

یکی از نیازهای برنامه‌ریزی برای مدیریت و حفاظت مؤثر و پایدار، درک و آگاهی بهتر از روند تغییرات مکانی این نوع آشفستگی‌هاست. از طرفی، شناسایی و پایش به‌موقع پاسخ بوم‌سازگان به محرک‌های آشفستگی یک گام مهم در کسب اطمینان از استفاده پایدار از منابع طبیعی و مدیریت یکپارچه آبخیز است. بر همین اساس، پژوهش حاضر با هدف شناسایی محرک‌های آشفستگی، توسعه شاخص‌های چندعملکردی آشفستگی و تحلیل الگوی مکانی آن‌ها در آبخیز سامیان واقع در استان اردبیل برنامه‌ریزی شده است.

### مواد و روش‌ها

در پژوهش حاضر، با توجه به پیشینه مطالعاتی در آبخیز و نیز مرور منابع مرتبط با شاخص‌های آشفستگی، در کل ۲۹ محرک آشفستگی مورد شناسایی قرار گرفت. سپس از آزمون اسپیرمن برای شناسایی و حذف محرک‌های آشفستگی دارای همبستگی معنی‌دار ( $p\text{-value} < 0.05$ ) استفاده شد. در ادامه، بر اساس وزن‌دهی برابر و با استفاده از مجموع وزنی محرک‌های آشفستگی نهایی شده، چهار شاخص چندعملکردی مبتنی بر کاربری اراضی (DI-LU) (با معیارهای مساحت کشاورزی، مساحت مرتع، مجموع کشاورزی و مسکونی، مساحت زراعت دیم، مساحت زراعت آبی، مساحت کاربری شهری، بافر ۶۰۰ متری شهری، بافر ۶۰۰ متری شهری، کشاورزی، شاخص نرمال‌شده تفاوت پوشش گیاهی و تراکم جاده)، جمعیت‌شناختی (DI-DG) (با معیارهای تراکم جمعیت، تراکم خانوار روستایی، تراکم افراد شاغل ۱۰ ساله، تعداد افراد شاغل در کشاورزی، تراکم افراد شاغل در صنعت، تراکم افراد شاغل در خدمات و تراکم مسکونی)، منابع آلودگی (DI-CR) (با معیارهای فرسایش خاک، رسوب ویژه، ضریب مکانی LQ در کشاورزی، ضریب مکانی LQ در صنعت، فاصله رودخانه‌ها از مناطق مسکونی، تراکم عملیات معدنی، تراکم مراکز صنعتی و تراکم آلاینده‌ها) و هیدرولوژی (DI-HR) (با معیارهای شیب، مساحت آبگیرها و تالاب‌ها، ذخیره سد و تراکم سد) توسعه داده شد. در نهایت، شاخص آشفستگی کل (TDI) از مجموع وزنی شاخص‌های چندعملکردی محاسبه و توزیع مکانی آن پهنه‌بندی شد.

### نتایج و بحث

یافته‌های حاصل از محاسبه شاخص‌های چندعملکردی آشفستگی مبتنی بر گروه اول تا چهارم، بر اساس هشت، دو، هشت و چهار محرک آشفستگی شناسایی شده در ۲۷ زیرآبخیز سامیان به‌دست آمد. نتایج اعمال وزن‌دهی برابر نشان داد که متغیرهای مورد استفاده در محاسبه شاخص‌های آشفستگی مبتنی بر گروه اول تا چهارم به‌ترتیب وزن ۰/۱۳، ۰/۵۰، ۰/۱۷ و ۰/۳۳ را به خود اختصاص دادند. نتایج حاصل از پهنه‌بندی نشان داد که حداکثر مقدار شاخص آشفستگی مبتنی بر کاربری اراضی (DI-

## الگوی مکانی شاخص‌های چندعملکردی آشفستگی در آبخیز سامیان، استان اردبیل

وحیده مرادزاده<sup>۱</sup>، زینب حزابوی<sup>۲</sup>، اباذر اسمعیلی عوری<sup>۳</sup>، رئوف مصطفی‌زاده<sup>۴</sup> و شیرین زارعی<sup>۵</sup>

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۲/۲۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۶/۱۷

<https://doi.org/10.22034/18.65.51>

### چکیده مبسوط فارسی

#### مقدمه

کاهش تنوع زیستی جهانی ناشی از فعالیت‌های انسانی و گسترش مداوم کاربری اراضی انسان‌ساخت، نیاز به درک بهتر رابطه تنوع زیستی با آشفستگی‌های انسانی را عمیق‌تر کرده است. با شناخت و بررسی روند تغییرات آشفستگی‌ها در طول زمان، می‌توان عوامل ایجاد آن را مشخص و تصمیمات مناسبی برای کاهش آشفستگی‌ها اتخاذ نمود. این در حالی است که کاربرد بوم‌شناسی سیمای سرزمین در زمینه‌های مختلف برنامه‌ریزی شهری نشان‌دهنده قابلیت تحلیل و بیان کمی نتایج حاصل از تعامل انسان و محیط زیست است. کسب آگاهی جامع از رفتارپذیری این نوع از تغییرات برای دستیابی به مدیریت نظام‌مند و تلاش در راستای تأمین پایداری بوم‌سازگان ضروری است. هم‌چنین، شناسایی فرآیندهای اصلی و عوامل ساختاری در ایجاد تغییرات کلیدی در سیمای سرزمین، درک مناسبی از رفتارپذیری و تغییرپذیری سیمای سرزمین فراهم می‌کند. آشفستگی‌های بوم‌شناختی می‌توانند به‌طور طبیعی (آتش‌سوزی، سیل، بهمن، طوفان یا آتشفشان) و یا در اثر فعالیت‌های انسانی (جاده‌سازی، آلودگی، تغییر کاربری یا استخراج معدن) ایجاد شوند و حتی می‌توانند یک زیستگاه را کاملاً تغییر دهند.

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی آبخیزداری، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

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

۳- استاد، 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.

۵- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی آبخیزداری، گروه مرتع و آبخیزداری دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

LU) مربوط به زیرآب‌خیز ۲۷ با مقدار ۰/۷۷ در طبقه زیاد، جمعیت‌شناختی (DI-DG) مربوط به زیرآب‌خیز ۲۷ با مقدار ۰/۸۹ در طبقه بسیار زیاد، حداکثر مقدار شاخص آشفستگی مبتنی بر منابع آلودگی (DI-CR) مربوط به زیرآب‌خیز ۱۵ با مقدار ۰/۶۱ در طبقه زیاد و حداکثر مقدار شاخص آشفستگی مبتنی بر هیدرولوژی (DI-HR) مربوط به زیرآب‌خیز ۲۵ با مقدار ۰/۸۲ در طبقه بسیار زیاد آشفستگی قرار گرفت. همچنین، میانگین شاخص‌های چندعملکردی اول تا چهارم به ترتیب برابر با  $0/16 \pm 0/46$ ،  $0/09 \pm 0/38$ ،  $0/15 \pm 0/52$  و  $0/08 \pm 0/44$  و میانگین و انحراف معیار شاخص آشفستگی کل (TDI) برابر با ۰/۴۴ و ۰/۰۸ به دست آمد. این شاخص آشفستگی در سه طبقه کم، متوسط و زیاد دسته‌بندی شد. همچنین، مساحت قابل توجهی از کل آبخیز سامیان در طبقه متوسط (۰/۶۰-۰/۴۱) قرار گرفت.

### نتیجه‌گیری

در دهه‌های اخیر، بوم‌سازگان‌های طبیعی به دلیل گرمایش جهانی اقلیم، رویدادهای شدید آب و هوایی، بهره‌برداری بی‌رویه انسان از منابع و آسیب به محیط زیست، آشفستگی‌های منفی بی‌سابقه‌ای را تجربه کرده‌اند. این امر در درازمدت منجر به یک سری مشکلات پیچیده شده که بقاء و توسعه پایدار جامعه را تهدید خواهد کرد. بر همین اساس، شناسایی منطقه‌ای محرک‌های آشفستگی برای کاهش تعارضات توسعه اجتماعی-اقتصادی و حفاظت از محیط زیست بسیار مهم است. از نظر کلی آبخیز سامیان دارای طبقه متوسط، کم، کم و متوسط به ترتیب مبتنی بر شاخص‌های چندعملکردی آشفستگی گروه اول تا چهارم است. همچنین، طبق نتایج پهنه‌بندی شاخص‌های چندعملکردی آشفستگی، اکثر زیرآب‌خیزها بر اساس گروه چهارم در طبقه متوسط قرار گرفتند که حاکی از اهمیت در نظر گرفتن محرک‌هایی مانند شیب، ذخیره سد و تراکم سد است. نتایج حاصل از تحلیل مکانی نیز نشان داد که در مجموع، بخش‌های مرکزی و شمالی آبخیز آشفستگی بالاتری نسبت به سایر بخش‌ها دارند. از آنجایی که، تغییرات سریع در بوم‌سازگان‌های مختلف یک آبخیز تحت تأثیر انسان منجر به بروز آشفستگی در سطح دسترس‌پذیری منابع طبیعی و بروز مسائل پیچیده اجتماعی-اقتصادی می‌شود، نتایج پژوهش حاضر، در تشخیص پویایی انواع آشفستگی‌ها به منظور درک فعل و انفعالات موجود در سامانه آبخیز و توسعه راهبردهای مورد نیاز مدیریت پایدار کاربرد دارد.

