

ارزیابی ظرفیت تاب‌آوری پوشش گیاهی حوزه آبخیز شازند استان مرکزی

مصطفی ذبیحی سیلابی^۱، سید حمیدرضا صادقی^{۲*}، مهدی وفاخواه^۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۰۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۱۷

چکیده

پژوهش حاضر با هدف بررسی وضعیت حوزه آبخیز براساس ظرفیت تاب‌آوری پوشش گیاهی انجام شده است. برای این منظور پس از برآورد شاخص پوشش گیاهی NDVI در مقیاس سالانه برای دوره زمانی ۱۳۶۷ تا ۱۴۰۲ به صورت مجزا برای هر یک از زیرآبخیزهای مطالعاتی، کمترین مقدار شاخص مذکور در طول دوره آماری به عنوان حد تاب‌آور تعیین و ظرفیت تاب‌آوری زیرآبخیزهای مختلف براساس مقدار میانگین درازمدت و حد آستانه تاب‌آور شاخص پوشش گیاهی NDVI تعیین شد. صحت نتایج حاصل از شاخص ظرفیت تاب‌آوری نیز با استفاده از بازدیدهای میدانی و نتایج حاصل از آن با پراکنش مناطق صنعتی، معدنی، شهری و همچنین مناطق حفاظت‌شده ارزیابی شد. نتایج پژوهش نشان داد که بازه شاخص ظرفیت تاب‌آوری حوزه آبخیز شازند بین ۰/۰۵- و ۰/۲۳ قرار گرفته و به ترتیب مربوط به زیرآبخیزهای ۵ و ۱۵ است. ظرفیت تاب‌آوری پایین در زیرآبخیز ۵ را می‌توان به نزدیکی آن به شهر صنعتی اراک نسبت داد، درحالی‌که ظرفیت تاب‌آوری بالای زیرآبخیز ۱۵ را می‌توان به سطح پایین فعالیت‌های انسانی و هم‌جواری آن با منطقه حفاظت‌شده رویشگاه‌های طبیعی بلوط نسبت داد. همچنین نتایج گویای آن بود که زیرآبخیزهای ۵ و ۶ از آستانه تاب‌آوری پوشش گیاهی خود خارج شده‌اند. از سوی دیگر، به رغم تغییرات شدید کاربری اراضی در محدوده شهرک مهاجران، قابلیت تاب‌آوری آن به دلیل افزایش پوشش گیاهی بر اثر افزایش قابل توجه فضای سبز شهری بالا بوده است. رویکرد حاضر می‌تواند به عنوان ابزار جدید و کاربردی در برنامه‌ریزی اقدامات مدیریتی و بازآبایی پوشش گیاهی در زیرآبخیزهای با ظرفیت تاب‌آوری پایین مورد استفاده قرار گیرد.

کلیدواژه‌ها: دامنه برگشت‌پذیری آبخیز، مدیریت جامع حوزه آبخیز، مفهوم آستانه.

۱. دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، Mostafa.zabihi@modares.ac.ir

۲. استاد گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نویسنده مسئول، sadeghi@modares.ac.ir

۳. استاد گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، vafakhah@modares.ac.ir

• این مقاله برگرفته از رساله دکتری دانشگاه تربیت مدرس است.

مقدمه

تخریب پوشش گیاهی و جایگزینی آن با سطوح نفوذناپذیر (سز^۱ و همکاران، ۲۰۲۲)، نبود سامانه مدیریتی کارآمد و سازوکارهای مناسب، بروز خشکسالی‌ها و تغییر اقلیم از عوامل اصلی تهدیدکننده سلامت حوزه‌های آبخیز^۲ هستند. این روند تخریبی می‌تواند به ناپایداری بوم‌سازگان‌ها و کاهش خدمات بوم‌شناختی منجر شود. با این حال، تأثیرات تخریب پوشش گیاهی بر سلامت آبخیزها به‌طور یکسان در همه مناطق مشاهده نمی‌شود و این تأثیرات بسته به شرایط خاص هر آبخیز و تاب‌آوری آن متفاوت است (چن^۳ و همکاران، ۲۰۲۰).

کاهش یا افزایش سلامت آبخیزهای مختلف در نتیجه یک تغییر خاص از جمله تخریب پوشش گیاهی هیچ‌وقت یکسان نبوده و بسته به شرایط حاکم بر هر آبخیز و سطوح تاب‌آوری مختلف آن‌ها متفاوت است. به عبارت دیگر، دامنه برگشت حوزه‌های آبخیز به سمت ناپایداری یا پایداری نسبی، از یک آبخیز به آبخیزی دیگر متفاوت است (ذبیحی سیلابی و همکاران، ۲۰۲۲). بنابراین، شناخت دامنه برگشت‌پذیری حوزه‌های آبخیز برای پیش‌بینی حرکت آن‌ها به سمت شرایط پایدار و تاب‌آور و همچنین برنامه‌ریزی مناسب مدیریتی برای حفظ سلامت و تأمین خدمات مختلف بوم‌سازگانی از اهمیت بالایی برخوردار است (ذبیحی سیلابی و همکاران، ۲۰۲۴).

دامنه برگشت‌پذیری حوزه آبخیز، به‌طور خاص، به فاصله بین نقطه شکست (حد تاب‌آوری^۴) و ظرفیت بالقوه یا شرایط اوج آن حوزه از لحاظ سلامت و خدمات بوم‌شناختی اشاره دارد (ذبیحی سیلابی و همکاران، ۲۰۲۲). با شناسایی این دامنه، علاوه بر تعیین نقاط شکست و شرایط ایدئال، پیش‌بینی روند حرکت حوزه‌های آبخیز به سمت ناپایداری یا شرایط مطلوب تسهیل می‌شود. در این راستا، پژوهش حاضر با هدف معرفی شاخصی برای ارزیابی فاصله بین شرایط فعلی آبخیز و حد تاب‌آوری پوشش گیاهی، به‌عنوان یکی از ابعاد کسسان^۵، در حوزه آبخیز شانزد استان مرکزی انجام شده است. شاخص

ظرفیت تاب‌آوری^۶ می‌تواند به شناسایی نقطه شکست در زیرآبخیزهای مختلف کمک کرده و شرایط لازم برای برنامه‌ریزی و اولویت‌بندی رویکردهای مدیریتی در زیرآبخیزهای تخریب‌شده را فراهم آورد.

پژوهش‌های مختلفی در رابطه با ارزیابی حدود آستانه انجام شده است. در همین راستا گاو^۷ و همکاران (۲۰۱۱) در پژوهشی به ارزیابی آستانه پوشش گیاهی در ارتباط با فرسایش خاک سطحی و کاهش حاصلخیزی خاک در شهرستان چانگتینگ^۸ چین پرداختند. نتایج ایشان نشان داد فرسایش خاک سطحی و کاهش حاصلخیزی خاک زمانی رخ خواهد داد که پوشش گیاهی کمتر از آستانه تخریب خاص (۲۰ درصد) است. پیرس^۹ و همکاران (۲۰۱۷) نیز افزایش تاب‌آوری حوزه آبخیز ریو داک^{۱۰} برزیل از طریق احیای جنگل را بررسی کردند. در این پژوهش از کیفیت آب به‌عنوان یک شاخص برای سنجش تاب‌آوری آبخیز استفاده شد. نتایج نشان داد که انطباق با قانون حفاظت پوشش گیاهی بومی برزیل نیازمند احیای حدود ۷۱۶ هزار هکتار جنگل رودخانه‌ای در حوزه آبخیز است. نتایج همچنین نشان داد که افزایش سطح جنگل به ترتیب، مقاومت و تاب‌آوری حوزه آبخیز در فصل‌های بارانی و خشک را بهبود می‌بخشد. رضایی و غفاریان (۲۰۲۱) تاب‌آوری مناطق جنگلی فیلیپین پس از آبرتوفان‌های یان^{۱۱} را تجزیه و تحلیل کردند. و تحلیل نتایج نشان داد که با وجود کاهش قابل توجه زی‌توده پس از توفان (۵۷ درصد در جویی یوان^{۱۲} و ۴۶ درصد در تاکلوبان^{۱۳})، مناطق جنگلی جویی یوان و تاکلوبان به ترتیب ۸۰ و ۷۰ درصد از محتوای زی‌توده اولیه خود را ظرف یک سال پس از توفان به دست آوردند. هوو و ویو^{۱۴} (۲۰۲۴) آستانه اختلال جنگل در ۴۲ حوزه آبخیز جنگلی کانادا را بررسی کردند. نتایج نشان داد حدود ۵۳ درصد از آبخیزهای مطالعاتی از آستانه اختلال متوسط عبور کرده‌اند. از سوی دیگر نتایج

6. Resilience Capacity Index

7. Gao

8. Changting

9. Pires

10. Rio Doce

11. Haiyan

12. Guiuan

13. Tacloban

14. Hou and Wei

1. Sze

2. Watershed Health

3. Chen

4. Resilienc Threshold

5. Elasticity

جعفرپور (۱۴۰۳) به شناسایی آستانه متغیرهای تأثیرگذار بر پهنه‌های سیلاب آبخیز انتهایی کارون بزرگ با استفاده از فن یادگیری ماشین^۲ پرداختند. نتایج نشان داد متغیرهای پوشش گیاهی، بارش تجمعی باران، کمبود آب در خاک، شدت خشکسالی و کاربری اراضی به ترتیب بیشترین تأثیر را بر بروز پهنه‌های سیلاب در منطقه مطالعاتی داشته‌اند.

