مقاله پژوهشی

هیدروژئومورفولوژی، شماره‌ی ۳۱، سال نهم، تابستان ۱۴۰۱، صص ۱۳۶-۱۱۷
Hydrogeomorphology, Vol. 9, No. 31, Summer 2022, pp (117-136)
CC BY-NC

ارزیابی ناهمگونی فضایی شاخص آشفتگی هیدرورسوب‌شناسی در زیرحوضه‌های سامیان

وحیده مرادزاده[۱]، زینب حزباوی[۲*]، اباذر اسمعلی‌عوری[۳]، رئوف مصطفی‌زاده[۴]، شیرین زارعی[۵]، نازیلا علائی[۶]

۱-دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی آبخیزداری، دانشکده‌ی کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
۲-استادیار، دانشکده‌ی کشاورزی و منابع طبیعی و عضو پژوهشکده‌ی مدیریت آب، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
۳-استاد، دانشکده‌ی کشاورزی و منابع طبیعی و عضو پژوهشکده‌ی مدیریت آب، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
۴-دانشیار، دانشکده‌ی کشاورزی و منابع طبیعی و عضو پژوهشکده‌ی مدیریت آب، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
۵-دانش‌آموخته‌ی کارشناسی ارشد مهندسی آبخیزداری، دانشکده‌ی کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
۶-دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده‌ی منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۱/۲۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۴/۲۲

چکیده

شاخص‌های بوم‌شناختی به ابزارهای مهمی برای ارزیابی و پایش منابع طبیعی تبدیل شده‌اند که درک رابطه بین فعالیت‌های زیست‌شناسی و واکنش بوم‌شناختی برای ساختار آن‌ها ضروری است. از طرفی، فعالیت‌های انسانی از طریق تغییرات در تولید رسوب، انتقال و ذخیره‌سازی تأثیرات قابل توجهی بر تکامل چشم‌انداز دارند. لذا این امر در مدیریت جامع‌نگر حوضه‌ها و بوم‌سازگان‌های مختلف بایستی مورد توجه قرار گیرد. بر همین اساس، پژوهش حاضر با هدف ارزیابی ناهمگونی فضایی شاخص آشفتگی هیدرورسوب‌شناسی (HSDI) در زیرحوضه‌های سامیان واقع در بخش مرکزی استان اردبیل انجام شد. بدین‌منظور، ابتدا عوامل انتقال رسوب (ST)، تنش هیدرولوژیک (HS)، تغذیه‌ی آب زیرزمینی (Rec) و پتانسیل فرسایش خاک (SEP) برای ۲۷ زیرحوضه مختلف مورد مطالعه، محاسبه شد. در ادامه، وزن‌دهی این عوامل با استفاده از روش آنتروپی شانون صورت گرفت. سپس با استفاده از میانگین وزنی شاخص آشفتگی هیدرورسوب‌شناسی (HSDI) محاسبه و پهنه‌بندی شد. نتایج نشان داد که مقادیر متوسط، حداکثر و حداقل مقدار شاخص HSDI در حوضه‌ی سامیان به‌ترتیب برابر ۱۰/۱۷، ۴۵/۶۷ و ۰/۲۰ بوده است. هم‌چنین، طبق نتایج به‌ترتیب ۸۷/۶۷، ۵/۳۳، ۵/۳۲ و ۱/۶۸ درصد از مساحت حوضه در طبقات خیلی‌کم، کم، متوسط و زیاد از سطح آشفتگی دسته‌بندی شد. زیرحوضه ۱۹ واقع در بخش شمالی، و زیرحوضه‌های ۲۰ و ۲۱ واقع در بخش مرکزی حوضه سامیان دارای بیش‌ترین آشفتگی هستند، لذا برای انجام اقدامات مدیریتی در اولویت قرار می‌گیرند. چارچوب پژوهش حاضر به‌عنوان ابزاری بالقوه برای حمایت از تصمیماتی که باید بر بهبود مدیریت منابع طبیعی متمرکز باشد، قابلیت کاربرد دارند.

کلمات کلیدی: تولید رسوب، رژیم هیدرولوژیک، دخالت انسانی، سامیان، مدیریت منابع آب.

* نویسنده‌ی مسئول
E-mail:z.hazbavi@uma.ac.ir

۱- مقدمه

آشفتگی‌ها[1] نوسانات محیطی یا رویدادهای مخربی هستند که بر الگوهای مکانی و زمانی یک بوم‌سازگان، جامعه یا جمعیت تأثیر می‌گذارند و منابع، در دسترس بودن بستر یا محیط فیزیکی را تغییر می‌دهند (پیکت و وایت[2]، ۱۹۸۵: ۲۰). آشفتگی به‌طور گسترده‌ای به‌عنوان یک عامل تعیین‌کننده‌ی اساسی توسعه جامعه در اکثر بوم‌سازگان‌ها شناخته شده است. این یک مبنای مهم برای ارزیابی پویایی لکه‌ها، جای‌گزینی و تنوع زیستی است (هیوستون[3]، ۱۹۹۴: ۱؛ پیکت و وایت، ۱۹۸۵: ۱۸). انسان‌ها عامل اصلی تغییرات ژئومورفیک هستند و نرخ تغییرات چشم‌انداز انسانی به احتمال زیاد بسیار بیش‌تر از سرعت تغییرات مورد انتظار از فرآیندهای زمین‌شناسی طبیعی است. با وجود این، درک ما از تأثیر انسان بر چشم‌انداز طبیعی، به‌دلیل مشکلات موجود در مقایسه‌ی دقیق نرخ‌های تغییر گذشته و حال در مقیاس‌های وسیع مکانی و زمانی، محدود شده است. فعالیت‌های انسانی از طریق تغییرات در تولید رسوب، انتقال و ذخیره‌سازی تأثیرات قابل توجهی بر تکامل چشم‌انداز دارد. به‌طور خاص، شیوه‌های کشاورزی مانند خاک‌ورزی خاک و جنگل‌زدایی نرخ فرسایش خاک، بار رسوب رودخانه‌ها و حساسیت به لغزش را افزایش می‌دهد (فرجزاده اصل و همکاران، ۱۳۹۶: ۶۹). در عین حال، تغییرات انسانی رودخانه‌ها، به‌ویژه با سدسازی، ریخت‌شناسی کانال و رژیم جریان را تغییر می‌دهد و در نتیجه بر محیط‌های دشت سیلابی و ذخیره‌سازی رسوب تأثیر می‌گذارد (رضایی و همکاران، ۱۴۰۱: ۲۹؛ قریشی قره تیکان، ۱۴۰۱: ۱۲؛ کمپ[4] و همکاران، ۲۰۲۰: ۳). آگاهی و درک آشفتگی بوم‌سازگان و نقشی که آشفتگی در پویایی آن ایفا می‌کند و توانایی انتقال این اطلاعات، در درک پتانسیل‌های بوم‌سازگان و پیامدهای تصمیمات مدیریتی ضروری است. برای داشتن یک سیاست مدیریت بوم‌سازگان مؤثر، مدیران منابع و عموم مردم باید ماهیت تاب‌آوری و ثبات بوم‌شناختی و نقش آشفتگی‌های طبیعی بر پایداری را درک کنند. آشفتگی‌ها تقریباً در همه بوم‌سازگان‌ها رایج و مهم هستند (آوریل[5] و همکاران، ۱۹۹۴: ۷).

استفاده از کاربری اراضی در حوضه‌ی بدون پشتوانه فنی باعث ایجاد خسارت می‌شود که منجر به عدم تعادل محیطی شده و پیامدهای قابل توجهی برای حفاظت خاک و رژیم هیدرولوژیک، کاهش زمین‌های کشاورزی و فقیر خاک‌ها دارد (نیری و همکاران، ۱۳۹۵: ۳۶؛ سعیدیان و مرادی، ۱۴۰۱: ۵۸). ارزیابی وضعیت آن‌ها شامل در نظر گرفتن بسیاری از مسائل و عواملی است که در مقیاس‌های مختلف فضایی، تأثیرات انسانی و مدیریت متفاوت است (دائی و همکاران[6]، ۲۰۰۴: ۴۲۵). هیدرورسوب‌شناسی یک مفهوم مهم برای درک بهتر فرآیندهایی است که در سطح حوضه رخ می‌دهد که بر آب، پویایی‌شناسی رسوبات و سایر سامانه‌ها (به‌عنوان مثال، فعالیت‌های

1-Disturbances
2-Picket and White
3-Huston
4-Kemp
5-Averill
6-Dai

بیولوژیکی) در مقیاس‌های زمانی-مکانی متفاوت تأثیر می‌گذارد. تخمین کمی پیوند هیدرورسوب‌شناسی، ترکیبی از ویژگی‌های عملکردی و ساختاری است که برای شناسایی مناطق انتقال رسوب، مسیرهای جریان و رسوب‌گذاری، مانند زمین لغزش، جریان فاضلاب و مناطق رسوب‌گذاری مهم است (زاناندریا[1] و همکاران، ۲۰۲۱: ۲۵۰). آشفتگی یک محرک کنترلی اساسی ترکیب گونه‌ها و زی‌توده پویا در بوم‌سازگان حاشیه رودخانه است (بیگز[2] و همکاران، ۱۹۹۸: ۹۷؛ پترسون[3]، ۱۹۹۶: ۳۸۵). آشفتگی بیش از حد خاک می‌تواند بر ساختار خاک و حاصلخیزی خاک تأثیر تأثیر بگذارد (مون، ۱۹۸۸: ۱۴۱؛ اشمیت و همکاران، ۱۹۹۶: ۵۳۳؛ فولستر و همکاران، ۱۹۹۷: ۳۵۰).

