

مقایسه آسیب‌پذیری زیرحوضه‌های آبخیز سامیان بر اساس تغییرات مؤلفه‌های اقلیمی

شیرین زارعی- کارشناس ارشد مهندسی آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی
زینب حزابوی* - استادیار گروه منابع طبیعی و عضو پژوهشکده مدیریت آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی
رئوف مصطفی‌زاده- دانشیار گروه منابع طبیعی و عضو پژوهشکده مدیریت آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی
اباذر اسمعیل‌عوری- دانشیار گروه منابع طبیعی و عضو پژوهشکده مدیریت آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۳/۳۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۱/۲۹

چکیده

پژوهش حاضر با هدف ارزیابی آسیب‌پذیری اقلیمی آبخیز سامیان در استان اردبیل انجام شد. در این راستا، نخست شاخص‌های مهم اقلیمی و فیزیکی در سطح ۲۷ زیرحوضه محاسبه و سپس به تعیین آستانه‌ها اقدام شد. نتایج نشان داد که شاخص‌های فصل خشک و مرطوب به ترتیب در محدوده ۴۸/۰۵ (زیرحوضه ۲۱) تا ۸۶/۶۳ (زیرحوضه ۱۲) و ۲۵۴/۹۹ (زیرحوضه ۱۶) تا ۱۳۰/۸۳ (زیرحوضه ۳) میلی‌متر متغیرند. همچنین، شاخص‌های دوره سرد و گرم به ترتیب بین محدوده ۵/۸۷- (زیرحوضه ۸) تا ۲/۰۷ (زیرحوضه ۳) و ۱۳/۰۳ (زیرحوضه ۸) تا ۱۶/۹۶ (زیرحوضه ۳) درجه سانتی‌گرادند. شاخص‌های حداکثر سرعت باد بین محدوده ۳۴/۲۰ (زیرحوضه ۸) تا ۷۸/۴۸ (زیرحوضه ۱) کیلومتر بر ساعت، ارتفاع از سطح دریا بین محدوده ۱۳۲۶ (زیرحوضه ۲۱) تا ۲۵۹۶ (زیرحوضه ۱۴) متر، و SPI در محدوده ۰/۰۰۰۶ (زیرحوضه ۱۶) تا ۰/۰۱۱۱ (زیرحوضه ۸) نیز قرار گرفتند. در مجموع، ضمن تأیید تغییرپذیری مکانی زیاد شاخص‌های آسیب‌پذیری در دوره زمانی مورد مطالعه، نتایج حاصل از تلفیق همه شاخص‌ها نشان داد که زیرحوضه‌های ۱۵، ۱۶، و ۱۷ واقع در غرب دارای آسیب‌پذیری خیلی زیاد و زیرحوضه‌های ۲۰، ۲۱، و ۲۴ واقع در بخش‌هایی از شمال و مرکز دارای کمترین آسیب‌پذیری‌اند و در طبقه برگشت‌پذیر از لحاظ نقطه آسیب‌پذیری کلی (OVP) قرار دارند.

واژگان کلیدی: آسیب‌پذیری آبخیز، برگشت‌پذیری، تخریب زمین، تغییر اقلیم.

مقدمه

آسیب‌پذیری آبخیز^۱ با در نظر گرفتن شرایط طبیعی (عوامل و تنش‌های طبیعی) و شرایط انسانی (عوامل اقتصادی، اجتماعی، و تنش‌های انسانی)، مخاطرات، حساسیت، و قدرت سازگاری حوزه آبخیز را دربر می‌گیرد (حق‌ندری و همکاران، ۱۳۹۶). تحلیل و ارزیابی آسیب‌پذیری فرایندی برای تعریف، شناسایی، و طبقه‌بندی تهدیدات بالقوه آسیب‌پذیری است (اریکسن، ۲۰۰۸). از آنجا که تغییرات محیط زیستی و اقلیمی، سلامت (حزابوی و همکاران، ۲۰۱۸)، یک‌پارچگی (علایی و همکاران، ۱۳۹۸)، و عملکرد (لاردی و همکاران، ۲۰۱۲) اکوسیستم‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد، مسئله اصلی در محدوده نگرانی‌های منطقه‌ای و ملی در نظر گرفته می‌شود (اریکسن، ۲۰۰۸). استفاده علمی از «آسیب‌پذیری» ریشه در مطالعات جغرافیایی و خطرهای طبیعی دارد، اما این اصطلاح در حال حاضر یک مفهوم کلیدی در زمینه‌های مختلف مطالعاتی مانند محیط زیست، سلامت عمومی، فقر و توسعه، تأمین معیشت، قحطی، علم پایداری، تغییر زمین، و تأثیرات آب‌وهوایی و سازگاری تلقی

می‌شود (اوبرین و همکاران، ۲۰۰۴؛ استارک، ۲۰۰۷). ارزیابی اثر تغییر اقلیم و آسیب‌پذیری اهداف متفاوت در چرخه سیاست داشته و در طی زمان توسعه یافته است؛ به‌نحوی که ارزیابی اثر تغییر اقلیم با هدف پیشرفت علم و افزایش آگاهی انجام می‌گیرد؛ درحالی‌که ارزیابی آسیب‌پذیری برای شناسایی و اولویت‌بندی بخش‌ها و مناطق مختلف به‌منظور ارزیابی دقیق‌تر و نیز شناسایی نیازهای اقدامات مدیریتی سازگار انجام می‌گیرد (فاصل و کلین، ۲۰۰۶؛ فاصل و همکاران، ۲۰۱۸). آسیب‌پذیری اقلیمی^۱ هسته اصلی استراتژی‌های مدیریت سازگار محسوب می‌شود و تابعی از حساسیت اقلیمی^۲، در معرض محرک اقلیمی بودن^۳، و ظرفیت سازگار^۴ است (د شربینین و همکاران، ۲۰۰۷).

بیشتر نقاط جهان، به‌ویژه کشورهای در حال توسعه، به‌شدت تحت‌تأثیر تغییرات اقلیمی در قالب افزایش سطح دریا، گرم‌شدن کره زمین، اختلال در دسترسی به آب، و وقوع طوفان‌ها قرار گرفته‌اند (ادجی و همکاران، ۲۰۱۴؛ تیوران جر و همکاران، ۲۰۱۰). تجربیات کسب‌شده در برنامه‌ریزی و مدیریت ناکارآمد یا ناپایدار حوضه‌های آبخیز نشان می‌دهد که چگونه عدم درک زیرسامانه‌های آبخیز به بلایای محیط زیستی و نیز مشکلات اجتماعی و اقتصادی مؤثر بر سلامت انسان منجر شده است (میرچی و همکاران، ۲۰۱۱؛ ارکوسا و همکاران، ۲۰۱۵؛ زارعی و همکاران، ۱۳۹۷؛ ۱۳۹۸). مطالعات متعددی در زمینه ارزیابی آسیب‌پذیری اقلیمی در اکوسیستم‌های گوناگون انجام گرفته است. طبق گزارش هیئت بین‌الدول تغییرات اقلیمی (IPCC)^۵ آسیب‌پذیری از طریق سه مفهوم اصلی بررسی می‌شود: در مرحله اول، نمایاندن اندازه در معرض خطر بودن؛ مرحله دوم، حساسیت یک سیستم، به این معنا که وضعیت معیشت به‌وسیله یک شوک و خطر تحت‌تأثیر قرار می‌گیرد؛ و مرحله سوم، ظرفیت انطباقی یا سازگاری از یک سیستم برای مقابله یا تنظیم اثرهای منفی از یک تنش (احسن و وارنر، ۲۰۱۴). در همین راستا، تیوران جر و همکاران (۲۰۱۰) به بررسی توسعه و استفاده از یک شاخص آسیب‌پذیری محیط زیست جغرافیایی بر اساس تغییرات آب‌وهوایی در یک حوزه آبخیز فیلیپین پرداختند. ایشان از مدلی با نام شاخص آسیب‌پذیری محیطی - منطقه‌ای مبتنی بر تغییرات جغرافیایی برای اکوسیستم‌ها و حوضه‌های آبخیز یا به‌اختصار GeoREVIEW^۶ برای ارزیابی آسیب‌پذیری استفاده کردند. نتایج بیانگر این بود که از خروجی روش به‌کار برده شده می‌توان به‌عنوان یک ورودی مهم و بنیادی برای توسعه یک چارچوب جامع و یک‌پارچه برای راه‌حل‌های کاهش و تطبیق تغییرات اقلیمی استفاده کرد. همچنین، روی و همکاران (۲۰۱۶) به ارزیابی آسیب‌پذیری حوضه‌های آبخیز ایالات متحده آمریکا نسبت به تغییرات آب‌وهوایی بر اساس شبکه عصبی مصنوعی (ANN)^۷ و روند تحلیلی سلسله‌مراتبی (AHP)^۸ پرداختند. نتایج نشان داد که در مواجهه با تغییرات آب‌وهوایی، رودخانه می‌سی‌سی‌پی^۹ در ایالات متحده آمریکا بیشترین آسیب‌پذیری را در سناریوی B2 و کمترین آن را در سناریوی A2 دارد. ساتیان و همکاران (۲۰۱۸) نیز به تجزیه و تحلیل حساسیت یک شاخص آسیب‌پذیری اقلیمی در یکی از برنامه‌های توسعه آبخیز هند پرداختند. نتایج نشان داد که تفاوت‌های قابل‌ملاحظه‌ای در ابعاد آسیب‌پذیری ظهور و حساسیت^{۱۰} وجود دارد. همچنین، نتایج نشان داد که «استراتژی‌های

1. Climate Vulnerability

2. Climate Sensitivity

3. Exposure to Climate Driver

4. Adaptive Capacity

5. Intergovernmental Panel on Climate Change

6. Geospatial based Regional Environmental Vulnerability Index for Ecosystems and Watersheds (GeoREVIEW)

7. Artificial Neural Networks

8. Analytical Hierarchy Process

9. Mississippi

10. Exposure and Sensitivity

معیشتی»^۱ و «شبکه ارتباطی- اجتماعی»^۲ بیشترین حساسیت را نسبت به آسیب‌پذیری دارند و اهتمام سازمان‌های اجرایی به این دو متغیر مزبور در راستای بهبود برنامه‌های توسعه آبخیز را مورد تأکید قرار می‌دهد. اخیراً محمد و همکاران (۲۰۱۹) به سیاست‌های جهانی محیط زیستی و توسعه سازمان ملل متحد در زمینه آسیب‌پذیری مربوط به یک بررسی اصولی و بنیادی پرداخته‌اند. نتایج نشان داد که در شاخص خطر جهانی آب‌وهوا (GCRI)^۳ در سال ۲۰۱۸، کشور بنگلادش فقط ۰/۳۶ درصد گازهای گلخانه‌ای از کل انتشار جهانی گازهای گلخانه‌ای را به خود اختصاص داده است. کشورهایی مانند بنگلادش، مالدیو، لسوتو، و توووال نسبتاً انتشار گازهای گلخانه‌ای اندکی دارند، اما بیشتر در معرض تأثیرات نامطلوب تغییرات اقلیمی در درازمدت قرار دارند. علت این امر بی‌بهره‌بودن از کمک جامعه جهانی و عدم تأمین برنامه‌های خود برای مقابله با تغییرات آب‌وهوایی است و بنابراین بیشتر در معرض اثرهای محیط زیستی قرار می‌گیرند.

