

و کرت‌ها برقرار شد. در نهایت با مقایسه رسوب برآورد شده در حوضه‌های شاهد و نمونه با استفاده از شاخص پیوستگی، میزان تأثیر عملیات آبخیزداری بر میزان درجه تولید رسوب سنجیده شد. نتایج نشان داد که مقدار متوسط رسوب تولیدی در زیر حوضه‌های نمونه و شاهد به ترتیب برابر ۰/۰۰۳ و ۰/۰۰۵ تن در هکتار یعنی مقدار رسوب در زیر حوضه نمونه، ۴۵ درصد کم‌تر از زیر حوضه شاهد است که این اختلاف ناشی از تأثیر عملیات آبخیزداری در زیر حوضه نمونه بوده است.

واژه‌های کلیدی: عملیات بیولوژیک، حفاظت خاک، کرت رسوب، مدیریت حوزه آبخیز.

مقدمه

یکی از ارزشمندترین سرمایه‌های ملی هر کشور منابع طبیعی از جمله آب، خاک و گیاه است. این منابع طبیعی عناصر اصلی و بستر تولید و حیات به شمار می‌روند. فرسایش خاک فرآیندی است که سالانه باعث هدر رفت میلیون‌ها تن خاک از عرصه‌های طبیعی و زراعی می‌شود [۸، ۹ و ۲۳]. فرسایش خاک بهره‌وری کشاورزی را کاهش می‌دهد، عملکرد اکوسیستم را تخریب می‌کند، خطرات هیدروژئولوژیکی مانند رانش زمین یا سیل را تقویت می‌کند، باعث خسارات قابل توجهی در تنوع زیستی، آسیب به زیرساخت‌های شهری و در موارد شدید منجر به جابجایی جمعیت‌های انسانی می‌شود [۹، ۱۴، ۱۸ و ۳۱]. در کشور ما سابقه حفاظت خاک، به سال ۱۳۴۰ بازمی‌گردد و در طول این مدت همواره تحقیقات متنوعی به همراه راهکارهای جدید، در این زمینه انجام شده که مهم‌ترین آن‌ها طرح‌های حفاظت خاک و آبخیزداری می‌باشند. بر این اساس راهبردهای آبخیزداری بیشتر در جهت حفاظت خاک در مقابل اثرات تخریبی قطرات باران، افزایش نفوذ آب در خاک، بهبود بخشیدن به پایداری خاکدانه‌ها و افزایش زبری سطح خاک به منظور کاهش سرعت آب و افزایش نفوذ آب در خاک به منظور کنترل و کاهش رواناب و رسوب و بهبود منابع آب است [۷، ۱۷ و ۳۰]. حوضه‌های معرف و زوجی غالباً بر اساس مطالعات ملی و منطقه‌ای در محدوده اراضی همگن، شناسایی می‌شوند و استقرار می‌یابند و از معیارهای اساسی انتخاب آن‌ها، پراکنش مناسب از نظرگاه منطقه‌ای، جغرافیایی و آماری است. زیر حوضه نمونه و شاهد تا حد امکان از نظر اقلیم، خاک، پوشش گیاهی، توپوگرافی و ژئومورفولوژی مشابه بوده و

ارزیابی تأثیر عملیات آبخیزداری بیولوژیک بر میزان تولید رسوب با استفاده از شاخص پیوستگی در ایستگاه معرف زوجی گنبد همدان

هادی نظری پویا^۱، رضا بهراملو^۲، مهدی سپهری^۳، حمیدرضا پیروان^۴

سارا پرویزی^۵، ابراهیم عسگری^۶

تاریخ دریافت ۱۴۰۱/۰۸/۱۴ تاریخ پذیرش ۱۴۰۲/۰۱/۰۴

چکیده

فرسایش خاک و مشکلات مربوط به رسوب توأم با مسائل و مشکلات چشم‌گیری بر محیط‌زیست و کشاورزی از جمله زیان‌های اقتصادی، کاهش کیفیت آب، کاهش ظرفیت ذخیره‌سازی مخازن و کاهش تولید کشاورزی همراه است که در این میان فعالیت‌های آبخیزداری نقش برجسته‌ای در کاهش میزان فرسایش خاک و رسوب تولیدی دارند. بدین منظور در این تحقیق، با استفاده از شاخص پیوستگی اقدام به ارزیابی فعالیت‌های آبخیزداری بر روی میزان رسوب تولیدی در حوضه زوجی گنبد همدان شد. در این راستا، ابتدا به برآورد شاخص پیوستگی در کرت‌های فرسایشی در حوضه‌های شاهد و نمونه در زمان‌های رویدادهایی که منجر به تولید رسوب شده‌اند، پرداخته شد. در ادامه به منظور برآورد میزان رسوب‌دهی حوضه‌های شاهد و نمونه با استفاده از شاخص پیوستگی، یک ارتباط رگرسیونی بین داده‌های شاخص پیوستگی

۱- استادیار پژوهش بخش تحقیقات آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، همدان، ایران نویسنده مسئول: hnpoya@yahoo.com

۲- دانشیار پژوهش بخش تحقیقات آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، همدان، ایران

۳- دانشجو آموخته گروه علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی یزد، یزد، ایران

۴- دانشیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری استان تهران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

۵- دانشجوی دکتری گروه علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی یزد، یزد، ایران

۶- دانشجوی دکتری گروه علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی یزد، یزد، ایران

مساحت دو زیر حوضه باید تقریباً به یک اندازه و بین ۱۵۰-۵۰ هکتار باشد [۱۰، ۱۱ و ۳۱].

در مطالعه‌ای رابطه با شاخص پیوستگی، به‌جای استفاده از عامل پوشش گیاهی معادله جهانی فرسایش خاک، از شاخص زبری سطحی توپوگرافیکی استفاده کرده و امکان استفاده از آن برای بررسی اتصال مناطق واریزه‌ای بدون پوشش را مهیا نمودند. نتایج نشان داد که تعیین توزیع شاخص پیوستگی و تقسیم حوضه به مناطق همگن از این نظر، سبب ارائه نسخه‌های مدیریت رسوبی متناسب با هر منطقه شد [۶]. پژوهش انجام‌شده در پارک ملی سوئیس به بررسی اتصال ساختاری بخش‌های مختلف حوزه آبخیز با استفاده از شاخص پیوستگی شد. نتایج استفاده از هر دو روش برای رسیدن به درکی جامع از آبشارهای رسوبی و وضعیت پیوستگی و جفت و عدم جفت‌شدگی زمین ریخت‌ها در آبخیز مورد مطالعه را تأیید نمود [۲۶].

در پژوهشی با استفاده از تصاویر با وضوح بالا چند طیفی از دو میکرو زیر حوضه با بوته‌زارهای مدیریت‌شده سوخته و جنگل‌های کاج اقدام به برآورد شاخص پوشش گیاهی دیفرانسیل نرمال شده آبی و شاخص پیوستگی شد. نتایج نشان داد که از آنجایی که هر دو شاخص یک رویکرد یکپارچه را برای رمزگشایی نحوه تعامل هیدرولوژیکی و اتصالات رسوبی با پوشش گیاهی و هم‌چنین ساختارهای حفاظت از خاک ارائه می‌دهد، تجزیه و تحلیل داده‌های مکانی محلی، ارتباط معنی‌داری بین عوامل ژئومورفولوژیکی و بیولوژیکی محلی فراهم می‌آورد که این امر منجر به شناسایی دقیق مناطق همگن در مقیاس میکرو و حداقل اندازه واحدهای گیاهی می‌شود که در آن استراتژی‌ها و تلاش‌های مدیریتی باید انجام شود، اعمال می‌شود [۱۲]. بررسی و کارایی دو روش به‌خوبی تثبیت‌شده، سطح حوضه مؤثر و شاخص پیوستگی در منطقه رودخانه فلا در شمال شرقی ایتالیا نشان داد که در کل حوضه الگوهای شدت جریان گلی تطابق ضعیفی با الگوهای شاخص پیوستگی دارند. با این وجود، جریان‌های گلی که به کانال اصلی می‌رسند همبستگی قوی با مقادیر شاخص پیوستگی نشان می‌دهند؛ بنابراین شاخص پیوستگی قادر است الگوهای فرآیندهای رسیدن به دره اصلی را به‌خوبی نشان دهد، اما نمی‌تواند برای توضیح یا حتی پیش‌بینی وقوع فرآیندهایی که هیچ ارتباط فضایی مستقیمی با رودخانه ندارند، استفاده شود [۳۲]. در مطالعه‌ای بررسی و مقایسه روش‌های پیشرفته (فراکتال و آنتروپی) و سنتی (شاخص پیوستگی و گرادیان طول شیب) ارزیابی شبکه زهکشی در شناسایی مناطق مستعد تولید رسوب در حوضه ایلانلو در استان همدان انجام شد. نتایج نشان داد که روش آنتروپی و شاخص پیوستگی از دقت بسیار بالایی نسبت به دو شاخص باقیمانده دیگر در شناسایی مناطق داغ تولید رسوب برخوردار هستند [۳۴]. بررسی تأثیر کاربری اراضی در مقیاس ۱۰ ساله و تغییرات توپوگرافیکی بر روی شاخص پیوستگی در حوزه آبخیز رودخانه سینکای بالا (پیرنه مرکزی) انجام شد، نتایج سه سناریو (الف) تغییرات پوشش زمین. (ب) تغییرات توپوگرافی

در مزارع کشاورزی (تراس‌بندی) و (ج) تغییرات توپوگرافی مرتبط با زیرساخت‌ها (راه‌سازی) نشان داد که روش مورد استفاده در این پژوهش اجازه می‌دهد تا اثرات استفاده از زمین در مقیاس دهه‌ای واقعی و تغییرات توپوگرافی را بر اتصال رسوب و هم‌چنین ارزیابی و تفکیک آن تغییرات را مطالعه کند. علاوه بر این، این رویکرد می‌تواند ابزار مفیدی برای شناسایی خطرات بالقوه مرتبط با تغییرات مورفولوژیکی و کاربری زمین، شامل زیرساخت‌های جاده‌ای باشد [۲۰].

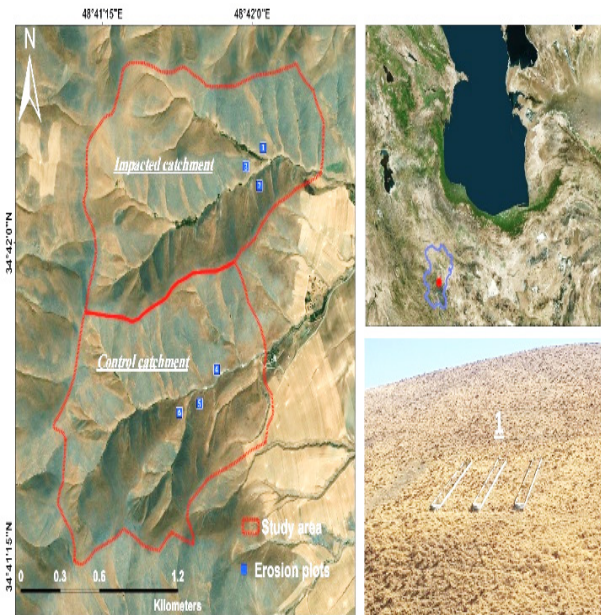
بررسی و ارتباط همبستگی بین شاخص پیوستگی و تولید رسوب ویژه در ۱۱ زیر حوضه در منطقه‌ای در استان گلستان نشان داد که شاخص پیوستگی با دقت ۳۰ متر می‌تواند برای ارزیابی کمی رسوب در حوضه‌های کوچک به‌ویژه حوضه‌هایی که دارای پتانسیل‌های فرسایش مشابه می‌باشند، اجرا شوند و به‌طور کلی شاخص پیوستگی یک روش مقرون‌به‌صرفه است و می‌تواند به‌عنوان جایگزینی برای مدل‌های کلاسیک تحویل رسوب یکپارچه ترجیح داده شود [۲].