طبق نتایج حاصل از پژوهش همفریس و همکاران[4] (۲۰۰۸)، در فرایند انتخاب مناطق مساعد برای حفاظت، نه تنها ترسیم مناطق با واحدهای زمینی مناسب برای نشان دادن ویژگی‌های مورد نظر باید در نظر گرفته شوند، بلکه مناسب بودن چنین واحدهایی برای هدف حفاظت از زمین نیز مهم است. بر همین اساس، یک طبقه‌بندی مناسب برای این واحدها از طریق توابع مبتنی بر منطق فازی در یک پایگاه دانش برای ویژگی‌های بوم‌شناختی و ویژگی‌های اجتماعی و اقتصادی حوضه‌ی رودخانه کلمبیا در ایالات متحده ارائه داده شد. هم‌چنین، سیلوا و شولز (۲۰۰۷) با هدف بررسی میزان تولید رسوب و روابط بین عملکرد رسوب و برخی عوامل محیطی و یا آنتروپی حوضه آگوا فریا[5] (پالماس، توکانتینز[6]، برزیل)، از فوریه ۱۹۹۸ تا ژانویه ۱۹۹۹ به مطالعه پرداختند. در این تحقیق از روش کلبی[7] استفاده کردند. هم‌چنین، میزان رسوب ویژه و نسبت تحویل رسوب نیز برای این دوره تعیین شد. نتایج نشان‌دهنده‌ی ۱۳۸۶۱۹ تن رسوب و ۸۲۷ تن در کیلومتر مربع در سال رسوب‌دهی ویژه برای منطقه‌ی مورد مطالعه بوده است. در ادامه، دورائس و ملو[8] (۲۰۱۴) به بررسی شاخص آشفتگی هیدرورسوب‌شناسی (HSDI)[9] برای حوضه ایالت میناس گرایس[10] در کشور برزیل پرداختند. داده‌های مورد استفاده برای توسعه HSDI برگرفته از پایگاه‌های داده هیدرولوژیک، اقلیمی و کیفیت آب و به‌طور مشخص شامل وضعیت شبکه انتقال فاضلاب[11] (ST)، تنش هیدرولوژیک[12] (HS)، افت سطح آب زیرزمینی[13] (Rec) و پتانسیل فرسایش خاک[14] (SEP) بوده است. نتایج نشان داد که انتقال رسوب و تغذیه‌ی آب زیرزمینی به‌ترتیب دارای بیش‌ترین (۰/۳۲۷) و کم‌ترین وزن (۰/۰۹۸) بوده‌اند. هم‌چنین، پتانسیل فرسایش فعلی خاک (SEP) دارای دومین رتبه وزنی (۰/۲۹۱) و پس از آن تنش هیدرولوژیک (۰/۲۸۴) به‌دلیل فشارهای اقتصادی و اجتماعی ناشی از تقاضاهای انسانی، آشفتگی‌های قابل توجهی ایجاد کرده‌اند.

1-Zanandrea
2-Biggs
3-Peterson
4-Humphries
5-Agua Fria
6-Palmas, Tocantins
7-Colby´s method
8-Durães and Mello
9-Hydrosedimentological Disturbance Index (HSDI)
10-Minas Gerais
11-Sediment Transport
12-Hydrological Stress
13-Groundwater Recharge
14-Soil Erosion Potentiol

باروس و همکاران (۲۰۱۴)، مدل فرسایش خاک لیمبورگ[1] (LISEM) را برای توصیف رواناب و عملکرد رسوب در طول رویدادهای بارندگی-رواناب در حوضه‌ی رود لاجادو فریرا[2] (منطقه‌ی زهکشی ۱/۱۹ کیلومتر مربع) در جنوب برزیل استفاده کردند. سیزده رویداد بارش-رواناب که در سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۱۱ رخ داده، از جمله رویدادهای با بزرگی بالا، برای مدل‌سازی فرآیندهای هیدرورسوب‌شناسی مورد استفاده قرار گرفتند. نتایج حاصل از مراحل واسنجی و اعتبارسنجی نشان می‌دهد که این مدل هنگام نمایش هیدروگراف، از جمله رویدادهایی با پیچیدگی بیش‌تر، عملکرد خوبی داشته است. استفاده از لایه‌ی دوم خاک در مدل باعث افزایش راندمان آن شد که مطابق با اهمیت جریان زیرسطحی در این حوضه و حساسیت آن به خصوصیات فیزیکی خاک است که برای کنترل فرآیندهای هیدرورسوب‌شناسی در مقیاس حوضه ضروری است. شبیه‌سازی عملکرد رسوب توسط مدل بیش از حد برآورد شد که به‌دلیل عدم حساسیت مدل به انسجام خاک و پایداری خاکدانه‌ها محدود شد. در مرحله‌ی واسنجی مدل، این پارامترها مقادیر متفاوتی با مقادیر اندازه‌گیری شده، داشتند. مدل LISEM در نمایش رواناب برای رویدادهای با بزرگی‌های مختلف به خوبی عمل کرد. گسسته‌سازی ویژگی‌های فیزیکی-هیدرولوژیکی در پروفایل خاک، ارزیابی اثر لایه‌های مانع زیرسطحی را بر نفوذ آب و رواناب امکان‌پذیر کرد. شبیه‌سازی برای غلظت رسوب معلق کم‌تر از رواناب بود. این نشان‌دهنده‌ی نیاز به مطالعات بیش‌تر برای شناسایی سایر عوامل کنترل‌کننده‌ی فرسایش و عملکرد رسوب است که توسط مدل شناسایی نشده‌اند.

با توجه به تأثیرپذیری فرآیندهای هیدرولوژیک و رسوبی از فعالیت‌های انسانی و نیز سایر فرآیندهای محیطی، پژوهش حاضر با هدف ارزیابی سطح آشفتگی حوضه سامیان از طریق محاسبه شاخص جدید آشفتگی هیدرولوژی-رسوبی برنامه‌ریزی شده است. با توجه به نتایج حاضر می‌توان اطلاعات چندبعدی درخصوص شرایط استفاده از حوضه در حالت فعلی و آینده در اختیار محققان، کارشناسان، تصمیم‌گیران و مدیران حوضه ارائه داد.

