

کلیدواژه‌ها: تصمیم‌گیری چند معیاره، تغییرات مکانی، شاخص چند عملکردی، کیفیت منابع، متغیرهای محیطی

مقدمه

وقوع بلایای طبیعی^۵ مانند سیلاب، خشک‌سالی، فرسایش، زمین‌لغزش، طوفان‌های گردوغبار و آتش‌سوزی، به‌صورت پدیده‌ای تکرارپذیر در مناطق مختلف جغرافیایی، به‌ویژه در نواحی روستایی در اغلب موارد تأثیرات مخربی باقی می‌گذارد. بررسی‌ها و مرور منابع علمی در مقیاس جهانی نشان می‌دهد که علی‌رغم عدم امکان حذف کامل اثر بلایای طبیعی، می‌توان با بهره‌گیری از فنون مدیریتی، زمان برگشت به حالت اولیه را کوتاه‌تر نمود و در واقع جوامع محلی را تاب‌آورتر کرد [۸، ۱۴، ۶، ۵].

اولیو اسمیت (به نقل از [۲۶])، مخاطرات را شامل روابط بین نیروها یا عوامل طبیعی، ساختار قدرت، قراردادهای اجتماعی، ارزش‌های فرهنگی، نظام‌های اعتقادی و منعکس‌کننده ویژگی‌های اساسی اجتماعی و فرهنگی می‌داند. بنابراین با آن‌که مخاطراتی همچون زلزله، سیل و خشک‌سالی تحت عنوان مخاطرات طبیعی معرفی می‌شوند، گاه این طبیعی بودن به اختلال در روندهای طبیعی به‌خصوص زندگی بشر منجر می‌شود و وقایعی تهدیدکننده محسوب می‌شوند که نه تنها در لحظه وقوع بلکه با توجه به عواقب آن در بلندمدت به خسارات فیزیکی و اجتماعی غیرقابل جبران منجر می‌شوند [۲۶]. فانگ و همکاران [۱۳] در بررسی اثرات بلایای طبیعی بر دوام زندگی روستایی ساکنان سیچوان^۶ با استفاده از ابعاد چهارگانه کیفیت زندگی، ارتقاء معیشت، تأمین معیشت و فشار بلایا به این نتیجه رسیده‌اند که کیفیت زندگی ساکنان روستایی به‌طور معنی‌داری همبستگی مثبتی با کیفیت زندگی، ترویج و تأمین زندگی دارد. علاوه بر این، یان و همکاران [۴۵] در زمینه درک تاب‌آوری شهری نسبت به تغییرات اقلیمی به‌منظور کمک به توسعه راهبردهای سازگار و عملیاتی در شهر بیجینگ^۷، به این نتیجه رسیدند که یک شهر تاب‌آور به‌طورکلی می‌تواند در چهار ویژگی اساسی تاب‌آوری اقتصادی، اجتماعی، محیط زیستی و مقاومت در برابر زیرساخت‌ها مورد ارزیابی قرار گیرد.

شرزر و همکاران [۳۸] با استفاده از ۴۷ شاخص در شش زیردامنه،

ارزیابی تاب‌آوری نسبی آبخیز سامیان در برابر بلایای طبیعی

مرضیه پارسازاده کلاواک^۱، اباذر اسمعیلی عوری^{۲*}، رئوف مصطفی‌زاده^۳

و زینب حزباوی^۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۷/۱۰

DOI: 10.22034/17.62.86

چکیده

پژوهش حاضر با هدف ارزیابی تاب‌آوری نسبی آبخیز سامیان واقع در استان اردبیل انجام شد. بدین منظور از پنج شاخص مختلف شامل فرسایش و رسوب ویژه، پتانسیل سیل‌خیزی، خشک‌سالی، حدی اقلیم و اقتصادی-اجتماعی استفاده شد. برای محاسبه شاخص تاب‌آوری نسبی آبخیز از میانگین وزنی و روش تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDM) استفاده شد. در وزن‌دهی یکسان، میانگین شاخص تاب‌آوری نسبی برابر با ۰/۵۳ به دست آمد. هم‌چنین، زیرحوضه ۸ واقع در شرق آبخیز با اولویت ۱ بیش‌ترین تاب‌آوری را به خود اختصاص داد. در وزن‌دهی یکسان و نیز با تأکید بر شاخص‌های اقلیم، پتانسیل سیل‌خیزی و اقتصادی-اجتماعی، زیرحوضه ۲۷ واقع در مرکز آبخیز سامیان در پایین‌ترین سطح تاب‌آوری و در اولویت ۲۷ قرار گرفت و زیرحوضه ۸ به‌عنوان تاب‌آورترین زیرحوضه شناخته شد. زیرحوضه ۲۷ به خاطر کاربری کشت دیم، دائم در حالت بهره‌برداری بوده است. با تأکید بر فرسایش و رسوب و خشک‌سالی نیز به ترتیب زیرحوضه‌های ۲۵ و ۲۳ واقع در مرکز آبخیز سامیان در اولویت ۲۷ قرار گرفتند.

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد آبخیزداری (حفاظت آب و خاک)، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

۲- نویسنده مسئول و استاد گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی و عضو پژوهشکده مدیریت آب، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. پست الکترونیک: esmaliouri@uma.ac.ir

۳- دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی و عضو پژوهشکده مدیریت آب، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

۴- دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی و عضو پژوهشکده مدیریت آب، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

5. Natural disasters

6. Sichuan

7. Beijing

ظرفیت‌های تاب‌آوری شهرهای نروژ را مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که تغییرات قابل توجهی در سطوح نسبی تاب‌آوری وجود دارد و مشخص شد که بسیاری از شهرهای شمالی دارای سطوح پایین و بسیاری از شهرهای جنوبی دارای سطوح بالایی از تاب‌آوری کلی هستند. زو و همکاران [۴۴] به بررسی همگرایی جهانی و تفاوت‌های منطقه‌ای در تاب‌آوری هیدرولوژیک بوم‌سازگان‌ها و آبخیزهای مختلف در برابر خشک‌سالی پرداختند. آن‌ها دریافتند که تاب‌آوری هیدرولوژیک پوشش گیاهی با شدت خشک‌سالی و کارایی مصرف آب مرتبط است. هم‌چنین، دکاروالیو و همکاران [۹] نتیجه گرفتند که مناطق غیرقابل نفوذ در حوضه آبریز بلم^۱، برزیل نسبت به رویدادهای شدید ارائه شده در سناریوهای تغییرات اقلیمی، تاب‌آوری کم‌تری دارند.

در داخل کشور نیز میرزاعلی و همکاران [۳۲] رابطه بین عوامل و مؤلفه‌های کالبدی و میزان تاب‌آوری جوامع روستایی آبخیز گرگانرود در استان گلستان در مواجهه با سیل را بررسی کردند. نتایج نشان داد که تاب‌آوری روستاهای منطقه در بعد کالبدی کم‌تر از حد متوسط با میانگین ۲/۸۹ بوده است. ولیزاده و همکاران [۴۳] در پژوهشی آن‌ها نتیجه گرفتند که از میان ۲۰ شهرستان استان آذربایجان شرقی، شهرستان‌های مرند، جلفا، شبستر و تبریز دارای تاب‌آوری بالایی در برابر مخاطرات طبیعی هستند. مودودی ارخودی و همکاران [۲۹] نیز به بررسی عوامل مؤثر بر شکل‌گیری سیلاب و پهنه‌بندی خطر وقوع سیل در حوضه آبریز قائن و تاب‌آوری مناطق روستایی در برابر سیلاب پرداختند. نتایج بیان‌گر وجود سطح متوسط از تاب‌آوری کل در روستاهای مورد مطالعه بوده است. هم‌چنین، سید اخلاقی و طالشی [۳۹] نشان دادند که میزان شاخص تاب‌آوری روستایی در برابر خشک‌سالی در حالت کلی در سطح متوسط است.

بر اساس مرور منابع می‌توان جمع‌بندی نمود که افزایش روزافزون جمعیت و ضرورت توسعه مناطق (شهری و روستایی) از یک طرف و چگونگی مقابله با بلایای طبیعی از طرف دیگر، به‌عنوان یکی از نگرانی‌ها و چالش‌های پیشروی جوامع تبدیل شده‌اند. به همین دلیل امروزه در سطح جهانی، تغییرات چشم‌گیری در نگرش به بلایای طبیعی دیده می‌شود؛ به‌طوری‌که دیدگاه غالب از تمرکز صرف بر کاهش آسیب‌پذیری به افزایش تاب‌آوری در مقابل بلایا تغییر پیدا کرده و در این فرایند تعیین یک راه مناسب تحلیل برای شناسایی تاب‌آوری جوامع از اهمیت بالایی برخوردار است. بر همین اساس، پژوهش حاضر به‌عنوان یک مطالعه پیش‌گام در مطالعات آبخیزداری کشور با هدف ارزیابی وضعیت تاب‌آوری زیرحوضه‌های سامیان واقع در استان اردبیل برنامه‌ریزی شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

آبخیز سامیان واقع در بخش مرکزی استان اردبیل و از مجموعه

حوضه‌های رودخانه ارس است. این منطقه دارای ۴۲۳۵ کیلومترمربع مساحت و ۱۶۵۸/۱۹ کیلومتر محیط است (شکل ۱-الف). حداقل و حداکثر ارتفاع آبخیز سامیان به ترتیب ۱۲۲۸، ۴۷۹۰ متر از سطح دریاست (شکل ۱-ب) و دارای بافت خاک متنوع بوده که در این میان بافت‌های رسی-لومی و لومی به ترتیب با وسعت ۴۱۵۲ و ۳۵۶۸ کیلومترمربع بیش‌ترین مساحت را دارند [۲۱]. طبق نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۱۹ تهیه‌شده از تصاویر ماهواره‌ای Landsat ETM⁺ یا Google Earth، اراضی مرتعی، کشاورزی دیم و آبی به ترتیب با مساحت‌های ۱۸۸۸/۴۹، ۶۲۲۷۲۹/۹۶ و ۴۵۰۳۶۶/۶۱ کیلومترمربع به‌عنوان کاربری‌های غالب آبخیز سامیان هستند (شکل ۱-ج). با توجه به نقشه پراکنش سازندهای زمین‌شناسی در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ [۲۰] رسوبات مخروط‌افکنه‌ای و پادگانه‌های آبرفتی قدیم و جوان به‌عنوان سازندهای غالب منطقه‌ای شناخته شدند به‌طوری‌که سازندهای Qtz (پادگانه‌های قدیمی و آبرفت‌های پادگانه‌ای و کوهپایه‌ای هموار بلند)، Qt₂ (رسوبات دشت مخروط‌افکنه و پادگانه آبرفتی جوان) و EP (مگاپورفیر آندزیت) بیش از نصف مساحت محدوده مطالعاتی را تحت پوشش قرار دادند (شکل ۱-د).