در مطالعه‌ای با استفاده از مدل WATEM-SEDEM به بررسی شاخص پیوستگی رسوب در حوزه آبخیز نینازونگ در چین پرداخته شد و با توجه به معیار وقوع فرسایش یا انباشت رسوب در بخش‌های مختلف حوضه، مناطق منبع و مخزن رسوب تعیین شد. نتایج نشان داد با توجه به نسبت تحویل رسوب یک‌درصدی در آبخیز مورد مطالعه، الگوی سیمای سرزمین را عامل مؤثری در مهار انتقال رسوب و پائین بودن پیوستگی رسوبی در حوضه آبریز قلمداد می‌شود [۲۱].

در پژوهشی با استفاده از چهار سنجه زمان پیمایش، ظرفیت انتقال رسوب، شاخص پیوستگی و زمان بقای رسوب تغییرات مکانی نسبت تحویل رسوب دامنه‌ای بررسی شد. نتایج این پژوهش نشان داد که بخش‌های مختلف حوضه مورد مطالعه از نظر تغییرات نسبت تحویل رسوب در مقیاس زیر حوضه قابل‌بررسی و تقسیم‌بندی است. به‌طوری‌که در سنجه زمان پیمایش، نقش توپوگرافی ملموس‌تر شده و مناطق مسطح با مشارکت رسوبی صفر و مناطق شیب‌دار با بیش‌ترین مشارکت مشخص شدند [۳۸].

طیف گسترده‌ای از مسائل در حال حاضر با استفاده از مفهوم پیوستگی که شروع به توسعه روش‌های مختلف برای ارزیابی رابطه رودخانه با حوضه آن کرده است، پرداخته می‌شود. با توجه به پژوهش‌های انجام‌گرفته در این زمینه، چنین استنباط می‌شود که اقدامات آبخیزداری بر تولید رواناب و رسوب و فرسایش خاک تأثیر قابل‌توجهی دارند. با توجه به اهمیت اقدامات آبخیزداری و تأثیر آن‌ها بر مقدار رواناب، فرسایش و رسوب مطالعه موردی نقش این اقدامات در کنترل رواناب، فرسایش و رسوب دارای اهمیت ویژه‌ای است. بر اساس بررسی و جستجوی نگارندگان، مطالعات بسیار اندکی در خصوص استفاده از شاخص پیوستگی در مطالعات هیدرولوژی در داخل کشور وجود دارد و هم‌چنین چه در داخل و چه در خارج از کشور، محققین صرفاً به‌منظور بررسی تأثیر عملیات آبخیزداری بر متغیرهای هیدرولوژی مانند رسوب یا فرسایش، صرفاً

مساحتی برابر با ۱۴۵ و ۱۴۳ هکتار و شیب آن‌ها نیز به ترتیب ۳۰ و ۳۳ درصد می‌باشد. در سال ۱۳۸۹ یک سری عملیات بیولوژیکی از قبیل قرق، بذرپاشی و کپه‌کاری در حوضه نمونه انجام شده است. مشخصات عمومی حوضه معرف و زوجی گنبد در جدول ۱ و در شکل ۱ نیز موقعیت جغرافیایی حوزه آبخیز معرف و زوجی گنبد در استان همدان ارائه شده است.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی حوزه آبخیز معرف و زوجی گنبد در استان همدان

از طریق تغییر متغیر هیدرولوژی ضریب زبری در شاخص پیوستگی برای رسیدن به این اهداف اقدام می‌کنند، لذا در این پژوهش علاوه بر تغییر ضریب زبری، به بررسی تأثیر این عملیات بر روی خصوصیات توپوگرافی نیز بررسی می‌شود. با توجه به این که تحقیقات محدودی در مورد تأثیر این اقدامات بر روی فرسایش خاک و تولید رسوب در کشور به‌ویژه در مراتع مناطق نیمه‌خشک انجام شده است، بنابراین هدف این تحقیق بررسی اثرات اقدامات بیولوژیکی بر میزان رسوب تولیدی در حوضه زوجی گنبد استان همدان می‌باشد.

مواد و روش‌ها منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز معرف و زوجی گنبد با مساحت ۴۴۷ هکتار در بالادست روستای گنبد و در ۳۵ کیلومتری شهر همدان، با مختصات جغرافیایی ۴۸ درجه و ۴۱ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۴۳ دقیقه طول شرقی و ۳۴ درجه و ۴۱ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۴۲ دقیقه عرض شمالی در حوضه رودخانه قره‌چای قرار دارد (شکل ۱). متوسط بارندگی سالانه بلندمدت منطقه، ۳۰۴/۲ میلی‌متر و بر اساس آمار بارندگی ایستگاه هواشناسی حوزه آبخیز معرف و زوجی گنبد در دوره ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۵، از متوسط بارش ۲۳۴/۸ میلی‌متر با پراکنش نامنظم برخوردار بوده و جزء اقلیم نیمه‌خشک محسوب می‌شود. این حوضه در دامنه شمالی الوند جزء حوضه آبریز کویر مرکزی (حوضه آبخیز قره‌چای) و زیر حوضه سد و فرقان ساوه می‌باشد. شیب متوسط حوضه، ۲۸ درصد است. زیر حوضه‌های نمونه و شاهد در این حوضه به ترتیب دارای

جدول ۱: مشخصات عمومی حوضه معرف و زوجی گنبد همدان

نام حوضه			ویژگی‌های فیزیوگرافی
معرف	شاهد	نمونه	
۳۸۴۲۱۳۵	۳۸۴۱۳۵۱	۳۸۴۲۳۵۷	طول جغرافیایی غربی‌ترین نقطه حوضه
۳۸۴۲۴۴۹	۳۸۴۱۸۳۴	۳۸۴۲۸۹۳	طول جغرافیایی شرقی‌ترین نقطه حوضه
۲۹۰۱۹۹	۲۸۸۹۴۲	۲۸۸۹۷۳	عرض جغرافیایی جنوبی‌ترین نقطه حوضه
۲۹۰۰۶۰	۲۸۹۱۵۴	۲۸۹۱۶۷	عرض جغرافیایی شمالی‌ترین نقطه حوضه
۱۶۰	۱۴۳	۱۴۵	مساحت (هکتار)
۶۱۴۳/۱۱	۵۴۵۷/۳۸	۴۹۹۸/۲۲	محیط حوضه (متر)
۲۳	۳۳	۳۰	شیب متوسط حوضه (درصد)
۱/۲۸	۱/۱۸	۱/۱۷	ضریب شکل حوضه
۲۶/۸	۱۲/۷	۱۴/۲	زمان تمرکز حوضه (ساعت)
۳/۹۵	۱/۸۹	۱/۹	طول آبراه اصلی (متر)
۲۳۱۷	۲۴۳۰	۲۴۱۱	ارتفاع بلندترین نقطه حوضه از سطح دریا (متر)
۲۰۹۱	۲۱۸۶	۲۱۶۴	ارتفاع خروجی حوضه از سطح دریا (متر)
۲۱۹۰/۴	۲۳۰۸	۲۲۸۵	ارتفاع متوسط حوضه از سطح دریا (متر)
شرقی	شرقی	شرقی	جهت اصلی حوضه با بیش‌ترین مساحت (شمالی، جنوبی، شرقی، غربی)

انجام مطالعات پایه حوضه‌های شاهد و نمونه

در مرحله اول اطلاعات مربوط به (۱) تهیه نقشه‌های رقومی با دقت ۱۵ سانتی‌متری توسط پهباد برای محدوده حوضه‌های زوجی گنبد، (۲) جمع‌آوری داده‌های بارندگی و رواناب در حوضه زوجی گنبد از سال ۲۰۱۱ الی ۲۰۲۱، (۳) جمع‌آوری و بررسی داده‌های پلات‌های فرسایشی (از سال ۲۰۱۷ الی ۲۰۲۱ داده‌برداری صورت گرفته است) و انتخاب دوره‌های بارندگی که سبب تولید رواناب و رسوب شده‌اند، (۴) جمع‌آوری داده‌های کرت‌های فرسایشی در دو حوضه شاهد و نمونه در بازه زمانی ۲۰۱۱ الی ۲۰۲۱ در زمان وقایع بارندگی منتخب، (۵) تهیه آخرین تصاویر ماهواره‌ای Sentinel2 از سایت سازمان زمین‌شناسی آمریکا در نزدیک‌ترین زمان به وقایع بارش منتخب، انجام تصحیحات رادیومتریک و اتمسفری و تهیه NDVI و انتخاب مناسب‌ترین NDVI حاصله با توجه به مشاهدات صحرائی و تعیین عامل C در مدل RUSLE که معیاری از پوشش گیاهی فعلی منطقه مورد مطالعه است، جمع‌آوری شد.

نمودار چندک-چندک (Quantile-Quantile Plot)

یک ابزار توصیفی است که کمک می‌کند بفهمیم یک مجموعه داده از یک توزیع احتمالی مشخص مانند توزیع نرمال (Normal Distribution) یا نمایی (Exponential Distribution) پیروی می‌کند یا خیر.

شاخص پیوستگی:

در یک حوزه آبخیز، شاخص پیوستگی رسوب نقش مهمی در درک پویایی‌های رسوب که شامل انتقال رسوب بین اجزای حوضه از منبع تولید رسوب تا شبکه زهکشی می‌باشد. شاخص پیوستگی معیاری از درجه اتصال بین اجزای لندسکپ از قبیل جانبی (دامنه به کانال) و طولی (بالادست شبکه زهکشی به پایین دست شبکه زهکشی) می‌باشد [۳، ۴، ۱۳ و ۱۶]؛ بنابراین پیوستگی رسوب عامل مهمی می‌باشد که بر حالت، کارایی و مقیاس انتقال رسوب در یک حوزه آبخیز دارد.