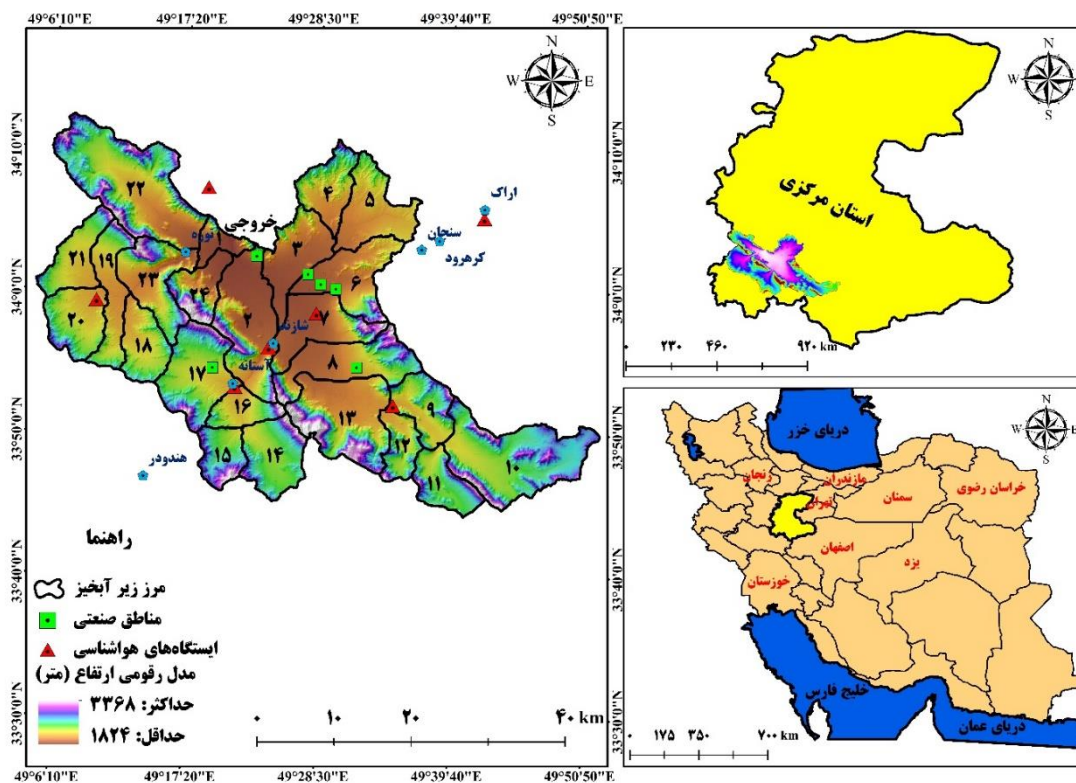
بررسی پیشینه پژوهش‌های گزارش شده حاکی از آن است که روش‌های متعددی با اهداف مختلف درخصوص برآورد آستانه‌های حوزه‌های آبخیز انجام شده است. در پژوهش‌های انجام شده، آستانه‌های بوم‌شناختی به‌عنوان یکی از مفاهیم اساسی در تحلیل تغییرات محیطی و تاب‌آوری بوم‌سازگان‌ها شناخته شده‌اند. با این حال، در بسیاری از مطالعات پیشین، عمده تمرکز بر ارزیابی تاب‌آوری در وضعیت کنونی بوده و به‌ندرت به بررسی کشسانی حوزه‌های آبخیز برای حرکت به سمت حد تاب‌آوری و دستیابی به یک وضعیت پایدارتر پرداخته شده است. بنابراین، در پژوهش حاضر کاربست شاخص ظرفیت تاب‌آوری در طبقه‌بندی مناطق اولویت‌دار برای احیای پوشش گیاهی در مقیاس حوزه آبخیز، به‌طور ویژه در حوزه آبخیز شازند استان مرکزی برنامه‌ریزی شده است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز شازند یکی از زیرآبخیزهای دریاچه نمک است که با مساحت ۱۷۴۰ کیلومتر مربع با دامنه ارتفاعی آبخیز از ۱۸۲۰ تا بیش از ۳۳۰۰ متر، متوسط بارندگی سالیانه حوزه آبخیز شازند ۴۲۰ میلی‌متر، متوسط دمای سالیانه آن ۱۲ درجه سانتی‌گراد و اقلیم نیمه‌خشک معتدل تا نیمه‌خشک سرد در جنوب غربی استان مرکزی واقع شده است. آبخیز مذکور شامل ۱۰ بخش بوده که پنج شهر شازند، آستانه، مهاجران، شهباز و توره و همچنین ۱۱۰ روستا را در خود جای داده است (داوودی‌راد و همکاران، ۲۰۱۶؛ ذبیحی سیلابی و همکاران، ۲۰۲۴). نمای عمومی از حوزه آبخیز شازند، زیرآبخیزهای مطالعاتی، موقعیت مراکز مهم شهری و صنعتی در شکل (۱) نمایش داده شده است.

گویای آن بود که اقلیم (بین‌سالیانه و درون‌سالیانه) و ویژگی‌های حوزه آبخیز، کنترل‌های حیاتی بر آستانه‌های اختلال جنگل اعمال می‌کنند. حوزه‌های آبخیز با نسبت بارش برف بیشتر، عدم تطابق زمانی تقاضای انرژی و عرضه آب در مقیاس درون‌سالیانه، بوم‌سازگان‌های متنوع کمتر و اندازه حوزه‌های آبخیز بزرگ‌تر آستانه اختلال جنگل کمتری دارند. در داخل کشور نیز صائمی‌پور و همکاران (۲۰۱۸) تاب‌آوری گروداران^۱ محلی در مواجهه با خشکسالی در روستای نردین استان سمنان را سنجش و ارزیابی کردند. نتایج یافته‌ها نشان می‌دهد تاب‌آوری بهره‌برداران این روستا از میانه مطلوب پایین‌تر بوده و در وضعیت نامساعدی هستند. همچنین نتایج نشان داد که این افراد از لحاظ مؤلفه اجتماعی-فرهنگی، اقتصادی و طبیعی بیشترین میزان تاب‌آوری را داشته ولی از لحاظ مؤلفه نهادی دارای سطح پایینی از تاب‌آوری هستند. میرچولی و همکاران (۲۰۱۸) نیز به ارزیابی اجمالی پایداری حوزه آبخیز شازند با استفاده از تغییرات زمانی و مکانی پوشش گیاهی پرداختند. نتایج پژوهش نشان داد روند تغییرات پوشش گیاهی از سال ۱۳۶۵ تا ۱۳۸۷ کاهش یافته و سپس در سال ۱۳۹۵ بهبود یافته است. در پژوهشی دیگر در حوزه آبخیز شازند، حزباوی و همکاران (۲۰۱۸) به ارزیابی سلامت حوزه آبخیز براساس پوشش زمین در سال ۲۰۱۴ پرداختند. نتایج پژوهش مذکور نیز حاکی از آن بود که حوزه آبخیز شازند در سال مذکور از لحاظ پوشش گیاهی در وضعیت نسبتاً ناسالم قرار داشته است. جعفری و امانی (۲۰۲۳) نیز در پژوهشی آستانه‌های هیدرولوژیک حوزه آبخیز دریاچه ارومیه را بررسی کردند. نتایج بیانگر آن بود که حجم مخزن ۴۶ سد در ۱۲ زیرآبخیز (۱۶۲۸/۶۸ میلیون متر مکعب) حدود ۲۱ درصد از حجم کل رواناب آبخیز را به خود اختصاص داده‌اند، این عدد تا سال ۱۹۹۶ در حدود ۱۳ درصد بوده و در سال ۲۰۱۳ به ۲۱/۸ درصد رسیده است. در سال ۱۹۷۰ نیز با ساخت سد مهاباد با حجم مخزن ۱۹۷/۸ میلیون متر مکعب، حجم مخزن سدها از آستانه محیطی گذشته و کاهش تراز آب دریاچه، غیرقابل بازگشت به گذشته شده است. اخیراً نیز کاظمی و



شکل (۱): نمای عمومی و موقعیت حوزه آبخیز شازند در استان مرکزی و کشور

Figure (1): General view and location of the Shazand Watershed in the Markazi Province, Iran

مذکور، کاربری مسکونی نیز غالب است (ذبیحی سیلابی و همکاران، ۲۰۲۴).

