم بیابان، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان، ایران.
ابوالفضل رنجبر فردوئی[1]، دانشیار گروه مهندسی علوم بیابان، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان، ایران.
سید حجت موسوی، استادیار ژئومورفولوژی، گروه جغرافیا و اکوتوریسم، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان، ایران.
محمد خسروشاهی، دانشیار بخش تحقیقات بیابان، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.

دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۰۳/۱۹ پذیرش نهایی: ۱۳۹۶/۰۹/۰۱

چکیده

مدیریت صحیح اکوسیستم‌های طبیعی بدون آگاهی از وضعیت سلامت اجزاء آن امکانپذیر نیست. پوشش گیاهی به عنوان اصلی‌ترین جزء اکوسیستم نقش مهمی در سلامت آن ایفا می‌کند. یکی از ویژگی‌های تعیین کننده سلامت پوشش گیاهی قابلیت بازگشت‌پذیری آن در مواجهه با آشفتگی‌های محیطی است. این پژوهش در شمال شرق استان خراسان جنوبی با هدف کمّی‌سازی قابلیت بازگشت‌پذیری پوشش گیاهی به نمایندگی از سلامت اکوسیستم در پاسخ به تغییرات بلند مدت بارش انجام شد. ابتدا استانداردسازی بارش سالانه در طول بازه زمانی سی ساله با روشSPI انجام شد. سپس تغییرات میانگین شاخص TNDVI حاصل از تصاویر ماهواره‌ای لندست بررسی و بازگشت‌پذیری با محاسبه چهار عامل موثر (دامنه تغییرات، انعطاف‌پذیری، استهلاک و ترمیم) آزمون گردید. طبق نتایج، دامنه این تغییرات در دوره بررسی، ۶/۰۴ درصد بوده و پوشش گیاهی مقادیر متفاوتی از استهلاک را در سال‌های مختلف داشته است. مشخص‌ترین نمونه بازگشت‌پذیری پوشش گیاهی، بین سال‌های ۱۹۸۶ تا ۱۹۹۶ اتفاق افتاده که میزان انعطاف‌پذیری ۰/۷ و استهلاک صفر بوده است. پوشش گیاهی در این دوره پس از رفع آثار خشکسالی (۱۹۸۶)، نه تنها به میزان پوشش گیاهی سال مرجع با ترسالی شدید (۱۹۸۶) بازگشته بلکه به میزان ۰/۲۵ درصد نیز افزایش داشته است. این افزایش تحت عنوان شاخص ترمیم (Hysteresis) برای اولین بار در مبحث سلامت اکوسیستم به صورت کمّی در مطالعه حاضر ارائه گردیده است. مجموعه محاسبات کمّی نشان می‌دهد علیرغم حاکمّیت کاهش میزان بارش سالانه و رخدادهای خشکسالی، پوشش گیاهی توانسته است قابلیت بازگشت‌پذیری خود را حفظ نماید که بیانگر وجود سلامت پوشش گیاهی در اکوسیستم مورد بررسی است.

واژگان کلیدی: سلامت اکوسیستم، بازگشت‌پذیری، بررسی کمّی، ترمیم ، سنجش از دور، خراسان جنوبی

۱- نویسنده مسئول: Email:aranjbar@kashanu.ac.ir

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]

مقدمه

قابلیت بازگشت‌پذیری پوشش گیاهی عامل با اهمیتی در مبحث سلامت اکوسیستم است و انواع آشفتگی‌های محیطی می‌توانند آن را مختل سازند. اصطلاح بازگشت‌پذیری نخستین بار در سال ۱۹۷۰ در مطالعه سیستم‌های اکولوژیک مطرح شد (Holling, ۱۹۷۳) و نشان دهنده توانایی اکوسیستم برای حفظ عملکرد در مواجهه با آشفتگی‌های محیطی است (Elmqviste et al.۲۰۰۳). یک سیستم با قابلیت بازگشت‌پذیری نه تنها به مکانیزم سازگاری با اختلال مجهز است بلکه پتانسیل بهره‌مندی مفید از تغییر، به شکلی که به خلق فرصتی برای توسعه، نوآوری و به روز شدن منجر شود را نیز داراست (Rockstrom, ۲۰۰۳). بنا بر این وقتی تغییری اتفاق می‌افتد بازگشت‌پذیری شرایط مورد نیاز برای شروع دوباره و سازماندهی مجدد را فراهم می‌کند (Gunderson and Holling, ۲۰۰۲- ۵۰۷; Friend and Moench, ۲۰۱۳). اگر این قابلیت فراتر از نیروهای مختل کننده وارده باشد، سیستم توان برگشت به وضعیت حداکثر تراکم پوشش گیاهی با کمترین آثار فرسایشی را خواهد داشت در غیر این صورت سیستم نسبت به تغییری که ایجاد شده و قبلا می‌توانست آن را کنترل کند آسیب‌پذیر می‌شود (Kaspersson and kaspersson, ۲۰۰۱- ۲۶). این پیشبینی‌ها در سال‌های اخیر در مطالعات میدانی آبراهامز و همکاران (Abrahams et al, ۱۹۹۵) همچنین پویگدفابرگاس و سانچز (Puigdefábregas and Sánchez, ۱۹۹٦) تأیید و اثبات شده‌اند. آشفتگی‌هایی مانند سیل، زلزله و خشکسالی، روند تکامل و توالی طبیعت را تغییر می‌دهند. در مقابل این اختلال‌ها طبیعت دارای روش‌های پیچیده و سازگار برای مقابله با چنین رخدادهایی است (Holling, ۱۹۸۶- ۲۵). اما کمّی‌سازی اثر این رخدادها، به دلیل آن که وضعیت فعلی سیستم به وضعیت قبلی آن وابسته است می‌تواند دشوار باشد (Carpenter, ۲۰۰۱). با این حال، بررسی ویژگی‌های اکوسیستم در مقیاس‌های بزرگ مکانی و زمانی، یکی از راه‌هایی است که می‌توان با استفاده از آن روند اثر اختلالات در چشم‌اندازها را پی‌گیری کرد. شاخص‌های اکوسیستم از قبیل وضعیت پوشش گیاهی، می‌توانند با استفاده از اطلاعات، نرم‌افزارها و روشهای مکانی (مانند تکنیک‌های سنجش از دور) برای اندازه‌گیری بازگشت‌پذیری مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرند (Washington-Allen et al, ۲۰۰۸). پوشش گیاهی به عنوان یکی از اجزاء اصلی اکوسیستم‌های طبیعی است که تخریب در آن می‌تواند به صورت از دست دادن تنوع و تغییردر تیپ پوشش گیاهی نسبت به وضعیت اولیه چشم انداز مشاهده شود (Ringrose et al,۱۹۹۰; Goheen et al,۲۰۰۷). شاخص تفاضل نرمال پوشش گیاهی (NDVI) به ویژه برای اندازه‌گیری مقدار فتوسنتز زیست‌توده در مناطق نیمه خشک و ساوانا (Martiny et al, ۲۰۰٦)، که در آن پوشش تراکم بالایی ندارد (Richard et al, ۱۹۹۸) مفید است. در عین حال محدودیت‌های بالقوه‌ای در استفاده از شاخص NDVI در این مناطق، با توجه به نوع و بازتاب خاک وجود دارد (Farrar et al, ۱۹۹۴). فراهم آمدن امکانات مضاعف (سنجنده‌های چند طیفی MSS و TM لندست)، مقیاس فضایی مناسبی را به عنوان نقطه ایده‌آلی برای تحقیقات منطقه‌ای مقایسه‌ای برای تجزیه و تحلیل تغییرات بلند مدت ایجاد کرده است (Scanlon et al, ۲۰۰۵; Stige et al, ۲۰۰٦). این محدودیت‌ها اکنون در ماهواره‌های لندست ۷ و ۸ با تجهیز به سنجنده های +ETM، OLI و TRIS و ارتقاء کیفی تصاویر به حد اقل رسیده است. گریفیتز و فیلیپات (Griffiths and Philippot, ۲۰۱۳)، سلامت خاک را از طریق بررسی وضعیت میکروب‌های موجود در آن تحت آشفتگی‌های محیطی، مدیریتی و آلودگی خاک با فلزات سنگین به صورت کیفی بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که قابلیت پایداری و