**کلید واژه‌ها:** ارزیابی بوم‌سازگان، تغییرات مکانی، محرک‌های آشفستگی، مناطق پرتنش.

### مقدمه

آشفستگی‌ها جزء جدایی‌ناپذیر پویایی بوم‌سازگان‌های آبخیز هستند. آن‌ها به عنوان رویدادهای نسبتاً گسسته‌ای تعریف می‌شوند که بهره‌وری و عملکرد منابع آبخیز را کاهش می‌دهند [۹] و منجر به تغییرات در ساختار و پویایی جوامع بوم‌شناختی می‌شوند [۲۷]. زمان‌بندی و توزیع آشفستگی‌ها بر ارائه خدمات بوم‌سازگان [۳۷]، از جمله ذخیره‌سازی کربن و خدمات هیدرولوژیک مرتبط با تأمین و کیفیت آب [۳۶] تأثیر می‌گذارد. رویدادهای آشفستگی ممکن

است از ساعت‌ها (مانند آتش‌سوزی جنگلی) تا چندین سال (مثلاً شیوع حشرات، گسترش شهری) طول بکشند و وسعت آن‌ها از چند مترمربع (مثلاً مرگ و میر درختان فردی) تا ۱۰۰ کیلومترمربع (مثلاً شیوع حشرات، آتشفشان‌ها) متغیر باشد [۳۸]. امروزه تغییرات اقلیمی پویایی مکانی و زمانی بسیاری از آشفستگی‌ها را به سرعت تغییر می‌دهند [۳۱].

آشفستگی‌های طبیعی محرک‌های مهم در پویایی بوم‌سازگان‌ها به‌شمار می‌روند [۳۸] و می‌توانند به‌طور ناگهانی باعث تغییر در عملکرد بوم‌سازگان شوند که بالتبع بر قابلیت دسترسی منابع و محیط‌های زیستی و غیرزیستی اثر می‌گذارد [۳۱]. فعالیت‌های انسانی از جمله جاده‌سازی، شهرسازی، انباشت زباله و احداث سدهای کنترلی باعث ایجاد آشفستگی‌های زیادی در زیستگاه‌ها می‌شوند. انسان‌ها به‌طور چشم‌گیری زیستگاه‌های طبیعی را تغییر داده [۱۷، ۱۹]، تنوع زیستی جهانی را به خطر انداخته [۲۱] و فرآیندها و عملکردهای بوم‌شناختی را مختل کرده‌اند [۳۵]. به‌نحوی که طی دهه گذشته، اثرات انسانی بر بوم‌سازگان‌های طبیعی به شدت افزایش یافته است، به‌طوری که ۹۵ درصد از سرزمین‌ها حداقل درجاتی از تغییرات انسانی دارند [۱۷].

تشدید رژیم‌های آشفستگی گزارش شده در دهه‌های گذشته برای اروپا [۱۵، ۳۲] نگرانی‌ها را در زمینه ارائه مستمر و پایدار خدمات بوم‌سازگان به جامعه افزایش داده است [۲۰، ۳۷]. سرعت تغییرات جهانی، از جمله اثرات آن بر فراوانی و گستردگی آشفستگی‌ها [۳۱]، آینده نامعلومی را برای مدیریت منابع طبیعی رقم زده و برنامه‌ریزی بلندمدت را به‌طور چالش‌برانگیزی دشوار کرده است [۲۲]. برای مثال، در آمریکای لاتین و کارائیب، شرم [۳۳] به ارزیابی آشفستگی بوم‌شناختی دریایی پرداخته است. ایشان بیان کردند که ارزیابی مقایسه‌ای آلودگی و سلامت بوم‌سازگان در میان بوم‌سازگان‌های دریایی بزرگ (LMEs) آمریکای لاتین و کارائیب مستلزم ردیابی تغییرات مربوط به زنجیره غذایی، تخریب زیستگاه، اثرات سمی بر گونه‌ها، بیماری‌ها، شکوفه‌های جلبکی مضر و آسیب‌پذیری در برابر اقلیم، هجوم گونه‌های مهاجم و صید بیش از حد است. همچنین، لورا دینگل رابرتسون و همکاران [۵] آشفستگی‌های انسانی در دو تالاب واقع در انتاریو را با استفاده از نقشه پوشش گیاهی به‌دست آمده از تصاویر لندست مورد ارزیابی قرار دادند. تجزیه و تحلیل نتایج حاصل از دو مقطع زمانی ۱۹۸۴ و ۲۰۱۰ کاهش کلی پوشش گیاهی و کسر رطوبت را نشان داد، در حالی که تجزیه و تحلیل سری زمانی در طول دوره ۲۶ ساله تغییرات بین سالانه متغیرتری از جمله سال‌های تغییر ناگهانی و روندهای چرخه‌ای و تدریجی‌تر را نشان داد.

جان آلرویا [۱] اثرات آشفستگی را بر تنوع زیستی جنگل‌های استوایی بررسی کردند. نتایج ایشان نشان داد که حدود ۴۱ درصد از گونه‌های درختی و جانوری در این مجموعه داده در

## 1. Large Marine Ecosystems

زیستگاه‌های آشفته حضور ندارند. جوامع محلی در برابر آشفته‌گی‌ها نیز مقاوم‌تر ارزیابی شدند. در ادامه، ریفو-دونوسو و همکاران [۲۹] با هدف بررسی آشفته‌گی زیستگاه، غنای گونه، ترکیب و گردش جامعه بریوفیت‌ها در یک جنگل بارانی معتدل واقع در ذخیره‌گاه ساحلی بالدیبیا<sup>۱</sup> در کشور شیلی به مطالعه پرداختند. در این تحقیق، از بریوفیت‌ها به مدت سه سال (۲۰۱۶ تا ۲۰۱۸) روی چهار بستر (سنگ، خاک، چوب زنده و چوب خشک) نمونه‌برداری کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که با افزایش آشفته‌گی غنای گونه‌ای کاهش می‌یابد. با توجه به نقش مهمی که بریوفیت‌ها در بوم‌سازگان ایفا می‌کنند، این تغییرات می‌تواند بر گونه‌های پرنده و پستاندارانی که از آن‌ها تغذیه می‌کنند نیز تأثیر بگذارد. لی و همکاران [۱۸] تأثیر آشفته‌گی‌های انسانی و عناصر هیدرولوژیک بر توزیع تنوع گیاهی در آبخیز شامو<sup>۲</sup>، چین را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد که توزیع تنوع گیاهی عمدتاً تحت تأثیر آشفته‌گی‌های انسانی است. با این حال، تحت سطوح آشفته‌گی انسانی مشابه، عناصر هیدرولوژیک نیز بر تنوع گیاهی تأثیر می‌گذارند. توپوگرافی و رواناب سطحی به‌طور قابل توجهی موجب افزایش تنوع گیاهی می‌شوند.

به دلیل فشارها و دخالت‌های بیش از حد بشر به حریم منابع طبیعی، آشفته‌گی‌های بوم‌شناختی در کشور خشک و نیمه‌خشک ایران روز به روز در حال افزایش است. در این زمینه، نعمت‌الهی و همکاران [۲۶] با هدف کاربرد شاخص مکانی آشفته‌گی جاده‌ای<sup>۳</sup> (SPROADI)، اثرات اکولوژیک جاده‌ها در مقیاس سیمای سرزمین در شرق استان اصفهان را ارزیابی نمودند. نتایج نشان داد که ۱۲ درصد از پناهگاه حیات وحش عباس‌آباد و بخش وسیعی از زیستگاه‌های مطلوب یوزپلنگ آسیایی تحت تأثیر شبکه جاده‌ها قرار گرفته که نشان‌دهنده یک هشدار برای این گونه به‌شدت در معرض خطر است. علاوه بر این، ویس کرمی و همکاران [۳۹] اثر آشفته‌گی انسانی بر تنوع، زی‌توده و نگهداشت نیتروژن و فسفر در پوشش علفی جنگل‌های بلوط دارمازو واقع در جنگل‌های شینه‌قلایی استان لرستان را بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که میزان زی‌توده روزمینی و زیرزمینی در منطقه حفاظت شده به ترتیب ۴۳/۷ و ۳۵/۳ درصد بیش‌تر از منطقه تخریب شده است.

هاشمی و متاجی [۱۱] با هدف ارزیابی تغییرات ترکیب گونه‌ای در پی بروز آشفته‌گی در یک اکوسیستم طبیعی در جنوب شهرستان ساری به نام اوجا سرک<sup>۴</sup> به مطالعه پرداختند. با توجه به نتایج منحنی رتبه-فراوانی و Rarefaction، آشفته‌گی طبیعی دارای تنوع بیش‌تری نسبت به آشفته‌گی مصنوعی بوده، اما میزان غنای گونه‌ای در آشفته‌گی مصنوعی K-Dominance بیش‌تر است. هم‌چنین، میرزاخانی و همکاران [۲۳] به بررسی الگوی آشوب میکرواندرفرم‌های موجود

در بخش غربی پلایای میقان پرداختند. نتایج گویای این است که الگوی پلیگون‌های رسی در سه رده آشوب متوسط، زیاد و خیلی زیاد قرار دارد. به عبارت دیگر، تحولات کوتاه‌مدت، باعث آشفته‌گی پلیگون‌های گلی در منطقه شده است. از سوی دیگر، شدت تغییرات این شکل‌ها که احتمالاً ناشی از کاهش رطوبت، افزایش غلظت رسوب و تجمع نمک در لبه‌ها و بالا آمدگی حواشی است، نسبت به تغییرات مساحت آن‌ها بیش‌تر بوده است.

