



وزارت جهاد کشاورزی

سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری



مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کردستان

نشریه فنی

بررسی تأثیر اقدامات آبخیزداری بر شاخص
پیوستگی رسوب اصلاح شده
در آبخیزهای زوجی خامسان استان کردستان

وزارت جهاد کشاورزی
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری
مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کردستان

نشریه فنی:

بررسی تأثیر اقدامات آبخیزداری بر شاخص پیوستگی رسوب اصلاح شده
در آبخیزهای زوجی خامسان استان کردستان

نویسندگان:

امید رحمتی، سید مسعود سلیمان پور، محمود عرب خدری

شماره فروست:

۶۷۲۳۱

وزارت جهاد کشاورزی

سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی

پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کردستان

عنوان اثر: بررسی تأثیر اقدامات آبخیزداری بر شاخص پیوستگی رسوب اصلاح شده در آبخیزهای

زوجی خامسان استان کردستان

نام و نام خانوادگی نویسندگان: امید رحمتی، سید مسعود سلیمان پور، محمود عرب خدری

ویراستار: سعید نبی پی لشکریان

صفحه آرا: عباس صدیق

ناشر: پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

شمارگان: ۱۰ نسخه

تاریخ انتشار: بهار ۱۴۰۴

این اثر در مورخه ۱۴۰۴/۰۲/۰۶ با شماره ۶۷۲۳۱ در مرکز اطلاعات و مدارک علمی کشاورزی به

ثبت رسیده است. حق چاپ محفوظ است. نقل مطلب، تصویرها، جدولها، منحنیها و نمودارها با

ذکر ماخذ، بلامانع است.

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	چکیده
۲	۱- مقدمه
۲	۱-۱- اهمیت بررسی تولید و انتقال رسوب
۲	۱-۲- عوامل مؤثر در تولید رسوب
۳	۱-۳- پیوستگی رسوب
۳	۱-۴- اهمیت و ضرورت پژوهش
۵	۲- پیشینه پژوهش
۵	۲-۱- پژوهشهای داخلی
۷	۲-۲- پژوهشهای خارجی
۹	۲-۳- جمع‌بندی پیشینه پژوهش
۹	۳- معرفی منطقه مورد مطالعه
۱۱	۴- روش پژوهش
۱۱	۴-۱- جمع‌آوری اطلاعات و تهیه نقشه‌های پایه
۱۲	۴-۲- محاسبه شاخص پیوستگی رسوب
۱۴	۴-۳- محاسبه شاخص پیوستگی رسوب اصلاح‌شده
۱۵	۴-۳-۱- شاخص ناهمواری سطح زمین
۱۶	۴-۳-۲- شاخص ظرفیت انتقال رسوب
۱۶	۴-۳-۳- شاخص موقعیت شیب نسبی
۱۸	۴-۳-۵- شاخص توان جریان
۱۹	۴-۳-۶- شاخص نرمال‌شده تفاوت پوشش گیاهی
۱۹	۴-۳-۷- شماره منحنی

۲۰	۵- یافته‌ها
۲۰	۵-۱- نقشه شاخص ناهمواری سطح زمین
۲۱	۵-۲- نقشه شاخص موقعیت شیب نسبی
۲۴	۵-۳- نقشه شاخص ظرفیت انتقال رسوب
۲۵	۵-۴- نقشه شاخص رطوبت توپوگرافی
۲۹	۵-۶- نقشه شماره منحنی
۳۱	۵-۷- نقشه تراکم پوشش گیاهی
۳۴	۵-۸- وضعیت پیوستگی رسوب در زیرحوضه شاهد
۳۵	۵-۹- وضعیت پیوستگی رسوب در زیرحوضه نمونه
۳۶	۵-۱۰- مقایسه وضعیت پیوستگی رسوب در دو زیرحوضه شاهد و نمونه
۳۸	۶- نتیجه‌گیری
۳۸	۷- پیشنهادها
۳۹	سپاسگزاری
۴۰	منابع
۴۴	Abstract

فهرست شکل‌ها

صفحه

عنوان

۱۱	شکل ۱- موقعیت جغرافیایی زیرحوضه‌های نمونه و شاهد در حوزه آبخیز خامسان استان کردستان
۱۳	شکل ۲- مدل مفهومی پیوستگی رسوب و مولفه‌های اثرگذار بر آن
۱۶	شکل ۳- مدل مفهومی شاخص ناهمواری سطح زمین
۱۷	شکل ۴- طبقات موقعیت شیب نسبی و ارتباط آنها با پتانسیل تولید رواناب

- شکل ۵- مدل مفهومی شاخص رطوبت توپوگرافی و ارتباط آن با تراز آب زیرسطحی..... ۱۸
- شکل ۶- نقشه شاخص ناهمواری سطح زمین زیرحوضه شاهد..... ۲۰
- شکل ۷- نقشه شاخص ناهمواری سطح زمین زیرحوضه نمونه..... ۲۱
- شکل ۸- نقشه شاخص موقعیت شیب نسبی زیرحوضه شاهد..... ۲۲
- شکل ۹- نقشه شاخص موقعیت شیب نسبی زیرحوضه نمونه..... ۲۳
- شکل ۱۰- نقشه شاخص ظرفیت انتقال رسوب زیرحوضه شاهد..... ۲۴
- شکل ۱۱- نقشه شاخص ظرفیت انتقال رسوب زیرحوضه نمونه..... ۲۵
- شکل ۱۲- نقشه شاخص رطوبت توپوگرافی زیرحوضه شاهد..... ۲۶
- شکل ۱۳- نقشه شاخص رطوبت توپوگرافی زیرحوضه نمونه..... ۲۷
- شکل ۱۴- نقشه شاخص توان جریان زیرحوضه شاهد..... ۲۸
- شکل ۱۵- نقشه شاخص توان جریان زیرحوضه نمونه..... ۲۹
- شکل ۱۶- بازدید میدانی و نمونه برداری خاک..... ۳۰
- شکل ۱۷- نقشه شماره منحنی زیرحوضه شاهد..... ۳۰
- شکل ۱۸- نقشه شماره منحنی زیرحوضه نمونه..... ۳۱
- شکل ۱۹- نقشه تراکم پوشش گیاهی زیرحوضه شاهد..... ۳۲
- شکل ۲۰- نقشه تراکم پوشش گیاهی زیرحوضه نمونه..... ۳۳
- شکل ۲۱- بازدید از وضعیت پوشش گیاهی زیرحوضه های نمونه و شاهد..... ۳۳
- شکل ۲۲- شاخص پیوستگی رسوب اصلاح شده در زیرحوضه شاهد..... ۳۴
- شکل ۲۳- شاخص پیوستگی رسوب اصلاح شده در زیرحوضه نمونه..... ۳۵
- شکل ۲۴- هیستوگرام فراوانی شاخص پیوستگی رسوب اصلاح شده زیرحوضه شاهد..... ۳۷
- شکل ۲۵- هیستوگرام فراوانی شاخص پیوستگی رسوب اصلاح شده زیرحوضه نمونه..... ۳۷

فهرست جدول ها

عنوان	صفحه
جدول ۱- خصوصیات آماری شاخص پیوستگی رسوب اصلاح شده در زیرحوضه های شاهد و نمونه.....	۳۶

چکیده

آگاهی از فرایند انتقال رسوب در مقیاس وسیع و ارزیابی کارایی اقدامات آبخیزداری و کنترل رسوب برای مدیریت پایدار حوزه‌های آبخیز ضروری است. به این منظور، در این پژوهش، به‌عنوان یک راهکار اجرایی و نوین، "شاخص پیوستگی رسوب اصلاح شده" برای ارزیابی تأثیر اقدامات آبخیزداری شامل بندهای رسوب‌گیر، بانکت و قرق پوشش گیاهی بر پتانسیل شار رسوب آبخیزهای زوجی خامسان واقع در جنوب استان کردستان توسعه داده شد. ابتدا، مدل مفهومی پیوستگی رسوب با به‌کارگیری عوامل توپوگرافی (شاخص موقعیت شیب نسبی و شاخص ناهمواری)، هیدرولوژیکی (شاخص رطوبت توپوگرافی، شماره منحنی، شاخص توان جریان و شاخص ظرفیت انتقال رسوب) و پوشش گیاهی (شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی) توسعه داده شد. پس از تهیه نقشه فاکتورهای محیطی مذکور در آبخیزهای زوجی نمونه و شاهد، عامل وزنی جامع براساس فاکتورهای محیطی در هر دو زیرحوضه محاسبه شد. وضعیت پیوستگی رسوب حوزه‌های آبخیز زوجی نمونه و شاهد، با استفاده از نرم‌افزار SedInConnect مورد بررسی قرار گرفت و نقشه‌های شاخص پیوستگی رسوب برای آبخیزهای زوجی نمونه و شاهد ترسیم شد. الگوی فضایی و توزیع فراوانی شاخص پیوستگی رسوب در دو زیرحوضه نمونه و شاهد با یکدیگر مقایسه شد. نتایج نشان داد که شاخص پیوستگی رسوب عموماً در بخش‌های مختلف زیرحوضه نمونه کمتر از مقدار این شاخص در زیرحوضه شاهد است. تحلیل‌های فنی صورت‌گرفته براساس مقایسه هیستوگرام نقشه‌های شاخص پیوستگی رسوب اصلاح‌شده نشان داد که عملیات آبخیزداری شامل بندهای رسوب‌گیر، بانکت و قرق پوشش گیاهی تأثیر به‌سزایی در فرایند انتقال رسوب دارند.

واژه‌های کلیدی: آبخیزداری، بندهای رسوب‌گیر، شاخص پیوستگی رسوب، کردستان، کنترل

رسوب.

۱- مقدمه

۱-۱- اهمیت بررسی تولید و انتقال رسوب

اثرات تولید رسوب شاید در کوتاه‌مدت چندان چشم‌گیر نباشد؛ اما در بلندمدت محسوس خواهد بود (عرب‌خدری، ۱۳۹۳). از این اثرات می‌توان به گرفتگی نهرها، گل‌آلود شدن آب رودخانه‌ها، کاهش کیفیت آب، انتقال آلاینده‌ها و عناصر مفید خاک، به خطر افتادن سلامت جامعه، تشدید قدرت تخریب جریان رودخانه‌ها، خسارت به تأسیسات پرورش ماهی حاشیه رودخانه‌ها و پرشدن مخازن سدها اشاره کرد (اسمعی و عبداللهی، ۱۳۹۰؛ Duan و همکاران، ۲۰۱۶). تولید رسوب منجر به انتقال مواد موجود در خاک از جمله کربن آلی و نیتروژن می‌شود که این فرایند می‌تواند پیامدهای مختلفی را در محیط زیست به بار آورد (Majumder و همکاران، ۲۰۱۹). اقدامات آبخیزداری آبراهه‌ای از جمله احداث بندهای گابیونی، ملاتی یا خشکه چین یکی از راه‌های نگه‌داشت رسوب بوده که می‌تواند انتقال رسوبات به مخازن سدها و دریاچه‌ها را کاهش دهد (Wang و همکاران، ۲۰۱۴).

۱-۲- عوامل مؤثر در تولید رسوب

میزان رسوب خروجی از آبخیز تابعی از مقدار رواناب است که به‌عنوان پاسخ سامانه حوزه آبخیز به بارش تلقی می‌شود. بررسی دقیق روابط فرایندی بین اجزای مختلف بارندگی، به‌عنوان ورودی به سامانه آبخیز، رواناب به‌عنوان یکی از خروجی‌های اولیه حوزه آبخیز و نهایتاً رسوب خروجی از حوزه آبخیز برای درک شرایط حاکم در سامانه مذکور و مدیریت و برنامه‌ریزی جامع و کامل آن ضروری است. اغلب اندازه‌گیری‌ها و تخمین‌های فرسایش و رسوب حوزه‌های آبخیز دارای عدم قطعیت و خطا هستند که عوامل مختلفی در این امر دخالت دارند (عرب‌خدری، ۱۳۸۴). دخالت‌های انسانی و شرایط تغییر اقلیم از سوی دیگر موجب تشدید فرسایش خاک و انتقال رسوب به اراضی پایین‌دست حوضه‌ها شده که مشکلات متعددی را به‌وجود می‌آورد (بیاتی، ۱۳۸۴؛ علائی‌طالقانی و همکاران،

۱۳۹۲). بنابراین، پدیده تولید رسوب پیچیده‌تر از فرسایش بوده و عوامل زیادی بر روی آن مؤثر است.

ویژگی‌های حوزه آبخیز را می‌توان در چهار گروه شامل خصوصیات اقلیم و رواناب، زمین‌شناسی و خاک‌شناسی، توپوگرافی (ژئومتری)، پوشش گیاهی و کاربری اراضی قرار داد. تولید رسوب، انعکاسی از اهمیت و مقدار فرایندهای فرسایشی و منابع رسوب در قسمت‌های بالادست حوزه آبخیز و چگونگی انتقال و ذخیره رسوب از لحظه حرکت مواد فرسایشی از نقطه جدایی تا خروجی آن است (Borseli و همکاران، ۲۰۰۸).

۳-۱- پیوستگی رسوب

مفهوم پیوستگی رسوب تاکنون در زمینه‌های مختلف مدیریت حوزه‌های آبخیز مورد استفاده قرار گرفته است. پیوستگی رسوب نشان‌دهنده درجه ارتباط بین منابع رسوب و مناطق پایین‌دست حوضه و فرایند انتقال رسوب در سراسر حوزه آبخیز را کنترل می‌کند. شاخص پیوستگی رسوب بیانگر تغییرات مکانی الگوهای پیوستگی در بخش‌های مختلف حوضه است و تخمین مناسبی از مشارکت منابع رسوب و همچنین مسیرهای انتقال رسوب ارائه می‌کند. آگاهی از تفاوت رفتار و واکنش مورفولوژی‌های مختلف به فرایندهای حوزه آبخیز، اطلاعات ارزشمندی را برای مدیریت مؤثر اکوسیستم‌ها از طریق اقدامات حفاظت از خاک و آب که به‌طور کارآمد طراحی شده‌اند، فراهم می‌کند (سلیمان‌پور و همکاران، ۱۴۰۲).

۴-۱- اهمیت و ضرورت پژوهش

فرسایش خاک و تولید رسوب در حوزه‌های آبخیز استان کردستان، شرایط اقتصادی- اجتماعی آبخیزنشینان را تحت تأثیر قرار داده است. فرسایش خاک در استان کردستان موجب ازدست‌رفتن حاصلخیزی زمین در اراضی شیب‌دار شده و رسوب آن باعث پرشدن کانال‌ها، تغییر مورفولوژی رودخانه‌ها، کاهش کیفیت آب رودخانه‌ها، انتقال مواد شیمیایی همراه با رسوبات و درنهایت پرشدن

مخازن سدها شده است. در اثر فرسایش خاک و نبود پوشش گیاهی لازم، ظرفیت نفوذ آن کاهش یافته و در نتیجه آن، نرخ تشکیل رواناب بیشتر شده و سیلاب‌های مهیبی در حوزه‌های آبخیز این استان اتفاق افتاده است که همواره خسارات مالی و تلفات جانی به دنبال داشته است. در برخی موارد، این وقایع منجر به مهاجرت و ناپایداری جامعه روستایی و آبخیزنشینان می‌شود.

به این منظور، آگاهی از فرایند انتقال رسوب در مقیاس وسیع و ارزیابی کارایی اقدامات آبخیزداری و کنترل رسوب برای مدیریت پایدار حوزه‌های آبخیز ضروری است. زیرا اقدامات آبخیزداری موجب کاهش نرخ فرسایش و جلوگیری از انتقال رسوب به اراضی پایین‌دست حوزه آبخیز می‌شوند؛ اما تاکنون اقدامات آبخیزداری کشور براساس مفهوم پیوستگی مورد ارزیابی قرار نگرفته است و این امر نوآوری پژوهش را نشان می‌دهد. از سویی دیگر، وضعیت توان جریان، پوشش گیاهی، توپوگرافی و کاربری اراضی در محاسبه شاخص پیوستگی رسوب، به صورت جامع حتی در تحقیقات دیگر کشورها نیز مدنظر قرار نگرفته است.