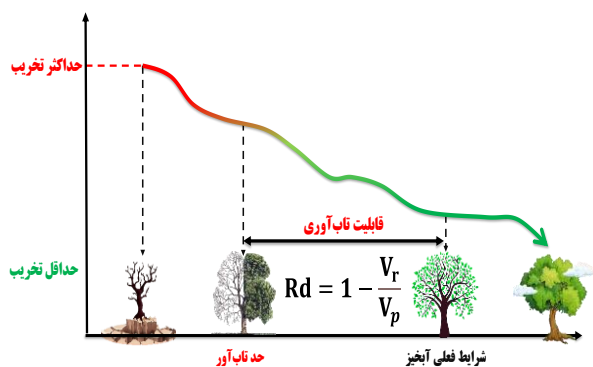
ارزیابی تغییرات پوشش گیاهی در حوزه آبخیز شازند
 شاخص نرمال شده تفاضل پوشش گیاهی^۲ (NDVI) به دلیل حساسیت بالای آن به تغییرات پوشش گیاهی، ابزاری رایج و معتبر برای ارزیابی وضعیت پوشش گیاهی در مناطق کشاورزی، جنگل‌ها و حتی مناظر شهری محسوب می‌شود (فاطمی‌آزهارا، ۲۰۲۴). این شاخص به‌طور گسترده برای پایش سلامت حوزه آبخیز و بررسی اثرات فعالیت‌های انسانی بر زیستگاه‌های مختلف مورد استفاده قرار گرفته است (حزباوی و همکاران، ۲۰۱۸؛ مهتا^۳ و همکاران، ۲۰۲۱). علاوه بر این، وابستگی NDVI به میزان رطوبت خاک، آن را به یک شاخص ارزشمند برای ارزیابی روند بیابان‌زایی و اثربخشی اقدامات مدیریتی در مناطق خشک و نیمه‌خشک تبدیل کرده است (ژانگ^۴ و همکاران،

مهم‌ترین واحدهای صنعتی آبخیز شازند نیز شامل پتروشیمی، پالایشگاه و نیروگاه حرارتی هستند که در دشت شازند واقع شده و به‌تدریج بعد از سال ۱۳۶۷ بهره‌برداری شده‌اند. بهره‌برداری طرح‌های ذکر شده منجر به افزایش جمعیت و تغییرات شدید کاربری/پوشش اراضی شده و در نتیجه باعث تغییر رفتار فرایندهای هیدرولوژیکی و سلامت حوزه آبخیز شازند شده است (داوودی‌راد و همکاران، ۲۰۱۶؛ صادقی و حزباوی، ۲۰۱۷). حوزه آبخیز شازند با توجه به عواملی از قبیل شکل عمومی ناهمواری‌ها، میزان تراکم آبراهه‌ها، وسعت و همچنین خط‌الرأس‌های موجود به ۲۴ زیرآبخیز تقسیم شده است (دارابی و همکاران، ۲۰۱۳). در همین راستا در مقیاس زیرآبخیز نیز حداکثر و حداقل بارندگی به‌ترتیب مربوط به زیرآبخیزهای ۳ (۵۱۴ میلی‌متر) و ۹ (۳۵۵ میلی‌متر) است (پایگاه ارائه آمار پایه، ۱۴۰۱). همچنین کاربری اراضی اکثر زیرآبخیزهای مطالعاتی شامل مرتع و کشاورزی است. باین‌حال در زیرآبخیزهای ۶، ۷، ۱۰، ۲۱ و ۲۲ علاوه بر کاربری‌های

2. Normalized Difference Vegetation Index
 3. Mehta
 4. Zhang

1. Portal for Providing Basic Statistics

که در آن R_d شاخص تاب‌آوری آبخیز، V_r و V_p به ترتیب مقدار شاخص پوشش گیاهی در حالت تاب‌آور و شاخص پوشش گیاهی متوسط زیرآبخیز است.



شکل (۲): نمایی مفهومی ظرفیت تاب‌آوری آبخیز
Figure (2): Conceptual view of watershed resilience capacity

دامنه تغییرات R_d در محدوده -1 تا $+1$ است. زمانی که R_d به سمت صفر میل می‌کند، نشانگر آن است که وضعیت پوشش گیاهی فعلی حوزه آبخیز بسیار نزدیک به حد تاب‌آور پوشش گیاهی است و حوزه آبخیز ظرفیت کمی برای دوری از شرایط تاب‌آور دارد. به عبارت دیگر، زمانی که میانگین شاخص با حد تاب‌آور شاخص پوشش گیاهی برابر است، مقدار R_d برابر با صفر خواهد بود. مقادیر منفی R_d نیز حاکی از آن است که مقدار پوشش گیاهی فعلی از حد تاب‌آوری پایین‌تر رفته و پوشش گیاهی حوزه آبخیز دیگر قابلیت برای انجام کارکرد اصلی خود را ندارد و نیازمند اقدام مدیریتی مناسب و فوری است. از سوی دیگر، زمانی که میانگین پوشش گیاهی حوزه آبخیز وضعیت خوبی داشته و وضعیت آن بسیار بالاتر از حد تاب‌آوری است، مقدار R_d به سمت یک میل می‌کند. بر همین اساس با استفاده از شاخص ظرفیت تاب‌آوری می‌توان برنامه‌های مدیریتی مناسب برای بازیابی پوشش گیاهی را اتخاذ کرد.

برای محاسبه شاخص ظرفیت تاب‌آوری پوشش گیاهی، میانگین بلندمدت و حداقل NDVI سالانه در هر زیرآبخیز به ترتیب به عنوان مقدار شاخص پوشش گیاهی در حالت متوسط و تاب‌آور انتخاب و شاخص ظرفیت تاب‌آوری پوشش گیاهی در هر زیرآبخیز برآورد شد. در ادامه، ظرفیت تاب‌آوری زیرآبخیزهای مطالعاتی در یکی از شش طبقه خیلی زیاد (-1 تا $0/81$)، نسبتاً زیاد ($0/81$ تا $0/61$)، متوسط ($0/61$ تا $0/41$)، نسبتاً

کم ($0/41$ تا $0/21$)، همچنین، مطالعات مختلف از جمله زی^۱ و همکاران (۲۰۱۵) بیان کرده‌اند که تنوع فصلی NDVI می‌تواند در درک پویایی پوشش گیاهی در اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک نقش کلیدی داشته باشد. با توجه به این شواهد و ویژگی‌های شاخص NDVI، این شاخص در ارزیابی تغییرات پوشش گیاهی حوزه آبخیز شازند که دارای اقلیم نیمه‌خشک معتدل تا نیمه‌خشک سرد است، مطابق رابطه (۱) مورد استفاده قرار گرفت.

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (1)$$

که در آن NIR و RED به ترتیب بازتاب طیفی در باندهای مادون قرمز نزدیک و قرمز ماهواره لندست است (توکر^۲ و همکاران، ۲۰۰۱). در همین راستا در ابتدا تغییرات بلندمدت شاخص پوشش گیاهی به صورت مجزا در هریک از زیرآبخیزهای مطالعاتی شازند با استفاده از NDVI در دوره زمانی ۱۳۶۷ (قبل از احداث صنایع در آبخیز مطالعاتی) تا ۱۴۰۲ ارزیابی شد. از همین رو از سامانه Google Earth Engine برای برآورد NDVI با دامنه تغییرات -1 و $+1$ استفاده شد. در این راستا تمامی تصاویر مربوط به سنجنده‌های مختلف ماهواره LANDSAT با درصد ابر کمتر از ۱۰ درصد برای زیرآبخیزهای مطالعاتی دریافت شد سپس تمامی تصاویر دارای پوشش برف از فرایند محاسبات حذف شدند. در نهایت میانگین NDVI سالانه با میانگین‌گیری از تمامی تصاویر باقی‌مانده برای هریک از زیرآبخیزها برآورد شد (سلطانی و محمدنژاد، ۲۰۲۱).

ارزیابی شاخص ظرفیت تاب‌آوری پوشش گیاهی در حوزه آبخیز شازند

بر اساس شکل (۲) شاخص ظرفیت تاب‌آوری حوزه آبخیز، شاخصی است که در آن کشسانی و قابلیت حوزه آبخیز برای گرایش آن به سمت وضعیت تاب‌آور بررسی می‌شود. بر این اساس برای تعیین شاخص ظرفیت تاب‌آوری و همچنین اولویت‌بندی پوشش گیاهی حوزه آبخیز شازند از رابطه پیشنهادی (۲) استفاده شد.

$$R_d = 1 - \frac{V_r}{V_p} \quad (2)$$

1. Xie
2. Tucker

نتایج

در پژوهش حاضر وضعیت پوشش گیاهی زیرآبخیزهای مطالعاتی با تکیه بر شاخص ظرفیت تاب‌آوری پوشش گیاهی در شش طبقه ظرفیت تاب‌آوری بسیار بالا تا پایین‌تر از حد تاب‌آوری طبقه‌بندی شدند (جدول ۱). نتایج حاصل از ظرفیت تاب‌آوری پوشش گیاهی در زیرآبخیزهای مورد مطالعه، در جدول (۱) و شکل (۳) ارائه شده است. براساس نتایج، ظرفیت تاب‌آوری پوشش گیاهی در حوزه آبخیز شازند در محدوده ۰/۰۵ - ۰/۲۳ است.

