

## مطالعه کیفی قابلیت بازگشت‌پذیری پوشش گیاهی در پاسخ به تغییرات بلندمدت بارش (مطالعه موردی: بخشی از آبخیز نمکزار خواف، استان خراسان جنوبی)

مرضیه تابع - دانشجوی دکتری بیابان‌زدایی، دانشگاه کاشان، اصفهان، ایران  
ابوالفضل رنجبر فردویی\* - دانشیار اکولوژی گیاهی، دانشگاه کاشان، اصفهان، ایران  
سید حجت موسوی - استادیار ژئومورفولوژی، دانشگاه کاشان، اصفهان، ایران  
محمد خسروشاهی - دانشیار جغرافیای طبیعی (هیدرو اقلیم)، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، تهران، ایران

وصول: ۱۳۹۵/۱۰/۱۰ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۲/۱۴

### چکیده

پوشش گیاهی از مهم‌ترین اجزاء حیاتی اکوسیستم به شمار می‌آید که تحت تأثیر عوامل محیطی، همواره در حال سازگاری یا تغییر به سمت تعادل نهایی است. یکی از نشانه‌های سلامت اکوسیستم، قابلیت بازگشت‌پذیری پوشش گیاهی پس از رفع آشفتگی‌های محیطی است. هرچند پوشش گیاهی مناطق خشک و نیمه‌خشک، روش‌های متفاوتی برای مقابله با نیروهای مخرب دارد؛ اما تداوم این عوامل می‌تواند این قابلیت را مختل سازد. نتیجه چنین وضعیتی بیماری و در نهایت تخریب اکوسیستم خواهد بود؛ بنابراین، آشکارسازی، پیش‌بینی تغییرات بلندمدت اکوسیستم و مدیریت چنین تغییراتی از اهمیت زیادی برخوردار است. این پژوهش، در حوضه آبریز نمکزار خواف در شمال شرق استان خراسان جنوبی با هدف مطالعه و تعیین کیفی قابلیت بازگشت‌پذیری اکوسیستم و عکس‌العمل پوشش گیاهی طبیعی به تغییرات شدید بارندگی بلندمدت و خشکسالی به عنوان آشفتگی محیطی انجام پذیرفت. به همین منظور، ابتدا استانداردسازی بارش سالانه در طول بازه زمانی سی ساله و تعیین مدت و شدت دوره‌های خشک، تر و نرمال با روش شاخص استاندارد بارش (اس.پی.آی) انجام گرفت و سپس بازگشت‌پذیری اکولوژیکی پوشش گیاهی بر مبنای ترسیم پلات میانگین - واریانس شاخص ان.دی.وی.آی تغییر یافته (تی.ان.دی.وی.آی) به صورت کیفی مورد مطالعه قرار گرفت. این تغییرات، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست در فصل رشد نهایی پوشش محدوده مطالعه بررسی شد. نتایج، نشان‌دهنده قابلیت بازگشت‌پذیری و ترمیم پوشش گیاهی مستقر در محدوده مورد مطالعه پس از رفع خشکسالی‌های شدید تا متوسط است. بر اساس نتایج این مطالعه، سلامت اکوسیستم محدوده مورد مطالعه بر اساس قابلیت بازگشت‌پذیری پوشش گیاهی، با وجود قرارگرفتن در اقلیم خشک و مواجهه با خشکسالی‌های شدید با تداوم دو سال و کاهش بارندگی نسبت به میانگین به مدت ۶ سال متوالی مورد تأیید قرار گرفت.

واژگان کلیدی: سلامت اکوسیستم، بازگشت‌پذیری، پلات میانگین - واریانس، رخدادهای خشکسالی، خراسان جنوبی.

## مقدمه

سلامت اکوسیستم یکی از مفاهیم پیچیده، چندجانبه و در عین حال رو به گسترش است که با وجود تلاش‌های مؤثر صورت گرفته تا رسیدن به مقصد نهایی راهی بسیار طولانی در پیش دارد. درک مفهوم سلامت اکوسیستم، شاخص‌های دخیل در آن و تفسیر روابط متقابل مؤثر در پایداری محیط برای مدیریت مناسب منابع طبیعی تجدیدشونده بسیار مهم است. در سال‌های اخیر در ادامه مطالعات گذشته، تلاش‌های ارزشمندی در زمینه شناسایی عوامل مؤثر بر سلامت اکوسیستم و روش‌های مطالعه آن صورت گرفته است که می‌توان به بعضی از آنها اشاره کرد (ویگنت<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۰؛ بانچ<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۰۸؛ ۳۸۳)؛ از جمله اصطلاحاتی که علم اکولوژی در این رابطه به آنها پرداخته است مقاومت، ثبات و انعطاف‌پذیری در سیستم‌های حیاتی است (باتون<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۰۶؛ برند و جکس<sup>۴</sup>، ۲۰۰۷). قابلیت بازگشت‌پذیری اکولوژیکی نیز در راستای دستیابی به سلامت اکوسیستم با انعطاف‌پذیری در ارتباط است و به صورت عکس‌العمل اکوسیستم در بروز یک اختلال و سپس رفع آن مطرح می‌شود. 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 (روکستروم<sup>۵</sup>، ۲۰۰۳). وقتی سیستمی این قابلیت را از دست دهد، نسبت به تغییری که ایجاد شده و قبلاً می‌توانست آن را کنترل کند، آسیب‌پذیر می‌شود (کاسپرسون<sup>۶</sup> و کاسپرسون، ۲۰۰۱: ۲۶). آشفتگی‌هایی مانند سیل، زلزله و خشکسالی روند تکامل و توالی طبیعت را تغییر می‌دهند. در مقابل این اختلالات، طبیعت دارای سیستم‌های پیچیده و سازگار برای مقابله با چنین رخدادهایی است (هولینگ<sup>۷</sup>، ۱۹۷۳).

گسترش استفاده از فناوری سنجش از دور و داده‌های در دسترس طی چهار دهه گذشته، امکان دستیابی به اطلاعات مورد اعتماد از خصوصیات اکولوژیکی پهنه‌های وسیع را نسبت به روش‌های میدانی جمع‌آوری اطلاعات فراهم آورده است (دیویس و روبرتز<sup>۸</sup>، ۲۰۰۰: ۲۳). پوشش گیاهی به عنوان یکی از اجزاء اصلی اکوسیستم‌های طبیعی است که تخریب در آن می‌تواند به صورت از دست دادن تنوع در پوشش گیاهی و تغییر تیپ پوشش گیاهی نسبت به وضعیت اولیه چشم‌انداز مشاهده شود (رینگروس<sup>۹</sup> و همکاران، ۱۹۹۰؛ جوهرین<sup>۱۰</sup> و همکاران، ۲۰۰۷). همچنین میزان پوشش گیاهی و تولید آن کاهش یابد. سلامت اکوسیستم پوشش گیاهی از طریق شاخص‌هایی مانند ان.دی.وی.آی<sup>۱۱</sup> از طریق سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی قابل مطالعه است. این شاخص برای اندازه‌گیری زی‌توده، درصد پوشش گیاهی، تراکم ساقه، سلامت توده سر پا (کر و اوستروفسکی<sup>۱۲</sup>، ۲۰۰۳؛ سیتو<sup>۱۳</sup> و همکاران، ۲۰۰۴) همچنین بهره‌وری، ماده خشک و مطالعه میزان فرسایش خاک با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای کاربرد دارد (شیندلر<sup>۱۴</sup>، ۱۹۸۷). به کارگیری

- 1- Wiegand
- 2- Bunch
- 3- Botton
- 4- Brand & Jax
- 5- Rockstrom
- 6- Kaspersson
- 7- Holling
- 8- Davis & Roberts
- 9- Ringrose
- 10- Goheen
- 11- Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)
- 12- Kerr & Ostrovsky
- 13- Seto
- 14- Schindler