همچنین نکته مهم آن است که تاکنون مطالعات جامعی برای توسعه معادله پیوستگی رسوب و همچنین استفاده از آن برای ارزیابی تأثیر اقدامات آبخیزداری بر پیوستگی رسوب در کشور انجام نگرفته است. نبود ایستگاه اندازه‌گیری رسوب در بسیاری از حوضه‌ها، خلاء تحقیقاتی بوده و اجرای این مهم، برای ارزیابی وضعیت پیوستگی رسوب حوضه‌های فاقد آمار، بسیار ضروری است. بنابراین، اجرای یک تحقیق با هدف توجه به عوامل اثرگذار بر شار رسوب و استفاده از آن‌ها در توسعه معادله پیوستگی رسوب ضروری است. به این سبب، این پژوهش با توجه به دستیابی به این موارد، انجام شد. نتایج این پژوهش شرایط را برای درک صحیح تأثیر اقدامات آبخیزداری (به‌ویژه بندهای رسوب‌گیر) بر پیوستگی رسوب فراهم می‌کند. همچنین، به دلیل هزینه‌بر بودن نصب ادوات اندازه‌گیری رسوب و نمونه‌برداری‌های پیوسته، با الگوبرداری از روش این پژوهش، به راحتی می‌توان در حوزه‌های آبخیز فاقد آمار، نسبت به ارزیابی اثرات اقدامات آبخیزداری بر پیوستگی رسوب، اقدام کرد.

۲- پیشینه پژوهش

۲-۱- پژوهش‌های داخلی

رستمی‌زاده و همکاران (۱۳۸۶) فرآیندهای مؤثر در پیوستگی رسوبی و تغییرات بافتی در رسوبات رودخانه‌ای حوزه آبریز بیدواز- شرق اسفراین را شناسایی کردند. نتایج ایشان نشان داد که قسمت اعظم رسوبات از ذرات درشت‌تر از ۴- فی تشکیل شده است. همچنین فرآیند جورشدگی انتخابی که به اندازه ذرات وابسته می‌باشد باعث افزایش جورشدگی در بالادست شده است. عزیززاده و همکاران (۱۳۹۵) پیوستگی‌های رسوبی در طول رودخانه کشف رود را بررسی کردند. نتایج ایشان نشان داد که در طول مسیر تعداد متعددی پیوستگی و ناپیوستگی رسوبی تشخیص داده شد. همچنین، در این حوضه جورشدگی هیدرولیکی در مقایسه با سایش در ریزشوندگی ذرات به سمت پایین‌دست، نقش مؤثرتری داشت.

رفیق‌دوست و همکاران (۱۳۹۶) ارتباط میان رخساره‌ها و پیوستگی رسوبی در رسوبات حوزه آبخیز تلخاب (غرب استان ایلام) را بررسی کردند. به‌منظور بررسی تغییرات اندازه ذرات و عوامل مؤثر در ریزشوندگی در این رودخانه، تعداد ۷۰ نمونه رسوب از کانال اصلی رودخانه برداشت و آنالیز شد و براساس آن پیوستگی‌های رسوبی به‌سمت پایین‌دست تشخیص داده شد. یافته‌های این پژوهش نشان داد عواملی مانند: ورود شاخه‌های فرعی، افزایش شیب بستر، نمایان شدن سنگ بستر، تغییر در سنگ‌شناسی واحدهای زمین‌شناسی و فعالیت‌های ساختمانی همچون وجود گسل در مسیر رودخانه توانسته‌اند نقش مهمی در ایجاد ناپیوستگی در رسوبات این رودخانه داشته باشند. نجفی و همکاران (۱۳۹۶) تغییرات زمانی و مکانی الگوی اتصال ساختاری رسوب در حوزه آبخیز تهم‌چای زنجان را بررسی کردند. بر اساس نقشه‌های حاصل، مناطق غربی، جنوب غربی و شمال- غربی، اتصال ساختاری بیش‌تری نسبت به بخش‌های دیگر حوزه‌ی آبخیز داشتند. از نظر مکانی نیز

تفاوت خالص مقادیر شاخص اتصال رسوبی بین دو سال ۲۰۰۱ و ۲۰۱۴ با محدوده‌ی تغییرات ۰/۹ در عموم قسمت‌های حوزه آبخیز منجر به کاهش اتصال ساختاری رسوب از نظر مکانی شده است.

نجفی و همکاران (۱۳۹۷) به تحلیل الگوی پیوستگی رسوب در حوزه آبخیز تهم زنگان پرداختند. نتایج ایشان نشان داد که ۳۲ درصد حوزه آبخیز اتصال ساختاری بالایی دارد که عمدتاً در بخش‌های غربی آبخیز تمرکز دارند. ایشان پیشنهاد داده‌اند که باتوجه به محاسبه سریع، هزینه کم، استفاده از داده‌های زودیافت و کارایی مفهوم پیوستگی رسوب در تعیین اولیه منابع رسوبی، این شاخص عامل بسیار مفیدی در مدیریت رسوب حوزه‌های آبخیز در ایران باشد.

ذرتی‌پور و حیدری (۱۴۰۰) مفهوم مدل شاخص اتصال رسوب را تشریح کردند. بررسی تحقیقات مختلفی که ایشان بررسی کردند نشان داد در مورد شاخص اتصال رسوب، به‌رغم پیشرفت‌های گسترده در سال‌های اخیر همچنان فقدان یک چارچوب جامع جهت دستیابی به یک درک یکسان از عملکرد و رفتار رسوب و فرایندهای مختلف مرتبط در آن احساس می‌شود. ایشان اعلام کردند لازم است مطالعات گسترده‌ای در مقیاس‌های مختلف زمانی و مکانی صورت پذیرد.

Arabkhedri و همکاران (۲۰۲۱) رابطه بین تولید رسوب ویژه و شاخص پیوستگی رسوب را در یازده حوزه آبخیز کوچک استان گلستان که پتانسیل فرسایش یکسانی دارند مورد پژوهش قرار دادند. عامل پوشش گیاهی (C)، معادله جهانی فرسایش خاک به‌عنوان عامل مقاومت در برابر حرکت رسوب (عامل وزنی W) انتخاب شد. در ادامه، اثر قدرت تفکیک مکانی مدل رقومی ارتفاع بر میزان کارایی شاخص پیوستگی رسوب از طریق همبستگی مکانی با شاخص پیوستگی میدانی ارزیابی شد. نتایج نشان داد که در مواقعی که اطلاعاتی از میزان تولید رسوب در دسترس نیست، شاخص پیوستگی رسوب می‌تواند اطلاعات مفیدی از فرایند انتقال رسوب حوزه آبخیز ارائه دهد.

سلیمان‌پور و همکاران (۱۴۰۲) اقدام به ارزیابی و اصلاح شاخص پیوستگی رسوب برای کاربرد در حوزه آبخیز نی‌ریز استان فارس کردند. یافته‌های ایشان نشان داد استفاده از شاخص پیوستگی- رسوب مبتنی بر فرسایش‌پذیری واحدهای سنگ‌شناسی، از دقت بالاتری نسبت به شاخص‌های دیگر

برخوردار بود و استفاده از آن در حوزه‌های آبخیز هموار توصیه شد. همچنین ایشان برای افزایش صحت نقشه شاخص پیوستگی رسوب، پیشنهاد کردند نسبت به قدرت تفکیک مکانی بهتر و بیشتر لایه‌های مورد استفاده از جمله نقشه سنگ‌شناسی اقدام شود.

۲-۲- پژوهش‌های خارجی

López-Vicente و همکاران (۲۰۱۳) به بررسی پیش‌بینی پیوستگی رواناب و رسوب و فرسایش خاک توسط آب برای سناریوهای مختلف استفاده از زمین در کوهپایه‌های Pre-Pyrenees اسپانیا پرداخته‌اند. در مطالعه ایشان شاخص پیوستگی Borselli و همچنین مدل اصلاح‌شده مورگان، مورگان و فینی (RMMF) برای پیش‌بینی پیوستگی هیدرولوژیکی و میزان فرسایش خاک تحت چهار سناریوی مختلف استفاده از زمین و متروکه شدن زمین مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج نشان داد که شاخص پیوستگی در کانال‌های آبیاری و دیواره‌های تراس‌های کشاورزی برای سناریوهای گذشته و حال بسیار زیاد است. پیوستگی رواناب و رسوب حوزه آبخیز از دامنه تپه به دریاچه با افزایش پوشش گیاهی و کاهش تعداد چشم‌اندازها، کاهش یافته است.

Mekonnen و همکاران (۲۰۱۷) به بررسی کاهش پیوستگی رسوبات از طریق چاهک‌های رسوبی ساخته شده توسط بشر در حوزه آبخیز Minizr در شمال غربی اتیوپی پرداخته‌اند. در این پژوهش، سازه‌های حفاظت از خاک و آب مصنوعی و چاهک‌های رسوبی طبیعی دیجیتالی شده است. طبق نتایج به دست آمده، چاهک‌های رسوبی مصنوعی و طبیعی نقش مهمی در به دام انداختن رسوبات دارند و ۳۸٪ رسوبات را به دام انداختند، در حالی که ۶۲٪ از رسوبات حوضه به بیرون منتقل شده است. ایشان نتیجه گرفتند اقدامات بیشتری برای تصفیه حوضه با رویکرد به دام انداختن رسوبات در مقیاس حوضه مورد نیاز است تا به کاهش انتقال رسوبات به مخزن کمک کند.

Calsamiglia و همکاران (۲۰۱۸) الگوهای مکانی پیوستگی رسوب در زمین‌های مرتفع در یک حوزه آبخیز مدیترانه‌ای کوچک را مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند طبق نتایج به دست آمده،

شناسایی متصل‌ترین مسیرها در آسیب‌پذیرترین ساختارها در یک تجزیه و تحلیل یکپارچه می‌تواند یک استراتژی مقرون به صرفه برای ایجاد مناطق اولویت‌دار برای مدیریت زمین‌های مرتفع باشد.

Zarfl و Lucía (۲۰۱۸) پیوستگی بین فرسایش خاک و به‌دام‌افتادن رسوبات در رودخانه‌ها و مخازن آب را مورد تحلیل و بررسی قرار دادند. هدف از این مطالعه ارائه مروری بر روابط بین فرسایش خاک و به‌دام‌افتادن رسوب در مخازن (مخازن سالانه ۱٪ ظرفیت خود را از دست می‌دهند)، عوامل محرکی که بر فرایندهای مرتبط تأثیر می‌گذارند و رویکردهای مختلف برای مدیریت مخزن برای کاهش خسارات در پایین‌دست بود.

Estrany و همکاران (۲۰۱۹) به مطالعه ارتباط پیوستگی رسوبات با پوشش گیاهی در Mallorca اسپانیا پرداختند. آنان اعلام کردند ایجاد این رابطه محلی بین پیوستگی رسوبات و الگوهای پوشش گیاهی از طریق روش‌های جدید و میان رشته‌ای نشان‌دهنده یک استراتژی جدید برای ارزیابی پویایی و مدیریت اکوسیستم است.

Kharismalatri و همکاران (۲۰۱۹) فاکتورهای کنترل‌کننده پیوستگی رسوب در زمین‌لغزش در مقیاس فلوام را مورد بررسی قرار دادند. در این پژوهش، با تقسیم فلوام به دو بخش که یکی از آنها نشان‌دهنده گل‌آلودگی و دیگری کانال اصلی بود، انتقال رسوب با ترکیب عوامل توپوگرافیک محاسبه شد. همچنین، تفاوت‌های توانایی انتقال رسوب دریافت شده از لیتولوژی‌های مختلف بررسی شد که نشان‌دهنده تفاوت آنها بود. در نهایت شاخص پیوستگی رسوب نشان داد که آستانه‌ای بین وقوع زمین‌لغزش و جریان واریزه‌ای با شرایط توپوگرافی و مقدار آب و نوع رسوب وجود دارد.

Zhao و همکاران (۲۰۲۰) پیوستگی رسوبات و فرسایش خاک توسط آب در حوزه آبخیز Yanhe چین را مورد ارزیابی قرار دادند. در این مطالعه برای برآورد میزان رسوبات، از شاخص پیوستگی (IC) استفاده شد. یافته‌ها نشان داد بار رسوب اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده با

یکدیگر مطابقت دارند. همچنین کاهش ۶۰/۷ درصدی بار رسوبات به تغییرات کاربری زمین نسبت داده شد.

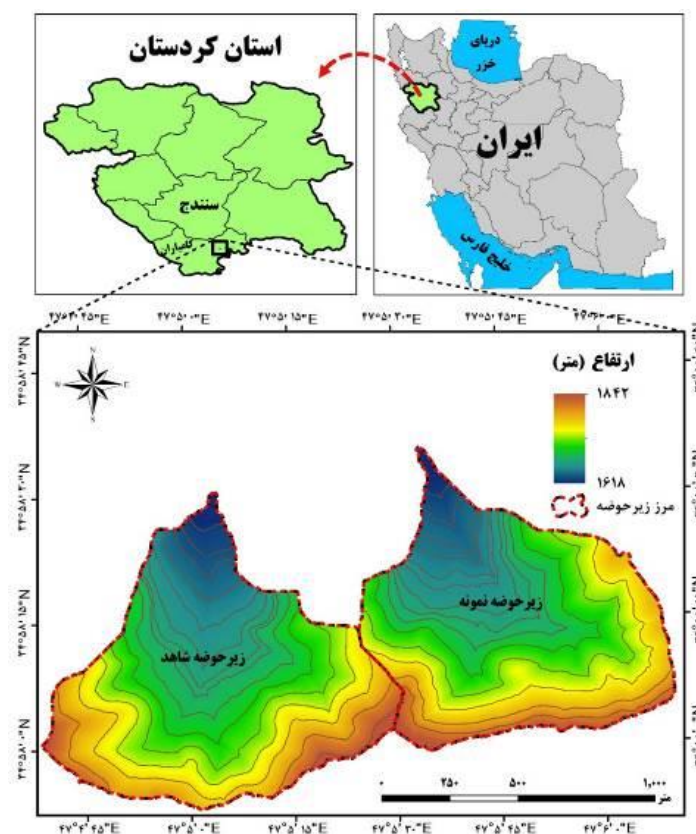
۳-۲- جمع‌بندی پیشینه پژوهش

براساس مرور منابع انجام‌شده می‌توان بیان داشت که تاکنون از مفهوم پیوستگی رسوب، برای ارزیابی اقدامات آبخیزداری استفاده نشده است. روش‌های مورد استفاده در گذشته غالباً به مقایسه جریان هیدرولوژیکی خروجی حوزه‌های آبخیز قبل و بعد از اجرای عملیات پرداخته‌اند؛ زیرا اندازه‌گیری مستقیم رسوب در زیرحوضه‌های نمونه و شاهد دشوار بوده و معمولاً در ایستگاه‌های هیدرومتری تنها بار معلق مورد بررسی قرار می‌گیرد. بنابراین، چشم‌پوشی از بار کف و همچنین نبود ایستگاه هیدرومتری در تمام حوزه‌های آبخیز، ارزیابی اثرات اقدامات آبخیزداری و فعالیت‌های انسانی بر روند انتقال رسوب حوزه‌های آبخیز مقداری دشوار است.

