

Viability assessment of the Shazand Watershed in Markazi Province, Iran, using some hydroclimatic factors

Marjan Bahlekeh, Seyed Hamidreza Sadeghi*

Department of Watershed Engineering, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, Iran

*Corresponding author: sadeghi@modares.ac.ir

(Received: 06 December 2024

Revise: 14 January 2025

Accepted: 05 February 2025)

Extended Abstract

Introduction: The excessive exploitation of natural resources, driven by the unsustainable practices of human societies to meet growing population needs, has become a critical global issue, threatening the health and sustainability of watersheds. To mitigate these risks, effective management measures are essential to build resilient communities capable of withstanding natural events and disasters. Accurate quantification of ecological changes and the identification of key indicators for watershed management are crucial for promoting resilience and ecological sustainability. In this context, *viability*—defined as the ability of a watershed system to return to its resilience threshold—is a vital concept for assessing the restoration of health and sustainability. However, analyzing and evaluating viability requires a comprehensive understanding of the complex relationships among various variables. Despite its importance, no prior research has specifically addressed the assessment of watershed viability.

Materials and methods: This pioneering study aims to evaluate the viability of the Shazand Watershed in Markazi Province, Iran, based on its hydroclimatic characteristics. The study began by calculating selected hydroclimatic variables, followed by statistical analyses to identify and remove less relevant variables. Resilience and release thresholds were then determined for the remaining variables. The viability index was prioritized by comparing current conditions with these thresholds. Finally, the overall viability of the watershed was assessed by calculating the geometric mean of the hydroclimatic variables.

Results and Discussion: The modeling and zoning results revealed that the hydroclimatic viability index of the Shazand Watershed is 0.58, indicating an intermediate state. Notably, the prioritization of sub-watersheds using the viability method differs significantly from conventional estimation methods. While examining current conditions alone provides limited insights, comparing the variability of variables in resilient and release states with current conditions offers a more robust assessment. For instance, instead of taking management measures in sub-watershed 7 with high priority in the current conditions state, it is necessary to pay attention to sub-watershed 21 with viability, hydrological, and hydroclimatic priorities of 1, 4, and 1, respectively. Other high-priority watersheds include sub-watersheds 9, 20, 24, 16, 1, 11, and 15. The aforementioned sub-watersheds, especially 9, 20, and 11, are currently in good condition, but they have very low viability (high variability). Sub-watersheds 22, 5, and 4 are also among the sub-watersheds with high viability (low variability). By focusing on priority sub-watersheds, hydroclimatic conditions can be significantly improved, enhancing the stabilization of these areas. Key variables influencing viability include normal characteristic discharge and erosion rates, with industrial expansion in the region identified as a major driver of variability, particularly in sub-watersheds 3, 6, and 7.

Conclusion: This study demonstrates that identifying resilience and release thresholds for variables and comparing them with current conditions can help bring critical sub-watersheds closer to their resilience thresholds, preventing system collapse. Given the complexity of watershed systems and the multitude of factors influencing their performance, a comprehensive assessment of viability, incorporating all relevant variables, is essential for effective watershed management. The integration of modern technologies can further enhance our understanding of resources and environmental dynamics, ultimately improving comprehensive watershed management practices.

Keywords: Ecosystem Sustainability, Integrated Watershed Management, Released Threshold, Resilience Threshold, Watershed Elasticity.

Citation: Bahlekeh, M., & Sadeghi, S. H. (2025). Viability assessment of the Shazand Watershed in Markazi Province, Iran, using some hydroclimatic factors. *Integrated Watershed Management*, 5(3), 17-35. doi=10.22034/iwm.2025.2047457.1192

Copyrights:

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to Integrated Watershed Management. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>).



ارزیابی زیستایی حوزه آبخیز شازند استان مرکزی با استفاده از برخی معیارهای هیدرواقليمی

مرجان بهلکه، سیدحمیدرضا صادقی*

گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران

*نویسنده مسئول: sadeghi@modares.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۱۷

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۱۰/۲۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۹/۱۶

چکیده مبسوط

مقدمه: بهره‌برداری بیش‌ازحد از منابع طبیعی در ادامه رفتار نسنجیده جوامع بشری در راستای تأمین نیازهای ضروری جمعیت به یکی از مشکلات جدی کشورها تبدیل شده و سلامت و پایداری حوزه‌های آبخیز را تهدید می‌کند. انسان‌ها در هر نقطه از جهان نیاز دارند که اقدام‌های مدیریتی در راستای کاهش خطرها با هدف ساختن جوامع تاب‌آور در برابر رویدادها و بلایای طبیعی را انجام دهند. لذا کمی‌سازی دقیق روند تغییرات بوم‌شناختی و شاخص‌های مهم و تأثیرگذار برای مدیریت آبخیز از نظر تاب‌آوری و پایداری بوم‌شناختی ضروری است. در همین راستا، زیستایی (Viability) به مفهوم قابلیت سامانه آبخیز در برگشت به آستانه تاب‌آوری (Resilience) یکی از موضوعات مهم در ارزیابی توان بازیابی سلامت و پایداری است. از این‌رو برای تحلیل و ارزیابی آن می‌بایست شبکه‌ای از روابط متعدد بین متغیرهای مختلف مدنظر قرار گیرد. باین‌حال تاکنون پژوهشی در رابطه با ارزیابی زیستایی آبخیز گزارش نشده است.

مواد و روش‌ها: بر همین اساس مطالعه پیشگام حاضر با هدف ارزیابی زیستایی مبتنی بر ویژگی‌های هیدرواقليمی حوزه آبخیز شازند انجام شد. برای ارزیابی زیستایی هیدرواقليمی، در ابتدا متغیرهای هیدرواقليمی اولیه محاسبه شدند. سپس تجزیه و تحلیل‌های آماری متغیرهای هیدرواقليمی انجام و برخی متغیرها حذف و برای متغیرهای باقی‌مانده، آستانه‌های تاب‌آوری و رهاسازی تعیین شد. سپس اولویت‌بندی شاخص زیستایی با لحاظ شرایط فعلی، آستانه‌های تاب‌آوری و رهاسازی متغیرهای مطالعاتی به‌دست آمد. درنهایت درجه زیستایی با محاسبه میانگین هندسی متغیرهای هیدرواقليمی مشخص شد.

نتایج و بحث: با توجه به نتایج مدل‌سازی و پهنه‌بندی انجام‌شده، شاخص زیستایی هیدرواقليمی آبخیز شازند ۰/۵۸ و در وضعیت متوسط ارزیابی شد. قابل ذکر است اولویت‌بندی زیرآبخیزها با استفاده از روش زیستایی کاملاً متفاوت با روش‌های معمول برآوردی است. در این راستا بررسی شرایط فعلی با توجه به پویایی متغیرها به‌تنهایی نتایج قابل قبولی را ارائه نمی‌دهد و بررسی تغییرپذیری متغیرها در حالت تاب‌آور و رهاسازی و مقایسه فاصله آن‌ها با شرایط فعلی آبخیزها حائز اهمیت است. به‌طورمثال به‌جای انجام اقدامات مدیریتی در زیرآبخیز ۷ با اولویت بالا در حالت شرایط فعلی، توجه به زیرآبخیز ۲۱ با اولویت‌های زیستایی اقلیمی، هیدرولوژی و هیدرواقليمی به‌ترتیب ۴، ۱ و ۱ ضروری است. از دیگر آبخیزهای دارای اولویت بالا می‌توان به زیرآبخیزهای ۹، ۲۰، ۲۴، ۱۶، ۱، ۱۱ و ۱۵ اشاره کرد. زیرآبخیزهای مذکور و به‌خصوص ۹، ۲۰، ۱۱ در شرایط فعلی در شرایط وضعیتی خوبی قرار دارند ولی از لحاظ زیستایی بسیار پایین (تغییرپذیری بالا) هستند. همچنین زیرآبخیزهای ۲۲، ۵، ۴ جزو زیرآبخیزهایی با زیستایی بالا (تغییرپذیری پایین) می‌باشند. با ارزیابی زیستایی هیدرواقليمی و توجه به زیرآبخیزهای اولویت‌دار می‌توان شرایط هیدرواقليمی را به صورت چشم‌گیری در مقایسه با سایر زیرآبخیزها تغییر داد و حالت تثبیت زیرآبخیزها را بهبود بخشید. برای ایجاد حالت تثبیت در زیرآبخیزها توجه به متغیرهایی با تغییرپذیری بالاتر نسبت به متغیرهای دیگر کمک‌کننده خواهد بود. ازجمله متغیرهای مؤثر با توجه به نتایج این پژوهش می‌توان به دبی مشخصه نرمال و میزان فرسایش اشاره کرد. یکی از دلایل اصلی این تغییرپذیری را می‌توان به گسترش صنایع مختلف در منطقه و تأثیرات آن بر رژیم هیدرولوژی نسبت داد. زیرا اثرات این تغییرپذیری در زیرآبخیزهای ۳، ۶ و ۷ واقع در مراکز صنعتی بیشتر مشهود است.

نتیجه‌گیری: با توجه به نتایج این پژوهش با مشخص شدن آستانه‌های تاب‌آوری و رهاسازی متغیرها و مقایسه آن با شرایط فعلی می‌توان وضعیت زیرآبخیزهای بحرانی را به آستانه تاب‌آوری نزدیک و از رهاسازی سامانه جلوگیری کرد. همچنین به سبب پیچیدگی سامانه آبخیز و دخالت عوامل متعدد در عملکرد آن، ارزیابی جامع زیستایی آبخیز با لحاظ تمامی متغیرهای دخیل می‌تواند در مدیریت جامع حوزه آبخیز بسیار مؤثر باشد. به‌طورکلی استفاده از رویکردهای نوین در آبخیز می‌تواند با شناخت بهتر منابع و محیط، مدیریت جامع حوزه آبخیز را بهبود بخشد.

واژه‌های کلیدی: آستانه تاب‌آوری، آستانه رهاسازی، پایداری بوم‌سازگان، کشسانی آبخیز، مدیریت جامع آبخیز

استناد: بهلکه، م؛ و صادقی، س.ح. (۱۴۰۴). ارزیابی زیستایی حوزه آبخیز شازند استان مرکزی با استفاده از برخی معیارهای هیدرواقليمی. مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز، ۳۵(۳)، ۱۷-۳۵.

حق چاپ:



حق چاپ برای نویسنده (گان) این مقاله محفوظ است. بر اساس قوانین انتشارات با دسترسی آزاد، تمام مطالعات چاپ شده در این نشریه به‌صورت آزاد در وبسایت نشریه برای عموم بدون پرداخت هزینه قابل‌دسترس است.