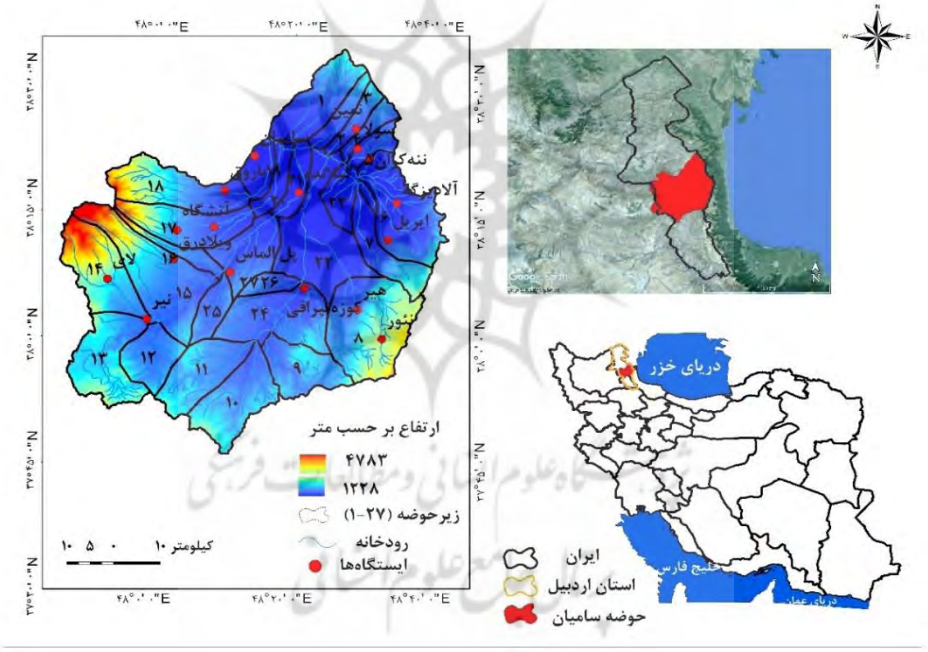
۲-مواد و روش

معرفی منطقه‌ی مورد مطالعه

حوضه‌ی آبریز سامیان دارای مساحتی معادل با ۴۲۳۶ کیلومتر مربع جزء زیرحوضه‌های رودخانه‌ی ارس است. محدوده‌ی مورد مطالعه بین ″۴۸ تا ′۴۰ ″۴۸ طول جغرافیایی و ′۳۰ ″۳۷ تا ′۳۰ ″۳۸ عرض جغرافیایی قرار دارد. ارتفاع بلندترین (قله کوه سبلان) و پست‌ترین (حوالی پل سامیان) نقاط منطقه‌ی مورد مطالعه نسبت به سطح دریا به‌ترتیب برابر با ۴۷۸۸ و ۱۲۰۰ متر است. محدوده طبیعی حوضه نیز بدین‌ترتیب است که از طرف شمال به شهرستان گرمی و دشت مغان، از طرف شرق به رشته کوه‌های تالش، از سمت جنوب به رشته کوه‌های بزقوش و از غرب به رشته کوه‌های مرتفع سبلان محدود می‌شود. بر اساس تحلیل میانگین وزنی آمار در دوره‌ی

1-Limburg Soil Erosion Model
2-Lajeado Ferreira

زمانی ۱۳۶۸-۱۳۹۳، حوضه سامیان دارای متوسط بارش و دما به‌ترتیب برابر با ۳۱۲/۲۵ میلی‌متر و ۸/۲ درجه سانتی‌گراد است. تعداد روزهای یخبندان به‌طور متوسط نیز ۱۳۰ روز در سال است (گلشن و همکاران، ۱۳۹۷). کاربری اراضی در این منطقه غالباً شامل زراعت آبی و دیم، مرتع، جنگل، باغ و مناطق مسکونی است. در بین انواع کاربری‌های موجود در حوضه، کاربری زراعت دیم و آبی بیش‌ترین سطح حوضه را به خود اختصاص داده‌اند. موقعیت مربوط به منطقه مطالعاتی، ایستگاه‌های هیدرومتری در شکل ۱ ارائه شده است. هم‌چنین، در جدول ۱ اطلاعات مربوط به هریک از ایستگاه‌های به‌کار رفته در پژوهش آورده شده است.



شکل (۱): موقعیت منطقه و ایستگاه‌های هیدرومتری مورد مطالعه

Figure (1): Location of the study area and hydrometric stations

در این پژوهش، بر اساس رویکرد ارائه شده توسط دورائس و ملو (۲۰۱۴)، ابتدا عوامل انتقال رسوب (ST[1])، تنش هیدرولوژیک (HS[2])، تغذیه آب زیرزمینی (Rec[3]) و پتانسیل فرسایش خاک (SEP[4]) محاسبه شدند. انتقال رسوب (ST) بر اساس مجموعه داده‌های اندازه‌گیری کل رسوبات معلق و جریان آن‌ها و منحنی‌های سنجه رسوب با استفاده از برقراری رابطه‌ی لگاریتمی دبی آب-دبی رسوب، برای دوره‌ی آماری ۱۳۹۳-۱۳۷۳ و ۲۰ ایستگاه موجود در سطح حوضه (شکل ۱) محاسبه شد. هم‌چنین، تنش هیدرولوژیک (HS) شامل تجزیه و

1-Sediment Transport
2-Hydrological Stress
3-Groundwater Recharge Potential
4-Soil Erosion Potential

تحلیل رابطه بین حجم متوسط و جریان حداقل (Q_{90}) با استفاده از آمار دبی روزانه به‌دست آمد. تغذیه آب زیرزمینی (Rec) نیز در برگیرنده مجموعه جریان‌های گذشته، متشکل از تجزیه و تحلیل جریان پایه در طول سال هیدرولوژیک است که برای محاسبه آن ابتدا دبی پایه از هیدروگراف روزانه جریان با روش حداقل محلی[1] و فرمول‌نویسی در نرم‌افزار اکسل محاسبه شد. در نهایت، پتانسیل فرسایش خاک (SEP) با استفاده از مدل EPM[2] محاسبه شد.

جدول (۱): مشخصات ایستگاه‌های هیدرومتری استفاده شده در پژوهش حاضر

Table (1): Characteristics of hydrometric stations used in the present study

ردیف	نام محدوده مطالعاتی	نام رودخانه	نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
۱	اردبیل	بالخلوچای	پل‌الماس	۴۸-۱۱-۱۹	۴۸-۰۸-۱۶
۲		قره‌سو	سامیان	۴۸-۱۴-۴۸	۵۳-۲۲-۳۸
۳		نیرچای	نیر	۳۸-۵۹-۴۷	۳۸-۰۲-۰۲
۴		قره‌سو	آلادیزگه	۴۸-۳۵-۲۲	۳۸-۱۷-۰۰
۵		نئور	نئور	۴۸-۳۳-۴۳	۳۸-۰۰-۵۳
۶		بالخلوچای	یامچی	۴۸-۰۲-۱۱	۳۸-۰۲-۰۵
۷		ویلادرق‌چای	ویلادرق	۳۸-۱۰-۳۸	۱۹-۴۸-۰۳
۸		شهریورچای	باروق	۴۸-۱۰-۰۶	۳۸-۱۸-۱۷
۹		یدی‌بولیک‌چای	عموقین	۴۷-۱۰-۴۰	۳۸-۱۵-۰۷
۱۰		آق‌چای	شمس‌آباد	۴۸-۱۵-۱۴	۳۷-۵۹-۵۳
۱۱		لای‌چای	لای	۴۷-۵۴-۰۳	۳۸-۰۷-۰۰
۱۲		نوران‌چای	آتشگاه	۴۸-۰۳-۲۳	۳۸-۱۳-۰۵
۱۳		نوران‌چای	نوران	۴۸-۱۱-۳۷	۳۸-۱۳-۵۹
۱۴	هیر	قوری‌چای	کوزه‌تپراقی	۴۸-۲۲-۰۱	۳۸-۰۷-۲۸
۱۵		بالخلوچای	گیلانده	۴۸-۲۱-۴۳	۳۸-۱۸-۱۶
۱۶		هیرچای	هیر	۳۸-۱۰-۲۸	۳۸-۰۴-۵۵
۱۷	نمین	نمین‌چای	نمین	۴۸-۲۹-۰۶	۳۸-۲۵-۴۵
۱۸		عنبران	عنبران	۴۸-۲۹-۰۶	۳۹-۲۹-۴۰
۱۹		نرگس‌چای	ننه‌کران	۴۸-۳۱-۳۲	۳۸-۲۲-۱۷
۲۰		سقزچی‌چای	ایریل	۴۸-۳۴-۳۰	۳۸-۱۳-۲۳
۲۱		سولاچای	سولا	۴۸-۲۹-۰۴	۳۸-۲۳-۱۴

1-Local Minima

2-Erosion Potential Method (EPM)

مدل EPM روشی برای کمی کردن شدت فرسایش خاک و تخمین میزان کل رسوب‌دهی سالانه در یک حوضه است که برای اولین بار در سال ۱۹۸۸ ارائه شده است (رفاهی، ۱۳۸۵). طبق این روش چهار مشخصه شامل ضریب فرسایش حوضه (φ)، ضریب استفاده از زمین (X_a)، ضریب حساسیت سنگ و خاک به فرسایش (Y) و شیب متوسط حوضه (I) در واحدهای مختلف اراضی یا در شبکه‌های ایجاد شده در نقشه مورد بررسی قرار گرفت (اسمعلی و عبداللهی، ۱۳۹۰).