۳- معرفی منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز خامسان با مساحتی بالغ بر ۴۱۹۳ هکتار در حد واسط طول‌های جغرافیایی ۴۷ درجه و ۴ دقیقه تا ۴۷ درجه و ۱۰ دقیقه شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۳۴ درجه و ۵۷ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۱ دقیقه شمالی و در بالادست سد گاوشان، در جنوب استان کردستان قرار دارد (شکل ۱). شیب متوسط این حوزه آبخیز، ۱۸ درصد و حداقل و حداکثر ارتفاع آن به ترتیب ۱۵۷۶ و ۲۳۸۵ متر بالاتر از سطح آزاد دریا است. میانگین بارندگی این حوزه آبخیز حدوداً ۴۷۰ میلی‌متر است که توزیع زمانی آن غالباً از آبان ماه تا اردیبهشت ماه ادامه دارد (محمدی و همکاران، ۱۳۹۴). متوسط دمای سالانه ۱۳/۵ درجه سانتی‌گراد بوده که گرم‌ترین و سردترین ماه‌های سال به ترتیب مرداد و بهمن گزارش شده‌اند. حداکثر دبی سالانه در حوزه‌های آبخیز شاهد و نمونه به ترتیب ۱/۱۳ و ۱/۲۳ مترمکعب بر ثانیه گزارش شده است. مجموع آبدهی سالیانه این حوزه آبخیز حدود هشت میلیون

مترمکعب است. تبخیر و تعرق واقعی حوزه‌های آبخیز معرف، زیرحوضه شاهد و زیرحوضه نمونه به- ترتیب ۳۴۱، ۳۴۳ و ۳۴۵ میلی‌متر ثبت شده است. قسمت اعظم کاربری اراضی آن مرتعی است و در برخی قسمت‌های حوزه (غالباً نزدیک روستاها)، اراضی زراعی نیز وجود دارند. در مراتع این حوزه آبخیز دو تیپ گیاهی عمده شامل *Astragalus-Festuca* و *Astragalus-Euphorbia* شناسایی شده است. وضعیت تاج پوشش گیاهان در این حوزه آبخیز حدود ۳۰ تا ۳۵ درصد بوده و وضعیت مراتع خیلی ضعیف گزارش شده است. جنس خاک منطقه غالباً آنتی‌سول تکامل نیافته و این‌سپتی-سول دارای افق‌های تجزیه شده است. بافت خاک غالب منطقه را لوم رسی و لوم رسی سیلتی تشکیل داده است (خالق‌پناه و همکاران، ۱۳۹۶). از مهمترین مناطق مسکونی روستایی حوزه می-توان به خامسان، سنگ‌سفید و چال‌آباد اشاره کرد. معادن برداشت شن و ماسه نیز در این حوزه آبخیز فعالیت دارند. در محل خروجی حوزه آبخیز خامسان (ورودی دریاچه سد گاوشان)، ایستگاه هیدرومتری وجود دارد که اطلاعات جریان و رسوب کل حوضه را ثبت می‌کند. حوضه معرف خامسان دارای دو زیرحوضه زوجی (نمونه و شاهد) است که مساحت آن‌ها به ترتیب ۶۹ و ۹۰ هکتار هستند و در بین آن‌ها یک ایستگاه باران‌سنجی قرار دارد و دیگر پارامترهای هواشناسی در ایستگاه هواشناسی داخل حوضه معرف اندازه‌گیری می‌شود.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی زیر حوضه‌های نمونه و شاهد در حوزه آبخیز خامسان استان کردستان

۴- روش پژوهش

۴-۱- جمع‌آوری اطلاعات و تهیه نقشه‌های پایه

از آنجایی که انتقال رسوب در مقیاس حوزه آبخیز بسیار پیچیده است و عوامل مختلف محیطی در آن تأثیرگذار هستند، در این پژوهش سعی شد از فاکتورهای مختلف محیطی برای محاسبه عامل وزنی پیوستگی رسوب استفاده شود. لایه مدل رقومی ارتفاع دو زیرحوضه نمونه و شاهد از اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان کردستان دریافت شد که در سال ۱۴۰۲ به‌وسیله پهباد و تکنولوژی اسکن لیزری تهیه کرده‌اند و از دقت بسیار بالایی برخوردار است. شایان‌ذکر است لایه مدل رقومی تهیه‌شده در حوضه‌های زوجی خامسان دارای مقیاس ۱:۵۰۰ است و قدرت تفکیک مکانی آن بیست سانتی‌متر است.

۴-۲- محاسبه شاخص پیوستگی رسوب

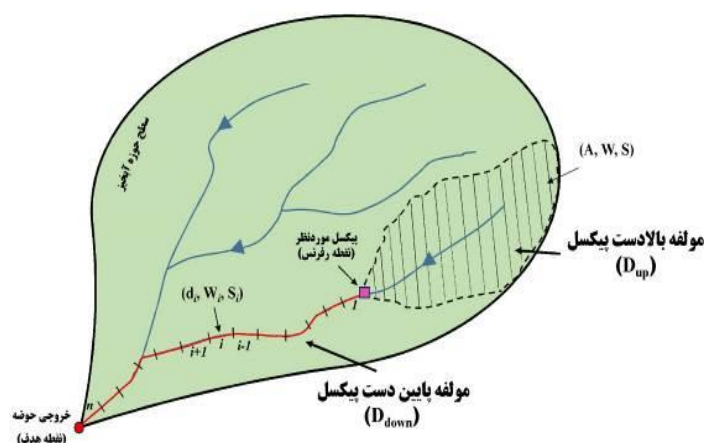
در این پژوهش، شاخص پیوستگی رسوب با در نظر گرفتن خصوصیات بالادست و پایین دست حوزه‌های آبخیز، براساس رابطه زیر محاسبه شد (Borselli و همکاران، ۲۰۰۸) که در آن؛ ISC: شاخص پیوستگی رسوب، Dup: خصوصیات بالادست حوزه آبخیز و Ddn: خصوصیات پایین دست حوزه آبخیز هستند.

$$ISC = \log_{10} \left(\frac{D_{up}}{D_{dn}} \right)$$

هرچه مقدار مؤلفه ISC بالاتر باشد، پیوستگی رسوب حوزه آبخیز بیشتر بوده و رسوبات راحت تر و در زمان کمتری به خروجی حوزه آبخیز می‌رسند. شاخص پیوستگی برای هر پیکسل حوزه آبخیز محاسبه شد. مؤلفه Dup: تعیین کننده پتانسیل انتقال رسوب از مناطق بالادست حوزه آبخیز است و براساس رابطه زیر به دست آمد:

$$D_{up} = \bar{W} \bar{S} \sqrt{A}$$

که پارامترهای $\bar{W}$ و $\bar{S}$: به ترتیب متوسط عامل وزن داده شده و متوسط شیب بالادست حوزه آبخیز هستند. عامل A در معادله شاخص پیوستگی، مساحت بالادست حوزه آبخیز است. هنگامی که شاخص پیوستگی برای یک پیکسل محاسبه می‌شود، عامل A مساحت بالادست آن پیکسل است. عامل وزن داده شده می‌تواند براساس نظر کارشناس انتخاب شود. مفهوم پیوستگی رسوب در شکل ۲، به صورت شماتیک نشان داده شده است.



شکل ۲- مدل مفهومی پیوستگی رسوب و مولفه‌های اثرگذار بر آن

مؤلفه D_{dn} در معادله اصلی پیوستگی رسوب نیز شرایط محیط را برای انتقال رسوب از یک منبع به خروجی (یا مخزن) ارزیابی می‌نماید. مؤلفه D_{dn} با استفاده از رابطه زیر قابل محاسبه است (Heckmann و همکاران، ۲۰۱۸) که در آن؛ d : طول مسیر جریان، W : مقدار عامل وزنی و S : مقدار شیب در پیکسل i است.

$$D_{dn} = \sum \frac{d_i}{W_i S_i}$$

در حالت پیش فرض معادله پیوستگی رسوب، از نقشه شاخص ناهمواری یک حوضه به عنوان عامل وزن داده شده انتخاب شده است و به نام $W_{cavalli}$ شناخته شده است که براساس رابطه زیر قابل محاسبه است که در آن؛ پارامتر RI : مقدار ناهمواری هر پیکسل از حوزه آبخیز است و در نرم افزار SAGA-GIS محاسبه شد.

$$W_{Cavalli} = 1 - \left(\frac{RI}{RI_{max}} \right)$$

پارامتر RI_{max} نیز بیشترین مقدار ناهمواری در مقیاس حوضه است. مقدار پارامتر RI نیز براساس رابطه زیر به دست آمد (Cavalli و Marchi، ۲۰۰۸) که مقدار xi نشان دهنده ارتفاع پیکسل‌های حوضه و

xm: ارتفاع متوسط حوزه آبخیز هستند که در یک فیلتر متحرک ۵×۵ برای محاسبه شاخص ناهمواری مورد استفاده قرار گرفتند.

$$RI = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{25} (x_i - x_m)^2}{25}}$$

۳-۴- محاسبه شاخص پیوستگی رسوب اصلاح شده

در برخی مطالعات، از عوامل مختلفی برای محاسبه لایه $\bar{W}$ استفاده شده است که از آن جمله می‌توان به روش شماره منحنی (SCS) (Kalantari و همکاران، ۲۰۱۷) و ضریب مانینگ (López-Vicente و Ben-Salem، ۲۰۱۹) اشاره کرد. در این پژوهش سعی شد از یک رویکرد تلفیقی به منظور بهبود مفهوم پیوستگی استفاده شود. در شاخص پیوستگی رسوب اصلاح شده، از عوامل محیطی مختلفی برای محاسبه فاکتور وزنی (مقاومت) استفاده شد. این روش، مبتنی بر محاسبه عوامل محیطی مختلف از جمله: شاخص ظرفیت انتقال رسوب، شاخص موقعیت شیب نسبی، شاخص رطوبت توپوگرافی، شاخص توان جریان، شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی و شماره منحنی است که در ادامه تشریح می‌شود.

مؤلفه‌های مذکور، در محاسبه پارامتر $\bar{W}$ دخالت داده می‌شوند. از آنجایی که فاکتور شماره منحنی براساس خصوصیات خاک‌شناسی و کاربری اراضی به دست می‌آید؛ از در نظر گرفتن مجدد آن‌ها در محاسبه فاکتور وزنی $\bar{W}$ خودداری می‌شود. بنابراین، در این پژوهش، پارامتر $\bar{W}$ به صورت جامع‌تری براساس رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\bar{W} = \left[1 - \left(\frac{RI}{RI_{max}} \right) \right] \left(\frac{RSP_i}{RSP_{max}} \right) \left(\frac{STCI_i}{STCI_{max}} \right) \left(\frac{TWI_i}{TWI_{max}} \right) \left(\frac{SPI_i}{SPI_{max}} \right) \left(\frac{CN_i}{CN_{max}} \right) \left[1 - \left(\frac{NDVI_i}{NDVI_{max}} \right) \right]$$

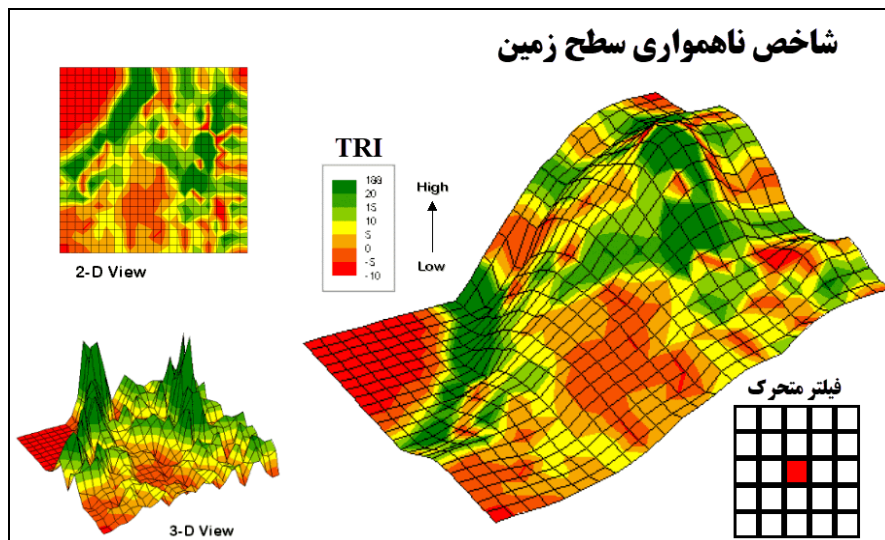
در این رابطه؛ RI: شاخص ناهمواری، STCI: شاخص ظرفیت انتقال رسوب، RSP: شاخص موقعیت شیب نسبی، TWI: شاخص رطوبت توپوگرافی، SPI: شاخص توان جریان، CN: شماره منحنی و NDVI: شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی هستند. عوامل مذکور از مهم‌ترین متغیرهای اثرگذار بر پتانسیل شار رسوب هستند و به کارگیری آن‌ها در توسعه عامل وزنی W امری ضروری و

علمی است. شاخص ناهمواری، شاخص موقعیت شیب نسبی، شاخص رطوبت توپوگرافی و شاخص توان جریان با استفاده از لایه مدل رقومی ارتفاعی (DEM) ساخته می‌شود. لایه مدل رقومی ارتفاعی منطقه مورد مطالعه با استفاده از پهباد و سیستم لیزراسکن توسط شرکت نوآوران علوم مکانی تهیه شده است. لایه شماره منحنی (CN) نیز با استفاده از روش SCS برای منطقه مورد مطالعه براساس کاربری اراضی و گروه‌های هیدرولوژیکی خاک به دست آمد. تعداد ۶۰ نمونه خاک برای تعیین نقشه بافت خاک جمع‌آوری شد. گروه‌های هیدرولوژیک خاک با استفاده از نوع بافت خاک، تخمین زده شد. از آنجایی که فاکتور شماره منحنی براساس وضعیت خاک‌شناسی و کاربری اراضی محاسبه می‌شود؛ از وارد کردن مجدد پارامترهای خاک‌شناسی و کاربری اراضی در تجزیه و تحلیل پیوستگی رسوب خودداری شد.

۱-۳-۴- شاخص ناهمواری سطح زمین

شاخص ناهمواری توصیف‌کننده وضعیت پستی و بلندی عوارض سطح زمین است که براساس رابطه زیر محاسبه شد که در آن؛ x_i و x_m : به ترتیب ارتفاع پیکسل و میانگین ارتفاع پیکسل‌های موجود در پنجره محرک 5×5 هستند. مدل مفهومی محاسبه این شاخص در شکل ۳ نشان داده شده است.

$$RI = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{25} (x_i - x_m)^2}{25}}$$



شکل ۳- مدل مفهومی شاخص ناهمواری سطح زمین

۲-۳-۴- شاخص ظرفیت انتقال رسوب

شاخص ظرفیت انتقال رسوب (STCI) یکی از معیارهای ساده و کاربردی در تعیین نقش نقاط مختلف حوزه آبخیز در فرایند انتقال رسوب است که با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود (Wilson و Moore، ۱۹۹۲) که در آن؛ m : ضریب سطح مشارکت‌کننده رواناب، A_s : مساحت بالادست هر پیکسل، β : درجه شیب و n : ضریب شیب هستند. معمولاً ضرایب m و n به ترتیب $0/4$ و $1/4$ در نظر گرفته می‌شوند (Wilson و Moore، ۱۹۹۲).