خصوصیات مکانی الگوی پیوستگی داخل یک حوضه می‌تواند کمک شایانی در شناسایی مناطق تولید رسوب و همچنین تعریف مسیرهای انتقال رسوب داشته باشد [۳ و ۳۴]. همچنین در حوضه‌هایی که عوامل مختلفی مانند نیروی جاذبه، برف، یخ و آب در تکامل لندسکپ مشارکت دارند، شاخص پیوستگی هم باید در زمینه نقش این فاکتورها در میزان فرسایش و انتقال و همچنین تأثیر آن‌ها در خصوصیات مورفولوژیکی که انتقال رسوب را کنترل می‌کند، بررسی شود [۶]؛ بنابراین مطالعه شاخص پیوستگی نه تنها در بسط و توسعه درک بهتر پویایی‌های رسوب دارد بلکه از طرف دیگر باعث بهبود توانایی در برآورد جریان رسوب در حوضه‌های بزرگ و پیامدهای پایین دست آن دارد [۲۷، ۳۵ و ۳۷]. یکی از پرکاربردترین شاخص‌های پیوستگی که در سال‌های اخیر مورد استفاده زیادی قرار گرفته، مربوط به مطالعات بورسلی و همکاران [۳] است. شاخص مورد نظر به صورت تابعی از پارامترهای فیزیوگرافی و هیدرولوژیکی منطقه

مورد نظر تعریف شده است (شکل ۷ و معادله ۱) [۳].

$$IC = \log_{10} \left(\frac{D_{up}}{D_{dn}} \right) \quad (1)$$

پارامتر D_{up} در معادله ۱ بیانگر اجزای بالادست نقطه مورد نظر است که تعیین کننده پتانسیل بالادست نقطه مورد نظر در روند یابی رو به پائین رواناب/رسوب است و از سویی دیگر پارامتر D_{dn} نیز بیانگر طول شبکه زهکشی نقطه مورد نظر تا نزدیک‌ترین نقطه خروجی است. پارامتر D_{up} به صورت زیر تعریف می‌شود که در آن: متغیر \bar{w} و \bar{s} به ترتیب بیانگر ضریب زبری متوسط و شیب متوسط بالادست سلول مورد نظر است که از نقشه‌های رقومی ارتفاعی برآورد می‌شود. متغیر A نیز سطح بالادست سلول مورد نظر است (m^2).

$$D_{up} = \bar{w} \bar{s} \sqrt{A} \quad (2)$$

پارامتر D_{dn} نیز به صورت زیر تعریف می‌شود که در آن: متغیر d_i بیانگر طول شبکه زهکشی نقطه A به سمت پایین دست منطقه مورد مطالعه است و w_i به همراه d_i به ترتیب بیانگر شاخص مقاومت و شیب نقطه A است. متغیر w_i بیانگر مقاومت در برابر رواناب و یا جریان رسوب در معادله پیوستگی است که مربوط به خصوصیات سطحی منطقه مورد مطالعه مانند عامل C در مدل RUSLE و یا ضریب زبری سطح توپوگرافی می‌باشد، است از این رو این پارامتر مهم‌ترین پارامتر در شاخص پیوستگی است [۳، ۱۹ و ۲۵]. انواع روش‌های مختلفی به منظور برآورد ضریب زبری سطح توپوگرافی وجود دارد که یکی از پرکاربردترین این معادلات به صورت زیر می‌باشد که از نقشه‌های ارتفاعی استخراج می‌شود [۱ و ۱۵].

$$R_u = \left(1 - \frac{(Av(E_g) - E_i)}{(\max(E_g) - \min(E_g))} \right) \quad (4)$$

در معادله بالا، متغیر $Av(E_g)$ بیانگر ارتفاع متوسط ۸ سلول مجاور سلول مورد نظر می‌باشد. E_i نیز بیانگر ارتفاع سلول مورد نظر می‌باشد و $\max(E_g)$ و $\min(E_g)$ به ترتیب بیانگر تفاضل بیش‌ترین و کم‌ترین ارتفاع ۸ سلول مجاور سلول مورد نظر می‌باشد. همان‌طور که در بالا به آن اشاره شد، یکی دیگر از راه‌هایی که می‌توان در خصوص تعیین متغیر w_i استفاده کرد، مربوط به شاخص عامل C در معادله فرسایش جهانی خاک (RUSLE) است. یکی از مهم‌ترین مزایایی که در استفاده از شاخص C وجود دارد این است که این پارامتر معیاری از کاربری اراضی است که برخلاف شاخص ضریب زبری سطح توپوگرافی، حالت پویایی به شاخص پیوستگی می‌دهد و می‌توان با استفاده از آن، نقش تغییرات کاربری اراضی را بر روی شاخص پیوستگی مطالعه نمود [۵ و ۲۰]؛ اما یکی از مهم‌ترین معایب استفاده از شاخص C به‌تنهایی این است که در زمین‌های بایر باعث برآورد بیش‌ازحد شاخص پیوستگی است. از این رو در این مطالعه از معادله ۵ که ترکیب شاخص ضریب زبری سطح توپوگرافی و عامل C است، استفاده شده است. در این تحقیق

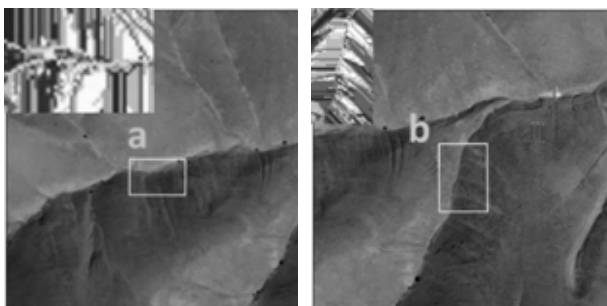
در این راستا مقادیر اندازه‌گیری شده رسوب در کرت‌های فرسایشی استخراج شد و سپس با استفاده از معادله نش، میانگین مربع خطاها، میانگین خطا مطلق (معادلات ۸ تا ۱۰) اقدام به محاسبه میزان خطای نسبی و ضریب کارایی مدل می‌پردازیم.

$$ME = 1 - \frac{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (X_i - \bar{X}_i)^2}{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (X_i - \bar{X}_i)^2} \quad (8)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (X_i - \bar{X}_i)^2}{m}} \quad (9)$$

در این معادله ME؛ ضریب کارایی مدل، X_i میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده رسوب در کرت فرسایش و \bar{X}_i میانگین مقادیر رسوب، \bar{X}_i ؛ مقادیر برآورد شده رسوب‌دهی کرت و \bar{X}_i میانگین مقادیر رسوب توسط شاخص پیوستگی بین i ام در تمام منابع داده‌های رسوب برآورد شده رسوب‌دهی کرت و m تعداد کل داده‌های رسوب می‌باشند. ضریب کارایی برای حوضه‌های شاهد و نمونه به‌طور جداگانه محاسبه شد. در نهایت در صورت اثبات کارایی شاخص پیوستگی برای برآورد رسوب‌دهی حوضه‌های شاهد و نمونه، میزان تولید رسوب در هر واقعه برای هر دو حوضه محاسبه می‌گردد و میزان معناداری اختلاف تولید رسوبی حوضه‌ها از طریق آزمون t-test مورد بررسی قرار می‌گیرد. اگر خروجی t-test بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار بین داده‌های رسوب حوضه‌های شاهد و نمونه بود حاکی از تأثیرگذاری عملیات بیولوژیک در کاهش رسوب است در غیر این صورت نشان از عدم تأثیرگذاری عملیات بیولوژیک در کاهش رسوب خواهد بود.

همان‌طور که در بالا به آن اشاره شد، استفاده تنها از این دو شاخص باعث ایجاد عدم قطعیت در میزان برآوردی شاخص پیوستگی می‌شود که مطابق با معادله ۵ از ترکیب این دو فاکتور استفاده شد. در نهایت مقایسه نقشه‌های شاخص پیوستگی به‌دست‌آمده با بازدیدهای میدانی نشان می‌دهد که شاخص پیوستگی به‌دست‌آمده در این مطالعه از دقت بالایی برخوردار می‌باشد (اشکال ۳ و ۴).



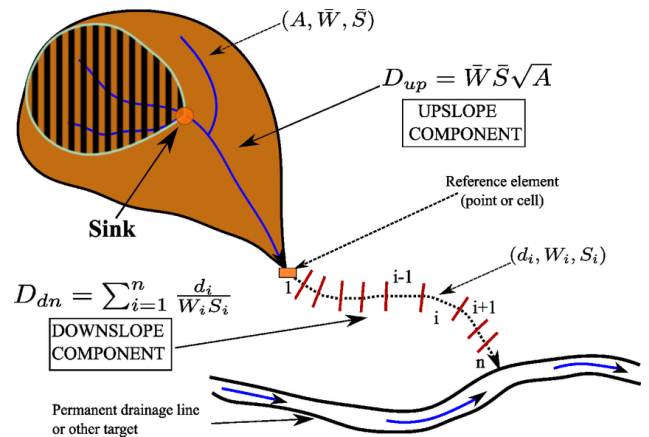
شکل ۳: برداشت‌های میدانی جهت اعتبارسنجی شاخص پیوستگی در حوضه نمونه

شاخص ضریب زبری سطح توپوگرافی از معادله ۴ استخراج می‌شود.

$$w_i = C \cdot R_{ui} \quad (5)$$

در این مطالعه شاخص C مربوط به بازه زمانی وقایع بارش منتخب با استفاده از نقشه NDVI و معادله ۶ به دست آورده می‌شود.

$$C = (1 - 2.1 \times NDVI) + 1 \quad (6)$$



شکل ۲: مفهوم شاخص پیوستگی و نحوه ارتباط اجزای آن [۳]. در این تحقیق سعی شده است تا بتوان تأثیر عملیات بیولوژیک بر روی شاخص پیوستگی مورد بررسی قرار گیرد. در شاخص پیوستگی با استفاده از دو متغیر w_i و d_i می‌توان به بررسی تأثیر عملیات آبخیزداری بر روی میزان تولید رسوب پرداخت [۱۹، ۲۰ و ۳۳]. از سویی دیگر فعالیت آبخیزداری باعث کاهش سرعت جریان و افزایش طول جریان که معیاری از قدرت و فرسایش‌گری جریان است، می‌شود [۱۹، ۲۳ و ۳۲]. از این‌رو نیاز است که تأثیر این عملیات آبخیزداری بر روی متغیر طول جریان در شاخص پیوستگی به‌صورت معادله ۷ اصلاح شود. لازم به ذکر است که در این پژوهش به‌منظور برآورد شاخص طول جریان از نوار ایزار flow length در نرم‌افزار ArcGIS10.7 استفاده شده است:

$$d_i = f(w_i) \quad (7)$$

پس از تهیه نقشه شاخص پیوستگی در دو زیرحوضه شاهد و نمونه، نیاز است که مقادیر شاخص پیوستگی در خروجی هر کرت و در هر واقعه بارش منتخب در هر دو حوضه شاهد و نمونه استخراج شود. در مرحله بعدی به‌منظور برآورد میزان رسوب‌دهی حوضه‌های شاهد و نمونه با استفاده از شاخص پیوستگی، نیاز است که یک ارتباط رگرسیون خطی بین داده‌های شاخص پیوستگی و کرت‌ها (مقادیر شاخص پیوستگی به‌عنوان متغیر مستقل و مقادیر کرت‌ها به‌عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته می‌شود) برقرار شود. البته به این نکته نیز باید اشاره شود که از بخشی از دوره‌های انتخاب‌شده جهت ایجاد این رابطه رگرسیونی استفاده شده است و از مابقی دوره‌ها نیز جهت بررسی و ارزیابی دقت رابطه رگرسیونی استفاده شد.