در ایران نیز حجازی‌زاده و همکاران (۱۳۹۴) به محاسبه شاخص آسیب‌پذیری اقلیمی مبتنی بر مدل ضربی- نمای^۴ استان سیستان و بلوچستان پرداختند. نتایج نشان داد هرچند ظرفیت سازگاری استان نسبت به قبل بیشتر شده، اما به دلیل افزایش مواجهه و حساسیت اقلیمی، میزان آسیب‌پذیری ۱۶/۳ درصد بالاتر رفته است. مساحت محدوده‌های خیلی زیاد آسیب‌پذیر از ۵۷/۵ درصد به ۱۰۰ درصد کل استان افزایش یافته که بیانگر گسترش فضایی آسیب‌پذیری است. محمدخانی و جمالی (۱۳۹۴) به ارزیابی میزان آسیب‌پذیری ایران در مواجهه با تغییر اقلیم پرداختند. در مطالعه ایشان از شاخص آسیب‌پذیری اقلیمی (CVI)^۵ استفاده شده است. نتایج حاصل از این پژوهش نشان می‌دهد که استان‌های همدان و البرز بیشترین میزان آسیب‌پذیری و به تبع آن کمترین قدرت سازگاری با تغییرات اقلیمی را نسبت به سایر استان‌ها دارا هستند. از سوی دیگر، استان‌های خوزستان و تهران به دلیل منابع آب غنی، نرخ باسوادی، و صنعت از نظر تولید ناخالص داخلی (GDP) کمترین میزان آسیب‌پذیری نسبی را دارند. میرحسینی و همکاران (۲۰۱۸) به تغییر کاربری اراضی به عنوان یک تهدید مؤثر بر کیفیت آب‌های سطحی و یک رویکرد ارزیابی آسیب‌پذیری در حوزه آبخیز زنجان رود واقع در مرکز ایران پرداختند. در این پژوهش از ۱۲ شاخص کیفیت آب در طول دوره آماری ۲۶ ساله، تصاویر ماهواره‌ای، نقشه‌های کاربری اراضی، و شاخص تنوع زیستی شانون (SDHI)^۶ استفاده شده است. تجزیه و تحلیل آماری نشان داده است که رابطه معنی‌داری بین نه مورد از داده‌های کیفیت و دبی جریان در حوزه آبخیز مطالعاتی و در طول دوره مطالعه وجود دارد. با توجه به نتایج حاصله، تبدیل مراتع فقیر به زمین‌های کشاورزی بارزترین تغییر کاربری زمین در منطقه مطالعاتی در طول دوره ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۳ بوده است. به طور کلی، شهرنشینی، مراتع فقیر، و کشاورزی تحت آبیاری به عنوان سه کاربری تأثیرگذار در آسیب‌پذیری منطقه مورد مطالعه و با تأکید بر افت کیفیت آب شناسایی شدند. یآوری و همکاران (۱۳۹۸) به تحلیل فضایی آسیب‌پذیری زیست‌اقلیمی شهر کرمانشاه در مواجهه با مخاطره اقلیمی موج گرم پرداختند. نتایج نشان داد که شش منطقه از شهر کرمانشاه با مساحتی برابر ۳۰۷۲ هکتار یک هسته گرمایی بحرانی را تشکیل داده‌اند. میانگین دمای روزانه این هسته داغ طی شش روز موج گرم کمتر از ۳۶ درجه سانتی‌گراد نبوده، درحالی‌که میانگین دمای بیشینه این بخش از شهر برابر ۴۵ درجه سانتی‌گراد بود. تحلیل ماتریس متقاطع بیانگر آن بود که بر اساس آمار سرشماری سال ۱۳۹۵، ۵۲ درصد از جمعیت کل شهر کرمانشاه، یعنی ۴۹۲۲۸۵ نفر، در محدوده هسته بحرانی قرار

1. Livelihood Strategies

2. Social Network

3. Global Climate Risk Index

4. Multiplicative-Exponential Model

5. Climate Vulnerability Index (CVI)

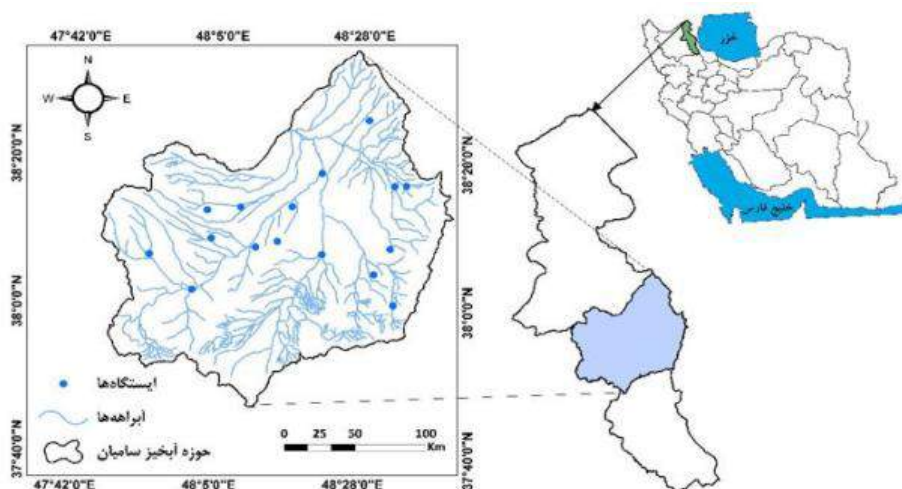
6. Shannon's Diversity Index

گرفته و تراکم جمعیتی در این هسته داغ برابر ۱۶۰ نفر در هکتار بود که دو برابر تراکم متوسط شهر کرمانشاه است. ۴۴ درصد از جمعیت دو طبقه جمعیتی که آسیب‌پذیری بسیار زیادی در برابر امواج گرم، تنش‌های گرمایی، و گرمادگی دارند، یعنی خردسالان (رده سنی زیر ۱۰ سال) و کهن سالان (رده سنی بالای ۶۰ سال) (۹۹۸۹۳ نفر) در این هسته جمعیتی قرار دارند. برآورد و تخمین میزان آسیب‌پذیری و به تبع آن آمادگی سامانه حوزه آبخیز در مواجهه با این تغییرات از مسائل مهم مرتبط با نوسانات اقلیمی است. به‌منظور توسعه استراتژی برای انطباق با این تغییرات جهانی، در نخستین گام لازم است که ارزیابی صحیحی از آسیب‌پذیری انجام گیرد (محمدخانی و جمالی، ۱۳۹۴). با ارزیابی آسیب‌پذیری حوزه آبخیز می‌توان به شناسایی مناطق آسیب‌پذیر و تصمیم‌گیری به‌منظور حفاظت از حوضه و دست‌یابی به توسعه پایدار کمک کرد. با توجه به مقوله‌های فوق‌الذکر، می‌توان جمع‌بندی کرد که، به‌رغم اهمیت مطالعات آسیب‌پذیری اقلیمی حوضه‌های آبخیز، مطالعات کافی در این زمینه به‌ویژه در داخل کشور برای تبیین الگوهای جامع مدیریتی مشاهده نمی‌شود. بنابراین، پژوهش حاضر با هدف ارزیابی آسیب‌پذیری اقلیمی آبخیز به‌طور خاص در حوزه آبخیز سامیان در استان اردبیل انجام شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه شامل حوزه آبخیز سامیان واقع در استان اردبیل است که جزو مجموعه حوضه‌های رودخانه ارس است و مساحتی معادل با ۴۲۳۵ کیلومتر مربع دارد. بر اساس تحلیل آمار دوره زمانی ۱۳۶۸-۱۳۹۳ و از طریق میانگین وزنی مشخص شد که حوزه آبخیز سامیان دارای متوسط بارش و دما به‌ترتیب برابر با ۳۱۲/۲۵ میلی‌متر و ۸/۲ درجه سانتی‌گراد و نیز دارای ۲۷ زیرحوضه است. شهرستان اردبیل، مرکز استان اردبیل، در مرکز حوزه آبخیز سامیان واقع شده و شهرستان‌های نمین، نیر، و سرعین بخشی از حوزه آبخیز را تشکیل می‌دهند (مهری و همکاران، ۱۳۹۶). مختصات جغرافیایی محدوده مطالعاتی بین $37^{\circ} 42' 00''$ تا $37^{\circ} 47' 00''$ طول شرقی و $48^{\circ} 28' 00''$ تا $48^{\circ} 40' 00''$ عرض شمالی قرار دارد (شکل ۱). بخش‌های مرکزی حوضه از واحدهای اراضی دشت‌های دامنه‌ای تشکیل شده است که عمده فعالیت‌های کشاورزی استان اردبیل در این بخش متمرکز است. ارتفاع بلندترین نقطه (قله کوه سبلان) نسبت به سطح دریا برابر ۴۷۸۸ متر و ارتفاع پست‌ترین نقطه واقع در محدوده پل سامیان برابر ۱۲۰۰ متر است (افخمی و نصیری صالح، ۱۳۹۴).



شکل ۱. موقعیت منطقه و ایستگاه‌های مورد مطالعه

داده‌های مورد استفاده

در این پژوهش از داده‌های ماهانه بارش، دما، و حداکثر سرعت باد ایستگاه‌های موجود در منطقه (شکل ۱) در یک دوره آماری ۲۵ ساله (۱۳۶۸-۱۳۹۳) استفاده شده است. جدول ۱ نشان‌دهنده برخی از مشخصات ایستگاه‌های منتخب در سطح استان اردبیل و حوزه آبخیز سامیان با هدف تعیین مؤلفه‌های تغییرات اقلیمی مؤثر در ارزیابی آسیب‌پذیری اقلیمی است. برای رفع خلأهای داده‌های یک ایستگاه اندازه‌گیری معمولاً از روش‌های آماری و با کمک گرفتن از داده‌های ایستگاه‌های مجاور با تشابه هیدرولوژیکی، اقلیمی، و فیزیوگرافی نسبتاً یکسان استفاده می‌شود. در این پژوهش بازسازی داده‌های میانگین بارش ماهانه با بررسی میزان همبستگی میان داده‌های ایستگاه ناقص و کامل و روش رگرسیون خطی برای ۱۶ ایستگاه مورد مطالعه در خصوص بارندگی واقع در محدوده حوزه آبخیز سامیان در دوره آماری ۲۵ ساله صورت گرفته است (مهدوی، ۱۳۸۸؛ نقدی و همکاران، ۱۳۸۹).