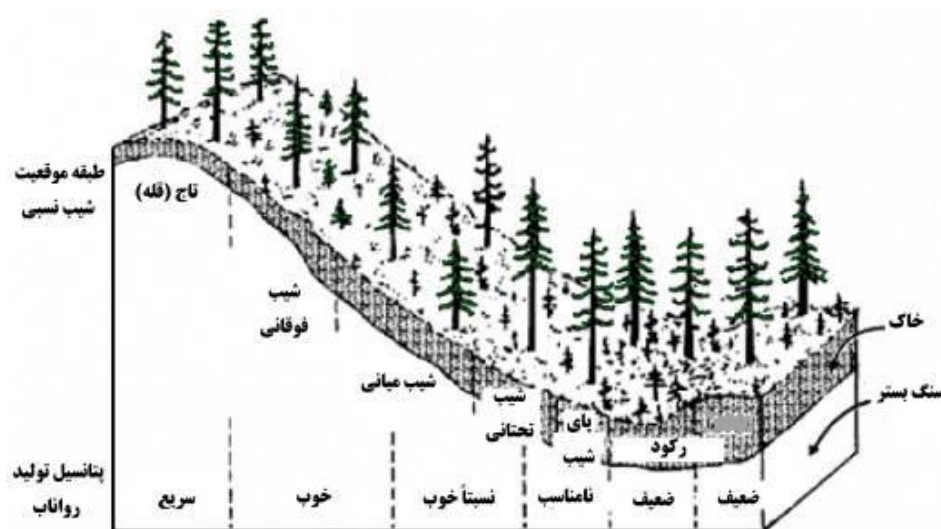
$$STCI = \left(\frac{A_s}{22.13} \right)^m \sin \left(\frac{\beta}{0.0896} \right)^n$$

۳-۳-۴- شاخص موقعیت شیب نسبی

شاخص موقعیت شیب نسبی یکی از متغیرهای مهم در تحلیل‌های ژئومورفومتری سطح زمین است. شاخص موقعیت شیب نسبی با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود که در آن؛ $z(s)$: ارتفاع پیکسل، $z(s)_v$: ارتفاع دره و $z(s)_r$: ارتفاع یال است. همان‌گونه که در شکل ۴ نشان داده شده است، شاخص موقعیت شیب نسبی قادر است سطح زمین را به طبقات مختلف تقسیم‌بندی کند که عبارتند از: تاج^۱ (قله)، شیب فوقانی^۲، شیب میانی^۳، شیب تحتانی^۴، پای شیب^۵ و رکود^۶. همان‌گونه

که در این شکل ملاحظه می‌شود، شاخص موقعیت شیب نسبی قادر است تا وضعیت پتانسیل تولید رواناب را توصیف کند. بنابراین، رفتارهای هیدرولوژیکی مختلفی در هریک از طبقات شاخص موقعیت شیب نسبی متصور می‌شود. از آنجایی که پتانسیل تولید رواناب یکی از عوامل اصلی انتقال رسوب در حوزه آبخیز است، این شاخص می‌تواند اطلاعات مفیدی در خصوص موقعیت قرارگیری هر پیکسل در بخش‌های مختلف سطح زمین، پتانسیل تولید رواناب آن و در نهایت پتانسیل شار رسوب فراهم کند.

$$RSP = \left(\frac{z(s) - z(s)_v}{z(s)_r - z(s)_v} \right) \times 100 + 0.5$$



شکل ۴- طبقات موقعیت شیب نسبی و ارتباط آن‌ها با پتانسیل تولید رواناب

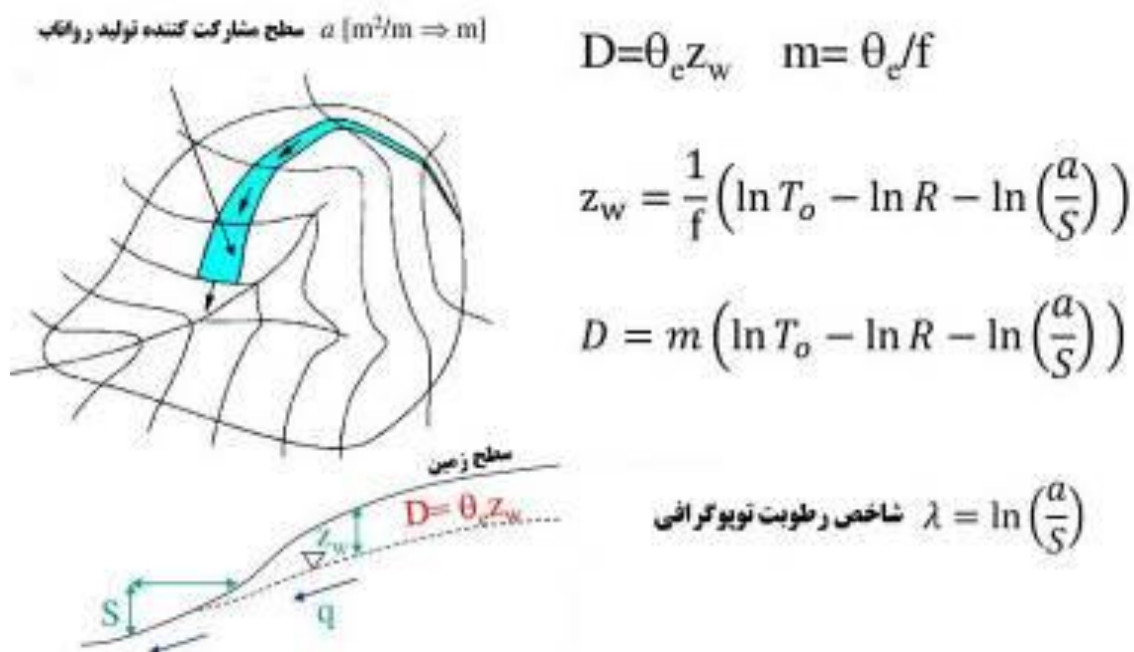
۴-۳-۴- شاخص رطوبت توپوگرافی

شاخص رطوبت توپوگرافی به عنوان یکی از متغیرهای توپوهایدرولوژیکی رایج در بررسی و مطالعه خصوصیات حوزه‌های آبخیز مورد استفاده قرار گرفته است. این شاخص به طور همزمان مؤلفه‌های مختلفی را در نظر گرفته و به همین دلیل یکی از شاخص‌های ثانویه به شمار رفته که اطلاعات جامعی

- 2 Upper slope
- 3 Middle slope
- 4 Lower slope
- 5 Toe slope
- 6 Depression

از سطح حوزه آبخیز فراهم می‌کند. همان‌گونه که در شکل ۵ نشان داده شده است، شاخص رطوبت توپوگرافی ارتباط زیادی با سطح آب زیرزمینی و پتانسیل تولید رواناب دارد. شاخص رطوبت توپوگرافی نیز برطبق معادله زیر به‌دست آمد که در آن؛ As : مساحت بالادست پیکسل و $\tan\beta$: شیب زمین است.

$$TWI = \ln\left(\frac{As}{\tan\beta}\right)$$



شکل ۵- مدل مفهومی شاخص رطوبت توپوگرافی و ارتباط آن با تراز آب زیرسطحی

۵-۳-۴- شاخص توان جریان

شاخص توان جریان نشان‌دهنده میزان انرژی جریان برای حمل مواد است. بنابراین، این شاخص می‌تواند اطلاعات مفیدی برای ارزیابی شار رسوب بخش‌های مختلف حوزه آبخیز فراهم کند. شاخص توان جریان نیز با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد که در آن؛ پارامتر As : مساحت بالادست پیکسل و $\tan\beta$: شیب زمین است.

$$SPI = \ln(As \times \tan\beta)$$

۴-۳-۶- شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی

شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی (NDVI) با استفاده از باندهای ۴ و ۵ در لندست ۸ (سنجنده OLI) و براساس رابطه زیر، محاسبه شد:

$$NDVI = (Band\ 5 - Band\ 4) / (Band\ 5 + Band\ 4)$$

در این پژوهش، شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی (NDVI) برای بررسی وضعیت پوشش گیاهی انتخاب شده و نقشه NDVI با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۸ تولید خواهد شد. قدرت تفکیک مکانی این تصاویر این سنجنده ۳۰ متر است. متأسفانه در تحقیقات گذشته، برای محاسبه شاخص پیوستگی رسوب، از وضعیت پوشش گیاهی صرف نظر شده است. از آنجایی که تنها در زمان های رخداد بارندگی، شار رسوب به اوج خود می رسد، نقشه NDVI مقارن با زمان بارندگی ها و در فروردین ماه تهیه شد.

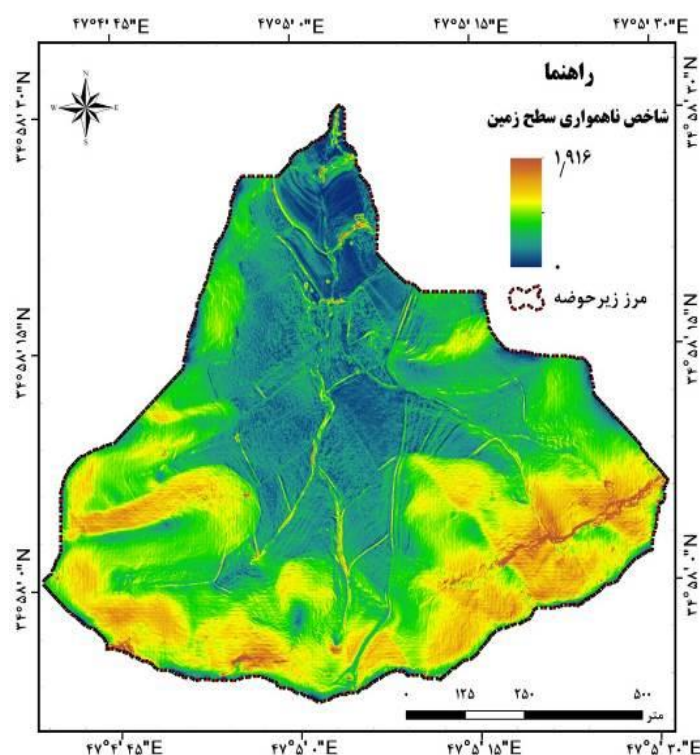
۴-۳-۷- شماره منحنی

شماره منحنی یکی از پرکاربردترین فاکتورهای محیطی مورد استفاده در هیدرولوژی است که بیانگر پتانسیل تولید رواناب سطحی است. مقدار شماره منحنی بین صفر تا صد متغیر است و هرچه مقدار آن بیشتر باشد، پتانسیل تولید رواناب سطحی بیشتر می شود. رایج ترین روش تعیین شماره منحنی استفاده از کاربری اراضی و گروه هیدرولوژیکی خاک است. پس از انجام نمونه برداری خاک از کاربری های اراضی مختلف، بافت خاک تعیین می شود تا وضعیت گروه هیدرولوژیکی مشخص شود. براساس جدول استاندارد تعیین شماره منحنی، براساس دو فاکتور کاربری اراضی و گروه هیدرولوژیکی، شماره منحنی هریک از زیرحوضه های نمونه و شاهد تعیین شد.

۵- یافته‌ها

۵-۱- نقشه شاخص ناهمواری سطح زمین

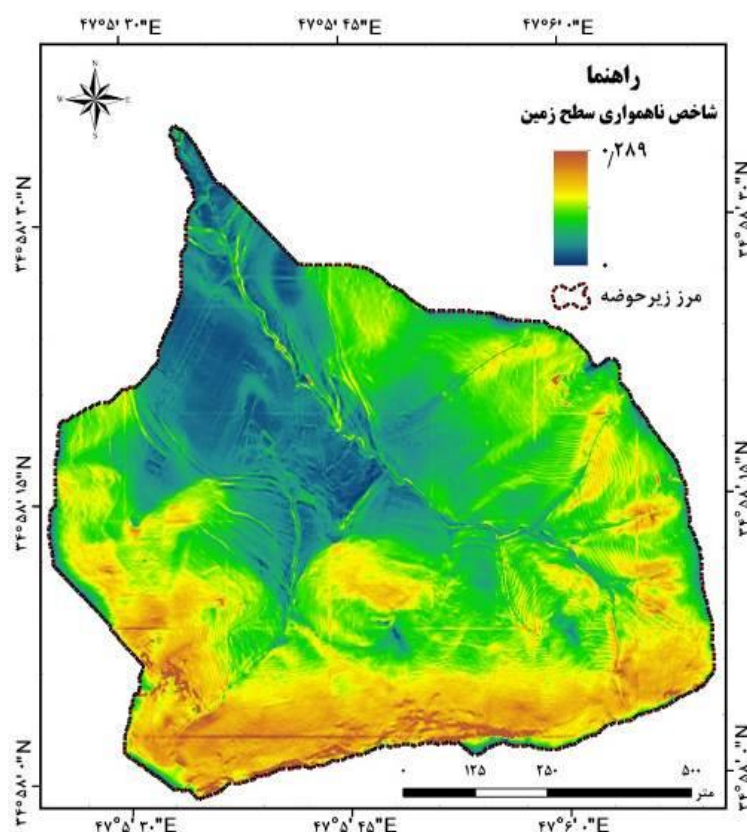
نقشه شاخص ناهمواری سطح زمین زیرحوضه شاهد در شکل ۶ نشان داده شده است. شاخص ناهمواری سطح زمین در این زیرحوضه نشان می‌دهد که تغییرات توپوگرافی نسبتاً زیادی در مشاهده شده و مقدار این شاخص از صفر تا ۱/۹۱۶ متغیر است. بیشترین ناهمواری در قسمت‌های جنوبی و جنوب‌شرقی زیرحوضه شاهد قرار گرفته درحالی‌که کمترین ناهمواری‌ها در بخش‌های میانی و شمالی زیرحوضه مشاهده می‌شود. مقدار میانگین شاخص ناهمواری زیرحوضه شاهد نیز، ۰/۲۵۶ به‌دست آمد.



شکل ۶- نقشه شاخص ناهمواری سطح زمین زیرحوضه شاهد

نقشه شاخص ناهمواری سطح زمین زیرحوضه نمونه در شکل ۷ نشان داده شده است. براساس تحلیل‌های ناهمواری، کمترین مقدار شاخص ناهمواری (صفر) در این زیرحوضه در بخش‌های جنوبی و جنوب‌غربی مشاهده شد درحالی‌که قسمت‌های میانی و جنوبی، بیشترین مقدار شاخص

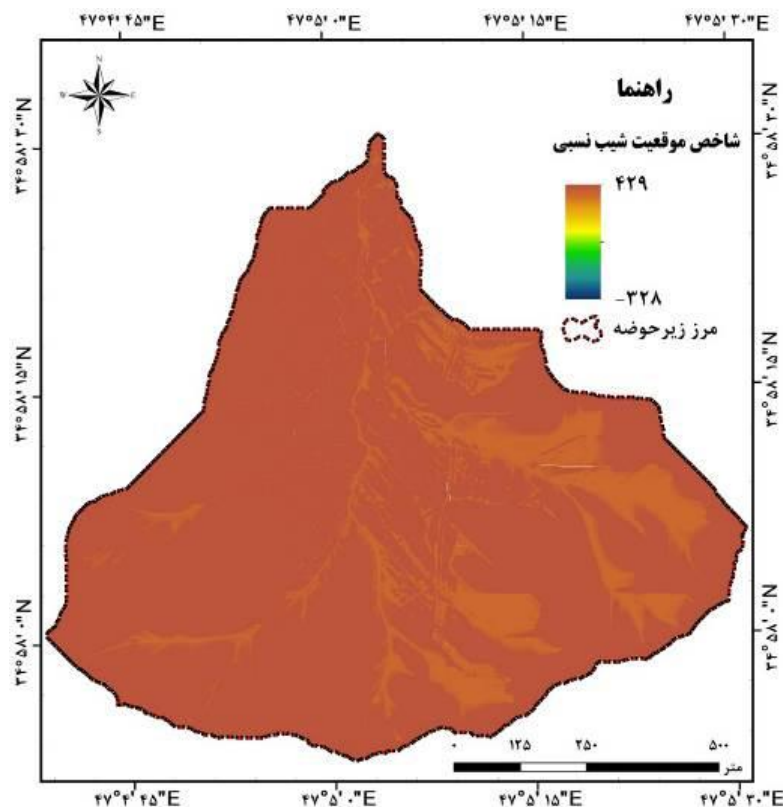
ناهمواری (۰/۲۸۹) را به خود اختصاص دادند. همان گونه که در نقشه شاخص ناهمواری سطح زمین ملاحظه می شود، در برخی از دامنه های این زیرحوضه عملیات بندهای رسوب گیر اجرا شده است که ناهمواری موزونی در در قسمت های جنوبی این زیرحوضه ایجاد کرده است. میانگین شاخص ناهمواری سطح زمین در زیرحوضه نمونه نیز، ۰/۳۸ به دست آمد.