مقادیر ضریب استفاده از زمین (X_a)، حساسیت سنگ و خاک به فرسایش (Y) و شرایط فرسایش حوضه (φ) به‌ترتیب بر اساس جدول‌های ۲ تا ۵ محاسبه شد. بر اساس این چهار عامل، مقدار Z یا ضریب شدت فرسایش در هر یک از زیرحوضه‌ها از رابطه‌ی ۱ محاسبه شد:

$$Z = Y.X_a(\varphi + I^{0.5}) \quad (۱)$$

در روش EPM برای تخمین متوسط سالانه فرسایش ویژه در حوضه از رابطه‌ی ۲ استفاده شد:

$$W_{SP} = T.H.\pi.Z^{1.5} \quad (۲)$$

که در آن، W_{SP} فرسایش ویژه بر حسب مترمکعب در کیلومترمربع در سال، H متوسط بارندگی سالانه به میلی‌متر و T ضریب درجه حرارت است.

جدول (۲): مقادیر ضریب حساسیت سنگ و خاک به فرسایش (Y) در مدل EPM (اسمعلی و عبداللهی، ۱۳۹۰)

Table (2): Values of rock and soil susceptibility coefficient to erosion (Y) in EPM model (Esmali and Abdollahi, 2011)

ردیف	شرایط سنگ‌شناسی و خاک‌شناسی	امتیاز
۱	ماسه، سنگریزه، شیست و مارن	۲
۲	لس، توف، خاک‌شور و خاک استپی	۱/۶
۳	سنگ آهک هوازده	۱/۲
۴	ماسه‌سنگ قرمز سرپانتین و رسوبات فلیشی	۱/۱
۵	پدوزل، پاراپدزول، شیست خرد شده، میکاشیست، گینس، شیست آرژیلیت‌دار	۱
۶	سنگ آهک سخت، لاشبرگ، خاک‌های هوموسی و سیلیکات‌دار	۰/۹
۷	خاک‌های جنگلی قهوه‌ای و خاک‌های کوهستانی	۰/۸
۸	خاک‌های باتلاقی و هیدرومورف سیاه خاکستری تیره	۰/۶
۹	چرنوزوم و رسوبات آبرفتی با بافت خوب	۰/۵
۱۰	سنگ‌های آذرین سخت	۰/۲۵

جدول (۳): مقادیر ضریب استفاده از زمین (Xa) در مدل EPM (اسمعلی و عبداللهی، ۱۳۹۰)

Table (3): Land use coefficient (Xa) values in EPM model (Esmali and Abdollahi, 2011)

ردیف	شرایط استفاده از زمین	امتیاز
۱	اراضی غیرقابل کشت و زرع (بدلندها)	۱
۲	اراضی تپه‌ماهور و شخم‌خورده برای زراعت	۰/۹
۳	باغات میوه، تاکستان‌های بدون پوشش گیاهی مرتعی	۰/۸
۴	کشت‌زارهای شخم‌خورده بر خطوط تراز	۰/۷
۵	جنگل‌های مخروبه و فرسایش یافته و بوته‌زارهای ایجاد شده بر خاک فرسایش یافته	۰/۶
۶	مراتع کوهستانی خشک	۰/۵
۷	مزارع دائمی و یونجه‌زارها	۰/۴
۸	مراتع مناطق بارانی و روئیده از گراس‌ها	۰/۳
۹	جنگل خوب روی شیب‌های تند	۰/۲
۱۰	جنگل خوب روی شیب ملایم	۰/۱

جدول (۴): مقادیر ضریب فرسایش منطقه‌ای (φ) در مدل EPM (اسمعلی و عبداللهی، ۱۳۹۰)

Table (4): Zonal erosion coefficient values (φ) in EPM model (Esmali and Abdollahi, 2011)

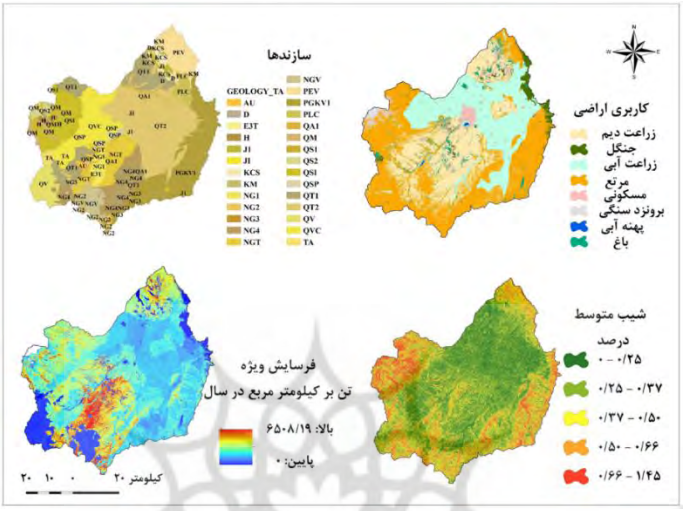
ردیف	شرایط فرسایش حوضه	امتیاز
۱	منطقه دارای خندق‌های زیاد و فرسایش شدید است.	۱
۲	در حدود ۸۰ درصد منطقه دارای فرسایش خندقی و شیاری است.	۰/۹
۳	در حدود ۵۰ درصد منطقه دارای فرسایش خندقی و شیاری است.	۰/۸
۴	کل منطقه دارای فرسایش سطحی، وجود رسوبات و واریزه‌ها و به مقدار کم دارای فرسایش خندقی و شیاری و فرسایش کارستی	۰/۷
۵	کل منطقه دارای فرسایش سطحی ولی بدون آثار فرسایش عمیق (خندق‌ها، شیارها، و واریزه‌ها)	۰/۶
۶	۵۰ درصد منطقه دارای فرسایش سطحی و بقیه بدون فرسایش	۰/۵
۷	۲۰ درصد منطقه دارای فرسایش سطحی و بقیه بدون فرسایش	۰/۴
۸	سطح زمین فاقد فرسایش قابل رویت بوده ولی کنار رودخانه‌ها، واریزه و لغزش مشاهده می‌شود.	۰/۳
۹	سطح زمین فاقد فرسایش قابل رؤیت بوده و اغلب دارای پوشش زراعی است.	۰/۲
۱۰	سطح زمین فاقد فرسایش قابل رؤیت بوده و غالباً تحت پوشش جنگل و گیاهان دائمی است.	۰/۱

جدول (۵): حساسیت سازندهای زمین‌شناسی حوضه‌ی سامیان نسبت به فرسایش در مدل EPM

Table (5): Sensitivity of geological formations of Samian watershed to erosion in EPM model

علامت سازند	خصوصیات سنگ‌شناسی	مساحت (کیلومتر مربع)
AU	دگرگونی مجاورتی	۱۷/۱۷
D	دایک	۳/۹۳
ET3	تراکیت آنالیسم‌دار	۲/۰۸
H	دگرسانی گرمایی	۲۱/۶۲
J1	آهک و دولومیت ضخیم	۳۳/۲۵
JI	سنگ آهک توده‌ای- نازک لایه خاکستری روشن (سازند لار)	۱/۵۵
KCS	کنگلومرا و آواری‌های چندزادی متمایل و به رنگ قرمز	۳۹/۹۲
KM	سنگ اهک‌های سیلتی و ماسه‌ای	۱۳/۵
Ng^1	تناوب مارن و ماسه سنگ قرمز و سبز زیتونی همراه با گچ	۶۵/۶۹
Ng^2	تناوب توف‌های پومس و لاپیلی‌دار و پومس برش و یا تومیت	۳۰/۷۷
Ng^3	مارن و سیلتستون و کنگومرا	۵/۱۵
Ng^4	مارن سیلت سنگ کنگلومرای قهوه‌ای تا خاکستری	۲۶۱/۷۱
Ng^t	تناوب توف، لاپیلی توف، توف برش، پومیس، لاهار و آهک آب شیرین	۲۴۴/۴۷
Ngv	تراکی اندزیت	۱۲۸
PEV	گدازه‌های زیردریایی	۲۲۵
PGKV1	گدازه‌های آندزیتی	۶۳۶/۶۳
PLC	کنگلومرا با سیمان سست و قطعات ولکانیکی	۷۴/۹۳
Qal	رسوبات جوان رودخانه‌ای	۳۰/۴۸
QM	رسوب‌های یخچالی	۵۶/۱۰
QS2	گنبد و گدازه‌های جوان سبلان	۳۸/۰۶
Qsl	گدازه‌های تراکی آندزیتی کهن سبلان	۳۰۶/۹۷
QSP	برش و ایگنمبریت‌های انفجاری	۳۶/۴۱
Qt_1	پادگانه‌های قدیمی و آبرفت‌های پادگانه‌ای و کوهپایه‌ای هموار بلند	۴۵۴/۴۶
Qt_2	رسوبات دشت مخروط افکنه و پادگانه آبرفتی جوان (ماسه، سیلت، رس)	۹۵۹/۸۵
QV	اندزیت و بازالت‌های الکالن	۱۶۱/۱۱
QVC	شامل کنگلومرا، لاهار، توف و خاکسترهای آتشفشانی مربوط به اوایل کواترنر می‌باشند.	۳۸۶/۰۶
TA	گنبدهای تراکی آندزیتی (پلیوسن)	۲۰/۱۲

نقشه‌های به‌دست آمده از تعیین کاربری اراضی، سازندهای زمین‌شناسی، شیب، و فرسایش ویژه در حوضه سامیان در شکل ۲ ارائه شده است.