شکل ۵: نمای کلی در میدان شمالی، شکل راست) جدا شدن محیط کرت توسط ورقه فلزی (منبع: نویسندگان و اداره کل منابع طبیعی استان همدان ۱۳۹۹-۱۴۰۱)

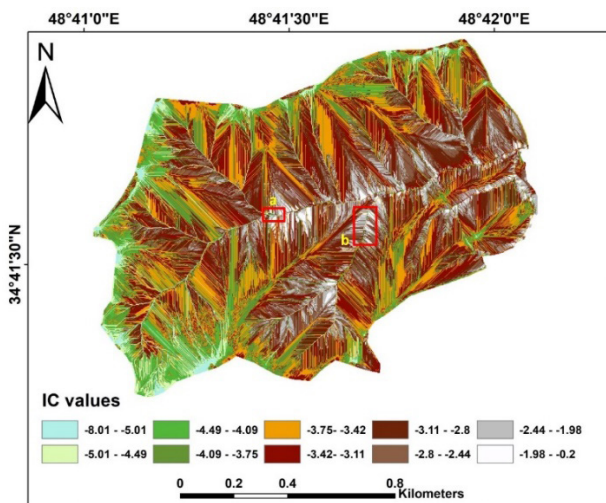


شکل ۶: پوشش گیاهی در کرت‌ها از نوع گراس‌های چندساله و کپه‌ای مانند

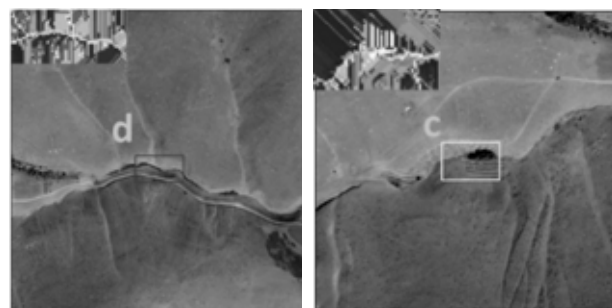
نتایج و بحث

برآورد شاخص پیوستگی در سطح کل حوضه نمونه و شاهد و ارزیابی اولیه دقت آن

قبل از برآورد شاخص پیوستگی در کرت‌ها و برقراری ارتباط آن با میزان رسوب تولیدی در کرت‌ها نیاز است که در ابتدا شاخص پیوستگی در سطح کل حوضه نمونه و شاهد برآورد شود و به ارزیابی اولیه دقت آن با داده‌های مشاهداتی از سطح حوضه پرداخت. نقشه شاخص پیوستگی در حوضه نمونه نشان می‌دهد که میزان شاخص پیوستگی در حوضه نمونه بین دو مقدار $6/96$ - و $0/52$ با میانگین $3/42$ - و انحراف معیار $0/61$ در حال تغییر است (شکل ۸). در حوضه شاهد مقادیر شاخص پیوستگی بین دو مقدار $0/205$ -



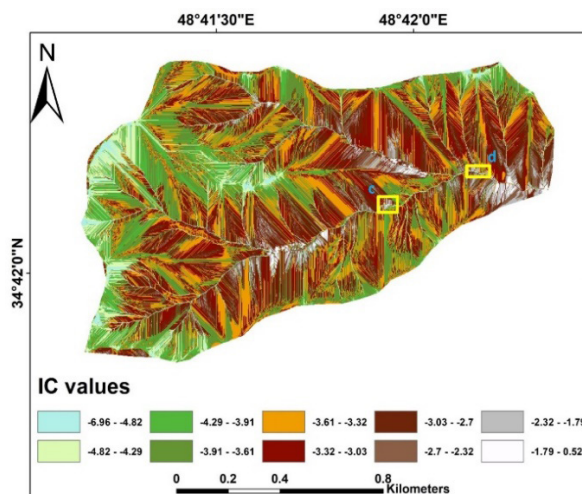
شکل ۸: مقادیر شاخص پیوستگی در زیرحوضه شاهد



شکل ۹: برداشت‌های میدانی جهت اعتبارسنجی شاخص پیوستگی در حوضه شاهد

تعیین شاخص پیوستگی برای هر واقعه بارش منتخب برای حوضه‌های شاهد و نمونه

به‌منظور تعیین شاخص پیوستگی در کرت‌ها ابتدا نیاز است که داده‌های پایه کرت‌ها مانند نقشه ارتفاعی و نقش شاخص پوشش گیاهی تعیین شود و سپس با استفاده از این داده‌ها، شاخص پیوستگی در کرت‌ها همانند مراحلی که برای برآورد شاخص پیوستگی در سطح کل حوضه استفاده شده بود، برآورد گردد. از آنجایی که بیش‌تر متغیرهای شاخص پیوستگی از نقشه ارتفاعی استخراج می‌شوند، بنابراین استخراج دقیق نقشه ارتفاعی کرت‌ها نقش مهمی در برآورد شاخص پیوستگی دارد. در هر میدان فرسایش و رسوب در حوضه‌های نمونه و شاهد، کرت‌ها با یک‌فاصله دو تا سه متری با یک ورقه فلزی با ارتفاع 23 - 30 سانتی‌متری به‌صورت یک واحد هیدرولوژیکی مستقل و مجزا درآمده‌اند (شکل ۵). شکل‌های ۱۱ و ۱۲ نقشه‌های مربوط به طول شبکه زهکشی در کرت‌های میدانی هر سه میدان در حوضه‌های نمونه و شاهد می‌باشد را نشان می‌دهند که برآورد داده‌های پایه کرت‌ها مانند طول کرت با استفاده از نقشه ارتفاعی از دقت بالایی برخوردار می‌باشد.

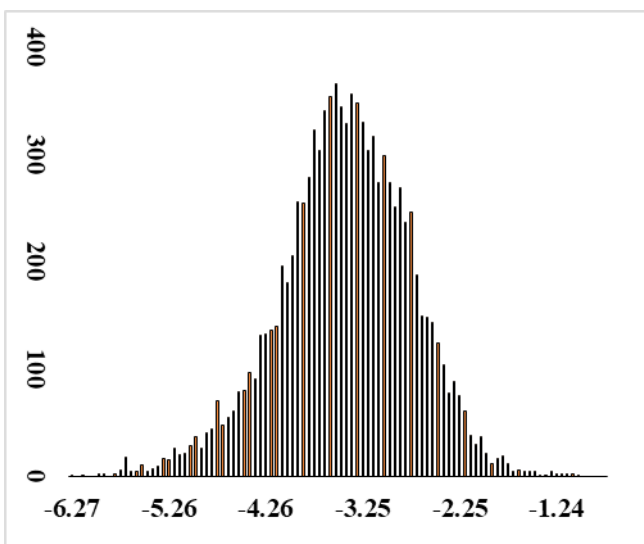


شکل ۷: مقادیر شاخص پیوستگی در زیرحوضه نمونه

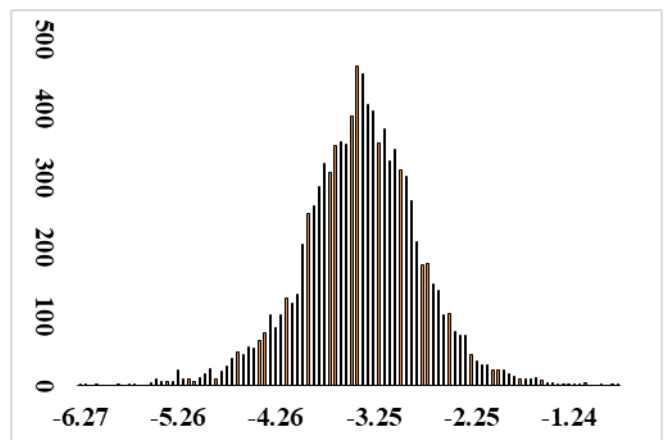
(بالاترین مقدار) و ۸/۰۱۵- (کمترین مقدار) با میانگین ۳/۳۲- و انحراف معیار ۰/۶۸ در حال تغییر می‌باشد (شکل ۸). مقادیر شاخص پیوستگی در این دو حوضه از تابع نرمال تبعیت می‌کند که مقادیر پاشنه این توزیع در سمت راست نشان‌دهنده نواحی تولید رسوب و پاشنه سمت چپ نشان‌دهنده مناطق رسوب‌گذاری می‌باشد. میزان پخی و چولگی در توزیع نرمال نشان‌دهنده تأثیر فعالیت‌های آبخیزداری و نقش عوامل انسانی و یا طبیعی در میزان رسوب‌دهی و رسوب‌گذاری می‌باشد. در حوضه نمونه به دلیل انجام عملیات قرق و بیولوژیکی توزیع فراوانی شاخص پیوستگی آن نسبت به حوضه شاهد از پخی بیش‌تری برخوردار است و هم‌چنین به سمت مناطق رسوب‌گذاری چولگی بیش‌تری دارد (شکل‌های ۹ و ۱۰).

همان‌طور که در قسمت بالا به آن اشاره شد، در این مطالعه برای ارزیابی دقت نقشه شاخص پیوستگی در دو حوضه نمونه

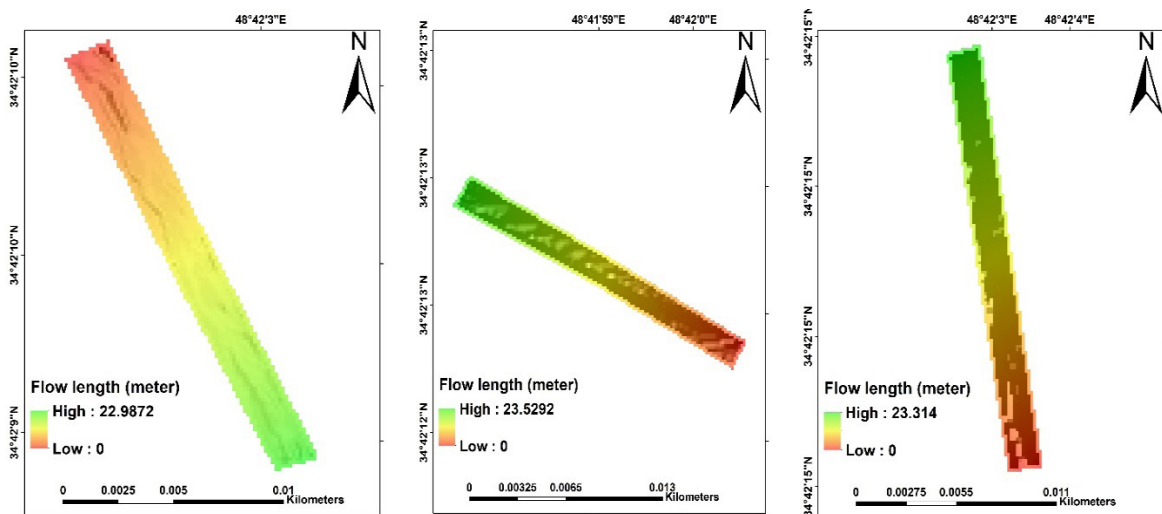
و شاهد از بازدیدهای میدانی استفاده شد. با استفاده از نقشه‌های شاخص پیوستگی و بازدیدهای میدانی می‌توان دریافت که مناطق با بالاترین میزان شاخص پیوستگی در مناطق تلاقی بین دامنه‌ها و شبکه زهکشی قرار گرفته شده است. مناطق تلاقی دامنه‌ها و شبکه زهکشی نقش اساسی در تکامل حوضه و تولید میزان رسوب و آب دارد. از این رو نتایج خروجی این مطالعه با مطالعات زی و همکاران [۴۰]، ویلکینسون و همکاران [۳۹] و سپهری و همکاران [۳۴] هم‌خوانی دارد. در مطالعات شاخص پیوستگی محققین صرفاً یا از ضریب زبری توپوگرافی و یا از عامل پوشش گیاهی برای برآورد ضریب زبری شاخص پیوستگی استفاده می‌کنند. نقشه طول شبکه زهکشی کرت‌های میانی در حوضه شاهد و نمونه به ترتیب در مجموعه شکل‌های ۱۱ و ۱۲ ارائه شده است.