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]

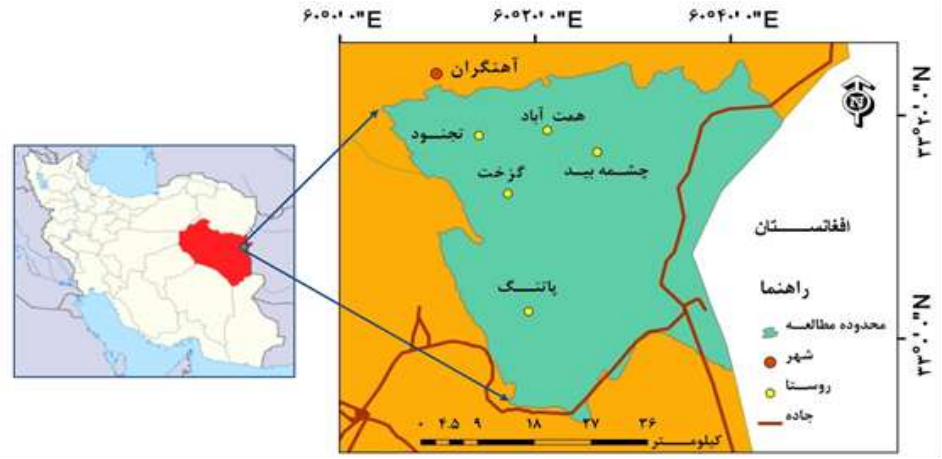
بازگشت‌پذیری خاک به درصد گونه‌های میکروبی بستگی ندارد بلکه به ویژگی‌های عملکردی آنها در ساختار خاک وابسته است.

وستمن و اولری (Westman and O'Leary, ١٩٨٦)، چهار معیار انعطاف‌پذیری زیست محیطی شامل فاصله زمانی بازگشت به مرجع، بزرگی دامنه تغییرات، انعطاف‌پذیری و استهلاک را توسعه دادند. در این بررسی پاسخ گیاهان ساحلی در جنوب کالیفرنیا در برابر آشفتگی آتش‌سوزی مورد استفاده قرار گرفتند. این بررسی با استفاده از داده‌های حاصل از برداشت‌های میدانی و توسط یک مدل شبیه‌سازی انجام شد. مقدار معیارها با استفاده از نمودارهای ترسیمی انجام گرفت. واشنگتن آلن و همکاران (Washington-Allen et al, ٢٠٠٨) و سو و همکاران (Cui, ٢٠١٣)، بازگشت‌پذیری پوشش گیاهی را به صورت کیفی با استفاده از ترسیم پلات میانگین – واریانس به ترتیب در کشور بولیوی در قاره آمریکا و جنوب آفریقا بررسی کردند. همچنین پریکوپ و همکاران (Pricope et al, ٢٠١٥)، تغییرات پوشش گیاهی چشم‌انداز ساوانا را بر اثر عوامل سیل و آتش‌سوزی به صورت کیفی در جنوب آفریقا بررسی کردند اما تنها سابقه تعیین کمّی بازگشت‌پذیری اکولوژیک با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و معادلات دقیق ریاضی مربوط به مطالعه واشنگتن آلن و همکاران (٢٠٠٨ ,Washington-Allen et al) بر روی پوشش گیاهی در جنوب آفریقا است. این مطالعه با استفاده از شاخص پوشش گیاهی TNDVI و تصاویر ماهواره‌ای لندست در دوره ١٩٨٧ تا ١٩٧٢ بر روی کل پوشش گیاهی و کلاس‌های پوششی مختلف انجام شد. سه عامل بزرگی دامنه تغییرات، ارتجاع پذیری و استهلاک در این مطالعه بر روی پوشش گیاهی بررسی و مقایسه شدند. از بین کلاس‌های پوشش گیاهی موجود، علفزار بیشترین میزان بازگشت‌پذیری و انعطاف‌پذیری را نسبت به دیگر پوشش‌های گیاهی نشان داد و به عنوان یک منبع کلیدی و یک پوشش بومی منادی برای نجات از تغییرات آب و هوایی در منطقه معرفی گردید.