جدول ۱. مشخصات ایستگاه‌های مطالعه شده در تعیین مقادیر شاخص‌های تغییرات اقلیمی در حوزه آبخیز سامیان

ردیف	نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	نوع ایستگاه	ارتفاع از سطح دریا (متر)
۱	پل الماس	۴۸-۱۱-۵۸	۳۸-۰۹-۱۹	باران‌سنجی	۱۴۸۰
۲	آبی بیگلر	۴۸-۳۳-۲۹	۳۸-۱۶-۵۴	تبخیرسنجی	۱۳۴۸
۳	آتشگاه	۴۸-۰۳-۱۹	۳۸-۱۲-۵۸	تبخیرسنجی	۱۷۷۸
۴	آلادیزگه	۴۸-۳۵-۱۶	۳۸-۱۷-۰۳	باران‌سنجی	۱۳۴۹
۵	اردبیل	۴۸-۱۷-۰۲	۳۸-۱۳-۵۱	باران‌سنجی	۱۳۶۵
۶	بقرآباد	۴۸-۳۳-۰۱	۴۱-۱۵-۰۱	باران‌سنجی	۱۵۶۰
۷	سرعین	۴۸-۰۴-۱۹	۳۸-۰۹-۱۹	باران‌سنجی	۱۶۹۲
۸	شمس‌آباد	۴۸-۱۴-۵۸	۳۸-۰۰-۱۱	باران‌سنجی	۱۵۳۴
۹	سامیان	۴۸-۱۴-۴۷	۳۸-۲۲-۲۹	تبخیرسنجی	۱۲۸۶
۱۰	نیر	۴۸-۰۱-۱۹	۳۸-۰۲-۱۹	تبخیرسنجی	۱۶۲۳
۱۱	نمین	۴۸-۲۸-۰۳	۳۸-۲۴-۵۱	تبخیرسنجی	۱۴۰۵
۱۲	کوزه‌تپراقی	۴۸-۲۲-۰۲	۳۸-۰۷-۱۹	باران‌سنجی	۱۴۰۲
۱۳	گیلانده	۴۸-۲۱-۵۹	۳۸-۱۸-۴۱	باران‌سنجی	۱۳۴۱
۱۴	هیر	۴۸-۳۰-۲۶	۳۸-۰۴-۵۴	باران‌سنجی	۱۵۹۴
۱۵	لای	۴۷-۵۴-۲۵	۳۸-۰۶-۵۵	تبخیرسنجی	۲۰۳۸
۱۶	نئور	۴۸-۳۳-۴۲	۳۸-۰۰-۴۷	تبخیرسنجی	۲۵۰۳

شاخص‌های آسیب‌پذیری اقلیمی

برای اجرای پژوهش حاضر از تغییرات مکانی مؤلفه‌های اقلیمی- شامل هفت شاخص میزان بارش فصل مرطوب، بارش فصل خشک، دمای دوره سرد، دمای دوره گرم، حداکثر سرعت باد، و ارتفاع از سطح دریا- بر اساس رویکرد ارائه شده توسط تیپوران جر و همکاران (۲۰۱۰) و شاخص بارش استاندارد شده (SPI)^۱ برای ارزیابی آسیب‌پذیری زیرحوزه‌های آبخیز سامیان استفاده شد (جدول ۲). پس از محاسبه مقادیر شاخص‌ها، برای تعیین آستانه‌های مناسب هر کدام از شاخص‌های آسیب‌پذیری اقلیمی از نتایج آزمون کلموگروف- اسمیرنوف (K-S)^۲ استفاده شد (تیپوران جر و همکاران،

1. Standardized Precipitation Index

2. Kolmogorov-Smirnov test

۲۰۱۰). بدین صورت که در صورت نرمال بودن داده‌های مربوط به محاسبه هر شاخص، از آستانه‌های پیشنهادی آزمون K-S استفاده شد. در صورت غیرنرمال بودن داده‌ها، تبدیل داده انجام گرفت. سپس، آزمون K-S مجدداً آزمون شد و پس از تأیید نرمال بودن داده‌ها به تعیین آستانه‌ها اقدام شد. قابل ذکر است که در مقاله حاضر برای ارائه نمایش واقعی از مقادیر شاخص‌ها، در نقشه‌ها و جدول‌ها داده‌های واقعی ارائه شده‌اند. در خصوص شاخص SPI پس از محاسبه، شدت خشک‌سالی بر اساس جدول ۳ بررسی شد.

جدول ۲. خلاصه‌ای از خصوصیات و نحوه محاسبه شاخص‌های تغییرات مؤلفه‌های اقلیمی (اقتباس از تیپوران جر و همکاران، ۲۰۱۰ با اعمال تغییرات جزئی)

شاخص (Indicator)	واحد (Unit)	نحوه محاسبه	ملاحظات
فصل خشک	میلی متر	شاخص مذکور از طریق محاسبه میانگین بارندگی سالانه (میلی متر) طی پنج سال گذشته با ۲۰ درصد کمتر از میانگین طولانی مدت ماهانه ۲۵ سال محاسبه شد.	این شاخص آسیب پذیری اکوسیستم به خشک‌سالی و سایر مشکلات مرتبط با آب را توصیف می‌کند.
فصل مرطوب	میلی متر	بر اساس تعیین میانگین بارندگی سالانه (میلی متر) طی پنج سال گذشته با ۲۰ درصد بالاتر از میانگین طولانی مدت ماهانه ۲۵ سال محاسبه شد.	این شاخص نشان‌دهنده خطر سیل و اثرهای طوفان و در نتیجه اختلال اقلیمی و هیدرولوژیکی اکوسیستم است.
دوره سرد	سانتی گراد	با تعیین میانگین دمای سالانه (سانتی گراد) طی پنج سال گذشته با ۲۰ درجه سانتی گراد کمتر از متوسط ماهانه حداکثر داده موجود محاسبه شد.	این شاخص مربوط به تنش دماست.
دوره گرم	سانتی گراد	با تعیین میانگین دمای سالانه (سانتی گراد) طی پنج سال گذشته با ۲۰ درجه سانتی گراد بالاتر از متوسط ماهانه حداکثر داده موجود محاسبه شد.	این شاخص میزان تنش وارده به رشد، پوشش گیاهی، و تنوع زیستی را نشان می‌دهد.
حداکثر سرعت باد	کیلومتر بر ساعت	از روی محاسبه میانگین سرعت باد سالانه بیش از ۱۰ سال گذشته با ۲۰ درصد بالاتر از میانگین حداکثر سرعت باد ماهانه ۲۵ ساله تعیین شد.	این شاخص میزان تأثیرگذاری موج‌های طوفانی، گسترش آتش، و آسیب به جنگل را نشان می‌دهد.
ارتفاع از سطح دریا	متر	تهیه نقشه مدل رقومی ارتفاع با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ و قدرت تفکیک ۲۷ متر در نرم‌افزار ArcGIS 10.6	بیانگر وضعیت جغرافیایی یک منطقه است و نیز از عوامل مؤثر بر تغییرات دما و بارش و سایر مؤلفه‌های اقلیمی است. این شاخص تأثیر قابل توجهی در انواع اکوسیستم‌ها دارد و می‌تواند با سیل، اختلال انسان، و بهره‌برداری از منابع طبیعی نیز مرتبط باشد.
SPI	بدون واحد	کاربرد نرم‌افزار ^۱ DIP بر اساس داده‌های بارندگی ماهانه	شاخص SPI برای اندازه‌گیری کمبود بارندگی از منابع مختلف است. در هر منطقه بر اساس آمار بلندمدت و برای دوره موردنظر محاسبه می‌شود. نمایه‌ای از وضعیت خشکی حوزه آبخیز سامیان است.

جدول ۳. طبقه‌بندی شدت خشک‌سالی و ترسالی در شاخص SPI (مکی^۱ و همکاران، ۱۹۹۳)

مقادیر شاخص SPI	طبقات خشک‌سالی
۰/۹۹ تا -۰/۹۹	تقریباً نرمال
-۱/۴۹ تا -۱	نسبتاً خشک
-۱/۵ تا -۱/۹۹	خیلی خشک
≤ -۲	فراخشک

در ادامه، کلیه مقادیر شاخص‌های آسیب‌پذیری اقلیمی به‌جز شاخص حداکثر سرعت باد در سطح حوزه آبخیز سامیان با استفاده از روش معکوس وزنی فاصله (IDW)^۲ در محیط ArcGIS 10.6 پهنه‌بندی شد (اسلامی و همکاران، ۱۳۹۵). ذکر این نکته لازم است که به‌سبب محدودبودن ایستگاه‌ها واریوگرام رسم‌شده توسط روش میان‌یابی کریجینگ^۳ دارای ضریب تبیین پایین بودند و روش مناسبی برای پهنه‌بندی در نظر گرفته نشد که در تطابق با تحقیق انجام‌شده توسط حمزه‌نژاد و همکاران (۱۳۹۷) برای همین منطقه مطالعاتی بوده است. همچنین، برای پهنه‌بندی شاخص حداکثر سرعت باد، روش IDW نتایج مناسبی نشان نداد و به همین دلیل از روش تیسن^۴، که جواب بهتری در تطابق با داده‌های واقعی و شناخت نسبی به منطقه ارائه داد، استفاده شد. همچنین، برای تعیین میزان آسیب‌پذیری اقلیمی، نخست هر شاخص مطالعاتی مزبور بین مقیاس یک تا پنج به شرح جدول ۴ دسته‌بندی شد. سپس، آسیب‌پذیری کلی حوزه آبخیز با محاسبه نقطه آسیب‌پذیری کلی آن (OVP)^۵ بر اساس رابطه ۱ تعیین شد.

جدول ۴. طبقه‌بندی و دسته‌بندی آسیب‌پذیری (تیپوران جر و همکاران، ۲۰۱۰)

مقیاس	طبقه‌بندی کلی	نقطه آسیب‌پذیری کلی (OVP)
۵	آسیب‌پذیری خیلی زیاد	> ۸۵
۴	آسیب‌پذیری زیاد	$۸۵-۷۰$
۳	آسیب‌پذیر	$۷۰-۵۵$
۲	در خطر	$۵۵-۴۰$
۱	برگشت‌پذیر	< ۴۰

$$OVP = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_i}{S_{max}} \times 100 \quad (۱)$$

در این رابطه، n تعداد کل شاخص‌های مورد استفاده در ارزیابی، S_i مقیاس آیین شاخص، و S_{max} حداکثر مقیاس در روش مورد استفاده است.

یافته‌های پژوهش

نتایج اصلی حاصل از ارزیابی تغییرپذیری شاخص‌های آسیب‌پذیری اقلیمی در زیرحوزه‌های آبخیز سامیان در جدول ۵ آمده است.

1. McKee
2. Inverse Distance Weighting (IDW)
3. Kriging
4. Thiessen
5. Overall Vulnerability Point (OVP)

جدول ۵. مقادیر میانگین شاخص‌های آسیب‌پذیری اقلیمی در زیرحوزه‌های آبخیز سامیان

زیرحوضه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴
فصل خشک	۶۱٫۳۲	۶۲٫۹۹	۶۳٫۸۵	۶۴٫۴۱	۶۴٫۱۷	۶۹٫۶۶	۶۷٫۹۸	۷۳٫۳۲	۶۵٫۸۹	۶۷٫۰۶	۷۲٫۰۶	۸۶٫۶۳	۷۹٫۹۵	۷۷٫۶۱
فصل مرطوب	۱۶۱٫۰۴	۱۳۹٫۱۲	۱۳۰٫۸۳	۱۳۲٫۰۸	۱۵۱٫۰۸	۱۹۵٫۶۴	۲۰۰٫۵۵	۲۰۶٫۲۹	۱۹۶٫۲۴	۲۰۵٫۴۱	۲۱۳	۲۲۰٫۴۰	۲۲۰٫۷۶	۲۳۲٫۳۳
دوره سرد	۱٫۶۱	۱٫۹۷	۲٫۰۷	۲٫۰۳	۱٫۸۹	۰٫۷	-۰٫۸۸	-۵٫۸۷	-۲٫۴۸	-۰٫۲۱	۰٫۷۴	۱٫۳۵	۰٫۸۷	۰٫۳۰
دوره گرم	۱۶٫۵۱	۱۶٫۸۶	۱۶٫۹۶	۱۶٫۹	۱۶٫۶۶	۱۵٫۱	۱۴٫۶۱	۱۳٫۰۳	۱۴٫۴۹	۱۵٫۴	۱۵٫۸۴	۱۶٫۱۲	۱۵٫۶۱	۱۴٫۷۳
حداکثر سرعت باد	۷۸٫۴۸	۷۸٫۴۸	۷۸٫۴۸	۷۸٫۴۸	۷۸٫۴۸	۷۵٫۲۵	۴۱٫۹۸	۳۴٫۲	۴۱٫۳۲	۴۸٫۵۳	۴۸٫۵۳	۴۸٫۵۳	۴۸٫۵۳	۵۸٫۹۵
ارتفاع از سطح دریا	۱۵۹۸	۱۵۸۲	۱۶۰۱	۱۵۶۷	۱۴۴۹	۱۴۷۷	۱۶۶۲	۲۱۴۱	۱۸۰۲	۱۸۴۲	۱۸۳۳	۱۷۸۴	۲۰۵۲	۲۵۹۶
SPI	۰٫۰۰۲۶	۰٫۰۰۲۸	۰٫۰۰۲۸	۰٫۰۰۲۸	۰٫۰۰۲۴	۰٫۰۰۱۲	۰٫۰۰۲۲	۰٫۰۱۱۱	۰٫۰۰۵۷	۰٫۰۰۲۲	۰٫۰۰۲۴	۰٫۰۰۲۰	۰٫۰۰۱۴	۰٫۰۰۱۱

واحد‌های شاخص‌ها در جدول ۲ ارائه شده است.