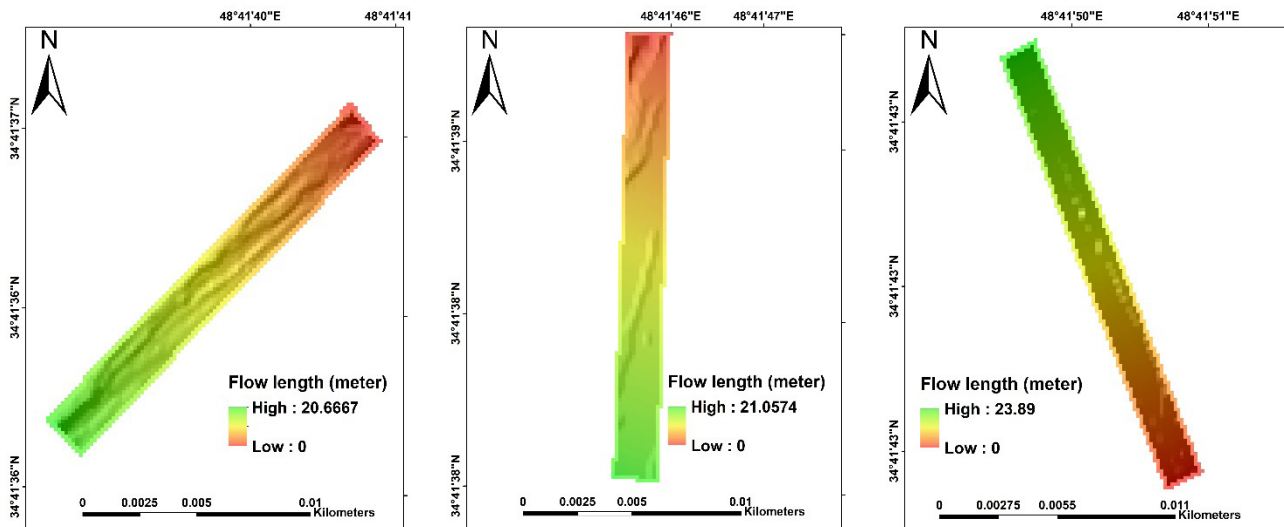
شکل ۱۰: هیستوگرام شاخص پیوستگی در زیرحوضه شاهد



شکل ۹: هیستوگرام شاخص پیوستگی در زیرحوضه نمونه



شکل ۱۱: نقشه طول شبکه زهکشی کرت‌های میانی در حوضه شاهد



شکل ۱۲: نقشه طول شبکه زهکشی کرت‌های میانی در حوضه نمونه

دقت بالا استفاده کنند. پس از تعیین شاخص پیوستگی متناظر با هر دوره بارندگی، دبی رسوب متناظر با آن نیز از اداره کل منابع طبیعی استان همدان تهیه شد. مقادیر شاخص پیوستگی و رسوب متناظر با آن در هر میدان در جدول ۲ ارائه شده است.

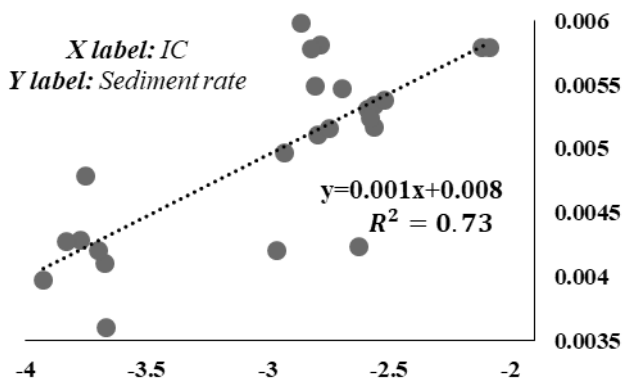
نتایج خروجی این مطالعه نشان داد که نقشه ارتفاعی ۳۰ متر دارای دقت قابل قبولی در تعیین شاخص پیوستگی می‌باشد و از این رو ایشان در مقاله خود به این نتیجه رسیدند که سایر محققین می‌توانند از این دقت برای برآورد شاخص پیوستگی در حوضه‌های کوچک با

جدول ۲: مقادیر شاخص پیوستگی و رسوب متناظر با آن در هر میدان

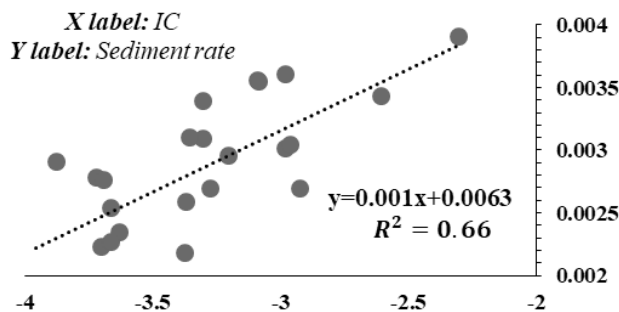
۱۳۹۸/۰۱/۲۱		۱۳۹۷/۰۹/۲۱		۱۳۹۷/۰۲/۰۱		۱۳۹۶/۰۱/۲۸		
رسوب	شاخص پیوستگی (ton/ha)	رسوب	شاخص پیوستگی (ton/ha)	رسوب	شاخص پیوستگی (ton/ha)	رسوب	شاخص پیوستگی (ton/ha)	
۰/۰۰۵	-۳/۷۷۲	۰/۰۰۴	-۳/۶۷۰	۰/۰۰۵	-۳/۷۵۱	۰/۰۰۴	-۲/۹۶۴	شمالی
۰/۰۰۸	-۲/۸۶۱	۰/۰۰۴	-۲/۷۹۴	۰/۰۰۸	-۲/۸۰۴	۰/۰۰۴	-۲/۱۱۴	شرقی <u>شاهد</u>
۰/۰۰۴	-۲/۶۲۴	۰/۰۰۴	-۲/۵۵۸	۰/۰۰۴	-۲/۵۸۹	۰/۰۰۶	-۲/۰۸۳	جنوبی
۰/۰۰۴	-۳/۰۸۶	۰/۰۰۴	-۲/۹۸۱	۰/۰۰۴	-۳/۰۸۹	۰/۰۰۴	-۲/۳۰۶	شمالی
۰/۰۰۳	-۳/۶۹۳	۰/۰۰۳	-۳/۶۶۶	۰/۰۰۳	-۳/۷۲۲	۰/۰۰۳	-۲/۹۲۷	شرقی <u>نمونه</u>
۰/۰۰۲	-۳/۴۳۸	۰/۰۰۳	-۳/۳۰۴	۰/۰۰۲	-۳/۳۷۱	۰/۰۰۱	-۲/۶۰۸	جنوبی
۳۰/۵ mm		۲۴ mm		۳۰/۹ mm		۲۵ mm		مقدار بارش
-----		-----		۰/۰۲۷ mm/hr		۰/۲۰۵ mm/hr		شدت بارش
۱۴۰۰/۰۸/۱۲		۱۴۰۰/۰۲/۳۱		۱۳۹۹/۰۲/۲۰		۱۳۹۸/۰۸/۰۹		
رسوب	شاخص پیوستگی (ton/ha)	رسوب	شاخص پیوستگی (ton/ha)	رسوب	شاخص پیوستگی (ton/ha)	رسوب	شاخص پیوستگی (ton/ha)	
۰/۰۰۴	-۳/۶۶۶	۰/۰۰۶	-۳/۸۲۸	۰/۰۰۶	-۳/۹۲۶	۰/۰۰۶	-۳/۶۹۷	شمالی
۰/۰۰۳	-۲/۷۴۵	۰/۰۰۳	-۲/۸۱۷	۰/۰۰۳	-۲/۹۳۲	۰/۰۰۸	-۲/۷۸۰	شرقی <u>شاهد</u>
۰/۰۰۱	-۲/۵۱۸	۰/۰۰۵	-۲/۵۷۷	۰/۰۰۵	-۲/۶۹۳	۰/۰۰۵	-۲/۵۵۸	جنوبی
۰/۰۰۱	-۲/۹۶۴	۰/۰۰۳	-۳/۲۰۴	۰/۰۰۳	-۳/۳۵۹	۰/۰۰۶	-۲/۹۸۳	شمالی
۰/۰۰۱	-۳/۶۶۳	۰/۰۰۳	-۳/۸۷۹	۰/۰۰۳	-۳/۹۵۹	۰/۰۰۴	-۳/۷۰۱	شرقی <u>نمونه</u>
۰/۰۰۰	-۳/۲۷۶	۰/۰۰۲	-۳/۳۷۳	۰/۰۰۲	-۳/۶۲۹	۰/۰۰۳	-۳/۳۰۳	جنوبی
mm ۱۹		mm ۴۷		۴۵/mm ^۲		۴۷/۷ mm		مقدار بارش
-----		-----		۰/۰۲۴۸mm/hr		۰/mm/hr۰۲۴۴		شدت بارش

جدول ۲: مقادیر شاخص پیوستگی و رسوب متناظر با آن در هر میدان (ادامه)

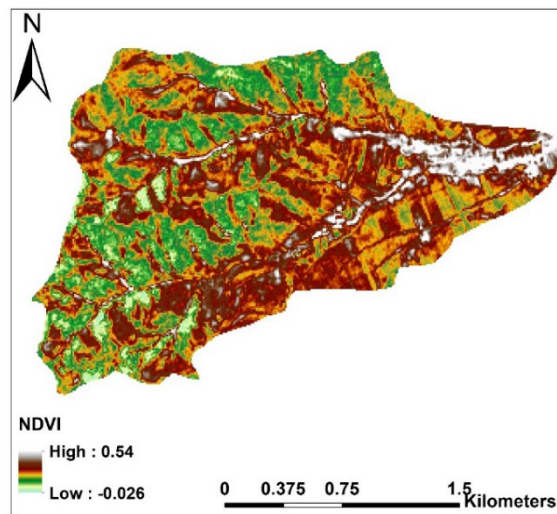
۱۳۹۹/۰۱/۲۴		۱۳۹۶/۰۷/۰۲		۱۴۰۰/۰۸/۲۳		
رسوب (ton/ha)	شاخص پیوستگی	رسوب (ton/ha)	شاخص پیوستگی	رسوب (ton/ha)	شاخص پیوستگی	
۰/۰۰۴	-۴/۳۵۵	۰/۰۰۴	-۳/۷۰۹	۰/۰۰۵	-۳/۶۷۳	شمالی
۰/۰۰۵	-۳/۶۳۱	۰/۰۰۴	-۲/۷۷۵	۰/۰۰۴	-۲/۷۵۹	شرقی <u>شاهد</u>
۰/۰۰۵	-۳/۳۰۴	۰/۰۰۴	-۲/۵۵۱	۰/۰۰۵	-۲/۵۴۳	جنوبی
۰/۰۰۴	-۳/۵۹۱	۰/۰۰۴	-۳/۰۰۶	۰/۰۰۳	-۲/۹۳۵	شمالی
۰/۰۰۴	-۴/۱۴۶	۰/۰۰۲	-۳/۷۳۱	۰/۰۰۳	-۳/۶۶۲	شرقی <u>نمونه</u>
۰/۰۰۳	-۳/۸۵۶	۰/۰۰۴	-۳/۳۰۱	۰/۰۰۴	-۳/۳۱۱	جنوبی
۴۳/۵ mm		۲۴/mm ^۰		۲۸/۴ mm		مقدار بارش
۰/۰۴۷ mm/hr		-----		۰/۰۳۸ mm/hr		شدت بارش