جمع‌بندی پیشینه پژوهش نشان می‌دهد که درک و آگاهی بهتر از روند تغییرات الگوی سیمای سرزمین، پدیده آشفته‌گی بوم‌سازگان و الگوهای مکانی آن، یکی از نیازهای برنامه‌ریزی اصولی و مؤثر در مدیریت و حفاظت از سرمایه‌های مختلف آبخیز است. بنابراین کمی‌سازی محرک‌های آشفته‌گی<sup>۵</sup> بوم‌سازگان، اهمیت به‌سزایی در تنظیم روند بهره‌برداری از این منابع دارد. در همین راستا، پژوهش حاضر به منظور (الف) شناسایی محرک‌های مهم آشفته‌گی آبخیز، (ب) توسعه شاخص‌های چندعملکردی آشفته‌گی و (ج) تحلیل الگوی مکانی آن‌ها در آبخیز سامیان برنامه‌ریزی شده است.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

پژوهش حاضر در آبخیز سامیان واقع در استان اردبیل (شکل ۱)، جزء مجموعه آبخیزهای رودخانه ارس با مساحتی معادل ۴۲۳۶ کیلومترمربع انجام شد. این آبخیز بین ۴۴° ۴۷' تا ۴۴° ۴۸' طول شرقی و ۴۴° ۳۷' تا ۳۴° ۳۸' عرض شمالی قرار گرفته است. بر اساس تحلیل میانگین وزنی آمار دوره زمانی ۱۳۹۳-۱۳۶۸، آبخیز سامیان دارای متوسط بارش و دما به ترتیب برابر با ۳۱۲/۲۵ میلی‌متر و ۸/۲ درجه سانتی‌گراد است. شهرستان اردبیل، مرکز استان اردبیل، در مرکز آبخیز سامیان واقع شده و شهرستان‌های نمین، نیر، هیر و سرعین بخشی از آن را تشکیل می‌دهند [۲۴].

### شناسایی و محاسبه محرک‌های آشفته‌گی

به‌منظور ارزیابی جامع از وضعیت آشفته‌گی آبخیز سامیان، ضمن توجه به پیشینه مناسب [۱۲، ۱۳، ۴۰] و مرور منابع موجود در خصوص ارزیابی آشفته‌گی در نقاط مختلف جهان، ۲۹ محرک آشفته‌گی مورد شناسایی قرار گرفت (جدول ۱) که در ادامه نحوه محاسبه هر کدام از آن‌ها شرح داده شده است. قابل ذکر است که با توجه به ماهیت هر کدام از محرک‌ها، چهار شاخص چندعملکردی آشفته‌گی<sup>۶</sup> از مجموع وزنی آن‌ها توسعه داده شد (جدول ۱).

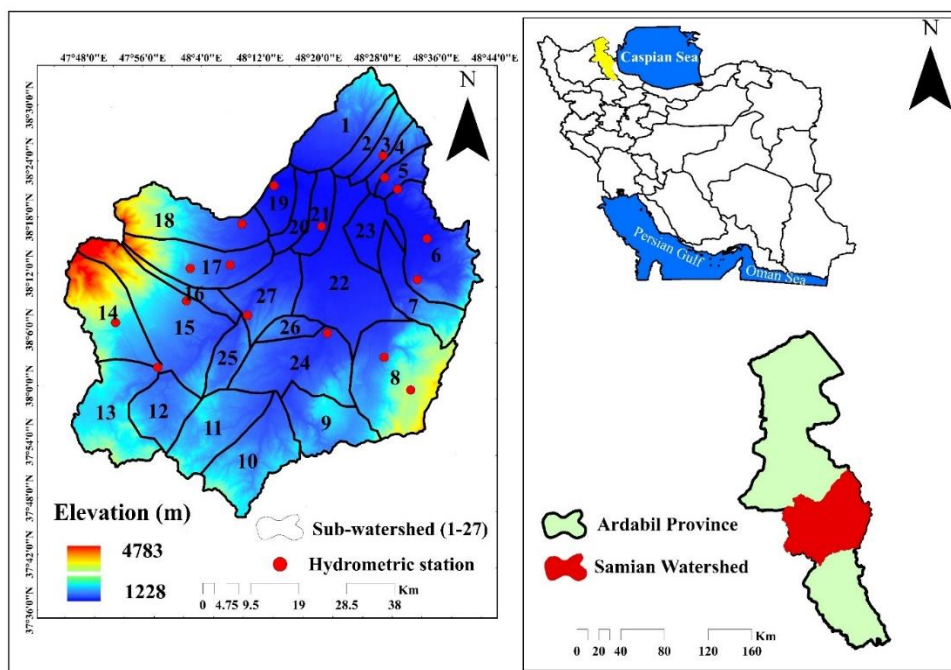
V1 تا V10: محرک‌های مورد استفاده در محاسبه شاخص

چندعملکردی آشفته‌گی مبتنی بر کاربری اراضی (DI-LU)

برای محاسبه تمام محرک‌های آشفته‌گی در این گروه (به‌جز V10) نیاز به تهیه نقشه کاربری اراضی بوده است. بدین‌منظور تصاویر ماهواره لندست ۸ مورخ ۲۰۲۱/۰۸/۱۰ مروط به سنجنده

1. Valdivian Coastal Reserve
1. Shamu watershed
2. Spatial Road Disturbance Index
3. Ojasarak

5. Disturbance driving forces
6. Multifunctional Disturbance Indicators



شکل ۱- موقعیت آبخیز سامیان در استان اردبیل و ایران

Fig 1. Location of Samian Watershed in Ardabil Province and Iran

جدول ۱- محرک‌های آشفته‌گی شناسایی شده و دسته‌بندی آن‌ها برای آبخیز سامیان

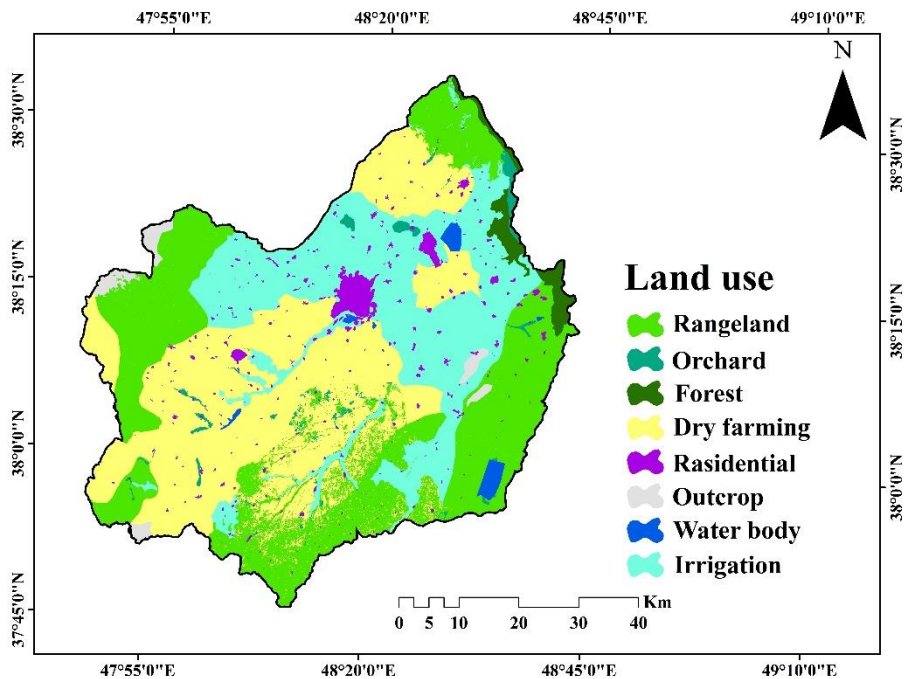
Table 1. Candidate disturbance indicators and their classification for the Samian Watershed

V10	V9	V8	V7	V6	V5	V4	V3	V2	V1	
	شاخص تراکم جاده	بافر ۶۰۰ متری شهری - نورمال شده تفاوت پوشش گیاهی	بافر ۶۰۰ متری شهری	مساحت کاربری شهری	مساحت زراعت آبی	مساحت زراعت دیم	مجموع مساحت کشاورزی و مسکونی	مساحت مرتع	مساحت کشاورزی	کاربری اراضی (DI-LU)
Road density	NDVI	Urban-agricultural 600 m buffer	Urban 600 m buffer	Urban area	Irrigation area	Dry farming area	Total agricultural and residential area	Range area	Agricultural area	
V17	V16	V15	V14	V13	V12	V11				
تراکم مسکونی	تراکم افراد شاغل در خدمات	تراکم افراد شاغل در صنعت	تراکم افراد شاغل در کشاورزی	تراکم افراد شاغل ۱۰ ساله	تراکم خانوار روستایی	تراکم جمعیت				جمعیت‌شناختی (DI-DG)
Residential density	Density of people working in services	Density of people working in the industry	Density of people working in agriculture	Density of 10-year working people	Rural household density	Population density				
V25	V24	V23	V22	V21	V20	V19	V18			
تراکم آلاینده‌ها	تراکم مراکز صنعتی	تراکم عملیات معدنی	فاصله رودخانه‌ها از مناطق مسکونی	ضریب مکانی LQ در صنعت	ضریب مکانی LQ در کشاورزی	رسوب ویژه	فرسایش خاک			منابع آلودگی (DI-CR)
Pollutant density	Density of industrial centers	Density of mining operations	River distance from residential areas	LQ spatial coefficient in the industry	LQ spatial coefficient in the agricultural	Special sediment	Soil erosion			
				V29	V28	V27	V26			
				تراکم سد	ذخیره سد	مساحت آبگیرها و تالاب‌ها	شیب			هیدرولوژی (DI-HR)
				Density of dam	Dam storage	Reservoirs and wetlands area	Slope			

نقشه کاربری اراضی تهیه شد. طبقات کاربری اراضی شامل مرتع، باغ، جنگل، زراعت دیم، مسکونی، برونزد سنگی، بدنه آبی و زراعت آبی بوده است (شکل ۲).