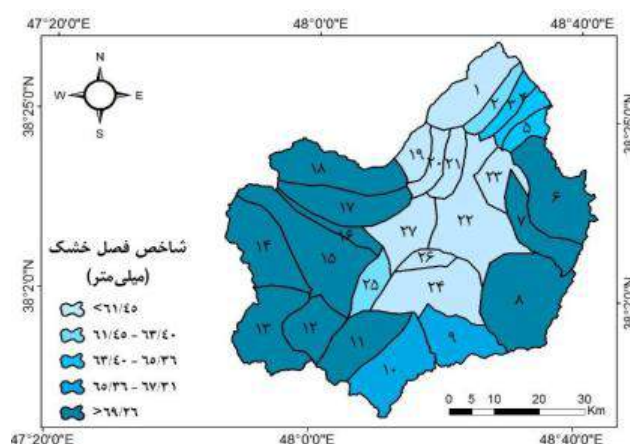
ادامه جدول ۵. مقادیر میانگین شاخص‌های آسیب‌پذیری اقلیمی در زیرحوزه‌های آبخیز سامیان

زیرحوضه	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷
فصل خشک	۷۵٫۲۵	۶۸٫۴۳	۷۹٫۰۹	۷۲٫۳۵	۵۵٫۱۹	۵۱٫۰۰	۴۸٫۰۵	۵۶٫۶۵	۵۷٫۷۴	۵۹٫۴۷	۶۳٫۰۲	۵۲٫۴۱	۴۹٫۲۱
فصل مرطوب	۲۳۹٫۹۰	۲۵۴٫۹۹	۲۵۱٫۱۰	۲۳۳٫۳۳	۱۹۱٫۵۹	۱۸۴٫۶۸	۱۷۰٫۹۰	۱۷۰٫۵۹	۱۸۶٫۰۳	۱۸۰٫۹۵	۲۲۸٫۱۱	۱۶۷٫۱۹	۱۹۶٫۹۹
دوره سرد	۰٫۹۵	۰٫۷	۰٫۶۱	۰٫۵۸	۰٫۸۵	۰٫۹۳	۱٫۰۲	۰٫۲۲	۱٫۰۳	-۰٫۴۹	۱٫۰۸	۰٫۹۷	۱٫۱۵
دوره گرم	۱۵٫۷۱	۱۵٫۶۳	۱۵٫۵۷	۱۵٫۵۲	۱۵٫۸۷	۱۵٫۹۵	۱۵٫۹۸	۱۵٫۵۷	۱۵٫۵	۱۵٫۴۱	۱۶٫۱	۱۶٫۲۸	۱۶٫۳۱
حداکثر سرعت باد	۶۴٫۰۶	۷۱٫۷۱	۶۳٫۶۲	۶۲٫۴۹	۳۵٫۲۳	۴۰٫۹۶	۴۷٫۴۴	۳۹٫۵۸	۶۱٫۳۹	۴۰٫۳۴	۵۸٫۳۶	۳۶٫۲۳	۴۳٫۱۶
ارتفاع از سطح دریا	۲۱۰۶	۱۹۴۴	۱۹۱۳	۲۱۰۱	۱۳۲۸	۱۳۲۸	۱۳۲۶	۱۳۷۵	۱۳۲۶	۱۵۹۶	۱۶۴۰	۱۵۹۳	۱۵۱۱
SPI	۰٫۰۰۱۱	۰٫۰۰۰۶	۰٫۰۰۰۶	۰٫۰۰۱۱	۰٫۰۰۲۳	۰٫۰۰۲۵	۰٫۰۰۳۱	۰٫۰۰۲۵	۰٫۰۰۲۱	۰٫۰۰۳۱	۰٫۰۰۱۵	۰٫۰۰۲۲	۰٫۰۰۱۴

واحد‌های شاخص‌ها در جدول ۲ ارائه شده است.

شاخص فصل خشک

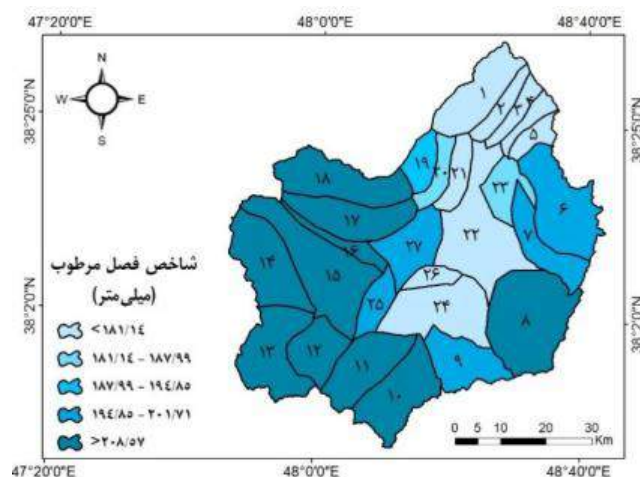
با توجه به نتایج مندرج در جدول ۵، میانگین و انحراف معیار شاخص آسیب‌پذیری اقلیمی در حوزه آبخیز سامیان بر اساس شاخص فصل خشک به‌ترتیب برابر با ۶۵/۳۶ و ۹/۶۹ میلی‌متر است. آزمون K-S برای شاخص فصل خشک نرمال‌بودن توزیع را با استفاده از داده‌های خام نشان داد ($P\text{-value} > ۰/۰۵$). نقشه شاخص فصل خشک در سطح زیرحوضه‌های آبخیز سامیان در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲. نقشه شاخص فصل خشک در سطح زیرحوضه‌های (۱-۲۷) آبخیز سامیان

شاخص فصل مرطوب

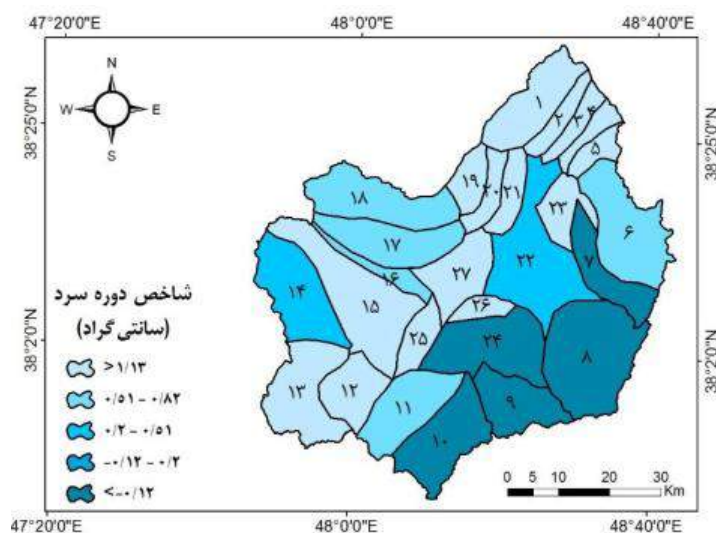
با توجه به جدول ۵، میانگین و انحراف معیار شاخص آسیب‌پذیری اقلیمی در حوزه آبخیز سامیان بر اساس شاخص فصل مرطوب به‌ترتیب برابر با ۱۹۴/۸۶ و ۳۴/۰۲ میلی‌متر است. آزمون K-S توزیع نرمال را برای شاخص فصل مرطوب با استفاده از داده‌های خام نشان داد ($P\text{-value} > 0.05$). شکل ۳ نقشه شاخص فصل مرطوب در زیرحوزه‌های آبخیز سامیان را نشان می‌دهد.



شکل ۳. نقشه شاخص فصل مرطوب در سطح زیرحوزه‌های (۱-۲۷) آبخیز سامیان

شاخص دوره سرد

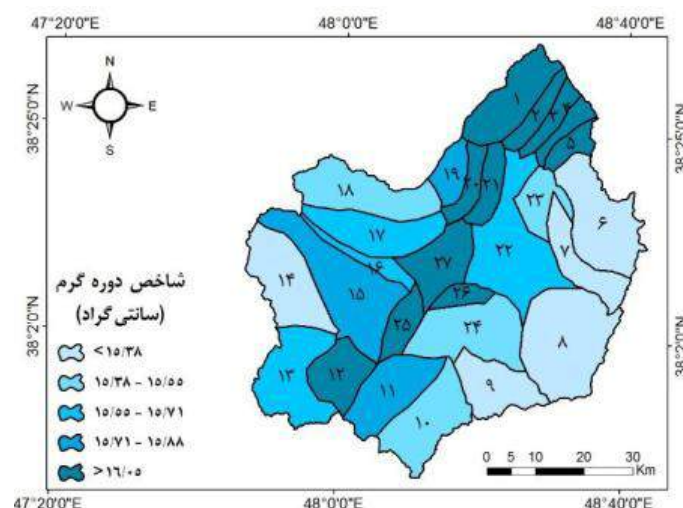
با توجه به نتایج حاصله در جدول ۵، میانگین و انحراف معیار آسیب‌پذیری اقلیمی در حوزه آبخیز سامیان بر اساس شاخص دوره سرد به‌ترتیب برابر با ۰/۵۱ و ۱/۵۷ سانتی‌گراد است. شکل ۴ نقشه شاخص دوره سرد در زیرحوزه‌های آبخیز سامیان است.