داده‌های مورد استفاده

در این پژوهش از داده‌های هواشناسی (بارش و دما) در یک دوره آماری ۲۵ ساله (۱۳۶۸-۱۳۹۳) استفاده شد. هم‌چنین، از نقشه‌های قابل‌دسترس از جمله بافت خاک [۲۱]، زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ [۲۰]، مدل رقومی ارتفاع (DEM)، تصاویر Google Earth و نرم‌افزارهای ArcGIS 10.8، Excel و DrinC متناسب با مراحل پژوهش استفاده شده است. برای تهیه نقشه کاربری اراضی در محیط ArcGIS 10.8 و تصاویر ماهواره Landsat ETM⁺ سال ۲۰۱۹ استفاده شد.

شاخص‌های ارزیابی تاب‌آوری

تاب‌آوری در برابر بلایای طبیعی یکی از اهدافی است که در سه بخش از اهداف جهانی توسعه پایدار (SDGs) شامل ۱: پایان دادن به فقر^۲، ۱۱: شهرها و جوامع پایدار و تاب‌آور^۳ و ۱۳: اقدامات جهت مبارزه با تغییرات اقلیمی^۴ گنجانده شده است. بر همین اساس، انتخاب شاخص‌های ارزیابی تاب‌آوری بایستی به نحوی صورت بگیرد که چندین جنبه شامل اقلیمی، هیدرولوژیک و اقتصادی-اجتماعی را در برگیرد تا بتوان نتایج جامع و چندعملکردی را در اختیار کاربران قرار داد [۱۶، ۱۷، ۱۸، ۳۱، ۴۲]. بنابراین، وضعیت تاب‌آوری آبخیز سامیان بر اساس پنج شاخص که هر کدام چند زیرمجموعه دارد، ارزیابی شد. انتخاب شاخص‌ها و زیرشاخص‌ها به گونه‌ای صورت گرفت که علاوه بر در نظر گرفتن مهم‌ترین چالش‌های جهانی و منطقه‌ای،

بایر و کشاورزی طبقه‌بندی شد. نقشه شیب از روی DEM آبخیز تهیه و سپس در چهار کلاس شیب طبقه‌بندی شد. نقشه رقومی DEM آبخیز سامیان نیز از روی نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ موجود با اندازه سلولی ۹۰ در ۹۰ متر تهیه شد. نقشه کاربری اراضی، پوشش فیزیکی سطح زمین را با توجه به استفاده از آن نشان می‌دهد [۴۷] که در این مطالعه به‌عنوان یکی از ورودی‌های اصلی EPM بوده است.

شاخص خشک‌سالی

برای محاسبه شاخص خشک‌سالی SPI در مقیاس زمانی ۳، ۶ و ۱۲ ماهه از نرم‌افزار DrinC استفاده شد. بدین منظور، از تعداد ۲۵ ایستگاه باران‌سنجی واقع در استان اردبیل، ۱۶ ایستگاه با در نظر گرفتن مواردی چون داشتن آمار طولانی‌مدت، نواقص آماری کم و پراکنش مناسب در آبخیز مطالعاتی، انتخاب و سپس از دوره آماری ۲۶ ساله (۱۳۶۸-۱۳۹۳) به‌عنوان دوره آماری مشترک جهت تجزیه و تحلیل آماری استفاده شد. جدول (۱) طبقه‌بندی شاخص SPI و تعریف کلاس‌های خشک‌سالی متناظر با آن را نشان می‌دهد.

شاخص حدی اقلیم

به‌منظور ارزیابی شاخص‌های حدی اقلیمی از مقیاس‌های متفاوت زمانی استفاده شد که برای شاخص‌های تغییرپذیری بارش از دوره آماری ۴۰ ساله از داده‌های آماری ایستگاه باران‌سنجی استان اردبیل و برای شاخص‌های تغییرپذیری دما از داده‌های ماهانه دوره آماری ۵۰ ساله (بر اساس داده‌های در دسترس) استفاده شد [۳۶، ۴۱].

جدول ۱- طبقه‌بندی SPI [۳۰]

Table 1. Classification of SPI [30]

ردیف	SPI	وضعیت خشک‌سالی
No. Row	SPI	Drought Situation
1	$2 \leq SPI$	ترسالی حاد
2	$2 \leq SPI < 1.5$	ترسالی شدید
3	$1 \leq SPI < 1.5$	ترسالی متوسط
4	$-1 \leq SPI < +1$	نرمال
5	$-1.5 \leq SPI < -1$	خشک‌سالی متوسط
6	$-2 \leq SPI < -1.5$	خشک‌سالی شدید
7	$SPI < -2$	خشک‌سالی حاد

- شاخص حداکثر بارش سالانه یک‌روزه ($Rx1day$)

اگر RR_{ij} میزان بارندگی روزانه در روز i در دوره j باشد، حداکثر مقدار بارش سالانه یک‌روزه برای دوره j عبارت است از:

$$Rx1day_j = \max(RR_{ij})$$

- تعداد ماه‌های یخبندان (FD)

تعداد سالانه ماه‌های یخبندان که حداقل دما کمتر از صفر درجه

سانتی‌گراد است ($TN_{ij} < 0^\circ C$). به‌نحوی که Tn_{ij} حداقل درجه حرارت ماهانه در ماه i در سال j است. تعداد ماه‌هایی که در آن Tn_{ij} کوچک‌تر از صفر درجه سانتی‌گراد است.

- تعداد شب‌های گرمسیری (TR)

تعداد سالانه ماه‌هایی که TN (حداقل درجه حرارت ماهانه) بیش‌تر از ۲۰ درجه سانتی‌گراد است. حداقل درجه حرارت ماهانه در ماه i در سال j و تعداد ماه‌هایی که در آن $TN_{ij} < 20^\circ C$ است.

- حداکثر مقدار دمای ماهانه (TX_x)

اگر TX_x ، حداکثر دمای ماهانه در ماه k ، دوره j باشد، حداکثر دمای ماهانه در هر ماه عبارت است از:

$$TXxk_j = \max(TXxk_j)$$

شاخص اقتصادی-اجتماعی

شاخص اقتصادی-اجتماعی آبخیز سامیان به‌وسیله چهار زیرشاخص نرخ باسوادی، نرخ اشتغال، شاخص مقاومت در برابر آسیب‌پذیری و تراکم جمعیت ارزیابی شد. نرخ باسوادی [۱، ۲۲، ۲۳] به‌صورت درصد برای هر زیرحوضه طبق رابطه (۱) محاسبه شد.

$$(۱) \quad 100 * \frac{\text{تعداد کل جمعیت روستا در هر زیر حوضه}}{\text{تعداد افراد باسواد}} = \text{نرخ باسوادی}$$

زیرشاخص نرخ اشتغال به‌صورت نسبتی از تعداد جمعیت شاغل در مقایسه با جمعیت فعال بر اساس رابطه (۲) محاسبه شد و نشانه‌ای از پویایی و تحرک جامعه در بهره‌گیری از امکانات مادی و معنوی است [۱۹، ۲۲].

$$(۲) \quad 100 * \frac{\text{تعداد افراد شاغل}}{\text{تعداد کل جمعیت روستا در هر زیر حوضه}} = \text{نرخ اشتغال}$$

شاخص مقاوم بودن در برابر آسیب‌پذیری بر اساس رابطه (۳) به‌صورت نسبتی از تعداد کل افراد بالای ۱۰ سال در مقایسه با جمعیت کل روستا در هر زیرحوضه محاسبه شد [۲۴، ۴۰].

$$(۳) \quad 100 * \frac{\text{تعداد کل افراد 10 سال به بالا}}{\text{تعداد کل جمعیت روستا در هر زیر حوضه}} = \text{مقاوم بودن در برابر آسیب‌پذیری}$$

زیرشاخص تراکم جمعیت شاخصی است که رابطه بین وسعت منطقه و تعداد جمعیت را معین می‌کند [۲۵] و طبق رابطه (۴) بر حسب نفر بر کیلومتر مربع محاسبه شد.

$$(۴) \quad \frac{\text{تراکم جمعیت}}{\text{تعداد کل جمعیت روستا در هر زیر حوضه}} = \text{مساحت هر زیر حوضه به کیلومتر مربع}$$

نرمال‌سازی

با توجه به برخورداری شاخص‌های مطالعاتی از مفاهیم و اثرات مثبت و منفی بر تاب‌آوری آبخیز، نرمال‌سازی با استفاده از رابطه‌های (۵) و (۶) به ترتیب برای دو گروه با اثر مثبت و منفی انجام شد [۳۷].

$$Index = \frac{value - lowest\ value}{highest\ value - lowest\ value} \quad (5)$$

$$Index = 1 - \frac{value - lowest\ value}{highest\ value - lowest\ value} \quad (6)$$

به ترتیب، value، lowest value و highest value بیانگر مقدار واقعی، حداقل و حداکثر زیرشاخص یا شاخص مورد نظر هستند.

رویکردهای وزندهی و محاسبه شاخص تاب‌آوری نسبی

جدول (۲)، رویکردهای وزندهی شاخص‌های تاب‌آوری به روش تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM) را نشان می‌دهد. قابل ذکر است که برای مقایسه نتایج اولویت‌بندی با سایر وضعیت‌های وزندهی از تخصیص وزن‌های یکسان استفاده شد [۳].

نتایج

نتایج حاصل از شاخص‌های ارزیابی تاب‌آوری

با توجه به نتایج مندرج در شکل (۲) و جدول (۳)، بیش‌ترین و کم‌ترین فرسایش ویژه مربوط به زیرحوضه‌های ۲۵ و ۱۳ در حدود ۲۴/۱۱ و ۳/۴۲ تن بر هکتار در سال است. زیرحوضه‌های ۱۳، ۸، ۶، ۱۷، ۱۴، ۱۸، ۵، ۲، ۷، ۱۹ و ۱۲ در طبقه خیلی کم قرار گرفته‌اند. حداکثر و حداقل ضریب شدت فرسایش ۳/۹۷ و صفر است (شکل ۳-الف). با توجه به نقشه، نواحی میانی دشت از جمله زیرحوضه‌های ۲۵، ۲۶ و ۲۷ به دلیل دو عامل وجود شیب و جنس سازند فرسایش‌پذیر، دارای ضریب فرسایش بالاتر بوده که حداکثر مقدار آن در زیرحوضه ۲۵ به دست آمد. این ضریب در نواحی

مرتفع طرفین محدوده مطالعاتی به دلیل جنس سازند و در نواحی پایاب دشت به علت ناچیز بودن شیب، پایین بوده به‌طوری‌که حداقل مقدار آن در زیرحوضه‌های ۸ و ۱۳ است. با توجه به جدول‌های استاندارد، کلاس و شدت فرسایش‌پذیری زیرحوضه‌های ۸ و ۱۳ در گروه کم (II) و زیرحوضه‌های ۲۵، ۲۶ و ۲۷ در گروه خیلی شدید (V) قرار گرفت.