به منظور ارزیابی صحت، با استفاده از تصاویر Google Earth،

از پایگاه اطلاعاتی سازمان زمین‌شناسی آمریکا (USGS) دریافت شد. تصاویر استفاده شده مربوط به مرداد بوده که در این ماه پوشش گیاهی منطقه مورد مطالعه به رشد حداکثر خود رسیده است. با به کارگیری طبقه‌بندی نظارت شده در نرم‌افزار Arc GIS 10.8.1،



شکل ۲- نقشه کاربری اراضی

Fig 2. Land use map

آشفته‌گی آبخیز کاهش پیدا می‌کند. بر همین اساس، بر پایه تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده در تهیه نقشه کاربری اراضی، رابطه (۲) برای محاسبه NDVI استفاده شد:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (2)$$

در این رابطه، RED و NIR به ترتیب بیان‌گر مقادیر باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک است.

در نهایت، برای محاسبه محرک آشفته‌گی V10، با استفاده از نقشه جاده آبخیز سامیان طول کل جاده در محیط نرم‌افزار Arc GIS 10.8.1 به دست آمد. سپس از تقسیم طول کل جاده به مساحت آبخیز، تراکم جاده محاسبه شد.

V11 تا V17: محرک‌های مورد استفاده در محاسبه شاخص چندعملکردی آشفته‌گی مبتنی بر جمعیت شناختی (DI-DG) برای محاسبه کلیه این محرک‌ها از اطلاعات به دست آمده در سالنامه آماری استان اردبیل [۳۴] استفاده شد.

V18 تا V25: محرک‌های مورد استفاده در محاسبه شاخص چندعملکردی آشفته‌گی مبتنی بر منابع آلودگی (DI-CR) در خصوص محرک آشفته‌گی رسوب ویژه (V18) از رابطه‌های (۳ تا ۵) استفاده شد:

$$G_{SP} = W_{SP} \times Ru \quad (3)$$

که در آن  $G_{SP}$  مقدار رسوب ویژه به مترمکعب بر کیلومترمربع در سال،  $W_{SP}$  فرسایش ویژه بر حسب مترمکعب بر کیلومترمربع در سال که از رابطه (۴) و ضریب رسوب‌دهی (Ru) از رابطه (۵) برآورد شد:

معیار صحت کلی [۱۰] و ضریب کاپا (رابطه ۱) محاسبه شد [۴].

$$Kappa \ coefficient \ (T) \quad (1) \\ = \frac{(Tc \times Tcs) - \sum(Column \ Total \times \ Row \ To)}{Ts^2 - \sum(Column \ Total - Row \ Total)} \times 100$$

صحت کلی و ضریب کاپا نقشه کاربری اراضی به ترتیب ۸۹/۸۱ و ۸۸/۱۸ درصد به دست آمد. بر همین اساس، محرک‌های آشفته‌گی V1 تا V6 که به ترتیب بیان‌گر توزیع درصد مساحت کشاورزی، مساحت مرتع، مجموع مساحت کشاورزی و مسکونی، مساحت زراعت دیم، مساحت زراعت آبی و مساحت کاربری شهری محاسبه شدند.

برای محاسبه محرک آشفته‌گی V7 شامل درصد کاربری شهری در Arc GIS 10.8.1 در ۶۰۰ متری از رودخانه، از دستور Buffer استفاده شد. سپس مساحت هر یک از کاربری‌های داخل حریم هر زیرآبخیز با واحد کیلومترمربع استخراج و به درصد تبدیل شد.

محرک آشفته‌گی V8 شامل درصد کاربری شهری و کشاورزی در Arc GIS 10.8.1 در ۶۰۰ متری از رودخانه است که از دستور Buffer در Arc GIS 10.8.1 استفاده شد. سپس مساحت هر یک از کاربری‌های داخل حریم هر زیرآبخیز با واحد کیلومترمربع استخراج و مساحت هر یک از متغیرها با هم جمع و به درصد تبدیل شد.

محرک آشفته‌گی V9 مربوط به مقدار NDVI (شاخص نرمال‌شده تفاوت پوشش گیاهی) است که بیان‌گر مقدار زی‌توده گیاهان و سطح برگ بوده و برای پایش رشد گیاه و تخمین عملکرد در طول دوره رشد استفاده می‌شود [۳۰]. با افزایش مقدار NDVI، میزان

### 1. Normalized Difference Vegetation Index

(V27) از پایگاه داده‌ای آمار سدهای ایران ([www.eghtesadnews.com](http://www.eghtesadnews.com)) محاسبه شدند. هم‌چنین، برای محاسبه تراکم سد (V28) تعداد سدهای موجود در محدوده زیرآب‌خیزهای سامیان استخراج شده و بر واحد مساحت آن زیرآب‌خیز تقسیم شد. در نهایت، برای محاسبه مساحت آبگیرها و تالاب‌ها (V29) از آمار مربوط به تعداد تالاب‌های موجود در محدوده زیرآب‌خیزهای سامیان با استفاده از داده‌های اداره کل محیط زیست استان اردبیل استفاده شد.

### روش همبستگی اسپیرمن

ضریب همبستگی رتبه‌ای اسپیرمن<sup>۱</sup> اندازه یا متغیری غیرپارامتری، جهت نمایش وابستگی بین دو متغیر ترتیبی است [۱۴]. در این ضریب همبستگی به جای استفاده از خود مقادیر متغیرها از رتبه‌های آنان استفاده می‌شود. در بررسی همبستگی اسپیرمن سه فرض مد نظر قرار می‌گیرد. فرض اول متغیر مورد بررسی باید به وسیله یکی از مقیاس‌های ترتیبی<sup>۲</sup>، فاصله‌ای<sup>۳</sup> یا نسبتی<sup>۴</sup> اندازه‌گیری شده باشد. فرض دوم این است که داده‌ها باید به صورت زوج مشاهده باشند و فرض سوم دو متغیر (مولفه اول با مولفه دوم زوج مرتب) دارای رابطه یا همبستگی باشند. از مزایای همبستگی اسپیرمن می‌توان به عدم حساسیت به داده پرت و عدم لزوم تبعیت داده‌ها از توزیع نرمال اشاره نمود. پس در حالت کلی می‌توان گفت اگر دو شرط خطی بودن و توزیع نرمال در داده‌های مورد بررسی وجود نداشته باشد، استفاده از ضریب همبستگی اسپیرمن ضروری خواهد بود.

### محاسبه شاخص‌های چندعملکردی آشفستگی

پس از محاسبه محرک‌های آشفستگی، به منظور حذف بزرگی آن‌ها، از روش مقیاس‌دهی حداقل-حداکثر<sup>۵</sup>، استانداردسازی انجام شد [۸]. سپس، بر حسب تعداد محرک‌های آشفستگی مورد استفاده در محاسبه هر شاخص چندعملکردی، به طور مساوی وزن بین صفر تا یک به آن‌ها اختصاص داده شد [۸، ۳، ۲]. در ادامه، با استفاده از مجموع وزنی آن‌ها، چهار شاخص چندعملکردی مبتنی بر کاربری اراضی (DI-LU)، جمعیت‌شناختی (DI-DG)، منابع آلودگی (DI-) CR) و هیدرولوژی (DI-HR) محاسبه شد و از میانگین حسابی چهار شاخص مزبور، شاخص آشفستگی کل (TDI) توسعه داده شد. در نهایت، نقشه‌های الگوی مکانی شاخص‌های آشفستگی در سطح ۲۷ زیرآب‌خیز در محیط نرم‌افزار Arc GIS 10.8.1 تهیه شدند.

### نتایج و بحث

#### نتایج حاصل از غربال‌گری اسپیرمن

بر اساس شرط اول غربال‌گری در ماتریس همبستگی اسپیرمن، محرک‌هایی که همبستگی آن‌ها بیش از ۰/۸۰ به دست آمد، حذف

$$W_{SP} = T.H.\pi.Z^{1/5} \quad (۴)$$

در این رابطه،  $W_{SP}$  فرسایش ویژه بر حسب مترمکعب بر کیلومتر مربع در سال،  $H$  متوسط بارندگی سالانه به میلی‌متر،  $T$  ضریب درجه حرارت و  $Z$  ضریب شدت فرسایش است.

$$Ru = \frac{4(P \times D)^{\frac{1}{2}}}{L + 10} \quad (۵)$$

که در آن  $P$  محیط آبخیز به کیلومتر،  $D$  اختلاف ارتفاع بین ارتفاع متوسط و ارتفاع نقطه خروجی آبخیز به کیلومتر و  $L$  طول آبخیز به کیلومتر است.

برای تعیین شدت فرسایش خاک (V19) از روش EPM استفاده شد (رابطه ۶):

$$Z = Y.X_a(\varphi + I^{0/5}) \quad (۶)$$

در این روش چهار مشخصه شامل ضریب فرسایش آبخیز ( $\varphi$ )، ضریب استفاده از زمین ( $X_a$ )، ضریب حساسیت سنگ و خاک به فرسایش ( $Y$ ) و شیب متوسط آبخیز ( $I$ ) در واحدهای مختلف اراضی یا در شبکه‌های ایجاد شده در نقشه مورد بررسی قرار می‌گیرد [۷]. روش محاسبه مورد استفاده در محاسبه LQ (V20 و V21) بر اساس (رابطه ۷) است [۲۸]:

$$LQ = (X_{ir} / X_r) / (X_{in} / X_n) \quad (۷)$$

که در آن  $X_{ir}$  مساحت کشاورزی/صنعتی هر زیرآب‌خیز،  $X_r$  جمعیت هر زیرآب‌خیز،  $X_{in}$  مساحت کشاورزی/صنعتی کل آبخیز و  $X_n$  شامل جمعیت کل آبخیز است.