کم (۰/۲۱-۰/۴۰)، کم (۰/۰۰-۰/۲۰) و خارج از حد تاب‌آور (۰-۱) طبقه‌بندی شد. اولویت‌بندی زیرآبخیزهای مطالعاتی نیز براساس مقدار شاخص ظرفیت تاب‌آوری پوشش گیاهی به‌گونه‌ای صورت پذیرفت که زیرآبخیزهای با مقادیر بیشینه و کمینه پوشش گیاهی به‌ترتیب در اولویت اول و آخر قرار گرفتند. از سوی دیگر برای ارزیابی صحت نتایج حاصل از شاخص ظرفیت تاب‌آوری پوشش گیاهی بازدیدی در بهار ۱۴۰۲ از آبخیز مطالعاتی صورت گرفت. در بازدید صورت‌گرفته عوامل مؤثر بر تخریب پوشش گیاهی در غالب زیرآبخیزها شناسایی و عوامل مؤثر در تخریب و کاهش ظرفیت تاب‌آوری زیرآبخیزهای مطالعاتی ارزیابی شد.

جدول (۱): ظرفیت تاب‌آوری و اولویت‌بندی زیرآبخیزهای مطالعاتی مبتنی بر شاخص ظرفیت تاب‌آوری پوشش گیاهی

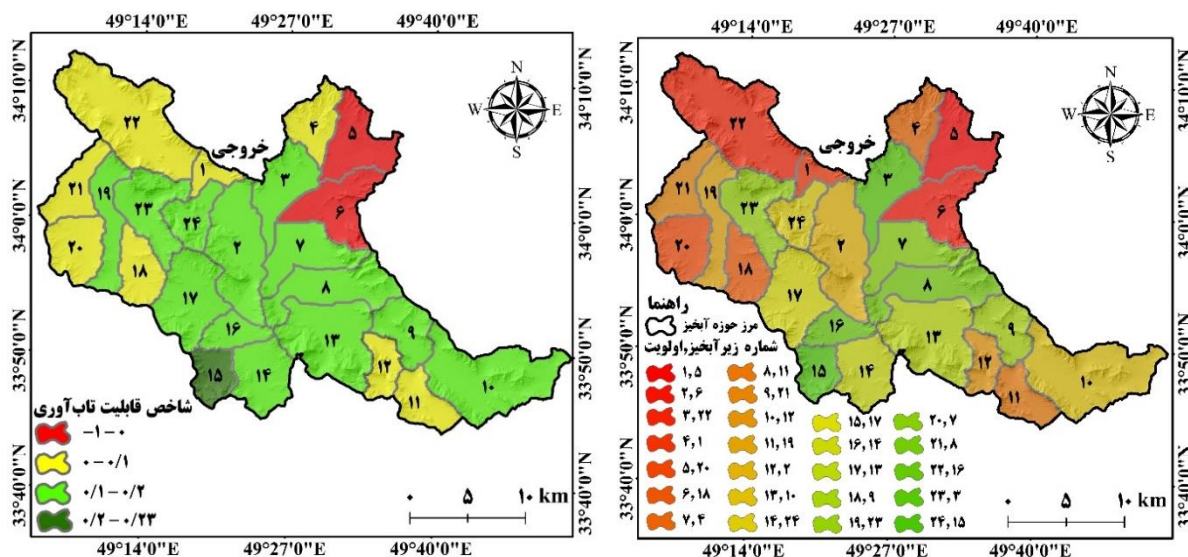
اولویت	طبقه ظرفیت تاب‌آوری	شاخص ظرفیت تاب‌آوری	حد تاب‌آور پوشش گیاهی	شاخص پوشش گیاهی متوسط	زیرآبخیز
۴	کم	۰/۰۶	۰/۱۶	۰/۱۷	۱
۱۲	کم	۰/۱۱	۰/۱۶	۰/۱۸	۲
۲۳	کم	۰/۱۹	۰/۱۳	۰/۱۶	۳
۷	کم	۰/۰۷	۰/۰۹	۰/۱۰	۴
۱	خارج از محدوده تاب‌آوری	-۰/۰۵	۰۰/۱	۰/۱۰	۵
۲	خارج از محدوده تاب‌آوری	-۰/۰۲	۰۰/۱	۰/۱۰	۶
۲۰	کم	۰/۱۵	۰/۱۶	۰/۱۹	۷
۲۱	کم	۰/۱۸	۰/۱۴	۰/۱۷	۸
۱۸	کم	۰/۱۴	۰/۱۱	۰/۱۳	۹
۱۳	کم	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۱۲	۱۰
۸	کم	۰/۰۸	۰/۱۲	۰/۱۳	۱۱
۱۰	کم	۰/۰۹	۰/۱۳	۰/۱۴	۱۲
۱۷	کم	۰/۱۴	۰/۱۵	۰/۱۷	۱۳
۱۶	کم	۰/۱۴	۰/۱۳	۰/۱۵	۱۴
۲۴	نسبتاً کم	۰/۲۳	۰/۱۴	۰/۱۸	۱۵
۲۲	کم	۰/۱۹	۰/۱۵	۰/۱۸	۱۶
۱۵	کم	۰/۱۲	۰/۱۴	۰/۱۶	۱۷
۶	کم	۰/۰۷	۰/۱۳	۰/۱۴	۱۸
۱۱	کم	۰/۱۱	۰/۱۳	۰/۱۵	۱۹
۵	کم	۰/۰۶	۰/۱۳	۰/۱۴	۲۰
۹	کم	۰/۰۹	۰/۱۲	۰/۱۳	۲۱
۳	کم	۰/۰۳	۰/۱۲	۰/۱۲	۲۲
۱۹	کم	۰/۱۴	۰/۱۲	۰/۱۴	۲۳
۱۴	کم	۰/۱۱	۰/۱۴	۰/۱۶	۲۴

پوشش گیاهی موجود در هر زیرآبخیز باشد، زیرآبخیز ۴ دومین زیرآبخیزی خواهد بود که اقدامات مدیریتی در آن انجام می‌شود و زیرآبخیز ۷ به سبب داشتن حداکثر پوشش گیاهی در اولویت آخر برای اقدامات مدیریتی قرار می‌گیرد. این درحالی است نتایج حاصل از شاخص ظرفیت تاب‌آوری نشان داد که زیرآبخیزهای ۷ و ۱۶ به‌رغم داشتن حداکثر پوشش گیاهی در مقایسه با غالب زیرآبخیزها، به‌ترتیب در اولویت‌های ۲۰ و ۲۲ (شکل ۳) برنامه‌های مدیریتی برای احیای پوشش گیاهی قرار دارند.

برای صحت‌سنجی نتایج پژوهش نیز از بازدیدهای میدانی استفاده شد. در این بازدید که در فصل بهار صورت گرفت، یافته‌های حاصل از شاخص ظرفیت تاب‌آوری با مشاهدات میدانی و فعالیت‌های مخرب انسانی در حوزه آبخیز شازند تطبیق داده شد. نتایج نشان داد که زیرآبخیزهایی با ظرفیت تاب‌آوری پایین، عمدتاً در مناطقی قرار دارند که تحت تأثیر تخریب گسترده انسانی، از جمله گسترش صنایع و معادن بوده‌اند (شکل ۴). همچنین غالب زیرآبخیزهای با ظرفیت تاب‌آوری بالا در محدوده مناطق حفاظت‌شده پراکنش دارند.