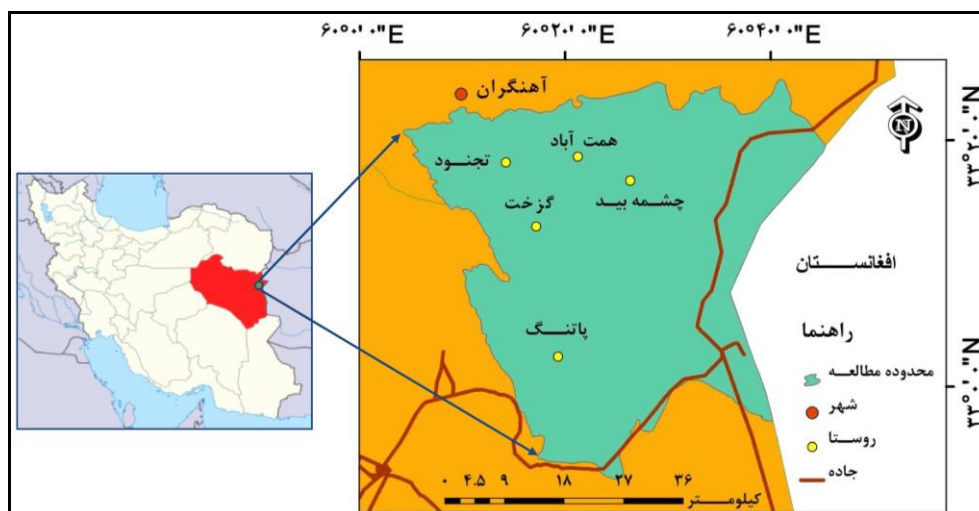
سری‌های زمانی فصلی و سالانه، شاخص پوشش گیاهی ان.دی.وی.آی و آنالیزهای چندجانبه می‌تواند وضعیت کاهشی، افزایشی یا ثبات را در پوشش گیاهی در رابطه با تغییرات محیطی و انسانی تعیین کند. آنالیز میانگین - واریانس پوشش گیاهی در سری زمانی طولانی‌مدت، یکی از روش‌های مناسب گرافیکی برای مطالعه قابلیت بازگشت‌پذیری پوشش گیاهی پس از تخریب آن با اختلالات محیطی از جمله خشکسالی است (استمن و مکندری<sup>۱</sup>، ۱۹۹۱؛ واشنگتن آلن<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۰۸؛ رامسی<sup>۳</sup>، ۱۹۹۸). از این طریق می‌توان تأثیر تخریب را در ویژگی‌های پوشش گیاهی، از جمله میزان پوشش گیاهی، عدم تجانس و بهره‌وری به صورت کیفی در دوره‌های مشخص اندازه‌گیری کرد. در این روش، به طور هم‌زمان ثبات، تغییرات کاهشی و افزایشی میزان و واریانس پوشش گیاهی طی یک دوره مطالعه می‌گردد.

میزان افت ناگهانی در سرعت بازگشت‌پذیری در محدوده‌هایی از اکوسیستم، علامتی هشداردهنده از نزدیکی سیستم به نقطه سرازیری یا تغییر وضعیت است. این افت سرعت، اغلب با افزایش واریانس در سیستم همراه است (داکس<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۱۵). این نوع تغییر وضعیت می‌تواند اکوسیستم را به سمت تخریب هدایت کند. واشنگتن آلن و همکاران (۲۰۰۸) و سو<sup>۵</sup> و همکاران (۲۰۱۳)، بازگشت‌پذیری اکولوژیکی را به صورت کیفی با استفاده از ترسیم پلات میانگین - واریانس پوشش گیاهی به ترتیب در کشور بولیوی در قاره آمریکا و جنوب آفریقا مطالعه کرده و کارایی این روش را تأیید کردند. همچنین پریکوپ<sup>۶</sup> و همکاران (۲۰۱۵) تغییرات پوشش گیاهی چشم‌انداز ساوانا را بر اثر عوامل سیل و آتش‌سوزی با استفاده از تجزیه آماری میانگین - واریانس در جنوب آفریقا مطالعه کردند. این مطالعه در یک دوره بیست و پنج ساله از ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۰ توسط تصاویر ماهواره‌ای مودیس<sup>۷</sup> و آوی.اچ.آر.آر<sup>۸</sup> و با شاخص ان.دی.وی.آی انجام گرفت. نتایج نشان داد که تجزیه و تحلیل آماری پارامترهای گیاهی مانند میانگین و واریانس با اندازه‌گیری‌های میدانی روی ناهمگونی پوشش گیاهی، یکنواختی و بهره‌وری کلی پوشش ارتباط خوبی برقرار می‌کند. این پژوهش با هدف مطالعه کیفی قابلیت بازگشت‌پذیری پوشش گیاهی محدوده مورد مطالعه، سعی در آزمون تعیین وضعیت سلامت اکوسیستم با ترسیم پلات میانگین - واریانس شاخص تی.ان.دی.وی.آی به عنوان نقشه راه در برنامه‌ریزی مدیریتی مناسب پوشش گیاهی منطقه مورد مطالعه دارد.

### معرفی منطقه مورد بررسی

منطقه مورد مطالعه، با وسعت ۲۱۹۳ کیلومتر مربع در شمال شرقی استان خراسان جنوبی در موقعیت عرض جغرافیایی "۳۳° ۱۹' ۵۰" تا "۳۳° ۲۲' ۱۰" شمالی و طول جغرافیایی "۶۰° ۲۳' ۳۴" تا "۶۰° ۴۰' ۵۱" شرقی واقع است و تا مرکز استان (شهرستان بیرجند) ۱۷۵ کیلومتر فاصله دارد (شکل ۱). اقلیم منطقه بر اساس طبقه‌بندی آمبرژه، خشک و سرد و از نظر توپوگرافی از دو بخش وسیع دشتی در شرق و نوار کوهستانی در غرب تشکیل شده است. پوشش گیاهی عمدتاً طبیعی و شامل کاربری‌های مرتع، جنگل و بیشه‌زار است. حداکثر ارتفاع ۲۸۲۷ و حداقل ۶۰۵ متر است. میانگین بارندگی سالیانه از ۱۵۰ تا ۲۰۰ میلی‌متر از دشت تا ارتفاعات متغیر است.

- 1- Eastman & McKendry
- 2- Washington-Allen
- 3- Ramsey
- 4- Dakos
- 5- Cui
- 6- Pricope
- 7- MODIS
- 8- AVHRR



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در استان خراسان جنوبی

حداکثر و حداقل دمای مشاهده شده به ترتیب ۳۸ تا -۱۰ درجه سانتی گراد است. در محدوده مورد مطالعه سه کاربری اراضی شامل مرتع، جنگل و بیشه زار قابل شناسایی است که در هر یک از آنها متناسب با شرایط خاک و ارتفاع، گونه های گیاهی علفی، بوته ای، درختی و درختچه ای استقرار یافته اند. به عنوان مثال می توان گونه های گیاهی درمنه، افدرا، گون، سبذ و برخی گونه های بوته ای شورپسند مانند اشنان و... را در مراتع مشاهده نمود. گونه های جنگلی شامل بادام وحشی، بنه، درختچه های گز، تاغ، اسکنیبل و دیودال<sup>۱</sup> (گونه ای منحصر به فرد با پراکنش محدود در کشور) هستند که جنگل های تنک محدوده مورد مطالعه را ایجاد کرده اند (موسوی آلاشو و همکاران، ۱۳۸۴؛ زارع و همکاران، ۱۳۸۲).

### مواد و روش ها

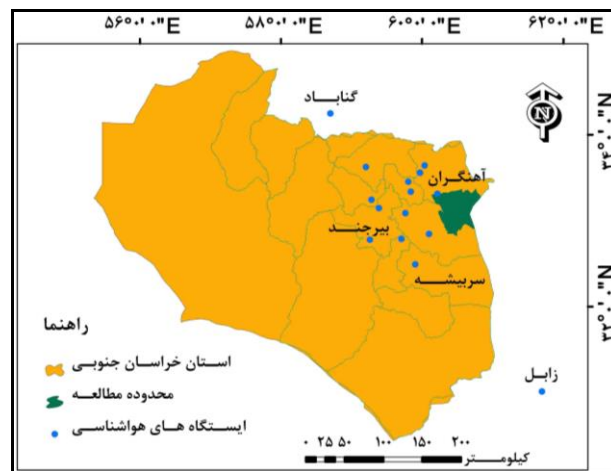
با استفاده از داده های بارش روزانه ۱۵ ایستگاه هواشناسی در اطراف محدوده مورد مطالعه (شکل ۲)، بارندگی سالانه در طول دوره سی ساله (۲۰۱۵-۱۹۸۶ میلادی) استخراج گردید؛ سپس با استفاده از شاخص بارش استاندارد شده<sup>۲</sup> سی ساله ایستگاه ها و میان یابی آن به روش وزن دهی بر اساس عکس فاصله<sup>۳</sup> در نرم افزار آرک. جی. آی. اس، سال های خشک، تر و نرمال مشخص شدند. برای بازسازی خلأ، آمار بارندگی سالانه هر ایستگاه از روابط همبستگی با ایستگاه های مجاور و نرم افزار اس. پی. اس استفاده گردید. شاخص بارش استاندارد شده، یکی از شاخص های خشکسالی است که برای پایش دوره های خشک و تر مورد استفاده قرار می گیرد. در این روش، مقدار شاخص استاندارد بارش سالانه با استفاده از رابطه<sup>۱</sup> تعیین می شود (مک کی<sup>۴</sup> و همکاران، ۱۹۹۳).

$$SPI = \frac{P - \bar{P}}{SD} * 100$$

رابطه ۱

که در آن، P: مقدار بارندگی سالانه،  $\bar{P}$ : میانگین بارندگی در طول دوره آماری، SD: انحراف معیار مقادیر بارندگی سالانه و SPI: شاخص استاندارد بارش سالانه است. جدول ۱، طبقات این شاخص را نشان می دهد.