شکل ۱۴: ارتباط بین شاخص پیوستگی و مدار رسوب در حوضه شاهد



شکل ۱۵: ارتباط بین شاخص پیوستگی و مقدار رسوب در حوضه نمونه



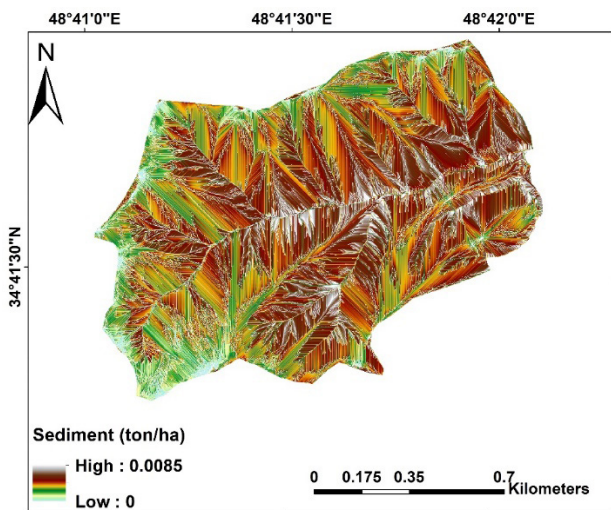
شکل ۱۳: نمونه نقشه NDVI مربوط به دوره بارندگی (۲۰۱۸/۰۴/۰۱)

مقادیر آورده شده در جداول ۲ مربوط به مقادیر میانگین شاخص پیوستگی و رسوب تولیدی در هر میدان (میانگین هر سه تکرار کرت) می باشد.

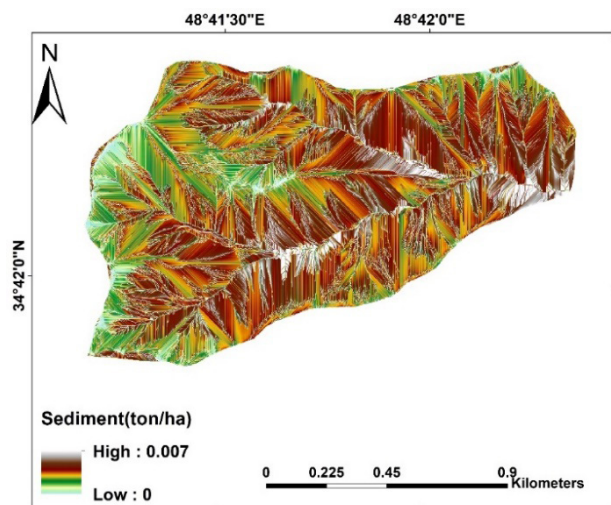
در مدل های آماری و روش های هوش مصنوعی باید این نکته را در نظر گرفت که این مدل ها فاقد عدم توانایی کافی در شبیه سازی مقادیر برون یابی متغیرها می باشند و از سویی این امر باعث بالا رفتن عدم قطعیت آن ها می شود. برای جلوگیری از این امر باید مقادیر اکستریم شاخص ها مورد نظر در برآورد رابطه رگرسیونی و یا تولید اعداد تصادفی در هوش های مصنوعی در بخش آموزش آورده شود. از این رو در این مطالعه سال هایی که دارای بالاترین/کمترین مقدار شاخص پیوستگی و رسوب تولیدی بودند در برقراری رابطه رگرسیونی مورد استفاده قرار گرفتند.

اشکال ۱۴ و ۱۵ به ترتیب رابطه رگرسیونی بین مقادیر شاخص پیوستگی و دبی رسوب را در حوضه های شاهد و نمونه را نشان می دهد. خط برازش شده در حوضه نمونه از معادله $y = 0.001x + 0.0063$ تبعیت می کند (محور طول (: شاخص

پیوستگی، محور عمودی (Y): رسوب تولیدی) که دارای مقدار ضریب همبستگی (R^2) ۶۶ درصد می باشد که نشان می دهد که یک رابطه قابل قبولی بین این دو متغیر وجود دارد. در حوضه شاهد نیز خط برازش شده از معادله خطی $y = 0.001x + 0.008$ تبعیت می کند که با توجه به مقدار ضریب همبستگی ۷۳ درصد، نشان می دهد که خط برازش شده بین مقادیر شاخص پیوستگی و رسوب تولیدی همانند حوضه نمونه از دقت قابل قبولی برخوردار می باشد. با استفاده از معادلات برازش شده در دو حوضه نمونه و شاهد،



شکل ۱۶: برآورد رسوب در حوضه شاهد (۱۴۰۰/۰۸/۱۰)



شکل ۱۷: برآورد رسوب در حوضه نمونه (۱۴۰۰/۰۸/۱۰)

مقادیر رسوب تولیدی سه دوره بارندگی که برای ارزیابی دقت معادلات برازش شده مورد استفاده قرار گرفته بودند، در مقیاس کرت برآورد شد (جدول ۳). در این مرحله نیز مقادیر مربوط به معیارهای ارزیابی میانگین خطا و ریشه میانگین مربعات خطا نشان می‌دهد که مقادیر برآورد شده رسوب تولیدی در این وقایع دارای دقت قابل قبولی می‌باشد.

مقایسه بین مقادیر رسوب تولیدی در حوضه نمونه و شاهد با آزمون t-test نشان می‌دهد که مقدار آماره t بزرگتر از سطح معناداری می‌باشد و این امر نشان‌دهنده تأثیر عملیات بیولوژیک بر روی کاهش مقدار رسوب تولیدی می‌باشد (جدول ۴).

جدول ۴: ارزیابی معنادار بودن دبی‌های رسوب تولیدی در حوضه‌های نمونه و شاهد

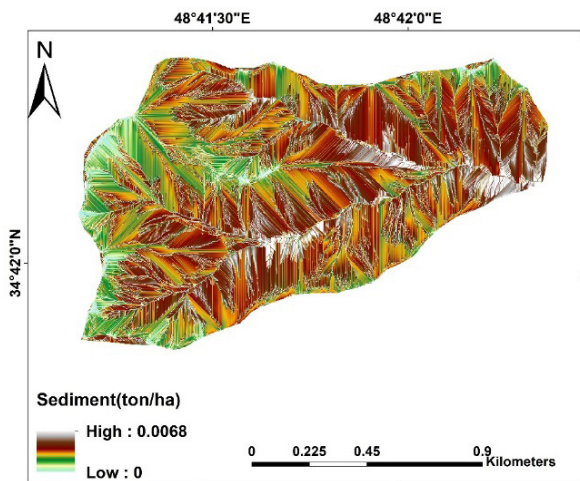
t-Test: Paired Two Sample for Means		
رسوب برآوردی (نمونه)	رسوب برآوردی (شاهد)	
۰/۰۰۲۷۹۵۶۹۸	۰/۰۰۴۷۴۴۳۷۷	میانگین
۱/۵۸۶۸۷E-۰۷	۴/۰۱۵۲۳E-۰۷	واریانس
۹	۹	مشاهداتی
	-۰/۰۰۸۹۰۱۲۲	همبستگی پیرسون
	۰	تفاوت میانگین فرضی
	۸	درجه آزادی
	۷/۷۷۹۴۹۲۰۴۷	مقدار آماره t
	۲/۶۶۸۵۱E-۰۵	مقدار آماره P (تک پاشنه)
	۱/۸۵۹۵۴۸۰۳۸	مقدار بحرانی آماره t (تک پاشنه)
	۵/۳۳۷۰۳E-۰۵	مقدار آماره P (دوپاشنه)
	۲/۳۰۶۰۰۴۱۳۵	مقدار بحرانی آماره t (جفت پاشنه)

با استفاده از روابط تعمیم داده‌شده جهت برآورد رسوب تولیدی در کرت‌های فرسایشی، مقدار رسوب تولیدی در سطح حوضه برای سه دوره بارندگی در قسمت ارزیابی برآورد شد (شکل‌های ۱۶ تا ۲۱). مقادیر متوسط رسوب تولیدی در حوضه‌های نمونه و شاهد در جدول ۵ نشان داده شده است.

جدول ۳: مقایسه مقادیر برآوردی و مشاهداتی تولید رسوب و ارزیابی دقت آن

۱۳۹۹/۰۱/۲۴			۱۳۹۶/۰۷/۰۲			۱۴۰۰/۰۸/۱۰			
رسوب برآوردی	رسوب مشاهداتی	شاخص پیوستگی	رسوب برآوردی	رسوب مشاهداتی	شاخص پیوستگی	رسوب برآوردی	رسوب مشاهداتی	شاخص پیوستگی	
۰/۰۰۴	۰/۰۰۴	-۴/۳۵۵	۰/۰۰۴	۰/۰۰۴	-۳/۷۰۹	۰/۰۰۴	۰/۰۰۵	-۳/۶۷۳	شمالی
۰/۰۰۴	۰/۰۰۴	-۳/۶۳۱	۰/۰۰۵	۰/۰۰۶	-۲/۷۷۵	۰/۰۰۵	۰/۰۰۵	-۲/۷۵۹	شرقی
۰/۰۰۵	۰/۰۰۵	-۳/۳۰۴	۰/۰۰۵	۰/۰۰۵	-۲/۵۵۱	۰/۰۰۵	۰/۰۰۵	-۲/۵۴۳	جنوبی
۰/۰۰۳	۰/۰۰۲	-۳/۵۹۱	۰/۰۰۳	۰/۰۰۳	-۳/۰۰۶	۰/۰۰۳	۰/۰۰۳	-۲/۹۳۵	شمالی
۰/۰۰۲	۰/۰۰۴	-۴/۱۴۶	۰/۰۰۳	۰/۰۰۲	-۳/۷۳۱	۰/۰۰۳	۰/۰۰۳	-۳/۶۶۲	شرقی
۰/۰۰۲	۰/۰۰۳	-۳/۸۵۶	۰/۰۰۳	۰/۰۰۲	-۳/۳۰۱	۰/۰۰۳	۰/۰۰۲	-۳/۳۱۱	جنوبی

MAE = ۰/۶۸۱
RMSE = ۰/۰۰۷



شکل ۲۱: برآورد رسوب در حوضه نمونه (۱۳۹۹/۰۱/۲۴)