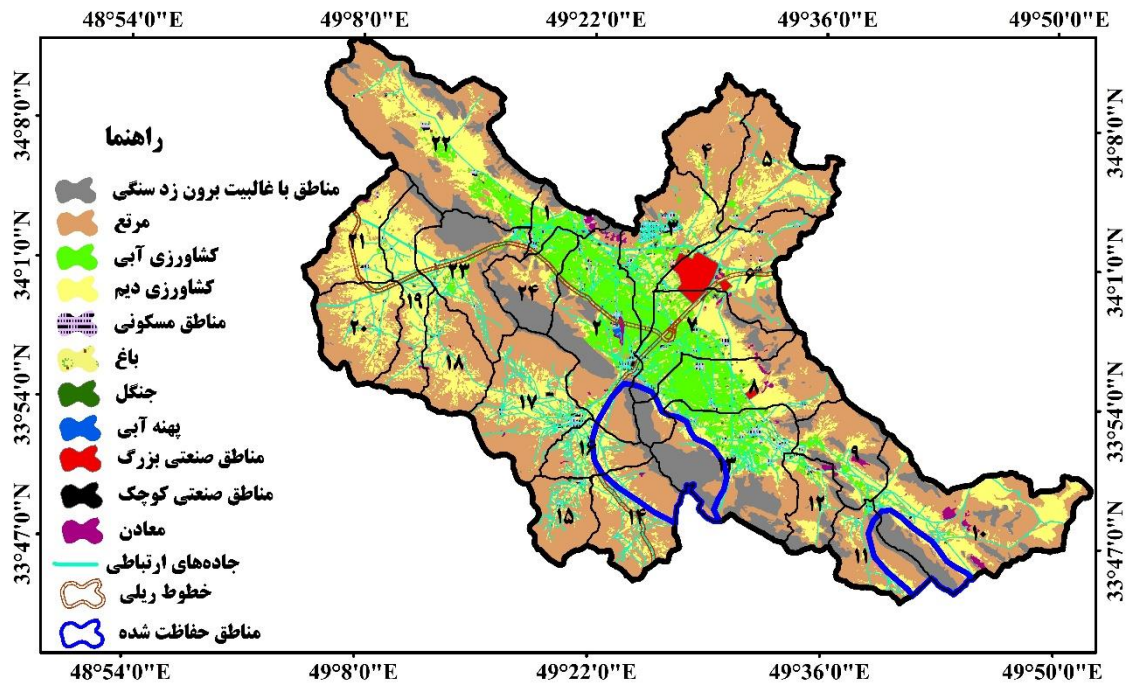
نتایج نشان داد میانگین شاخص پوشش گیاهی در سطح آبخیز ۰/۱۵ است. همچنین کمترین و بیشترین شاخص پوشش گیاهی نیز به‌ترتیب مربوط به زیرآبخیزهای ۵ و ۷ است. براساس شاخص ظرفیت تاب‌آوری پوشش گیاهی، زیرآبخیزهای ۵ و ۶ اولین زیرآبخیزهایی خواهند بود که باید اقدامات مدیریتی در آنها لحاظ شود. توجه به زیرآبخیزهای در آستانه عبور از محدوده ظرفیت تاب‌آوری از نظر مدیریت منابع طبیعی و طبیعتاً جلوگیری از تخریب بیشتر بوم‌سازگان بسیار حائز اهمیت است. درعین حال، زیرآبخیزهای با وضعیت عبور از ظرفیت تاب‌آوری نیز از اولویت بالایی نسبت به سایر مناطق برخوردارند؛ زیرا این مناطق دیگر قادر به حفظ کارکردهای بوم‌شناختی خود نیستند و بیشترین نیاز را به مداخلات مدیریتی دارند. اقداماتی که در این مناطق صورت می‌گیرد می‌تواند به بازگرداندن پوشش گیاهی به یک شرایط نسبی پایدار منجر شود.

نتایج همچنین نشان داد میزان شاخص پوشش گیاهی زیرآبخیز ۴ تنها از زیرآبخیز ۵ بیشتر ولی در اولویت ۷ برای اقدامات مدیریتی قرار گرفته است. از همین رو باید توجه داشت در صورتی که مبنای انجام اقدامات مدیریتی، میانگین



شکل (۳): پراکنش مکانی ظرفیت تاب‌آوری (سمت راست) و اولویت‌بندی زیرآبخیزها (سمت چپ) مبتنی بر شاخص ظرفیت تاب‌آوری پوشش گیاهی

Figure (3): Spatial distribution of resilience capacity (right) and prioritization of sub-watersheds (left) based on the vegetation resilience capacity index



شکل (۴): پراکنش مکانی کاربری/پوشش اراضی، مناطق صنعتی، معدنی و مناطق حفاظت شده در حوزه آبخیز شازند استان مرکزی

Figure (4): Spatial distribution of land use/land cover, industrial and mining areas, and protected regions

خاک می‌توانند مفید باشند. درحالی‌که برای مناطق با توانمندی پوشش گیاهی پایین، راهبردهای جایگزین مانند تمرکز بر حفظ شرایط موجود یا تمرکز بر افزایش ارائه سایر خدمات بوم‌سازگانی مناسب‌تر است. در همین ارتباط چائوهان^۲ و همکاران (۲۰۲۴) نیز بیان می‌کنند که تلاش‌های بازیابی در مناطق اولویت‌دار می‌تواند به‌طور چشمگیری خدمات بوم‌سازگان را افزایش دهد و به انعطاف‌پذیری کلی بوم‌سازگان کمک کند.

بحث و نتیجه‌گیری

در این پژوهش، زیرآبخیزهای بحرانی براساس رویکرد ظرفیت تاب‌آوری پوشش گیاهی اولویت‌بندی شده‌اند. در روش‌های معمول اولویت‌بندی، زیرآبخیزهای با کمترین میزان پوشش گیاهی، به‌عنوان اولویت‌های اصلی در نظر گرفته می‌شوند. با این حال در رویکرد ظرفیت تاب‌آوری پوشش گیاهی، زیرآبخیز با اولویت بالا، زیرآبخیزی است که میانگین بلندمدت پوشش گیاهی آن به حد تاب‌آور یا آستانه پوشش گیاهی نزدیک‌تر است. تحلیل مقایسه‌ای رویکردهای متداول در مقابل رویکرد ارائه‌شده در پژوهش حاضر نشان می‌دهد که روش‌های

ازسوی دیگر نتایج (جدول ۱) حاکی از آن است که میانگین و کمینه NDVI زیرآبخیز ۴ در مقایسه با غالب زیرآبخیزها کم است. این مشاهده جالب توجه است؛ زیرا نشان می‌دهد که زیرآبخیز ۴، علی‌رغم داشتن مقادیر میانگین NDVI پایین‌تر، دارای ظرفیت تاب‌آوری پوشش گیاهی بالاتر از شش زیرآبخیز دیگر است (شکل ۳). بنابراین می‌توان دریافت میزان پوشش گیاهی زیرآبخیز ۴ در طول بازه زمانی مورد مطالعه در مقایسه با اغلب زیرآبخیزها کم بوده است که می‌تواند ناشی از ویژگی‌های ذاتی آبخیز مانند زمین‌شناسی یا بارش محدود باشد؛ از همین رو زیرآبخیز ۴ به‌دلیل توانمندی محدود آن برای بهبود قابل توجه پوشش گیاهی، به‌عنوان زیرآبخیز با اولویت بالا برای مدیریت در نظر گرفته نمی‌شود. همان‌طور که جانز^۱ و همکاران (۲۰۱۹) پیشنهاد می‌کنند، تمرکز بر تلاش‌های مدیریتی در مناطقی با توانمندی بیشتر برای پاسخ مثبت، کارآمدتر از هدف قرار دادن مناطقی است که بهبود پوشش گیاهی در آنها حاشیه‌ای خواهد بود. بر همین اساس برای کاربست راهبردهای مدیریتی در زیرآبخیزهای با توانمندی بالای پوشش گیاهی اقداماتی نظیر احیای جوامع گیاهی تخریب‌شده و بهبود نفوذپذیری آب با هدف افزایش پوشش گیاهی و فرسایش

زیرآبخیزها، به‌ویژه زیرآبخیزهای ۵ و ۶، خارج از آستانه یا بسیار نزدیک به آستانه‌های پوشش گیاهی خود قرار دارند، که نیازمند اقدامات فوری برای بازیابی^۸ شرایط آن‌ها از اختلالات محیطی است.

نتایج حاصل از جدول (۱) همچنین بیانگر آن است که ظرفیت تاب‌آوری غالب زیرآبخیزها کم است. در همین راستا نتایج حزباوی و همکاران (۲۰۱۸) نیز حاکی از آن بود که حوزه آبخیز شازند از لحاظ پوشش گیاهی در وضعیت نسبتاً ناسالم قرار داشت. در مطالعه ذکرشده سلامت آبخیز براساس پوشش زمین تنها برای سال ۲۰۱۴ ارزیابی شده است؛ در صورتی که در پژوهش حاضر ارزیابی وضعیت پوشش گیاهی در یک دوره طولانی مدت مد نظر بوده است. ازسوی دیگر نتایج پژوهش میرچولی و همکاران (۱۳۹۷) نیز بیانگر آن بود که وضعیت حوزه آبخیز شازند از نظر پوشش گیاهی در وضعیت سالم و پایداری قرار ندارد که با نتایج پژوهش حاضر هم‌راستا است.

نتایج نشان داد وضعیت پوشش گیاهی زیرآبخیزهای ۱۵، ۳ و ۱۶ در مقایسه با سایر زیرآبخیزها بهتر است. بررسی‌های میدانی نشان داد که حوزه آبخیز شازند یکی از آبخیزهای با فعالیت‌های گسترده صنعتی و معدنی است. باین‌حال هیچ‌گونه فعالیت صنعتی و معدنی در زیرآبخیز ۱۵ صورت نگرفته است (شکل ۴). بر همین اساس می‌توان دریافت زیرآبخیز ۱۵ یکی از معدود زیرآبخیزهای با کمترین دخالت‌های انسانی است و پوشش گیاهی آن در شرایط فعلی در مقایسه با غالب زیرآبخیزها در شرایط مطلوبی در مقایسه با حد آستانه خود قرار دارد. همچنین بررسی‌ها حاکی از آن است که بخش اعظم زیرآبخیزهای ۲۲، ۱۳ و ۱۴ را مناطق حفاظتی تشکیل می‌دهند. بررسی اولویت زیرآبخیزهای مذکور (جدول ۱ و شکل ۳) نیز نشان داد که زیرآبخیزهای ۲۲، ۱۳ و ۱۴ به‌ترتیب در اولویت‌های ۲۲، ۱۶ و ۱۷ برای انجام اقدامات مدیریتی قرار دارند. از همین رو می‌توان دریافت مناطق حفاظتی نقش مهمی در راستای حفظ پوشش گیاهی زیرآبخیزهای مذکور از جمله زیرآبخیز ۱۶ ایفا کرده‌اند. در همین راستا نتایج آکوستا سالواترا^۹ سالواترا^۹ و همکاران (۲۰۱۷) نشان داد که مناطق حفاظت‌شده