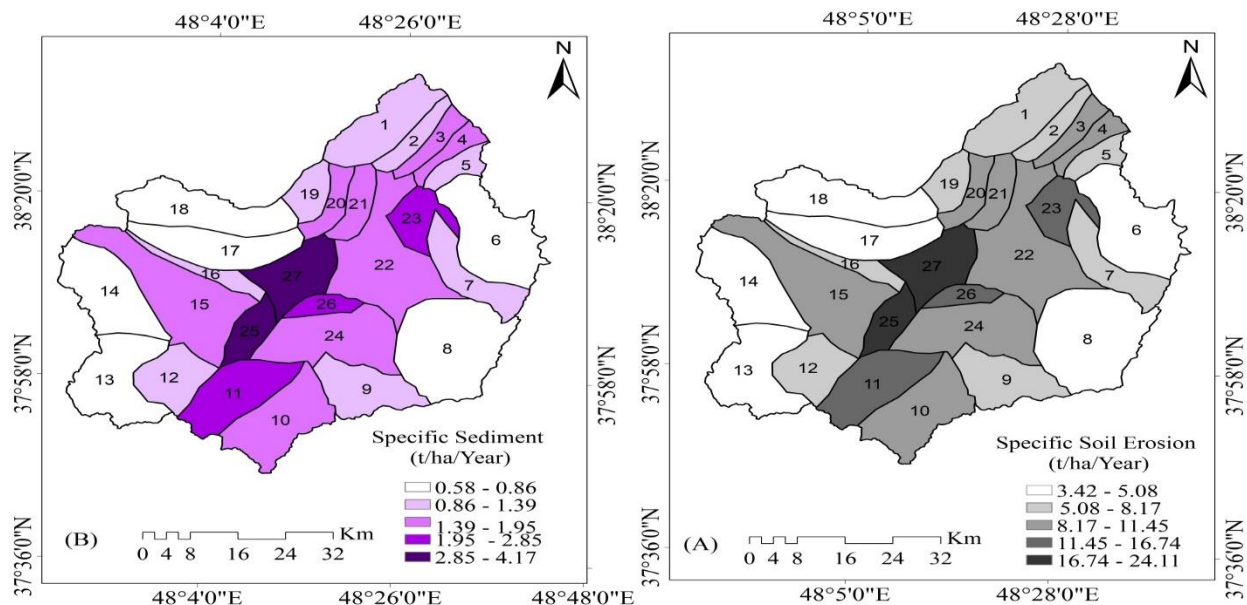
بیش‌ترین و کم‌ترین ضریب رواناب به ترتیب در زیرحوضه‌های ۵ و ۲۱ در حدود ۰/۵۶ و ۰/۴۲ است (جدول ۳). نقشه توزیع مکانی رواناب زیرحوضه‌های مطالعاتی در شکل (۳-ب) ارائه شده است. علاوه بر این، طبق نتایج به‌دست‌آمده برای محاسبه خشک‌سالی در مقیاس‌های زمانی ۳، ۶ و ۱۲ ماهه (جدول ۳ و شکل ۴) مشخص شد که حداکثر و حداقل خشک‌سالی سه‌ماهه در زیرحوضه‌های ۱۴ و ۲۴ با مقدار عددی ۰/۹۲ و ۰/۷۷ درصد به‌دست‌آمده است.

بیش‌ترین مقدار Rx1day مربوط به زیرحوضه ۱۰ و کم‌ترین مقدار مربوط به زیرحوضه‌های ۱ و ۳ بوده است. زیرحوضه‌هایی که در طبقه خیلی کم قرار گرفتند، ۵۶/۰۵۶ کیلومتر مربع از مساحت منطقه را به خود اختصاص دادند و سهم طبقه خیلی زیاد در حدود ۱۷۱۷/۴۵ کیلومتر مربع بود. دامنه تغییرات شاخص حداکثر بارش ۲۴ ساعت در طول سال بین ۱۰/۲۹ تا ۱۲/۷۳ میلی‌متر برآورد شد (جدول ۳ و شکل ۵).

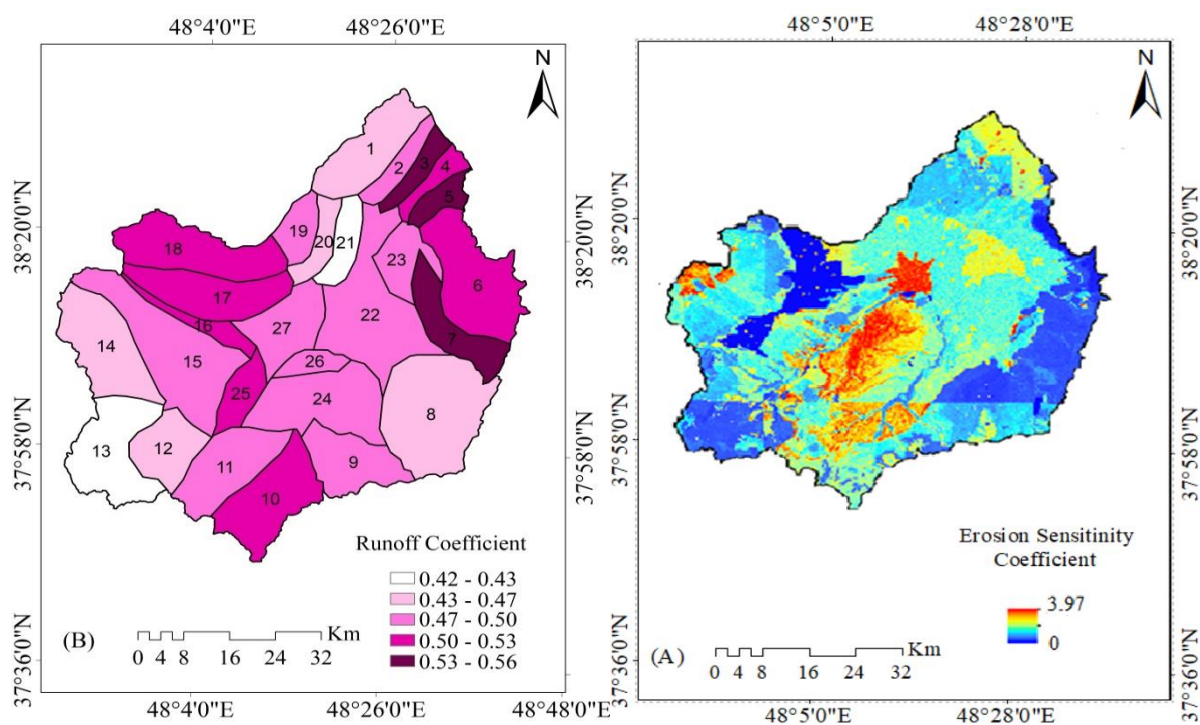
زیرحوضه‌های ۸ و ۳ به ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار FD را دارند. تغییرات شاخص اقلیمی FD بین ۱/۵۶ تا ۴/۳۳ برآورد شد. در شاخص FD در قسمت‌های شمالی و جنوبی به ترتیب کم‌ترین و بیش‌ترین مقدار مشاهده شد. بیش‌ترین مقدار TR در زیرحوضه‌های ۳ و ۲۱، با مقدار عددی ۰/۲ و کم‌ترین مقدار در زیرحوضه‌های ۸

جدول ۲- شیوه‌های وزندهی به معیارهای مختلف در محاسبه شاخص تاب‌آوری نسبی آبخیز سامیان
Table 2. Weighting criteria different to methods calculating the index resilience watershed Samian

شاخص					Indicator	
فرسایش و رسوب پتانسیل سیل‌خیزی خشک‌سالی حدی اقلیم اقتصادی-اجتماعی					Socio-economic	
رویکردهای وزندهی					Extreme climate	Drought
Weighting Approaches					Flood potential	Erosion and sediment
وزن یکسان	Equal weight	20	20	20	20	20
تأکید بر شاخص فرسایش و رسوب	Emphasis on erosion and sediment indicator	30	17.5	17.5	17.5	17.5
تأکید بر شاخص پتانسیل سیل‌خیزی	Emphasis on flood potential indicator	17.5	30	17.5	17.5	17.5
تأکید بر شاخص خشک‌سالی	Emphasis on drought indicator	17.5	17.5	30	17.5	17.5
تأکید بر شاخص حدی اقلیم	Emphasis on extreme climate indicator	17.5	17.5	17.5	30	17.5
تأکید بر شاخص اقتصادی-اجتماعی	Emphasis on socio-economic indicator	17.5	17.5	17.5	17.5	30



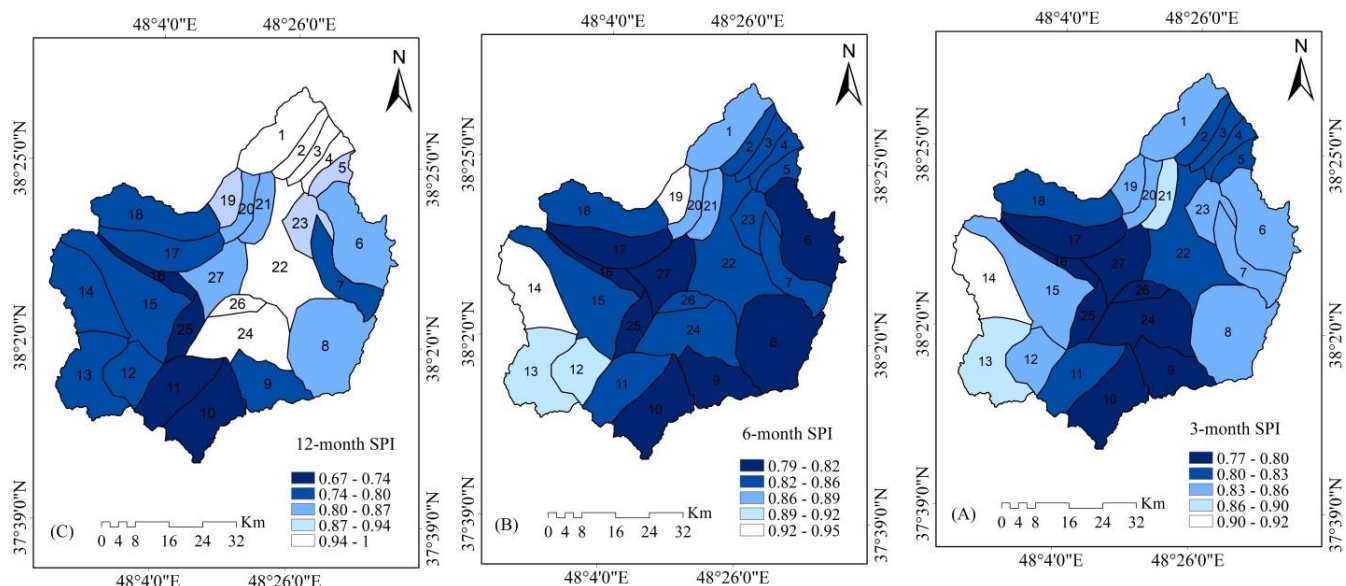
شکل ۲- پهنه‌بندی فرسایش ویژه خاک (الف) و رسوب ویژه (ب) در زیرحوضه‌های مورد مطالعه (شماره ۱ تا ۲۷)
Fig. 2. Zonation of specific soil erosion (a) and specific sediment (b) in the study sub-watersheds (No. 1 to 27)