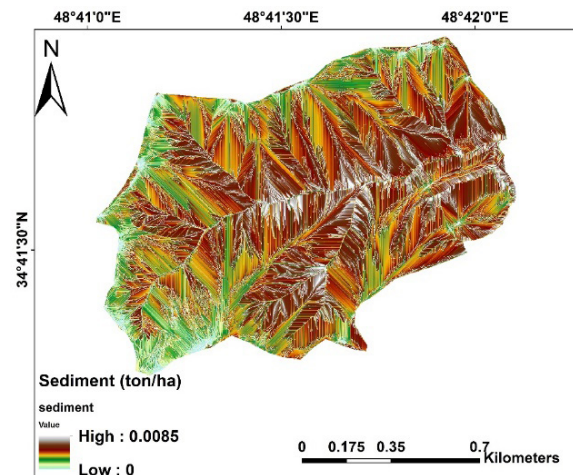
جدول ۵: مقادیر متوسط رسوب تولیدی در سطح حوضه

متوسط رسوب در میدان‌های تخمین متوسط رسوب در سطح حوضه (تن در هکتار)	کرت‌های فرسایشی (تن در هکتار)	تاریخ	نوع
۰/۰۰۵۳	۰/۰۰۴۴	۱۳۹۹/۰۱/۲۴	
۰/۰۰۵۴	۰/۰۰۵۳	۱۳۹۶/۰۷/۰۲	شاهد
۰/۰۰۵۴	۰/۰۰۵۱	۱۴۰۰/۰۸/۱۰	
۰/۰۰۲۸	۰/۰۰۳	۱۳۹۹/۰۱/۲۴	
۰/۰۰۲۹	۰/۰۰۲۲	۱۳۹۶/۰۷/۰۲	نمونه
۰/۰۰۳	۰/۰۰۲۶	۱۴۰۰/۰۸/۱۰	

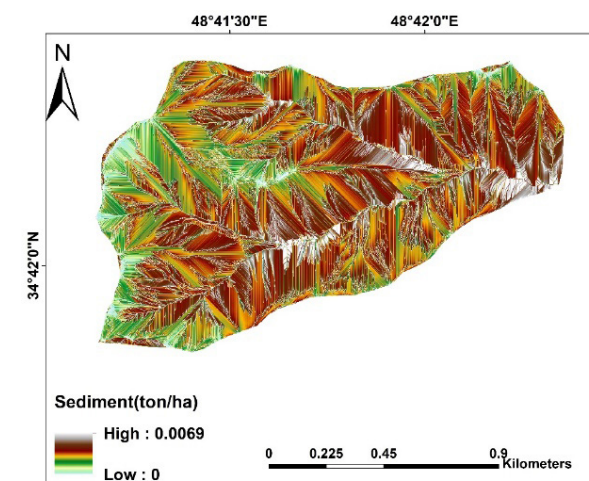
مقادیر جدول ۵ نشان می‌دهد که مقادیر رسوب تولیدی در سطح حوضه با استفاده از روابط رگرسیونی، نزدیک به مقادیر متوسط رسوب تولیدی در کرت‌های فرسایشی می‌باشد؛ اما نکته‌ای را که باید آن را در نظر گرفت این است که روابط رگرسیونی به دست آمده در این مطالعه در مقیاس پلات می‌باشد و برای تعمیم آن در واحد سطح، نیاز است تا مقادیر مشاهداتی بیش‌تری از تولید رسوب در نقاط مختلف جغرافیایی به‌خصوص در مناطق مرزی و نواحی تقابل دامنه‌ها و شبکه زهکشی برداشته شود تا روابط رگرسیونی از دقت بیش‌تری برخوردار باشد.

در خصوص بررسی تأثیر عملیات آبخیزداری بر روی میزان رسوب تولیدی نیز در این مطالعه از منحنی q-q (حالت تعمیم‌یافته t-test) استفاده شد (شکل ۲۲). انحراف موجود در سمت چپ نمودار نیز نشان‌دهنده تأثیر عملیات آبخیزداری بر روی میزان رسوب تولیدی می‌باشد.

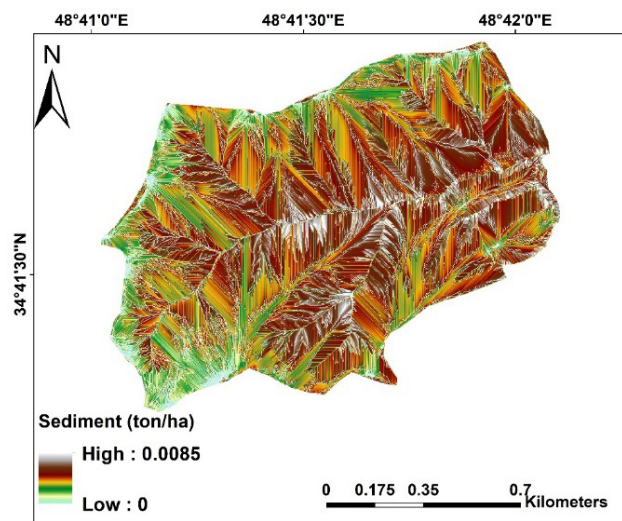
سپهری و همکاران [۳۳] در مطالعه خود به بررسی و مقایسه روش‌های پیشرفته (فراکتال و آنتروپی) و سنتی (شاخص پیوستگی و گرادیان طول شیب) ارزیابی شبکه زهکشی در شناسایی مناطق مستعد تولید رسوب پرداختند. نتایج این مطالعه نشان داد که



شکل ۱۸: برآورد رسوب در حوضه شاهد (۱۳۹۶/۰۷/۰۲)

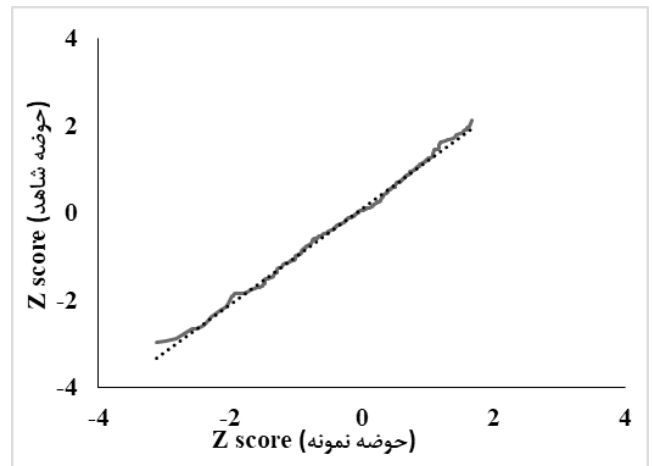


شکل ۱۹: برآورد رسوب در حوضه نمونه (۱۳۹۶/۰۷/۰۲)



شکل ۲۰: برآورد رسوب در حوضه شاهد (۱۳۹۹/۰۱/۲۴)

روش آنتروپی و شاخص پیوستگی از دقت بسیار بالایی نسبت به دو شاخص باقیمانده دیگر در شناسایی مناطق داغ تولید رسوب برخوردار هستند. سینگ و سینها [۳۵] در مطالعه خود نشان دادند که ترکیب شاخص پیوستگی و NDVI می‌تواند به‌عنوان یک ابزار قدرتمند در اختیار محققین قرار گیرد تا به بررسی تغییرات دبی و رسوب در حوضه‌ها بپردازند. لسشن و همکاران [۲۲] با استفاده از شاخص پیوستگی به بررسی حذف تراس‌های کشاورزی در تولید رواناب و رسوب پرداختند و کارایی مناسب این شاخص را استنتاج کردند که با نتایج تحقیق حاضر مطابقت دارد.



شکل ۲۲: نمودار q-q در خصوص بررسی مقایسه رسوب تولیدی (دوره بارندگی ۱۴۰۰/۰۸/۱۰)

نتیجه‌گیری

شاخص پیوستگی که به‌عنوان ارتباط بین خصوصیات بالادست و پایین‌دست حوضه تعریف می‌شود یکی از مهم‌ترین شاخص‌های حوضه می‌باشد که نقش مهمی در مطالعات رواناب و رسوب تولیدی در زیر حوضه‌ها دارد. شاخص پیوستگی کلاسیک که در این مطالعه از آن استفاده شد مجموعه‌ای از پارامترهای فیزیوگرافی و هیدرولوژیکی حوضه از قبیل پوشش گیاهی، مساحت حوضه بالادست هر پیکسل، مقدار میانگین شیب حوضه بالادست و خصوصیات جریان، می‌باشد و این پارامترها نقش اساسی در تولید رواناب/رسوب دارند. در این مطالعه به برقراری ارتباط بین شاخص پیوستگی و میزان رسوب تولیدی در کرت‌های فرسایشی در حوضه زوجی گنبد پرداخته شد و سپس با استفاده از شاخص پیوستگی اقدام به برآورد رسوب تولیدی در کرت‌ها اقدام شد که نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که این شاخص در صورت پیاده‌سازی صحیح آن می‌تواند از آن برای برآورد رسوب تولیدی در کرت‌ها و حتی با یک سری از تمهیدات در سطح حوضه اقدام نمود.

ضریب زبری در شاخص پیوستگی به‌عنوان مهم‌ترین پارامتر این شاخص شناخته می‌شود. به‌طور کلی برای برآورد این ضریب محققین صرفاً از داده‌های ضریب زبری توپوگرافی و یا عامل C استفاده

می‌کنند. ضریب زبری توپوگرافی بیش‌تر در حوضه‌های فاقد آمار به‌کاربرده می‌شود. عامل C که معرف عامل پوشش گیاهی می‌باشد. با توجه به این‌که اجرای عملیات بیولوژیک یکی از عوامل مؤثر در تغییر این عامل می‌باشد، از این‌رو این شاخص دارای خاصیت تغییرپذیری در طول زمان می‌باشد و از این‌رو نیز به شاخص پیوستگی کلاسیک خاصیت دینامیکی می‌دهد؛ اما نکته مهمی را که باید به آن توجه کرد این است که سایر عوامل مانند بارش نیز در عملیات بیولوژیک تأثیر دارند. از این‌رو با توجه به معادله کلی شاخص پیوستگی کلاسیک می‌توان گفت که این شاخص برای بررسی تأثیر عملیات بیولوژیک در دوره بازه زمانی کوتاه‌مدت می‌تواند مورداستفاده قرار گیرد.

همان‌طور که قبلاً به آن اشاره شد، شاخص پیوستگی کلاسیک بیش‌تر مبتنی بر خصوصیات فیزیوگرافی حوضه می‌باشد. در حوضه‌های بزرگ با توجه به اینکه سایر عوامل مانند تغییرپذیری بارش نیز بر روی میزان رواناب و رسوب تولیدی تأثیرگذار می‌باشد، از این‌رو استفاده از شاخص کلاسیک در حوضه‌های کوچک می‌تواند دقت خوبی داشته باشد و برای استفاده از آن در حوضه‌های بزرگ نیز باید سایر عوامل را در نظر گرفت.

منابع

1. Anthony, E. J., and Aagaard, T. 2020. The lower shoreface: Morphodynamics and sediment connectivity with the upper shoreface and beach. *Earth-Science Reviews*, 210: 103334.
2. Arabkhedri, M., Heidary, K., and Parsamehr, M. R. 2021. Relationship of sediment yield to connectivity index in small watersheds with similar erosion potentials. *Journal of Soils and Sediments*, 21(7): 2699-2708.
3. Borselli, L., Cassi, P., and Torri, D. 2008. Prolegomena to sediment and flow connectivity in the landscape: a GIS and field numerical assessment. *Catena*, 75(3): 268-277.
4. Bracken, L. J., Turnbull, L., Wainwright, J., and Bogaart, P. 2015. Sediment connectivity: a framework for understanding sediment transfer at multiple scales. *Earth Surface Processes and Landforms*, 40(2): 177-188.
5. Calsamiglia, A., Fortesa, J., García-Comendador, J., Lucas-Borja, M. E., Calvo-Cases, A., and Estrany, J. 2018. Spatial patterns of sediment connectivity in terraced lands: Anthropogenic controls of catchment sensitivity. *Land degradation & development*, 29(4): 1198-1210.