ستی، همان‌طور که توسط گلیکا^۱ (۲۰۰۳) و پال وستل^۲ (۲۰۰۷) مورد بحث قرار گرفته است، اغلب بر اهداف کوتاه‌مدت در برابر ظرفیت بازیابی بلندمدت چشم‌پوشی می‌کنند. این تغییر در دیدگاه برای سیاست‌های مدیریت حوزه آبخیز با هدف حفظ پوشش گیاهی در شرایط آب‌وهوایی و کاربری اراضی در حال تغییر، حیاتی است. به گفته فولک^۳ و همکاران (۲۰۰۷)، راهبردهای مدیریت سازگار^۴ مبتنی‌بر تاب‌آوری می‌تواند آستانه‌ها را بهتر پیش‌بینی کرده و ظرفیت سازگار حوزه‌های آبخیز را بهینه سازند. بنابراین، راهبرد اولویت‌بندی این مطالعه بیانگر تغییری از مدیریت سنتی به سمت رویکردهای مبتنی‌بر شرایط پویای حوزه آبخیز است که ماهیت پویای سامانه آبخیز را به رسمیت می‌شناسد. در همین راستا برای پیشبرد این بینش‌ها به سمت سیاست‌های قابل‌اجرا، تصمیم‌گیرندگان باید رویکردهای مبتنی‌بر آستانه‌ها نیز موقع هنگام تدوین راهبردهای مدیریت حوزه آبخیز را در نظر بگیرند. واکر و سالت^۵ (۲۰۰۶) تأکید می‌کنند که سیاست‌های مبتنی‌بر تاب‌آوری برای مقابله با عدم قطعیت‌های ذاتی در سامانه‌های بوم‌شناختی پیچیده، مجهزترند و ارائه بلندمدت خدمات بوم‌سازگان^۶ را تضمین می‌کنند. همچنین لی^۷ و همکاران (۲۰۲۴) نیز به شناسایی مناطق اولویت‌دار براساس ویژگی‌های منطقه‌ای و آسیب‌پذیر تأکید می‌کنند که می‌تواند خدمات بوم‌سازگان را به‌طور مؤثر افزایش دهند. از همین رو نتایج حاکی از آن بود که بیشترین اختلاف بین میانگین NDVI و آستانه‌های پوشش گیاهی (حداقل NDVI) در زیرآبخیزهای ۱۵، ۳ و ۱۶ مشاهده می‌شود که به‌ترتیب در حدود ۲۳، ۱۹ و ۱۹ درصد است. ازسوی دیگر زیرآبخیزهای ۵، ۶، ۲۲، ۱، ۱۲، ۱۸، ۲۰، ۱۱، ۲۱ و ۱۰ اختلاف اندکی بین میانگین و حداقل NDVI در محدوده تقریبی صفر تا ۹/۸ درصد را نشان می‌دهند. این امر نشان می‌دهد درحالی‌که برخی زیرآبخیزها در شرایط بهتری نسبت به آستانه‌های پوشش گیاهی هستند، سایر

1. Gleick
2. Pahl-Wostl
3. Folke
4. Adaptive Management
5. Walker and Salt
6. Ecosystem Services
7. Lee

8. Restoration

9. Acosta Salvatierra

در شهر مهاجران ۱۲ متر مربع بیش از سرانه جهانی و ۲ متر مربع بیش از سرانه سازمان ملل متحد است (انصاری و همکاران، ۲۰۲۲). بر همین اساس می‌توان دریافت اگرچه تغییرات شدید کاربری/پوشش اراضی در زیرآبخیز ۳ قابل توجه بوده، سرانه بالای فضای سبز شهر مهاجران باعث افزایش شاخص پوشش گیاهی و در نتیجه کاهش اثرات شدید تغییرات کاربری پوشش اراضی شده است. در همین ارتباط انصاری و همکاران (۲۰۲۲) نیز بیان داشتند که در سال ۲۰۰۰ میانگین NDVI در شهر مهاجران کمترین میزان بوده و با توسعه فضای سبز در ۲۰ سال گذشته و در سال ۲۰۲۰ میانگین شاخص مذکور به بالاترین میزان خود رسیده که تأییدکننده نتایج پژوهش حاضر است. نتایج حاصل از بازدیدهای میدانی از زیرآبخیزهای ۵ و ۶ نیز حاکی از آن بود که زیرآبخیز ۵ نزدیک‌ترین زیرآبخیز به مرکز استان اراک و زیرآبخیز ۶ صنعتی‌ترین زیرآبخیز حوزه آبخیز شازند است (شکل ۱). نزدیک بودن به مراکز پرجمعیت و فعالیت‌های صنعتی شدید از جمله احداث پتروشیمی شازند، پالایشگاه و نیروگاه به‌عنوان عوامل مؤثر در تخریب پوشش گیاهی زیرآبخیزهای مذکور شناسایی شدند و اثرگذاری هم‌زمان عوامل مذکور باعث خارج شدن زیرآبخیزهای مذکور از آستانه پوشش گیاهی آن‌ها شده است. در همین ارتباط، مواد پتروشیمی می‌توانند تأثیرات منفی قابل‌توجهی بر پوشش گیاهی داشته باشند (چرناک^۴ و همکاران، ۲۰۲۱؛ یا^۵ و همکاران، ۲۰۲۲). تولید و فرآوری مواد پتروشیمی باعث انتشار انواع مختلفی از آلاینده‌ها مانند ترکیبات آلی فرار، هیدروکربن‌ها و فلزات سنگین می‌شود که می‌توانند محیط اطراف را آلوده کنند (مرادپور و همکاران، ۲۰۱۷؛ رلیکا^۷ و همکاران، ۲۰۱۹). این آلاینده‌ها می‌توانند در خاک‌ها و رسوبات نزدیک تأسیسات صنعتی جمع و منجر به آلودگی خاک و آب شوند. ازسوی دیگر قرار گرفتن در معرض آلاینده‌های پتروشیمی بر ویژگی‌های رشد گیاه از جمله کاهش زی‌توده، ارتفاع و سطح برگ تأثیر منفی می‌گذارد. با این حال درجه تأثیر بستگی به غلظت مواد موجود در خاک دارد

در بوم‌سازگان‌های نیمه‌خشک برزیل به‌رغم تغییرات آب‌وهوایی به حفظ پوشش گیاهی و سلامت آن‌ها کمک کرده است. همچنین مناطق حفاظت‌شده می‌توانند مزاحمت‌های ناشی از انسان مانند جنگل‌زدایی، چرای دام و تغییرات کاربری زمین را کاهش دهند (پایوا^۱ و همکاران، ۲۰۱۵). ازسوی دیگر نتایج مالوا^۲ و همکاران (۲۰۲۳) حاکی از آن بود که پوشش گیاهی در مناطق حفاظت‌شده دارای تراکم ساقه و سطح پایه بالاتر در مقایسه با مناطق غیرحفاظت‌شده است. این تفاوت به کاهش مزاحمت‌های انسانی در مکان‌های حفاظت‌شده نسبت داده می‌شود. با این حال ذکر این نکته ضروری است که نقش مناطق حفاظتی در افزایش ظرفیت زیرآبخیز ۲ کم‌رنگ است. فعالیت‌های گسترده معدنی و همچنین نزدیکی به فعالیت‌های صنعتی از جمله پتروشیمی و نیروگاه (شکل ۴) باعث کاهش نقش مناطق حفاظت‌شده در افزایش ظرفیت تاب‌آوری زیرآبخیز ۲ شده است. به‌هرحال، کاهش اثربخشی مناطق حفاظت‌شده در زیرآبخیز ۲ حاکی از آن است که نزدیکی به فعالیت‌های مخرب کاربری/پوشش اراضی می‌تواند اثربخشی حفاظتی مناطق حفاظت‌شده را به خطر بیندازد. در همین ارتباط نتایج پژوهش گنزالز-گارسیا^۳ و همکاران (۲۰۲۰) نشان داد که حتی مناطق حفاظت‌شده زمانی که در نزدیکی مناطق با فعالیت انسانی بالا مانند معدن‌کاری یا توسعه شهری قرار دارند ممکن است از فشارهای عوامل خارجی مانند شبکه‌های جاده‌ای، جنگل‌زدایی در نزدیکی مرزهای ذخیره‌گاهی و توسعه شهری در امان نباشند که نتایج پژوهش حاضر مؤید این موضوع است. ازطرفی دیگر زیرآبخیز ۳ یکی از زیرآبخیزهای با تغییرات شدید کاربری/پوشش اراضی است (شکل ۴). در این زیرآبخیز عملیات ساخت شهر مهاجران از سال ۱۳۶۹ با هدف تأمین سکونتگاه خانواده‌های کارکنان پالایشگاه، پتروشیمی و نیروگاه حرارتی شازند آغاز شد و اولین ساکنان آن در سال ۱۳۷۱ در آن اسکان یافتند. با این حال نکته قابل توجه در زیرآبخیز مذکور این است که با احداث شهر مهاجران فضای سبز شهری نیز به‌خوبی گسترش یافت، به‌طوری که در شرایط حاضر سرانه فضای سبز

4. Cherniak

5. Yi

6. Volatile Organic Compounds (VOCs)

7. Relić

1. Paiva

2. Malav

3. González-García

دهد. بر همین اساس از مفهوم حاصل از این شاخص می‌توان برای تحلیل وضعیت تاب‌آوری حوزه آبخیز در سایر مؤلفه‌ها از جمله مؤلفه‌های اقتصادی، اجتماعی، فرهنگی و محیط‌زیستی نیز استفاده کرد. این رویکرد نه تنها به تحلیل و شبیه‌سازی وضعیت کنونی بوم‌سازگان‌ها کمک می‌کند، بلکه می‌تواند به‌عنوان یک ابزار پیش‌بینی برای سنجش اثرات اقدامات مدیریتی و تغییرات آبی در بوم‌سازگان‌ها به کار رود.