شکل ۳- توزیع مکانی ضریب حساسیت فرسایش خاک (الف) و ضریب رواناب (ب) (شماره زیرحوضه‌ها: ۱ تا ۲۷)
Fig. 3. Spatial distribution of soil erosion sensitivity coefficient (a) and runoff coefficient (b) (sub-watersheds No. 1 to 27)

شاخص TXx را دارند. تغییرات شاخص اقلیمی TXx بین ۱۹/۲ تا ۳۶/۲۸ برآورد شد. شاخص حداکثر دمای ماهانه (TXx) در بخش بیش‌تری از آبخیز کم‌ترین مقدار را دارد و تنها در بخش کوچکی از غرب بیش‌ترین تغییرات را دارد. زیرحوضه‌های ۱۷ و ۱۹ به ترتیب با مقدار عددی ۵۵۱/۶۸ و ۳۱۴/۹۹ میلی‌متر بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار

۹ و ۲۴ با مقدار ۰/۰۱ برآورد شد. تغییرات شاخص اقلیمی TR بین ۰/۰۱ تا ۰/۲ به دست آمد. شاخص TR در بخش بیش‌تری از آبخیز سامیان کم‌ترین مقدار را به خود اختصاص داد که نشان از کم‌تر بودن دمای شب‌های گرمسیری است. هم‌چنین، زیرحوضه‌های ۱۴ و ۸ به ترتیب با مقدار عددی ۳۶/۲۸ و ۱۹/۲ بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار



شکل ۴- طبقه‌بندی SPI سه، شش و ۱۲ ماهه در زیرحوضه‌های مورد مطالعه (شماره ۱ تا ۲۷)

Fig. 4. Classification of 3, 6, and 12-month SPI in the study sub-watersheds (No. 1 to 27)

زیرحوضه‌های ۵، ۲۲، ۲۱ و ۲۰ با مساحت ۵۱۵/۸۸ کیلومترمربع بیش‌ترین و زیرحوضه ۱۶ با مساحت ۵۵/۵۴ کیلومترمربع کم‌ترین نرخ باسودای را نشان داد. حداکثر درصد نرخ اشتغال به ترتیب در زیرحوضه‌های ۳ و ۱۳ با مقدار عددی ۳۲ و ۳۰ و حداقل آن به ترتیب در زیرحوضه‌های ۶، ۲۳، ۲۴، ۴، ۵، ۸، ۹ و ۲۷ به دست آمد. هم‌چنین زیرحوضه ۵ با مقدار عددی ۸۴ و با مساحت ۵۱/۷۵ کیلومترمربع بیش‌ترین درصد شاخص مقاومت در برابر آسیب‌پذیری را دارد. با توجه به نقشه پهنه‌بندی تراکم جمعیت زیرحوضه ۲۰ بیش‌ترین تراکم جمعیت را با مساحت ۶۲/۳۷ کیلومترمربع به خود اختصاص داد.

وضعیت نهایی تاب‌آوری با رویکرد وزن یکسان

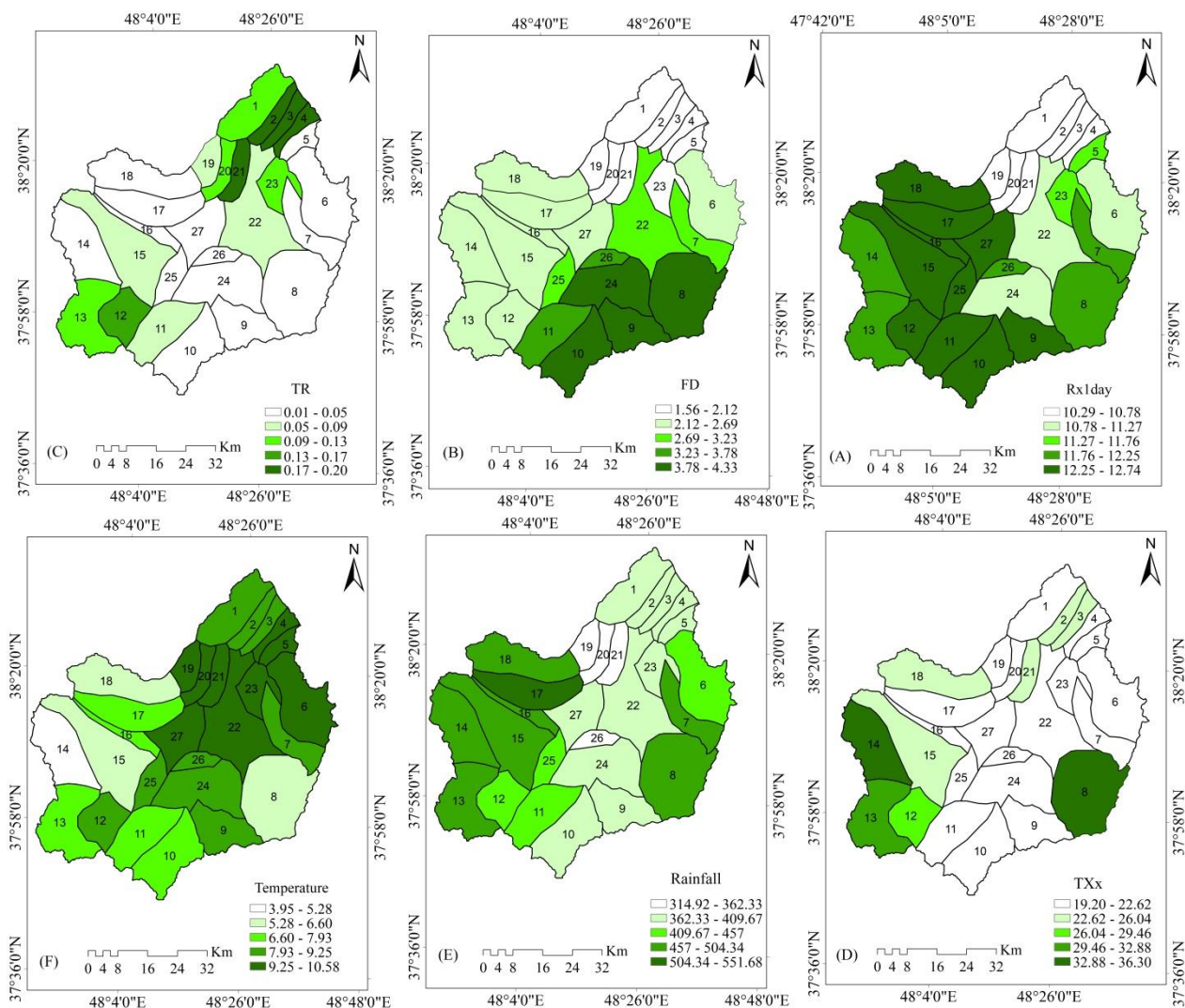
با توجه به شکل (۷-الف) و جدول (۴) زیرحوضه‌های ۸ و ۱۳ با مقدار عددی ۰/۶۹ و ۰/۶۵ در طبقه خیلی زیاد و زیرحوضه‌های ۲۳، ۲۵ و ۲۷ در طبقه خیلی کم قرار گرفته‌اند. زیرحوضه‌هایی که طبقه خیلی کم قرار گرفتند، حدود ۷ درصد (۳۱۹/۳۴ کیلومترمربع) از کل مساحت آبخیز را به خود اختصاص دادند و سهم طبقه خیلی زیاد در حدود ۹ درصد از مساحت کل حوضه مورد مطالعه است. دامنه تغییرات شاخص تاب‌آوری نسبی با رویکرد وزن یکسان بین ۰/۴۲ تا ۰/۶۹ برآورد شد.

وضعیت نهایی تاب‌آوری با تأکید بر فرسایش و رسوب

دامنه تغییرات شاخص تاب‌آوری نسبی با تأکید بر فرسایش و رسوب با توجه به شکل (۷-ب)، بین ۰/۳۸ تا ۰/۷۳ برآورد شد. نتایج نشان داد که زیرحوضه‌هایی که در طبقه بیش‌ترین تاب‌آوری قرار گرفتند دارای انعطاف‌پذیری بالایی در برابر آسیب‌پذیری می‌باشند. نتایج شاخص تاب‌آوری نسبی با تأکید بر مؤلفه فرسایش و رسوب نشان داد که از کل مساحت آبخیز سامیان ۱۳ درصد

بارش را به خود اختصاص دادند. انحراف معیار شاخص بارش ۵۷/۲۵ میلی‌متر برآورد شد. با توجه به نقشه پهنه‌بندی دما حداکثر و حداقل مقدار دما به ترتیب در زیرحوضه‌های ۲۱ و ۱۴ مشاهده شد. میانگین و انحراف معیار شاخص دما ۸/۵۹ و ۱/۵۸ به دست آمد. زیرحوضه‌های ۸ و ۳ به ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار FD را دارند. تغییرات شاخص اقلیمی FD بین ۱/۵۶ تا ۴/۳۳ برآورد شد. در شاخص FD در قسمت‌های شمالی و جنوبی به ترتیب کم‌ترین و بیش‌ترین مقدار مشاهده شد. بیش‌ترین مقدار TR در زیرحوضه‌های ۳ و ۲۱، با مقدار عددی ۰/۲ و کم‌ترین مقدار در زیرحوضه‌های ۸، ۹ و ۲۴ با مقدار ۰/۰۱ برآورد شد. تغییرات شاخص اقلیمی TR بین ۰/۰۱ تا ۰/۲ به دست آمد. شاخص TR در بخش بیش‌تری از آبخیز سامیان کم‌ترین مقدار را به خود اختصاص داد که نشان از کم‌بودن دمای شب‌های گرمسیری است. هم‌چنین، زیرحوضه‌های ۱۴ و ۸ به ترتیب با مقدار عددی ۳۶/۲۸ و ۱۹/۲ بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار شاخص TXx را دارند. تغییرات شاخص اقلیمی TXx بین ۱۹/۲ تا ۳۶/۲۸ برآورد شد. شاخص حداکثر دمای ماهانه (TXx) در بخش بیش‌تری از آبخیز کم‌ترین مقدار را دارد و تنها در بخش کوچکی از غرب بیش‌ترین تغییرات را دارد. زیرحوضه‌های ۱۷ و ۱۹ به ترتیب با مقدار عددی ۵۵۱/۶۸ و ۳۱۴/۹۹ میلی‌متر بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار بارش را به خود اختصاص دادند. انحراف معیار شاخص بارش ۵۷/۲۵ میلی‌متر برآورد شد. با توجه به نقشه پهنه‌بندی دما حداکثر و حداقل مقدار دما به ترتیب در زیرحوضه‌های ۲۱ و ۱۴ مشاهده شد. میانگین و انحراف معیار شاخص دما ۸/۵۹ و ۱/۵۸ به دست آمد (شکل ۵).