مقدمه

امروزه حوادث و بلایای طبیعی بیش‌ازپیش جوامع انسانی را تهدید می‌کند. با گذشت زمان روند رو به افزایشی در تخریب منابع طبیعی وجود داشته و جهان، کنجکاو برای یافتن بهترین راه‌حل‌هاست؛ بنابراین انسان‌ها در هر نقطه از جهان نیاز دارند که اقدام‌های مدیریتی در راستای کاهش خطرهای با هدف ساختن جوامع تاب‌آور در برابر رویدادها و بلایای طبیعی را انجام دهند (Balsalobre- Lorente *et al.*, 2023). در این راستا داده‌های جهانی نیز نشان‌دهنده این واقعیت است که طی دو دهه اخیر، بلایای طبیعی با تکرار زیادی نسبت به گذشته به وقوع پیوسته و اثرات مخرب جانی و مالی زیادی به همراه داشته است. در طول ۱۰۰ سال گذشته تنها از نظر اقتصادی بلایای طبیعی رخ داده حدود ۲۹ میلیارد دلار برای کشور هزینه دربرداشته است (Seddighi & Seddighi, 2020). بخش عمده‌ای از این هزینه‌ها و سایر اقدامات صورت گرفته عمدتاً به جای بهبود تاب‌آوری در برابر این فجایع، بیشتر صرف مقابله و بازیابی ناقص آن‌ها شده است (Vahidi *et al.*, 2024). همچنین بلایای اتفاق افتاده در سال‌های اخیر بیان‌گر این موضوع است که جوامع و افراد به‌صورت فزاینده‌ای آسیب‌پذیرتر شده‌اند و خطرهای نیز افزایش یافته است.

در ایران خسارات ناشی از سیل گویای آسیب‌پذیری بسیار زیاد ایران در مقابل بلایای طبیعی است. آمار تلفات سیل منطقه تجریش تهران در سال ۱۳۶۶ با حدود ۳۰۰ کشته، سیل استان گلستان در سال ۱۳۸۰ با حدود ۵۰۰ کشته و سیل‌های سال ۱۳۹۸ با حدود ۷۷ نفر کشته و بیش از یک هزار زخمی تنها گوشه‌ای از خسارات سیل در ایران است؛ بنابراین برنامه‌ریزی برای مقابله با دفع خطرات

احتمالی بلایای طبیعی اهمیت زیادی دارد (Amirnejad *et al.*, 2021).

در این راستا، افزایش خطرات غالباً به دلیل وابستگی زیاد به طبیعت و عدم تعادل بین استفاده از منابع و تولید آن‌هاست (Liu *et al.*, 2023). همچنین تغییر الگوی زندگی و به‌تبع آن مصرف‌گرایی بشر و تغییرات سیاستی و اقتصادی جوامع به‌عنوان عوامل اصلی تخریب پایداری منابع طبیعی مطرح است (Khakipour, 2024). در همین ارتباط با توجه به اهمیت منابع طبیعی و نقش آن‌ها در اموری مانند حیات‌بخشی، تداوم برنامه‌های توسعه اقتصادی کشور و افزایش رفاه اجتماعی جامعه، ارزیابی وضعیت این منابع برای مدیریت صحیح و هدفمند آن‌ها برای حفظ، بهبود و همچنین بهره‌برداری اصولی در بلندمدت امری الزامی است (Fan & Wang, 2024). از آنجایی که بوم‌سازگان‌ها مهم‌ترین منبع تولید خدمات و کارکردهای موردنیاز بشر در جهان به‌شمار می‌روند و بخش بزرگی از خدمات گوناگون را برای میلیون‌ها انسان فراهم می‌کنند، مشکلات بوم‌شناختی به‌طور جدی تعادل بوم‌سازگان را ضعیف کرده است و بقای انسان را تهدید می‌کند (Vrsmarty *et al.*, 2013). بر همین اساس، اخیراً بررسی زمان و ماهیت تغییرات در بوم‌سازگان به‌عنوان یک چالش اساسی مطرح شده است، زیرا تغییر در بوم‌سازگان ناشی از فعالیت‌های غیرمنطقی انسان، تمام جلوه‌ها و جنبه‌های زندگی انسان را تحت تأثیر قرار داده است (Yang *et al.*, 2011)؛ لذا کمی‌سازی دقیق روند تغییرات بوم‌شناختی و شاخص‌های مهم و تأثیرگذار برای مدیریت آبخیز از نظر تاب‌آوری^۱ و پایداری بوم‌شناختی^۲ ضروری است (Chai & Lha, 2018). حوزه‌های آبخیز کشور به‌عنوان جزئی از بوم‌سازگان، به سبب تغییرات حاصل از فعالیت‌های انسانی

روزبه‌روز به سمت ناپایداری میل می‌کنند. چنان‌چه برخی از این تغییرات از آستانه حفاظتی حوزه‌های آبخیز عبور نماید، موجب کاهش سلامت و افت خدمات مورد انتظار از آبخیز خواهد شد (Mousavi *et al.*, 2021; Mohammadi Ostadkelayeh *et al.*, 2022). بر همین اساس و به‌منظور تقویت توان بازیابی^۱ سلامت و ایجاد پایداری بوم‌سازگان‌ها، مدل مفهومی زیستایی^۲ مورد توجه و مطالعه محققین قرار گرفته است.

زیستایی یک اصل مهم در ارزیابی توان بازیابی سلامت و پایداری است. به‌عبارت‌دیگر یک حوزه آبخیز موقعی زیست‌مستحکم باشد که بتواند پس از تحمل فشارهای وارده نسبت به بازیابی خود اقدام و مجدداً به محدوده تاب‌آوری وارد و سپس قادر به ارائه خدمات در جهت بهبود کیفیت آبخیز شود (Bahlekeh & Sadeghi, 2023). همچنین این مدل به‌دنبال شناسایی ویژگی‌های پویای جوامع و تعامل بین انسان و بوم‌سازگان است و به جای تمرکز بر آسیب‌پذیری‌های جامعه به ظرفیت‌های سازگاری آن توجه می‌کند. با این مدل، جامعه تاب‌آور می‌تواند از تجربه‌های تغییرات بوجود آمده برای رسیدن به توسعه پایدار و عملکرد بهتر استفاده کند و به‌جای بقا و حفظ خود در برابر عامل فشار یا تغییر می‌تواند با استفاده از روش‌های نوآورانه‌ای به تغییرات واکنش نشان دهد (Chen *et al.*, 2023). در این راستا اولویت‌بندی براساس ارزیابی زیستایی آبخیز، گامی ضروری و مهم در چرخه مدیریت موانع و تصمیم‌گیری در برنامه‌ریزی‌های مدیریت جامع و کارآمد آبخیز است.

پیشینه پژوهش مشخص و مرتبط خاصی در ارتباط با زیستایی آبخیز گزارش نشده، اما مستندات متعددی در خصوص ارزیابی مؤلفه‌های مختلف تاب‌آوری، پایداری و آسیب‌پذیری و همچنین آستانه‌های مربوطه و قابل‌استفاده در ارزیابی

زیستایی گزارش شده است. در این ارتباط Lu و همکاران (۲۰۱۵) چگونگی محاسبه سلامت بوم‌سازگان در جهت دستیابی به پایداری را مورد مطالعه قرار دادند و معیار و اصول اصلی برای انتخاب شاخص در انواع بوم‌سازگان‌ها را ارائه کردند. نیروی محرک، پایداری و تاب‌آوری به‌عنوان عوامل حیاتی برای سلامت بوم‌سازگان و ارزیابی آن در نظر گرفته شد. نتایج ایشان نشان داد که شناخت محیط‌زیست با ابعاد اجتماعی، اقتصادی، زیستی و سیاست‌های مدیریتی از چالش‌های اصلی در زمینه ابداع راهبردهای عملی برای حفظ سلامت بوم‌سازگان در آینده است. همچنین Hazbavi و Sadeghi (۲۰۱۷) مدل مفهومی پایایی، تاب‌آوری-آسیب‌پذیری ($RelResV_{ut}$)^۳ را برای متغیرهای شاخص بارش استاندارد شده (SPI)^۴، دبی‌های مشخصه کم‌آبی و پربابی و غلظت رسوب طی یک دوره زمانی ۳۱ ساله (۲۰۱۴-۱۹۷۷) بر استان مرکزی برای هرکدام از متغیرهای مطالعاتی مفهوم‌سازی و بومی‌سازی کردند. طبق تحلیل‌های به‌عمل‌آمده، مقدار شاخص سلامت آبخیز بیان‌گر پایین بودن وضعیت سلامت آبخیز شازند طی دوره مطالعاتی بود. Hall و همکاران (۲۰۱۹) نیز نشان دادند که می‌توان از تاب‌آوری برای هدایت برنامه‌ریزی راهبردی سامانه‌های منابع آب در مقیاس ملی و ارزیابی عملکرد این سامانه‌ها در شرایط متغیر استفاده کرد. ایشان در این پژوهش از ابزارهای شبیه‌سازی (شرایط اقلیمی و خشکسالی، هیدرولوژی آب‌های سطحی و زیرزمینی، مصارف آب، سود و هزینه مداخلات برای دستیابی به تاب‌آوری) برای ارزیابی تاب‌آوری سامانه منابع آب انگلیس تحت تأثیر فشارهای اقلیمی و جمعیتی استفاده کردند. در پژوهشی دیگر Chamani و همکاران (۲۰۲۱)

همچنین نتایج ارزیابی کیفیت بوم‌شناختی نشان داد که زیرآبخیزهای ۱۱ و ۱ به ترتیب کمترین و بیشترین اندازه شاخص کیفیت بوم‌شناختی را داشتند. اخیراً نیز Wang و همکاران (۲۰۲۴) به ارزیابی آستانه تاب‌آوری حوزه‌های آبخیز رودخانه‌های خشک داخلی واقع در شمال غربی چین پرداختند. در این پژوهش از عوامل هواشناسی، هیدرولوژیک و بوم‌شناختی برای بررسی الگوهای مکانی و زمانی تاب‌آوری و عوامل محرک مهم در آبخیز رودخانه Hotan از ترکیب تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی و مدل جنگل تصادفی استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد که تاب‌آوری کلی آبخیز رودخانه Hotan پایین است و از بالادست به سمت میانی و پایین دست کاهش می‌یابد و شدت فعالیت‌های انسانی تأثیر منفی بر تاب‌آوری دارد. همچنین رودخانه‌ها پس از تجربه دوره‌هایی از شرایط مرطوب و خشک به حداکثر تاب‌آوری می‌رسند. بررسی سایر پیشینه‌های پژوهشی در زمینه‌های مختلف مرتبط نیز نشان می‌دهد که تاکنون پژوهش خاصی در ارتباط با ارزیابی زیستایی آبخیز در جهان انجام و یا مستند نشده است.

حوزه آبخیز شازند با توجه به شرایط اقلیمی و بارش از دیربگام قطب کشاورزی محسوب می‌شده است. اما بر مبنای تحولات توسعه‌ای از اواسط دهه ۱۳۷۰ از نظر صنعتی جایگاه خاصی پیدا کرده و صنایع مهمی مانند پتروشیمی، پالایشگاه و نیروگاه حرارتی در آن مستقر شده است. از سوی دیگر با وجود محرک‌هایی مانند حفظ و گسترش بخش کشاورزی و جلوگیری از مهاجرت روستائیان به شهرها، بهره‌برداری غیراصولی از منابع خاک و آب شدت گرفته و

پایایی، تاب‌آوری و آسیب‌پذیری حوزه آبخیز چالوس مبتنی بر شاخص خشکسالی در دوره (۲۰۱۷-۱۹۸۶) را با مدل $ReIResV_{ul}$ ارزیابی نمودند. در این پژوهش، شاخص‌های Res ، ReI و V_{ul} به ترتیب ۰/۵، ۰/۲۳ تا ۰/۶۳ و ۰/۰۶ تا یک را به خود اختصاص داده است. شاخص سلامت با درجه متوسط ۰/۴۵ بین ۰/۱۹ تا ۰/۵۸ متغیر بوده است.