- 1- Ammodendron Persicum
- 2- Standardized Precipitation Index (SPI)
- 3- Inverse Distance Weighted. (IDW)
- 4- Mckee



شکل ۲. موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی محدوده مورد مطالعه

جدول ۱. مقیاس طبقه‌بندی شدت ترسالی و خشکسالی در روش شاخص بارش استاندارد

وضعیت رخداد	اس.پی.آی
ترسالی بسیار شدید	کمتر از ۲
ترسالی شدید	۱/۵ تا ۱/۹۹
ترسالی معمولی	۱ تا ۱/۴۹
سال نرمال	۰/۹۹ تا -۰/۹۹
خشکسالی معمولی	-۱ تا -۱/۴۹
خشکسالی شدید	-۱/۵ تا -۱/۹۹
خشکسالی بسیار شدید	بیشتر از -۲

سپس از مآخذ تصاویر ماهواره‌ای لندست ۵ و ۷ محدوده مطالعاتی در دوره سی ساله مطالعه، 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. از میان سی سال دوره مطالعه، شش سال فاقد تصویر ماهواره‌ای مناسب برای محدوده مورد مطالعه بود؛ بنابراین، مطالعه بر اساس بیست و چهار سال بین سال‌های ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۵ میلادی انجام پذیرفت (جدول ۲).

با استفاده از نرم‌افزارهای ان.وی.۱ و آرک. جی.آی.اس، بعد از انجام تصحیحات لازم بر تصاویر ماهواره‌ای، نقشه شاخص‌های گیاهی ان.دی.وی.آی و تی.ان.دی.وی.آی هر تصویر تهیه شد. ان.دی.وی.آی، شاخص تفاضل نرمال پوشش گیاهی است که در تحلیل‌ها و اندازه‌گیری‌های سنجش از دور و ارزیابی وجود یا عدم وجود پوشش گیاهی یک منطقه کاربرد دارد و ارزش عددی آن در هر پیکسل از تصاویر ماهواره‌ای شامل دامنه‌ای بین -۱ تا +۱ است این شاخص با استفاده از رابطه ۲ محاسبه می‌گردد که در آن R، باند قرمز طیف الکترومغناطیس و NIR، باند مادون قرمز نزدیک طیف الکترومغناطیس است (راس و همکاران، ۱۹۷۴).

جدول ۲. مشخصات تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده و شاخص‌های پوشش گیاهی

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

$$NDVI = (NIR - R) / (NIR + R)$$

رابطه ۲

برای حذف مقادیر منفی و افزایش دامنه عددی این شاخص، با هدف تسهیل مطالعه و تجزیه و تحلیل کمی در روند تغییرات بلندمدت پوشش گیاهی، شاخص ان.دی.وی.آی به شاخص تی.ان.دی.وی.آی با دامنه‌ای بین ۰ تا ۱۰۰ تبدیل گردید. در تمامی مطالعه‌های بعدی از شاخص تی.ان.دی.وی.آی پوشش گیاهی استفاده شد. شاخص پوشش گیاهی تی.ان.دی.وی.آی با استفاده از رابطه ۳ (واشنگتن آلن و همکاران، ۲۰۰۸) محاسبه می‌گردد.

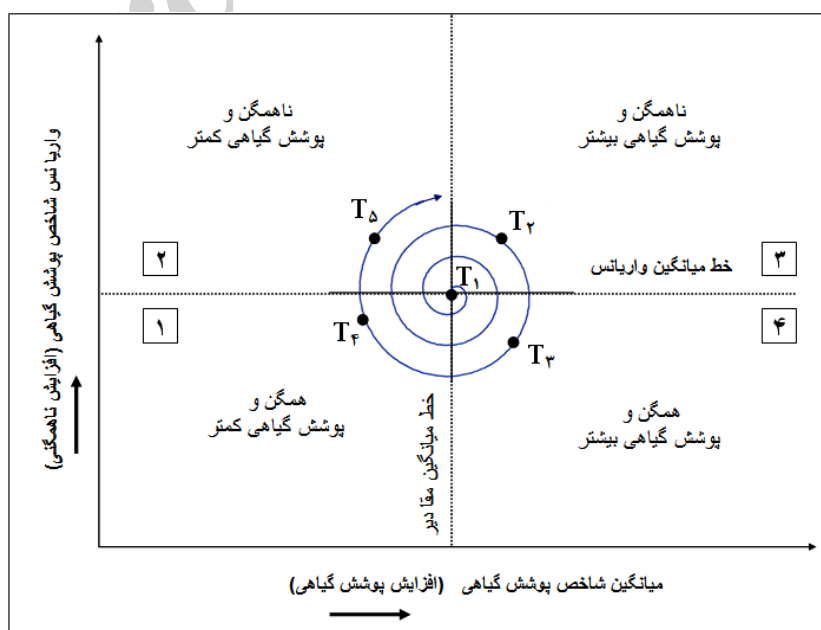
$$TNDVI = 50(NDVI + 1)$$

رابطه ۳

ارزیابی کیفی بازگشت‌پذیری اکولوژیکی پوشش گیاهی در محدوده مورد مطالعه نسبت به مرجع، توسط روش ترسیمی پلات میانگین - واریانس (شکل ۳) که توسط گروهی از متخصصان اکولوژی به کار گرفته شده و کارایی خود را به اثبات رسانده است انجام پذیرفت. پلات میانگین - واریانس تحلیلی گرافیکی است که برای توصیف خط سیر تغییرات در طول زمان استفاده می‌شود و رفتار شاخص پوشش گیاهی را در رخدادهای فصلی و بین فصلی (از جمله خشکسالی) توضیح می‌دهد. این نمودار، روشی برای اندازه‌گیری کیفی انعطاف‌پذیری زیست‌محیطی است.

در این پلات، محور افقی، میانگین ارزش تی.ان.دی.وی.آی و محور عمودی، میانگین ارزش واریانس پیکسل‌های تصویر محدوده مطالعه در سال‌های رخداد خشکسالی است. موقعیت هر رخداد نسبت به میانگین و واریانس سال مرجع ( $T_1$ ) مقایسه و روند تغییرات پوشش گیاهی به صورت کیفی در سال‌های بعد ( $T_2, T_3, \dots$ ) نسبت به مرجع مطالعه می‌گردد.

واریانس تی.ان.دی.وی.آی معرف میزان ناهماهنگی یا عدم تعادل بین خاک برهنه و پوشش گیاهی وابسته به آن است (واشنگتن آلن و همکاران، ۲۰۰۸). هر بخش از این پلات، وضعیت پوشش گیاهی و جهت تغییرات یک چشم‌انداز را توصیف می‌کند.