بر اساس ارزیابی شاخص‌های اقتصادی-اجتماعی در زیرحوضه‌های سامیان با توجه به شکل (۶) و جدول (۳) به ترتیب



شکل ۵- شاخص‌های Rx1day, FD, TR, TXx, بارش و دما در زیرحوضه‌های مورد مطالعه (شماره ۱ تا ۲۷)

TXx, precipitation and temperature indicators in the study sub-watersheds (No. 1 to 27), FD, TR Fig. 5. Rx1day,

(۱۹۲۰/۱۵) کیلومترمربع) از مساحت آبخیز را طبقه متوسط و ۱۱ درصد (۴۴۲/۸۰ کیلومترمربع) را طبقه کم به خود اختصاص داده است.

وضعیت نهایی تاب‌آوری با تأکید بر خشک‌سالی

با توجه به شکل (۷-د) و جدول (۴) زیرحوضه ۸ با مقدار عددی ۰/۶۹ در طبقه خیلی زیاد و زیرحوضه‌های ۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۱۹، ۲۰، ۲۲، ۲۳، ۲۵، ۲۶ و ۲۷ در طبقه خیلی کم قرار گرفته‌اند. زیرحوضه‌هایی که طبقه خیلی کم قرار گرفتند، حدود ۳۲ درصد از مساحت منطقه را به خود اختصاص دادند و ۱۴ درصد از مساحت کل حوضه مورد مطالعه در طبقه زیاد قرار دارد. دامنه تغییرات شاخص تاب‌آوری نسبی با تأکید بر مؤلفه خشک‌سالی بین ۰/۴۵ تا ۰/۶۹ برآورد شد.

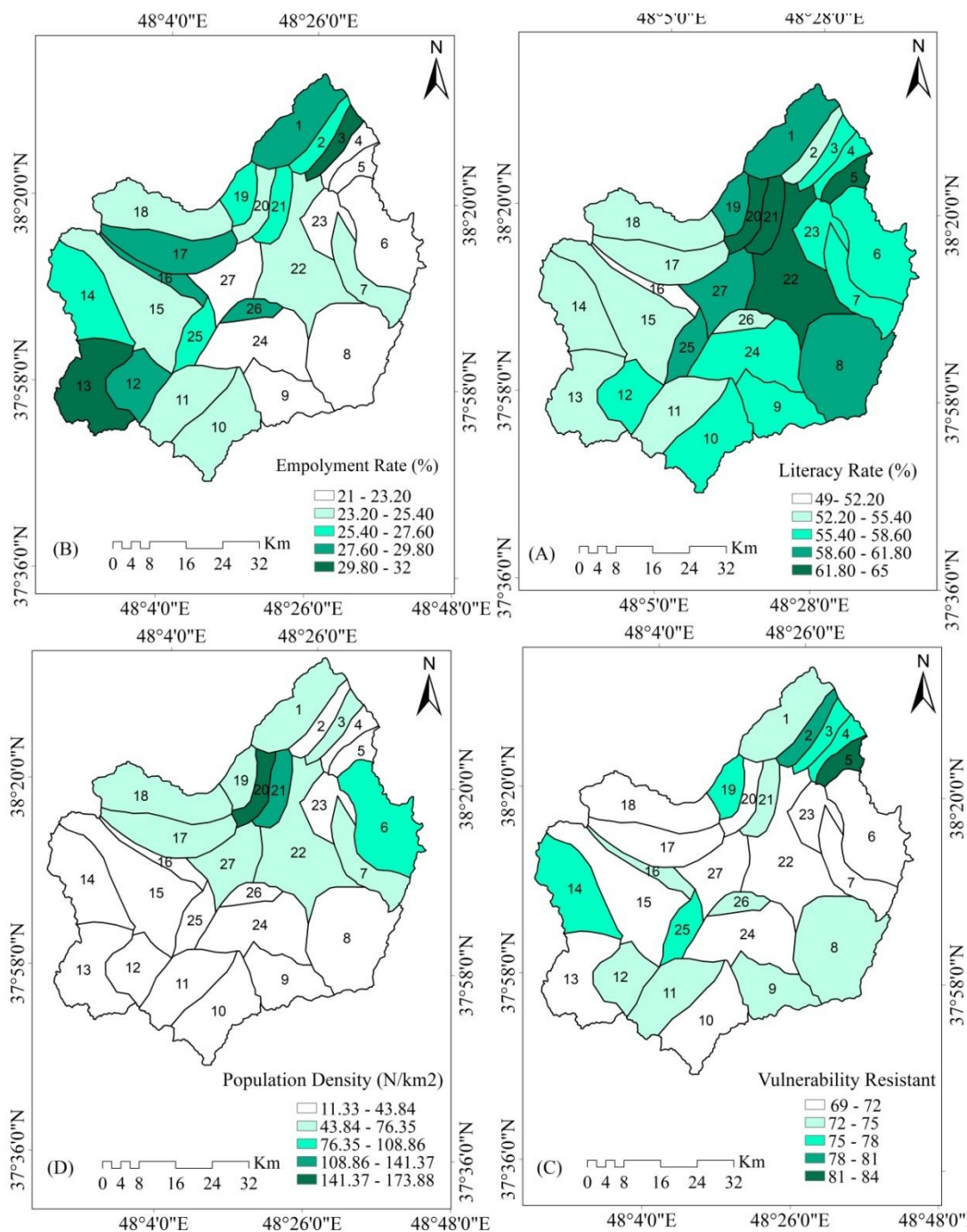
وضعیت نهایی تاب‌آوری با تأکید بر شاخص حدی اقلیم

در ارزیابی تاب‌آوری با رویکرد ارجحیت شاخص اقلیم با توجه به جدول (۴) و شکل (۷-ر) نتایج نشان داد که زیرحوضه‌های ۸ و ۱۳ با مقدار عددی ۰/۶۷ و ۰/۶۲ در طبقه خیلی زیاد تاب‌آوری قرار

مساحت (۵۷۳/۸۱ کیلومترمربع) دارای تاب‌آوری خیلی زیاد قرار گرفتند و ۷ درصد (۳۱۹/۳۴ کیلومترمربع) از کل مساحت حوضه مورد مطالعه دارای تاب‌آوری خیلی کم می‌باشند. با مراجعه به جدول (۴) زیرحوضه‌های ۸ و ۱۳ با مقدار ۰/۷۳ و ۰/۶۹ در طبقه خیلی زیاد تاب‌آوری قرار گرفتند.

وضعیت نهایی تاب‌آوری با تأکید بر پتانسیل سیل‌خیزی

با توجه به شکل (۷-ج) دامنه تغییرات شاخص تاب‌آوری نسبی با تأکید بر مؤلفه پتانسیل سیل‌خیزی بین ۰/۳۴ تا ۰/۷ برآورد شد. زیرحوضه‌های ۸، ۱۳ و ۲۱ با توجه به جدول (۴) با مقادیر عددی ۰/۶۹، ۰/۶۸ و ۰/۶۵ بیش‌ترین تاب‌آوری در برابر مؤلفه پتانسیل سیل‌خیزی را به خود اختصاص دادند. در همین راستا، زیرحوضه‌های ۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۲۳، ۲۵ و ۲۷ با مساحت ۸۶۹/۸۹ در طبقه تاب‌آوری خیلی کم در برابر سیل‌خیزی قرار دارند که در حدود ۲۱ درصد از مساحت کل آبخیز سامیان را تشکیل داده است. حدود ۴۵ درصد



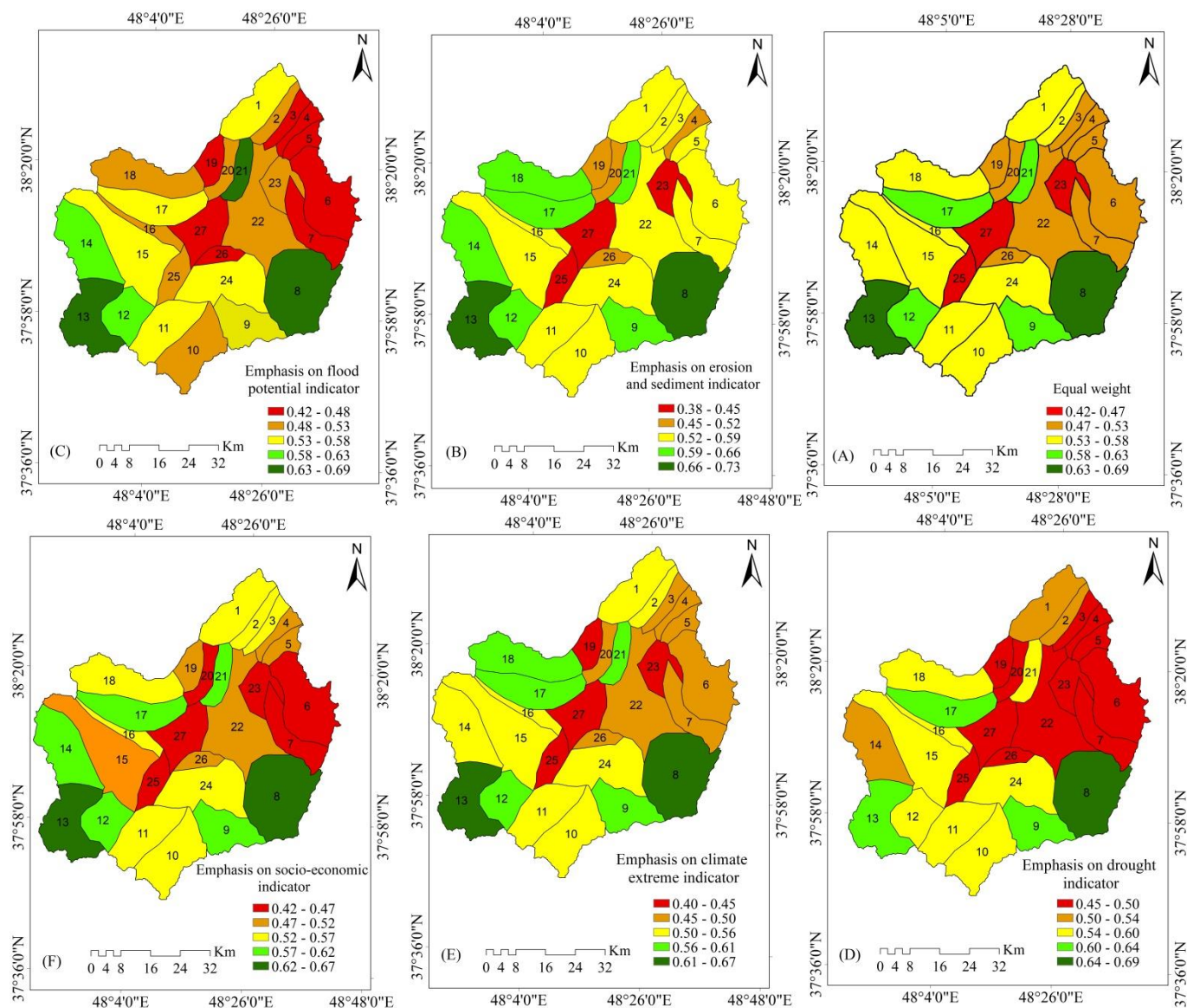
شکل ۶- توزیع مکانی شاخص اقتصادی-اجتماعی در زیرحوضه‌های مورد مطالعه (شماره ۱ تا ۲۷)
Fig. 6. Spatial distribution of socio-economic index in the study sub-watersheds (No. 1 to 27)