همچنین Mirchooli و همکاران (۲۰۲۱) با ارزیابی پایداری حوزه آبخیز شازند نشان دادند که ۷۵ درصد از زیرآبخیزهای واقع در غرب، مرکز و شمال شرقی آبخیز در سال ۱۹۸۶ نسبتاً ناپایدار و در سال ۱۹۹۸ زیرآبخیزهای با شرایط متوسط و پایدار کاهش و مساحت طبقه نسبتاً ناپایدار افزایش یافته و به حدود ۸۳ درصد رسیده است. در سال ۲۰۰۸ تنها زیرآبخیزهای ۲، ۱۴ و ۲۴ در طبقه متوسط و پایدار قرار داشتند. در سال ۲۰۱۶ حدود ۷۵ درصد از زیرآبخیزها در وضعیت نسبتاً ناپایدار بوده‌اند. White و همکاران (۲۰۲۲) نیز در پژوهشی به ارزیابی پایداری بوم‌سازگانی در جزیره Ireland با استفاده از چهار ویژگی تغییرپذیری، میزان ناهنجاری‌های شدید، زمان بهبود و میزان بهبود پرداختند. نتایج حاکی از آن بود تغییرات آب‌وهوایی شدید باعث ناپایداری بوم‌سازگان می‌شود و ناهمگونی پوشش گیاهی هیچ تأثیری بر پایداری نداشته است. هم‌چنین Hazbavi و همکاران (۲۰۲۳) به ارزیابی کیفیت بوم‌شناختی آبخیز نیر در استان اردبیل پرداختند. طبق این پژوهش تغییرپذیری بسیار زیاد متغیرهای استفاده‌شده در سطح کل آبخیز تأیید شد. براساس روش وزن‌دهی (PPM)^۲، شاخص نسبت پوشش گیاهی بیشترین اهمیت و شاخص‌های رطوبت و نگهداشت رواناب کمترین اهمیت را داشتند.

ارتفاعی ۱۸۲۰ تا ۳۳۰۰ متر، متوسط بارندگی سالانه ۴۲۰ میلی‌متر، متوسط دمای سالانه ۱۲ درجه سانتی‌گراد و یکی از زیرآبخیزهای دریاچه نمک انجام شد. رودخانه خروجی آبخیز با دبی متوسط ۳/۸۶ مترمکعب بر ثانیه، در پایین‌دست پس از ادغام با سرشاخه‌های اصلی رودخانه قره‌چای در استان همدان، در نهایت به سد الغدير ساوه منتهی می‌شود. بر اساس روش آمبرژه، اقلیم این منطقه در طبقه نیمه‌خشک معتدل تا نیمه‌خشک سرد قرار می‌گیرد (Davudirad et al., 2016). نمایی از موقعیت جغرافیایی حوزه آبخیز شازند در شکل ۱ نشان داده شده است.

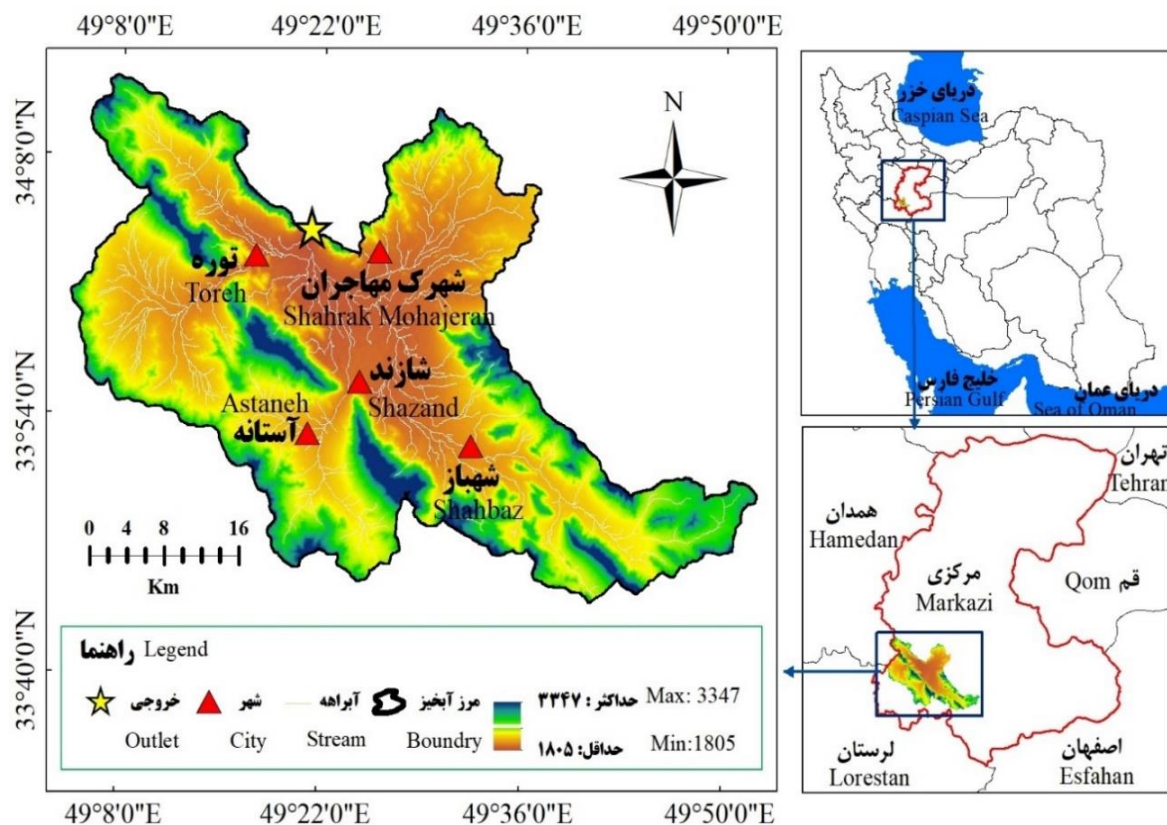
محاسبه متغیرهای اقلیمی زیستایی: برای ارزیابی زیستایی اقلیمی حوزه آبخیز شازند، از متغیرهای مربوطه طبق نمودار جریان پژوهش در شکل ۲ استفاده شد. به این منظور در ابتدا متغیرهای انتخابی اولیه در شرایط فعلی حوزه آبخیز محاسبه و نرمال‌سازی شدند. داده‌های اقلیمی از جمله دمای سالانه، بارندگی متوسط، تبخیر و تعرق پتانسیل سالانه و نسبت تبخیر و تعرق پتانسیل به بارندگی سالانه از شرکت تحقیقات منابع آب ایران استفاده شد. لازم به ذکر است تا حد امکان سعی شده است برای برآورد متغیرها از جمله متغیرهای اقلیمی از میانگین بلندمدت متغیرها با طول دوره زمانی یکسان به سبب موجودیت داده‌ها از سال‌های آماری (۱۳۹۷-۱۳۷۶) استفاده شود. همچنین با توجه به هدف پژوهش مبنی بر ارزیابی زیستایی هیدرواقليمی حوزه آبخیز با تکیه بر آستانه‌های تاب‌آوری و رهاسازی، ارزیابی تغییرات پویایی متغیرها برای برآورد آستانه‌های مذکور مدنظر قرار گرفته است.

شرایط آسیب‌پذیری بیشتر منطقه را فراهم کرده است. حال آن‌که جایگاه آن از حیث توانمندی در قرارگیری در آستانه‌های تاب‌آوری و رهاسازی^۱ مورد بررسی قرار نگرفته است. با مشخص شدن آستانه‌های تاب‌آوری و رهاسازی متغیرها و مقایسه آن با شرایط فعلی می‌توان با اولویت‌بندی، زیرآبخیزی را برای اقدامات فوری مدیریتی انتخاب کرد که وضعیت آن نزدیک آستانه رهاسازی بوده و از آستانه تاب‌آوری دور است. منظور از رهاسازی، عبور از آستانه توان سامانه آبخیز در بازیابی و قرارگیری در آستانه تاب‌آوری است که به نوعی تخریب نهایی سامانه آبخیز را نشان می‌دهد. بر همین اساس شناسایی آستانه رهاسازی و یا آستانه نهایی زیستایی آبخیز در شناسایی نقاط داغ^۲ خطر بسیار حائز اهمیت است و ضرورت توجه مدیریتی و سیاست‌گذاری در آبخیزداری را معطوف خود می‌کند. طبیعتاً با انجام اقدامات مدیریتی متناسب و کارآمد می‌توان وضعیت زیرآبخیز مذکور را به آستانه تاب‌آوری نزدیک کرد و از رهاسازی سامانه جلوگیری کرد. از این رو اولین مطالعه پیشگام پیش‌رو، باهدف ارزیابی زیستایی هیدرواقليمی حوزه آبخیز شازند استان مرکزی برنامه‌ریزی شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

پژوهش حاضر در حوزه آبخیز شازند با مساحت ۱۷۴۰ کیلومتر مربع، مختصات جغرافیایی ۴۹°۴۱'۱۵" تا ۴۹°۵۲'۱۲" طول شرقی و ۳۳°۴۴'۴۲" تا ۳۴°۱۲'۱۳" عرض شمالی، دامنه

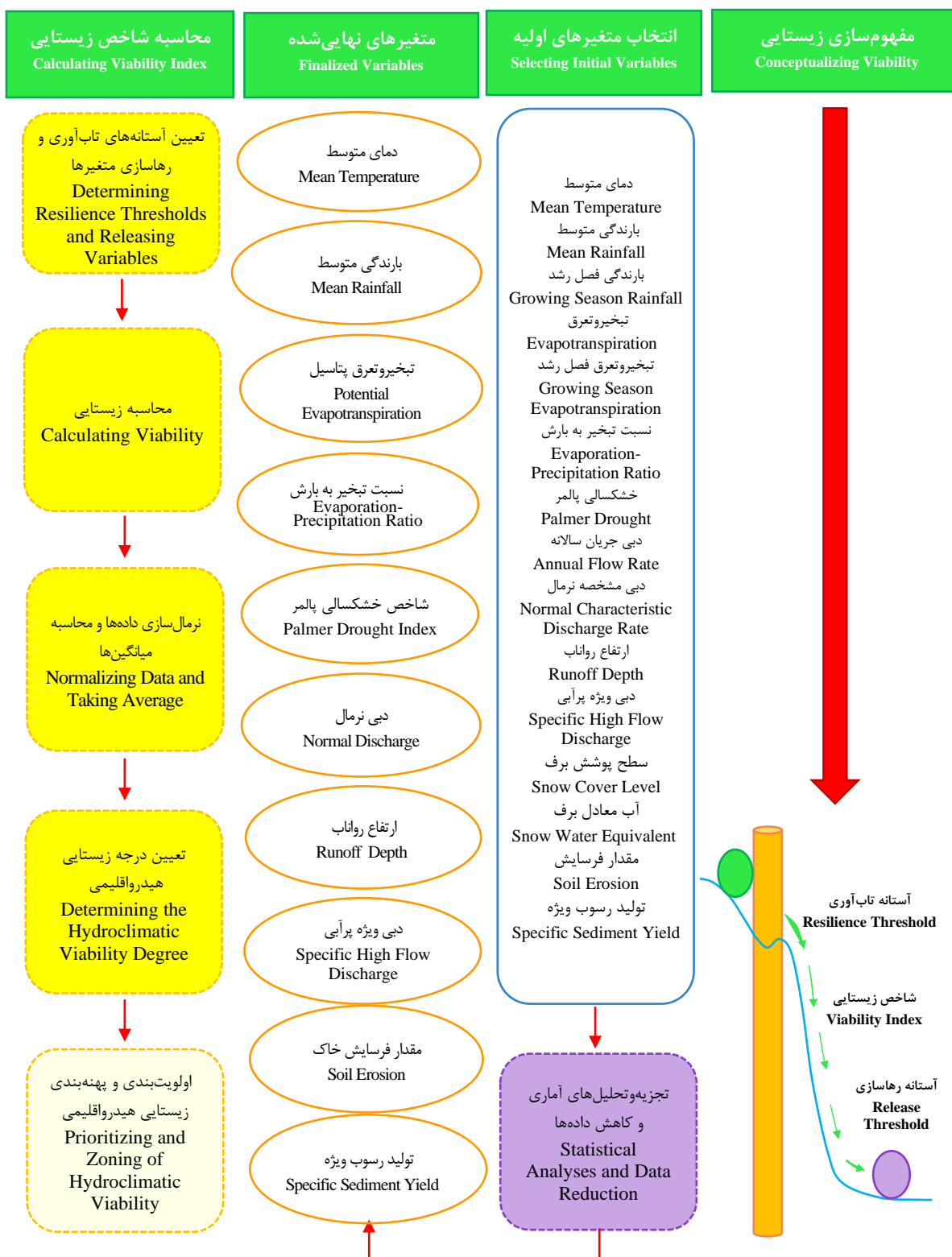


شکل ۱- نمایی از موقعیت جغرافیایی حوزه آبخیز شازند در کشور و استان مرکزی

Figure 1- A view of the Geographical Location of the Shazand Watershed in the Country and Markazi Province, Iran