شکل ۴. نقشه شاخص دوره سرد در سطح زیرحوزه‌های (۱-۲۷) آبخیز سامیان

شاخص دوره گرم

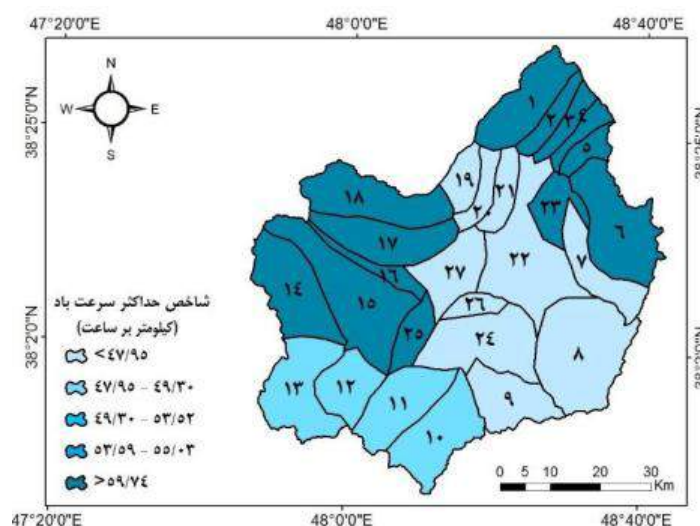
با توجه به نتایج مندرج در جدول ۵، میانگین و انحراف معیار دوره گرم به ترتیب برابر با ۱۵/۷۱ و ۰/۸۳ سانتی‌گراد است. آزمون K-S برای شاخص دوره گرم نرمال بودن توزیع را با استفاده از داده‌های خام نشان داد ($P\text{-value} > 0.05$). شکل ۵ نقشه شاخص دوره گرم در زیرحوزه‌های آبخیز سامیان را نشان می‌دهد.



شکل ۵. نقشه شاخص دوره گرم در سطح زیرحوزه‌های (۱-۲۷) آبخیز سامیان

شاخص حداکثر سرعت باد

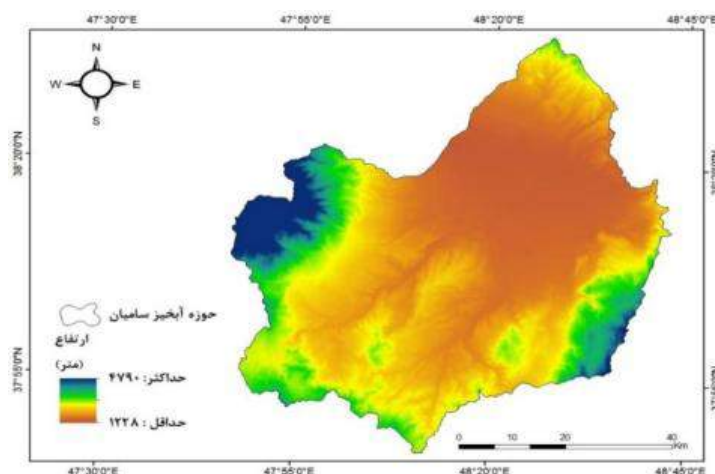
برای محاسبه و پهنه‌بندی شاخص حداکثر سرعت باد از روش درون‌یابی تیسن استفاده شده است که نتایج در جدول ۵ و شکل ۶ نشان داده شده است. میانگین و انحراف معیار حداکثر سرعت باد به ترتیب برابر با ۵۵/۶۶ و ۱۵/۲۳ کیلومتر بر ساعت است. شاخص حداکثر سرعت باد با استفاده از تبدیل داده به وسیله لگاریتم طبیعی دارای توزیع نرمال شد.



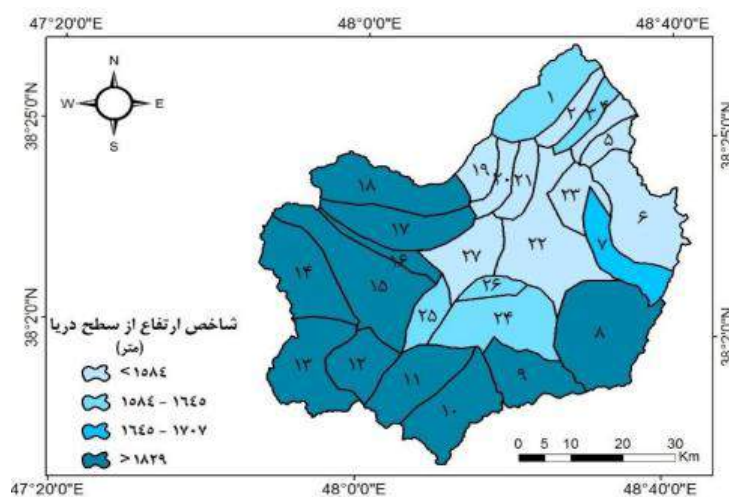
شکل ۶. نقشه شاخص حداکثر سرعت باد در سطح زیرحوزه‌های (۱-۲۷) آبخیز سامیان

شاخص ارتفاع از سطح دریا

شاخص ارتفاع از سطح دریا بیانگر وضعیت جغرافیایی یک منطقه است و نیز از عوامل مؤثر بر تغییرات دما و بارش و سایر مؤلفه‌های اقلیمی به‌شمار می‌رود. همان‌طور که در شکل ۷ نشان داده شده، حوزه آبخیز سامیان دارای حداکثر ارتفاع از سطح دریا ۴۷۹۰ متر و حداقل ارتفاع ۱۲۲۸ متر است. آزمون K-S برای شاخص ارتفاع از سطح دریا نرمال بودن توزیع را با استفاده از داده‌های خام نشان داد ($P\text{-value} > 0.05$). نتایج این شاخص در جدول ۵ ارائه شده است و شکل ۸ نقشه شاخص ارتفاع از سطح دریا در زیرحوزه‌های آبخیز سامیان را نمایش می‌دهد.



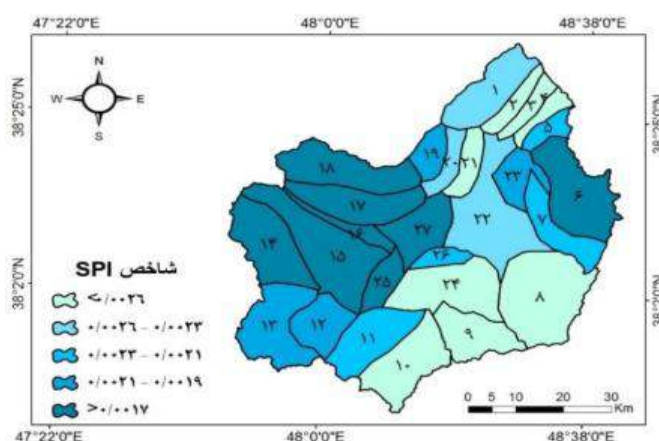
شکل ۷. نقشه مدل رقومی ارتفاع (DEM) حوزه آبخیز سامیان



شکل ۸. نقشه شاخص ارتفاع از سطح دریا در سطح زیرحوزه‌های (۱-۲۷) آبخیز سامیان

شاخص بارش استاندارد شده (SPI)

در این مطالعه، با استفاده از آمار ۲۵ ساله داده‌های بارندگی (۱۳۶۸-۱۳۹۳) در ۱۶ ایستگاه حوزه آبخیز سامیان و با به‌کارگیری روش SPI اقدام به محاسبه شدت خشک‌سالی در منطقه مورد بررسی شد که نتایج آن در جدول ۵ ارائه شده است. شاخص SPI با استفاده از تبدیل داده به وسیله لگاریتم طبیعی دارای توزیع نرمال شد. نتایج مندرج در شکل ۹ برای پایش و بررسی خشک‌سالی در ۱۶ ایستگاه حوزه آبخیز سامیان در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه نشان داده شده است.



شکل ۹. نقشه مقادیر SPI در سطح زیرحوزه‌های (۱-۲۷) آبخیز سامیان

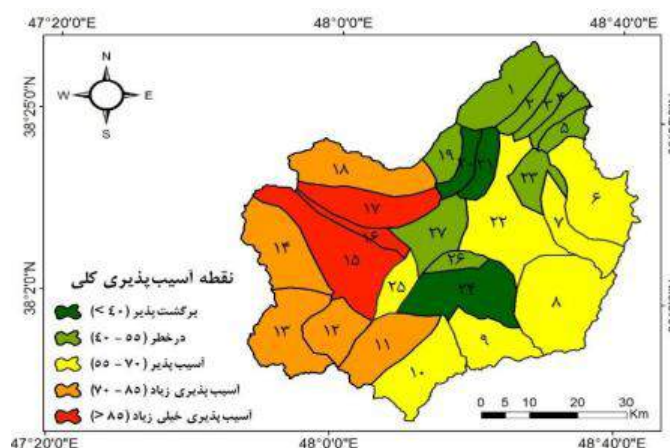
شاخص آسیب‌پذیری کلی (OVP)

نقطه آسیب‌پذیری کلی OVP شاخص آسیب‌پذیری اقلیمی که شامل هفت شاخص است در شکل ۱۰ نشان داده شده است. نقطه آسیب‌پذیری کلی حوزه آبخیز سامیان دارای حداقل مقدار ۴۳ و حداکثر ۹۷ است. در جدول ۶ مقیاس‌ها و حد آستانه هر یک از شاخص‌های آسیب‌پذیری اقلیمی و در جدول ۷ مقادیر آسیب‌پذیری کلی (OVP) ارائه شده است.

جدول ۶. مقیاس و حد آستانه هر یک از شاخص‌های مؤلفه تغییرات اقلیمی

مقیاس	۱	۲	۳	۴	۵
شاخص	برگشت پذیر	در خطر	آسیب پذیر	آسیب پذیری زیاد	آسیب‌پذیری خیلی زیاد
فصل مرطوب	< ۱۸۱/۱۴	۱۸۷/۹۹ - ۱۸۱/۱۴	۱۸۷/۹۹ - ۱۸۱/۱۴	۲۰۱/۷۱ - ۱۹۴/۸۵	> ۲۰۸/۵۷
فصل خشک	< ۶۱/۴۵	۶۳/۴۰ - ۶۱/۴۵	۶۵/۳۶ - ۶۳/۴۰	۶۷/۳۱ - ۶۵/۳۶	> ۶۹/۳۶
دوره سرد	> ۱/۱۳	۰/۸۲ - ۰/۵۱	۰/۵۱ - ۰/۲۰	۰/۲۰ - (-۰/۱۲)	> (-۰/۱۲)
دوره گرم	< ۱۵/۳۸	۱۵/۵۵ - ۱۵/۳۸	۱۵/۷۱ - ۱۵/۵۵	۱۵/۸۸ - ۱۵/۷۱	> ۱۶/۰۵
حداکثر سرعت باد	< ۴۷/۹۵	۴۹/۳ - ۴۷/۹۵	۵۳/۵۲ - ۴۹/۳	۵۵/۰۳ - ۵۳/۵۲	> ۵۹/۷۴
ارتفاع از سطح دریا	< ۱۵۸۴	۱۶۴۵ - ۱۵۸۴	۱۷۰۷ - ۱۶۴۵	۱۷۶۸ - ۱۷۰۷	> ۱۸۲۹
SPI	< ۰/۰۰۲۷	۰/۰۰۲۴ - ۰/۰۰۲۷	۰/۰۰۲۱ - ۰/۰۰۲۴	۰/۰۰۱۹ - ۰/۰۰۲۱	> ۰/۰۰۱۷

واحدهای شاخص‌ها در جدول ۲ ارائه شده است.