وضعیت نهایی تاب‌آوری با تأکید بر اقتصادی-اجتماعی
با توجه به شکل (۷-ز) و جدول (۴)، تغییرات شاخص تاب‌آوری نسبی با تأکید بر مؤلفه اقتصادی-اجتماعی بین ۰/۴۲ تا ۰/۶۷ برآورد شد. نتایج شاخص تاب‌آوری نسبی با تأکید بر مؤلفه اقتصادی-اجتماعی نشان داد که از کل مساحت آبخیز سامیان ۱۴ درصد مساحت (۵۷۳/۸۱ کیلومترمربع) دارای تاب‌آوری خیلی زیاد هستند که به دلیل بالا بودن نرخ اشتغال و سطح درآمد و پایین بودن تراکم جمعیت در زیرحوضه می‌توان ارتباط داد. ۲۹ درصد از مساحت

گرفتند می‌توان به وجود تراکم جمعیت کم، فرسایش و رسوب کم‌تر و نرخ اشتغال و نرخ باسوادی بالا و پوشش گیاهی این زیرحوضه ربط داد. زیرحوضه ۸ و ۱۳ تنها ۹ درصد از کل مساحت آبخیز را به خود اختصاص داد در همین راستا زیرحوضه‌های ۱۹، ۲۳، ۲۵، ۲۷ در طبقه خیلی کمی قرار گرفتند. در نهایت می‌توان گفت زراعت در زیرحوضه‌هایی که در طبقه خیلی کم قرار گرفتند بیش‌تر به صورت کاربری دیم و کشت آبی است و دائم در حالت بهره‌برداری می‌باشند و دارای کم‌ترین تاب‌آوری هستند.

Table 3. Mean of resilience sub-indicators in the study sub-watersheds (No. 1 to 27)

زیرحوضه	SubWatershed	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	14	15	16	17	26	27
فرسایش ویژه	Special erosion	7.60	6.67	8.92	8.93	7.51	4.53	6.82	3.52	8.17	11.45	14.87	7.45	3.42	5.01	9.22	8.05	4.23	5.08	7.22	11.20	9.11	9.52	12.95	10.45	24.11	16.74	19.62
رسوب ویژه	Special sediment	1.29	1.13	1.52	1.52	1.16	0.77	1.16	0.60	1.39	1.95	2.51	1.27	0.58	0.85	1.57	1.37	0.72	0.86	1.23	1.90	1.55	1.62	2.20	1.78	4.17	2.85	3.34
ضریب رواناب	Runoff coefficient	0.46	0.50	0.54	0.53	0.56	0.52	0.54	0.46	0.49	0.51	0.49	0.47	0.43	0.45	0.48	0.52	0.51	0.52	0.49	0.45	0.42	0.49	0.50	0.48	0.52	0.48	0.50
خشک‌سالی سه‌ماهه	3-month drought	0.84	0.83	0.82	0.83	0.83	0.85	0.86	0.84	0.80	0.80	0.81	0.85	0.89	0.92	0.84	0.80	0.80	0.82	0.85	0.86	0.88	0.83	0.85	0.77	0.79	0.78	0.79
خشک‌سالی شش‌ماهه	6-month drought	0.87	0.84	0.83	0.83	0.83	0.82	0.84	0.80	0.81	0.81	0.83	0.90	0.91	0.95	0.85	0.79	0.81	0.85	0.94	0.89	0.88	0.86	0.84	0.83	0.81	0.84	0.81
خشک‌سالی ۱۲ ماهه	12-month drought	0.96	0.97	0.98	0.97	0.94	0.84	0.75	0.81	0.79	0.70	0.67	0.79	0.78	0.78	0.75	0.71	0.76	0.79	0.90	0.87	0.82	1	0.88	0.99	0.71	1	0.82
Rx1day	Rx1day	10.29	10.32	10.29	10.56	11.36	11.23	11.91	12.24	12.68	12.73	12.72	12.38	12.05	12.23	12.47	12.53	12.47	12.53	10.36	10.33	10.77	11.03	11.36	10.81	12.74	12.12	12.44
FD	FD	1.84	1.69	1.56	1.74	1.81	2.24	3.16	4.33	4.15	3.95	3.40	2.39	2.54	2.59	2.31	2.21	2.21	2.22	1.87	1.81	1.64	2.93	2.03	4.07	2.75	3.6	2.45
TR	TR	0.12	0.19	0.20	0.19	0.17	0.03	0.02	0.01	0.01	0.02	0.06	0.17	0.10	0.05	0.07	0.02	0.02	0.04	0.07	0.13	0.20	0.09	0.11	0.01	0.04	0.02	0.04
TXx	TXx	21.79	22.65	22.84	22.5	22.11	19.65	19.47	19.20	19.45	20.48	22.19	26.09	29.52	36.28	25.25	21.52	21.65	22.63	21.18	21.94	22.96	20.79	21.17	19.54	21.52	19.78	20.53
بارش (میلی‌متر)	Precipitation (mm)	362.35	378.52	385.32	394.25	398.63	456.94	458.45	461.91	397.13	403.83	419.38	438.85	462.96	489.88	465.51	462.70	551.68	495.18	314.99	328.45	318.37	372.01	389.25	401.59	431.36	339.21	363.07
دما (درجه سانتی‌گراد)	Temperature (degrees Celsius)	9.16	9.24	9.15	9.32	9.94	9.79	8.82	6.33	8.10	7.89	7.93	8.19	6.79	3.95	6.49	7.34	7.50	6.53	10.56	10.56	10.58	10.31	10.57	9.17	8.94	9.18	9.61
نرخ باسوادی (درصد)	Literacy rate (percentage)	60	55	57	57	65	57	58	59	57	57	54	56	53	53	53	49	54	54	59	62	64	65	57	58	59	55	59
نرخ اشتغال (درصد)	Employment rate (percentage)	29	26	32	23	23	21	24	23	23	25	25	28	30	27	24	28	29	24	26	24	26	25	22	23	26	28	23
مقاوم در برابر آسیب‌پذیری (درصد)	Resistant to vulnerability (percentage)	75	79	78	77	84	71	69	74	73	72	73	74	71	76	72	73	72	71	76	72	75	72	69	71	77	75	72
تراکم جمعیت (نفر بر کیلومتر مربع)	Population density (people per square kilometer)	54.41	42.03	52.26	22.37	40.41	94.54	66.61	29.69	19.86	17.80	14.09	21.84	11.33	17.54	41.85	26.54	56.75	52.49	55.82	173.88	122.75	68.91	27.47	24.83	13.87	11.79	72.46



شکل ۷- ارزیابی وضعیت نهایی تاب‌آوری زیرحوضه‌های سامیان در رویکردهای مختلف وزن‌دهی

Fig. 7. Assessment of the final resilience status of Samian sub-watersheds in different weighting approaches

[۳۱] تأثیرپذیری تاب‌آوری فرسایش خاک از وضعیت توپوگرافی (عامل LS در مدل RUSLE) را طی دوره ۲۰۱۸-۱۹۵۶ گزارش نمودند. هم‌چنین، آن‌ها اشاره کردند که وجود مراعات دائمی در ثبات تاب‌آوری منطقه مورد مطالعه نسبت به فرسایش خاک نقش قابل توجهی داشته است.

ضریب شدت فرسایش (Z) در زیرحوضه‌های ۸ و ۱۳ کم‌ترین مقدار (۰/۳) و به ترتیب در زیرحوضه‌های ۲۵، ۲۷ و ۲۶ (۱/۲۶)، ۱/۱۱ و ۱/۰۷ بیش‌ترین مقدار و در کل آبخیز ۰/۵۹ برآورد شد که با توجه به جدول‌های استاندارد، کلاس و شدت فرسایش‌پذیری زیرحوضه‌های ۸ و ۱۳ در گروه کم (II) و زیرحوضه‌های ۲۵، ۲۶ و ۲۷ در گروه خیلی شدید (V) و کل آبخیز در گروه متوسط (III) قرار گرفت. دلیل متوسط بودن فرسایش در کل آبخیز سامیان را می‌توان به عامل کم بودن شیب و هم‌چنین مسطح بودن حوضه، ارتباط داد.

کل آبخیز مربوط به تاب‌آوری متوسط است و هم‌چنین ۱۸ درصد (۷۷۷/۱۴ کیلومترمربع) از کل مساحت آبخیز مورد مطالعه دارای تاب‌آوری خیلی کم هستند. زیرحوضه‌های ۸ و ۱۳ با مقدار ۰/۶۷ و ۰/۶۳ در طبقه خیلی زیاد تاب‌آوری قرار گرفتند.

بحث و نتیجه‌گیری

متوسط فرسایش ویژه بین ۳/۴۲ تا ۲۴/۱۱ تن بر هکتار در سال برآورد شد و رسوب ویژه بین ۴/۱۷ و ۰/۵۸ تن بر هکتار در سال برآورد شد. در همین راستا، حزب‌آوری و همکاران [۱۶] میزان شاخص تاب‌آوری آبخیزهای فایل (ایرلند)، شاخاما (پرتغال) و شازند (ایران) را از نظر میزان تولید رسوب به ترتیب برابر با ۰/۹۹، ۰/۹۵ و ۰/۳۳ به دست آوردند که بیان‌گر وضعیت نامناسب آبخیز شازند نسبت به دو آبخیز دیگر است. در مناطق جنوب اسپانیا نیز میلانو و همکاران

جدول ۴- نتایج اولویت‌بندی زیرحوضه‌های سامیان با تأکید بر بعدهای مختلف شاخص تاب‌آوری نسبی

Table 4. Results of prioritization of Samian sub-watersheds with emphasis on different dimension of relative resilience index