داده‌ها و روش کار

منطقه مطالعه، با وسعت ٢١٩٣ کیلومتر مربع در شمال شرقی استان خراسان جنوبی در موقعیت"٥٠'١٩ ° ٣٣ تا "١٠'٢٢ ° ٣٣ عرض شمالی و"٣٤' ٢٣ °٦٠ تا "٥١'٤٠ °٦٠ طول شرقی واقع است (شکل ١). اقلیم منطقه بر اساس طبقه‌بندی آمبرژه، خشک سرد و میانگین بارندگی سالیانه ١۶٠ میلیمتر است. در محدوده مطالعه سه کاربری شامل مرتع، جنگل و بیشه‌زار قابل شناسایی است که در هر یک از آنها متناسب با شرایط خاک و ارتفاع، گونه‌های گیاهی علفی، بوته‌ای، درختی و درختچه‌ای استقرار یافته‌اند. برای مثال می‌توان گونه‌های گیاهی Artemisia SP., Ephedra strobilacea, Astragalus SP., Stipagrostis plumosa و برخی گونه‌های شورپسند مانند Seidlitzia rosmarinus و Salsola tomentosa را در مراتع مشاهده نمود. گونه‌های جنگلی شامل Haloxylon ammodendron., Tamarix SP., Amygdalus scoparia, Pistacia atlantica, و Ammodendron persicum (گونه‌ای منحصر به فرد با پراکنش محدود در کشور) هستند که جنگل‌های تنک محدوده مطالعه را ایجاد کرده‌اند.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مطالعاتی در استان خراسان جنوبی

با استفاده از داده‌های بارش روزانه ۱۵ ایستگاه هواشناسی در اطراف محدوده مطالعه (شکل ۲)، بارندگی سالانه در طول دوره سی ساله (۱۹۸۶- ۲۰۱۵ میلادی) استخراج گردید سپس این داده‌ها برای محدووده مطالعه به روش IDW[۱] در نرم‌افزار ArcGIS میانیابی و با استفاده از شاخص استاندارد بارش (SPI [۲]) سال‌های خشک، تر و نرمال مشخص شدند. برای تکمیل سال‌های فاقد داده بارندگی هرایستگاه از روابط همبستگی با ایستگاه‌های مجاور و نرم‌افزار SPSS استفاده شد.



شکل ۲: موقعیت ایستگاه های هواشناسی محدوده مطالعه

ازآرشیو تصاویرماهواره‌ای لندست ۵ و ۷ محدوده مطالعاتی در دوره سی ساله بررسی، برای هر سال یک تصویر موجود در فاصله ۱۵ خرداد تا ۱۵ تیر ماه که پوشش دائمی در بهترین وضعیت رشد قرار دارد تهیه گردید (جدول ۱).

[۱] Inverse Distance Weighted
[۲] Standardized Precipitation Index

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]

جدول ۱: مشخصات تصاویر ماهواره ای مورد استفاده

سنجنده	ماهواره	دوره بررسی
TM	لندست ۵	۱۹۸۶- ۱۹۹۹
ETM+	لندست ۷	۲۰۰۰- ۲۰۱۵
۲۰۰۶- ۱۹۹۹- ۱۹۹۷- ۱۹۹۵- ۱۹۹۴- ۱۹۸۸		سال‌های فاقد تصویر

با استفاده از نرم‌افزارهای ENVI و ArcGIS بعد از انجام تصحیحات لازم بر تصاویر ماهواره‌ای، نقشه شاخص‌های گیاهی NDVI[۱] و TNDVI[۲] هر تصویر تهیه شد. شاخصNDVI، تفاضل نرمال پوشش گیاهی است که در تحلیل‌ها، اندازه‌گیری‌های سنجش از دور و ارزیابی پوشش گیاهی یک منطقه کاربرد دارد و ارزش عددی آن در هر پیکسل از تصاویر ماهواره‌ای بین ۱- تا ۱+ متغیر است (معادله ۱).

این شاخص با استفاده از معادله ۱ محاسبه می گردد که در آن R باند قرمز طیف الکترو مغناطیس و NIR باند مادون قرمز نزدیک طیف الکترو مغناطیس می باشد.

$$NDVI = NIR - R / NIR + R \qquad \text{(معادله ۱)}$$

حذف مقادیر منفی و افزایش دامنه عددی این شاخص با هدف تسهیل بررسی و تجزیه و تحلیل کمّی در روند تغییرات بلندمدت پوشش گیاهی، توسط تبدیل شاخص NDVI به شاخص TNDVI با دامنه‌ای بین صفر تا ۱۰۰ انجام شد. در تمامی بررسی‌های بعدی از شاخص TNDVI پوشش گیاهی استفاده شد. شاخص پوشش گیاهی TNDVI با استفاده از معادله ۲ (Washington-Allen et al, ۲۰۰۸) محاسبه می‌گردد.

$$TNDVI = ۵۰ (NDVI +۱) \qquad \text{(معادله۲)}$$

برای بررسی و کمّی‌سازی تغییرات مرتبط با بازگشت‌پذیری اکولوژیکی به شناخت عواملی چون بزرگی دامنه تغییرات، انعطاف‌پذیری، استهلاک و ترمیم نیاز است. این مفاهیم و روش محاسبه آنها توسط واشنگتن آلن و همکاران (۲۰۰۸ ,Washington-Allen et al)، ارائه شده که به آنها اشاره می‌شود. پس از تهیه نقشه شاخص پوشش گیاهی TNDVI برای هر سال، با استفاده از نرم افزار ArcGIS میانگین مقادیر این شاخص در هر تصویر استخراج شد و تمامی محاسبات با استفاده از این پارامتر به صورت دستی انجام گرفت. واحد اندازه‌گیری میانگین شاخص پوشش گیاهی TNDVI و همه عوامل بازگشت‌پذیری پوشش گیاهی درصد است.