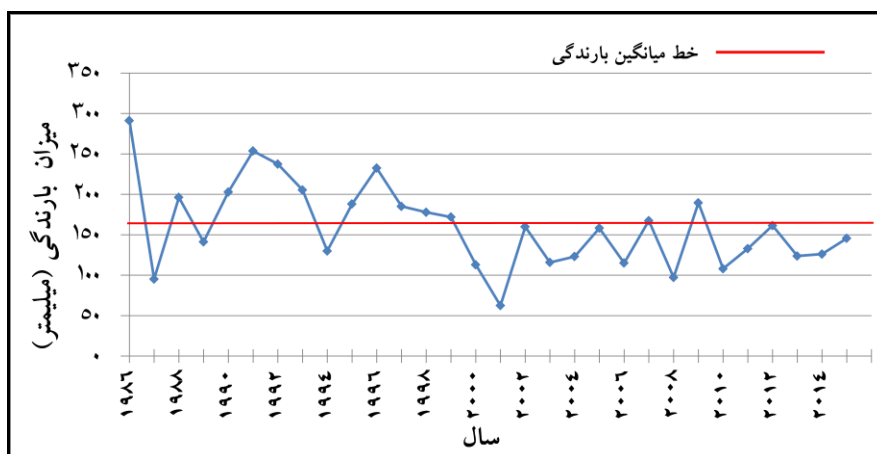
شکل ۳. پلات میانگین - واریانس شاخص پوشش گیاهی مورد استفاده در مطالعه کیفی بازگشت‌پذیری اکولوژیکی

به طور خاص، بخش ۱ (میانگین پایین و واریانس کم) نشان می‌دهد که نسبت بیشتری از چشم‌انداز به سمت حساسیت بالا به تخریب تمایل دارد. بخش ۲ (میانگین پایین و واریانس بالا) می‌تواند مخرب‌ترین حالت در نظر گرفته شود. بخش ۳ (میانگین بالا و واریانس بالا) بدان معنی است که نسبت بالاتری از چشم‌انداز دارای پوشش گیاهی است، اما بسته به چولگی، بخش کوچکی از چشم‌انداز مستعد تخریب است. در نهایت، بخش ۴ (میانگین بالا و واریانس کم) نشان‌دهنده مطلوب‌ترین و پایدارترین وضعیت چشم‌انداز از نظر پوشش گیاهی است (واشنگتن آلن و همکاران، ۲۰۰۸).

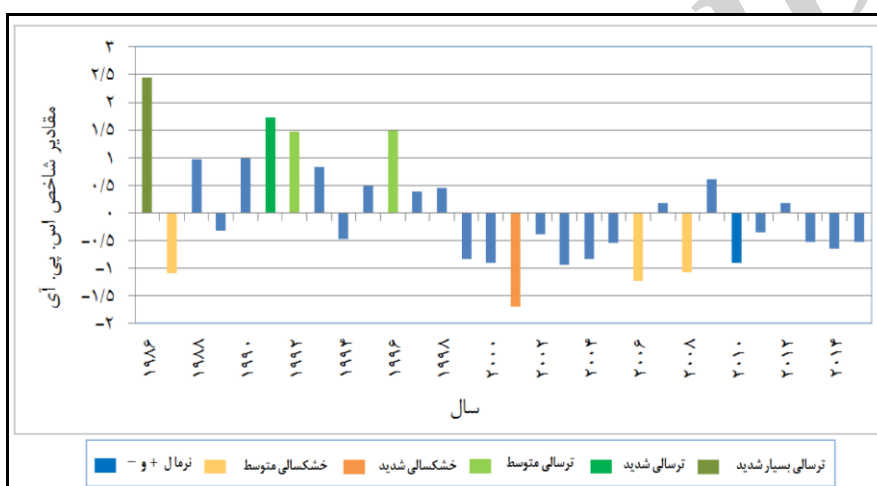
در استفاده از این روش برای توصیف مسیر وضعیت پوشش گیاهی در دوره مطالعه، میانگین ان.دی.وی.آی، نشان‌دهنده مقدار کلی پوشش گیاهی در چشم‌انداز و واریانس شاخص ان.دی.وی.آی نماینده‌ای از ناهمگونی در پوشش گیاهی است (سوا و همکاران، ۲۰۱۳). این روش می‌تواند برای مطالعه کیفی تغییرات پوشش گیاهی اکوسیستم بر اساس هر نوع اختلال وارده استفاده گردد. اختلال مورد نظر در این مطالعه، تغییرات بلندمدت بارش و وقوع خشکسالی طی مدت سی سال است. بدین منظور تغییرات شاخص تی.ان.دی.وی.آی در تصاویر ماهواره‌ای منطقه مورد مطالعه در بیست و چهار سال از سی سال که دارای تصویر ماهواره‌ای مناسب بودند تعیین گردید و در نهایت پلات میانگین - واریانس تی.ان.دی.وی.آی در سری زمانی ترسیم شد. لازم است برای مطالعه قابلیت بازگشت پذیری پوشش گیاهی در هر دوره مطالعه، یک سال به عنوان مرجع تغییرات شاخص تی.ان.دی.وی.آی، یک یا دو سال با کمترین مقدار میانگین پوشش گیاهی به عنوان سال‌های تحت تأثیر اختلال و از سال‌های بعد از رفع اختلال یک یا دو سالی را که پوشش بیشترین میزان افزایش به سمت مرجع را داشته است انتخاب گردد. به منظور مطالعه دقیق‌تر بازگشت پذیری اکولوژیکی، کل دوره سی ساله به محدوده‌های زمانی کوچک‌تر شامل یک دوره ابتدایی مرطوب (۱۹۹۸-۱۹۸۶) و یک دوره ثانوی خشک (۲۰۱۵-۱۹۹۹) تقسیم شد و بازگشت پذیری کیفی از روش پلات میانگین - واریانس برای محدوده‌های زمانی تر و خشک تحلیل گردید.

## نتایج

مطالعه نمودار میانگین حسابی بارندگی سالانه ایستگاه‌های هواشناسی (پانزده ایستگاه) اطراف محدوده مورد مطالعه در دوره سی ساله (۲۰۱۵-۱۹۸۶) مؤید وجود تقریبی دو دوره متمایز بارندگی بالاتر از میانگین سی ساله (چهارده سال اول) و کمتر از میانگین (شانزده سال دوم) است (شکل ۴). نتایج حاصل از ارزیابی خشکسالی با شاخص استاندارد بارش طبق شکل ۵ است. بر اساس این شکل، شاخص بارش استاندارد شده در دوره سی ساله محدوده مورد مطالعه، نشان‌دهنده چهار رخداد ترسالی با شدت‌های متفاوت شامل یک مورد ترسالی بسیار شدید (۱۹۸۶)، یک مورد ترسالی شدید (۱۹۹۱) و دو مورد ترسالی متوسط (۱۹۹۶ و ۱۹۹۲) است؛ همچنین چهار رخداد خشکسالی شامل یک مورد خشکسالی شدید (۲۰۰۱) و سه مورد خشکسالی متوسط (۲۰۰۸، ۲۰۰۶، ۱۹۸۷) نیز به وقوع پیوسته است. تمامی رخدادهای ترسالی مربوط به نیمه اول و بیشتر خشکسالی‌ها، مربوط به نیمه دوم دوره مورد مطالعه است. شاخص اس.پی.آی در بقیه سال‌ها در حد نرمال قرار دارد. ترسالی در سال‌هایی رخ داده است که بارندگی بیشتر از ۲۳۲ میلی‌متر و خشکسالی‌ها با کاهش بارندگی سالانه از ۹۵ میلی‌متر رخ داده‌اند. حد فاصل این دو مقدار، وضعیت شاخص نرمال است.



شکل ۴. نمودار تغییرات بارندگی سالانه و تفکیک دو دوره مرطوب و خشک در مطالعه سی ساله