استفاده شد. حداقل حدود اطمینان، نشان‌دهنده کمترین مقداری است که احتمال دارد در شرایط خاص آبخیز اتفاق بیافتد، به‌عنوان محدوده رهاسازی که بعد از آن آبخیز به اصطلاح رها می‌شود و کمترین مقدار متغیرها در طول دوره مطالعاتی به‌عنوان آستانه تاب‌آوری انتخاب شده است. سپس اعداد به‌دست‌آمده با استفاده از درون‌یابی روش معکوس وزنی فاصله در محیط نرم‌افزار ArcMap به سطح زیرآبخیز تعمیم داده شد. برای متغیر شاخص خشکسالی با توجه به منطقه مورد مطالعه شاخص خشکسالی Palmer (Hejabi *et al.*, 2018) در نظر گرفته شد.

در ادامه تجزیه و تحلیل‌های آماری روی مقادیر نرمال‌شده صورت گرفت. نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل‌های آماری نشان داد که برخی متغیرهای اقلیمی با عامل تورم واریانس^۱ بالای ۱۰ بوده است و لذا به سبب خودهمبستگی از فهرست متغیرهای ارزیابی زیستایی حذف شدند. از آماره Durbin-Watson برای متغیرهای باقی‌مانده و در بازه مطلوب بین ۱/۵ تا ۲/۵ استفاده شد (Sadeghi *et al.*, 2019a; 1992). برای محاسبه آستانه تاب‌آوری و رهاسازی متغیرهای شاخص اقلیمی ذکرشده از حدود اطمینان ده درصد (Solaimani Sardoo & Broumand, 2019)



شکل ۲- نمودار جریان پژوهش برای بهینه‌بندی زیستایی هیدرواقليمی حوزه آبخیز

Figure 2- Research Flowchart for Hydroclimatic Viability Zonation of the Watershed

قدرت پردازش بالا (Khan & Gilani, 2021) استخراج و برای زیرآبخیزهای ۲۴گانه حوزه آبخیز شازند تعمیم داده شد.

شاخص خشکسالی Palmer حاصل داده‌های Idaho به صورت ماهانه برای دوره زمانی (۲۰۰۰-۲۰۲۲) با استفاده از نرم‌افزار Google Earth Engine به دلیل

رهاسازی به‌دست‌آمده از روش درون‌یابی در محیط نرم‌افزار ArcMap به سطح زیرآبخیز تعمیم داده شد. دبی ویژه پربابی نیز از تقسیم دبی پربابی (به سبب موجودیت داده) بر مساحت زیرآبخیز مربوطه محاسبه شد. همچنین برای برآورد آستانه‌های تاب‌آوری و رهاسازی مقدار فرسایش در ابتدا تغییرات زمانی بلندمدت پوشش گیاهی با استفاده از شاخص نرمال‌شده اختلاف پوشش گیاهی^۲ (NDVI) در سامانه Google Earth Engine برآورد شد. سپس میانگین و کمینه پوشش گیاهی در آبخیز مطالعاتی استخراج و میزان میانگین و بیشینه فرسایش خاک با توجه به تغییرات پوشش گیاهی با استفاده از رابطه جهانی اصلاح‌شده هدررفت خاک^۳ (Renard *et al.*, 1997) محاسبه شد. برای برآورد عامل فرساینده‌گی باران نیز از روش Roose (۱۹۹۷) و از نتایج پژوهش Kiani Harchegani و همکاران (۲۰۱۹) نیز برای برآورد عامل فرسایش‌پذیری خاک استفاده شد. از سوی دیگر عامل توپوگرافی با استفاده از روش Desmet و Govers محاسبه شد (Desmet & Govers, 1996); Mirchooli *et al.*, 2022). عامل پوشش گیاهی نیز با استفاده از میانگین شاخص NDVI در ماه‌های بارشی برآورد شد. عامل مدیریت اراضی نیز با استفاده از روش پیشنهادی Troeh و همکاران (۱۹۹۹) به‌دست آمد. رسوب ویژه با استفاده از جایگذاری میانگین و بیشینه مقدار فرسایش به‌دست‌آمده در رابطه رسوب ویژه محاسبه شد (Silabi *et al.*, 2023).

محاسبه شاخص زیستایی هیدرواقليمی: پس از تعیین آستانه‌های تاب‌آوری و رهاسازی متغیرهای مشروحه، شاخص زیستایی هیدرواقليمی با توجه به رابطه‌های (۲) و (۳) به‌ترتیب برای متغیرهای دارای سهم مثبت و منفی به‌دست آمد.

$$VI = \frac{CC - T_{rel}}{CC - T_{res}} \quad (2)$$

محاسبه متغیرهای هیدرولوژی زیستایی: برای محاسبه متغیرهای هیدرولوژی ابتدا برای متغیر دبی مشخصه نرمال، از مقادیر دبی روزانه متناسب با موجودیت داده‌ها و منحنی تداوم جریان^۱ (Sadeghi *et al.*, 2018) استفاده شد. برای تخمین دبی‌های کم‌آبی و دبی نرمال در خروجی هر یک از زیرآبخیزها، ابتدا داده‌های دبی روزانه ایستگاه هیدرومتری پل دوآب واقع در نقطه خروجی آبخیز شازند از سازمان آب منطقه‌ای استان مرکزی دریافت و از منحنی تداوم جریان مقادیر دبی کم‌آبی (۲۷۴ روز از سال دبی مساوی یا بیش‌تر از آن) و دبی نرمال (۱۸۲ روز از سال دبی مساوی و یا بیش‌تر از آن) از داده‌های روزانه دبی استخراج شدند (Mahdavi, 2001).

سپس با توجه به عدم تجهیز زیرآبخیزهای مطالعاتی به ایستگاه‌های اندازه‌گیری، برای تعیین آستانه دبی‌های کم‌آبی و دبی نرمال در مقیاس زیرآبخیزهای مطالعاتی، از ضرب ضریب اصلاحی (RC) محاسبه شده از رابطه (۱) در مقدار آستانه‌های تعیین‌شده برای تمام زیرآبخیزها استفاده شد.

$$RC = \left[\prod_{i=1}^2 \frac{A_i}{A_t} * \frac{R_{ci}}{R_{ct}} \right]^{0.5} \quad (1)$$

که در آن، A_i ، A_t ، R_{ci} و R_{ct} به‌ترتیب بیان‌گر مساحت زیرآبخیز، مساحت کل، ضریب رواناب تهیه شده در واحد زیرآبخیز و ضریب رواناب کل هستند.

برای محاسبه ضریب رواناب از ابزار ArcCN-Runoff استفاده شد (Sadeghi *et al.*, 2018); Hoseinzadeh *et al.*, 2019). برای محاسبه ارتفاع رواناب ناشی از بارش ۲۴ ساعته از روش SCS (Hejazi & Mezbani, 2016) و برای تعیین آستانه تاب‌آوری و رهاسازی این متغیر به دلیل وابستگی آن به تغییرات بارش ۲۴ ساعته از حدود اطمینان داده‌های مربوطه در سطح اطمینان ده درصد استفاده شد. سپس آستانه‌های تاب‌آوری و

3. Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)

1. Flow Duration Curve (FDC)

2. Normalized Difference Vegetation Index

مقایسه با سایر زیرآبخیزها به آستانه رهاسازی در مجموع متغیرهای مطالعاتی، نزدیک بوده و از آستانه تاب‌آوری دور است. همچنین زیرآبخیزی که عدد زیستایی بالاتری نیز داشته باشد حاکی از آن است که با توجه به وضعیت هیدرواقليمی آن در درازمدت تغییرات کم‌تری از لحاظ هیدرواقليمی در آن زیرآبخیز در مقایسه با سایر زیرآبخیزها صورت پذیرفته است.

اولویت‌بندی زیستایی اقلیمی آبخیز شازند:

نتایج حاصل از مدل‌سازی و پهنه‌بندی زیستایی اقلیمی آبخیز شازند و منتج از جدول ۱، در شکل ۳ ارائه شده است. نتایج نشان داد زیرآبخیز ۷ با اولویت بالا در حالت‌های شرایط فعلی، تاب‌آوری، رهاسازی به‌ترتیب با اولویت‌های ۱، ۵ و ۱ قرار دارد، اما با توجه به اولویت‌بندی زیستایی اقلیمی اولویت ۱۱ را به خود اختصاص داده است.

اولویت‌بندی زیستایی هیدرولوژی آبخیز

شازند: نتایج حاصل از مدل‌سازی و پهنه‌بندی زیستایی هیدرولوژی آبخیز شازند و منتج از جدول ۱، در شکل ۳ ارائه شده است. تحلیل نتایج حاکی از آن است که زیستایی هیدرولوژی زیرآبخیزهای ۵، ۴، ۲۲، ۶ و ۷ در مقایسه با سایر زیرآبخیزهای مطالعاتی بالاست. به‌بیان‌دیگر زیرآبخیزهای مذکور ضمن دارا بودن زیستایی بالا از شرایط بحرانی در مقایسه با غالب زیرآبخیزها فاصله زیادی دارند. بر همین اساس در اولویت‌های آخر برای انجام اقدامات مدیریتی قرار می‌گیرند. از سوی دیگر بررسی نتایج حاصل از زیستایی آبخیزهای مطالعاتی نشان داد که زیرآبخیزهای ۹، ۲۰، ۱۱، ۲۱ و ۱۵ به‌ترتیب با اولویت ۱ تا ۵ به‌عنوان زیرآبخیزهای با اولویت بالا برای انجام اقدامات مدیریتی شناسایی شدند. به‌طور مثال زیرآبخیز ۲۰ با اولویت ۲ در زیستایی هیدرولوژی دارای اولویت بالا از لحاظ تاب‌آوری و رهاسازی است اما در شرایط فعلی آبخیز از وضعیت بهتری برخوردار بوده و اولویت ۲۰ را به خود اختصاص داده است.

$$VI = \frac{T_{rel} - CC}{T_{res} - CC} \quad (3)$$

که در آن VI ، CC ، T_{res} و T_{rel} به‌ترتیب شاخص زیستایی، شرایط فعلی، آستانه تاب‌آوری و آستانه رهاسازی است. با توجه به تفاوت در واحدها و بزرگی متغیرها، تمام داده‌های ورودی برای متغیرهای دارای سهم مثبت و منفی نرمال‌سازی شدند (Sadeghi et al., 2019a; Loucks, 1997). قابل ذکر است در این پژوهش وزن همه متغیرها یکسان در نظر گرفته شده است. سپس با محاسبه میانگین هندسی، درجه زیستایی هیدرواقليمی هر زیرآبخیز تعیین شد. در نهایت درجه زیستایی نهایی حاصل از میانگین وزنی هر زیرآبخیز به‌صورت بسیار بالا ($>0/80$)، بالا ($0/70$ تا $0/80$)، متوسط ($0/55$) تا $0/70$)، پایین ($0/40$ تا $0/55$) و بسیار پایین ($<0/40$) انجام گرفت.