۱- عامل بزرگی دامنه تغییرات[۳] = |ΔTNDVIA|:

مقدار تغییر پس از مرحله آشفتگی یا هم زمان با آن است که سیستم ممکن است به مرحله مرجع باز گردد یا باز نگردد و بر اساس معادله ۳، محاسبه می‌شود که در آن D[۴] سال وقوع آشفتگی و R [۵] سال مرجع است.

۱ Normalized Difference Vegetation Index
۲ Transformed Normalized Difference Vegetation Index
۳ Amplitude
٤ Disorder
۵ Refrence

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]

|ΔTNDVI A| = TNDVI D – TNDVI R (معادله ۳)

۲- عامل انعطاف‌پذیری[۱] = (ΔTNDVI M):

میزان جبران (بهبود) پوشش گیاهی در یک یا میانگین چند سال پس از رفع آشفتگی است و طبق معادله ۴ محاسبه می‌گردد.

ΔTNDVI M = |ΔTNDVI A| - ({TNDVI (سال رفع آشفتگی), …TNDVI (date+۱)} - TNDVI R) (معادله ۴)

واشنگتن آلن و همکاران (Washington-Allen et al, ۲۰۰۸)، در مطالعه خود بیان کرده‌اند که در صورتی بازگشت به وضعیت مرجع اتفاق می‌افتد که عامل انعطاف‌پذیری برابر یا کوچکتر از صفر باشد.

(ΔTNDVI M ≤ ۰)

۳- عامل ترمیم[۲]: افزایش پوشش گیاهی ورای دامنه وضعیت مرجع است که در خلاف جهت مسیر تخریب ایجاد می‌شود.

۴- عامل خفیدگی یا استهلاک[۳] = بخشی از تغییر در پوشش گیاهی است که پس از رفع آشفتگی، به وضعیت مرجع باز نگشته است.

بررسی‌های ما نشان داد که معادله۴، نتیجه مورد انتظار را در محاسبه عامل انعطاف‌پذیری ارائه نمی‌دهد. بنا بر این ما معادلات جدیدی را پیشنهاد داده و توضیحات تکمیلی را اضافه کردیم. در روش تحقیق از معادلات اصلاح شده استفاده شد.

در وقوع آشفتگی خصوصا در پوشش گیاهی تاثیر تخریبی رخداد، بنا بر شرایط ممکن است در سال وقوع یا با تاخیر در سال یا سال‌های بعد مشاهده گردد. بنا بر این در معادلات به جای اصطلاح "سال وقوع" از اصطلاح " سال تاثیر آشفتگی" استفاده شد.

برای تشخیص اینکه بازگشت پوشش گیاهی به سمت مرجع پس از رفع تاثیر آشفتگی به چه صورتی است از معادله ۵ به جای معادله ۴ استفاده شد که در آن R′ [۴] نشان دهنده بازگشت می‌باشد. حاصل این معادله متناسب با اینکه صفر، مثبت یا منفی باشد شرایط متفاوتی از بازگشت پوشش گیاهی را نشان می‌دهد. یادآوری می‌گردد که این معادله، مقدار عامل ارتجاع‌پذیری پوشش گیاهی (TNDVIij M) را ارائه نمی‌دهد.

معادله ۵ (۰, +, -) = ({سال تاثیر آشفتگی) TNDVID - (سال رفع آشفتگی) R′TNDVI}) - |ΔTNDVIA|

۱- اگر نتیجه این معادله صفر باشد ، نشان دهنده بازگشت پوشش گیاهی دقیقا به وضعیت مرجع است.

۲- اگر نتیجه ، یک عدد منفی باشد نشان دهنده این است که نه تنها پوشش گیاهی به وضعیت مرجع بازگشته بلکه نسبت به مرجع افزایش داشته است. این مقدار افزایش، ترمیم نامیده می‌شود.

در وضعیت ۱ و ۲، مقدارعددی عامل انعطاف‌پذیری برابر با دامنه تغییرات است.

TNDVI M = |ΔTNDVI A|

۱ Malleability
۲ Hysteresis
۳ Damping
٤ Recovery

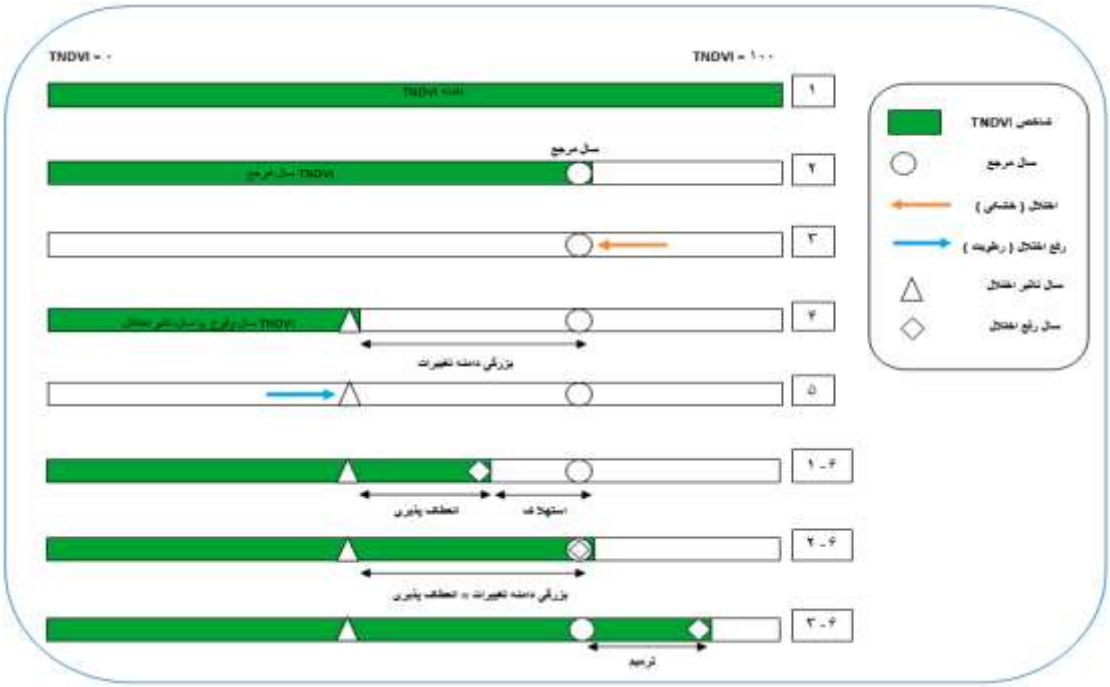
[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]