شکل ۵. مقایسه شاخص بارش استاندارد شده و شدت رخداد برای کل منطقه پس از میان‌یابی

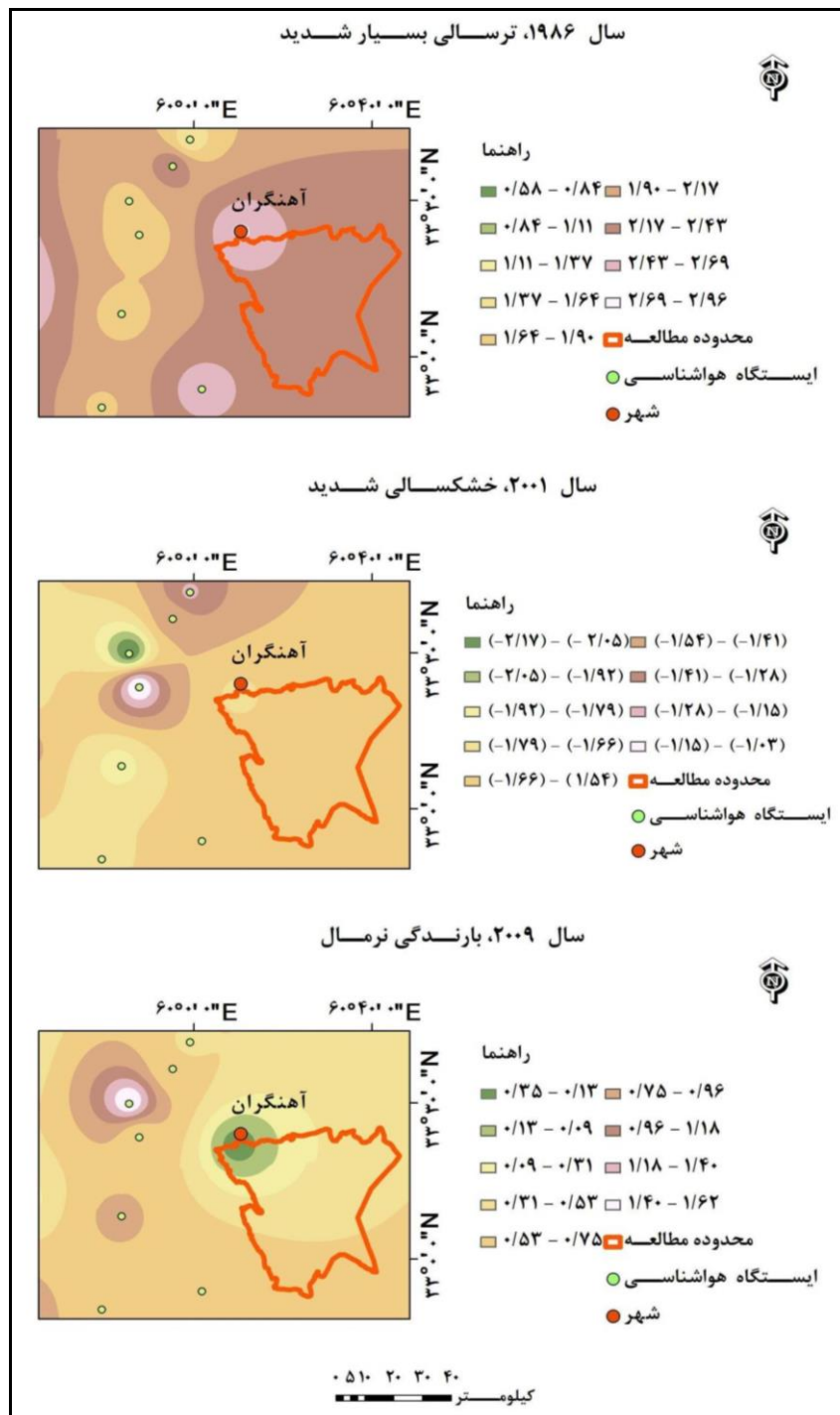
شاخص اس.پی.آی صفر معادل میانگین بارندگی با مقدار  $160/3$  بوده که در این مطالعه، بارندگی بین میانگین و ترسالی، نرمال مثبت (نرمال تر) و کمتر از این مقدار تا بروز خشکسالی، نرمال منفی (نرمال خشک) شناخته می‌شود. حداقل بارندگی منطقه (۲۰۰۱)، به میزان ۶۰ میلی‌متر بوده است. بروز تغییرات شاخص اس.پی.آی محدود در دوره سی ساله، میزان بارندگی هر سال به‌علاوه تأثیر وقوع رخداد های ترسالی و خشکسالی قبل از آن، همچنین شدت آن و حتی تکرار و تمدید وضعیت های نرمال بالاتر و کمتر از میانگین تأثیرگذار بوده‌اند که تحلیل دقیق و همه‌جانبه این تأثیرات می‌تواند تا حدود زیادی تصویری از وضعیت کلی محدوده و قابلیت بازگشت‌پذیری پوشش گیاهی را روشن سازد.

محدوده مورد مطالعه از پوشش طبیعی برخوردار است و به دلیل شرایط موجود، مانند تحت حفاظت بودن بخش شمالی آن، نوع پوشش گیاهی، توپوگرافی و غلبه خشکسالی چندین ساله، همچنین مدیریت مناسب دام و مرتع توسط عشایر، در بیشتر مناطق، عوامل انسانی و حتی چرای دام، چندان در تغییر پوشش گیاهی مؤثر نبوده است. در مناطق خشک، اولین عامل تعیین‌کننده وضعیت پوشش گیاهی، پارامتر بارندگی است؛ بنابراین، می‌توان با حذف سایر عوامل به مطالعه و تحلیل تأثیر این پارامتر بر تغییر درصد پوشش گیاهی محدوده مورد مطالعه در دوره سی ساله پرداخت. هرچند در مطالعه همین پارامتر نیز نمی‌توان تأثیر شدت و مدت خشکسالی و ترسالی، حتی کاهش و افزایش مقدار بارندگی در طبقات نرمال تر و خشک در طبقات

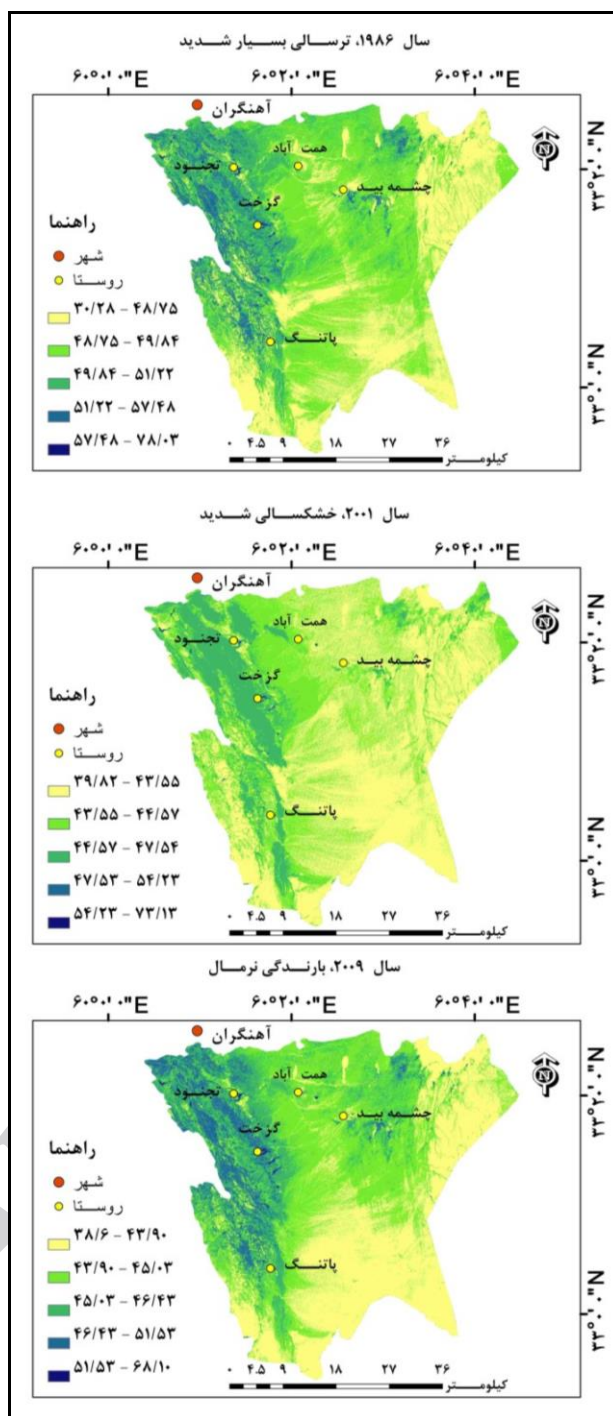


شاخص اس.پی.آی در تأثیرات متفاوتی که بر وضعیت پوشش گیاهی آن سال و سال‌های بعد می‌گذارد را نادیده گرفت.

شکل ۶، نقشه میان‌یابی شاخص اس.پی.آی و شکل ۷، نقشه پوشش گیاهی بر اساس شاخص تی.ان.دی.وی.آی در سه سال با ترسالی بسیار شدید (۱۹۸۶)، خشکسالی شدید (۲۰۰۱) و بارندگی نرمال (۲۰۰۹) را به عنوان نمونه از دوره بررسی، در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد. لازم به یادآوری است که تأثیر کاهش و افزایش بارندگی بر پوشش گیاهی ممکن است با تأخیر زمانی انجام پذیرد.