شکل (۲): نقشه‌های کاربری اراضی، سازندهای زمین‌شناسی، شیب، و فرسایش ویژه در حوضه‌ی سامیان

Figure (2): Maps of land use, geological formations, slope, and specific erosion of Samian watershed

در این پژوهش، وزن هر یک از عوامل (w) با استفاده از روش آنتروپی شانون محاسبه شد. روش آنتروپی (Entropy) در سال ۱۹۴۸ توسط شانون[1] ارائه شد و یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره برای محاسبه‌ی وزن معیارهاست. در این روش نیازمند به ماتریس معیار-گزینه می‌باشد. آنتروپی بیان‌کننده‌ی مقدار عدم اطمینان در یک توزیع احتمال پیوسته است. ایده‌ی اصلی این روش آن است که هر چه پراکندگی در مقادیر یک شاخص بیش‌تر باشد، آن شاخص از اهمیت بیش‌تری برخوردار است (کمانگر و قادری، ۱۳۹۵).

برای تعیین وزن به این روش، ابتدا ماتریس تصمیم تشکیل داده شده و سپس ماتریس تشکیل داده شده نرمال گردید. هر درایه نرمال شده pij نامیده می‌شود. نرمال شدن به این صورت است که درایه هر ستون بر مجموع ستون تقسیم می‌شود (رابطه‌ی ۳).

$$P_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sum_{i=1}^{m} r_{ij}} . j = 1.2 \dots . n \qquad (۳)$$

سپس آنتروپی هر معیار Ej به‌صورت زیر محاسبه شد و k به‌عنوان مقدار ثابت، مقدار Ej را بین صفر و یک قرار می‌دهد.

$$E_j = -k \sum_{i=1}^{m} \left(P_{ij} \ln P_{ij}\right) \quad k = \frac{1}{\ln m} . j = 1.2 \dots . n \qquad (۴)$$

1-Shannon

به‌طوری که k یک ثابت مثبت است و به‌منظور تأمین $0 \leq E \leq 1$ در رابطه‌ی ۴ وارد شده و m تعداد گزینه‌ها می‌باشد.

قابل ذکر است که متغیرهای مورد استفاده در محاسبه این شاخص بایستی به‌صورت استاندارد شده بین صفر و یک باشند که با استفاده از رابطه پیشنهاد شده توسط ویرا و استودارت (۲۰۰۹) استانداردسازی صورت گرفته است.

$$Xi_{normalized} = \frac{(X_i - X_{min})}{X_{max} - X_{min}} \quad (۵)$$

که در آن، Xi مقدار اندازه‌گیری شده، Xmin و Xmax به‌ترتیب کم‌ترین و بیش‌ترین مقدار متغیری است که باید استاندارد شود. پس از استانداردسازی عوامل با روش حداکثر بین صفر و یک با استفاده از رابطه‌ی ۵، شاخص HSDI بر اساس رابطه‌ی ۶ برای کل حوضه‌ی سامیان محاسبه شد.

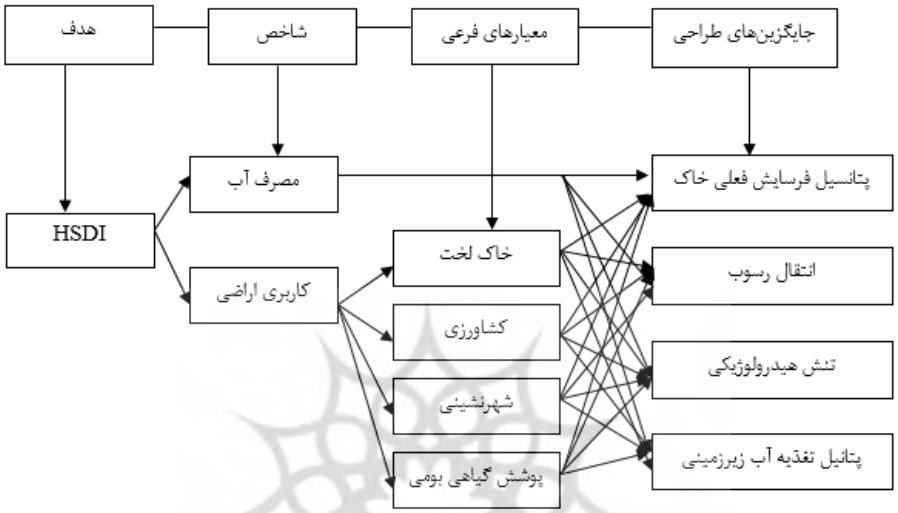
$$HSDI = \sum (w_1 \cdot ST + w_2 \cdot SEP + w_3 \cdot HS + w_4 \cdot Rec) \quad (۶)$$

بر اساس توصیف علمی عوامل و طبقه‌بندی آن‌ها، یک طبقه‌بندی شش سطحی برای HSDI (جدول ۶)، تعیین شده است. هم‌چنین در شکل ۳ روندنمای محاسبه شاخص HSDI ارائه شده است.

جدول (۶): سطوح HSDI در زیرحوضه‌های سامیان

Table (6): HSDI levels in the Samian sub-watersheds

طبقه	سطح (درصد)
خیلی کم	۰ - ۱۵
کم	۱۵ - ۲۵
متوسط	۲۵ - ۴۵
متوسط رو به زیاد	۴۵ - ۶۰
زیاد	۶۰ - ۷۵
خیلی‌زیاد	> ۷۵



شکل (۳): روند نمای محاسبه شاخص آشفتگی هیدرورسوب‌شناسی (HSDI) در زیرحوضه‌های سامیان (اقتباس از برنامه CDP)
Figure (2): Flowchart of calculation of hydro-sedimentological disturbance index (HSDI) in the Samian sub-watersheds (adapted from the CDP program)

۳-یافته‌ها و بحث

پژوهش حاضر مبتنی بر محاسبه شاخص آشفتگی هیدرورسوب‌شناسی (HSDI) در حوضه‌ی سامیان واقع در استان اردبیل برنامه‌ریزی شده است. این شاخص دارای چهار عامل (انتقال رسوب (ST)، تنش هیدرولوژیک (HS)، پتانسیل تغذیه‌ی آب زیرزمینی (Rec) و پتانسیل فرسایش فعلی خاک (SEP) مرتبط با خصوصیات هیدرولوژیک، کاربری اراضی و زمین‌شناسی حوضه است. طبق نتایج مندرج در جدول ۷ و شکل ۴، حداکثر و حداقل مقدار شاخص انتقال رسوب (ST) در زیرحوضه‌های ۱۹ و ۳ به‌ترتیب با مقدار عددی ۸۴۵/۶۸ و ۰/۷۸ به‌دست آمد که به‌علت قرار گرفتن زیرحوضه ۱۹ در خروجی حوضه دارای بیش‌ترین رسوب است.

حداکثر و حداقل مقدار عامل تنش هیدرولوژیک (HS) در زیرحوضه‌های ۲۱ و ۶ به‌ترتیب با مقدار عددی ۰/۹۳ و صفر به‌دست آمد که به نوبه خود می‌تواند بر متغیرهای رسوب، رطوبت خاک و پایداری زیستگاه اثرگذار باشد؛ با توجه به قرارگیری بیش‌ترین مقدار در بخش مرکزی حوضه که دارای تراکم جمعیتی بیش‌تری است، با پژوهش دورائس و ملو (۲۰۱۴) که اذعان کردند علت ایجاد تنش هیدرولوژیک بیش‌تر، فشارهای اقتصادی-اجتماعی ناشی از تقاضاهای انسانی است، مطابقت دارد.