فاصله رودخانه‌ها از مناطق مسکونی (V22) با استفاده از دستور Euclidean Distance در محیط نرم‌افزار Arc GIS 10.8.1 با استفاده از دو نقشه آبراهه و کاربری اراضی تهیه شد.

برای محاسبه تراکم عملیات معدن‌کاوی (V23) ابتدا لایه وکتوری معادن استان اردبیل دریافت شد (<https://rsgisc.com>). سپس، تعداد معادن موجود در محدوده زیرآب‌خیزهای سامیان استخراج شد. سپس برای مقایسه زیرآب‌خیزها از نظر تراکم معادن، معادن موجود در هر زیرآب‌خیز بر واحد مساحت آن زیرآب‌خیز تقسیم شد.

برای محاسبه تراکم مراکز صنعتی (V24) تعداد مراکز صنعتی موجود در محدوده زیرآب‌خیزهای سامیان استخراج شد (<https://gisacademy.ir/shop/gis-data/ardabil-province-dataset>). سپس مراکز صنعتی موجود در هر زیرآب‌خیز بر واحد مساحت آن تقسیم شد. هم‌چنین، برای محاسبه تراکم آلاینده‌ها در فاصله ۱۰۰۰ متری از رودخانه (V25) ابتدا لایه‌های جمعیت و مراکز صنعتی آبخیز سامیان با هم ادغام شدند. سپس از روش Buffer برای تعیین حریم ۱۰۰۰ متری استفاده شد.

V26 تا V29: محرک‌های مورد استفاده در محاسبه شاخص

چندعملکردی آشفستگی مبتنی بر هیدرولوژی (DI-HR)

محرک‌های آشفستگی شیب (V26) از روی DEM و ذخیره سد

1. Spearman rank-order correlation coefficient
2. Ordinal
3. Interval
4. Ratio
5. Min-Max scaler

شدند. از بین ۱۰ محرک مورد بررسی در محاسبه شاخص آشفستگی مبتنی بر کاربری اراضی (DI-LU)، هشت مورد انتخاب شد. محرک‌های حذف شده شامل مساحت کشاورزی و مساحت کاربری شهری بوده است. قابل ذکر است که مرتع دارای همبستگی بیش از ۰/۸۰ است، اما به سبب اهمیت آن از روند محاسبات حذف نشد.

از بین هفت متغیر مورد بررسی برای محاسبه شاخص آشفستگی مبتنی بر جمعیت‌شناختی (DI-DG) دو متغیر انتخاب شد. همان‌طور که مشاهده می‌شود بین متغیر تراکم خانوار روستایی، تراکم افراد شاغل ۱۰ ساله، تراکم افراد شاغل در صنعت، تراکم افراد شاغل در خدمات و تراکم مسکونی همبستگی بالایی ( $r > 0/80$ ) وجود دارد، بر همین اساس حذف شدند. از دو متغیر باقی‌مانده برای ادامه محاسبه‌ها استفاده شد.

در محاسبه شاخص آشفستگی مبتنی بر منابع آلودگی (DI-CR) از بین هشت متغیر مورد بررسی، شش متغیر انتخاب شد. این متغیرها شامل فرسایش خاک، ضریب مکانی LQ در بخش کشاورزی نسبت به هر زیرآبخیز، فاصله رودخانه‌ها از مناطق مسکونی، تراکم عملیات معدن کاوی، تراکم مراکز صنعتی و تراکم آلاینده‌ها بوده است. هم‌چنین، در محاسبه شاخص آشفستگی مبتنی بر هیدرولوژی (DI-HR) از بین چهار متغیر، سه متغیر انتخاب شد. متغیر ذخیره سد به دلیل همبستگی بالایی که با سایر متغیرها دارد حذف شد. در پژوهش دورانس و ملو<sup>۱</sup> [۶] مبنی بر استفاده از تنش هیدرولوژی و پتانسیل فرسایش فعلی خاک در برآورد شاخص آشفستگی هیدرولوژی-رسوبی (HSDI) برای آبخیز ایالت میناس گرایس<sup>۲</sup> در کشور برزیل به این نتیجه رسیدند که فشارهای اقتصادی و اجتماعی ناشی از تقاضاهای انسانی، آشفستگی‌های قابل توجهی را ایجاد می‌کنند. هم‌چنین، هو و همکاران [۱۶] در بررسی اثرات سدها بر وضعیت‌های بوم‌شناختی در آبخیز هوآی<sup>۳</sup> چین به این نتیجه رسیدند که سدها اثرات منفی بر وضعیت بوم‌شناختی به‌خصوص در فصول خشک دارند.

اعمال وزن‌دهی برابر نشان داد که متغیرهای مورد استفاده در محاسبه شاخص‌های آشفستگی مبتنی بر گروه اول تا چهارم به ترتیب وزن ۰/۱۳، ۰/۵۰، ۰/۱۷ و ۰/۳۳ را به خود اختصاص دادند.

#### نتایج حاصل از شاخص‌های چندعملکردی آشفستگی آبخیز

میانگین و انحراف معیار شاخص‌های آشفستگی مبتنی بر گروه‌های اول تا چهارم (کاربری اراضی (DI-LU)، جمعیت‌شناختی (DI-DG)، منابع آلودگی (DI-CR) و هیدرولوژی (DI-HR)) به ترتیب برابر با ۰/۴۶±۰/۱۶، ۰/۴۰±۰/۱۶، ۰/۳۸±۰/۰۹ و ۰/۵۲±۰/۱۵ بوده است.

طبق شکل ۳، زیرآبخیزهای ۸ و ۱۰ دارای شاخص آشفستگی مبتنی بر کاربری اراضی (DI-LU) کم‌تر از ۰/۲ بوده و در طبقه بسیار کم

آشفستگی قرار گرفتند. هم‌چنین، زیرآبخیزهای ۲۰، ۲۱، ۲۳ و ۲۵ تا ۲۷، دارای شاخص آشفستگی مبتنی بر کاربری اراضی (DI-LU) بیش از ۰/۶ بوده که در طبقه آشفستگی زیاد دسته‌بندی شدند (شکل ۳). در راستای یافته‌های پژوهش حاضر، نصیری و همکاران [۲۵] بیش‌ترین آشفستگی مناطق حفاظت شده ارسباران (آذربایجان شرقی) را در اطراف مناطق مسکونی و کشاورزی و کم‌ترین آشفستگی را در مناطق کوهستانی و دور از دسترس که عمدتاً از جنگل‌های پیوسته و متراکم پوشیده شده‌اند، گزارش دادند.

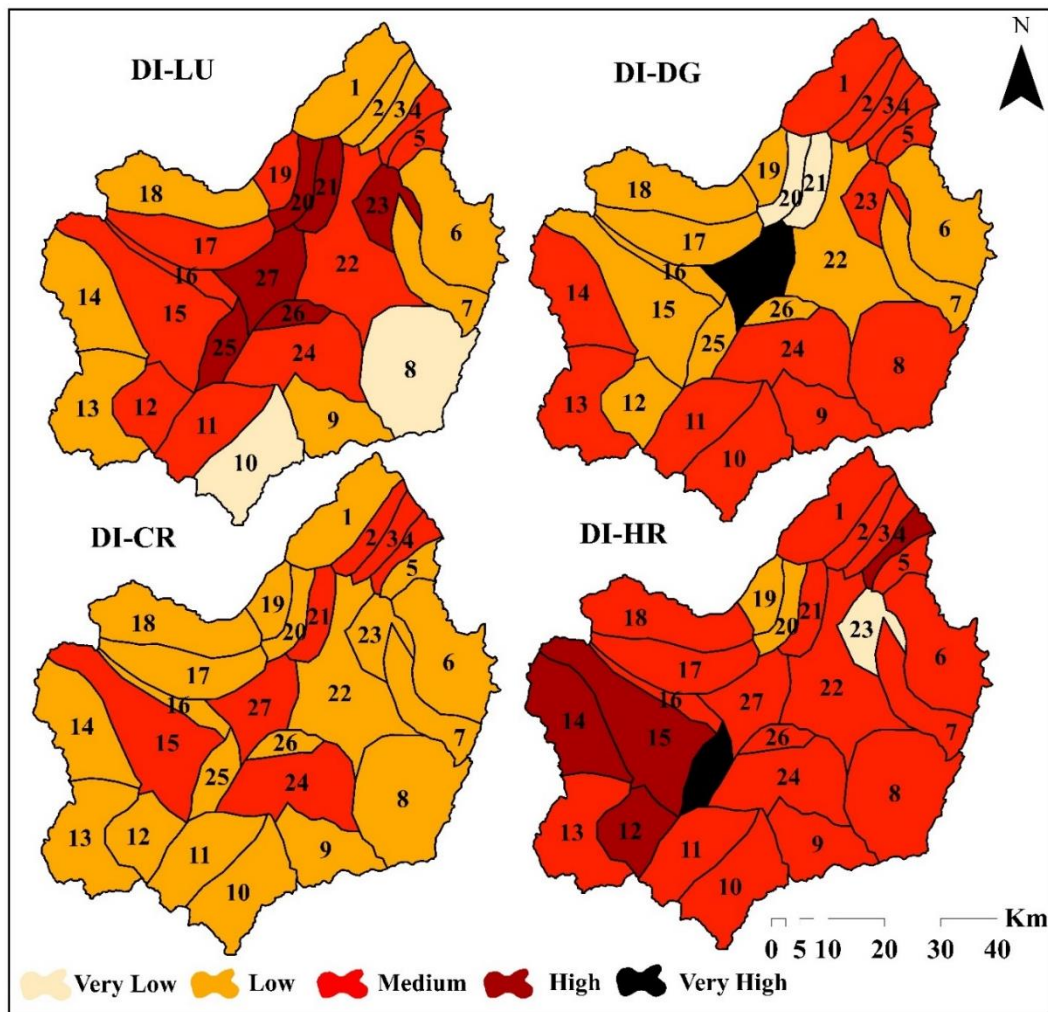
در خصوص شاخص آشفستگی مبتنی بر جمعیت‌شناختی (DI-DG) نیز نتایج نشان داد که دامنه تغییرپذیری آن بین ۰/۰۱ تا ۰/۹۲ است که ضریب تغییرات بیش‌تری نسبت به شاخص آشفستگی مبتنی بر کاربری اراضی (DI-LU) دارد. با توجه به قرارگیری این شاخص در چهار طبقه بسیار کم، کم، متوسط و بسیار زیاد بخش‌های شرقی و غربی نسبت به سایر بخش‌های آبخیز سامیان دارای آشفستگی کم‌تر برآورد شدند. هم‌چنین، تنها زیرآبخیز ۲۷ دارای مقدار شاخص آشفستگی ۰/۸۹ بوده و در طبقه بسیار زیاد دسته‌بندی شد (شکل ۳). نتایج حاصل از تحلیل شاخص آشفستگی مبتنی بر منابع آلودگی (DI-CR) نشان داد که حداقل و حداکثر مقدار شاخص به ترتیب برابر با ۰/۲۳ و ۰/۶۱ است. هم‌چنین نتایج به‌دست آمده، وجود آشفستگی کم‌تر در بخش‌های شرقی آبخیز سامیان نسبت به سایر بخش‌ها را تأیید نموده است (شکل ۳).