شکل ۶. نقشه میان‌یابی شاخص اس.پی.آی سال‌های منتخب در محدوده مورد مطالعه



شکل ۷. نقشه‌های پوشش گیاهی بر اساس شاخص تی.ان.دی.وی.آی در منطقه مورد مطالعه

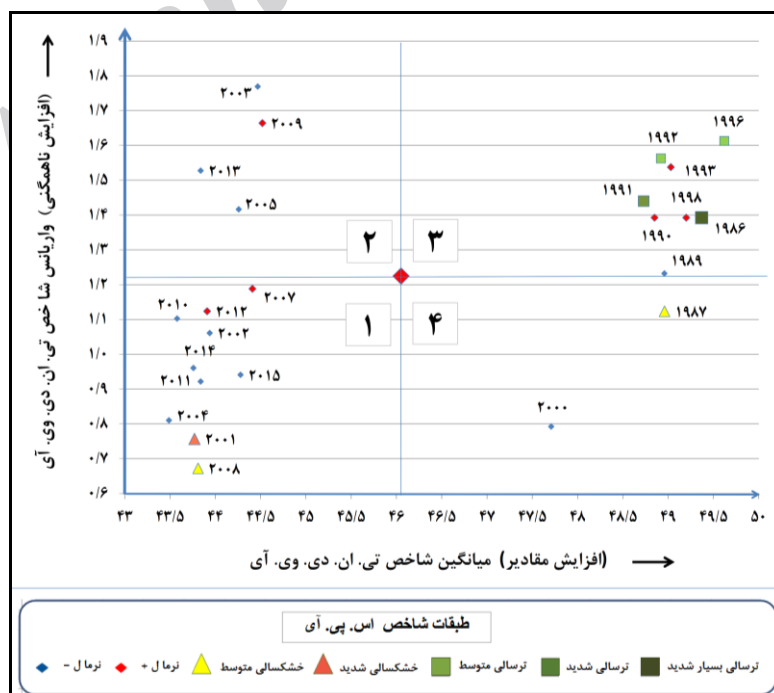
نتایج مطالعه تغییرات پوشش گیاهی و تمایل آن به سمت هماهنگی (همگنی) یا آشفستگی (ناهمگنی) به صورت کیفی توسط شاخص تی.ان.دی.وی.آی در محدوده مطالعه با پلات میانگین - واریانس (شکل ۸) در کل دوره مطالعه ارائه گردیده است. آنچه در تجزیه و تحلیل کیفی وضعیت سلامت پوشش گیاهی در پلات میانگین - واریانس باید به آن توجه شود این است که کاهش میزان پوشش و افزایش واریانس، نشانه‌های تغییر به سمت تخریب هستند، به‌ویژه اگر هم‌زمان در اکوسیستم مشاهده شوند. طبق این نمودار، از میان بیست و چهار سال مطالعه تی.ان.دی.وی.آی، ده سال در بخش ۱، چهار سال در

بخش ۲، هشت سال در بخش ۳ و دو سال در بخش ۴ پلات میانگین - واریانس قرار گرفته‌اند که به عنوان نمونه برخی از موارد تشریح می‌گردد. پوشش گیاهی محدوده مورد مطالعه در بیست و چهار سال فقط در سال‌های ۱۹۸۷ و ۲۰۰۰ در وضعیت پوششی و همگنی ایده‌آل (بخش ۴ پلات) قرار دارد؛ یعنی دارای شاخص پوشش گیاهی تی.ان.دی.وی.آی بالاتر از میانگین و واریانس کمتر از میانگین است که نشان‌دهنده همگنی اکوسیستم و حضور نسبتاً مناسب پوشش گیاهی است. سال ۱۹۸۷ به دلیل قرار گرفتن بعد از یک ترسالی بسیار شدید و سال ۲۰۰۰ به دلیل تکرار وقوع بارندگی‌های بیشتر از نرمال به وقوع پیوسته‌اند. وضعیت پوشش گیاهی در تمامی سال‌های رخداد ترسالی در بخش ۳ پلات، با درصد پوشش بالا و ناهمگنی بالا قرار دارند. چهار سال از سال‌های نرمال شامل سه سال نرمال مثبت و یک سال نرمال منفی در بخش ۲ پلات با درصد پوشش گیاهی پایین و هماهنگی کم قرار گرفته‌اند.

حداقل یک‌سوم از کل سال‌های دوره مطالعه از جمله سال‌های ۲۰۰۱ (خشکسالی شدید) و ۲۰۰۸ (خشکسالی متوسط)، از نظر درصد پوشش گیاهی و همگنی اکوسیستم در وضعیت بسیار نامطلوب (بخش ۱ پلات) قرار دارند، شش سال از سال‌های نرمال مثبت (۲۰۱۵، ۲۰۱۴، ۲۰۱۱، ۲۰۱۰، ۲۰۰۴، ۲۰۰۲) و دو سال از سال‌های نرمال منفی (۲۰۱۲ و ۲۰۰۷) نیز در این بخش قرار گرفته‌اند که نشان‌دهنده تسلط طولانی مدت شرایط محیطی نامطلوب بر سیستم و پاسخ طبیعی آن به این شرایط است.

در کل، وضعیت تغییرات و افت و خیز درصد پوشش گیاهی قابل ملاحظه و در اغلب سال‌ها ناهمگن بوده است. اولین سال دوره مطالعه (۱۹۸۶)، در بخش ۳ پلات یعنی در شرایط نسبی مناسب و آخرین سال مطالعه (۲۰۱۵)، در بخش ۱ پلات یعنی بدترین شرایط از نظر درصد پوشش قرار گرفته است و ادامه این روند، می‌تواند پوشش گیاهی منطقه را به سمت غیر قابل بازگشت (زوال اکوسیستم) هدایت نماید.

مکانیسم کاربردی پلات میانگین - واریانس دوره سی ساله (شکل ۸) به خوبی شرایط محیطی سختی که محدوده مورد مطالعه به عنوان یک اکوسیستم در طی سه دهه با آن روبه‌رو بوده است را نشان می‌دهد.

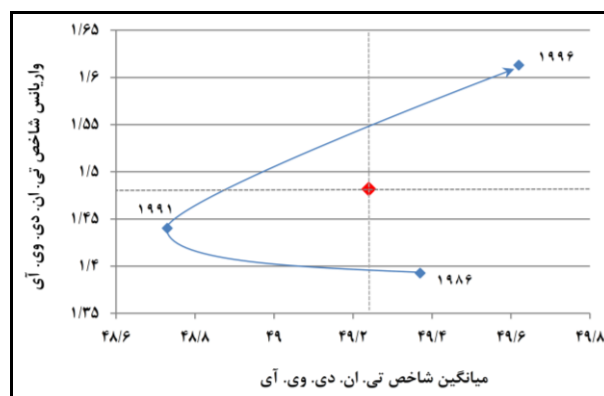


شکل ۸. پلات میانگین - واریانس شاخص تی.ان.دی.وی.آی محدوده مطالعه در دوره ۳۰ ساله

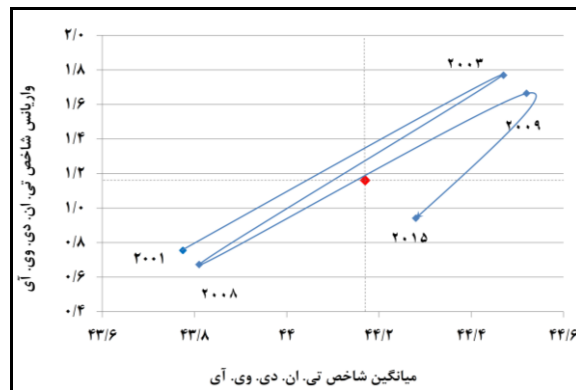
هرچند با دنبال کردن مسیر تغییرات مکانی، هر سال نسبت به سال بعد در این پلات، روند افت و خیز میزان پوشش گیاهی (میانگین تی.ان.دی.وی.آی) و همگنی و ناهمگنی آن (تغییرات واریانس) و به عبارتی قابلیت بازگشت‌پذیری پوشش گیاهی به وضعیت مرجع فرضی مشخص می‌گردد؛ اما به دلیل کثرت سال‌ها در دوره ۳۰ ساله ممکن است این روند مبهم و نامفهوم باشد.

برای درک بهتر قابلیت بازگشت‌پذیری پوشش گیاهی محدوده مورد مطالعه و اثبات وجود یا عدم وجود این قابلیت، دو پلات میانگین - واریانس در دو مقطع کوچک‌تر از دوره زمانی مطالعه با سال‌های انتخابی در دو موقعیت غلبه آب‌وهوای مرطوب (شکل ۹) و خشک (شکل ۱۰) مطالعه گردید.

