



الگوی مکانی تولید رسوب با استفاده از مدل ساختاری اتصال رسوب در حوضه آبخیز طالقان، ایران

محمدعلی هیلو^۱، سید عباس حسینی^{۲*} و احمد شرافتی^۳

(۱) دانشجوی دکتری، گروه مدیریت ساخت و آب، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

(۲) دانشیار، گروه مدیریت ساخت و آب، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

(۳) استادیار، گروه مدیریت ساخت و آب، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

* ایمیل نویسنده مسئول: abbas_hoseyni@srbiau.ac.ir

چکیده:

زمینه و هدف: امروزه با توجه به اهمیت رسوبات در حوضه ها، مدیریت جامع حوضه های آبخیز کشور نیازمند چارچوبی مشخص در برنامه ریزی های مربوط به پایش و کنترل رسوبات می باشد. یکی از موثرترین روش ها، استفاده از شاخص اتصال رسوبی (IC) است. فرایند اتصال یک مفهوم نوظهور برای درک بهتر از فرایندهای رخ داده در سطح حوضه آبخیز است که بر جریان آب و حرکت رسوب در مقیاس های مکانی-زمانی مختلف تاثیر می گذارند. این شاخص درجه اتصال جریان رسوب در سرتاسر آبخیز مخصوصاً بین منبع رسوب و منطقه پایین دست را تبیین کرده و به نوعی بیانگر نسبت تحویل رسوب می باشد. بنابراین پژوهش حاضر با هدف بررسی اتصال رسوب در آبخیز طالقان استان البرز در قالب استخراج نقشه شاخص اتصال رسوب و نیز صحت سنجی نتایج با بازدیدهای میدانی صورت گرفته است.

روش پژوهش: در این پژوهش به منظور بررسی الگوی مکانی تولید رسوب در حوضه، از روش ارائه شده توسط بورسلی و همکاران و تعریف شاخص اتصال (IC) نقشه اتصال رسوبی حوضه استخراج گردید. بدین منظور ابتدا داده های توپوگرافی از مدل رقومی ارتفاعی ۳۰ متر و داده های پوشش گیاهی در دو دقت مکانی ۱۰ و ۳۰ متری به ترتیب با تصاویر Sentinel-2A و Landsat 8 تهیه و با استفاده از لایه های اطلاعاتی از جمله میانگین تندی شیب، میانگین عامل وزنی و سطح مشارکتی مقادیر جزء فراشیب مسیر شروع جریان در انتقال رسوب محاسبه گردید. سپس با استفاده از لایه های طول مسیر به سمت پایین دست، عامل وزنی هر سلول و در نهایت تندی شیب هر سلول، جزء فروشیب در شبکه اتصال رسوبی محاسبه و با مرجع قرار دادن خروجی آبخیز در محیط نرم افزار ArcGIS 10-2-2 شاخص اتصال برای تمام پیکسل ها محاسبه و نقشه اتصال رسوبی ترسیم گردید. محدوده IC از (∞- تا +∞) است و هنگامی که IC به سمت +∞ سیر می کند، اتصال افزایش می یابد و در نهایت بمنظور ارزیابی نتایج مدل، شاخص اتصال میدانی (FIC) در ۳۰ نقطه از سطح حوضه اجرا و همبستگی بین شاخص IC و FIC در این نقاط مورد ارزیابی قرار گرفت.