- Hydrological Processes, 34(7): 1558-1574.
15. Heckmann, T., and Schwanghart, W. 2013. Geomorphic coupling and sediment connectivity in an alpine catchment-Exploring sediment cascades using graph theory. *Geomorphology*, 182: 89-103.
16. Heckmann, T., Cavalli, M., Cerdan, O., Foerster, S., Javaux, M., Lode, E., Smetanová, A., Vericat, D., and Brardinoni, F. 2018. Indices of sediment connectivity: opportunities, challenges and limitations. *Earth-Science Reviews*, 187: 77-108.
17. Houben, P. 2008. Scale linkage and contingency effects of field-scale and hillslope-scale controls of long-term soil erosion: Anthropogeomorphic sediment flux in agricultural loess watersheds of Southern Germany. *Geomorphology*, 101(1-2): 172-191.
18. Huang, Y., Wang, J., and Yang, M. 2019. Unexpected sedimentation patterns upstream and downstream of the Three Gorges Reservoir: Future risks. *International journal of sediment research*, 34(2): 108-117.
19. Ildoromi, A.R., Sepehri, M., Malekinezhad, H., Kiani-Harchegani, M., Ghahramani, A., Hosseini, S.Z., and Artimani, M.M. 2019. Application of multi-criteria decision making and GIS for check dam Layout in the Ilanlu Basin, Northwest of Hamadan Province, Iran. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 114: 102803.
20. Llana, M., Vericat, D., Cavalli, M., Crema, S., and Smith, M. 2019. The effects of land use and topographic changes on sediment connectivity in mountain catchments. *Science of the Total Environment*, 660, 899-912.
21. Liu, Y. and Fu, B. 2016. Assessing sedimentological connectivity using WATEM/SEDEM model in a hilly and gully watershed of the Loess Plateau, China. *Ecological Indicators*, 66: 259-268.
22. Lesschen, J.P., Schoorl, J.M. and Cammeraat, L. 2009. Modelling runoff and erosion for a semi-arid catchment using a multi-scale approach based on hydrological connectivity. *Geomorphology*, 109(3-4): 174-183.
23. Mandeng, E.P.B., Bidjeck, L.M.B., Bessa, A.Z.E., Ntomb, Y.D., Wadjou, J.W., Doumo, E. P.E.,
6. Cavalli, M., Trevisani, S., Comiti, F., and Marchi, L. 2013. Geomorphometric assessment of spatial sediment connectivity in small Alpine catchments. *Geomorphology*, 188: 31-41.
7. Chen, J., Xiao, H., Li, Z., Liu, C., Wang, D., Wang, L., and Tang, C. 2019. Threshold effects of vegetation coverage on soil erosion control in small watersheds of the red soil hilly region in China. *Ecological Engineering*, 132, 109-114
8. Chuenchum, P., Xu, M., and Tang, W. 2019. Estimation of soil erosion and sediment yield in the Lancang-Mekong river using the modified revised universal soil loss equation and GIS techniques. *Water*, 12(1): 135.
9. Dai, C., Liu, Y., Wang, T., Li, Z., and Zhou, Y. 2018. Exploring optimal measures to reduce soil erosion and nutrient losses in southern China. *Agricultural Water Management*, 210: 41-48.
10. Eshghizadeh, M., Dastoorani, M.T., and Azimzade, H.R. 2016. The use of LAPSUS model to estimate the runoff and sediment in the Kakhk paired catchment of Gonabad. *Iranian journal of Ecohydrology*, 3(1): 107-119. (In Persian)
11. Eshghizadeh, M., Fazelpoor, M.R., and Ekhtesasi, M.R. 2015. Analysis of analytical Hierarchy process method to Prioritize and determine the most important factors influencing sediment yield in semi-arid region of Iran. *International Journal of Farming and Allied Sciences*, 4(1): 37-49.
12. Estrany, J., Ruiz, M., Calsamiglia, A., Carriquí, M., García-Comendador, J., Nadal, M., Fortesa, J., López-Tarazón, J.A., Medrano, H., and Gago, J. 2019. Sediment connectivity linked to vegetation using UAVs: High-resolution imagery for ecosystem management. *Science of the Total Environment*, 671: 1192-1205.
13. Gay, A., Cerdan, O., Mardhel, V., and Desmet, M. 2016. Application of an index of sediment connectivity in a lowland area. *Journal of Soils and Sediments*, 16(1): 280-293.
14. Haddadchi, A., and Hicks, M. 2020. Understanding the effect of catchment characteristics on suspended sediment dynamics during flood events.

connectivity and its connection to debris flow intensity patterns at different return periods in the Fella River system in northeastern Italy. *Science of the Total Environment*, 658: 1586-1600.

33. Sepehri, M., Malekinezhad, H., Jahanbakhshi, F., Ildoromi, A.R., Chezgi, J., Ghorbanzadeh, O., and Naghipour, E. 2020. Integration of interval rough AHP and fuzzy logic for assessment of flood prone areas at the regional scale. *Acta Geophysica*, 68(2): 477-493.

34. Sepehri, M., Ghahramani, A., Kiani-Harchegani, M., Ildoromi, A.R., Talebi, A., and Rodrigo-Comino, J. 2021. Assessment of drainage network analysis methods to rank sediment yield hotspots. *Hydrological Sciences Journal*, 66(5): 904-918.

35. Singh, M. and Sinha, R. 2019. Evaluating dynamic hydrological connectivity of a floodplain wetland in North Bihar, India using geostatistical methods. *Science of the Total Environment*, 651: 2473-2488.

36. Tangi, M., Bizzi, S., Fryirs, K., and Castelletti, A. 2022. A dynamic, network scale sediment (dis) connectivity model to reconstruct historical sediment transfer and river reach sediment budgets. *Water Resources Research*, 58(2): e2021WR030784.

37. Turnbull, L., and Wainwright, J. 2019. From structure to function: Understanding shrub encroachment in drylands using hydrological and sediment connectivity. *Ecological Indicators*, 98: 608-618.

38. Vigiak, O., Borselli, L., Newham, L., McInnes, J. and Roberts, A. 2012. Comparison of conceptual landscape metrics to define hillslope-scale sediment delivery ratio. *Geomorphology*, 138(1): 74-88.

39. Wilkinson, S.N., Prosser, I.P., Rustomji, P. and Read, A.M. 2009. Modelling and testing spatially distributed sediment budgets to relate erosion processes to sediment yields. *Environmental modelling & software* 24(4): 489-501.

40. Xie, J., Coulthard, T.J. and McLelland, S.J. 2022. Modelling the impact of seismic triggered landslide location on basin sediment yield, dynamics and connectivity. *Geomorphology* 398: 108029.

and Dieudonné, L.B. 2019. Contamination and risk assessment of heavy metals, and uranium of sediments in two watersheds in Abiete-Toko gold district, Southern Cameroon. *Heliyon*, 5(10): e02591.

24. Mayor, Á.G., Bautista, S., Small, E.E., Dixon, M., and Bellot, J. 2008. Measurement of the connectivity of runoff source areas as determined by vegetation pattern and topography: A tool for assessing potential water and soil losses in drylands. *Water Resources Research*, 44(10).

25. Meshram, S.G., Ilderomi, A.R., Sepehri, M., and Santos, C.A.G. 2022. Flood prioritization based on fuzzy best worse multi-criteria decision-making method. *Arabian Journal of Geosciences*, 15(16): 1374.

26. Messenzehl, K., Hoffmann, T., and Dikau, R. 2014. Sediment connectivity in the high-alpine valley of Val Müschauns, Swiss National Park-linking geomorphic field mapping with geomorphometric modelling. *Geomorphology*, 221: 215-229.

27. Mohamadi, S., and Bagheri, R. 2022. Hydrological response of a paired watershed to rainfall storm events in arid region: a study in Dehgin of Hormozgan province, Iran. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-18.

28. Najafi, S., Dragovich, D., Heckmann, T., and Sadeghi, S. H. 2021. Sediment connectivity concepts and approaches. *Catena*, 196: 104880.

29. Nazripouya, H., Meshram, S.G., Bahramloo, R., Sepehri, M., Ali, S.A., Kushwaha, N.L., Kiani-Harchegani, M. and Rodrigo-Comino, J. 2022. Assessment of spatiotemporal changes of the length and starting date seasons in the west of Iran. *Acta geophysica*, 70: 2813-2825.

30. Pereira, H. C. 2019. Policy and practice in the management of tropical watersheds. *Routledge*, 237p.

31. Pompeani, D.P., Hillman, A.L., Finkenbinder, M.S., Bain, D.J., Correa-Metrio, A., Pompeani, K.M., and Abbott, M.B. 2019. The environmental impact of a pre-Columbian city based on geochemical insights from lake sediment cores recovered near Cahokia. *Quaternary Research*, 91(2): 714-728.

32. Schopper, N., Mergili, M., Frigerio, S., Cavalli, M., and Poepl, R. 2019. Analysis of lateral sediment



Abstract

Evaluation of the Effect of Biological Watershed Operations on the Amount of Sediment Production Using Connectivity Index in Hamedan Gonbad Paired Reagent Station

H. Nazaipouya¹, M. Sepehri², R. Bahramloo³, H.R. Peyrovan⁴, S. Parvizi⁵ and E. Asgari⁶

Received: 2022/11/05 Accepted: 2023/03/24

Soil erosion and related problems i.e. sedimentation are associated with significant issues and problems on the environment and agriculture, including economic losses, reduction of water quality, storage capacity of reservoirs and agricultural production, among which watershed activities play a prominent role in reducing the amount of soil erosion and sediment yield. For this purpose, in the present research, the watershed management activities were evaluated on the amount of sediment yield, using the Connectivity Index in the Gonbad paired catchment of Hamadan province. In this regard, firstly, the estimation of the continuity index was conducted in the erosion plots installed in the control and impacted watersheds during the events that led to sediment production. Then, a regression relationship was established between the data of the Connectivity Index and the erosion plots sediment yield using the Connectivity Index in order to estimate the rate of sediment yield of control and impacted watersheds. Finally, the impact of watershed practices on the degree of sediment yield was measured by comparing the estimated sediment in control and impacted areas using the Connectivity Index. The results showed that the average amount of sediment produced in the sample and control sub-basins is 0.003 and 0.005 tons per hectare, respectively, that is, the amount of sediment in the sample sub-basin is 45% less than the control sub-basin, and this difference is due to the effect of watershed management operations in the sample sub-basin.

Keywords: Biological practices, Erosion plot, Soil conservation, Watershed management

1. Watershed Research Department, Hamedan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Hamedan, Iran

2. Watershed Research Department, Hamedan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Hamedan, Iran

3. Graduated PhD of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Yazd University, Yazd, Iran

4. Soil Conservation and Watershed Management Research Institute (SCWMRI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

5. PhD Student of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Yazd University, Yazd, Iran

6. PhD Student of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Yazd University, Yazd, Iran