شکل ۱۰. مقادیر نقطه آسیب‌پذیری کلی (OVP) در زیرحوزه‌های (۱-۲۷) آبخیز سامیان

جدول ۷. مقادیر میانگین آسیب پذیری کلی (OVP) مبتنی بر شاخص های اقلیمی در زیرحوزه های آبخیز سامیان

زیرحوضه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴
OVP	۴۹	۴۶	۵۱	۴۹	۵۴	۶۶	۶۳	۶۶	۶۰	۶۹	۷۴	۷۷	۷۱	۸۳
زیرحوضه	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	-
OVP	۸۶	۸۶	۸۶	۸۳	۵۴	۳۷	۳۱	۵۷	۴۶	۳۷	۶۹	۴۰	۵۱	-

بحث

تغییرات روند بارندگی و دما تأثیر مستقیمی در شرایط حوزه آبخیز می‌گذارد و بی‌توجهی به پیامدهای ناشی از تغییرات اقلیمی می‌تواند خسارت‌های جبران‌ناپذیری به منابع و محیط زیست وارد کند. نتایج شاخص‌های آسیب‌پذیری اقلیمی بیانگر ناهمگونی توزیع مکانی آن‌ها در سطح ۲۷ زیرحوزه آبخیز سامیان بوده است؛ به‌طوری‌که حداکثر مقادیر مربوط به فصل خشک (جدول ۵ و شکل ۲)، از بین ۲۷ زیرحوضه، متعلق به زیرحوضه ۱۲ با مقدار ۸۶/۶۳ میلی‌متر و کمترین مقدار آن متعلق به زیرحوضه ۲۱ با مقدار ۴۸/۰۵ میلی‌متر محاسبه شد. حوضه‌های واقع در بخش‌های مرکزی دارای کمترین میزان آسیب‌پذیری اقلیمی از لحاظ خشک‌سالی‌اند. بنابراین، امنیت روانی برای این منطقه طبق نتایج به‌دست‌آمده حاکم است. درحالی‌که آسیب‌پذیرترین حوضه‌ها نسبت به شاخص دوره خشک در بخش جنوبی، جنوب غربی، و شمال شرقی قرار گرفته‌اند. این نشان‌دهنده این امر است که طی دوره آماری ۱۳۶۸ تا ۱۳۹۳، میانگین بارندگی سالانه طی پنج سال پایانی دوره (۱۳۸۹-۱۳۹۳) در این مناطق دارای مقادیر ۲۰ درصد کمتر از میانگین طولانی‌مدت ماهانه ۲۵ سال بوده‌اند. این امر نشان‌دهنده این است که در صورت تداوم این امر، بخش وسیعی از منطقه در معرض خشک‌سالی است. به همین ترتیب، نتایج این تحقیق اهمیت ثبت داده‌های اقلیمی را برای همه ایستگاه‌های واقع در متن توجه می‌کند و تأکید بر سرمایه‌گذاری کنونی برای تجهیز ایستگاه‌های ثبت آمار به‌منظور پیش‌بینی دقیق آینده و جلوگیری از وقوع خطرهای جبران‌ناپذیری در ابعاد مختلف اجتماعی، اقتصادی، و سیاسی کشور است. در تطابق با نتایج تحقیق حاضر، امینی و همکاران (۱۳۹۸) طی مطالعه‌ای با هدف بررسی واکنش خشک‌سالی هیدرولوژیک در جریان تنظیمی رودخانه تحت‌تأثیر احداث سد در استان اردبیل، وجود روند کاهشی بارش طی دوره مطالعاتی ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۲ را تأیید کردند. همچنین، در بخش‌های دارای آسیب‌پذیری کم نیز وجود روند افزایشی بارش را گزارش کردند. در عین حال، این پژوهشگران وقوع دوره‌های خشک‌سالی با تداوم‌های مختلف را برای مناطق تحت‌تأثیر احداث دو سد یامچی و سبلان مشاهده کردند؛ به‌نحوی‌که تعداد رخداد خشک‌سالی در مناطق پایین‌دست نسبت به بالادست بیشتر بوده است. درحالی‌که شدت خشک‌سالی رفتاری متفاوت در مناطق بالادست و پایین‌دست سدهای مورد مطالعه داشته است. همچنین، نتایج آن‌ها اثرهای مثبت سد در تنظیم دبی و رژیم هیدرولوژیکی را تأیید کرد. بنابراین، نقش انسان در افزایش یا کاهش میزان آسیب‌پذیری اکوسیستم حوزه آبخیز سامیان علاوه بر آسیب‌پذیری اقلیمی بااهمیت و درخور توجه است.

حداکثر مقادیر مربوط به شاخص فصل مرطوب (جدول ۵ و شکل ۳) متعلق به زیرحوضه ۱۶ با مقدار ۲۵۴/۹۹ میلی‌متر و کمترین مقدار آن متعلق به زیرحوضه ۳ با مقدار ۱۳۰/۸۳ میلی‌متر به‌دست آمد. از جمله کاربردهای تعیین دوره‌های مرطوب می‌توان به تولید آب، توصیف کمی خشک‌سالی، سیل‌خیزی، و پیش‌بینی و ارزیابی وقوع سیل‌ها اشاره کرد. طبق نتایج به‌دست‌آمده، مشخص شد که حوضه‌های واقع در جنوب، جنوب غربی، و جنوب شرقی حوضه دارای میزان آسیب‌پذیری بیشتری در برابر عوامل یاد شده‌اند. مدیران و متخصصان امر می‌توانند از این نتایج برای تحلیل نقاط فرصت و تهدید در منطقه استفاده کنند. در صورت مدیریت درست منابع آب و نیز نزولات جوی در منطقه می‌توانند در

تداوم حیات طبیعی نقش داشته باشند و در عین حال نتایج متذکر این امر است که در صورت عدم مدیریت و بی‌توجهی به پتانسیل این مناطق، احتمال وقوع سیلاب، هدررفت منابع خاک و آب کشور، و در نتیجه اختلال اقلیمی و هیدرولوژیکی اکوسیستم به سبب دریافت میزان بارش حداکثری در دوره‌های مرطوب سال وجود دارد. همچنین، حوضه‌های واقع در شمال و بخش‌هایی از مرکز آبخیز تحت تأثیر حداقل میزان آسیب‌پذیری نسبت به تهدیدات مربوط به دوره مرطوب سال هستند. قابل ذکر است که این بیانگر کسب اطمینان از این امر نیست که مدیریت یا راهکارهای حفاظتی برای این مناطق اتخاذ نشود، بلکه این گونه می‌توان بیان کرد که، ضمن تأیید در اولویت قراردادن بخش‌های آسیب‌پذیرتر برای اقدامات حفاظتی، در این بخش نیز برنامه‌ریزی اصولی برای حفظ پتانسیل به شکل کنونی در بلندمدت و جلوگیری از تخریب مناطق و آسیب‌پذیرنمودن آن‌ها انجام پذیرد.

همچنین، حداکثر مقدار شاخص دوره سرد (جدول ۵ و شکل ۴) برای زیرحوضه ۳ با مقدار ۲/۰۷ درجه سانتی‌گراد و حداقل آن در زیرحوضه ۸ با مقدار ۵/۸۷- درجه سانتی‌گراد است. علاوه بر این، برای دوره گرم (جدول ۵ و شکل ۵)، حداکثر مقدار مربوط به زیرحوضه ۳ با مقدار ۱۶/۹۶ درجه سانتی‌گراد و حداقل مقدار برای زیرحوضه ۸ با مقدار ۱۳/۰۳ درجه سانتی‌گراد به دست آمد. دو شاخص دوره سرد و گرم هر دو نشان‌دهنده وجود تنش دما هستند که در صورت پایین یا بالا بودن بیش از حد دما به میزان رشد پوشش گیاهی و تنوع زیستی آسیب وارد می‌نماید. در حوزه آبخیز سامیان بخش‌های شمال شرقی و جنوب غربی دارای کمترین میزان آسیب‌پذیری اقلیمی از لحاظ دوره سرد هستند؛ درحالی‌که آسیب‌پذیرترین حوضه‌ها در بخش جنوب شرقی واقع شده‌اند و بخش‌های جنوب شرقی کمترین میزان آسیب‌پذیری از لحاظ دوره گرم را داراست و بخش‌های مرکزی و شمال شرقی بیشترین آسیب‌پذیری دوره گرم را دارند که نشان‌دهنده این امر است که در بخش‌های دارای آسیب‌پذیری زیاد به ترتیب میانگین دمای سالانه طی پنج سال پایانی دوره (۱۳۸۹-۱۳۹۳) در این مناطق دارای مقادیر ۲۰ درصد کمتر یا بالاتر از میانگین طولانی مدت ماهانه حداکثر داده موجود بوده‌اند. افزایش دمای سطح زمین و تغییرات در الگوی بارندگی پدیده‌های غالب در تغییر اقلیم است که این دو چرخه آب را تحت تأثیر قرار می‌دهند. افزایش در تبخیر و تعرق به دلیل افزایش دما انجام می‌گیرد و در نتیجه آن رطوبت خاک کاهش می‌یابد و از میزان سبزیگی و پوشش گیاهی کاسته می‌شود. در تأیید نتایج پژوهش، سون و کافاتوس (۲۰۰۷) به بررسی فصلی رابطه پوشش گیاهی با دمای سطح زمین پرداختند. نتایج آن‌ها نشان‌دهنده ارتباط منفی قابل قبول بین میزان سبزیگی و دمای سطح زمین در فصل گرم است. در عین حال، نتایج متذکر این امر است که در صورت عدم مدیریت و بی‌توجهی به پتانسیل این مناطق، عامل دما می‌تواند به پوشش گیاهی و تنوع زیستی آسیب برساند.

با توجه به نتایج به دست آمده، حداکثر شاخص سرعت باد (جدول ۵ و شکل ۶) مربوط به زیرحوضه‌های ۱، ۲، ۳، ۴، و ۵ با مقدار ۷۸/۴۸ کیلومتر بر ساعت و کمترین مقدار در زیرحوضه ۸ با مقدار عددی ۳۴/۲۰ کیلومتر بر ساعت است. در واقع، از لحاظ شاخص حداکثر سرعت باد، شمال شرقی حوزه آبخیز سامیان آسیب‌پذیرترین بخش است و بخش‌های مرکزی و جنوبی آن حداقل مقادیر آسیب‌پذیری را دارند. رضایی بنفشه درق و همکاران (۱۳۹۰) روند تغییرات سرعت باد در شمال غرب ایران را بررسی و گزارش کردند که روند تغییرات سرعت باد در ایستگاه اردبیل در چهار فصل سال افزایشی بوده است؛ به نحوی که در فصل بهار و پاییز و نیز در مقیاس سالانه دارای روند معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد بوده است. همچنین، آن‌ها بیان کردند که ایستگاه اردبیل دارای بیشترین مقدار میانگین سرعت باد (۷/۴ متر بر ثانیه) نسبت به سایر ایستگاه‌های مورد مطالعه واقع در غرب کشور است. به طور کلی، نقشه آسیب‌پذیری اقلیمی بر اساس شاخص سرعت باد در تحقیق حاضر نشان می‌دهد که بخش‌های غربی و شمال غربی حوضه آسیب‌پذیری بیشتری

نسبت به سایر زیرحوضه‌ها دارند و در اولویت اول برای اتخاذ اقدامات مقابله با خطرهای طبیعی‌اند. همچنین، می‌توان پیشنهاد کرد که در صورت مناسب‌بودن میزان تداوم سرعت باد در طول سال و در حد مجاز موردنیاز به احداث توربین‌های باد و تولید انرژی بادی از این مناطق استفاده کرد تا علاوه بر مهار خطر بتوان در رونق تولید ملی از پتانسیل منطقه استفاده کرد.