یافته ها: بر اساس یافته های این پژوهش و برآزش شاخص اتصال رسوبی (IC) با شاخص اتصال رسوب میدانی (FIC) در ۳۰ نقطه، رابطه بین این دو شاخص از نوع خطی می باشد. ضریب تعیین در دقت مکانی ۱۰ متر با مقدار عددی ۰/۸۶ بیشتر از ضریب تعیین خروجی مدل با دقت مکانی ۳۰ متر با مقدار عددی ۰/۶۲ به دست آمد که نشان از دقت بالاتر نتایج حاصل از شاخص اتصال رسوب با قدرت تفکیک مکانی ۱۰ متر نسبت به ۳۰ متر است. هر چند پراکنش نقاط در مواردی دچار بی نظمی شده اما روند کلی نتایج نشان می دهد که با افزایش میزان اتصال رسوب (IC)، میزان اتصال رسوب محاسباتی میدانی (FIC) نیز به صورت خطی افزایش پیدا کرده است. در محاسبه شاخص اتصال عواملی از قبیل شکل، شیب و زبری حوضه که به سهولت قابل دسترس می باشند به دلیل نیاز داده ای کم و کارایی بالا می توانند زمینه ساز بهبود برآورد مدل های رسوبدهی شوند.

نتایج: در این پژوهش نتایج نشان داد که شاخص اتصال رسوب با دقت مکانی ۱۰ متر دقت بالاتری نسبت به شاخص اتصال با دقت مکانی ۳۰ متر دارد. همچنین نتایج نشان داد که شیب و عامل پوشش گیاهی از پارامترهای بسیار مهم در رسوبدهی آبخیز طالقان هستند. شایان ذکر است که جهت بررسی اثر مساحت و طول آبراهه اصلی، می توان نتایج شاخص اتصال رسوب را در سطح زیرحوضه و حتی دامنه مورد ارزیابی دقیق تر قرار داد. لحاظ کردن نقشه جهت جریان و جریان جمعی در فرضیات این مدل با توجه به اهمیت این موارد در رسوبدهی هر زیرحوضه، از مزایای این مدل به حساب می آید. یکی دیگر از مزایای بسیار مهم این مدل نیاز داده ای کم آن می باشد که می تواند مشکل پیچیده بودن و نیازهای داده ای فراوان مدل های فرسایش و رسوب موجود را تا حد زیادی کاهش دهد.

کلید واژه ها: فرسایش، اتصال رسوبی، شاخص اتصال رسوب میدانی، پوشش گیاهی، آبخیز طالقان

نشریه حفاظت منابع آب و خاک

آدرس تارنما:

<https://wsrcj.srbiau.ac.ir>

پست الکترونیک:

iauwsrcj@srbiau.ac.ir

iauwsrcj@gmail.com

سال دوازدهم

شماره سه (۴۷)

بهار ۱۴۰۲

تاریخ دریافت:

۱۴۰۱/۰۴/۲۱

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۱/۰۷/۲۵

صفحات: ۶۴-۵۱



مقدمه

توانایی بررسی همزمان تغییرات زمانی و مکانی را دارا می‌باشد (Lisenby et al., 2020).

به رغم توسعه و پیشرفت مفهوم اتصال رسوب در مجامع علمی بین‌المللی در سالیان اخیر، در داخل کشور همچنان خیلی مورد توجه قرار نگرفته است. نجفی و همکاران (۲۰۱۹) در تحقیقی به بررسی تغییرات زمانی و مکانی اتصال رسوب آبخیز تهم‌چای استان زنجان پرداختند. نتایج تحقیق آنها نشان داد که امکان شناسایی مناطق همگن از نظر میزان احتمال انتقال رسوب در سرتاسر حوضه آبخیز وجود دارد. نجفی و همکاران (۲۰۱۵) در تحقیقی دیگر اقدام به بررسی تحلیل الگوی اتصال ساختاری اتصال رسوب در حوضه آبخیزی در استان زنجان نمودند. آنها جهت محاسبه شاخص اتصال از لایه‌های رقومی ارتفاعی، عامل پوشش گیاهی و بازدیدهای میدانی استفاده کردند. نتایج شاخص اتصال ساختاری محاسبه شده با بازدیدهای میدانی نشان از تطابق قابل قبول بین این دو بود که خود نشان از کارایی بالای این مدل دارد. عربخدری و همکاران (۲۰۲۱) به بررسی رابطه بین رسوبدهی و شاخص اتصال رسوب در آبخیزهای کوچک و با پتانسیل رسوب مشابه پرداختند. نتایج آنها نشان داد که بین رسوبدهی خروجی آبخیزها و شاخص اتصال تطابق قابل قبولی ($R=0.84$) وجود دارد. همچنین محققان این تحقیق با توجه به نتایج به دست آمده تسریع کردند که امکان استفاده از این شاخص جهت کمی‌سازی توزیعی مکانی SDR در سرتاسر حوضه آبخیز وجود دارد که نشان از قابلیت بالای این شاخص در تحلیل‌های مکانی و زمانی انتقال رسوب دارد. نجفی و همکاران (۲۰۱۹) در تحقیقی دیگر به بررسی پراکنش مکانی و تغییرات زمانی اتصال ساختاری رسوب در سه سال ۱۹۹۰، ۲۰۰۱ و ۲۰۱۴ در حوضه آبخیز تهم‌چای زنجان پرداختند. آنها از شاخص وزنی عامل پوشش گیاهی حاصل از نقشه‌های NDVI ماهواره‌های Landsat با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر استفاده کردند. نتایج آنها نشان داد که امکان بررسی اتصال ساختاری و تغییرات