برآورد درصد مشارکت متغیرهای هیدرواقليمی:

برای محاسبه درصد مشارکت متغیرهای اقلیمی و هیدرولوژی در ابتدا در محیط نرم‌افزار SPSS ضرایب Beta برای هر یک از متغیرها تعیین و سپس مجموع ضرایب محاسبه و در ادامه مقادیر هر یک از متغیرها در مجموع ضرایب تقسیم و در ۱۰۰ ضرب شد (Sadeghi et al., 2022).

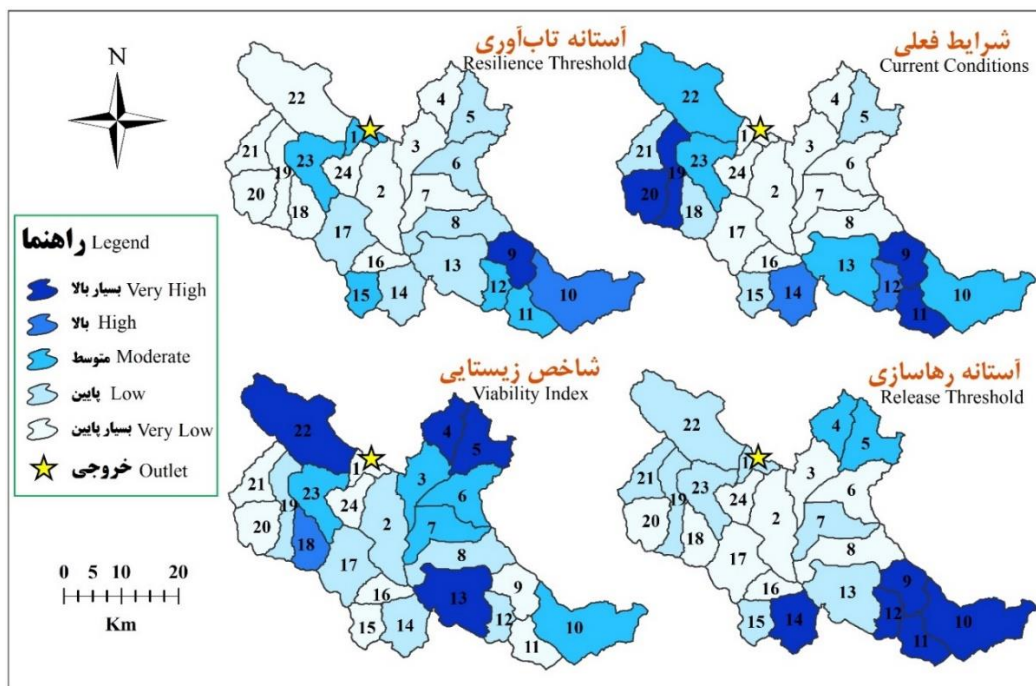
نتایج

برای برآورد آستانه‌های تاب‌آور و رهاسازی متغیرهای مطالعاتی تا حد امکان سعی شده است تغییرات پویایی آن‌ها در درازمدت مدنظر قرار گیرد و با تکیه بر آن زیستایی زیرآبخیزها محاسبه شود. در نتیجه این رویه به صورت یکسان برای تمامی زیرآبخیزها انجام شده است و طبیعتاً زیرآبخیزی که عدد زیستایی کمتری داشته باشد نشان از آن است که با توجه به تغییرات درازمدت هیدرواقليمی در آن زیرآبخیز، وضعیت آن در

جدول ۱- مقایسه و اولویت‌بندی شاخص زیستایی هیدرواقليمی با لحاظ شرایط فعلی، آستانه‌های تاب‌آوری و رهاسازی حوزه آبخیز شازند، استان مرکزی

Table 1- Comparison and Prioritization of Hydroclimatic Viability Index Considering Current Conditions, Resilience Thresholds, and Release of Shazand Watershed, Markazi Province, Iran

هیدرواقليمی Hydroclimatic						هیدرولوژی Hydrology						اقليمی Climatic						شاخص Index						
اولویت Priority	زیستایی Viability	اولویت Priority	رهاسازی Release	اولویت Priority	تاب‌آوری Resilience	اولویت Priority	فعلی Current	اولویت Priority	زیستایی Viability	اولویت Priority	رهاسازی Release	اولویت Priority	تاب‌آوری Resilience	اولویت Priority	فعلی Current	اولویت Priority	زیستایی Viability	اولویت Priority	رهاسازی Release	اولویت Priority	تاب‌آوری Resilience	اولویت Priority	فعلی Current	زیرآبخیز Sub-watershed
6	0.26	15	0.49	17	0.51	3	0.13	8	0.34	10	0.29	6	0.19	18	0.54	12	0.44	16	0.50	17	0.51	3	0.13	S1
13	0.53	2	0.22	7	0.27	5	0.16	14	0.60	23	0.92	20	0.84	16	0.50	6	0.34	2	0.21	6	0.26	5	0.16	S2
15	0.58	3	0.24	11	0.37	7	0.18	17	0.63	20	0.72	12	0.53	13	0.45	8	0.36	3	0.24	11	0.36	7	0.18	S3
22	0.85	19	0.66	6	0.27	2	0.07	23	0.82	1	0.00	11	0.48	2	0.05	13	0.46	19	0.67	7	0.26	2	0.08	S4
23	1.00	17	0.54	14	0.47	11	0.43	24	1.00	12	0.36	10	0.41	6	0.31	5	0.32	17	0.54	15	0.47	11	0.43	S5
19	0.66	5	0.30	12	0.43	4	0.13	21	0.69	21	0.73	14	0.55	15	0.49	10	0.39	5	0.29	12	0.42	4	0.13	S6
17	0.62	1	0.00	5	0.23	1	0.00	20	0.66	19	0.64	15	0.59	9	0.40	11	0.39	1	0.00	5	0.22	1	0.00	S7
12	0.51	4	0.27	15	0.47	8	0.31	15	0.60	11	0.34	17	0.71	1	0.00	3	0.28	4	0.28	14	0.46	9	0.33	S8
2	0.02	21	0.87	24	1.00	21	0.84	1	0.00	5	0.12	3	0.06	7	0.34	14	0.77	21	0.87	24	1.00	21	0.85	S9
16	0.60	22	0.90	23	0.72	16	0.60	19	0.65	24	1.00	23	0.96	21	0.61	9	0.37	22	0.88	23	0.70	16	0.60	S10
7	0.33	23	0.91	20	0.61	22	0.88	3	0.25	6	0.15	9	0.38	8	0.39	21	0.83	23	0.91	20	0.61	22	0.89	S11
9	0.43	24	1.00	21	0.64	20	0.72	7	0.33	14	0.44	13	0.55	19	0.56	19	0.82	24	1.00	21	0.63	20	0.72	S12
21	0.83	16	0.50	18	0.53	17	0.66	18	0.64	22	0.80	21	0.94	12	0.43	23	0.90	15	0.49	18	0.51	17	0.66	S13
10	0.43	20	0.70	13	0.45	19	0.71	9	0.35	18	0.60	16	0.64	22	0.79	16	0.79	20	0.70	13	0.44	19	0.70	S14
8	0.39	18	0.54	22	0.64	13	0.49	5	0.29	7	0.22	18	0.77	5	0.25	22	0.83	18	0.55	22	0.63	13	0.50	S15
5	0.23	9	0.36	9	0.28	10	0.40	11	0.41	15	0.49	19	0.78	24	1.00	2	0.17	8	0.36	8	0.26	10	0.38	S16
14	0.53	7	0.34	16	0.49	9	0.32	16	0.62	17	0.59	7	0.23	10	0.42	4	0.29	7	0.34	16	0.48	8	0.32	S17
20	0.75	6	0.32	3	0.16	12	0.49	12	0.53	2	0.00	22	0.96	3	0.12	24	1.00	6	0.34	3	0.14	12	0.50	S18
11	0.47	13	0.43	10	0.31	24	1.00	10	0.37	16	0.52	5	0.17	23	0.79	18	0.81	13	0.43	10	0.31	23	1.00	S19
3	0.18	10	0.39	8	0.28	23	1.00	2	0.12	8	0.24	4	0.08	20	0.60	20	0.83	10	0.40	9	0.28	24	1.00	S20
1	0.00	11	0.40	2	0.01	14	0.53	4	0.28	4	0.07	2	0.03	17	0.50	1	0.00	11	0.42	2	0.02	14	0.53	S21
24	1.00	14	0.44	1	0.00	18	0.67	22	0.82	13	0.39	8	0.26	14	0.45	17	0.80	14	0.44	1	0.00	18	0.68	S22
18	0.65	12	0.41	19	0.58	15	0.56	13	0.53	3	0.06	24	1.00	4	0.16	15	0.78	12	0.42	19	0.56	15	0.58	S23
4	0.21	8	0.36	4	0.18	6	0.17	6	0.33	9	0.27	1	0.00	11	0.42	7	0.34	9	0.37	4	0.19	6	0.17	S24



شکل ۳- پهنه‌بندی شرایط فعلی، آستانه تاب‌آوری، آستانه رهاسازی و شاخص زیستایی هیدرواقليمی حوزه آبخیز شازند، استان مرکزی

Figure 3- Zoning of Current Conditions, Resilience Threshold, Release Threshold and Hydroclimatic Viability Index of the Shazand Watershed, Markazi Province, Iran

تحلیل مقایسه‌ای درصد مشارکت متغیرهای هیدرواقليمی در زیستایی زیرآبخیزها: با توجه به نتایج درصد مشارکت متغیرهای هیدرواقليمی در زیرآبخیزهای مختلف ارائه شده در جدول ۲، بیشترین سهم مشارکت متغیرهای اقلیمی در زیرآبخیزها مختص به زیرآبخیز ۲۲ (با مشارکت ۱۰/۸۰ درصد)، زیرآبخیز ۱۰ (با مشارکت ۷/۹۱ درصد)، زیرآبخیز ۱۳ (با مشارکت ۶/۹۹ درصد) و زیرآبخیز ۲ (با مشارکت ۶/۹۲ درصد) بوده است. درحالی‌که زیرآبخیز ۱ (با مشارکت ۱/۳۰ درصد) دارای حداقل ارزش در بین تمامی زیرآبخیزها بوده است. متغیرهای هیدرولوژی نیز در زیرآبخیز ۱۰ (با مشارکت ۹/۴۲ درصد) و زیرآبخیز ۲۲ (با مشارکت ۸/۹۱ درصد) بیشترین سهم مشارکت را داشته‌اند. از لحاظ بررسی سهم مشارکت متغیرهای مورد ارزیابی شاخص هیدرواقليمی مندرج در شکل ۴ متغیر دمای سالانه (با مشارکت ۱۴ درصد)، میزان فرسایش (با مشارکت ۱۳/۹ درصد) و رسوب ویژه (با مشارکت ۱۳/۵ درصد) و دبی مشخصه نرمال (با مشارکت ۱۰/۶ درصد) بالاترین سهم مشارکت متغیرها را به خود اختصاص داده است