زیرحوضه‌ها	وزن یکسان	اولویت‌بندی	تأکید بر شاخص فرسایش و رسوب	اولویت‌بندی	تأکید بر شاخص پتانسیل اسل‌خیزی	اولویت‌بندی	تأکید بر شاخص خشک‌سالی	اولویت‌بندی	تأکید بر شاخص حدی اقلیم	اولویت‌بندی	تأکید بر شاخص اقتصادی-اجتماعی	اولویت‌بندی
Sub-watersheds	Equal weight	prioritization	Emphasis on erosion and sediment indicator	prioritization	Emphasis on flood potential indicator	prioritization	Emphasis on drought indicator	Prioritization	Emphasis on climate extreme indicator	Prioritization	Emphasis on socio-economic indicator	prioritization
1	0.56	8	0.58	10	0.58	6	0.54	13	0.56	8	0.57	8
2	0.54	13	0.58	11	0.53	12	0.53	14	0.53	12	0.54	11
3	0.50	16	0.53	16	0.45	21	0.50	16	0.49	16	0.53	13
4	0.48	22	0.51	22	0.44	22	0.48	23	0.47	21	0.48	21
5	0.49	18	0.53	17	0.43	25	0.49	19	0.48	17	0.52	16
6	0.49	19	0.55	14	0.47	20	0.50	17	0.48	18	0.47	23
7	0.48	23	0.53	18	0.44	23	0.50	18	0.48	19	0.47	23
8	0.69	1	0.73	1	0.69	1	0.69	1	0.67	1	0.67	1
9	0.59	5	0.62	4	0.58	7	0.62	3	0.57	4	0.58	5
10	0.56	9	0.56	13	0.53	13	0.59	6	0.54	10	0.55	9
11	0.54	14	0.53	19	0.54	10	0.58	7	0.53	13	0.53	14
12	0.59	6	0.61	7	0.59	5	0.57	9	0.57	5	0.58	6
13	0.65	2	0.69	2	0.68	2	0.61	4	0.62	2	0.63	2
14	0.58	7	0.62	5	0.60	4	0.53	15	0.56	9	0.58	7
15	0.55	12	0.57	12	0.55	9	0.56	11	0.53	15	0.52	17
16	0.56	10	0.59	9	0.52	16	0.60	5	0.54	11	0.55	10
17	0.61	3	0.65	3	0.58	8	0.63	2	0.59	3	0.59	3
18	0.56	11	0.61	8	0.53	14	0.57	10	0.57	6	0.54	12
19	0.48	24	0.52	21	0.48	19	0.46	25	0.45	24	0.49	20
20	0.49	20	0.51	23	0.53	15	0.48	24	0.47	22	0.47	24
21	0.60	4	0.62	6	0.65	3	0.58	8	0.57	7	0.59	4
14	0.50	17	0.53	20	0.50	17	0.49	20	0.48	20	0.50	18
15	0.44	25	0.45	25	0.44	24	0.45	27	0.43	25	0.43	26
16	0.54	15	0.55	15	0.54	11	0.55	12	0.52	14	0.53	15
17	0.44	26	0.38	27	0.42	26	0.49	21	0.43	26	0.47	25
26	0.49	21	0.47	24	0.50	18	0.49	22	0.47	23	0.50	19
27	0.42	27	0.39	26	0.42	27	0.46	26	0.40	24	0.42	27

علت شیب کم که باعث کاهش سرعت جریان آب می‌شود، شدت فرسایش متوسط است، لذا با تحقیق حاضر هم‌خوانی دارد. رژیم بارندگی، اقلیم منطقه و نبود پوشش گیاهی مناسب در آبخیز سامیان بر مقدار فرسایش و رسوب در منطقه تأثیرگذار بوده است، به‌طوری‌که مشخص شد عمده فرسایش آبخیز سامیان فرسایش

در همین راستا مددی [۲۸] با هدف بررسی میزان فرسایش و تولید رسوب در حوضه و پی بردن به مناطق حساس از نظر فرسایش، نشان دادند که به دلیل شیب زیاد در قسمت‌های بالادست حوضه (حوضه آیران دره) شدت فرسایش زیاد است اما در قسمت پایین‌دست حوضه (حوضه‌های ویلادره، اردی موسی و شمال اردی موسی) به

سطحی و سطحی-شیاری بوده و تنها در بخش کوچکی از اطراف سبلان فرسایش توده سنگی مشهود بود. بنابراین بارندگی به‌ویژه با شدت‌های بالا و زمان کم، باعث تسریع شدت رواناب شده که با خود مقدار زیادی از خاک سطحی را تخریب و به شکل رسوب به پایین‌دست منتقل می‌کند به‌طورکلی، وضعیت کنترل فرسایش در سطح آبخیز مناسب و میزان ضریب فرسایش در حد متوسط ارزیابی شد.

مطابق نتایج ضریب رواناب، زیرحوضه‌های ۳، ۷ و ۵ در طبقه حداکثر و زیرحوضه‌های ۱۳ و ۱۲ در طبقه خیلی کم قرار گرفته‌اند. زیرحوضه‌هایی که در طبقه خیلی کم قرار گرفتند، ۳۰۰/۱۴۵ کیلومترمربع از کل مساحت آبخیز را به خود اختصاص دادند و سهم طبقه خیلی زیاد در حدود ۲۴۰ کیلومترمربع بود. در تایلند، مونپا و همکاران [۳۳] نیز بیان نمودند که پاسخ هیدرولوژیک آبخیز وابسته به ارتباطات متقابل بارندگی با متغیرهای توپوگرافی، الگوی کاربری اراضی و ویژگی‌های خاک است. احتمال وقوع سیل در دامنه‌های پرشیب به سبب افزایش ضریب رواناب نسبت به دامنه‌های با شیب کم بیش‌تر و لذا سطح تاب‌آوری کم‌تر است.

حداکثر خشک‌سالی یک‌ساله در زیرحوضه‌های ۱ و ۲ با مقدار عددی یک و حداقل مقدار آن در زیرحوضه ۱۱ با مقدار ۰/۶۷ برآورد شد. در مورد شاخص خشک‌سالی یک‌ساله می‌توان گفت که بیش‌ترین تغییرات در نیمه شرقی آبخیز سامیان مشهود است و نیمه غربی آن دارای کم‌ترین مقدار و کم‌ترین تغییرات از نظر خشک‌سالی بوده است. در مجموع بر اساس نتایج، مقادیر SPI ۱۲ ماهه در کم‌ترین مقدار برابر ۰/۵۷ به دست آمد که در طبقه نرمال قرار می‌گیرد و خشک‌سالی در آبخیز سامیان مشاهده نشده است. در همین راستا، زارعی و همکاران [۴۶] با هدف بررسی مقایسه آسیب‌پذیری زیرحوضه‌های سامیان بر اساس تغییرات مؤلفه‌های اقلیمی به این نتیجه رسیدند که آبخیز سامیان در طبقه خشک‌سالی تقریباً نرمال قرار دارد. بدین ترتیب با نتایج پژوهش حاضر هم‌خوانی دارد. در همین راستا، حمزه‌نژاد و همکاران [۱۵] با پهنه‌بندی SPI، شدت خشک‌سالی در حوضه قره‌سو که آبخیز سامیان بخشی از آن است، نشان دادند که در سال مرطوب بیش‌ترین درصد حوضه را نقاط نسبتاً مرطوب تشکیل داده و نقاط فرامرطوب در بخش جنوب شرقی حوضه قرار دارند. هم‌چنین، در سال خشک بیش‌ترین درصد حوضه را نقاط نزدیک نرمال تشکیل می‌دهند و نقاط فراخشک فقط درصد کمی از مرکز حوضه را پوشش می‌دهند.

شاخص حداکثر بارش ماهانه یک‌روزه در غرب و جنوب غربی آبخیز بیش‌ترین مقدار و در شمال کم‌ترین مقدار بارندگی را نشان داد. در تطابق با نتایج پژوهش حاضر، امینی و همکاران [۲] طی مطالعه‌ای تحت عنوان ارزیابی تغییرات مکانی و زمانی بارش با استفاده از شاخص‌های تغییرپذیری بارش در ایستگاه‌های باران‌سنجی استان اردبیل، تغییرپذیری بیش‌تر در مقدار بارش در بخش‌هایی از استان را به دلیل مجاورت با استان‌های گیلان و آذربایجان شرقی و

تأثیرپذیری از توده‌های هوا و بارش‌های جبهه خزری و مدیترانه‌ای را تأیید کردند. هم‌چنین با نتایج اسکندری [۱۰] مبنی بر این‌که شاخص‌های حداکثر بارش ماهانه یک‌روزه در بخش مرکزی استان اردبیل کم‌ترین تغییرات و در بخش غربی بیش‌ترین تغییرات را نشان می‌دهد، مطابقت دارد.

حزباوی و همکاران [۱۸] و مونپا و همکاران [۳۳] نیز به نقش مؤثر تراکم جمعیت در کاهش سطح دسترسی به خدمات آبخیز و در نتیجه کاهش تاب‌آوری اشاره کرده‌اند. آکتر و مالیک [۱] نیز در پژوهش خود روابط مستقیم و از لحاظ آماری معنی‌دار بین تعداد افراد نخبه و توانایی دسترسی به امداد اضطراری مشاهده کردند. خانوارهایی که با شبکه اجتماعی سیاسی یا مذهبی منطقه ارتباط داشتند نیز تاب‌آوری بالاتری داشتند.

زیرحوضه ۸ با قرار گرفتن در اولویت نخست، در روش وزن‌دهی یکسان و وزن‌دهی با تأکید بر شاخص‌های فرسایش و رسوب ویزه، پتانسیل سیل‌خیزی، خشک‌سالی، اقلیم و شاخص اجتماعی-اقتصادی تاب‌آورترین زیرحوضه معرفی شد. هم‌چنین، زیرحوضه ۲۷، در روش وزن‌دهی یکسان و وزن‌دهی با تأکید بر شاخص پتانسیل سیل‌خیزی، اقلیم و اجتماعی-اقتصادی در اولویت ۲۷ قرار گرفت، در نتیجه کم‌تاب‌آورترین زیرحوضه در برابر بلایای طبیعی معرفی شد و در طبقه خیلی کم تاب‌آوری قرار گرفت. دلیل آن به خاطر کاربری کشت دیم زیرحوضه ۲۷ بوده که دائم در حالت بهره‌برداری است. در رابطه با زیرحوضه ۸ می‌توان گفت که به دلیل پوشش گیاهی مناسب مرتعی، بارندگی بیش‌تر و پایین بودن دما، فرسایش و رسوب ویزه، ضریب شدت فرسایش و ضریب رواناب و تراکم جمعیت کم‌تر و برخورداری از امکانات اقتصادی-اجتماعی مناسب در برابر بلایای طبیعی تاب‌آور بوده است. مقادیر شاخص تاب‌آوری نسبی بین ۰/۳۸ تا ۰/۷۳ در زیرحوضه‌های مطالعه شده تغییر می‌کند. یافته‌ها نشان داد که تاب‌آوری رابطه عکس با تراکم جمعیت دارد که با نتایج پرشار و همکاران [۳۵] برای مطالعه رویکرد تاب‌آوری در برابر خطر بلایا مبتنی بر رابطه معکوس بین امتیاز تاب‌آوری و تراکم جمعیت در نه منطقه دهلی، هم‌خوانی دارد.

در جمع‌بندی نهایی ارزیابی تاب‌آوری زیرحوضه‌های سامیان نسبت به بلایای طبیعی، نتایج نشان داد که عمدتاً مناطق مرتفع منطقه واقع در شرق و غرب و ضلع جنوب غربی به دلیل بارش کافی و کاربری مرتع با تراکم جمعیتی پایین و نرخ کم فرسایش و رسوب تاب‌آوری بالایی داشته که زیرحوضه‌های ۸، ۱۳ و ۱۷ را شامل می‌شود و بخش‌های مرکزی و پایاب دشت با کاربری غالب کشاورزی آبی و دیم و باغات که بارش کم و سازند فرسایش‌پذیر داشته و محل تمرکز جریان رواناب سیل می‌باشند (از جمله زیرحوضه‌های ۲۲ تا ۲۷)، تاب‌آوری پایینی داشته است و نیازمند توجه ویژه از سوی مراکز متولی حفاظت و مدیریت منابع طبیعی و محیط‌زیست هستند.