فرایند اتصال یک مفهوم نوظهور برای درک بهتر از فرایندهای رخ داده در سطح حوضه آبخیز است که بر جریان آب و حرکت رسوب در مقیاس‌های مکانی-زمانی مختلف تاثیر می‌گذارد (Vaezi et al., 2017; Cavalli et al., 2019). تجزیه و تحلیل اتصال رسوب با استفاده از شاخص‌های مختلف صورت می‌گیرد. بورسلی^۱ و همکاران (۲۰۰۸) یک شاخص اتصال رسوب^۲ (IC) را براساس یک روش ژئومورفولوژیک ارائه کردند که در آن فرایندهای هیدرولوژیکی به طور صریح در نظر گرفته نمی‌شوند. این در حالی است که شاخص IC براساس خصوصیات فیزیکی نواحی بالادست و پایین‌دست، نسبت به یک نقطه مشخص بوده که خصوصیات توپوگرافی آبخیز و مقاومت رسوب را در نظر می‌گیرد. در واقع شاخص IC نشان دهنده احتمال حرکت رسوب از یک مکان مشخص به یک مخزن رسوب‌گیر و یا شبکه زهکشی است که برای هر نقطه به صورت مجزا محاسبه می‌شود. بر همین اساس ارتباط بین عناصر ناشی از جریان‌های سطحی و زیرسطحی در قالب مؤلفه اتصال عملکردی مورد بررسی قرار می‌گیرد (Keesstra et al., 2019). به عبارت دیگر اتصال ساختاری یک مفهوم فیزیکی است که ارتباط بین مؤلفه‌های فیزیکی آبخیز با هم را در یک مقیاس مکانی و زمانی مشخص مورد بررسی قرار می‌دهد. جزء دیگر شاخص اتصال به الگوهای فضایی آبخیز اشاره دارد که در مجامع علمی اتصال ساختاری نامیده می‌شود (Arabkhedri et al., 2021). اتصال ساختاری^۳ به پیوستگی آبراه‌ها و مسیرهای حرکت رسوب، طول دامنه و مقاومت خاکدانه‌ها به جریان بستگی دارد (Najafi et al., 2019; López-Vicente and Ben-Salem 2019). به عبارت دیگر اتصال ساختاری با بررسی پیکربندی سامانه تحت مطالعه، جابجایی و حرکت خاکدانه‌ها را در سطح آبخیز مورد بررسی قرار داده و