قدردانی

مقاله حاضر برگرفته از رساله دکتری با مسئولیت استاد راهنماست.

(چرنیکا و همکاران، ۲۰۲۱). از سوی دیگر، تأسیسات صنعتی آلاینده‌های هوا مانند بنزن،^۱ تولوئن،^۲ اتیل بنزن^۳ و زایلن^۴ را منتشر می‌کنند که می‌توانند جو اطراف را آلوده کنند. آلاینده‌های ذکر شده می‌توانند روی پوشش گیاهی مجاور رسوب کنند و منجر به آلودگی بیشتر و اثرات بالقوه بر سلامت و رشد گیاهان شوند (بالترناس^۵ و همکاران، ۲۰۱۱؛ راگوتاما و آندرسون،^۶ ۲۰۱۷). بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که مناطق صنعتی می‌توانند اثرات مخرب قابل توجهی بر پوشش گیاهی از طریق آلوده‌سازی آب، خاک و هوا داشته باشند که نتایج پژوهش حاضر نیز مؤید آن است. از سوی دیگر نتایج حاکی از آن بود که براساس شاخص ظرفیت تاب‌آوری (شکل ۳) زیرآبخیز ۱ در اولویت ۴ برای برنامه‌های احیای پوشش گیاهی قرار گرفته است. بررسی وضعیت زیرآبخیز ۱ نشان داد که وجود معادن متعدد و همچنین تغییرات گسترده کاربری/پوشش اراضی یکی از عوامل اصلی تخریب پوشش گیاهی در زیرآبخیز مطالعاتی است و این تغییرات باعث شده است که وضعیت پوشش گیاهی زیرآبخیز مزبور به حدود آستانه آن نزدیک شود.

نتایج حاصل از ارزیابی شاخص ظرفیت تاب‌آوری آبخیز نشان داد که شاخص مذکور می‌تواند در شناسایی زیرآبخیزهای با بیشترین تخریب پوشش گیاهی و همچنین به‌عنوان یکی از روش‌های مناسب برای اولویت‌بندی زیرآبخیزها برای اقدامات مدیریتی استفاده شود. در همین راستا تونگوای و هیندالی^۷ (۲۰۰۴) و بستلمیر^۸ (۲۰۰۶) نیز بیان داشتند که مفاهیم آستانه می‌توانند در اولویت‌بندی برنامه‌های مدیریتی برای بازیابی مراتع در سطح بسیار وسیع مورد استفاده قرار گیرند.

نتایج این پژوهش بر لزوم اتخاذ اقدامات مدیریتی فوری به‌ویژه در زیرآبخیزهایی که ظرفیت تاب‌آوری پوشش گیاهی آنها پایین تأکید دارد. علاوه بر این، شاخص ظرفیت تاب‌آوری پوشش گیاهی به‌عنوان یک ابزار جامع می‌تواند به‌طور مؤثری تمامی ابعاد مرتبط با مدیریت حوزه آبخیز را مورد ارزیابی قرار

1. Benzene
2. Toluene
3. Ethylbenzene
4. Xylene
5. Baltrėnas
6. Ragothaman and Anderson
7. Tongway and Hindley
8. Bestelmeyer

منابع

- Acosta Salvatierra, L. H., Ladle, R. J., Barbosa, H., Correia, R. A., & Malhado, A. C. (2017). Protected areas buffer the Brazilian semi-arid biome from climate change. *Biotropica*, 49(5), 753-760.
- Ansari, A., Rajaeian, M., Fahimi, R., & Jamshidi, R., (2022). Environmental status assessing of the Mohajeran City with Green City Indicators. *Environmental Researches*, 12(24), 117-130. In Persian
- Baltrėnas, P., Baltrėnaitė, E., Šerevičienė, V., & Pereira, P., (2011). Atmospheric BTEX concentrations in the vicinity of the crude oil refinery of the Baltic region. *Environmental monitoring and assessment*, 182, 115-127.
- Bestelmeyer, B. T. (2006). Threshold concepts and their use in rangeland management and restoration: the good, the bad, and the insidious. *Restoration Ecology*, 14(3): 325-329.
- Chauhan, A., Roy, S., & Kundu, A. (2024). Assessing sediment dynamics and retention services in the vulnerable mountain ecosystem of the Indian Himalayas. *Environmental Monitoring and Assessment*, 196(10), 928.
- Chen, H., Tang, L., Qiu, Q., Hou, L., & Wang, B. (2020). Construction and case analysis of an index for the sustainability of ecosystem services. *Ecological Indicators*, 115: 106370.
- Cherniak, L., Mikhyeyev, O., Madzhd, S., Lapan, O., Dmytrukha, T., & Petrusenko, V., (2021). Determination of the dependence of the plant growth characteristics on the concentration of petrochemicals in the Soil. *Ecological Engineering*, 22(2), 226-233.
- Darabi, H., Solaimani, K., Shahedi, K., & Miryaghuzadeh, M. (2013). Sub-Watersheds Classification Based on Morphometric Parameters Using Cluster Analysis in Pol-Doab Shazand Watershed. *Water and Soil Science*, 22(4), 199-211. In Persian
- Davudi rad, A.A., Sadeghi, S.H.R., & Sadoddin., A., (2016). The impact of development plans on hydrological changes in the Shazand Watershed, Iran. *Land Degradation & Development*, 27(4): 1236-1244.
- Fatimazahra, E., Mohamed, T., & Salih, S., (2024). Assessment of the impact of covid-19 related containment on the normalized vegetation index – a remote sensing study of the korifla sub watershed, morocco. *Ecological Engineering & Environmental Technology*, 25(6), 1-9.
- Folke, C., Pritchard, L., Berkes, F., Colding, J., & Svedin, U. (2007). The problem of fit between ecosystems and institutions: Ten years later. *Ecology and Society*, 12(1), 30.
- Gao, Y., Zhong, B., Yue, H., Wu, B., & Cao, S., (2011). A degradation threshold for irreversible loss of soil productivity: a long-term case study in China. *Journal of Applied Ecology*, 48(5), 1145-1154.
- Gleick, P. H. (2003). Water use. *Annual Review of Environment and Resources*, 28(1), 275-314.
- González-García, A., Palomo, I., Arboledas, M., González, J. A., Múgica, M., Mata, R., & Montes, C., (2022). Protected areas as a double edge sword: An analysis of factors driving urbanisation in their surroundings. *Global Environmental Change*, 74, 102522.
- Hazbavi, Z., Sadeghi, S.H.R., & Gholamalifard, M. (2018). Land cover-based watershed health assessment. *AGROFOR International Journal*, 3, 47-55.
- Hou, Y., & Wei, X., (2024). Forest disturbance thresholds and cumulative hydrological impacts. *Water Resources Research*, 60(5), e2024WR037339.
- Jafari, G. H., & Amani, S. (2023). Hydrological thresholds of Urmia Water Basin. *Geography and Development*, 21(73), 47-69. In Persian
- Jones, K. B., Murdock, J. N., & Broughton, K. L. (2019). Evaluating watershed management strategies for improving water yield: Prioritizing areas for intervention. *Water Resources Management*, 33(8), 1235-1249.
- Kazemi, M. & Jafarpour, A. (2024). Identifying the threshold of variables affecting flood zones using machine learning technique (Case study: the downstream region of the Karun River). *Water and Soil Management and Modelling*, 4(1), 214-232. In Persian
- Lee, J., Park, M., Choi, B., Kim, J., & Na, E. H. (2024). Analyzing Priority Management for Water Quality Improvement Strategies with Regional Characteristics. *Water*, 16(10), 1333.
- Malav, A., Dadhich, P., & Jaiswal, P. (2023). Comparative study of Phytosociological status of herbs and Shrubs in Nanta forest region, Rajasthan, India. *Journal of Agriculture and Ecology Research International*, 24(6), 83-99.
- Mehta, A., Shukla, S., & Rakholia, S. (2021). Vegetation change analysis using normalized difference vegetation index and land surface temperature in greater Gir landscape. *Journal of Scientific Research*, 65(3), 1-6.
- Mirchooli, F., Sadeghi, S.H.R., & Khaledi Darvishan, A. (2018). Reconnaissance assessment of watershed sustainability using spatial and temporal variations of vegetation cover. 13th National Conference on Watershed Sciences and Engineering of Iran and the 3rd National Conference on Conservation of Natural Resources and Environment. University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. 1-6.
- Moradpour, Z., Shahna, F. G., Bahrami, A., Soltanian, A., & Hesam, G. (2017). Evaluation of