بر اساس نتایج حاصل از شاخص آشفستگی مبتنی بر هیدرولوژی (DI-HR) نیز مشخص شد که زیرآبخیز ۲۳ واقع در بخش شمال شرقی دارای حداقل مقدار (DI-G4=0) است. دامنه تغییرپذیری بسیار زیاد این شاخص در سطح آبخیز سامیان نشان‌دهنده تغییرات مکانی زیاد بوده است (شکل ۳).

در راستای نتایج پژوهش حاضر، تغییرات مکانی محرک‌های آشفستگی در مطالعات مختلف گزارش شده است. برای نمونه، نعمت‌الهی و همکاران [۲۶]، کرمی و همکاران [۳۹]، نصیری و همکاران [۲۵]، هاشمی و متاجی [۱۱] و میرزاخانی و همکاران [۲۳] تغییرات مکانی مربوط به آشفستگی‌های مختلف از جمله جاده‌سازی، آلاینده‌های کشاورزی و صنعتی و شهرسازی را گزارش دادند. علاوه بر این، در آبخیز شامو واقع در چین، تأثیر بیش‌تر توپوگرافی در مقایسه با رواناب بر تنوع گیاهی مورد تأیید قرار گرفته است. هم‌چنین، تأثیر توپوگرافی و رواناب بر تنوع گیاهی از بالادست به پایین‌دست آبخیز ضعیف‌تر می‌شود [۱۸]. در پژوهش دیگری در مدیترانه، تالاب‌های آراسو<sup>۴</sup> و سانتا جولیا شواهدی از افزایش شهرنشینی (۱۲ و ۶ درصد در ۳۰ سال)، زی‌توده فیتوپلانکتون بالا، تنوع کم و شکوفه‌های داینوفلاژل‌های بالقوه مضر را نشان دادند. برعکس، تالاب بالیسترا<sup>۵</sup> در مجموع وضعیت بهتری را نشان داد، هر چند که برخی منابع آلودگی انسانی در آن وجود داشت.

1. Durães and Mello
2. Minas Gerais state
3. Huaihe

4. Arasu
5. Balistra



شکل ۳- پهنه‌بندی شاخص‌های آشفتگی چندعملکردی  
 Fig 3. Zoning of multifunctional disturbance indicators

لی و همکاران [۱۸] بیان کردند که آشفتگی انسانی و هیدرولوژی بر تنوع زیستی آبخیز شامو در چین تأثیرگذار بوده است. لیگورینی و همکاران [۱۹] گزارش دادند که تالاب‌های ساحلی مدیترانه تحت تأثیر تهدیدات متعددی از جمله فشارهای جمعیتی، غنی‌سازی عناصر مغذی و تغییرات اقلیمی قرار دارند. آن‌ها پیش‌بینی نمودند که این تهدیدات برای تالاب‌های کوچک در آینده افزایش می‌یابد و خدمات بوم‌سازگان را به شدت تحت تأثیر قرار می‌دهند.

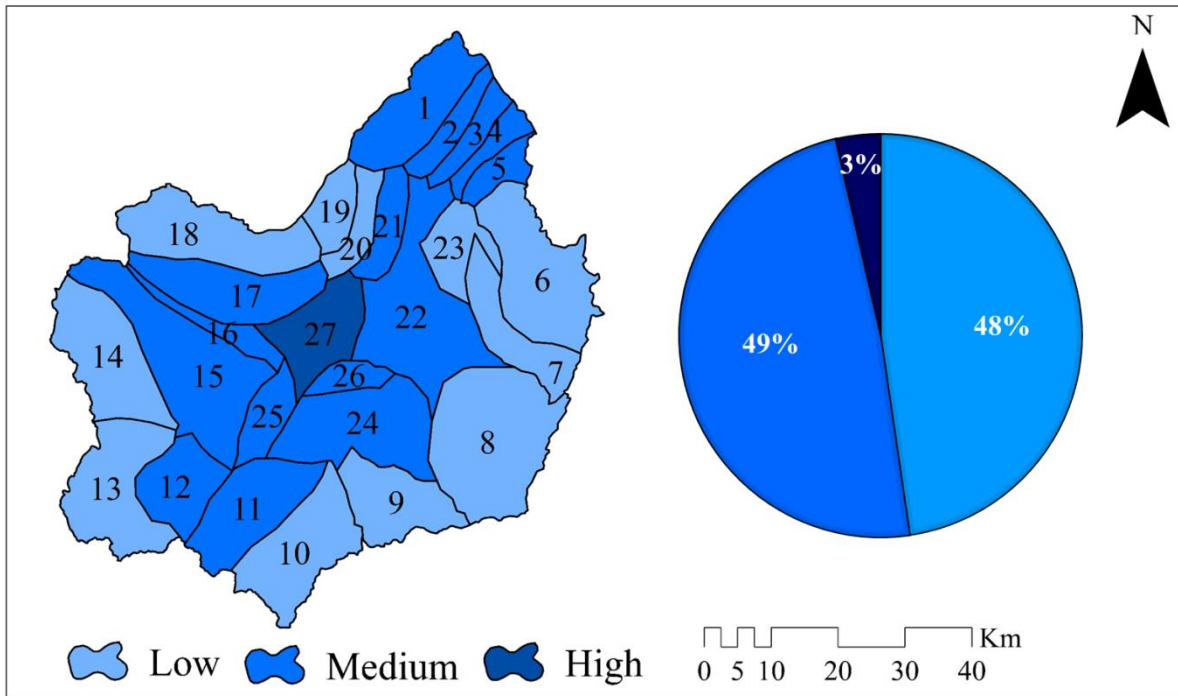
### نتیجه‌گیری

در دهه‌های اخیر، بوم‌سازگان‌های طبیعی به دلیل گرمایش جهانی اقلیم، رویدادهای شدید آب و هوایی، بهره‌برداری بی‌رویه انسان از منابع و آسیب به محیط زیست، آشفتگی‌های منفی بی‌سابقه‌ای را تجربه کرده‌اند. این امر در درازمدت منجر به یک سری مشکلات پیچیده شده که بقاء و توسعه پایدار جامعه را تهدید خواهد کرد. بر همین اساس، شناسایی منطقه‌ای محرک‌های آشفتگی برای کاهش تعارضات توسعه اجتماعی-اقتصادی و حفاظت از محیط زیست بسیار مهم است. در همین زمینه،

### نتایج حاصل از شاخص آشفتگی کل

میانگین و انحراف معیار شاخص آشفتگی کل (TDI) برابر با ۰/۴۴ و ۰/۰۸ به دست آمد. این شاخص آشفتگی در سه طبقه کم، متوسط و زیاد دسته‌بندی شد. هم‌چنین، مساحت قابل توجهی از کل آبخیز سامیان در طبقه متوسط (۰/۶۰-۰/۴۱) قرار گرفت (شکل ۴). نتایج حاضر وجود آشفتگی در آبخیز سامیان و تغییرپذیری مکانی آن را مورد تأیید قرار می‌دهد. از آنجایی که تغییرات سریع در محیط زیست تحت تأثیر انسان منجر به بروز آشفتگی در سطح دسترس‌پذیری منابع طبیعی و بروز مسائل اجتماعی-اقتصادی نوین می‌شود [۱۲]، لذا اتخاذ رویکردهای مدیریتی و حفاظتی متناسب با سطح و نوع آشفتگی از الزامات برنامه‌های مدیریتی سازمان‌های متولی منابع طبیعی و محیط زیست است. علاوه بر این، به سبب پیچیدگی و در هم‌تنیدگی محرک‌های آشفتگی نقش فعال سایر سازمان‌ها در حوزه‌های مرتبط با کشاورزی، شهری، اجتماعی-اقتصادی و سیاسی در ارائه برنامه‌های مدون بهینه‌سازی و مدیریتی یکپارچه و جامع با هدف توسعه پایدار مورد تأکید است. در همین راستا،





شکل ۴- پهنه‌بندی شاخص آشفتگی کل (TDI)

Fig 4. Zoning of total disturbance index (TDI)

#### دست‌رسی به داده‌ها

همه اطلاعات و نتایج در متن مقاله ارائه شده است.