شکل ۷- نقشه شاخص ناهمواری سطح زمین زیرحوضه نمونه

۲-۵- نقشه شاخص موقعیت شیب نسبی

نقشه شاخص موقعیت شیب نسبی (RSP) زیرحوضه شاهد در شکل ۸ نشان داده شده است. مقدار این شاخص در این زیرحوضه بین ۳۲۸- تا ۴۲۹ متغیر است. این شاخص، توصیف کننده موقعیت قرارگیری سلول بر قسمت های مختلف دامنه است. مقدار میانگین شاخص موقعیت شیب نسبی در زیرحوضه شاهد ۱/۴۵- به دست آمد.



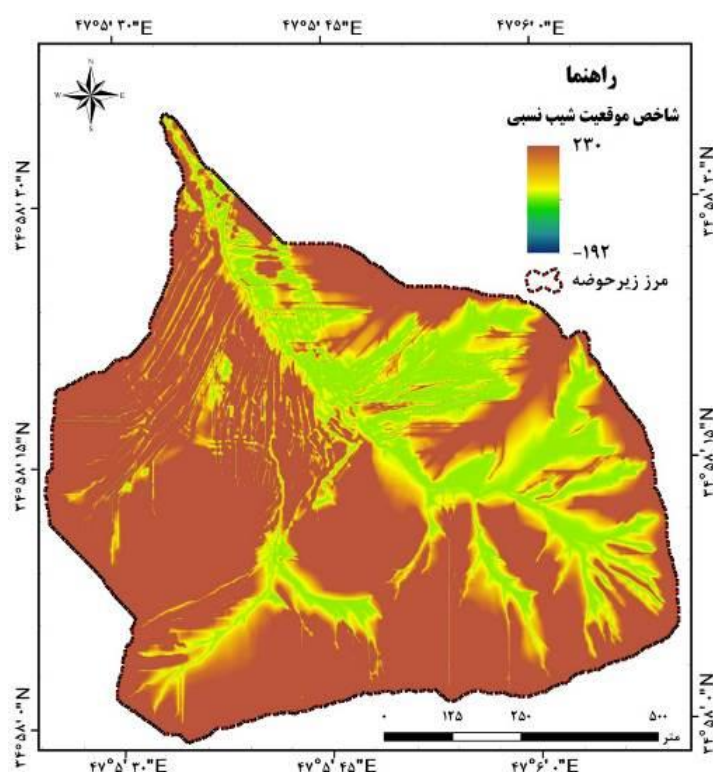
شکل ۸- نقشه شاخص موقعیت شیب نسبی زیر حوضه شاهد

به طور معمول، از دیدگاه معیار موقعیت شیب نسبی، سطح زمین به شش کلاس قابل تقسیم است که عبارتند از تاج (قله) ۱، شیب فوقانی ۲، شیب میانی ۳، شیب تحتانی ۴، پای شیب ۵ و رکود ۶. هرچه مقدار شاخص موقعیت شیب نسبی بیشتر شو، بیانگر این است که سلول در موقعیت بالای دامنه و یا قله قرار گرفته است در حالی که مقادیر کم این شاخص نشان دهنده قرارگیری سلول در قسمت‌های انتهایی حوزه آبخیز و مناطق هموار است. متناسب با موقعیت قرارگیری سلول در ناهمواری سطح زمین، وضعیت زهکشی زیرسطحی نیز تغییر می‌یابد؛ به گونه‌ای که در قسمت‌های تاج و شیب فوقانی زهکشی زیرسطحی سریع‌تر از بقیه کلاس‌ها انجام می‌گیرد. بنابراین، موقعیت

- 1 Crest
- 2 Upper slope
- 3 Middle slope
- 4 Lower slope
- 5 Toe slope
- 6 Depression

شیب نسبی اثر غیرمستقیمی بر وضعیت رطوبت خاک، زهکش زیرسطحی داشته و فرایندهای هیدرولوژیکی حوزه آبخیز را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

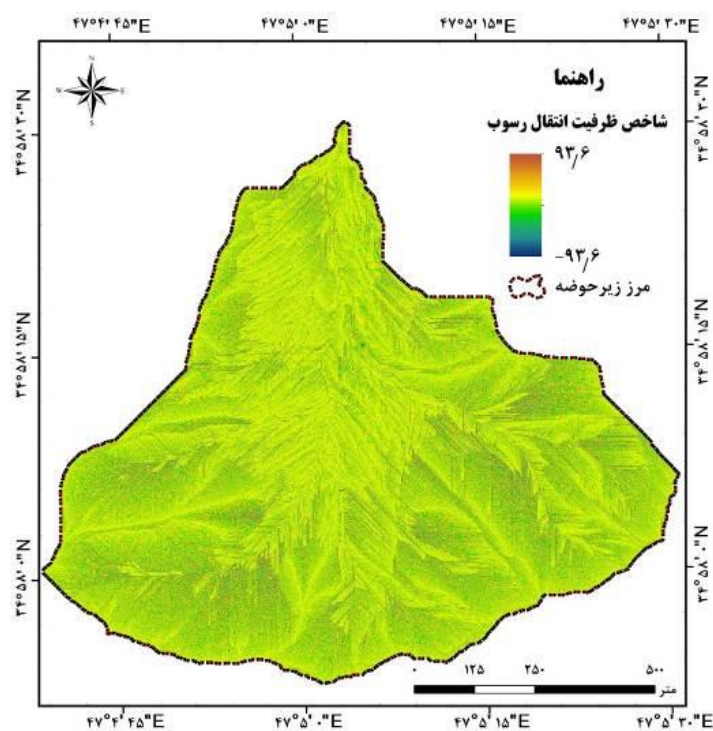
نقشه شاخص موقعیت شیب نسبی زیرحوضه نمونه در شکل ۹ نشان داده شده است. کمترین مقدار این شاخص در زیرحوضه نمونه ۱۹۲- به‌دست آمد و بخش‌های میانی و خروجی زیرحوضه را در بر گرفته است. این درحالی است که بخش‌های جنوبی و جنوب‌غربی این زیرحوضه بیشترین مقدار شاخص موقعیت شیب نسبی (۲۳۰) را به‌خود اختصاص داده است. همانند زیرحوضه شاهد، این زیرحوضه نیز از دیدگاه معیار موقعیت شیب نسبی می‌تواند به کلاس‌های مختلف تاج (قله)، شیب فوقانی، شیب میانی، شیب تحتانی، پای شیب و رکود تقسیم‌بندی شود. میانگین این شاخص در زیرحوضه نمونه ۰/۱۰۹- به‌دست آمد.



شکل ۹- نقشه شاخص موقعیت شیب نسبی زیرحوضه نمونه

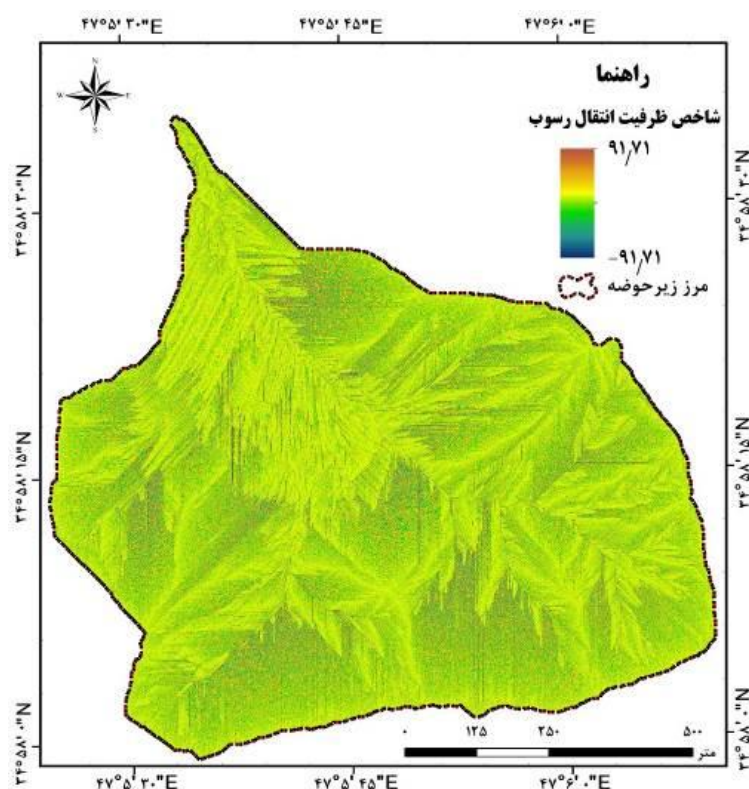
۳-۵- نقشه شاخص ظرفیت انتقال رسوب

نقشه شاخص ظرفیت انتقال رسوب زیرحوضه شاهد در شکل ۱۰ ارائه شده است. همان گونه که ملاحظه می شود، تغییرات مکانی زیادی در مقدار این شاخص در زیرحوضه نمونه وجود دارد. کمترین مقدار این شاخص در زیرحوضه شاهد ۹۳/۶- و بیشترین مقدار آن ۹۳/۶ به دست آمد. بخش هایی که ارزش تجمع جریان بالاتری دارند و شیب سطح زمین در آن نواحی بیشتر است، عموماً مقدار شاخص ظرفیت انتقال رسوب بالاتری دارند. مقدار میانگین این شاخص در زیرحوضه شاهد ۰/۳۶۶- به دست آمد.



شکل ۱۰- نقشه شاخص ظرفیت انتقال رسوب زیرحوضه شاهد

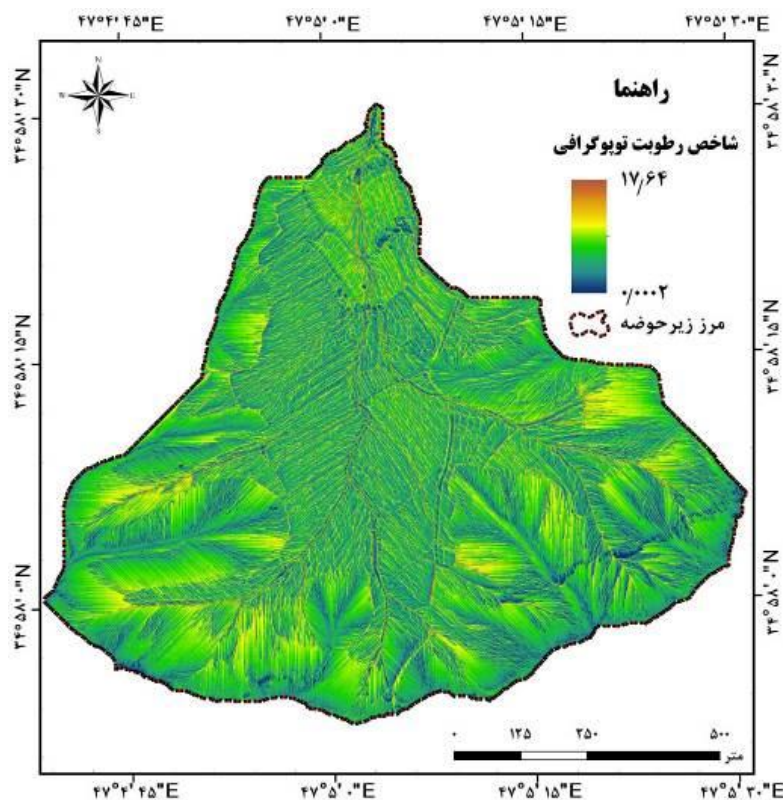
تغییرات مکانی شاخص ظرفیت انتقال رسوب زیرحوضه نمونه در شکل ۱۱ نشان داده شده است. مقدار این شاخص در زیرحوضه نمونه از ۹۱/۷۱- تا ۹۱/۷۱+ متغیر است. سلول هایی که مقدار شاخص ظرفیت انتقال رسوب بالاتری دارند، پتانسیل بیشتری برای انتقال رسوب داشته و در عین حال شرایط مناسبی برای ته نشین شدن رسوب ندارند. مقدار میانگین این شاخص در زیرحوضه نمونه ۰/۳۶۱- به دست آمد.



شکل ۱۱- نقشه شاخص ظرفیت انتقال رسوب زیر حوضه نمونه

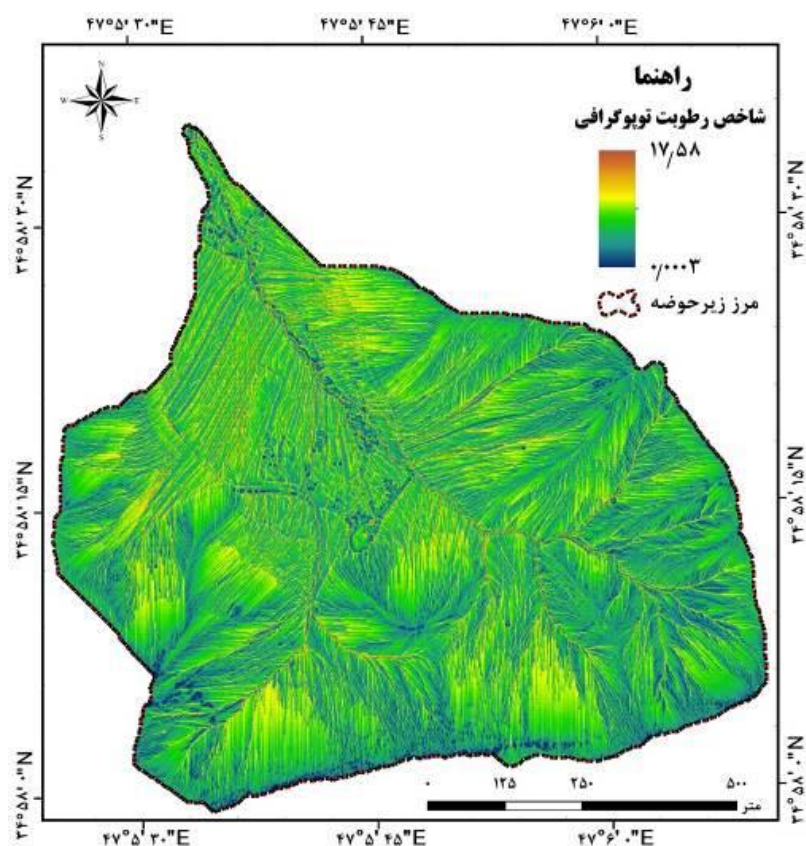
۴-۵- نقشه شاخص رطوبت توپوگرافی

نقشه شاخص رطوبت توپوگرافی زیرحوضه شاهد در شکل ۱۲ نمایش داده شده است. براساس این شاخص، مجراهای اصلی جریان این زیرحوضه که دارای شیب کمتری هستند، به دلیل مساحت بالادست نسبتاً مناسب، مقدار شاخص رطوبت توپوگرافی بیشتری دارند. بیشترین مقدار شاخص پیوستگی رسوب در این قسمت‌ها به ۱۷/۶۴ رسیده در حالی که کمترین مقدار این شاخص متعلق به محدوده‌های بالادست زیرحوضه شاهد است. بنابراین، می‌توان بیان داشت که بخش‌های میانی و نزدیک خروجی، بیشترین پتانسیل را برای تجمع جریان و در عین حال بیشترین فرصت را برای نفوذ جریان‌های سطحی دارند. مقدار میانگین این شاخص در زیرحوضه شاهد ۳/۷۵ به‌دست آمد.