- volatile organic compounds at petrochemical complexes in Iran. *Health Scope*, 6(4). In Press.
25. Pahl-Wostl, C. (2007). Transitions towards adaptive management of water facing climate and global change. *Water Resources Management*, 21(1), 49-62.
 26. Paiva, R. J. O., Brites, R. S., & Machado, R. B., (2015). The role of protected areas in the avoidance of anthropogenic conversion in a high pressure region: a matching method analysis in the core region of the Brazilian Cerrado. *PLoS one*, 10(7), e0132582.
 27. Pires, A. P., Rezende, C. L., Assad, E. D., Loyola, R., & Scarano, F. R. (2017). Forest restoration can increase the Rio Doce watershed resilience. *Perspectives in ecology and conservation*, 15(3), 187-193.
 28. Portal for Providing Basic Statistics. (2022). Water Resources Management Company of Iran, Office of Basic Water Resources Studies. https://stu.wrm.ir/tbl_amarrequests_add.asp
 29. Ragothaman, A. & Anderson, W. A., (2017). Air quality impacts of petroleum refining and petrochemical industries. *Environments*, 4(3), 66.
 30. Relić, D., Sakan, S., Anđelković, I., Popović, A., & Đorđević, D. (2019). Pollution and health risk assessments of potentially toxic elements in soil and sediment samples in a petrochemical industry and surrounding area. *Molecules*, 24(11), 2139.
 31. Rezaei, R. & Ghaffarian, S. (2021). Monitoring forest resilience dynamics from very high-resolution satellite images in case of multi-hazard disaster. *Remote Sensing*, 13(20), 4176.
 32. 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*, 587, 168-176.
 33. Saemipoor, H., Ghorbani, M., & Malekian, A. (2018). Evaluating local beneficiary's resilience encountered with prolonged drought condition (Case study: Nardin village, Mayamey county, Semnan province). *Rangeland*, 12(1), 62-72. In Persian
 34. Soltani, N. & Mohammadnejad, V. (2021). Efficiency of Google Earth Engine (GEE) system in land-use change assessment and predicting it using CA-Markov model (Case study of Urmia plain). *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 12(3), 23-26. In Persian
 35. Sze, J. S., Carrasco, L. R., Childs, D., & Edwards, D. P. (2022). Reduced deforestation and degradation in Indigenous Lands pan-tropically. *Nature Sustainability*, 5(2): 123-130.
 36. Tongway, D. J. & Hindley, N. (2004). *Landscape function analysis manual: procedures for monitoring and assessing landscapes with special reference to minesites and rangelands*. Canberra, CSIRO Sustainable Ecosystems.
 37. Tucker, C.J., Slayback, D.A., Pinzon, J.E., Los, S.O., Myneni, R.B., & Taylor, M.G. (2001). Higher northern latitude normalized difference vegetation index and growing season trends from 1982 to 1999. *International Journal of Biometeorology*, 45(4): 184-19.
 38. Walker, B., & Salt, D. (2006). *Resilience thinking: Sustaining ecosystems and people in a changing world*. Washington, DC: Island Press.
 39. Xie, B., Jia, X., Qin, Z., Shen, J., & Chang, Q. (2015). Vegetation dynamics and climate change on the loess plateau, china: 1982–2011. *Regional Environmental Change*, 16(6), 1583-1594.
 40. Yi, M., Zhang, S., Li, M., Xiang, J., Tang, B., Yan, X., & An, T. (2022). Spatial distribution profiles and human-health risks of heavy metals in surrounding area surface soils of a petrochemical complex. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(24), 16930.
 41. Zabihi Silabi, M., Sadeghi, S.H.R., & Vafakhah, M., (2022). Concept and Necessity of Watershed Elasticity. *Extension and Development of Watershed Management*, 10(39), 30-37. In Persian
 42. Zabihi Silabi, M., Sadeghi, S.H.R., & Vafakhah, M., (2024). Soil erosion elasticity initiative for prioritizing sub-watersheds. *International Soil and Water Conservation Research*. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2024.12.001>.
 43. Zhang, Y., Wang, X., Li, C., Cai, Y., Yang, Z., & Yi, Y. (2018). NDVI dynamics under changing meteorological factors in a shallow lake in future metropolitan, semiarid area in North China. *Scientific reports*, 8(1), 15971.

Evaluation of the Vegetation Resilience Capacity Index in the Shazand Watershed, Markazi Province, Iran

Mostafa Zabihi Silabi¹, Seyed Hamidreza Sadeghi^{2*}, Mehdi Vafakhah³

Received: 27/12/2024

Accepted: 05/02/2024

Extended Abstract

Introduction: The sustainability of watersheds is influenced by a wide range of factors, including environmental conditions, land-use patterns, and the inherent resilience of the ecosystem. Resilience, in this context, refers to the ability of the watershed to withstand disturbances, adapt to changing conditions, and recover from environmental stressors such as droughts, floods, or land degradation. Understanding the resilience of a watershed is crucial for managing its resources effectively and ensuring its long-term ecological health. Identifying resilience threshold points in watersheds is particularly valuable, as these thresholds mark the critical limits beyond which the ecosystem may no longer be able to recover or function as it once did. These thresholds can help predict the behavior of these areas when faced with environmental disturbances or long-term changes, such as climate change or increased human activity. By recognizing these threshold points, watershed managers and policymakers can make more informed decisions about land and water management practices to avoid crossing these critical limits and to maintain or enhance the ecological stability of the area. Moreover, identifying resilience thresholds is essential for predicting the watershed's response to stress and improving management strategies. For example, understanding how various factors like vegetation cover, soil quality, and water availability influence resilience can help formulate adaptive management strategies that aim to restore or enhance the resilience of a watershed. These strategies include restoring degraded areas, improving land-use practices, and promoting sustainable resource management.

Materials and Methods: This study used the vegetation resilience capacity index to assess vegetation cover changes in the Shazand watershed in Markazi Province, Central Iran. This index was designed to evaluate the state of vegetation cover compared to the resilience threshold under various environmental changes. Initially, a time series of vegetation cover was estimated using the NDVI index, and the mean and minimum values of vegetation cover were considered as the current and resilient thresholds, respectively. Then, the resilience capacity index was calculated for 24 sub-watersheds, and the studied sub-watersheds were accordingly prioritized for management actions.

Results: The results of this study underscore the critical need to identify resilience thresholds within watersheds, as exceeding these thresholds in certain sub-watersheds can lead to severe consequences such as soil erosion, a decrease in water reserves, and a decline in biodiversity. The results showed that the resilience capacity of the study sub-watersheds ranged from -0.05 to 23.0, corresponding to sub-watersheds 5 and 15, respectively. The results also indicated that sub-watersheds 5 and 6 had exceeded their vegetation resilience threshold. Implementing targeted management programs for vegetation restoration and enhancing resilience in these vulnerable areas is crucial to prevent further degradation. Additionally, the study reveals that land-use changes can have opposing effects on vegetation resilience. In some regions, such changes have contributed to a decrease in resilience. In contrast, in other areas, such as near the Mohajeran, improvements in resilience were noted, which emphasizes the importance of proactive land management and the protection of vegetation cover. These findings highlight the role of sustainable land-use practices and the necessity of continuous monitoring to ensure the resilience of watershed ecosystems.

Discussion and Conclusion: In this study, the simple vegetation resilience capacity index was utilized as an innovative and effective tool to assess the resilience of vegetation in the Shazand Watershed. The results demonstrated that the resilience capacity of vegetation varied across different sub-watersheds, highlighting the need for tailored management approaches in certain areas to restore or enhance their resilience. Specifically, some sub-watersheds were found to be more vulnerable, requiring targeted interventions to prevent further degradation. Moreover, the study revealed that land-use management influences vegetation resilience, particularly in urban areas. Effective land management strategies, such as increasing vegetation cover in regions with significant land-use changes, were identified as key measures to improve the resilience capacity of the watershed. This approach not only helps mitigate environmental stressors but also enhances the ecological stability of the region. The findings of this research offer valuable insights and can be applied as a practical tool in management planning, facilitating the conservation and restoration of ecosystems within watersheds. Furthermore, the results can guide the development of efficient and sustainable strategies to combat environmental degradation, ensuring the long-term sustainability of vital natural resources.

Keywords: Integrated Watershed Management; Management Planning, Resilience Threshold, Watershed Elasticity.

1. Former Ph.D. Student of Watershed Science and Engineering, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University Noor, Mazandaran Province, Iran; Email: mostafa.zabihi@modares.ac.ir

2. Professor (Corresponding author) Department of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, Mazandaran Province, Iran; Email: sadeghi@modares.ac.ir

3. Professor, Department of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, University, Noor, Mazandaran Province, Iran; Email: vafakhah@modares.ac.ir

Doi: 10.22052/deej.2025.256065.1088