#### مشارکت نویسندگان

وحیده مرادزاده: مفهوم‌سازی، انجام تحلیل‌های نرم‌افزاری/آماري، نگارش نسخه اولیه مقاله. زینب حزباوی: راهنمایی، مفهوم‌سازی، تحلیل رسمی، بررسی، اعتبارسنجی، نگارش - پیش‌نویس اصلی، نگارش - بررسی و ویرایش. اباذر اسماعلی عوری: تحقیق و بررسی. رثوف مصطفی‌زاده: مفهوم‌سازی، تحلیل، بررسی. شیرین زارعی: روش‌شناسی، تجسم.

#### منابع مورد استفاده

1. Alroy, J. 2017. Effects of habitat disturbance on tropical forest biodiversity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(23): 6056-6061.
2. Choi, H. 2019. Assessment of aggregation frameworks for composite indicators in measuring flood vulnerability to climate change. *Scientific Reports*, 9(1): 1-14.
3. Cui, L. G. Li, Y. Chen and L. Li. 2021. Response of landscape evolution to human disturbances in the coastal wetlands in Northern Jiangsu Province, China. *Remote Sensing*, 13(11): 2030.
4. Cunningham, M. 2009. More than just the Kappa Coefficient: A program to fully characterize inter-rater reliability between two raters. *SAS Global Forum*, p. 242.
5. Dingle Robertson, L. King, D. J. and Davies, C. 2015.

در تحقیق حاضر شاخص‌های چندعملکردی آشفتگی در ۲۷ زیرآبخیز سامیان بر اساس محرک‌های آشفتگی شناسایی شده، محاسبه و پهنه‌بندی شدند. نتایج نشان داد که حداکثر مقدار شاخص آشفتگی مبتنی بر کاربری اراضی (DI-LU) مربوط به زیرآبخیز ۲۷ با مقدار ۰/۷۷ در طبقه زیاد، جمعیت‌شناختی (DI-DG) مربوط به زیرآبخیز ۲۷ با مقدار ۰/۸۹ در طبقه بسیار زیاد، منابع آلودگی (DI-CR) مربوط به زیرآبخیز ۱۵ با مقدار ۰/۶۱ در طبقه زیاد و هیدرولوژی (DI-HR) مربوط به زیرآبخیز ۲۵ با مقدار ۰/۸۲ در طبقه بسیار زیاد آشفتگی قرار گرفت. طبق نتایج پهنه‌بندی اکثر زیرآبخیزها بر اساس گروه چهارم در طبقه متوسط قرار گرفتند که حاکی از اهمیت در نظر گرفتن محرک‌هایی مانند شیب، ذخیره سد و تراکم سد است. از نظر کلی آبخیز سامیان دارای طبقه متوسط، کم، کم و متوسط به‌ترتیب مبتنی بر شاخص‌های آشفتگی گروه اول تا چهارم است. در مجموع، بخش‌های مرکزی و شمالی آبخیز آشفتگی بالاتری نسبت به سایر بخش‌ها دارند. بر همین اساس، پیشنهاد می‌شود که ضمن تحلیل اثرات اقدامات مدیریتی و حفاظتی مختلف بر کاهش میزان آشفتگی زیرآبخیزهای سامیان، نقشه راه به‌منظور پیاده‌سازی الگوی مدیریت یکپارچه منابع آبخیز تهیه شود.

#### سپاسگزاری

نویسندگان از حمایت‌های دانشگاه محقق اردبیلی در انجام این تحقیق به‌عنوان بخشی از پایان‌نامه کارشناسی ارشد نویسنده اول (وحیده مرادزاده) تشکر و قدردانی می‌کنند.

#### تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ‌گونه تضاد منافی در خصوص نگارش و انتشار مطالب و نتایج این پژوهش ندارند.

The influence of dams on ecohydrological conditions in the Huaihe River basin, China. *Ecological Engineering*, 33(3-4): 233-241.

17. Kennedy, C.M. Oakleaf, J. R. Theobald, D. M. Baruch-Mordo, S. and Kiesecker, J. 2019. Managing the middle: A shift in conservation priorities based on the global human modification gradient. *Global Change Biology*, 25, 811–826.

18. Li, C. Lou, H. Yang, S. Li, X. Zhang, J. Pan, Z. and Gong, J. 2022. Effect of human disturbances and hydrologic elements on the distribution of plant diversity within the Shamu watershed, Mt. Yuntai Nature Reserve, China. *Journal of Environmental Management*, 311, 114833.

19. Ligorini, V. Crayol, E. Huneau, F. Garel, E. Malet, N. Garrido, M. and Pasqualini, V. 2023. Small Mediterranean Coastal Lagoons under threat: Hydro-ecological disturbances and local anthropogenic pressures (Size Matters). *Estuaries and Coasts*, 1-24.

20. Lindner, M. Maroschek, M. Netherer, S. Kremer, A. Barbati, A. Garcia-Gonzalo, J. Seidl, R. Delzon, S. Corona, P. Kolström, M. Lexer, M. J. and Marchetti, M. 2010. Climate change impacts, adaptive capacity, and vulnerability of European forest ecosystems. *Forest Ecology and Management*, 259(4): 698–709. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.09.023>

21. Martínez-Ramos, M. Ortiz-Rodríguez, I. A. Piñero, D. Dirzo, R. and Sarukhán, J. 2016. Anthropogenic disturbances jeopardize biodiversity conservation within tropical rainforest reserves. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113, 5323–5328.

22. Messier, C. Bauhus, J. Doyon, F. Maure, F. Sousa-Silva, R. Nolet, P. Mina, M. Aquilué, N. Fortin, M.J. and Puettmann, K. 2019. The functional complex network approach to foster forest resilience to global changes. *Forest Ecosystems*, 6(1): 21. <https://doi.org/10.1186/s40663-019-0166-2>

23. Mirzakhani, B. Maddi, A. and Hejazizadeh, Z. 2019. Investigating disturbance in the microlandforms of Mighan plateau using fractal method. *Geographical Explorations of Desert Regions*, 9(7): 1-19. (In Persian)

24. Moradzadeh, V. Hazbavi, Z. Esmali Ouri, A. Mostafazadeh, R. Zarei, S. and Alaei, N. 2022. Assessment of spatial heterogeneity of Hydro-sedimentological Disturbance Index in the Samian sub-watersheds. *Hydrogeomorphology*, 9(31): 136-117. (In Persian)

Assessing land cover change and anthropogenic disturbance in wetlands using vegetation fractions derived from Landsat 5 TM imagery (1984–2010). *Wetlands*, 35, 1077-1091.

6. Durães, M. F. and Mello, C. R. D. 2014. Hydrosedimentologic disturbance index applied to watersheds of Minas Gerais state. *Ciência e Agrotecnologia*, 38, 61-67.

7. Esmali, A. and Abdollahi, Kh. 2011. Watershed management and soil conservation. University of Mohaghegh Ardabili Press. 574 p.

8. Falcone, J. A. Carlisle, D. M. and Weber, L. C. 2010. Quantifying human disturbance in watersheds: variable selection and performance of a GIS-based disturbance index for predicting the biological condition of perennial streams. *Ecological Indicators*, 10(2): 264-273.

9. Grime, J.P. 1979. Plant strategies and vegetation processes. John Wiley and Sons, New York.

10. Gupta, N. and Bhadauria, H. S. 2014. Object based information extraction from high resolution satellite imagery using eCognition. *International Journal of Computer Science Issues (IJCSI)*, 11(3): 139.

11. Hashemi, S.M. and Mataji, A. 2016. Evaluation of plant diversity following natural and small-scale exploitation in Sari forests. *Journal of Renewable Natural Resources Research*, (1) 8. (In Persian)

12. Hazbavi, Z. Babaei, L. Zareie, S. Alaei, N. and Malekian, R. 2023. Spatial heterogeneity of ecological security of Samian Watershed, Ardabil Province. *Regional Planning*, 12(48): 77-94. (In Persian)

13. Hazbavi, Z. Parchami, N. Alaei, N. and Babaei, L. 2020. Assessment and analysis of the KoozehTopraghi Watershed health status, Ardabil Province, Iran. *Journal of Water and Soil Resources Conservation*, 9(3): 121-142. (In Persian)

14. Heydari Cherudeh, M. and Foroughzadeh, S. 2013. SPSS software application guide with emphasis on research and statistics methods. *Sociologists Publications*. 220 p. (In Persian)

15. Hlásny, T. Zimová, S. Merganičová, K. Štěpánek, P. Modlinger, R. and Turčáni, M. 2021. Devastating outbreak of bark beetles in the Czech Republic: Drivers, impacts, and management implications. *Forest Ecology and Management*, 490, 119075. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119075>