۳- اگرنتیجه معادله، عدد مثبت باشد نشان می‌دهد که پوشش گیاهی به سمت وضعیت مرجع حرکت کرده اما به آن نرسیده است و مقدارعددی حاصل ازمعادله ۵، مقدار عامل استهلاک پوشش گیاهی نسبت به مرجع را نشان می‌دهد. در این صورت برای دستیابی به مقدار انعطاف‌پذیری باید از معادله ۶ استفاده گردد.

$$TNDVI\ M = |\Delta TNDVI\ A| - (\text{استهلاک}) \quad \text{(معادله ۶)}$$

برای محاسبه عوامل انعطاف‌پذیری، استهلاک و ترمیم در هر رخداد آشفتگی، سه سال برای مقایسه لازم است که شامل سال مرجع، سال تاثیر رخداد و یک سال یا میانگین چند سال پس از رفع رخداد است (Washington-Allen et al, ۲۰۰۸). مفهوم عوامل مورد بررسی و نظرات اصلاحی در شکل ۳، به صورت چارت مفهومی ارائه گردیده است.

شکل ۳: چارت مفهومی کمّی‌سازی عواملی بازگشت‌پذیری و مفاهیم اصلاحی



شرح و تفسیر نتایج

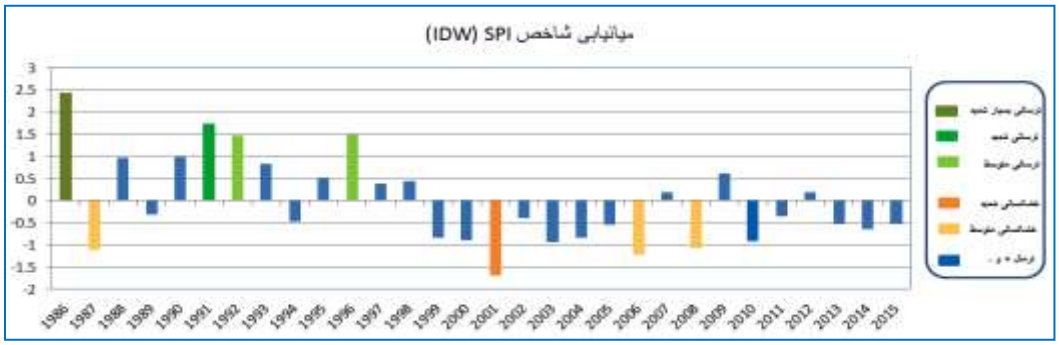
مقایسه تغییرات بارندگی سالانه در سری زمانی سی ساله (۱۹۸۶- ۲۰۱۵ میلادی) نشان دهنده دو دوره تقریبی مرطوب و خشک است. دوره مرطوب مربوط به چهارده سال اول سری زمانی (۱۹۹۹ - ۱۹۸۶) و دوره خشک مربوط به شانزده سال انتهایی (۲۰۱۵ - ۲۰۰۰) است (شکل ۴).

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]



شکل ۴: تفکیک دو دوره مرطوب و خشک در بررسی سی ساله

شکل ۵، طبقات بارش سالانه در سری زمانی سی ساله محدوده مطالعه را بر اساس شاخص استاندارد بارش (SPI) نشان می‌دهد. ترسالی و خشکسالی با شدت‌های مختلف همچنین تغییرات بارندگی سالانه درسال‌های نرمال رخدادهایی هستند که در این نمودار ارائه گردیده‌اند.



شکل ۵: مقایسه شاخص استاندارد بارش (SPI) و شدت رخدادها در محدوده مطالعه بر اساس میانیابی (IDW)

این جدول نشان دهنده چهار رخداد ترسالی با شدت‌های متفاوت شامل یک مورد ترسالی بسیار شدید (۱۹۸۶)، یک مورد ترسالی شدید (۱۹۹۱) و دو مورد ترسالی متوسط (۱۹۹۶و ۱۹۹۲) می‌باشد. همچنین چهار رخداد خشکسالی شامل یک مورد خشکسالی شدید (۲۰۰۱) و سه مورد خشکسالی متوسط (۲۰۰۸و ۲۰۰۶،۱۹۸۷) نیز به وقوع پیوسته است. تمامی رخدادهای ترسالی مربوط به نیمه اول و غالب خشکسالی‌ها مربوط به نیمه دوم دوره بررسی می‌باشد. طبق تقسیمات شاخص SPI، ترسالی در سال‌هایی رخ داده است که بارندگی بیشتر از ۲۳۲ میلیمتر بوده است و خشکسالی‌ها با کاهش بارندگی سالانه از ۹۵ میلیمتر رخ داده اند. حد فاصل این دو مقدار نشان دهنده وضعیت نرمال است. عدد صفر در شاخص SPI معادل میانگین بارندگی با مقدار ۱۶۰/۳ است. بارندگی بین میانگین و ترسالی، نرمال مرطوب (نرمال +) و کمتر از این مقدار تا بروز خشکسالی، نرمال خشک (نرمال -) می‌باشد. تغییرات بارندگی خصوصا در دوره خشک و وقوع خشکسالی‌ها در سال وقوع یا با تاخیر، اثرات نامطلوب خود را بر میانگین پوشش گیاهی محدوده مطالعه گذاشته است. جدول ۲، مقدار میانگین پوشش گیاهی محدوده مطالعه در ۲۴ سال از سی سال دوره بررسی را که دارای تصویر ماهواره‌ای مناسبی بوده‌اند نشان می‌دهد.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]