بر اساس تحلیل نتایج به‌دست‌آمده برای شاخص ارتفاع از سطح دریا (جدول ۵ و شکل ۷)، زیرحوضه ۱۴ با مقدار ۲۵۹۶ متر ارتفاع از سطح دریا دارای بیشترین و زیرحوضه ۲۱ با مقدار ۱۳۲۶ متر دارای کمترین ارتفاع از سطح دریا است. با افزایش ارتفاع، غالباً میزان بارندگی افزایش می‌یابد و از حالت باران به برف تبدیل می‌شود. درجه حرارت نیز کاهش می‌یابد و میزان تبخیر را پایین می‌آورد. بنابراین، در شرایط بارندگی یکسان، میزان تولید رسوب در حوضه‌هایی که دارای ارتفاع بالاتری‌اند بیش از حوضه‌های پست‌تر خواهد بود. بنابراین، می‌توان اذعان کرد که حوضه‌های آبخیز واقع در بخش‌های غربی، جنوبی، و جنوب شرقی آسیب‌پذیرترین مناطق از لحاظ شاخص ارتفاع‌اند.

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از شاخص SPI، به‌عنوان آخرین شاخص مورد بررسی در ارزیابی آسیب‌پذیری اقلیمی، حوزه آبخیز سامیان در طبقه خشک‌سالی تقریباً نرمال قرار دارد و همچنین شدیدترین خشک‌سالی مربوط به زیرحوضه ۱۶ و ۱۷ با مقدار ۰/۰۰۰۶ (حداقل مقدار SPI) و شدیدترین ترسالی مربوط به زیرحوضه ۸ با مقدار ۰/۰۱۱۱ (حداکثر مقدار SPI) است (جدول ۵ و شکل ۸). از این شاخص نیز به‌سبب ماهیت متفاوت آن نسبت به شاخص فصل خشک و نیز ارائه اطلاعات بهتر از شدت خشک‌سالی استفاده شد. در همین راستا، حمزه‌نژاد و همکاران (۱۳۹۷) شدت خشک‌سالی را در حوزه آبخیز قره‌سو (که حوزه آبخیز سامیان بخشی از آن است) پهنه‌بندی کردند. نقشه‌های پهنه‌بندی SPI نشان داد که در سال مرطوب بیشترین درصد حوضه را نقاط نسبتاً مرطوب تشکیل داده و نقاط فرامرطوب در بخش جنوب شرقی حوضه قرار دارند و در سال خشک بیشترین درصد حوضه را نقاط نزدیک نرمال تشکیل می‌دهند، و نقاط فراخشک فقط درصد کمی از مرکز حوضه را پوشش می‌دهند که با نتایج پژوهش حاضر مبنی بر وضعیت نرمال آبخیز از لحاظ شاخص SPI مطابقت دارد.

به‌طور کلی، بر اساس تلفیق کلیه شاخص‌های مورد مطالعه، از لحاظ نقطه آسیب‌پذیری کلی (OVP) زیرحوضه‌های ۱۵، ۱۶، و ۱۷ به‌دلیل آسیب‌پذیری خیلی زیاد ارزیابی شدند (شکل ۱۰). با تحلیل مقایسه‌ای شاخص‌های مورد استفاده مشخص شد که این حوضه‌ها از لحاظ همه شاخص‌ها به‌جز شاخص دوره گرم و دوره سرد در دو طبقه با آسیب‌پذیری خیلی زیاد و زیاد دسته‌بندی شدند. بنابراین ترکیب این شاخص‌ها برای محاسبه نقطه آسیب‌پذیری کلی (OVP) به قرارگرفتن این مناطق در دسته آسیب‌پذیری خیلی زیاد منجر شده است. همچنین، زیرحوضه‌های ۲۰، ۲۱، و ۲۴ که شامل بخش‌هایی از شمال و مرکز حوضه‌اند، به‌دلیل قرارگرفتن برخی از آن‌ها در دشت‌های نسبتاً هموار در طبقه برگشت‌پذیر قرار دارند که از لحاظ کلیه شاخص‌های مورد بررسی غالباً نیز در وضعیت ملایم‌تری از شدت آسیب‌پذیری اقلیمی قرار گرفته‌اند.

بنابراین، نتایج پژوهش حاضر می‌تواند در راستای کاهش یا مهار خطرهای تغییر اقلیم در حوزه آبخیز سامیان کاربرد فوق‌العاده‌ای داشته باشد که با اظهارات سایر محققان برای حوضه‌های آبخیز مطالعاتی در کشورهای مختلف مطابقت دارد (د شربین و همکاران، ۲۰۰۷؛ تیوران جر و همکاران، ۲۰۱۰؛ روی و همکاران، ۲۰۱۶؛ ساتیان و همکاران، ۲۰۱۸؛ حمزه‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۷؛ زارعی و همکاران، ۱۳۹۷). در تأیید نتایج پژوهش حاضر، شاهید (۲۰۱۰) در بنگلادش به مدل‌سازی خشکی، آسیب‌پذیری، و خطر پرداخت و نتایج الگوی آسیب‌پذیری به خشک‌سالی را ارائه داد.

بخش غربی بنگلادش نسبت به بخش جنوبی آن آسیب‌پذیرتر و همچنین بخش مرکزی آسیب‌پذیرتر از بخش شمالی ارزیابی شد و بالاترین آسیب‌پذیری‌ها در مناطق شمالی و شمال غربی کشور متمرکز شده بود. همچنین، تیبوران جر و همکاران (۲۰۱۳) نیز نشان دادند که حدود ۶۹٫۷ درصد از حوزه آبخیز دارای مقیاس آسیب‌پذیری ۰٫۳ به بالاست. علاوه بر این، حدود ۸٫۴ درصد (۱۹۳/۴ هکتار) از حوزه آبخیز مورد مطالعه دارای اولویت بسیار بالا از لحاظ آسیب‌پذیری است.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق سعی شد، با رویکردی شاخص‌محور، آسیب‌پذیری اقلیمی حوزه آبخیز سامیان واقع در بخش مرکزی استان اردبیل ارزیابی شود. نتایج مبتنی بر تحلیل هفت شاخص مهم اقلیمی و فیزیکی بیانگر این است که منطقه در اثر تغییر یا نوسانات عوامل اقلیمی دچار آسیب شده است؛ به‌طوری‌که نقطه آسیب‌پذیری کلی (OVP) در حوزه آبخیز سامیان بین ۳۱ تا ۸۶ قرار گرفته است و در پنج طبقه با درجات مختلف آسیب‌پذیری پهنه‌بندی شد. توزیع مکانی آسیب‌پذیری نشان می‌دهد که بخش‌های غربی و جنوب غربی و بخش کوچکی از شمال شرقی حوضه دارای بیشترین آسیب‌پذیری اقلیمی‌اند (شکل ۱۰) و نیاز به درنظرگرفتن اقدامات مدیریتی و حفاظتی در برابر تهدیدات آینده و نیز جلوگیری از برهم‌کنش آسیب‌پذیری اقلیمی با سایر ابعاد آسیب‌پذیری حوضه آبخیز است. در صورت انجام‌نیافتن اقدامات سازگاری با این تأثیرات در حال حاضر، مدیریت منطقه در آینده دشوارتر و پرهزینه‌تر خواهد بود. با توجه به نوپابودن مفاهیم و کاربرد روش‌های ارزیابی آسیب‌پذیری در مقیاس حوضه آبخیز، اجرای تحقیق‌های گسترده و جامع‌تر در شرایط مختلف آب‌وهوایی، خاکی، کاربری اراضی، زمین‌شناسی، و هیدرولوژی پیشنهاد می‌شود. نتایج تحقیق، ضمن بیان اهمیت تأثیرات تغییر اقلیم، کاربرد آن‌ها را در به‌کارگیری مدیریت صحیح و سازگار با تغییرات اقلیمی در سیاست‌های آتی مدیریت حوزه آبخیز لازم و ضروری می‌داند. بنابراین، از نتایج می‌توان بیشتر به‌عنوان ورودی برای توسعه یک چارچوب جامع و یک‌پارچه برای راه‌حل‌های کاهش و سازگاری با تغییرات اقلیمی استفاده کرد. همچنین، برای ارائه نتیجه‌گیری جامع از وضعیت آسیب‌پذیری حوزه آبخیز سامیان و نیز سایر حوضه‌های آبخیز کشور، اهتمام نسبت به ثبت کلیه داده‌های اقلیمی استفاده‌شده در پژوهش حاضر در همه ایستگاه‌های هواشناسی و هیدرومتری پیشنهاد می‌شود تا بتوان پایش مناسب از پتانسیل واقعی آبخیز داشت و نیز تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی صحیحی به‌عمل آورد.

منابع

- اسلامی، ح؛ صفار، س؛ جامع، م. و قاسمی، ص. (۱۳۹۵). بررسی مدل درونیابی معکوس وزنی فاصله (IDW) در پهنه‌بندی بارش (مطالعه موردی: استان خوزستان)، *همایش ملی آب و سازه‌های هیدرولیکی*، دزفول، دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول.
- افخمی، م. و نصیری صالح، ف. (۱۳۹۴). ارزیابی عملکرد مدل‌های هیدرولوژیکی توزیعی و یک‌پارچه در شبیه‌سازی متوسط روزانه دبی جریان در حوضه آبریز رودخانه قره‌سو اردبیل، *نشریه عمران مدرس*، ۱۵: ۳۱-۴۰.
- امینی، ح؛ اسمعیل عوری، ا؛ مصطفی‌زاده، ر؛ شرری، م. و ذبیحی، م. (۱۳۹۸). واکنش خشک‌سالی هیدرولوژیک در جریان تنظیمی رودخانه تحت تأثیر احداث سد در استان اردبیل، *فیزیک زمین و فضا*، ۴۵(۲): ۴۷۳-۴۸۶.
- حجازی‌زاده، ز؛ علیجانی، ب؛ سلیقه، م؛ دانایی فرد، ح. و احمدی، ا. (۱۳۹۴). محاسبه شاخص آسیب‌پذیری اقلیمی مبتنی بر مدل ضربی - نمایی استان سیستان و بلوچستان، *تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، ۱۵(۳۶): ۷۳-۹۶.
- حق‌ندری، ف؛ افصلی، ا. و میرزایی، ر.ا. (۱۳۹۶). مروری بر مبانی آسیب‌پذیری با تأکید بر مؤلفه‌های آسیب‌پذیری محیط زیستی، *چهارمین کنفرانس بین‌المللی برنامه‌ریزی و مدیریت محیط زیست*، دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران.
- حمزه‌نژاد، س؛ همدی، ن؛ نظرنژاد، ح. و خرمی، ک. (۱۳۹۷). پهنه‌بندی خشک‌سالی حوزه آبخیز قره‌سو با استفاده از شاخص SPI و IDW، *سیزدهمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران و سومین همایش ملی صیانت از منابع طبیعی و محیط زیست*، دانشگاه محقق اردبیلی، ۱۰ و ۱۱ مهرماه ۱۳۹۷، دانشگاه محقق اردبیلی.
- رضایی بنفشه درق، م؛ جوان، خ. و زینالی، ب. (۱۳۹۰). بررسی روند تغییرات سرعت باد در شمال غرب ایران، *جغرافیای طبیعی*، ۱۳(۴): ۲۷-۳۶.
- زارعی، ش؛ مصطفی‌زاده، ر؛ حزب‌بوی، ز. و اسمعیل عوری، ا. (۱۳۹۷). رویکردها و شاخص‌های مختلف ارزیابی آسیب‌پذیری بوم‌سازگان، *توسعه و محیط زیست*، پذیرش‌شده برای چاپ.
- زارعی، ش؛ مصطفی‌زاده، ر؛ حزب‌بوی، ز. و اسمعیل عوری، ا. (۱۳۹۸). تحلیل آسیب‌پذیری اقلیمی بر اساس تغییرپذیری فصل‌های خشک و مرطوب در زیرحوزه‌های آبخیز سامیان، استان اردبیل، *سومین کنفرانس هیدرولوژی مناطق نیمه‌خشک با محوریت آب، انسان، طبیعت*، جهاد دانشگاهی استان کردستان.
- علایی، ن؛ مصطفی‌زاده، ر؛ اسمعیل عوری، ا؛ شرری، م. و حزب‌بوی، ز. (۱۳۹۸). تحلیل حساسیت اکولوژیکی حوزه آبخیز کوزه‌تپراقی، استان اردبیل، *سومین کنفرانس هیدرولوژی مناطق نیمه خشک با محوریت آب، انسان، طبیعت*، جهاد دانشگاهی استان کردستان، ۳ و ۴ اردیبهشت ۱۳۹۸.
- محمدخانی، م. و جمالی، س. (۱۳۹۴). *ارزیابی میزان آسیب‌پذیری ایران در مواجهه با تغییر اقلیم*، سد و نیروگاه برق آبی، ۲(۴): ۵۴-۶۵.
- مهدوی، م. (۱۳۸۸). *هیدرولوژی کاربردی*، ج ۲، تهران: مؤسسه چاپ و انتشارات دانشگاه تهران.
- مهری، س؛ مصطفی‌زاده، ر؛ اسمعیل عوری، ا. و قربانی، ا. (۱۳۹۶). *تغییرات زمانی و مکانی شاخص جریان پایه در رودخانه‌های استان اردبیل*، *فیزیک زمین و فضا*، ۴۳(۳): ۶۲۳-۶۳۴.
- نقدی، ر؛ شایان‌نژاد، م. و ساداتی‌نژاد، س.ج. (۱۳۸۹). *مقایسه روش‌های مختلف تخمین داده‌های گم‌شده دبی ماهانه حوزه آبخیز کارون بزرگ*، پژوهش‌نامه مدیریت حوزه آبخیز، ۱(۱): ۵۹-۷۳.