16. Hu, W.W. Wang, G.X. Deng, W. and Li, S.N. 2008.

33. Sherman, B.H. 2017. Multiple marine ecological disturbance assessments for Latin American and Caribbean large marine ecosystems. *Environmental Development*, 22, 129-142.
34. Statistical yearbook of Ardabil province. 2015. 43-80 pp.
35. Steffen, W. Richardson, K. Rockström, J. Cornell, S.E. Fetzer, I. Bennett, E. M. Biggs, R. Carpenter, S.R. De Vries, W. De Wit, C.A. Folke, C. Gerten, D. Heinke, J. Mace, G.M. Persson, L.M. Ramanathan, V. Reyers, B. and Sörlin, S. 2015. Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science*, 347, 1259855.
36. Stevens, J.T. Boisram'e, G.F.S. Rakhmatulina, E. Thompson, S.E. Collins, B.M. Stephens, S.L. 2020. Forest vegetation change and its impacts on soil water following 47 years of managed wildfire. *Ecosystems* 23, 1547–1565. <https://doi.org/10.1007/s10021-020-00489-5>.
37. Thom, D. and Seidl, R. 2016. Natural disturbance impacts on ecosystem services and biodiversity in temperate and boreal forests. *Biological Reviews*, 91(3): 760–781. <https://doi.org/10.1111/brv.12193>
38. Turner, M.G. 2010. Disturbance and landscape dynamics in a changing world. *Ecology* 91, 2833–2849. <https://doi.org/10.1890/10-0097.1>.
39. Veiskarami, Z. Pilehvar, B. and Haghizadeh, A. 2018. Effects of anthropogenic disturbance on diversity, biomass and storage of N and P nutrients by herbaceous vegetation of gall oak stands (Case Study: Shine Qellai Forests, Lorestan Province). *Ecology of Iranian Forest*. 6(12): 18-29. (In Persian)
40. Zareie, S. Hazbavi, Z. Mostafazadeh, R. and Esmaliouri, A. 2020. Vulnerability comparison of Samian sub-watersheds based on climate change components. *Physical Geography Research Quarterly*, 52(2), 217-236. (In Persian)
25. Nasiri, V., Ghorbani, M., 2020. An approach for quantifying the spatial disturbance variations based on landscape metrics (Case Study: Arasbaran Protected Area during 1990-2014). *J. Nat. Environ.* 73(2): 397-409. <https://doi.org/10.22059/jne.2020.292039.1844>. (In Persian)
26. Nematollahi, S. Fakheran, S. and Soffianian, A. 2017. Incorporating the spatial road disturbance index (SPROADI) in ecological impacts assessment of roads at landscape Scale (Case study: Eastern Part of Isfahan Province). *Iranian Journal of Applied Ecology*, 6(1): 81-91. (In Persian)
27. Pickett, S.T.A. and White, P.S. 1985. The ecology of natural disturbance and patch dynamics. Academic Press. <https://doi.org/10.1016/C2009-0-02952-3>.
28. Raqib, M., and Rofiuddin, M. 2018. Determination of leading sector sukoharjo regency: location quotient and shift share esteban marquillas approach. *International Journal of Economics, Business and Accounting Research (IJEBAR)*, 2(02).
29. Riffo-Donoso, V. Osorio, F. and Fonturbel, F. E. 2021. Habitat disturbance alters species richness, composition, and turnover of the bryophyte community in a temperate rainforest. *Forest Ecology and Management*, 496, 119467.
30. Rouse, JW. Haas, RH. and Schell, JA. 1974. Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation. NASA/GSFC Type III Final Report, Greenbelt, Canada, May 27: 371
31. Seidl, R. Thom, D. Kautz, M. Martin-Benito, D. Peltoniemi, M. Vacchiano, G. Wild, J. Ascoli, D. Petr, M. Honkaniemi, J. Lexer, M.J. Trotsiuk, V. Mairota, P. Svoboda, M. Fabrika, M. Nagel, T.A. and Reyer, C.P.O. 2017. Forest disturbances under climate change. *Nature Climate Change*, 7(6): 395–402. <https://doi.org/10.1038/nclimate3303>
32. Senf, C. and Seidl, R. 2021. Mapping the forest disturbance regimes of Europe. *Nature Sustainability*, 4, 63–70. <https://doi.org/10.1038/s41893-020-00609-y>.

## Spatial Pattern of the Multifunctional Disturbance Indicators in the Samian Watershed, Ardabil Province

Vahideh Moradzadeh<sup>1</sup>, Zeinab Hazbavi<sup>2</sup>, Abazar Esmali Ouri<sup>3</sup>, Raof Mostafazadeh<sup>4</sup> and Shirin Zarei<sup>5</sup>

Received: 13-05-2023

Accepted: 08-09-2023

### Abstract

#### Introduction

The decrease in global biodiversity caused by human activities and the continuous expansion of man-made land use has deepened the need better to understand the relationship between biodiversity and human disturbance. By knowing and examining the process of disturbance changes over time, it is possible to identify the factors that cause it and make appropriate decisions to reduce disturbances. Meanwhile, the application of landscape ecology in various fields of urban planning shows the ability to analyze and quantitatively express the results of human-environment interaction. Gaining comprehensive knowledge of the behavior of this type of change is necessary to achieve systematic management and efforts to ensure the sustainability of ecosystems. In addition, identifying the main processes and structural factors in creating key changes in the landscape provides a proper understanding of the behavior and changeability of the landscape. Ecological disturbances can be caused naturally (fires, floods, avalanches, hurricanes, or volcanoes) or by human activities (road construction, pollution, land use, or mining) and can even completely change a habitat. One of the needs of planning for effective and sustainable management and protection is a better understanding and awareness of the process of spatial changes of this type of disturbance. The timely identification and monitoring of ecosystem responses to disturbance stimuli is an important step in ensuring the sustainable use of natural resources and integrated watershed management. Based on this, the current research aims to identify disturbance drivers, develop multifunctional disturbance indicators, and analyze their spatial patterns in the Samian Watershed located in Ardabil Province.

1. Former M.Sc. Student, Department of Rangeland and Watershed Management, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Iran.

2. Corresponding Author and Associate Professor, Department of Rangeland and Watershed Management, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Member of Water Management Research Center, University of Mohaghegh Ardabili, Iran. Email: z.hazbavi@uma.ac.ir.

3. Professor, Department of Rangeland and Watershed Management, Faculty of Agriculture and Natural Resources, , Member of Water Management Research Center, University of Mohaghegh Ardabili, Iran.

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

5. Former M.Sc. Student, Department of Rangeland and Watershed Management, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Iran.

### Materials and Methods

In the present study, according to the literature review of the watershed and research related to disturbance indicators, a total of 29 disturbance drivers were identified. Then, Spearman's test was used to identify and remove disturbance indicators with significant correlation ( $p\text{-value} < 0.05$ ). Finally, using the weighted sum of disturbance drivers, four multifunctional indices based on land use (DI-LU) (with criteria of agricultural area, range area, total agricultural and residential, dry farming area, irrigation area, urban area, urban 600 m buffer, urban-agricultural 600 m buffer, ndvi and road density), demographic (DI-DG) (with criteria of population density, rural household density, density of 10-year working people, density of people working in agriculture, density of people working in the industry, density of people working in services and residential density), sources of pollution (DI-CR) (with criteria of soil erosion, special sediment, LQ spatial coefficient in the agricultural, LQ spatial coefficient in the industry, river distance from residential areas, density of mining operations, density of industrial centers, pollutant density) and hydrology (DI-HR) with criteria (with criteria of slope, reservoirs and wetlands area, dam storage, dam density) and a total disturbance index (TDI) were developed.

### Results and Discussion

Results and discussion: In this research, the multi-functional indicators of disturbance in 27 Samian sub-watersheds were calculated and zoned based on identified disturbance drivers. The results of equal weighting showed that the variables used in the calculation of disturbance indices based on the first to fourth groups were assigned weights of 0.13, 0.50, 0.17, and 0.33, respectively. The results of zoning showed that the maximum value of disturbance index based on land use (DI-LU) related to sub-watershed 27 with a value of 0.77 in the high class, demographic (DI-DG) related to sub-watershed 27 with a value of 0.89 in the class very high, pollution sources (DI-CR) related to watershed 15 with a value of 0.61 were placed in the high category and hydrology (DI-HR) related to watershed 25 with a value of 0.82 were placed in the very high disturbance category. The average of the first to fourth multifunctional indices were  $0.46 \pm 0.16$ ,  $0.40 \pm 0.16$ ,  $0.38 \pm 0.09$ ,  $0.52 \pm 0.15$  and  $0.44 \pm 0.08$  respectively. The results of the total disturbance index showed that the mean and standard deviation of the total disturbance index (TDI) are equal to 0.44 and 0.08. This confusion index was categorized into three categories: low, medium, and high. Besides, a significant area of the entire Samian watershed was placed in the middle class (0.41-0.60).

### Conclusion

Conclusion: In recent decades, natural ecosystems have experienced unprecedented negative disturbances due to global climate warming, extreme weather events, excessive human exploitation of resources, and damage to the environment. In the long run, this has led to a series of complex problems that will threaten the survival and sustainable development of society. Accordingly, the regional identification of disturbance drivers is very important to reducing the conflicts between socioeconomic development and environmental

protection. In this context, according to the zoning results, most of the sub-watersheds were placed in the middle class based on the fourth group, which indicates the importance of considering factors such as slope, dam storage, and dam density. From the general point of view, the Samian watershed has a medium, low, low, and medium class, respectively, based on the disturbance indicators of the first to fourth groups. In general, the central and northern parts of the watershed have higher disturbances than other parts. The results of the spatial analysis also showed that the central parts of the Samian watershed are affected by more disturbance. The results of the present research are used in the diagnosis of the dynamics of disturbances to understand the interactions of a watershed system and develop the strategies required for sustainable management.

**Keywords:** *Ecosystem assessment, spatial changes, stressful areas, disturbance driving forces*

#### **Acknowledgement**

The authors thank the University of Mohaghegh Ardabili for providing support to conduct this research as part of the M.Sc. thesis of the first author (Vahideh Moradzadeh).

#### **Conflicts of interest**

The authors of this article declared no conflict of interest regarding the authorship or publication of this article.

#### **Data Availability Statement:**

All data and results were presented in the main text of the paper.

#### **Authors' Contribution**

Vahideh Moradzadeh: Formal analysis, Investigation, Methodology, Visualization, Writing – original draft.

Zeinab Hazbavi: Conceptualization, Formal analysis, Investigation, Validation, Writing –original draft, Writing – review & editing.

Abazar Esmali Ouri: Investigation.

Raof Mostafazadeh: Conceptualization, Formal analysis, Investigation.

Shirin Zarei: Methodology, Visualization.