جدول ۲: مقادیر شاخص TNDVI، بارندگی سالانه و طبقات شاخص SPI محدوده مطالعه

ردیف	سال	میانگین شاخص TNDVI	بارندگی سالانه	طبقه شاخص SPI
۱	۱۹۸۶	۴۹/۳۷	۲۹۱/۲۲	ترسالی بسیار شدید
۲	۱۹۸۷	۴۸/۹۶	۹۵/۲۶	خشکسالی متوسط
۳	۱۹۸۸	فاقد تصویر	۱۹۶/۲۴	نرمال+
۴	۱۹۸۹	۴۸/۹۶	۱۴۱/۲	نرمال-
۵	۱۹۹۰	۴۸/۸۵	۲۰۲/۹۴	نرمال+
۶	۱۹۹۱	۴۸/۷۳	۲۵۳/۶۷	ترسالی شدید
۷	۱۹۹۲	۴۸/۹۲	۲۳۷/۵۱	ترسالی متوسط
۸	۱۹۹۳	۴۹/۰۳	۲۰۵/۳۶	نرمال+
۹	۱۹۹۴	فاقد تصویر	۱۲۹/۹۷	نرمال-
۱۰	۱۹۹۵	فاقد تصویر	۱۸۸/۰۲	نرمال+
۱۱	۱۹۹۶	۴۹/۶۲	۲۳۲/۴۸	ترسالی متوسط
۱۲	۱۹۹۷	فاقد تصویر	۱۸۵/۲	نرمال+
۱۳	۱۹۹۸	۴۹/۲	۱۷۷/۸۸	نرمال+
۱۴	۱۹۹۹	فاقد تصویر	۱۷۱/۹	نرمال-
۱۵	۲۰۰۰	۴۷/۷۱	۱۱۲/۹۷	نرمال-
۱۶	۲۰۰۱	۴۳/۷۷	۶۲/۳۸	خشکسالی شدید
۱۷	۲۰۰۲	۴۳/۹۴	۱۵۹/۹۱	نرمال-
۱۸	۲۰۰۳	۴۴/۴۷	۱۱۵/۷۹	نرمال-
۱۹	۲۰۰۴	۴۳/۴۹	۱۲۳/۰۷	نرمال-
۲۰	۲۰۰۵	۴۴/۲۶	۱۵۸/۲۲	نرمال-
۲۱	۲۰۰۶	فاقد تصویر	۱۱۵/۰۸	خشکسالی متوسط
۲۲	۲۰۰۷	۴۴/۴۱	۱۶۷/۴۱	نرمال+
۲۳	۲۰۰۸	۴۳/۸۱	۹۷/۲۳	خشکسالی متوسط
۲۴	۲۰۰۹	۴۴/۵۲	۱۸۹/۵۳	نرمال+
۲۵	۲۰۱۰	۴۳/۵۸	۱۰۸/۰۷	نرمال-
۲۶	۲۰۱۱	۴۳/۸۴	۱۳۲/۹۳	نرمال-
۲۷	۲۰۱۲	۴۳/۹۱	۱۶۱/۳۷	نرمال+
۲۸	۲۰۱۳	۴۳/۸۴	۱۲۳/۷۲	نرمال-
۲۹	۲۰۱۴	۴۳/۷۶	۱۲۶/۱	نرمال-
۳۰	۲۰۱۵	۴۴/۲۸	۱۴۵/۵۶	نرمال-

در نمونه اول، قابلیت بازگشت‌پذیری پوشش گیاهی در فاصله کل دوره سی ساله بررسی شد. سال ،۱۹۸۶ به عنوان اولین سال دوره مطالعه و مرجع تغییرات پوشش گیاهی، سال ۲۰۱۰ به عنوان سال کاهش پوشش گیاهی به کمترین مقدار در طی سی سال و سال ۲۰۱۵ به عنوان سال پایانی دوره بررسی است. میزان پوشش گیاهی در سال ۱۹۸۶ معادل۴۹/۳۷ درصد بود که با کاهش بارندگی به کمترین مقدار معادل۴۳/۵۸ درصد در سال ۲۰۱۰ کاهش یافت. با افزایش رطوبت در سال ۲۰۱۵، به میزان ۰/۷ درصد به سمت پوشش مرجع بازگشته است اما به آن نرسیده است. بنابر این میزان استهلاک پوشش گیاهی در این بازگشت، ۵/۰۹ درصد بوده است. این وجود پوشش گیاهی بازگشت‌پذیری را در این نمونه نیز تجربه کرده است.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]