¹ Borselli

² Index of connectivity

³ Structural connectivity

توسط بورسلی^{۱۰} و همکاران (۲۰۰۸)، از زبری سطحی توپوگرافیکی حاصل از تصاویر لیدار^{۱۱} (با قدرت تفکیک مکانی ۵×۵ متر) به عنوان عامل وزنی در شاخص اتصال استفاده کردند. نتایج آن‌ها بیان کننده عملکرد مناسب شاخص اتصال در تجزیه و تحلیل‌های ژئومورفومتریکی برپایه شواهد میدانی است. آن‌ها همچنین بر اساس نتایج به دست آمده پیشنهاد کردند که این روش می‌تواند در تعیین توزیع اتصال رسوبی و تقسیم حوضه به مناطق همگن بسیار مفید باشد. شاخص ارائه شده توسط کوالی^{۱۲} و همکاران (۲۰۱۹) نیاز داده‌ای پایین دارد و در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) قابل اجرا است. بعلاوه امکان جایگزین کردن برخی از عوامل نیز متناسب با داده‌های محلی وجود دارد.

امروزه یکی از اهداف مدیریت حوضه‌های آبخیز در سطح کشور دستیابی به تعادل اکوهیدرولوژیکی آبخیزها و نیز افزایش سطح درآمدی و نیز ارتقای وضعیت اجتماعی ذینفعان است. برای نیل به این هدف در سالان اخیر اقدامات متعددی صورت گرفته است. با این وجود بررسی‌های میدانی مختلف در سراسر کشور نشان می‌دهد که با اهداف از پیش تعیین شده در زمینه مدیریت جامع حوضه‌های آبخیز فاصله زیادی وجود دارد. یکی از اجزای اصلی اقدامات آبخیزداری، مدیریت رسوب از طریق عملیات‌های حفاظت خاک است. لذا برای رسیدن به اهداف مورد اشاره و نیز تمرکز صحیح هزینه‌کردها و صرفه‌جویی در وقت، درک کافی از منشأ رسوب، مناطق رسوبگیر و الگوی حرکت رسوب در سطح آبخیزها از الزامات مدیریتی به حساب می‌آید.

از آنجایی که در فرسایش آبی انتقال رسوب توسط نیروی محرکه‌ی آب و فرآیندهای هیدرولوژی در شبکه آبراه صورت می‌گیرد، لذا مفهوم اتصال رسوبی را انتقال رسوب به واسطه آب، بین دو جزء مختلف آبشار رسوب آبخیز و عدم اتصال را درجه‌ای از هر نوع عامل

زمانی و مکانی آن در گستره آبخیز وجود دارد و از طریق آن می‌توان به تشخیص مناطق همگن از نظر میزان احتمال انتقال رسوب تولیدی دست یافت. از آنجاکه پایه و اساس شاخص اتصال^۱ تجزیه و تحلیل در محیط GIS است، بورسلی^۲ و همکاران (۲۰۰۸) به منظور بررسی دقیق‌تر آن، شاخص میدانی اتصال^۳ را معرفی کردند؛ که در آن به صورت میدانی با استفاده از جداولی به امتیازدهی سریع برخی از متغیرهای شاخص‌های اتصال پرداخته می‌شود. آن‌ها با استفاده از اطلاعات توپوگرافی (با قدرت تفکیک مکانی ۵×۵ متر)، کاربری و سیمای سرزمین، پتانسیل اتصال رواناب و رسوب در حوضه آبخیزی توسکانی^۴ در ایتالیا را مورد بررسی قرار دادند و ابراز داشتند که این شاخص‌ها می‌تواند امکان مدل‌سازی تکامل اتصال در سناریوهای مختلف مدیریتی را فراهم نماید. ایشان همچنین بیان نمودند که با استفاده از این شاخص‌ها مفهوم اتصال کمی شده و امکان تعیین نقاط کانونی رسوبی وجود دارد و حتی امکان ارزیابی اثر اقدامات مؤثر بر کاهش یا ایجاد اتصال فراهم شده است. ویجیاک^۵ و همکاران (۲۰۱۲) با استفاده از چهار سنجه^۶ زمان پیمایش، ظرفیت انتقال رسوب، شاخص اتصال و زمان بقای رسوب به بررسی تغییرات مکانی نسبت تحویل رسوب دامنه‌ای^۷ پرداختند. نتایج نشان داد که حوضه آبخیز آوون-ریچاردسون^۸ از نظر تغییرات نسبت تحویل رسوب در مقیاس زیرآبخیز قابل بررسی و تقسیم‌بندی است. به طوری که در سنجه زمان پیمایش، نقش توپوگرافی ملموس‌تر شده و مناطق مسطح با مشارکت رسوبی صفر و مناطق شیبدار با بیشترین مشارکت مشخص شدند. کوالی^۹ و همکاران (۲۰۱۹) ضمن اصلاح شاخص ارائه شده