بر اساس شکل ۹، در دوره مرطوب (۱۹۹۸-۱۹۸۶)، میانگین شاخص تی.ان.دی.وی.آی در سال تأثیر اختلال (۱۹۹۱) نسبت به وضعیت سال مرجع (۱۹۸۶) کاهش یافته و بعد از رفع اختلال در سال ۱۹۹۶ نه تنها به وضعیت مرجع بازگشته، بلکه درصد پوشش گیاهی نسبت به وضعیت مرجع افزایش یافته است؛ همچنین واریانس (ناهماهنگی) شاخص تی.ان.دی.وی.آی نسبت به وضعیت مرجع افزایش یافته که نشان‌دهنده افزایش خطر فرسایش و کاهش تنوع در پوشش گیاهی است. در دوره خشک، با توجه به شکل ۱۰ و سال‌های منتخب، روند تخریب و بازسازی پوشش، کاملاً مشهود است. در سال ۲۰۰۱، نسبت به سال مرجع (۱۹۸۶)، شدیدترین خشکسالی در طول دوره مطالعه رخ داده است. پس از رفع این اختلال، در سال ۲۰۰۳ پوشش، افزایش یافته و در سال ۲۰۰۸ تحت شرایط کاهش بارندگی و تداوم آن، مجدداً پوشش به وضعیت تخریب در سال ۲۰۰۱ بازگشته است. پس از افزایش نسبی بارندگی، دوباره در سال ۲۰۰۹ میزان پوشش گیاهی افزایش می‌یابد که با تکرار کاهش تدریجی بارندگی روند کاهش پوشش گیاهی مشاهده می‌شود. با وجود دامنه کم تغییرات شاخص تی.ان.دی.وی.آی در دوره خشک، قابلیت ارتجاعی و بازگشت‌پذیری در پوشش گیاهی محدوده مورد مطالعه کاملاً مشهود است. تغییرات واریانس نیز در این دوره نشان‌دهنده افزایش ناهمگنی در پوشش گیاهی هم‌زمان با افزایش درصد پوشش گیاهی است. این وضعیت را از طرفی می‌توان نشانه آمادگی خاک برای فرسایش و از سویی نشانه‌دهنده کاهش تنوع پوشش گیاهی دانست. نتایج حاصل از ارزیابی بازگشت‌پذیری کیفی دوره مرطوب و خشک در پلات میانگین - واریانس (شکل ۹)، حاکی از قابلیت بازگشت‌پذیری پوشش گیاهی در دوره مرطوب (۱۹۹۸-۱۹۸۶) و حتی وجود این قابلیت در دوره خشک (۲۰۱۵-۱۹۹۹) به صورت کیفی است (شکل ۱۰). در شکل‌های ۹ و ۱۰ منحنی‌های آبی رنگ، مسیر تغییرات مقادیر واریانس شاخص پوشش گیاهی را در سال‌های مختلف نسبت به سال مرجع نشان می‌دهند.



شکل ۹. پلات میانگین - واریانس سال‌های انتخابی دوره مرطوب (۱۹۹۸-۱۹۸۶)



شکل ۱۰. پلات میانگین - واریانس سال‌های انتخابی دوره خشک (۲۰۱۵-۱۹۹۹)

### بحث

در این مطالعه، سلامت اکوسیستم مورد مطالعه در منطقه خشک در دوره سی ساله با تحلیل کیفی بازگشت پذیری پوشش گیاهی نسبت به تغییرات بلندمدت بارش و وقوع خشکسالی مطالعه شد و با بیان دو شاهد، قابلیت بازگشت پذیری پوشش گیاهی در سال‌های منتخب دو دوره خشک و مرطوب به اثبات رسید. ممکن است غنا و ترکیب پوشش گیاهی محدوده مورد مطالعه بر اثر وقوع آشفتگی‌های محیطی در دوره سی ساله تغییر کرده باشد؛ اما در مجموع، پوشش گیاهی به عنوان مهم‌ترین جزء زنده اکوسیستم توانسته است با استفاده از مکانیسم‌های متنوع در برابر شرایط سخت مقابله نموده و سلامت خود را حفظ نماید.

واشنگتن آلن و همکاران (۲۰۰۸)، بازگشت پذیری اکولوژیکی را در پاسخ به خشکسالی شدید حاصل از ال‌نینو در کشور بولیوی به صورت کیفی با روش گرافیکی میانگین - واریانس مطالعه کردند. این مطالعه، با استفاده از شاخص پوشش گیاهی و تصاویر ماهواره‌ای لندست در دوره ۱۹۸۷ تا ۱۹۷۲ بر روی کل پوشش گیاهی و کلاس‌های پوششی مختلف انجام شد. نتایج، حاکی از افزایش واریانس در کل چشم‌انداز پوشش گیاهی بود و در نتیجه، حساسیت به فرسایش خاک در طول خشکسالی افزایش یافته بود. از میان کلاس‌های پوشش گیاهی موجود، علفزار، کمترین دامنه تغییرات و در نتیجه بیشترین میزان بازگشت پذیری و انعطاف پذیری را نسبت به دیگر پوشش‌های گیاهی نشان داد و به عنوان پوشش بومی منتخب برای نجات از تغییرات آب‌وهوایی در منطقه معرفی گردید؛ همچنین سو و همکاران (۲۰۱۳)، به صورت کیفی قابلیت بازگشت پذیری پوشش گیاهی در دشت جنوب آفریقا در اقلیم نیمه‌خشک را بر اساس شاخص ان.دی.وی.آی مطالعه کردند. کلاس‌های پوشش گیاهی چشم‌انداز ساوانا به عنوان نماینده‌ای از چشم‌انداز ناهمگون و رخداد خشکسالی در دهه ۱۹۷۰، معرف شوک آب‌وهوایی (عامل آشفتگی) در نظر گرفته شدند. این مطالعه، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست در بازه زمانی ۲۰۰۹-۱۹۷۳، ترسیم پلات میانگین - واریانس برای کل محدوده مطالعه انجام گرفت.

افزون بر تأیید کارایی روش ترسیمی میانگین واریانس در مطالعه کیفی قابلیت بازگشت پذیری پوشش گیاهی و تفسیر تغییرات میزان و همگنی آن در چنین مناطقی، نتایج این پژوهش نشان داد که اگرچه تأثیر کاهش بارش و خشکسالی دهه ۱۹۷۰ بر پوشش گیاهی در دهه ۱۹۸۰ کاملاً مشهود است؛ اما با افزایش بارندگی، پوشش گیاهی توانسته است در دهه‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۰۰ بهبود یافته و به سمت پوشش مناسب اولیه بازگردد. نتایج به دست آمده در خصوص کارایی روش گرافیکی میانگین - واریانس در بازگشت پذیری پوشش گیاهی با یافته‌های واشنگتن آلن و همکاران (۲۰۰۸) و سو و همکاران (۲۰۱۳) مطابقت دارد؛ اما باید توجه

داشت که این مطالعه در اقلیمی انجام گرفته که سختی شرایط در آن در مطالعات قبلی بی سابقه بوده است؛ چراکه مطالعه سو و همکاران (۲۰۱۳)، در منطقه‌ای انجام گرفته که از نظر اقلیمی دارای آب‌وهوای گرمسیری و زیست‌بوم ساوانا در جنوب آفریقا است. میانگین بارندگی سالانه در محدوده، بین ۴۶۳ تا ۶۹۸ میلی‌متر بوده است و حداقل و حداکثر بارش سالانه بین ۴۰۰ تا بیش از ۱۳۰۰ میلی‌متر در تغییر است (گوهان و وایلن<sup>۱</sup>، ۲۰۱۲). شرایط بارندگی در منطقه مورد مطالعه واشنگتن آلن نیز با وجود معرفی اقلیم منطقه به عنوان اقلیم خشک، با شرایط بارندگی این مطالعه متفاوت است. میانگین بارندگی سالانه در مطالعه واشنگتن آلن، ۴۰۲ میلی‌متر (جانسون<sup>۲</sup>، ۱۹۷۶) و کلاس‌های پوشش گیاهی از گونه‌های علفی تا بوته‌ای بومی تشکیل شده‌اند؛ بنابراین، با وجود اهمیت این مطالعات به عنوان نمونه و الگوی تحقیق و تأیید روش میانگین واریانس باید اذعان کرد که مطالعات انجام گرفته در این مورد، غالباً در مناطقی انجام گرفته‌اند که نتایج آنها قابل تعمیم به اقلیم‌های خشک در ایران و غالب مناطق قاره آسیا نیست و مطالعه پیش رو برای اولین بار در قاره آسیا و ایران آن هم در اقلیمی کاملاً متفاوت با حساسیت بیشتر از نظر نوع و تراکم پوشش گیاهی و میانگین سالانه بارش انجام پذیرفته و نمونه منحصر به فرد و الگویی برای اثبات موفقیت روش در این مناطق است.