جدول ۳: بررسی کمّی عوامل بازگشت‌پذیری در سال های منتخب

عوامل بازگشت‌پذیری شاخص TNDVI در دوره ۲۰۱۵ – ۱۹۸۶ (کل دوره بررسی)						
	سال	میانگین TNDVI (٪)				
		مقدار	بزرگی دامنه تغییرات	ارتجاع‌پذیری	استهلاک	ترمیم
نمونه ۱	۱۹۸۶	۴۹/۳۷	-	-	-	-
	۲۰۱۰	۴۳/۵۸	۵/۷۹	-	-	-
	۲۰۱۵	۴۴/۲۸	-	۰/۷	۵/۰۹	۰
	راهنما	سال انتهای دوره: ۲۰۱۵		سال منتخب با کاهش درصد پوشش: ۲۰۱۰		سال مرجع: ۱۹۸۶
عوامل بازگشت‌پذیری شاخص TNDVI در دوره ۱۹۹۶ – ۱۹۸۶ (دوره مرطوب)						
	سال	میانگین TNDVI (٪)				
		مقدار	بزرگی دامنه تغییرات	ارتجاع‌پذیری	استهلاک	ترمیم
نمونه ۲	۱۹۸۶	۴۹/۳۷	-	-	-	-
	۱۹۹۱	۴۸/۷۳	۰/۶۴	-	-	-
	۱۹۹۶	۴۹/۶۲	-	۰/۶۴	۰	۰/۲۵
	راهنما	سال بازگشت به سمت مرجع: ۱۹۹۶		سال منتخب با کاهش درصد پوشش: ۱۹۹۱		سال مرجع: ۱۹۸۶
عوامل بازگشت‌پذیری شاخص TNDVI در دوره ۲۰۰۳ – ۲۰۰۰ (دوره خشک)						
	سال	میانگین TNDVI (٪)				
		مقدار	بزرگی دامنه تغییرات	ارتجاع‌پذیری	استهلاک	ترمیم
نمونه ۳	۲۰۰۰	۴۷/۷۱	-	-	-	-
	۲۰۰۱	۴۳/۷۷	۳/۹۴	-	-	-
	۲۰۰۳	۴۴/۴۷	-	۰/۷	۳/۲۴	۰
	راهنما	سال بازگشت به سمت مرجع: ۲۰۰۳		سال منتخب با کاهش درصد پوشش: ۲۰۰۱		سال مرجع: ۲۰۰۰
عوامل بازگشت‌پذیری شاخص TNDVI در دوره ۲۰۰۳ – ۲۰۰۹ (دوره خشک)						
	سال	میانگین TNDVI (٪)				
		مقدار	بزرگی دامنه تغییرات	ارتجاع‌پذیری	استهلاک	ترمیم
نمونه ۴	۲۰۰۳	۴۴/۴۷	-	-	-	-
	۲۰۰۸	۴۳/۸۱	۰/۳۳	-	-	-
	۲۰۰۹	۴۴/۵۲	-	۰/۳۳	۰	۰/۰۵
	راهنما	سال بازگشت به سمت مرجع: ۲۰۰۹		سال منتخب با کاهش درصد پوشش: ۲۰۰۸		سال مرجع: ۲۰۰۳

نمونه دوم مربوط به دوره مرطوب بین سال‌های ۱۹۹۶و ۱۹۸۶ است که سال ۱۹۸۶ مرجع مقایسه تغییرات پوشش گیاهی، سال ۱۹۹۱ سالی است که کاهش پوشش گیاهی بر اثر کاهش بارندگی و خشکسالی روی داده است. فاصله بین مقدار پوشش گیاهی مرجع و سال تاثیر آشفتگی (۱۹۹۱)، بزرگی دامنه تغییرات پوشش گیاهی بین این دو سال است و مقدار آن

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]

در این دوره ۰/۶۴درصد است. در سال ۱۹۹۶ شرایط به سمت افزایش بارندگی تغییر کرده و حاصل آن افزایش پوشش گیاهی بوده است. در این سال پوشش گیاهی علاوه بر اینکه به وضعیت مرجع بازگشته (۰/۶۴ درصد)، پوشش گیاهی به مقدار ۰/۲۵ درصد نسبت به مرجع افزایش یافته است (عامل ترمیم). در این دوره چون پوشش گیاهی کاملا به مرجع بازگشته است میزان شاخص خفیدگی یا استهلاک که تفاوت بین دامنه تغییرات و شاخص انعطاف‌پذیری است صفر است. نمونه‌های سوم و چهارم، مر بوط به بازگشت پوشش به سمت مرجع در دوره خشک است و با وجود تسلط شرایط خشک باز هم قابلیت بازگشت‌پذیری پوشش گیاهی به سمت وضعیت مرجع مشاهده می‌گردد. در نمونه سه، بازگشت‌پذیری دردوره خشک بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۳ که سال ۲۰۰۱ مواجه با یک خشکسالی شدید بوده است مجددا اثبات شده است.
در نمونه چهار، پوشش گیاهی علاوه بر بازگشت به وضعیت مرجع به میزان ۰/۰۵ درصد ترمیم داشته است.
یادآوری می‌گردد نمونه‌های ارائه شده فقط ۴ نمونه از تغییرات پوشش گیاهی در دوره بررسی بودند که برای محاسبه عوامل چهارگانه و اثبات وجود قابلیت بازگشت‌پذیری پوشش گیاهی در محدوده مطالعه ارائه شدند. در دوره بررسی می‌توان نمونه‌های مشابه بیشتری را بررسی و قابلیت بازگشت‌پذیری پوشش گیاهی را محاسبه کرد.

نتیجه‌گیری

آگاهی از وضعیت سلامت پوشش گیاهی و عکس‌العمل آن نسبت به تغییرات بارندگی بلند مدت و آشفتگی‌های محیطی چون رخدادهای خشکسالی، موفقیت برنامه‌ریزی‌های مدیریتی منابع طبیعی تجدید شونده را تضمین می‌کند. مطالعه کمّی قابلیت بازگشت‌پذیری پوشش گیاهی، اولین بار به عنوان شاهد سلامت اکوسیستم در سال ۲۰۰۸ میلادی توسط واشنگتن آلن و همکاران (Washington-Allen et al, ۲۰۰۸) در جنوب آفریقا با میانگین بارندگی ۴۰۲ میلیمتر (Johnson, ۱۹۷٦) انجام شد و به خوبی توانست با محاسبه سه عامل دامنه تغییرات، انعطاف‌پذیری و استهلاک، قابلیت بازگشت‌پذیری پوشش گیاهی طبیعی محدوده مطالعه را نشان دهد. مطالعه ما دومین مطالعه در کمّی‌سازی بازگشت‌پذیری پوشش گیاهی و اولین مطالعه با شرایط اقلیم خشک در شرایط آسیا (میانگین بارندگی سالانه ۱۶۰ میلیمتر) است که در ایران با محاسبه چهار عامل مرتبط با بازگشت‌پذیری انجام گرفته و اولین موردی است که عامل ترمیم (Hysteresis) را در محاسبات ارائه داده است. با توجه به تفاوت زیاد میانگین بارندگی سالانه در دو منطقه مورد مطالعه که هر دو به عنوان اقلیم خشک معرفی شده‌اند، مطالعه حاضر می‌تواند به عنوان نمونه‌ای منحصر به فرد در مبحث سلامت اکوسیستم در مناطق با شرایط مشابه به شمار آید. با وجود شرایط سخت و تداوم آن، پوشش گیاهی بومی محدوده مطالعه به خوبی توانسته است نه تنها با رفع نسبی آشفتگی به وضعیت مرجع بازگردد، بلکه مرحله ترمیم را نیز تجربه کرده است. با حضور چنین مکانیسم‌های دفاعی و سازگار شگفت‌انگیز در پوشش گیاهی مناطق خشک است که حفظ و احیاء این مناطق را با برنامه‌ریزی‌های مدیریتی مناسب امکان‌پذیر می‌سازد.