اولویت‌بندی زیستایی هیدرواقليمی آبخیز شازند: با توجه به بررسی اولویت‌بندی زیرآبخیزهای ۲۴ گانه حوزه آبخیز شازند، شرایط فعلی زیرآبخیز ۴ به‌گونه‌ای است که در اولویت ۲ قرار گرفته، اما از لحاظ حالت رهاسازی و زیستایی به ترتیب در اولویت‌های ۱۹ و ۲۲ است. پس این‌گونه می‌توان استنباط کرد زیرآبخیز ۴ از تغییرپذیری بیشتری در طول زمان نسبت به سایر زیرآبخیزها برخوردار است. بنابراین بررسی شرایط فعلی با توجه به پویایی متغیرها به‌تنهایی نتایج قابل قبولی را ارائه نمی‌دهد و بررسی تغییرپذیری متغیرها در حالت تاب‌آور و رهاسازی و فاصله آن‌ها با شرایط فعلی آبخیزها حائز اهمیت است. برای مثال، به‌جای انجام اقدامات مدیریتی در زیرآبخیز ۷ با اولویت بالا در حالت شرایط فعلی، توجه به زیرآبخیز ۲۱ به سبب قرارگیری در اولویت‌های به ترتیب ۱، ۴ و ۱ از نظر زیستایی اقلیمی، هیدرولوژی و هیدرواقليمی ضروری است. از دیگر آبخیزهای دارای اولویت بالا می‌توان به زیرآبخیزهای ۹، ۲۰، ۲۴، ۱۶، ۱، ۱۱ و ۱۵ اشاره کرد.

جدول ۲- درصد مشارکت زیرآبخیزها و متغیرهای مورداستفاده در زیستایی هیدرواقليمی حوزه آبخیز شازند، استان مرکزی

Table 2- Sub-watershed Contribution and Variables used in Hydroclimatic Viability of the Shazand Watershed, Markazi Province, Iran

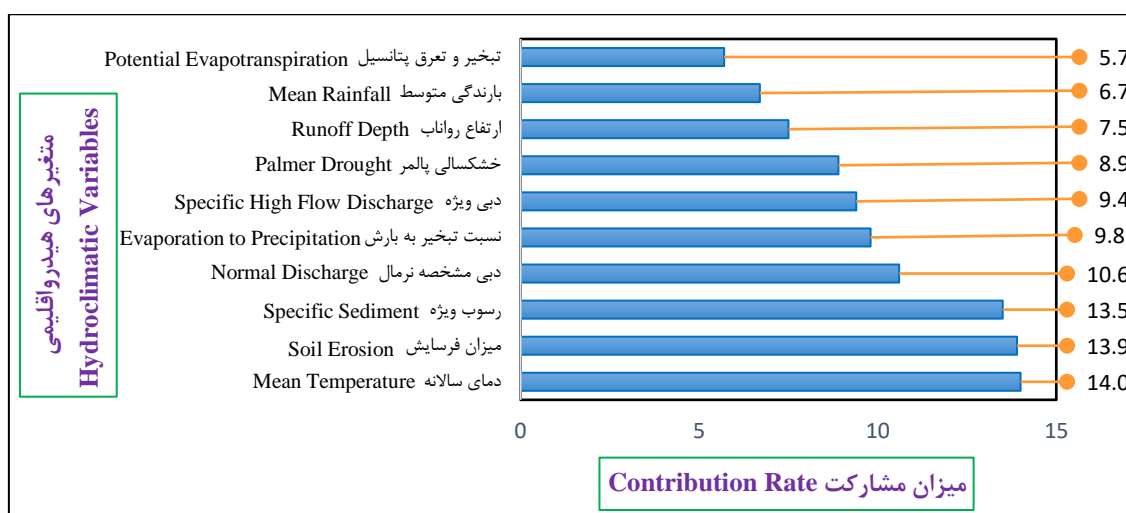
هیدرواقليمی Hydroclimatic		هیدرولوژی Hydrology					اقليمی Climatic					شاخص Index	
درصد مشارکت هیدرواقليمی Hydroclimatic Contribution (%)	درصد مشارکت هیدرولوژی Hydrologic Contribution (%)	رسوب ویژه Specific Sediment (t km ⁻² y ⁻¹)	فرسایش خاک Soil Erosion (t km ⁻² y ⁻¹)	دبی ویژه پرابی Specific High Flow (m ³ s ⁻¹ km ⁻²)	ارتفاع رواناب Runoff Depth (mm)	دبی نرمال Normal Discharge (m ³ s ⁻¹)	درصد مشارکت اقليمی Contribution (%)	خشک‌سالی پالمر Palmer Drought	نسبت تبخیر و تعرق به بارش Evapotranspiration to Precipitation	تبخیر و تعرق Evapotranspiration (mm)	بارندگی متوسط Mean Rainfall (mm)	دمای سالانه Annual Temperature (°C)	متغیر Variable زیر آبخیز Sub- watershed
1.34	1.37	0.97	0.97	0.86	0.58	0.63	1.30	0.61	0.84	0.44	0.36	0.89	S1
7.36	7.72	1.00	1.00	0.67	0.61	1.00	6.92	0.58	0.77	0.58	0.36	0.90	S2
4.33	4.51	0.96	0.96	0.71	0.65	0.87	4.12	0.59	0.81	0.61	0.25	0.89	S3
2.12	1.49	0.13	0.13	0.78	0.00	0.76	2.88	0.61	0.97	0.32	0.12	0.88	S4
3.92	4.06	0.74	0.74	0.17	1.00	0.84	3.75	0.51	1.00	0.26	0.00	0.90	S5
4.71	4.91	0.92	0.92	0.65	0.66	0.87	4.46	0.60	0.77	0.54	0.23	0.89	S6
4.84	4.83	0.98	0.98	0.58	0.66	0.94	4.84	0.57	0.69	1.00	0.30	0.88	S7
4.96	5.00	0.98	0.98	0.78	0.01	0.81	4.91	0.53	0.52	0.40	0.56	0.90	S8
2.58	2.51	0.32	0.32	1.00	0.65	0.65	2.66	0.72	0.00	0.00	0.99	0.88	S9
8.74	9.42	0.96	0.96	0.66	0.60	0.90	7.91	0.59	0.74	0.15	0.47	0.90	S10
2.83	2.94	0.89	0.89	0.91	0.68	0.60	2.69	0.73	0.42	0.08	0.88	0.89	S11
2.12	2.18	0.97	0.97	0.88	0.69	0.42	2.04	0.94	0.22	0.02	1.00	0.88	S12
7.63	8.15	0.97	0.97	0.72	0.75	0.94	6.99	0.79	0.39	0.18	0.83	0.91	S13
4.00	4.12	0.97	0.97	0.86	0.55	0.52	3.85	0.73	0.66	0.14	0.59	0.88	S14
1.98	1.57	0.99	0.99	0.00	0.23	0.36	2.48	1.00	0.73	0.25	0.51	0.88	S15
1.69	1.79	0.97	0.97	0.84	0.53	0.00	1.57	0.00	0.83	0.34	0.33	0.91	S16
5.54	5.96	0.98	0.98	0.68	0.60	0.86	5.03	0.38	0.78	0.41	0.42	0.89	S17
3.23	3.06	0.98	0.98	0.77	0.42	0.65	3.45	0.90	0.87	0.41	0.38	1.00	S18
3.60	3.54	0.97	0.97	0.87	0.49	0.52	3.67	0.68	0.89	0.41	0.40	0.91	S19
2.82	1.99	0.00	0.00	0.88	0.49	0.71	3.83	0.68	0.89	0.42	0.42	0.92	S20
2.70	2.92	0.81	0.81	0.86	0.50	0.63	2.44	0.76	0.89	0.43	0.43	0.00	S21
9.77	8.91	0.64	0.64	0.49	0.52	0.92	10.80	0.68	0.96	0.40	0.29	0.91	S22
4.42	4.13	0.96	0.96	0.77	0.42	0.32	4.77	0.73	0.87	0.43	0.38	0.88	S23
2.80	2.93	0.97	0.97	0.89	0.57	0.88	2.64	0.59	0.79	0.47	0.43	0.91	S24

گرفتن تنها آستانه رهاسازی، زیرآبخیز ۷ و ۲ جز آبخیزهایی با اولویت اول و دوم برای انجام اقدامات مدیریتی قرار می‌گیرند، با این حال بررسی نتایج حاصل از اولویت‌بندی زیرآبخیزها با استفاده از روش زیستایی کاملاً متفاوت با سه روش برآوردی است. تحلیل نتایج اولویت‌بندی حاصل از روش ارزیابی زیستایی اقلیمی نشان داد که زیرآبخیز ۲۱ با اولویت یک بالاترین امتیاز را به خود اختصاص داده است. در صورتی که با توجه به بررسی حالت‌های فعلی و رهاسازی در اولویت‌های میانی قرار دارد.

ارزیابی و پهنه‌بندی شاخص زیستایی هیدرواقليمی: به‌طور کلی پهنه‌بندی زیستایی هیدرواقليمی آبخیز شازند در وضعیت متوسط با مقدار عددی ۰/۵۸ است. پراکنش مکانی درجه زیستایی ارائه شده در شکل ۳ نیز نشان داد که مناطق مرکزی حوزه آبخیز شازند زیستایی هیدرواقليمی پایینی نسبت به سایر مناطق حوزه آبخیز داشته است.

بحث

اولویت‌بندی زیستایی اقلیمی آبخیز شازند: براساس روش‌های معمول اولویت‌بندی از جمله در نظر



شکل ۴- مشارکت متغیرهای زیستایی هیدرواقليمی حوزه آبخیز شازند، استان مرکزی

Figure 4- Contribution of Hydroclimatic Variables to the Viability of the Shazand Watershed, Markazi Province, Iran

با این که از لحاظ فعلی دارای شرایط خوبی است، اما از لحاظ تاب‌آوری و رهاسازی در طول زمان از وضعیت خوبی برخوردار نبوده و در طول زمان تغییرات هیدرولوژی زیادی را متحمل شده است و احتمال عبور از محدوده رهاسازی در این زیرآبخیز به دلیل زیستایی پایین آن بالاست.

اولویت‌بندی زیستایی هیدرواقليمی آبخیز شازند: زیرآبخیزهای ۹، ۲۰، ۲۴، ۱۶، ۱، ۱۱ و ۱۵ و به‌خصوص زیرآبخیز ۹، ۲۰، ۱۱ (شکل ۳) در شرایط فعلی در شرایط وضعیتی خوبی قرار دارند ولی از لحاظ زیستایی

پس می‌توان گفت زیرآبخیز ۲۱ با توجه به تعریف زیستایی زیرآبخیزی است که فاصله بیشتری از آستانه تاب‌آوری نسبت به زیرآبخیزهای دیگر دارد و به آستانه رهاسازی نزدیک و نیازمند توجه فوری است تا از رهاسازی آن جلوگیری به عمل آید. در این راستا، از اقدامات مدیریتی می‌توان به سازگار کردن مردم با تغییرات اقلیمی، استفاده از سامانه‌های جمع‌آوری آب باران و ذخیره آب در مواقع سیلاب اشاره کرد.