شکل ۱۲- نقشه شاخص رطوبت توپوگرافی زیرحوضه شاهد

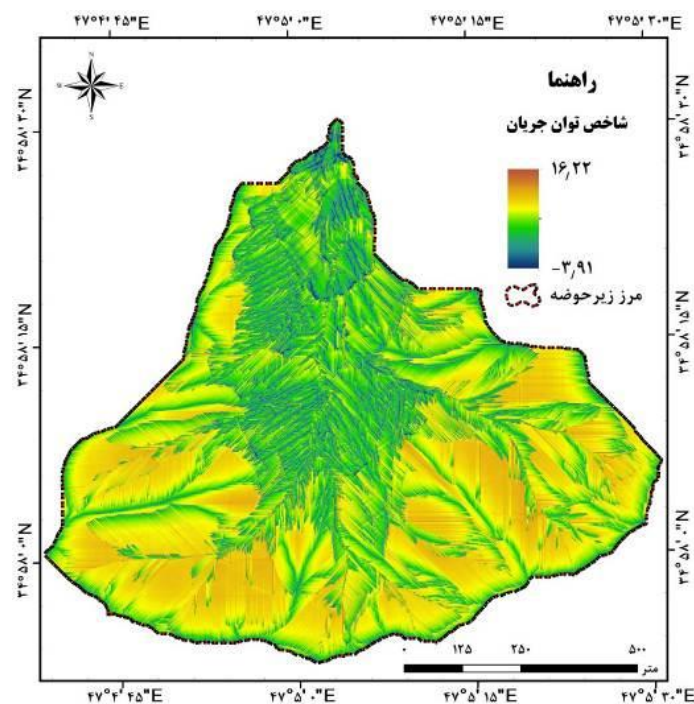
نقشه شاخص رطوبت توپوگرافی زیرحوضه نمونه در شکل ۱۳ نشان داده شده است. بیشترین مقدار شاخص رطوبت توپوگرافی ۱۷/۵۸ بود که در منتهی‌الیه مجرای اصلی زیرحوضه مشاهده شد. کمترین مقدار شاخص رطوبت توپوگرافی در این زیرحوضه نیز در بخش‌های جنوبی که دارای شیب زیاد و مساحت بالادست کمتری هستند مشاهده شد. بنابراین، همانند زیرحوضه نمونه، بخش‌های مجاور خروجی حوضه فرصت بیشتری برای نفوذ جریان دارد. میانگین شاخص رطوبت توپوگرافی در این زیرحوضه ۳/۷۲ به‌دست آمد که شباهت زیادی به زیرحوضه شاهد دارد.



شکل ۱۳- نقشه شاخص رطوبت توپوگرافی زیر حوضه نمونه

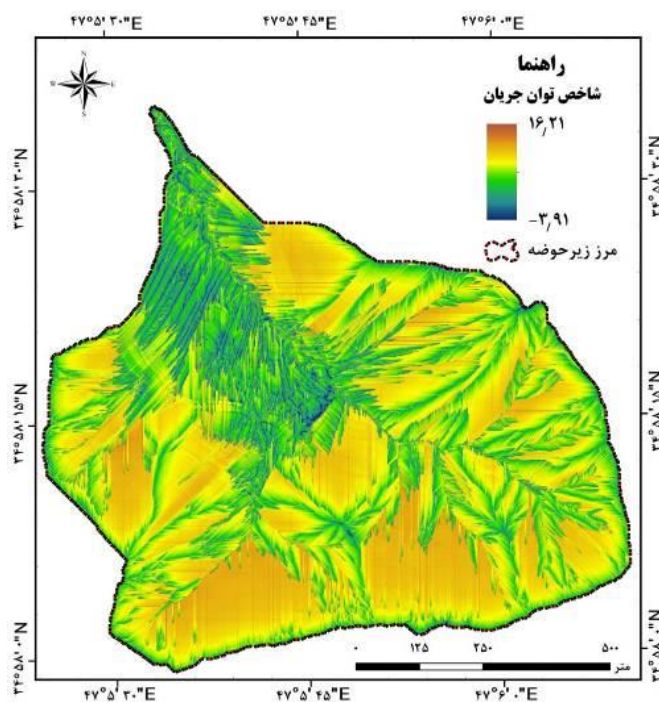
۵-۵- نقشه شاخص توان جریان

نقشه شاخص توان جریان زیر حوضه شاهد در شکل ۱۴ نشان داده شده است. تغییرات مکانی این شاخص در زیر حوضه شاهد کاملاً مشهود بوده به گونه ای که بیشترین مقدار این شاخص (۱۶/۲۲) به دامنه های واقع در جنوب زیر حوضه تعلق دارد و کمترین مقدار آن (۳/۹۱-) در بخش های میانی و شمالی مشاهده شد. نقشه شاخص توان جریان اطلاعات مکانی مفیدی در خصوص انرژی جریان برای حمل مواد و رسوبات ارائه می کند. مقدار میانگین این شاخص در زیر حوضه شاهد ۳/۹۶ محاسبه شد.



شکل ۱۴- نقشه شاخص توان جریان زیر حوضه شاهد

نقشه شاخص توان جریان زیر حوضه نمونه در شکل ۱۵ نشان می‌دهد که تغییرات مکانی زیادی در وضعیت توان جریان بخش‌های مختلف منطقه وجود دارد. بیشترین مقدار این شاخص در زیر حوضه نمونه ۱۶/۲۱ و کمترین مقدار آن ۳/۹۱- به دست آمد. توزیع مکانی این شاخص نشان می‌دهد که محدوده‌های جنوبی، غربی و شرقی به دلیل شیب نسبتاً زیاد، جریان‌های سطحی بیشترین انرژی را داشته و شاخص توان جریان این قسمت‌ها نسبت به مابقی منطقه بیشتر خواهد بود. مقدار میانگین این شاخص در زیر حوضه نمونه ۴/۱۲ به دست آمد.



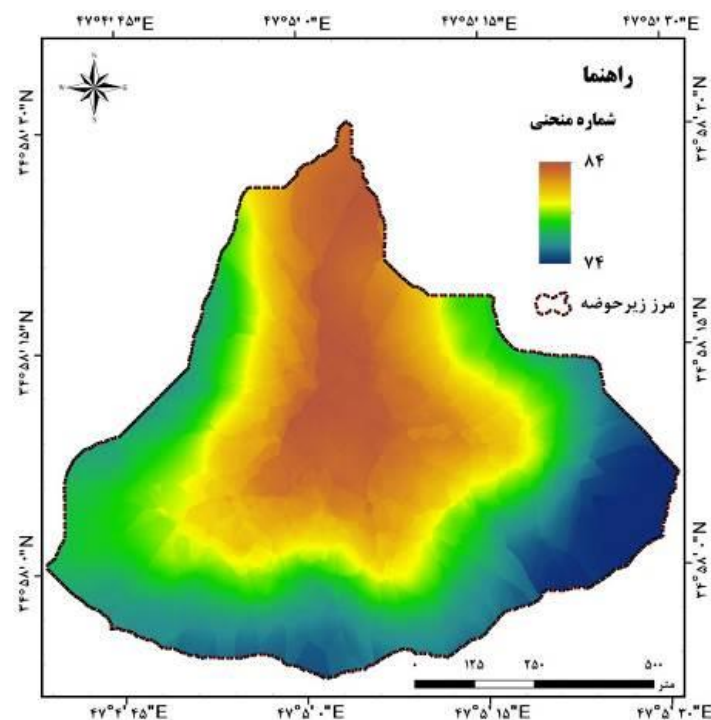
شکل ۱۵- نقشه شاخص توان جریان زیر حوضه نمونه

۵-۶- نقشه شماره منحنی

پارامتر شماره منحنی یکی از متغیرهای مهم هیدرولوژیکی است که براساس بافت خاک و کلاس کاربری اراضی تعیین می‌شود. پس از انجام نمونه‌برداری‌های خاک (شکل ۱۶) و انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه تخصصی خاک‌شناسی، بافت خاک هریک از نمونه‌ها تعیین شد. از سویی دیگر، نقشه کاربری اراضی زیرحوضه شاهد با استفاده از تصاویر گوگل ارث و بازدیدهای میدانی تهیه شد. نقشه شماره منحنی زیرحوضه شاهد نشان داد که کمترین مقدار آن (۷۴) به بخش‌های جنوبی و جنوب-شرقی تعلق دارد در حالی که بیشترین مقدار شماره منحنی (۸۴) در بخش‌های میانی و شمالی زیرحوضه مشاهده شد (شکل ۱۷). براساس وضعیت شماره منحنی این زیرحوضه، می‌توان بیان کرد که پتانسیل تولید رواناب بخش‌های میانی و خروجی زیرحوضه نسبت به مناطق جنوبی و جنوب-غربی زیرحوضه بیشتر است.

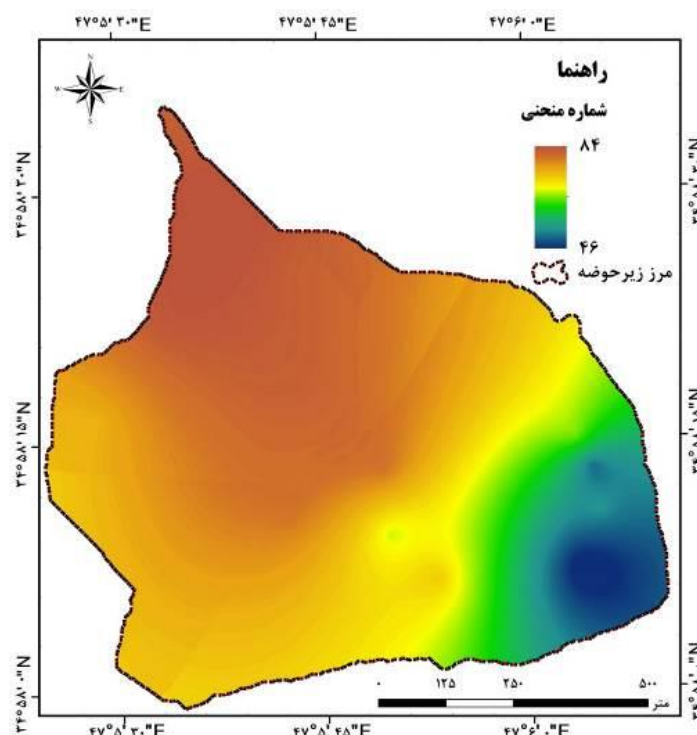


شکل ۱۶- بازدید میدانی و نمونه برداری خاک



شکل ۱۷- نقشه شماره منحنی زیر حوضه شاهد

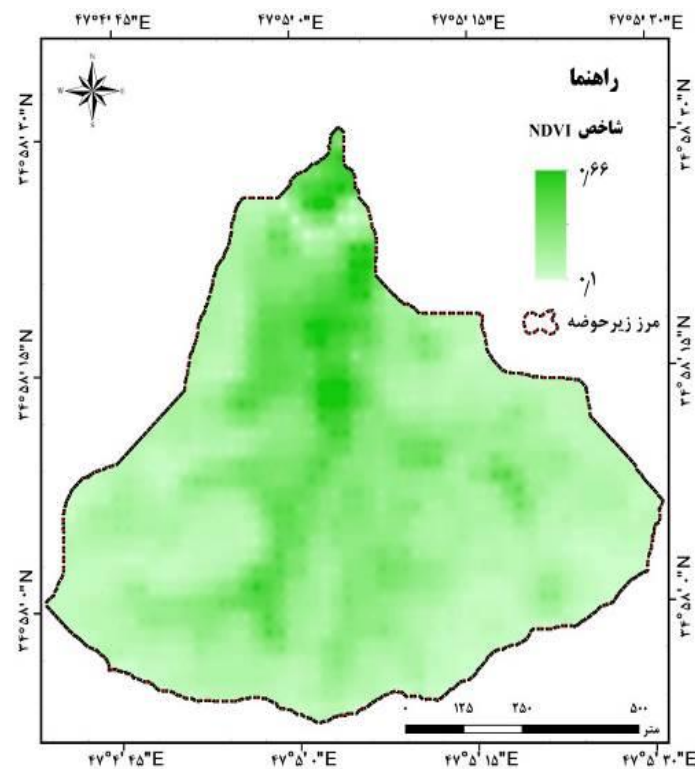
نقشه شماره منحنی زیرحوضه نمونه در شکل ۱۸ نمایش داده شده است. کمترین مقدار پارامتر شماره منحنی ۴۶ و بیشترین مقدار آن ۸۴ به دست آمد. توزیع مکانی این متغیر به گونه ای است که قسمت جنوب شرقی زیرحوضه دارای کمترین مقدار شماره منحنی و بخش های شمالی و میانی زیرحوضه دارای بیشترین مقدار شماره منحنی هستند. از آنجایی که پوشش گیاهی زیرحوضه نمونه قرق شده است، بخش های مرتعی زیرحوضه نمونه پتانسیل تولید رواناب کمتری داشتند.



شکل ۱۸- نقشه شماره منحنی زیرحوضه نمونه

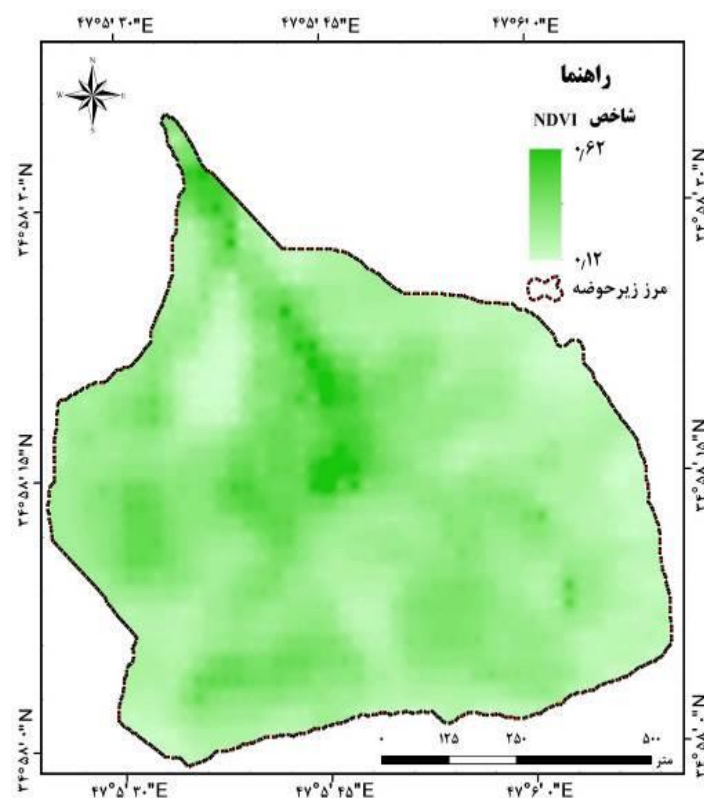
۷-۵- نقشه تراکم پوشش گیاهی

شاخص پوشش گیاهی NDVI با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۸ محاسبه شد و نقشه شاخص پوشش گیاهی NDVI زیرحوضه شاهد در شکل ۱۹ ارائه شده است. بیشترین مقدار این شاخص ۰/۶۶ و کمترین مقدار آن ۰/۱ است. بخش‌های شمالی زیرحوضه دارای پوشش درختی و کشاورزی یونجه و صیفی‌کاری است و به‌همین دلیل بیشترین مقدار شاخص پوشش گیاهی به این قسمت‌ها اختصاص یافت. ازسویی دیگر، وضعیت پوشش گیاهی مراتع زیرحوضه شاهد به‌دلیل چرای دام مناسب نیست و کمترین مقدار شاخص NDVI به این محدوده‌ها تعلق دارد که بیانگر تراکم ضعیف پوشش گیاهی و وجود خاک لخت است. از آنجایی که این مراتع ضعیف در قسمت‌های پر شیب منطقه قرار گرفته‌اند؛ پتانسیل فرسایش خاک و تولید رسوب بالایی در این قسمت‌ها وجود دارد. مقدار میانگین شاخص NDVI در زیرحوضه شاهد ۰/۳۱۱ به‌دست آمد.