یاوری، ح؛ کرم‌پور، م. و یاراحمدی، د. (۱۳۹۸). تحلیل فضایی آسیب‌پذیری زیست‌اقليمی شهر کرمانشاه در مواجهه با مخاطره اقليمي موج گرم، *جغرافيا و پايداري محيط (پژوهش‌نامه جغرافيايي)*، ۳۰(۹): ۳۷-۵۰.

Adedeji, O.; Reuben, O. and Olatoye, O. (2014). Global climate change, *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 2: 114-122.

Afkhami, M. and Nasiri Saleh, F. (2015). Performance evaluation of distributed and integrated hydrological models in daily simulation of current flow in Ardebil Gharesoo River Basin, *Modares Civil Engineering Journal*, 15: 31-40.

Ahsan, M.N. and Warner, J. (2014). The socioeconomic vulnerability index. A pragmatic approach for assessing climate change led risks—A case study in the South-Western Coastal Bangladesh, *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 8: 32-49.

Alaei, N.; Mostafazadeh, R.; Esmaili Ouri, A.; Sharrari, M. and Hezbavi, Z. (2019). Ecological Sensitivity Analysis of KoozehTopraghi Watershed, Ardabil Province. *Third National Conference on Hydrology of Iran*, 2019-04-23 and 24.

Amini, H.; Asmly Ouri, A.; Mostafazadeh, R.; Sharari, M. and Zabihi, M. (2019). Hydrological drought response to river regulatory impact under dam construction in Ardabil Province, *Space and Space Physics*, 45(2): 473-486.

De Sherbinin, A.; Schiller, A. and Pulsipher, A. (2007). The vulnerability of global cities to climate hazards, *Environment and Urbanization*, 19(1): 39.

Ericksen, P.J. (2008). What is the vulnerability of a food system to global environmental change *Ecology and Society*, 13(2): 18.

Erkossa, T.; Wudneh, A.; Desalegn, B. and Taya, G. (2015). Linking soil erosion to on-site financial cost: lessons from watersheds, In: *The Blue Nile Basin, Solid Earth*, 6: 765-774.

Eslami, H.; Saffar, S.; Jamee, M. and Qasemi, S. (2016). Investigation of interval weighted distance interpolation model (IDW) in precipitation zones (Case study: Khuzestan Province). *National Conference on Hydraulic Water and Structures*, Dezful, Islamic Azad University of Dezful, P. 7.

Füssel, H.M. and Klein, R.J.T. (2006). Climate change vulnerability assessments: an evolution of conceptual thinking, *Climatic Change*, 75: 301-329.

Füssel, H.M.; Lourenço, T.C.; Capela, T.; Downing, C.; Hildén, M.; Leitner, M.; Marx, A.; Prutsch, A. and Sanderson, M. (2018). National climate change vulnerability and risk assessments in Europe, *European Environment Agency*, 1: 79.

Haghdari, F.; Afzali, A. and Mirzaei, R.A. (2017). Vulnerability review with emphasis on the elements of environmental vulnerability, *Fourth International Conference on Environmental Planning and Management*, Faculty of Environment, University of Tehran, P. 14.

Hamzehnejad, S.; Hamdami, N.; Nazarnejad, D. and Khorrami, K. (2018). Drought zoning of Gharasoo Watershed using SPI and IDW indices, *13th National Conference on Watershed Management Science and Engineering and Third National Conference on Conservation of Natural Resources and Environment*, Mohaghegh Ardebili University, October 2-3, P. 6.

Hazbavi, Z.; Baartman, J.E.M.; Nunes, J.P.; Keesstra, S.D. and Sadeghi, S.H.R. (2018). Changeability of reliability, resilience and vulnerability indicators with respect to drought patterns, *Ecological Indicators*, 87: 196-208.

Hejazizadeh, Z.; Alijani, B.; Saligeh, M.; Danae Fard, H. and Ahmadi, A. (2015). Calculation of climate vulnerability index based on multiplicative exponential model of Sistan and Baluchestan Province, *Geographical Sciences Applied Research*, 15(36): 73-96.

- IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change. (2007). Climate change: the physical science basis, In: Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M., Miller, H.L. (Eds.), *Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, PP. 996.
- Lardy, R.; Martin, R.; Bachelet, B.; Hill, D.R.C. and Bellocchi, G. (2012). Ecosystem climate change vulnerability assessment framework, *International Congress on Environmental Modelling and Software Managing Resources of a Limited Planet*, Leipzig, Germany, PP. 777-784.
- Mahdavi, M. (2009). *Applied Hydrology*, Volume II, Tehran: Tehran University Press.
- Mehri, S.; Mostafazadeh, R.; Esmaili Ouri, A. and Ghorbani, A. (2017). Temporal and spatial variations of base flow index in Ardabil Rivers, *Earth and Space Physics*, 43(3): 3634-623.
- Maikhuri, R.K.; Rao, K.S.; Patnaik, S.; Saxena, K.G. and Ramakrishnan, P.S. (2003). Assessment of vulnerability of forests, meadows and mountain ecosystems due to climate change, *Envis Bulletin Himalayan Ecology*, 11(2): 19.
- McKee, T.B.; Doesken, N.J. and Kleist, J. (1993). The relationship of drought frequency and duration of time scales. Eighth Conference on Applied Climatology, *American Meteorological Society*, Jan 17-23, 1993, Anaheim CA, PP. 179-186
- Mirchi, A.; Watkins, D. and Madani, K. (2011). Modeling for watershed planning, management, and decision making, *Watersheds: Management, Restoration and Environmental Impact*, PP. 221-244.
- Mirhosseini, M.; Farshchi, P.; Noroozi, A.A.; Shariat, M. and Aalesheikh, A.A. (2018). Changing land use a threat to surface water quality: a vulnerability assessment approach in Zanjanroud Watershed, *Central Iran, Water Resources*, 45(2): 268-279.
- Mirhosseini, M.; Farshchi, P.; Noroozi, A.A.; Shariat, M. and Aalesheikh, A.A. (2018). Changing land use a threat to surface water quality: a vulnerability assessment approach in Zanjanroud Watershed, central Iran, *Water Resources*, 45(2): 268-279.
- Mohammadkhani, M. and Jamali, S. (2015). Assessing Iran's vulnerability to climate change, *Dam and Hydroelectric Power Plant*, 2(4): 54-65.
- Mohammed, M.; Shatil, A. and Das, A. (2019). Global environmental politics and developing nations' climatic vulnerability nexus: a systematic review and meta-analysis, *International Conference on Climate Change (ICCC-2019)*, Dhaka, Bangladesh, PP. 01-03.
- Nagdi, R.; Shayan Nejad, M. and Sadatinejad, S.J. (2010). Comparison of different methods of estimation of missing monthly discharge data in Karun Basin, *Journal of Watershed Management*, 1(1): 59-73.
- O'Brien, K.; Eriksen, S.; Schjolen, A. and Nygaard, L. (2004). What's in a word conflicting interpretations of vulnerability in climate change research, *CICERO Working Paper 2004*, Vol. 04, CICERO, Oslo University, Oslo, Norway.
- Rezaei Banafsheh Dargh, M.; Javan, Kh. and Zeinali, B. (2011). Investigating the trend of wind speed changes in northwestern Iran, *Natural Geography*, 4(13): 27-36.
- Roy, U. and Majumder, M. (2016). Vulnerability of watersheds to climate change assessed by neural network and analytical hierarchy process, *Springer Briefs in Water Science and Technology*, PP. 89.
- Sathyan, A.R.; Funk, C.; Aenis, T.; Winker, P. and Breuer, L. (2018). Sensitivity analysis of a climate vulnerability index - a case study from Indian watershed development programmes, *Climate Change Responses*, 5(1): 14.
- Shahid, Sh. (2010). Modeling drought hazard, vulnerability and risk: a case study of Bangladesh. *Ecosystems Research and Development Bureau*, 26-28.

- Stark, A. (2007). Policymaking for critical infrastructure: a case study on strategic interventions in public safety telecommunications by Gordon A. Gow, *Journal of Contingencies and Crisis Management*, 15: 65-66.
- Sun, D. and Kafatos, M. (2007). Note on the NDVI-LST Relationship and the Use of Temperature-Related Drought Indices over North America, *Geophysical Research Letters*, 34(L24406): 1-4.
- Tiburan Jr., C.; Saizen, I.; Mizuno, K. and Kobayashi, Sh. (2010). Development and application of a geospatial-based environmental vulnerability index for watersheds to climate change, in: *The Philippines, Ecosystems Research and Development Bureau*, PP. 17-19.
- Yavari, H.; Karampour, M. and Yarahmadi, D. (2019). Spatial analysis of Kermanshah city's bioclimatic vulnerability in the face of wave climatic hazard, *Geography and Sustainability (Geographical Bulletin)*, 30(9): 37-50.
- Zarei, Sh.; Mostafazadeh, R.; Hazbavi, Z. and Esmaili Ouri, A. (2019). Analysis of climatic vulnerability based on dry and wet seasons variability in the Samian sub-watersheds, Ardabil Province, *Third National Conference on Hydrology of Iran*, 2019-04-23 and 24.
- Zarei, Sh.; Mostafazadeh, R.; Hazbavi, Z. and Esmaili Ouri, A. (2018). Different approaches and indicators of ecosystem vulnerability assessment, *Environmental and Development Journal*, accepted for publication.