برای مقایسه بهتر موضوع، یادآوری می‌گردد که میانگین بارندگی در سی سال مطالعه ما ۱۶۰ میلی‌متر بوده است و پوشش گیاهی در مواجهه با خشکسالی‌های شدید و متوسط و تداوم ۶ ساله کاهش بارش، قابلیت بازگشت‌پذیری خود را به خوبی حفظ نموده است. توانایی مقابله پوشش گیاهی مناطق خشک و نیمه‌خشک، با تغییرات بارندگی و آشفته‌گی‌های محیطی که در این مطالعه قابل مشاهده است به نتایج مطالعات میراندا<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۱۱) و روپرت<sup>۴</sup> و همکاران (۲۰۱۵) شباهت دارد.

### نتیجه‌گیری

این پژوهش در حوضه آبریز نمکزار خواف در شمال شرق استان خراسان جنوبی با اقلیم خشک و با هدف مطالعه و تعیین کیفی قابلیت بازگشت‌پذیری اکوسیستم و عکس‌العمل پوشش گیاهی طبیعی به تغییرات شدید بارندگی بلندمدت و خشکسالی به عنوان آشفته‌گی محیطی انجام پذیرفت.

نتایج مطالعه به نحوی این اعتقاد را که اکوسیستم‌های خشک در عین شکنندگی ظاهری، دارای پتانسیل بالایی در برابر ناملايمات محیطی و روش‌های خاصی برای سازگاری و مقابله با آشفته‌گی‌ها دارند تأیید می‌کند. پایداری پوشش گیاهی منطقه مورد مطالعه در شمال شرق استان خراسان جنوبی در برابر تغییرات شدید بارش در این مطالعه به اندازه‌ای واضح است که تصور بیابانی‌شدن چنین مناطقی را به چالش می‌کشد؛ اما این پیش‌بینی دور از ذهن نیست که کاهش بارندگی از مرز ۶۰ میلی‌متر (حداقل بارندگی سالانه منطقه مورد مطالعه در دوره سی ساله) و تداوم آن در چند سال، قابلیت بازگشت‌پذیری پوشش گیاهی را مختل کرده و تخریب باعث بیابانی‌شدن منطقه و در نهایت زوال اکوسیستم گردد.

این مطالعه همچنین کارایی روش ترسیمی پلات میانگین - واریانس برای مطالعه کیفی بازگشت‌پذیری پوشش گیاهی را در یک منطقه خشک در آسیای میانه بری اولین بار تأیید کرد. ضمن اینکه با اثبات وجود سلامت در اکوسیستم می‌توان برای مدیریت صحیح و تقویت پوشش گیاهی بومی موجود که مقاومت خوبی

1- Gaughan & Waylen

2- Johnson

3- Miranda

4- Ruppert

در برابر آشفته‌گی آب‌وهوایی از خود نشان دادند برنامه‌ریزی کرد.

## منابع

- زارع، علی؛ شاد، قنبرعلی؛ غلامی، براتعلی (۱۳۸۲) طرح شناخت مناطق اکولوژیکی کشور، پوشش گیاهی منطقه تابیاد و شاه‌رخت، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، تهران.
- موسوی آلاشلو، ابراهیم؛ پاریاب، اصغر؛ عباسی، مسعود (۱۳۸۴) طرح شناخت مناطق اکولوژیکی کشور، تیپ‌های گیاهی منطقه گزیک، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، تهران.
- Botton, S., van Heusden, M. Parsons, J. R. Smidt, H. van Straalen, N. (2006) Resilience of Microbial Systems Towards Disturbances, **Critical Reviews in Microbiology**, 32, pp. 101-112.
- Brand, F. S., Jax, K. (2007) Focusing the meaning(s) of Resilience: Resilience as a Descriptive Concept and a Boundary Object, **Ecology and Society**, 12 (1), 23. [Online] URL: <http://www.ecologyandsociety.org/vol12/iss1/art23>.
- Bunch, M., McCarthy, D., Waltner-Toews, D. (2008) **A Family of Origin for an Ecosystem Approach to Managing for Sustainability**, Chapter 8 in. The Ecosystem Approach: Complexity, Uncertainty, and Managing for Sustainability, Columbia University Press, New York.
- Cui, X., Gibbes, C. Southworth, J., Walyen, P. (2013) Using Remote Sensing to Quantify Vegetation Change and Ecological Resilience in a Semi-Arid System, **Land**, 2 (2), pp. 108-130.
- Dakos, V., Carpenter, S. R., Van Nes, E. H., Scheffer, M. (2014) Resilience Indicators: Prospects and Limitations for Early Warnings of Regime Shifts, **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, 370 (1659), pp.1-10.
- Davis, F.W., Roberts, D. A. (2000) **Stand Structure in Terrestrial ecosystems**, Springer. New York.
- Eastman, J. R., McKendry, J. E. (1991) **Change and Time Series Analysis**, Geneva, Switzerland.
- Gaughan, A. E., Waylen, P. R. (2012) Spatial and Temporal Precipitation Variability in the Okavango-Kwando-Zambezi Catchment, southern Africa, **Arid Environments**, 82, pp. 19-30.
- Goheen, J. R., Young, T., Keesing, F., Palmer, T. (2007) Consequences of herbivory by native ungulates for the reproduction of a savanna tree, **Ecology**. 95, pp. 129-138.
- Holling, C. S. (1973) Resilience and Stability of Ecological Systems, **Annual Reviews of Ecology and Systematic**, 4, pp. 1-23.
- Johnson, A. M., (1976) **the climate of Peru, Bolivia, and Ecuador**, America. New York.
- Kasperson, R. E., Kasperson, J. X. (2001) **Climate Change, Vulnerability and Social Justice**, **Stockholm Environment Institute**, Stockholm. Sweden.
- Kerr, J. T., Ostrovsky, M. (2003) From Space to Species: Ecological Applications for Remote Sensing, **Trends in Ecology and Evolution**, 18 (6), pp. 299-305.
- Mckee, T. B., Doesken, N. J., Kleist, J. (1993) The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales. In: Proc. 8th Conf. on Applied Climatology, **American Meteorological Society**, Massachusetts, pp. 179-184.
- Miranda, J. D., Armas, Padilla, C. F. M., Pugnaire F. I. (2011) Climatic Change and Rainfall Patterns: Effects on Semi-Arid Plant Communities of the Iberian Southeast, **Arid Environments**, 75 (12), pp. 1302-1309.
- Pricope, N. G., Gaughan, A. E., All, J. D., Binford, M. W. L., Rutina, P. (2015) 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**, 4 (3), pp. 627-655.

- Rockström, J. (2003) Resilience Building and Water Demand Management for Drought Mitigation, **Physics and Chemistry of the Earth**, 28 (20-27), pp. 869-877.
- Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., Deering, D. W. (1974) **Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS, Third ERTS – 1 Symposium. 10-14 Dec. 1973, NASA SP-351, Washington D.C. NASA**, pp. 309-317.
- Ruppert, J. C., Harmony, K., Henkin, Z., Snyman, H. A., Sternberg, M., Willms, W., Linstadter, A. (2015) Quantifying Drylands' Drought Resistance and Recovery: the Importance of Drought Intensity, Dominant Life History and Grazing Regime, **Global Change Biology**, 21 (3), pp. 1258-1270.
- Schindler, D. W. (1987) Detecting Ecosystem Responses to Anthropogenic Stress, **Fisheries and Aquatic Sciences**, 44 (1), pp. 6-25.
- Seto, K. C., Fleishman, Fay, E. J. P. Betrus, C. J. (2004) Linking Spatial Patterns of Bird and Butterfly Species Richness with Landsat TM Derived NVI, **International Journal of Remote Sensing**, 25 (20), pp. 4309-4324.
- Washington-Allen, R. A., Ramsey, R., West, N. E., Norton, B. E. (2008) Quantification of the Ecological Resilience of Drylands Using Digital Remote Sensing, **Ecology and Society**, 13 (1), p. 33.
- Wiegand, J., Raffaelli, D., Smart, J. C. R., White, P. C. L. (2010) Assessment of temporal trends in ecosystem health using a holistic indicator, **Environmental Management**, 91 (7), pp. 1446-1455.

Archive of SID