منابع

Abrahams, A.D.; A.J. Parsons, and J. Wainwright. ۱۹۹۵. Effects of vegetation change on interrill runoff and erosion, Walnut Gulch, southern Arizona. Geomorphology, ۱۳: ۳۷-٤٨.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]

Carpenter, S.R.; B.H. Walker, J.M. Anderies, and N. Abel. ۲۰۰۱. From metaphor to measurement: Resilience of what to what?. Ecosystems, ٤: ۷٦٥–۷۸۱.
Cui, X.; C. Gibbes, J. Southworth, and P. Walyen. ۲۰۱۳. Using remote sensing to quantify vegetation change and ecological resilience in a semi-arid system, Land, ۲: ۱۰۸–۱۳۰.
Elmqvist, T.; C. Folke, M. Nystrom, G. Peterson, J. Bengtsson, B. Walker, and J. Norberg. ۲۰۰۳. Response diversity, ecosystem change, and resilience. Frontiers in Ecology and the Environment, ۹: ٤۸۸–٤۹٤.
Farrar, T.J.; S.E. Nicholson, and A.R. Lare. ۱۹۹٤. The influence of soil type on the relationships between NDVI, rainfall, and soil moisture in semiarid Botswana. II. NDVI response to soil moisture. Remote Sens. Environ, ٥۰: ۱۲۱–۱۳۳.
Friend, R, and M. Moench. ۲۰۱۳. What is the purpose of urban climate resilience? Implications for addressing poverty and vulnerability. Urban Climate, ٦: ۹۸–۱۱۳.
Goheen, J.; T.Young, F. Keesing, and T. Palmer .۲۰۰۷. Consequences of herbivory by native ungulates for the reproduction of a savanna tree. J. Ecol, ۹٥:۱۲۹–۱۳۸.
Griffiths, B. S, and L. Philippot. ۲۰۱۳. Insights into the resistance and resilience of the soil microbial community. FEMS Microbiol. Rev, ۳۷: ۱۱۲–۲۹.
Gunderson, L.H, and C.S. Holling. ۲۰۰۲. Panarchy: Understanding Transformations in Human and Natural Systems. Island Press, Washington D.C. p ٥۰۷.
Holling C.S. ۱۹۷۳. Resilience and stability of ecological systems, Annual Reviews of Ecology and Systematic, ٤: ۱–۲۳.
Holling, C. S.۱۹۸٦. 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. P ۲۹۲–۳۲۰.
Johnson, A. M. ۱۹۷٦. The climate of Peru, Bolivia, and Ecuador, in W. Schwerdtfeger, editor. World Survey of Climate. Climates of Central and South America. New York, NY: Elsevier Scientific, ۱۲: ۱٤۷–۲۱۸.
Kasperson, R. E.; J. X. Kasperson. ۲۰۰۱. Climate change, vulnerability and social justice. Stockholm Environment Institute, Stockholm. P ۲٦.
Martiny, N.; P.Camberlin, Y. Richard, and N. Philippon. ۲۰۰٦. Compared regimes of NDVI and rainfall in semi-arid regions of Africa. Int. J. Remote Sens, ۲۷: ٥۲۰۱–٥۲۲۳.
Puigdefábregas, J and G. Sánchez. ۱۹۹٦. Geomorphological implications of vegetation patchiness on semi-arid slopes, Advances in hillslope processes, ۲: ۱۰۲۷–۱۰٦۰.
Pricope, N.G.; A. E. Gaughan, J.D. All, M. W. Binford and L. P. Rutina. ۲۰۱٥. Spatio-temporal analysis of vegetation dynamics in relation to shifting inundation and fire regimes: Disentangling environmental variability from Land management decisions in a Southern African transboundary watershed. Land, ٤: ٦۲۷-٦٥٥.
Richard, Y, and I. Poccard. ۱۹۹۸. A statistical study of NDVI sensitivity to seasonal and interannual rainfall variations in Southern Africa. Int. J. Remote Sens, ۱۹: ۲۹۰۷–۲۹۲۰.
Ringrose, S.; W. Matheson, F. Tempest, and T. Boyle. ۱۹۹۰. The development and causes of range degradation features in southeast Botswana using multi-temporal Landsat MSS imagery. Photogramm. Eng. Remote Sensing, ٥٦: ۱۲٥۲–۱۲٦۲.
Rockström, J. ۲۰۰۳. Resilience building and water demand management for drought mitigation. Phys, Chem Earth, ۲۸: ۸٦۹–۸۷۷.
Scanlon, T.M.; K. K. Caylor, S. Manfreda, S. A, Levin and I. Rodriguez-Iturbe. ۲۰۰٥. Dynamic response of grass cover to rainfall variability: implications for the function and persistence of savanna ecosystems. Adv. Water Resour, ۲۸: ۲۹۱–۳۰۲.
Stige, L.; J. Stave, K. Chan, L. Ciannelli, N. Pettorelli, M. Glantz, and H. Herren. ۲۰۰٦. The effect of climate variation on agro-pastoral production in Africa. Proc. Natl. Acad. Sci. USA, ۱۰۳: ۳۰٤۹–۳۰٥۳.
Washington-Allen, R. A.; R. Ramsey, N. E. West and B. E. Norton. ۲۰۰۸. Quantification of the ecological resilience of drylands using digital remote sensing. Ecol. Soc, ۱۳: ۳۳– ۳۷.
Westman, W. E, and J. F. O'Leary. ۱۹۸٦. Measures of resilience: the response of coastal sage scrub to fire. Vegetation, ٦٥(۳):۱۷۹-۱۸۹.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]