12. Falk, D.A. Watts, A.C. and Thode, A.E. 2019. Scaling ecological resilience. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 7, 1–16.
13. Fang, Y.P. Zhu, F.B. Qiu, X.P. and Zhao, Sh. 2018. Effects of natural disasters on livelihood resilience of rural residents in Sichuan. *Habitat International*, 76: 19–28
14. Felbermayr, G. and Gröschl, J. 2013. Natural disasters and the effect of trade on income: A new panel IV approach. *European Economic Review*, 58: 18-30
15. Hamzehnejad, S. Hamdami, N. Nazarnejad, H. and Khorami, K. 2018. Drought zoning of Ghareesu watershed using SPI and IDW index, 13th National Conference on Watershed Management Science and Engineering of Iran and 3rd National Conference on Natural Resources and Environment Protection, Mohaghegh Ardabili University, 10 and 11 October 2016, Mohaghegh Ardabili University. (In Persian)
16. Hazbavi, Z. Keesstra, S.D. Nunes, J.P. Baartman, J.E.M. Gholamalifard, M. and Sadeghi, S.H. 2018. Health comparative comprehensive assessment of watersheds with different climates. *Ecological Indicators*, 93: 781–790.
17. Hazbavi, Z. and 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.
18. Hazbavi, Z. and Sadeghi, S.H.R. Gholamalifard, M. and Davudirad, A.A. 2020. Watershed health assessment using the pressure–state–response (PSR) framework. *Land Degradation and Development*, 31(1): 3-19.
19. <https://adaascaptial.com>
20. <https://gsi.ir>
21. <https://mysell.sellfile.ir/prod-2017669-buy.html?r=20777>
22. <https://ssicenter.mcls.gov.ir>
23. <https://vista.ir>
24. <https://www.isna.i>
25. <https://www.hedayatmizan.ir>
26. Khoah Raftar, R. 2010. Geomorphology of natural hazards. *Journal of Geography Development Quarterly*, 25(2): 24-14. (In Persian)
27. Liu Y.B. 2004. Development and application of a GIS-based hydrological model for flood prediction and watershed management. Ph.D. thesis, Vrije Universiteit Brussel, Belgium.
28. Madadi, A. 2012. Study and comparison of erosion and sediment yield in sub-basin of Veladareh catchment (Ardabil province), *Journal Geography and Environmental Planning (Journal*
1. Akter, S. and Mallick, B. 2013. An empirical investigation of socio-economic resilience to natural disasters. Department of Economics, Helmholtz Centre for Environmental Research, MPRA Paper No. 503
2. Amini, H. Mostafazadeh, R. and Ahmadi, M. 2021. Evaluation of spatial and temporal changes of precipitation using precipitation variability indices in rain gauge stations in Ardabil province. *Journal of Environmental Science and Technology*, 23 (1): 225-240. (In Persian)
3. Asiabi Hir, Mostafazadeh, R. and Esmaeli Ouri, A. 2017. Evaluation of multi-criteria spatial variation of water poverty index in a number of watersheds of Ardabil province. *Journal Echo Hydrology*, 4(4): 997-1009 (In Persian)
4. Bahreman, A. 2006. Simulating the effects of reforestation on floods using spatially distributed hydrologic modeling and GIS. Ph.D. Thesis, Department of Hydrology and Hydraulic Engineering Vrije Universities Brussels, Belgium, 150 pages. (In Persian)
5. Blaikie, P. Cannon, T. and Davis, I. 1994. At risk natural hazard peoples vulnerability and disaster. New York, Routledge. 1-124.
6. Buswinka, T.J. 1996. A study the capability of the state of Michigan to mitigation flood hazard, based upon the national academy of public administration criterion. Master of Urban and Regionl Planning, Michigan State University.
7. Dask, P. and Sar, J. 2020. Identification and validation of potential food hazard area using GIS-based multi-criteria analysis and satellite data-derived water index. *Journal of Flood Risk Managment*, 13(3): 12620.
8. Datar, A. Liu, J. Linnemayr, S. and Stecher, C. 2013. The impact of natural disasters on child health and investments in rural India. *Social Science & Medicine*, 76: 83-91.
9. De Carvalho, J.W.L.T. Iensen, I.R.R. and Santos, I.d. 2021. Resilience of hydrologic similarity areas to extreme climate change scenarios in an urban watershed. *Urban Water Journal*, 18(1): 817-828
10. Eskandari, R. 2020. Assessment of temporal and spatial variations of precipitation climate extreme indexes in the central part of Ardabil province. M.Sc. Thesis. Faculty of Agriculture and Natural Resources. Department of Natural Resources. University of Mohaghegh Ardabili, 68 pages. (In Persian)
11. Esmaeil Ouri, A. and Abdullahi, Kh. 2011. Watershed management and soil protection. Mohaghegh Ardabili Publications,

38. Scherzer, S. Lujalab, P. and Røda, J.K. 2019. A community resilience index for Norway: An adaptation of the Baseline Resilience Indicators for Communities (BRIC). *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 36: 101107.
39. Seyed Akhlaqi, S.J. and Taleshi, M. 1400. Measurement of resilience of Hablehroud watershed in drought conditions. *Journal Engineering and Watershed Management*, 13(1): 151-137. (In Persian)
40. Soltaniejad, A. Bershan, A. Bani Asad, A. Soltaniejad, A. Sam, A. and Sadi, A. 2017. Study of social vulnerability of the elderly in Bam, Varzeqan and Ahar earthquakes. *Journal Elderly*, 12 (3): 360-371. (In Persian)
41. Taghavi, F. 2010. Linkage between climate change and extreme events in Iran. *Journal of the Earth & Space Physics*, 36(2): 33-43. (In Persian)
42. UK Space Agency. 2018. International partnership programme space for disaster resilience in developing Countries. UK Space Agency, 80 p.
43. Valizadeh, R. Amini, Sh. and S. Rajabi, 2019. Spatial analysis of regional resilience against natural disasters (Case study of East Azerbaijan province). *Journal Haft Hesar Environmental Studies*, 1(1): 79-5. (In Persian)
44. Xue, B. Wang, G. Xiao, J. Helman, D. Sun, W. Wang, J. and Liu, T. 2020. Global convergence but regional disparity in the hydrological resilience of ecosystems and watershed to drought. *Journal of Hydrology*, Vol 591.
45. Yan, Z. Xin-Lu, X. Chen-Zhen, L. Mou, W. and Xiao-Jia, H. 2018. Development as adaptation: framing and measuring urban resilience in Beijing. *Advances in Climate Change Research*, 4(9): 234-242.
46. Zarei, SH. Hezbavi, Z. Mostafazadeh, R. and Esmacil Ouri, A. 2020. Vulnerability of comparison of Samian Sub-watersheds based on climate change components. *Journal Natural Geography Research*, 52(2): 217-236. (In Persian)
47. Zhang, X. Kang, T. Wang, H. and Sun, Y. 2010. Analysis on spatial structure of landuse change based on remote sensing and geographical information system. *International Journal of Applied Earth Observation and Geo Information*, 12: 145-150.
- of Humanities Research, University of Isfahan), 23(3): 61-74. (In Persian)
29. Mawdudi Arkhodi, M. Boroumand, R. and Akbari, A. 2020. Explaining the resilience of rural areas against natural hazards with emphasis on floods. *Journal Natural Hazards*, 9(23): 151-172. (In Persian)
30. McKee, T.B. Doesken, N.J. and Kleist, J. 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scale. *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology*, 179-184.
31. Milazzo, F. Fernández, P. Peña, A and Vanwalleghem, T. 2022. The resilience of soil erosion rates under historical land use change in agroecosystems of Southern Spain. *Science of The Total Environment*, 822, 153672.
32. Mirza Ali, A. Theoretical A. and Onagh, m. 2018. Assessing the physical dimensions of resilience of rural communities in the face of floods in Gorganrood watershed. *Journal Physical Development Planning*, 7(3): 133-111. (In Persian)
33. Munpa, P. Kittipongvises, S. Phetrak, A. Sirichokchatchawan, W. Taneepanichskul, N. Lohwacharin, J. and Polprasert, C. 2020. Climatic and hydrological factors affecting the assessment of flood hazards and resilience using modified UNDRR indicators: Ayutthaya, Thailand. *Water*, 14, 1603.
34. Pourtaheri, M, Sajasy Gheidary, H.A and Sadeghloo, T. 2018. Comparative evaluation of Zanzan natural hazard rating methods. *Journal Rural Research*, 31-54. (In Persian)
35. Prashar, S. Shaw, R. and Takeuchi, Y. 2012. Assessing the resilience of Delhi to climate-related disasters: a comprehensive approach. *Natural Hazards*, 64: 1609-1624.
36. Rahimzadeh, F. and Asgari, A. 2004. A view on the difference between the rate of increase of minimum and maximum temperature and decrease of circadian temperature range in the country. *Quarterly Journal of Geographical Research*, 73: 171. (In Persian)
37. Sadoddin, A. Sheikh, V. Mostafazadeh, R. and Halili, M.Gh. 2010. Analysis of vegetation-based management scenarios using MCDM in the Ramian watershed, Golestan, Iran, *Journal International of Plant Production*, 4 (1): 51-62. (In Persian)

Assessment of Relative Resilience of Samian Watershed against Natural Disasters

M. Parsazadeh Kolvanaq¹, A. Esmali Ouri^{2*}, R. Mostafazadeh³ and Z. Hazbavi⁴

Received: 13-04-2022 Accepted: 02-10-2022

Abstract

The aim of this study was to evaluate the relative resilience of the Samian watershed located in Ardabil province using five indicators including specific erosion and sediment, drought, flood potential, climate, and socio-economic in different weighting conditions. At the equal weighting, the average relative resilience index of Samian Watershed was 0.53, which indicates the average relative resilience. Considering the weight of each indicator at the same level in 27 different sub-watersheds of Samian, sub-watershed 8 located in the east with priority 1 had the highest relative resilience. Considering the equal weight and with emphasis on climate, flood potential and socio-economic indicators, sub-watershed 27 located in the central part of Samian Watershed was at the lowest level of relative resilience and was given priority 27 and sub-watershed 8 has been recognized as the most resilient sub-watershed. Sub-watershed 27 has been permanently in utilization due to the use of rainfed cultivation. Emphasizing erosion and sediment, and drought indicators, respectively sub-watersheds 25 and 23 located in the center of Samian Watershed were ranked in 27 priority.

Keywords: *Environmental variables, Multi-criteria decision-making, Multi-ifunctional index, Resource quality, Spatial changes*

1. Former M.Sc. Student of Watershed Management (Water and Soil Conservation), Department of Natural Resources, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

2. Corresponding Author and Professor, Department of Natural Resources, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Member of Water Management Research Institute, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. Email: esmaliouri@uma.ac.ir

3. Associate Professor, Department of Natural Resources, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Member of Water Management Institute, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

4. Associate Professor, Department of Natural Resources, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Member of Water Management Research Institute, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.