اولویت‌بندی زیستایی هیدرولوژی آبخیز شازند: توجه به اولویت‌بندی زیستایی هیدرولوژی زیرآبخیز ۲۰

متغیرهای مورد ارزیابی را داشته است. بر طبق پژوهش‌های Davudirad و همکاران (۲۰۱۶) و Hazbavi و همکاران (۲۰۱۸) در حوزه آبخیز شازند نیز بارندگی متوسط به دلیل عدم تغییرات قابل توجه در طول دوره مورد مطالعه، عاملی با تأثیرپذیری پایین در بین متغیرها ارزیابی و گزارش شده است. همچنین از آنجایی که دبی مشخصه نرمال متغیری مهم در ارزیابی وضعیت هیدرولوژیک آبخیز است (Phillips *et al.*, 2016; Butchart-Kuhlmann *et al.*, 2018; Rouhani *et al.*, 2019)، تأثیر خود را در زیستایی هیدرواقليمی آبخیز شازند به خوبی نشان داده است. در همین ارتباط Kelly و همکاران (۲۰۱۸) با هدف ارزیابی سلامت رودخانه با استفاده از شاخص جامع زیستی بیان کردند که دبی مشخصه به عنوان یکی از متغیرهای ضروری در تبیین وضعیت هیدرولوژیک رودخانه به حساب می‌آید و نیز نمایانگر بهتری نسبت به سایر مؤلفه‌های دبی برای پژوهش آن‌ها بوده است.

ارزیابی و پهنه‌بندی شاخص زیستایی هیدرواقليمی: با توجه به نتایج این پژوهش مناطق مرکزی حوزه آبخیز شازند زیستایی هیدرواقليمی پایینی نسبت به سایر مناطق حوزه آبخیز داشته است. نتایج حاصل از پژوهش حاضر با نتایج مطالعه Sadeghi و همکاران (۲۰۱۷) مبنی بر وجود تخریب زیاد از لحاظ شاخص منطقه حساس محیطی در مناطق مرکزی آبخیز شازند مطابقت دارد. در همین ارتباط Ferrera و همکاران (۲۰۱۲) دریافتند عوامل اقلیمی و متغیرهای خشکسالی، بارندگی متوسط کمترین تأثیر را بر روند تخریب زمین و فرسایش دارند و برخی یافته‌های ایشان با نتایج حاصل از این پژوهش مطابقت ندارد. شایان ذکر است تغییرات مکانی و زمانی پیچیده عوامل اقلیمی Hakimdoust و همکاران (۲۰۱۷) و به دنبال آن عدم ثبات شرایط حوزه آبخیز باعث افزایش عدم اطمینان در بهره‌برداری انسانی و به دنبال آن افزایش پتانسیل برای از دست دادن خدمات مختلف حوزه آبخیز می‌شود (Min *et al.*, 2011; Milly *et al.*, 2015).

بسیار پایین (تغییرپذیری بالا) هستند. همچنین زیرآبخیزهای ۲۲، ۵ و ۴ جزء زیرآبخیزهایی با زیستایی بالا (تغییرپذیری پایین) می‌باشند. نتایج پژوهش Mirchooli و همکاران (۲۰۲۱) نیز حاکی از آن بوده است که زیرآبخیزهای شمالی و شمال غربی از بین سایر زیرآبخیزها در طول زمان وضعیت ثابت داشته است. به طور کلی با ارزیابی زیستایی هیدرواقليمی و توجه به زیرآبخیزهای اولویت‌دار می‌توان شرایط هیدرواقليمی را به صورت چشم‌گیری در مقایسه با سایر زیرآبخیزها تغییر داد و زیرآبخیزها را به حالت تاب‌آور نزدیک کرد و حالت تثبیت زیرآبخیزها را بهبود بخشید. برای ایجاد حالت تثبیت در زیرآبخیزها توجه به متغیرهایی با تغییرپذیری بالاتر نسبت به متغیرهای دیگر کمک‌کننده خواهد بود. با توجه به نتایج این پژوهش می‌توان به دبی مشخصه نرمال و میزان فرسایش به عنوان متغیرهای مؤثر اشاره کرد. یکی از دلایل اصلی این تغییرپذیری را می‌توان به گسترش صنایع مختلف در منطقه و تأثیرات آن بر رژیم هیدرولوژی نسبت داد. زیرا اثرات این تغییرپذیری در زیرآبخیزهای ۳، ۶ و ۷ واقع در مراکز صنعتی بیشتر مشهود است. در این راستا پژوهش Sadeghi و همکاران (۲۰۱۹) نیز حاکی از آن بود که قسمت‌های مرکزی به دلیل تمرکز صنایع مختلف از تغییرپذیری بالایی بر اساس متغیر دبی مشخصه نرمال برخوردار بوده است. از دیگر مطالعات در راستای تأیید نتایج (Newson *et al.*, 1997; Foushee, 2010; Phillips *et al.*, 2016; Hazbavi *et al.*, 2018) که به تغییرپذیری دبی و ارتفاع رواناب در اثر توسعه شهرنشینی و صنعتی پرداخته‌اند و تأکید بر اتخاذ اقدامات مدیریتی متناسب با رفتار آبخیز از تغییرپذیری میزان دبی و ارتفاع رواناب نموده‌اند.

تحلیل مقایسه‌ای درصد مشارکت متغیرهای هیدرواقليمی در زیستایی زیرآبخیزها: با توجه به نتایج درصد مشارکت، متغیرهای تبخیر و تعرق پتانسیل و بارندگی متوسط کمترین تأثیرگذاری در بین

این‌رو بررسی شرایط فعلی حوزه آبخیز به‌تنهایی نتایج قابل قبولی ارائه نخواهد داد و در مطالعات، لحاظ آستانه‌های تاب‌آوری و رهاسازی برای مدیریت صحیح آبخیزها کمک‌کننده خواهد بود.

نتیجه‌گیری کلی

مدیریت آبخیزها در مقابل مخاطرات نیاز به درک کامل از وضعیت و پویایی سامانه آبخیز در واکنش به تنش‌ها دارد. در این راستا رویکرد زیستایی و تحلیل متغیرهای مؤثر در آن در مقیاس حوزه آبخیز می‌تواند یکی از راهکارهای مؤثر برای نیل به این هدف باشد. بر اساس مشکلات بارز حوزه آبخیز شازند مطالعه حاضر برای ارزیابی زیستایی هیدرواقليمی با استفاده از سنجش شرایط فعلی، آستانه تاب‌آوری و رهاسازی انجام شد. در حال حاضر، برنامه‌ریزی زیرساخت‌ها تقریباً اکثر پروژه‌ها بر اساس فرض ایستایی است، درحالی‌که نوسانات آب و هوایی و تشدید فعالیت‌های انسانی، ثابت بودن مجموعه‌های هواشناسی را تغییر داده است. از آنجایی‌که مدیران و برنامه‌ریزان منابع طبیعی و محیط‌زیست به‌منظور تصمیم‌گیری مناسب در مدیریت عرصه‌های طبیعی، با توجه به میزان عدم قطعیت و

چگونگی و ظرفیت تأثیرپذیری سامانه‌های تحت مدیریت، با لحاظ رویکردهای جدید از جمله ارزیابی زیستایی می‌توانند در مدیریت بهتر نقش به‌سزایی داشته باشند. با توجه به نتایج این پژوهش با مشخص شدن آستانه‌های تاب‌آوری و رهاسازی متغیرها و مقایسه آن با شرایط فعلی می‌توان وضعیت زیرآبخیزهای بحرانی را به آستانه تاب‌آوری نزدیک و از رهاسازی سامانه جلوگیری کرد. همچنین به سبب پیچیدگی سامانه آبخیز و دخالت عوامل متعددی در عملکرد آن، ارزیابی جامع زیستایی آبخیز با لحاظ تمامی متغیرهای دخیل می‌تواند در مدیریت جامع حوزه آبخیز بسیار مؤثر باشد.

سیاسگزاری

نویسندگان مقاله حاضر بر خود لازم دانسته از حمایت‌های مادی و معنوی دانشگاه تربیت مدرس و صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور (INSF) در چارچوب طرح پژوهشی به شماره ۴۰۲۰۲۵۴ طی دوره دکتری نویسنده اول مقاله تشکر و قدردانی نمایند.

References

- Amirnejad, H., Hosseini, S., & Saberi, M. (2021). The Role and Importance of Ecological, Economic, Technical and Social Criteria and Indicators to Reduce Flood Damage in Iran. *Environmental Researches*, 12(23), 233-244. (In Persian)
- Bahlekeh, M., & Sadeghi, S.H.R. (2023). Watershed Viability: Concept and Necessity. *Extension and Development of Watershed Management*, 11(40), 15-21. (In Persian)
- Balsalobre-Lorente, D., Abbas, J., He, C., Pilar L., & Shah, S.S.R. (2023). Tourism, urbanization and natural resources rents matter for environmental sustainability: The leading role of AI and ICT on sustainable development goals in the digital era. *Resources Policy*, 82, 103445. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2023.103445>
- Butchart-Kuhlmann, D., Kralisch, S., Fleischer, M., Meinhardt M., & Brenning, A. (2018). Multicriteria decision analysis framework for hydrological decision support using environmental flow components. *Ecological Indicators*, 93, 470-480. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.04.057>
- Chai, L.H., & Lha, D. (2018). A New Approach of Deriving Indicators and Comprehensive Measure for Ecological Environmental Quality Assessment. *Ecological Indicators*, 85, 716-728. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.11.039>
- Chamani, R., Sadeghi, S.H.R., Vafakhah M., & Naghdi, M. (2022). Reliability, resilience and vulnerability of Chalous Watershed based on Drought Index. *Watershed Engineering and Management*, 14(1), 65-75. <https://doi.org/10.22092/ijwmse.2021.352600.1855> (In Persian)
- Chen, J., Yin S., & Yang, X. (2023). The impact of adaptive management on community resilience in arid rural areas facing environmental change: An integrated