حداکثر مقدار شاخص تغذیه آب زیرزمینی (Rec) در زیرحوضه ۲۷ با مقدار عددی ۱/۶۳ است که به‌علت قرارگیری در اراضی پست و وجود رودخانه‌های پرآب قابل تفسیر است. کم‌ترین مقدار شاخص مذکور مربوط به زیرحوضه ۳

با مقدار عددی ۰/۰۳ است که در شمال شرقی حوضه با شیب بالا قرار دارد. این نتایج با یافته‌های مهری و همکاران (۱۳۹۵) درباره‌ی تغییرات فصلی جریان پایه چند ایستگاه منتخب در استان اردبیل مطابقت دارد. این پژوهش‌گران بیان کردند که کم‌ترین مقدار دبی پایه مربوط به مناطق شرقی استان اردبیل، در نزدیکی استان گیلان به‌دلیل شیب بالا و رواناب سطحی زیاد و هم‌چنین بیش‌ترین مقدار دبی پایه مربوط به غرب و جنوب غربی استان که دارای شرایط کوهستانی و رودخانه‌های پرآب است.

در خصوص شاخص پتانسیل فرسایش خاک (SEP)، حداکثر مقدار در شمال غربی حوضه قرار دارد و بالادست حوضه یعنی زیرحوضه‌های واقع در جنوب حوضه، فرسایش کم‌تری دارند. حداکثر و حداقل مقدار فرسایش ویژه در زیرحوضه‌های ۲۵ و ۶ به‌ترتیب برابر با ۱۴۵۱/۷۳ و ۴۷۲/۷۲ تن در هکتار در سال برآورد شد (شکل ۳). نتایج فرسایش ویژه نیز نشان داد که در زیرحوضه‌هایی که ۱۰۰ درصد کاربری آن‌ها مرتع است، مقادیر فرسایش کم‌تر از حالتی است که تمام مساحت زیرحوضه را کاربری کشاورزی تشکیل داده باشد. نتایج پژوهش با یافته‌های جعفری و همکاران (۱۳۹۷) که نشان‌دهنده‌ی تأثیر زیاد عوامل زمین‌شناسی، انسانی و بعضی شرایط توپوگرافی در فرسایش منطقه است. هم‌چنین میرسنجری و عابدیان (۱۳۹۷) در بررسی پتانسیل فرسایش در حوضه آبخیز قره‌سو در استان گلستان به این نتیجه رسیدند که مناطق با تراکم پوشش گیاهی متوسط و شیب زیاد، در طبقه فرسایش زیاد قرار دارند و در مناطق دارای پوشش جنگلی پر تراکم، فرسایش کمی مشاهده شده است که می‌توان به سطح آشفتگی موجود در منطقه نیز پی برد.

در نهایت، طبق نتایج به‌دست آمده از محاسبه HSDI (جدول ۷)، حداکثر و حداقل مقدار این شاخص در حوضه‌ی سامیان در زیرحوضه‌های ۱۹ و ۳ به‌ترتیب با مقدار عددی ۴۵/۶۷ و ۰/۲۰ به‌دست آمد.

جدول (۷): شاخص آشفتگی هیدرورسوب‌شناسی (HSDI) و معیارهای آن

Table (7): Hydro-sedimentological disturbance index (HSDI) and its criteria

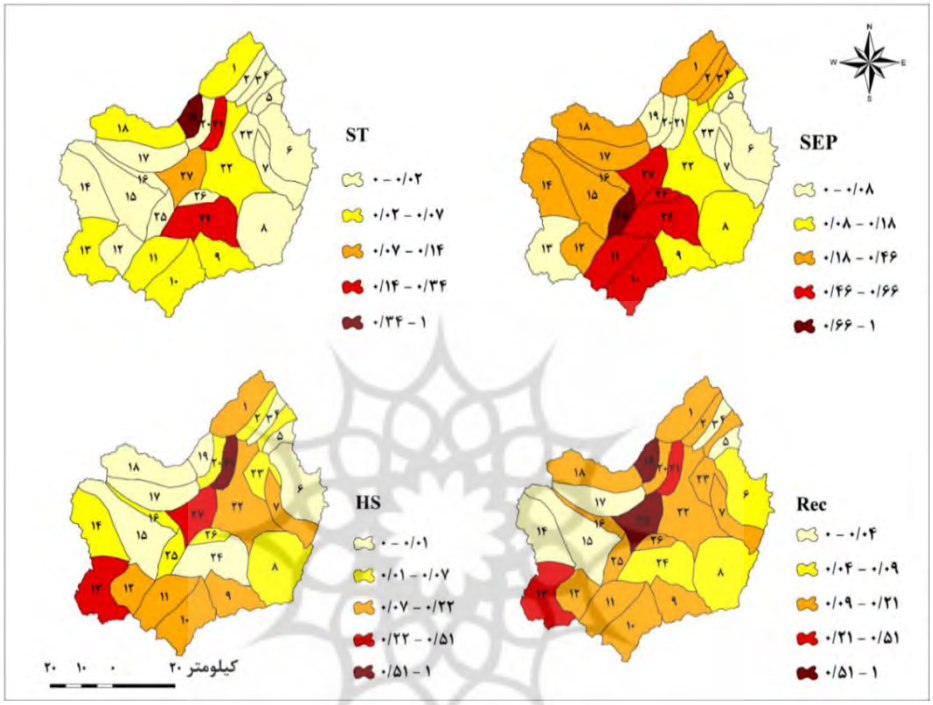
زیرحوضه	رسوب معلق (تن در روز)	جریان پایه (متر مکعب بر ثانیه)	$Q_{۹۰}$ (مترمکعب بر ثانیه)	فرسایش (تن بر کیلومتر مربع در سال)	HSDI
۱	۰/۰۴	۰/۱۸	۰/۱۴	۰/۴۵	۰/۰۹
۲	۰/۰۱	۰/۱۵	۰/۰۵	۰/۴۶	۰/۰۵
۳	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۳۸	۰/۰۰
۴	۰/۰۰	۰/۱۴	۰/۰۵	۰/۱۹	۰/۰۵
۵	۰/۰۰	۰/۰۲	۰/۰۰	۰/۰۸	۰/۰۰
۶	۰/۰۰	۰/۰۶	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۲
۷	۰/۰۲	۰/۱۷	۰/۱۰	۰/۰۶	۰/۰۷

ادامهٔ جدول (۷): شاخص آشفتگی هیدرورسوب‌شناسی (HSDI) و معیارهای آن

Con. Table (7): Hydro-sedimentological disturbance index (HSDI) and its criteria

زیرحوضه	رسوب معلق (تن در روز)	جریان پایه (متر مکعب بر ثانیه)	$Q_{۹۰}$ (مترمکعب بر ثانیه)	فرسایش (تن بر کیلومتر مربع در سال)	HSDI
۸	۰	۰/۱۰	۰/۰۶	۰/۱۳	۰/۰۴
۹	۰/۰۳	۰/۱۷	۰/۱۲	۰/۱۸	۰/۰۸
۱۰	۰/۰۵	۰/۱۹	۰/۱۵	۰/۵۱	۰/۰۹
۱۱	۰/۰۴	۰/۱۸	۰/۱۴	۰/۵۱	۰/۰۹
۱۲	۰/۰۲	۰/۱۶	۰/۱۰	۰/۴۲	۰/۰۷
۱۳	۰/۰۳	۰/۵۱	۰/۵۲	۰/۰۷	۰/۲۶
۱۴	۰/۰۰	۰/۰۴	۰/۰۶	۰/۳۹	۰/۰۲
۱۵	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۴۷	۰/۰۱
۱۶	۰/۰۱	۰/۱۵	۰/۰۵	۰/۴۳	۰/۰۵
۱۷	۰/۰۱	۰/۰۴	۰/۰۱	۰/۳۹	۰/۰۱
۱۸	۰/۰۳	۰/۲۰	۰/۰۱	۰/۴۲	۰/۰۶
۱۹	۱	۰/۹۸	۰/۰۱	۰/۰۶	۰/۴۶
۲۰	۰/۰۱	۰/۱۵	۰/۰۶	۰/۰۴	۰/۰۵
۲۱	۰/۳۴	۰/۴۱	۱/۰۰	۰/۰۲	۰/۴۱
۲۲	۰/۰۷	۰/۲۱	۰/۲۳	۰/۱۲	۰/۱۲
۲۳	۰/۰۱	۰/۱۶	۰/۰۷	۰/۰۹	۰/۰۶
۲۴	۰/۲۶	۰/۰۷	۰/۰۲	۰/۵۶	۰/۰۷
۲۵	۰/۰۱	۰/۱۵	۰/۰۶	۱/۰۰	۰/۰۶
۲۶	۰/۰۰	۰/۱۴	۰/۰۴	۰/۶۷	۰/۰۵
۲۷	۰/۱۴	۱/۰۰	۰/۴۶	۰/۴۹	۰/۴۰