شکل ۱۹- نقشه تراکم پوشش گیاهی زیرحوضه شاهد

نقشه شاخص پوشش گیاهی NDVI زیرحوضه نمونه در شکل ۲۰ نشان داده شده است. کمترین مقدار این شاخص در زیرحوضه نمونه ۰/۱۲ و بیشترین مقدار آن ۰/۶۲ به دست آمد. توزیع مکانی این شاخص به گونه‌ای است که بخش‌هایی از زیرحوضه که پوشش گیاهی سبز و متراکم دارند، بیشترین مقدار شاخص NDVI را به خود اختصاص دادند. مقدار میانگین این شاخص در زیرحوضه نمونه ۰/۲۶ به دست آمده است.



شکل ۲۰- نقشه تراکم پوشش گیاهی زیر حوضه نمونه

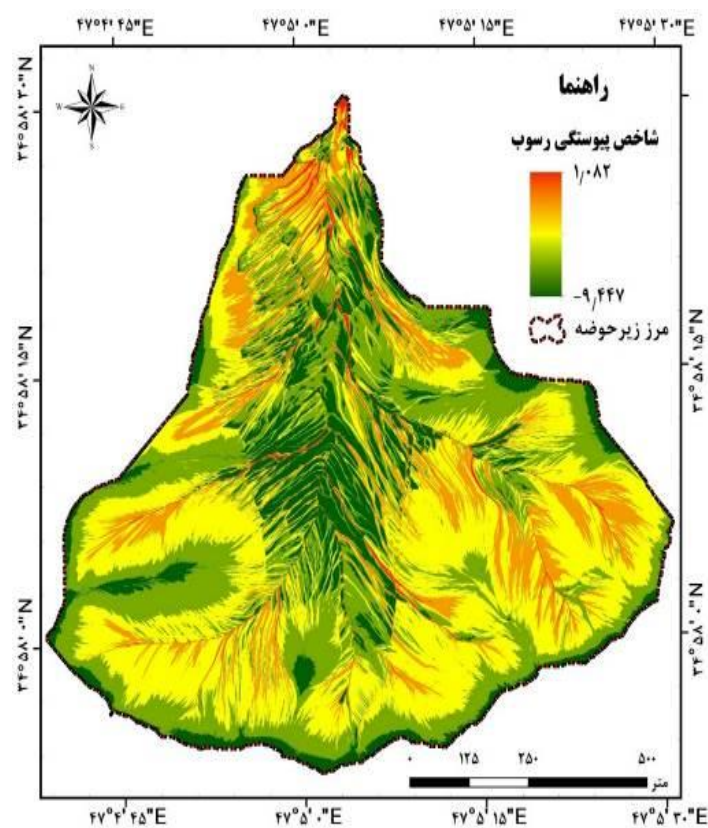
پس از تهیه نقشه‌های شاخص پوشش گیاهی NDVI مربوط به زیر حوضه‌های شاهد و نمونه، مجدداً از بخش‌های مختلف زیر حوضه‌ها بازدید به عمل آمد تا از صحت نقشه‌های تهیه شده اطمینان حاصل شود (شکل ۲۱). وضعیت پوشش گیاهی مراتع هر دو زیر حوضه ضعیف است و به دلیل اعمال شرایط قرق در زیر حوضه نمونه، پوشش گیاهی مرتعی در این زیر حوضه نسبتاً بهتر بود.



شکل ۲۱- بازدید از وضعیت پوشش گیاهی زیر حوضه‌های شاهد و نمونه

۸-۵- وضعیت پیوستگی رسوب در زیرحوضه شاهد

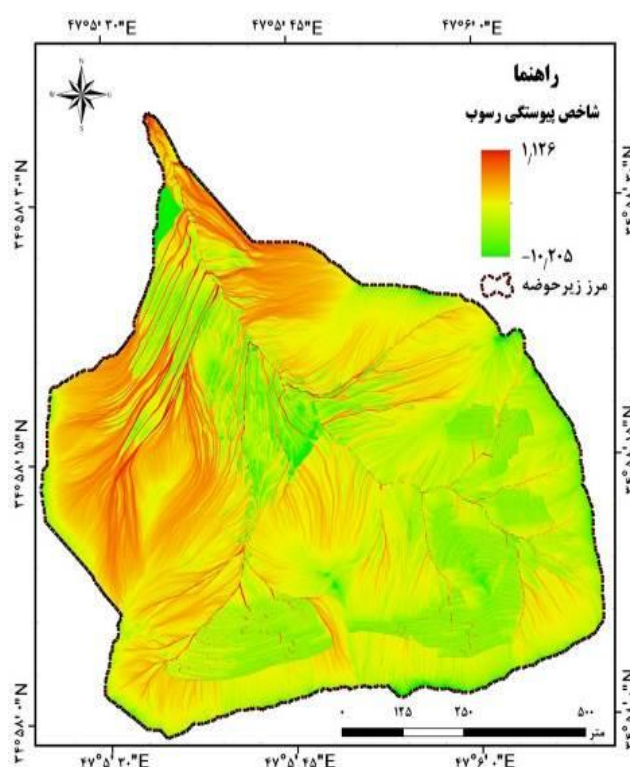
شاخص پیوستگی رسوب اصلاح شده (مبتنی بر خصوصیات محیطی) زیرحوضه شاهد در شکل ۲۲ نشان داده شده است. باتوجه به تنوع ویژگی‌های توپوگرافی، خاک‌شناسی، پوشش گیاهی و کاربری اراضی، الگوی پیوستگی رسوب این زیرحوضه نسبتاً پیچیده است. کمترین مقدار شاخص پیوستگی رسوب در این زیرحوضه ۹/۴۴۷-، بیشترین مقدار آن ۱/۰۸۲ و میانگین آن ۶/۸۹- به دست آمد. برخی از آبراهه‌ها در این زیرحوضه که دارای توان جریان بیشتر، شیب زمین تندتر، ظرفیت انتقال رسوب بیشتر، پوشش گیاهی کمتر و سطح بالادست بیشتری هستند، بیشترین مقدار شاخص پیوستگی را به خود اختصاص دادند. در عوض، بخش‌هایی که دارای پوشش گیاهی بهتری هستند، توپوگرافی هموارتری دارند و از نظر خصوصیات هیدرولوژیکی اتصال کمتری دارند، مقدار شاخص پیوستگی رسوب آن‌ها کم بود.



شکل ۲۲- شاخص پیوستگی رسوب اصلاح شده در زیرحوضه شاهد

۹-۵- وضعیت پیوستگی رسوب در زیرحوضه نمونه

نقشه شاخص پیوستگی رسوب اصلاح شده (مبتنی بر خصوصیات محیطی مختلف) زیرحوضه نمونه در شکل ۲۳ نشان داده شده است. الگوی فضایی شاخص پیوستگی رسوب در این زیرحوضه به گونه‌ای است که بخش اعظم زیرحوضه دارای مقدار شاخص پیوستگی کم یا متوسط است. تغییرات مکانی وضعیت پیوستگی رسوب در قسمت‌های مختلف این زیرحوضه به‌طور واضح نشان می‌دهد که عملیات بندهای رسوب‌گیر در مسیر آبراهه‌ها بر الگوی پیوستگی رسوب تأثیر داشته‌اند. کمترین مقدار شاخص پیوستگی رسوب در این زیرحوضه ۱۰/۲۰۵- و بیشترین آن ۱/۱۲۶ است. مقادیر شاخص پیوستگی زیاد در زیرحوضه نمونه عموماً در قسمت‌های غربی و شمالی منطقه قرار گرفته‌اند. این درحالی است که بخش‌های جنوبی و جنوب‌غربی زیرحوضه به‌دلیل اجرای بندهای رسوب‌گیر و قرق پوشش گیاهی، دارای پیوستگی رسوب کمتری است.



شکل ۲۳- شاخص پیوستگی رسوب اصلاح شده در زیرحوضه نمونه

۱۰-۵- مقایسه وضعیت پیوستگی رسوب در دو زیرحوضه شاهد و نمونه

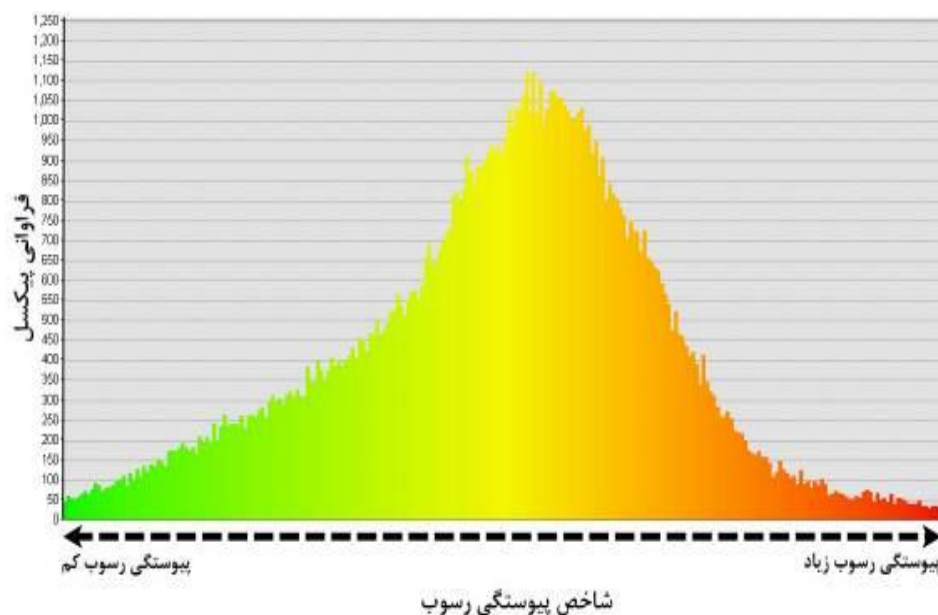
خصوصیات آماری حاصل از مقایسه نقشه‌های شاخص پیوستگی اصلاح شده (مبتنی بر خصوصیات محیطی) دو زیرحوضه نمونه و شاهد در جدول ۱ نشان داده شده است. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، مقدار کمینه شاخص پیوستگی رسوب اصلاح شده در زیرحوضه شاهد ۹/۴۴۷- و در زیرحوضه نمونه ۱۰/۲۰۴- به‌دست آمد. از آنجایی که در زیرحوضه نمونه، بندهای رسوب‌گیر اجرا شده‌اند؛ کران پایین شاخص پیوستگی رسوب در زیرحوضه نمونه تا مقادیر پایین‌تری کشیده شده است. پایین‌تر بودن مقدار کمینه شاخص پیوستگی رسوب در زیرحوضه نمونه نسبت به زیرحوضه شاهد دلیل روشنی بر اثرات اقدامات آبخیزداری (شامل بندهای رسوبگیر، بانکت و قرق پوشش گیاهی) اجرا شده در زیرحوضه نمونه است. مقدار بیشینه شاخص پیوستگی رسوب در زیرحوضه نمونه مقداری بیشتر از زیرحوضه شاهد است که دلیل این امر را می‌توان در خصوصیات مورفومتری دو زیرحوضه و اثرات آن بر پیوستگی رسوب جست و جو کرد. به هر حال، میانگین پیکسل‌های دو زیرحوضه نمونه و شاهد معیار اصلی مقایسه وضعیت پیوستگی رسوب دو زیرحوضه است. میانگین شاخص پیوستگی رسوب در زیرحوضه شاهد ۶/۹۱۰- و در زیرحوضه نمونه ۷/۴۵۲- به‌دست آمد. بنابراین، می‌توان با قطعیت بیان کرد که اجرای اقدامات آبخیزداری در زیرحوضه نمونه، موجب تقلیل شاخص پیوستگی رسوب شده است.

جدول ۱- خصوصیات آماری شاخص پیوستگی رسوب اصلاح‌شده در زیرحوضه‌های شاهد و نمونه

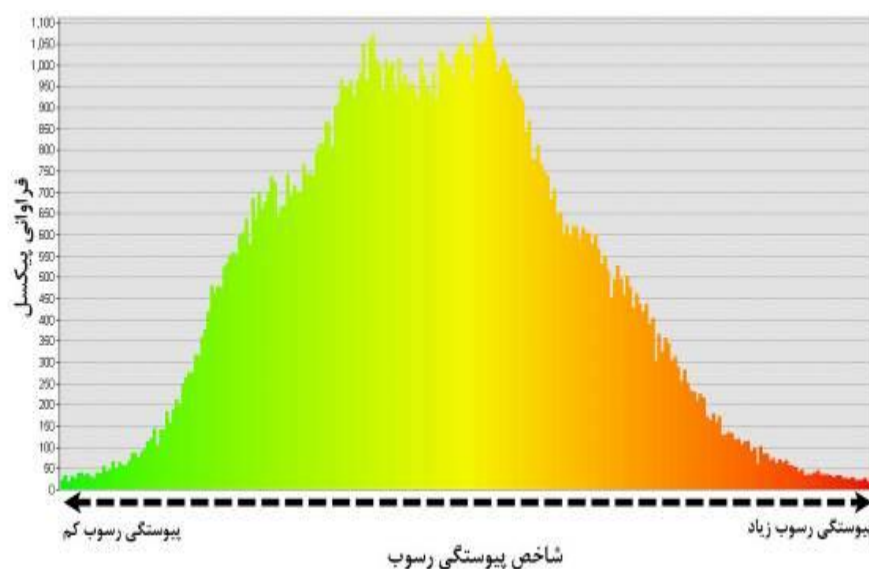
متغیر	کمینه	بیشینه	میانگین	انحراف معیار
زیرحوضه شاهد	۹/۴۴۷-	۱/۰۸۲	۶/۹۱۰-	۰/۳۹۲
زیرحوضه نمونه	۱۰/۲۰۴-	۱/۱۲۶	۷/۴۵۲-	۰/۴۷۶

هیستوگرام توزیع فراوانی داده‌های شاخص پیوستگی رسوب اصلاح شده در دو زیرحوضه نمونه و شاهد به ترتیب در شکل‌های ۲۴ و ۲۵ نشان داده شده است. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، توزیع فراوانی شاخص پیوستگی رسوب در زیرحوضه شاهد به سمت وضعیت پیوستگی رسوب زیاد کشده

شده است و مقادیر شاخص پیوستگی کم، فراوانی کمتری در این زیرحوضه دارند. در عین حال، وضعیت پیوستگی رسوب در زیرحوضه نمونه به گونه‌ای است که مقادیر متوسط و کم شاخص پیوستگی رسوب فراوانی بیشتری دارند و میانه هیستوگرام در قسمت‌های پیوستگی رسوب کم قرار گرفته است.



شکل ۲۴- هیستوگرام فراوانی شاخص پیوستگی رسوب اصلاح شده زیرحوضه شاهد



شکل ۲۵- هیستوگرام فراوانی شاخص پیوستگی رسوب اصلاح شده زیرحوضه نمونه

۶- نتیجه‌گیری

یافته‌های این پژوهش در خصوص مقایسه وضعیت پیوستگی رسوب دو زیرحوضه نمونه و شاهد خامسان نشان داد که پیوستگی رسوب در زیرحوضه نمونه نسبت به زیرحوضه شاهد عموماً کمتر بوده که معیار دقیقی در ارزیابی کارایی اقدامات آبخیزداری (شامل بندهای رسوب‌گیر، بانکت و قرق پوشش گیاهی) در زیرحوضه نمونه است. این اقدامات در زیرحوضه نمونه، موجب اصلاح الگوی پیوستگی رسوب در این زیرحوضه شده که پتانسیل شار رسوب را تا حد زیادی در مقایسه با زیرحوضه شاهد کاهش داده است.