- analytical framework. *Environmental Science & Policy*, 150, 103589. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2023.103589>
- Davudirad, A.A., Sadeghi, S.H., & Sadoddin, A. (2016). The impact of development plans on hydrological changes in the Shazand Watershed, Iran. *Land Degradation & Development*, 1236-1244. <https://doi.org/10.1002/ldr.2523>
- Desmet, P.J.J., & Govers, G. (1996). A GIS procedure for automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex landscape units. *Soil and Water Conservation*, 51(5), 427-433.
- Fan, L., & Wang, D. (2024). Natural resource efficiency and green economy: Key takeaways on clean energy, globalization, and innovations in BRICS countries. *Resources Policy*, 88: 104382. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2023.104382>
- Ferrara, A., Salvati, L., Sateriano A., & Nole, A. (2012). Performance evaluation and costs assessment of a key indicator system to monitor desertification vulnerability. *Ecological Indicators*, 23, 123-129. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.03.015>
- Foushee, A. (2010). *Identifying ecological indicators of climate change and land use impacts to a coastal watershed*. University of Vermont, Project, 60.
- Hakimdoust, S. Y., Pourzeidi, A., & Gerami, M. S. (2017). Spatial analysis of showers in Mazandaran Province in the GIS environment. *Geographical Data (SEPEHR)*, 26, 191- 203. <https://doi.org/10.22131/sepehr.2017.27477> (In Persian)
- Hall, W.J., Borgomeo, E., Bruce, A., Di Mauro, M., & Mortazavi Naeini, M. (2019). Resilience of water resource systems: lessons from England. *Water Security*, 8, 43-58. <https://doi.org/10.1016/j.wasec.2019.100052>
- Hazbavi, Z., & Sadeghi, S.H.R. (2017). Watershed health characterization using reliability-resilience, vulnerability conceptual framework based on hydrological responses. *Land Degradation and Development*, 28, 1528-1537. <https://doi.org/10.1002/ldr.2680>
- Hazbavi, Z., Ghabelnezam, E., Azizi, E., Sharifi, Z., Fatholouloumi, S., & Nikoo, M.R. (2023). Assessment of ecological quality in the Nir Watershed, Ardabil Province. *Watershed Management Research*, 36(3), 90-110. <https://doi.org/10.22092/wmrj.2023.360357.1494> (In Persian).
- Hazbavi, Z., Keesstra, S.D., Nunes, J.P., Jantiene, B., Gholamalifard, M., & Sadeghi, S.H.R. (2018). Health comparative comprehensive assessment of watersheds with different climates. *Ecological Indicators*, 93, 781-790. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.05.078>
- Hejabi, S., Irannejad, P., & Bazrafshan, J. (2018). Modification of the Palmer Drought Severity Index (PDSI) based on Atmosphere-Land Surface Interaction Scheme (ALSIS) in Karkheh River Basin. *Iran-Water Resources Research*, 14(3), 170-183 (In Persian)
- Hejazi, A., & Mezbani, M. (2016). The estimation of runoff volume and maximum discharge by using curve number (CN) Method (case study in Darrehshahr Drainage Basin). *Hydrogeomorphology*, 2(5), 63-81. (In Persian)
- Hoseinzadeh, M.M., Nosrati, K., & Imeni, S. (2018). Determining curve number and estimating runoff yield in hesarak catchment. *Applied Researches in Geographical Sciences*, 18(51), 133-150. <https://doi.org/10.29252/jgs.18.51.133> (In Persian)
- Kelly, N.E., O'Connor, E.M., Wilson, R.F., Young, J.D., Winter, J.G., & Molot, L.A. (2016). Multiple stressor effects on stream health in the Lake Simcoe Watershed. *Great Lakes Research*, 42(5), 953-964. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2016.07.007>
- Khakipour, N. (2024). Variability of some soil quality indicators under different land uses in a part of Lahijan region, Gilan province. *Agricultural Engineering*, 47(1), 19-34. <https://doi.org/10.22055/agen.2024.455351700>
- Khan, R., & Gilani, H. (2021). Global drought monitoring with big geospatial datasets using Google Earth Engine. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 17244-17264. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-12023-0>
- Kiani Harchegani, M., Sadeghi, S.H.R., & Falahatkar, S. (2019). Comparative analysis of soil erodibility factor in Shazand Watershed. *Ecology*, 6(1),

- 153-163.
<https://doi.org/10.22059/ije.2018.269592.985> (In Persian)
- Liu, J., Loan, V.T.K., Mousa, S., Ali, A., Muda, I., & Cong, P.T. (2023). Sustainability and natural resources management in developed countries: The role of financial inclusion and human development. *Resources Policy*, 80, 103143.
<https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2022.103143>
- Loucks, D.P. (1997). Quantifying trends in system sustainability. *Hydrological Sciences*, 42 (4), 513-530.
<https://doi.org/10.1080/02626669709492051>
- Lu, L., Wang, R., Zhang, Y., Su, H., Wang, P., Jenkins, A., Ferrier, R., Bailey, M., & Squire, G. (2015). Ecosystem health towards sustainability. *Ecosystem Health and Sustainability*, 1(1), 1-15.
<https://doi.org/10.1890/EHS14-0013.1>
- Mahdavi, M. (2001). *Applied hydrology*. University of Tehran, 342 p. (In Persian).
- Milly, P.C., Betancourt, J., Falkenmark, M., Hirsch, R.M., Kundzewicz, Z.W., Lettenmaier, D.P., & Krysanova, V. (2015). On critiques of stationarity is dead: water management? *Water Resources Research*, 51, 7785-7789.
<https://doi.org/10.1002/2015WR017408>
- Min, S.K., Zhang, X., Zwiers, F.W., & Hegerl, G.C. (2011). Human contribution to more intense precipitation extremes. *Nature*, 498, 378-381.
<https://doi.org/10.1038/nature09763>
- Mirchooli, F., Sadeghi, S.H.R., & Khaledi Darvishan, A. (2022). Comparative analysis of the effect of different algorithms for calculating the topographic factor on the amount and spatial distribution of soil erosion in the Shazand Watershed, Iran, *Watershed Engineering and Management*, 14(2), 232-242.
<https://doi.org/10.22092/ijwmse.2021.341236.1753> (In Persian)
- Mirchooli, F., Sadeghi, S.H.R., Darvishan, A.K., & Strobl, J. (2021). Multi-dimensional assessment of watershed condition using a newly developed barometer of sustainability. *Science of the Total Environment*, 791, 148389.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148389>
- Mohammadi Ostadkelayeh, A., Toomaj, A., Mehrabi Nia, F., & Bahlake, M. (2022). Investigating the Relationship Between Spatial Resilience and Individual Resilience of Areas Subject to Resettlement Plan (Case Study of Northeastern Flooded Areas of Golestan Province). *Geography and Environmental Hazards*, 11(2), 127-142.
<https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.73350.1128> (In Persian)
- Mousavi, S.K., Tabesh, M.R., Lahijanani, A., Jozi, S.A., & Mirfakhraei, S.H. (2021). Establishment and Selection of Strategy for Improve Resilience of Yazd Ardakan Plain Water Resources. *Geographical Space*, 73 (21), 103-120. (In Persian).
- Newson, M. (1997). *Land, water and development: Sustainable management of river basin systems. Second Edition*, ISBN 0-203-44352-7 Master e-book ISBN, London and New York, 460.
<https://doi.org/10.22092/ijwmse.2018.120288.1427>
- Phillips, I.D., Davies, J.M., Bowman, M.F., & Chivers, D.P. (2016). Macroinvertebrate communities in a Northern Great Plains River are strongly shaped by naturally occurring suspended sediments: implications for ecosystem health assessment. *Freshwater Science*, 35, 1354-1364.
<https://doi.org/10.1086/689013>
- Renard, K.G., Foster, G.R., Weesies, G.A., McCool, D.K., & Yoder, D.C. (1997). Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). *Washington, DC: US Government Printing Office*, 703, 384.
- Roose, E. (1977). Erosion et ruissellement en Afrique de l'ouest-vingt annees de mesures en petites parcelles experimentales. Pour Faire Face A` Ce Proble`me Pre`occupant, I'ORSTOM et Les Instituts Travaux et Documents de I'ORSTOM. *Earth sciences*, 78, 108.
- Rouhani, H., Fathabadi, A., Bahlekeh, M., & Seyedian, S.M. (2019). Analysis of projected impacts of climate change on hydrological behavior of catchments based on signature indices in the Arazkoose Watershed. *Water and Soil Science*, 29(4), 97-108. (In Persian)
- Sadeghi, S.H.R., Hazbavi, Z., & Gholamalifard, M. (2018). Dynamic health zoning of Shazand watershed based on characteristic

- discharges of low and high water. *Watershed Engineering and Management*, 11(3), 589-608. <https://doi.org/10.22092/ijwmse.2018.120288.1427> (In Persian)
- Sadeghi, S.H.R., Tavooosi, M., Zare, S., Beiranvandi, V., Shekohideh, H., Akbari Emamzadeh, F., Bahlekeh, M., Khorshid Sokhangoy, F., & Chamani, R. (2022). Evaluation and variability of flood-oriented health of Shiraz Darwazeh Quran Watershed from watershed management structures. *Water and Soil*, 36(5), 61-577. <https://doi.org/10.22067/jsw.2022.78150.1190> (In Persian).
- Sadeghi, S.H.R., Davudirad, A., Sadoddin, A., & Paimozd, S. (2017). Trend of changes in land degradation index in Shazand Watershed, Markazi Province. *Watershed Engineering and Management*, 9(4), 383-397. <https://doi.org/10.22092/ijwmse.2017.113459> (In Persian)
- Sadeghi, S.H.R., Hazbavi, Z., & Gholamalifard, M. (2019). Interactive impacts of climatic, hydrologic and anthropogenic activities on watershed health. *Science of the Total Environment*, 648, 880-893. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.004>
- Sadeghi, S.H.R., Hazbavi, Z., & Gholamalifard, M. (2019). Zonation of health dynamism for the Shazand Watershed based on low and high flow discharges. *Watershed Engineering and Management*, 11(3), 589-608. <https://doi.org/10.22092/ijwmse.2018.120288.1427> (In Persian)
- Seddighi, H., & Seddighi, S. (2020). How much the Iranian government spent on disasters in the last 100 years? A critical policy analysis. *Cost effectiveness and resource allocation*, 18, 1-11. <https://doi.org/10.1186/s1296202000242-8>
- Silabi, M.Z., Sadeghi, S.H.R., & Vafakhah, M. (2025). Soil erosion elasticity initiative for prioritizing sub-watersheds. *International Soil and Water Conservation Research*, 779-787. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2024.12.001>
- Solaimani Sardoo, F., & Broumand, N. (2019). Study the role of outlying data in hydrological frequency analysis using L-moments in Halilroud Basin. *Watershed Management Research*, 1(2), 95-108. <https://doi.org/10.2166/wcc.2024.310> (In Persian)
- Troeh, F.R., Hobbs, J.A., & Donahue, R.L. (1999). *Soil and water conservation: Productivity and environmental protection*. Prentice-Hall, Inc.
- Vahidi, M., Khalili, R., Vadiea, S., & Hazrati Someeh, Z. (2024). Anthropological study of social resilience opportunities and threats in North Khorasan. *Anthropological Research*, 14(1), 194-217. <https://doi.org/10.22059/ijar.2024.377244.459878> (In Persian)
- Vrsmarty, C.J., Pahl-Wostl, C., & Bhaduri, A. (2013). Water in the Anthropocene: New Perspectives for Global Sustainability. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 5(6), 535-538. <http://doi.org/10.1016/j.cosust.2013.11.01>
- Wang, Y., Shi, F., Yao, P., Sheng, Y., & Zhao, C. (2024). Assessing the evolution and attribution of watershed resilience in arid inland river basins, Northwest China. *Science of The Total Environment*, 906, 167534. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2013.11.011>
- White, H.J., Gaul, W., León-Sánchez, L., Sadykova, D., Emmerson, M.C., Caplat, P., & Yearsley, J.M. (2022). Ecosystem stability at the landscape scale is primarily associated with climatic history. *Functional Ecology*, 36(3), 622-634. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.13957>
- White, K.J. (1992). The Durbin-Watson test for autocorrelation in nonlinear models. *The Review of Economics and Statistics*, 74(2), 370-373. <https://doi.org/10.2307/2109675>
- Yang, X., Scuderi, L., Paillou, P., Liu, Z., Li, H., & Ren, X. (2011). Quaternary environmental changes in the drylands of china- A critical review. *Quaternary Science Reviews*, 30(23), 3219-3233. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2011.08.009>