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی



شکل (۴): نقشه‌های عوامل در نظر گرفته شده در ساختار HSDI برای زیرحوضه‌های سامیان

Figure (4): Maps of factors considered in the HSDI structure for the Samian watersheds

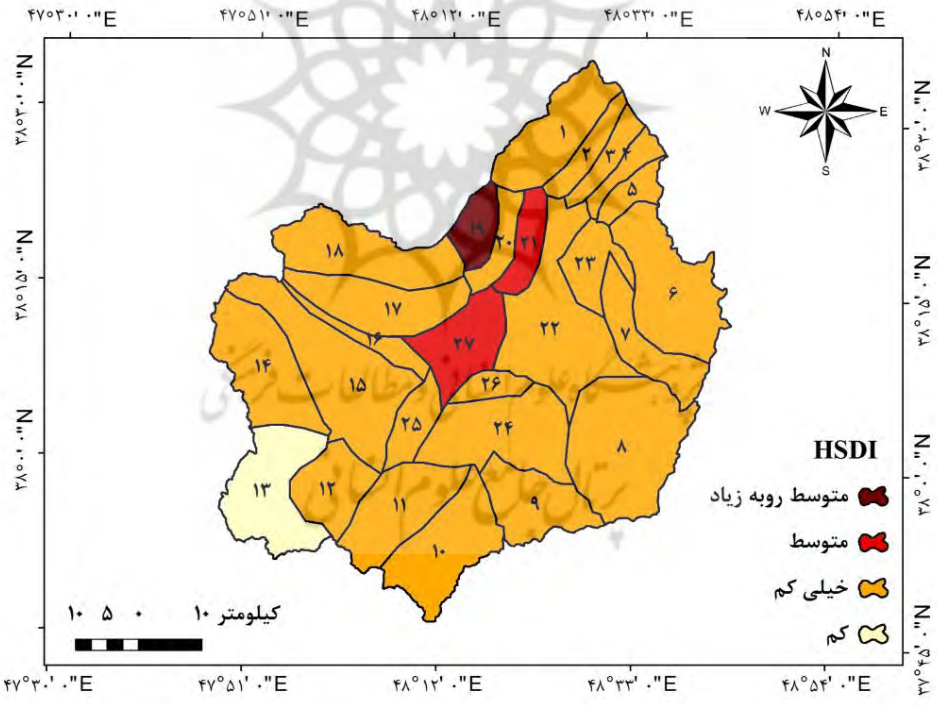
با توجه به شکل ۵، حداکثر مقدار HSDI در بخش‌های شمالی و مرکزی حوضه سامیان به‌دست آمد. توزیع مکانی شاخص نهایی آشفتگی حوضه نیز نشان داد که ۸۷/۶۷ درصد منطقه در وضعیت خیلی‌کم آشفتگی قرار گرفته است. سپس وضعیت‌های کم، متوسط و متوسط رو به زیاد به‌ترتیب ۵/۳۳، ۵/۳۲ و ۱/۶۸ درصد منطقه را شامل شده‌اند.

ویژگی‌های آماری عوامل ارزیابی آشفتگی و نیز HSDI (جدول ۸) نشان می‌دهد که میانگین، انحراف معیار و ضریب تغییرات HSDI برای کل حوضه به‌ترتیب ۱۰/۱۷، ۱۲/۲۹ و ۱/۲۱ برآورد شد. هم‌چنین، دامنه‌ی تغییرپذیری عوامل و شاخص نهایی ارزیابی آشفتگی در سطح حوضه سامیان بسیار زیاد ارزیابی شد. به‌نحوی‌که بیش‌ترین انحراف معیار مربوط به رسوب معلق و فرسایش به‌ترتیب با مقادیر عددی ۱۶۶/۴۶ (تن در روز) و ۲۳۳/۹۵ (تن بر کیلومتر مربع در سال) بوده است. انحراف معیار سایر عوامل کم‌تر از یک بوده و نشانه آن است که داده‌ها به میانگین نزدیک بوده و پراکندگی اندکی دارند. در همین راستا، رضایی و همکاران (۱۴۰۱) بر اساس تحلیل تئوری آشوب، به وجود آشوب‌ناکی در سری‌های زمانی ۶۳ ساله در جریان ماهانه رودخانه‌ی سفیدرود در مقیاس‌های مختلف اشاره کرده‌اند.

جدول (۸): ویژگی‌های آماری HSDI و معیارهای آن

Table (8): Statistical characteristics of HSDI and its criteria

مقدار / مقدار واقعی معیار / شاخص	میانگین	انحراف معیار	ضریب تغییرات	حداقل	حداکثر
رسوب معلق (تن در روز)	۶۸/۱۲	۱۶۶/۴۶	۲/۴۴	۰/۷۸	۸۴۵/۶۸
جریان پایه (متر مکعب بر ثانیه)	۰/۳۷	۰/۳۹	۱/۰۵	۰/۰۳	۱/۶۳
(Q_{90} (مترمکعب بر ثانیه	۰/۱۲	۰/۱۹	۱/۵۸	۰/۰۰	۰/۹۳
فرسایش (تن بر کیلومتر مربع در سال)	۷۸۴/۳۷	۲۳۳/۹۵	۰/۲۹	۴۷۲/۷۲	۱۴۵۱/۷۳
HSDI	۱۰/۱۷	۱۲/۲۹	۱/۲۱	۰/۲۰	۴۵/۶۷



شکل(۵): تغییرات مکانی HSDI در حوضه سامیان (شماره‌ها نشان‌دهنده‌ی شماره‌ی زیرحوضه‌هاست)

Figure (5): Spatial variations of HSDI in Samian watershed (numbers indicate the sub-watersheds numbers)

۴-نتیجه‌گیری

شاخص آشفتگی هیدرورسوب‌شناسی (HSDI) به ارزیابی و تمایز زیرحوضه‌ها با توجه به درجه آشفتگی مرتبط با کاربری‌های زمین و آب کمک می‌کند، که تخصیص دقیق منابع را برای حفاظت ممکن می‌سازد. طبق نتایج

مذکور HSDI در زیرحوضه‌های سامیان در چهار دسته (خیلی‌کم، کم، متوسط و متوسط روبه زیاد) طبقه‌بندی شد که زیرحوضه ۱۹ واقع در شمال غرب حوضه در طبقه متوسط روبه زیاد، زیرحوضه‌های ۲۱ و ۲۷ (مناطق مرکزی) در طبقه متوسط، زیرحوضه ۱۳ (جنوب حوضه) در طبقه کم و بقیه‌ی زیرحوضه‌های مورد مطالعه در طبقه خیلی کم قرار گرفتند. مناطق طبقه‌بندی شده در سطح متوسط روبه زیاد و متوسط بیش‌تر در بخش خروجی و مرکزی حوضه که دارای تراکم بالای جمعیت، تنش هیدرولوژیک بالا (تقاضای آب بالا) هستند، یافت شد. بر اساس تجزیه و تحلیل معیارهای مورد مطالعه برای ارزیابی آشفتگی هیدرورسوب‌شناسی حوضه سامیان مشخص شد که از نظر کلی حوضه، به‌جزء در بخش‌هایی از شمال و مرکز آن، دارای وضعیت کم از لحاظ آشفتگی است. نتایج حاصل از محاسبه HSDI در پژوهش حاضر، برای ارزیابی سناریوهای مدیریتی مختلف، شناسایی مناطق بحرانی، کمک به برنامه‌ریزی و تخصیص منابع طبیعی و مقایسه زیرحوضه‌های مختلف از نظر کیفیت محیط زیستی کاربرد دارد.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

۵-منابع

Asgari, E., Hosseini, S.Z., & Mostafazadeh, R. (2021). Determination of the Relationship and Spatial Variations of Discharge and Suspended Sediment Values in Watersheds of Ardabil Province, *Geography and Development Iranian Journal*, 18(61), 143-176.

Esmali, A., & Abdollahi, Kh. (2011). *Watershed Management and Soil Conservation*. University Mohaghegh Ardabili Press. 574 p.

Farajzadeh, Asl, M., Hodaei, A., Mollashahi, M., & Rajabi Rostam Abadi, N. (2017). The Analysis and Comparison of the Suspended Sediment in the Caspian Sea and Central Iran Drainage Basins, *Hydrogeomorphology*, 4(11), 59-81.

Ghoreishi Gharetikan, S., Gharechelou, S., Mahjoobi, E., Golian, S., & Salehi, H. (2022). Evaluation of Available Surface Water Resources in Qarah Tikan Border Basin using Satellite Products and GIS, *Water and Soil Management and Modelling*, 2(1), 1-13.