به‌منظور ارزیابی دقیق‌تر هریک از اقدامات اجراشده در مسیرهای جریان زیرحوضه نمونه، براساس "تحلیل با سازه و بدون سازه" در شرایط قبل و بعد از اجرای طرح‌های آبخیزداری، وضعیت پیوستگی رسوب مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این پژوهش نشان داد که سازه‌های آبخیزداری احداث‌شده در مسیر جریان، اثر معناداری بر شاخص پیوستگی رسوب دارند. شایان‌ذکر است که میزان اثرگذاری سازه‌های آبخیزداری بر شاخص پیوستگی رسوب، بسته به موقعیت سازه کاملاً متفاوت بوده و دامنه وسیعی از اثرات از "تأثیر کم" تا "تأثیر زیاد" قابل مشاهده است. به‌طورکلی برخی از سازه‌های آبخیزداری اجرا شده در زیرحوضه نمونه، نقش بسیار مهم‌تری در کاهش پیوستگی رسوب داشته‌اند. از سویی دیگر، اعتبارسنجی نتایج پیوستگی رسوب براساس واقعیت زیرحوضه نمونه نشان داد که ارتباط معنی داری بین حجم رسوب پشت سازه‌های آبخیزداری اندازه‌گیری‌شده و مقدار شاخص پیوستگی رسوب وجود دارد. بنابراین، نتایج حاصل از شاخص پیوستگی اصلاح‌شده موردتأیید بوده و براساس آن می‌توان به ارزیابی کارایی سازه‌های آبخیزداری پرداخت.

۷- پیشنهادها

اقدامات آبخیزداری (شامل بندهای رسوب‌گیر، بانکت و قرق پوشش گیاهی) نقش مؤثری در کاهش شاخص پیوستگی رسوب آبخیز دارند. به‌دلیل این‌که اجرای اقدامات آبخیزداری نقش مهمی

در بهبود الگوی پیوستگی حوزه آبخیز دارد، پیشنهاد می‌شود از نقشه پیوستگی رسوب آبخیز به عنوان ابزاری علمی برای پایش وضعیت پتانسیل شار رسوبی حوضه استفاده شود. از سویی دیگر، اجرای هماهنگ پروژه‌های مختلف آبخیزداری موجب هم‌افزایی مدیریت فرسایش و رسوب حوضه شده و پیشنهاد می‌شود که در حوزه‌های آبخیز بر اجرای پروژه‌های بالادست و یا پایین‌دست به‌تنهایی اکتفا نکرده و برای هر مرحله از فرایند انتقال رسوب در حوضه، برنامه‌ریزی و اقدام عملی متناسب تجویز شود. اقدامات آبخیزداری و مشخصاً در این حوزه آبخیز، اجرای بانکت و قرق پوشش مرتعی در بالادست و همچنین احداث بندهای رسوب‌گیر در میانه و پایین‌دست حوضه موجب کاهش پیوستگی رسوب شده و از انتقال خاک‌های شسته‌شده سطحی خاک به شبکه زهکشی و درنهایت خروجی حوضه جلوگیری می‌کند. با این حال، در صورتی که پوشش گیاهی در بستر بندها یا بر روی پشته‌های خاک مستقر شود، اثرگذاری عملیات حفاظت خاک بیشتر خواهد بود. باتوجه به الگوی بارشی حوزه آبخیز خامسان و شرایط میکروکلیمای بستر بندهای رسوب‌گیر، امکان استقرار پوشش گیاهی وجود دارد. همچنین شناسایی محدوده‌های دارای جریان همگرا در دامنه‌ها موجب بهبود اجرای بندهای رسوب‌گیر خواهد شد. استقرار پوشش گیاهی در این قسمت‌ها نیز ضروری بوده و نقش حمایتی مهمی در اجرای بندهای رسوب‌گیر دامنه‌ها دارد.

به‌منظور ارتقاء شاخص پیوستگی رسوب اصلاح شده، پیشنهاد می‌شود که منشاء‌یابی رسوبات حوضه با نقشه شاخص پیوستگی اصلاح شده مقایسه شود. منشاء‌یابی رسوبات، ضمن شناسایی منابع رسوب اصلی در حوضه، الگوی انتقال رسوبات را توصیف می‌کنند و ارتباط مفهومی نزدیکی با پیوستگی رسوب در حوضه دارند.

سپاسگزاری

این اثر برگرفته از بخشی از نتایج پروژه تحقیقاتی خاص با عنوان ارزیابی تأثیر اقدامات آبخیزداری بر پیوستگی رسوب در حوضه خامسان استان کردستان، با کد مصوب ۰۵۱-۰۰۰۹۳۶-

۲۴-۵۳-۲۹ در پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری است. نویسندگان این نشریه سپاس خود را از حمایت‌های مادی و معنوی اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان کردستان، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کردستان و پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، اعلام می‌دارند.

منابع

- اسمعیلی، ا.، عبداللهی، خ.، ۱۳۹۰. آبخیزداری و حفاظت خاک. چاپ دوم. انتشارات دانشگاه محقق اردبیلی. ۵۷۵ ص.
- بیاتی، م.، ۱۳۸۴. بررسی نقش تشدید فعالیت‌های انسانی در دره‌های کوهستان‌های نیمه‌خشک بر فرسایش خاک. مجموعه مقالات اولین همایش ملی فرسایش و رسوب، تهران، ایران.
- خالق‌پناه، ن.، اسدی، ح.، شرفا، م.، گرجی، م.، داوری، م.، ۱۳۹۶. کارایی مدل WEPP در برآورد رواناب و هدررفت خاک در مراتع سنگریزه‌ای حوضه خامسان کردستان. نشریه تحقیقات آب و خاک ایران. ۴۸(۵): ۱۰۴۲-۱۰۳۱.
- ذرتی‌پور، ا.، حیدری، ک. ۱۴۰۰. بررسی مفهومی مدل شاخص اتصال رسوب. مجموعه مقالات دومین کنفرانس بین‌المللی و پنجمین کنفرانس ملی صیانت از منابع طبیعی و محیط زیست.
- رستمی‌زاده، ق.، موسوی‌هرمی، س.ر.، محبوبی، ا. ۱۳۸۶. شناسایی فرآیندهای مؤثر در پیوستگی رسوبی و تغییرات بافتی در رسوبات رودخانه‌ای حوزه آبریز بیدواز- شرق اسفراین. مجله علوم دانشگاه تهران. ۳۳(۱): ۸۵-۷۵.

- رفیق دوست، ی.، موسوی حرمی، س.ر.، محمودی قرائی، م.ح.، محبوبی، ا. ۱۳۹۶. بررسی
رخساره‌ها و پیوستگی رسوبی در رسوبات حوزه آبریز تلخاب (غرب استان ایلام). دوفصلنامه
رخساره‌های رسوبی. ۱۰(۱): ۴۷-۶۲.
- سلیمان‌پور، س.م.، رحمتی، ا.، عرب‌خداری، م.، تیفن‌باچر، ج. ۱۴۰۲. ارزیابی و اصلاح
شاخص پیوستگی رسوب برای کاربرد در حوضه‌های هموار (تحقیق موردی: حوزه آبخیز نی-
ریز استان فارس). گزارش نهایی پروژه تحقیقاتی. پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری.
۹۹ صفحه.
- عرب‌خداری، م. ۱۳۸۴. بررسی رسوبدهی معلق حوزه های آبخیز ایران. نشریه تحقیقات منابع
آب ایران. ۱(۲): ۶۰-۵۱.
- عرب‌خداری، م.، ۱۳۹۳، مروری بر نرخ فرسایش آبی و تولید رسوب در ایران. مجله علوم و
مهندسی آبخیزداری. ۴(۲): ۲۳-۳۰.
- علائی طالقانی، م.، حاصلی، ف.، احمدی ملاوردی، م. ۱۳۹۲. ارزیابی نقش انسان در فرسایش
کناره‌ای و گسترش جانبی مائدرهای رودخانه گاماسیاب در دشت بیستون. نشریه جغرافیا و
پایداری محیط. ۳(۶): ۱۲۰-۱۰۷.
- علیزاده، م.، جوانبخت، م.، پورسلطانی، م. ۱۳۹۵. بررسی پیوستگی‌های رسوبی در طول
رودخانه کشف‌رود در زیرشاخه‌های آق دربند، نریمانی و مشهد. مجموعه مقالات همایش
انجمن زمین‌شناسی ایران.
- محمدی، م.ا.، زارع خورمیزی، م.، کاویان، ع.، ۱۳۹۴. تحلیل درون‌رگباری پاسخ هیدرو-
رسوبی حوزه آبخیز معرف خامسان. علوم آب و خاک. ۱۹(۷۲): ۱۲۵-۱۱۲.

– نجفی، س.، صادقی، س.ح.، هکمن، ت. ۱۳۹۶. تغییرات زمانی و مکانی الگوی اتصال

ساختاری رسوب در حوزه آبخیز تهم‌چای زنجان. نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک.

۲۴(۳): ۱۳۱-۱۴۷.

– نجفی، س.، صادقی، س.ح.، هکمن، ت. ۱۳۹۷. تحلیل الگوی اتصال ساختاری رسوب در

حوزه آبخیز تهم زنجان. نشریه مهندسی و مدیریت آبخیز. ۱۰(۲): ۲۰۳-۱۹۲.

- Andreazzini, M.J., Degiovanni, S.B., Benito, M.E. and Echevarria, K.V. 2021. Development and application of a sediment connectivity index to small fluvial catchments: a case study in Arenoso stream, Córdoba. Argentina. *Environmental Earth Sciences*. 80(8):1-20.
- 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.
- Borselli, L., Cassi, P., Torri, D. 2008. Prolegomena to sediment and flow connectivity in the landscape: a GIS and field numerical assessment. *Catena* 75:268–277. <http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2008.07.006>.
- 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.
- Cavalli, M., Marchi, L., 2008. Characterisation of the surface morphology of an alpine alluvial fan using airborne LiDAR. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 8:323–333. <http://dx.doi.org/10.5194/nhess-8-323-2008>.
- Duan, X., Liu, B., Gu, Z., Rong, L. and Feng, D. 2016. Quantifying soil erosion effects on soil productivity in the dry-hot valley, southwestern China. *Environmental Earth Sciences*. 75(16):1164.
- 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.

- 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.
- Kalantari, Z., Cavalli, M., Cantone, C., Crema, S. and Destouni, G. 2017. Flood probability quantification for road infrastructure: Data-driven spatial-statistical approach and case study applications. *Science of the Total Environment*. 581. 386-398.
- Kharismalatri, H.S., Ishikawa, Y., Gomi, T., Sidle, R.C. and Shiraki, K. 2019. Evaluating factors for controlling sediment connectivity of landslide materials: a flume experiment. *Water*. 11(1):17.
- López-Vicente, M. and Ben-Salem, N. 2019. Computing structural and functional flow and sediment connectivity with a new aggregated index: A case study in a large Mediterranean catchment. *Science of the Total Environment*. 651: 179-191.
- López-Vicente, M., Poesen, J., Navas, A. and Gaspar, L. 2013. Predicting runoff and sediment connectivity and soil erosion by water for different land use scenarios in the Spanish Pre-Pyrenees. *Catena*. 102: pp.62-73.
- Majumder, S., Neogi, S., Dutta, T., Powel, M.A. and Banik, P. 2019. The impact of biochar on soil carbon sequestration: Meta-analytical approach to evaluating environmental and economic advantages. *Journal of environmental management*. 250: 109466.
- Mekonnen, M., Keesstra, S.D., Baartman, J.E., Stroosnijder, L. and Maroulis, J. 2017. Reducing sediment connectivity through man-made and natural sediment sinks in the Minizir catchment, Northwest Ethiopia. *Land degradation & development*. 28(2): 708-717.
- Moore, I.D. and Wilson, J.P. 1992. Length-slope factors for the Revised Universal Soil Loss Equation: Simplified method of estimation. *Journal of soil and water conservation*. 47(5): 423-428.
- Najafi, S., Dragovich, D., Heckmann, T. and Sadeghi, S.H. 2021. Sediment connectivity concepts and approaches. *Catena*. 196: 104880.

- Wang, Y., Chen, L., Gao, Y., Wang, S., Lü, Y. and Fu, B. 2016. Carbon sequestration function of check-dams: a case study of the Loess Plateau in China. *Ambio*. 43(7): 926-931.
- Zarfl, C. and Lucía, A. 2018. The connectivity between soil erosion and sediment entrapment in reservoirs. *Current Opinion in Environmental Science & Health*. 5: 53-59.
- Zhao, G., Gao, P., Tian, P., Sun, W., Hu, J. and Mu, X. 2020. Assessing sediment connectivity and soil erosion by water in a representative catchment on the Loess Plateau, China. *Catena*. 185: 104284.

Abstract

Awareness of the sediment transport process on a large scale and evaluation of the efficiency of watershed management and sediment control measures are essential for sustainable management of watersheds. For this purpose, in this study, as a new and practical solution, the "modified sediment connectivity index" was developed to

evaluate the impact of watershed management measures including sediment retention dams, banks, and vegetation enclosures on the sediment flux potential of Khamsan paired watersheds located in southern Kurdistan province. First, a conceptual model of sediment connectivity was developed using topographic (relative slope position index and roughness index), hydrological (topographic moisture index, curve number, flow power index, and sediment transport capacity index), and vegetation (normalized vegetation difference index) factors. After preparing a map of the aforementioned environmental factors in the sample and control paired watersheds, a comprehensive weighting factor was calculated based on environmental factors in both sub-basins. The sediment connectivity status of the paired sample and control watersheds was investigated using SedInConnect software, and sediment connectivity index maps were drawn for the paired sample and control watersheds. The spatial pattern and frequency distribution of the sediment connectivity index in the two sample and control sub-basins were compared. The results showed that the sediment connectivity index is generally lower in different parts of the sample sub-basin than the value of this index in the control sub-basin. Technical analyses based on the histogram comparison of the modified sediment connectivity index maps showed that watershed management operations including sediment retention dams, banks, and vegetation enclosures have a significant impact on the sediment transport process.

Keywords: Watershed management, sediment retention dams, sediment connectivity index, sediment control, Kurdistan.

Ministry of Agriculture-Jahad
Agricultural Research, Education and Extension Organization
Soil Conservation and Watershed Management Research Institute
Kurdistan Agricultural and Natural Resources Research and
Education Center

Title: Studying the effect of watershed management measures on the modified sediment connectivity index in Khamsan paired watersheds of Kurdistan Province

Authors: Omid Rahmati, Seyed Masoud Soleimanpour, Mahmood Arabkhedri

Editor: Saeed Nabipay-Lashkarian

Document Formatting: Abbas Sedigh

Publisher: Soil Conservation and Watershed Management Research Institute

Circulation: 10 copies

Date of Publication: Spring 2025

This scientific work has been registered with the series number of **67231** at the date of **2025-04-26** the Agriculture Information and Scientific Documents Center. All rights reserved. No part of this publication may reproduced or translated without the original reference.

**Ministry of Agriculture-Jahad
Agricultural Research, Education and Extension Organization
Soil Conservation and Watershed Management Research Institute
Kurdistan Agricultural and Natural Resources Research and
Education Center**

Technical Report:

Studying the effect of watershed management measures on the modified
sediment connectivity index in Khamsan paired watersheds of Kurdistan
Province

Authors:

Omid Rahmati, Seyed Masoud Soleimanpour, Mahmood Arabkhedri

Series Number:

67231

2025



Ministry of Agriculture - Jihad

Agriculture Research, Education and Extension Organization

Soil Conservation and Watershed Management Research Institute



Agricultural and natural resources research and training center of Kurdistan province

Technical Report

**Studying the effect of watershed
management measures on the modified
sediment connectivity index in Khamsan
paired watersheds of Kurdistan Province**

Series Number: 67231

2025