Golshan, M., Kavian, A., Esmali, A., & Ziegler, A. (2018). Modeling Runoff and Sediment Yield using of Hydro-Geomorphologic Characters in Samian Watershed, Ardabil Province, *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering*, 12(43), 117-126.

Jafari, T., Naemi, M., & Zakerian, (2018). Quantitative Assessment of Soil-Water Erosion with the EPM Model (Case Study: Badranloo Watershed), *Geography and Environmental Planning*, 29(2): 141-158.

Kamangar, M., & Ghaderi, F. (2016). Investigating the Accuracy of Shannon Entropy Weighting Method in Determining the Appropriate Areas of Artificial Nutrition in Sarkhon plain, *Iranian Soil and Water Research*, 47 (2): 247-258.

Mehri, S., Mostafazadeh, R., Esmali-Ouri, A., & Ghorbani, A. (2017). Spatial and Temporal Variations of Base Flow Index (BFI) for the Ardabil Province River, Iran, *Earth and Space Physics*, 43(3): 623-634.

Mirsanjari, M.M., & Abedian, S (2019). Assessment and Environmental Zoning of Soil Erosion Potential using RUSLE Model (Case Study: Gharahsoo watershed), *Journal of Environmental Studies*, 44(4), 625-642.

Nayyeri, H., Amani, K., & Ganjaeian, H. (2016). Survey the Tarval Drainage Watershed Hydro Geomorphology and Hydrology Indicators, *Hydrogeomorphology*, 3(7), 19-38.

Refahi, H.G. (1385). *Wind Erosion and Conservation*. University of Tehran Press, 561 p.

Rezaie, H., Garebaghi, P., Khani Temeliyeh, Z., & Mirabbasi-Najafabadi, R. (2022). Monthly Flow Analysis of Sefidrood River using Chaos Theory, *Water and Soil Management and Modelling*, 2(1), 27-41.

Saeediyan, H., & Moradi, H. (2022). Comparing of the Runoff and Sediment of Different Land Uses in Gachsaran and Aghajari Formations under Rain Simulation, *Water and Soil Management and Modelling*, 2(2), 55-68.

Zarei, Sh., Hazbavi, Z., Mostafazadeh, R., & Esmali-Ouri, A. (2020). Vulnerability Comparison of Samian Sub-watersheds based on Climate Change Components, *Natural Geography Research*, 52(2), 217-236.

Alcázar, J., Woodard, P.M., & Rothwell, R.L. (2002). Soil Disturbance and the Potential for Erosion after Mechanical Site Preparation, *Northern Journal of Applied Forestry*, 19(1), 5-13.

Averill, R. D., Larson, L., Saveland, J., Wargo, P., Williams, J., & Bellinger, M. (1994). *Disturbance Processes and Ecosystem Management*. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service. 19 p.

Biggs, B.J., Tuchman, N.C., Lowe, R.L., & Stevenson, R.J. (1999). *Resource Stress Alters Hydrological Disturbance Effects in a Stream Periphyton Community*, Oikos, 95-108.

Dai, J.J., Lorenzato, S., & Rocke, D.M. (2004). A Knowledge-Based Model of Watershed Assessment for Sediment, *Environmental Modelling & Software*, 19(4), 423-433.

Danneyrolles, V., Dupuis, S., Fortin, G., Leroyer, M., de Römer, A., Terrail, R., & Arseneault, D. (2019). Stronger Influence of Anthropogenic Disturbance than Climate Change on Century-Scale Compositional Changes in Northern Forests, *Nature Communications*, 10(1), 1-7.

de Barros, C.A.P., Minella, J.P.G., Dalbianco, L., & Ramon, R. (2014). Description of Hydrological and Erosion Processes Determined by Applying the LISEM Model in a Rural Catchment in Southern Brazil, *Journal of Soils and Sediments*, 14(7), 1298-1310.

Durães, M.F., & Mello, C.R.D. (2014). Hydrosedimentologic Disturbance Index Applied to Watersheds of Minas Gerais State, *Ciência e Agrotecnologia*, 38, 61-67.

Folster, H., Khanna, P.K., Nambiar, E.K.S., & Brown, A.G. (1997). Dynamics of nutrient supply in plantation soils. P. 339-378 in Management of soil, nutrients and water in tropical plantation forests, Nambiar, E.K.S. (ed.). Aciar Monogr. No. 43. Canberra, Australia.

Guiraud, D.M.C., Lenzi, E., Luchese, E.B., & Fávero, L.O.B. (2004), Loss of Macronutrients (N, P, K) in the Hydrographic Basin of the River Ivaí, an Affluent of the River Paraná. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 47, 649-658.

Humphries, H.C., Bourgeron, P.S., & Reynolds, K.M. (2008). Suitability for Conservation as a Criterion in Regional Conservation Network Selection. *Biodiversity and Conservation*, 17(3), 467-492.

Huston, A. (1994). The Coexistence of Species on Changing Landscapes. *Page Biological Diversity*, 483-557.

Kemp, D., Sadler, P., & Vanacker, V. (2020). The Human Impact on North American Erosion, Sediment Transfer, and Storage in a Geologic Context, *Nature Communications*, 11, 6012.

Margules, C.R. & Pressey, R.L. (2000). Systematic Conservation Planning. *Nature*, 405(6801):243-253.

Margules, C.R. & Sarkar, S. (2007). *Systematic Conservation Planning*. Cambridge: Cambridge University Press, 278 p.

Marques, P.H.C., Oliveira, H.T., & Machado, E.C. (2003), Limnological Study of Piraquara River (Upper Iguaçu Basin): Spatiotemporal Variation of Physical and Chemical Variables and Watershed Zoning. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 46, 383–394.

Moon, D.E. (1988). *Approaches to predicting soil degradation*. P. 138–152 in Proc. of the 10th B.C. Soil Science Workshop, B.C. Min. For. Victoria, B.C., Canada

Nelson, E.J, &. Booth, D.B. (2002). Sediment Sources in an Urbanizing, Mxed Land-use Watershed. *Journal of Hydrology*, 264, 51–68.

Netto, S. A., & Lana, P. (1994). Effects of sediment disturbance on the structure of benthic fauna in a subtropical tidal creek of southeastern Brazil. *Marine Ecology-Progress Series*, 106, 239-239.

Peterson, C.G. (1996). *Response of Benthic Algal Communities to Natural Physical Disturbance*. In: Stevenson, R.J., Bothwell, M. L. and Lowe, R. L. (eds), Algal ecology: freshwater benthic ecosystems. Academic Press, San Diego, CA, pp. 375-402.

Picket, S.T.A., & White, P.S. (1985). *The Ecology of Natural Disturbance as Patch Dynamics*, New York: Academic Press INC, 470p.

Schmidt, M.G., Macdonald, S.E., & Rothwell, R.L. (1996). Impacts of Harvesting and Mechanical Site Preparation on Soil Chemical Properties of Mixed-Wood Boreal Forest Sites in Alberta. *Canadian Journal of Soil Science*, 76, 531–540.

Shannon, C.E. (1948). A mathematical theory of communication, *Bell System Technical Journal*, 27(3), 379-423.

Silva, A.M.D., & Schulz, H.E. (2007). Hydrosedimentological dynamic on Água Fria watershed. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 50, 861-870.

Silva, M.A.L., Calasans, C.F., Ovalle, A.R.C., & Rezende, C.E. (2001). Dissolved nitrogen and phosphorus dynamics in the lower portion of the Paraíba do Sul River, Campos dos Goytacazes, R.J, *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 44, 365–371.

Tucci, C.E.M. (1997). *Hidrologia: Ciência. E Aplicação. Editora da Universidade/ABRH*, Porto. Alegre, R.S. 450p (Abstract in English).

Turner, M.G. (1989). Landscape Ecology: the Effect of pattern on process. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 20:171-197.

Turner, M.G., & Gardner, R.H. (2015). *Landscape ecology in theory and practice: pattern and process*. Springer.

Vieira, P.M.S., & Studart, T.M.C. (2009). Proposta metodológica para o desenvolvimento de um índice de sustentabilidade hidro-ambiental de áreas serranas no semiárido brasileiro – estudo de caso: Maciço de Baturité, Ceará. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 14(4), 125-136 (Abstract in English).

Zanandrea, F., Michel, G.P., Kobiyama, M., Censi, G., Abatti, B.H. (2021). Spatial-Temporal Assessment of Water and Sediment Connectivity through a Modified Connectivity Index in a Subtropical Mountainous Catchment. *Catena*, 204, 105380.