¹ Index of Connectivity

² Borselli

³ Field Index of Connectivity

⁴ Tuscany

⁵ Vigiak

⁶ Metric

⁷ hillslope-scale sediment delivery ratio

⁸ Avon-Richardson

⁹ Cavalli

¹⁰ Borselli

¹¹ LiDAR

¹² Cavalli

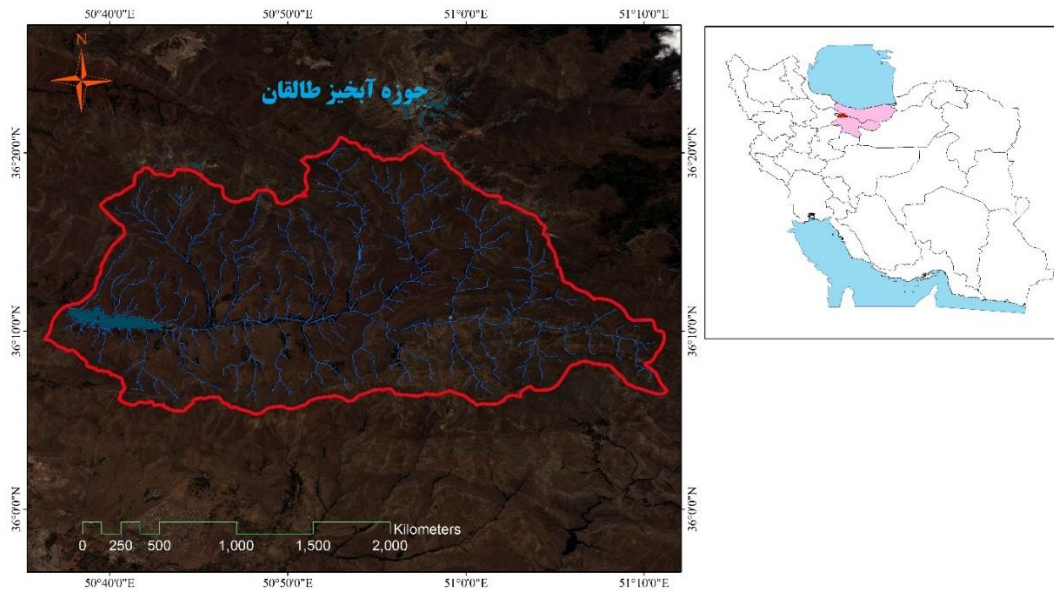
جدی محققین نبوده است و بر همین اساس بیان مفاهیم مرتبط با اتصال رسوبی در کشور هنوز نوپا بوده و نیازمند تحقیقات متنوع چه از بعد مکانی و چه از بعد دقت بانک داده‌ای موجود در کشور است (Najafi et al., 2019). امروزه افزایش بارش‌های همرفتی در سطح کشور و حوضه آبخیز طالقان و به تبع آن رسوب ایجاد شده منجر به مشکلات متعدد درون منطقه‌ای و برون منطقه‌ای شده است. به رغم مطالعات متعدد رسوب شناسی در طی ۳۰ ساله گذشته در سطح آبخیز مورد مطالعه، آگاهی از پهنه‌های مهم و مستعد انتقال رسوبات از ملزومات طراحی راهبردهای مؤثر در مدیریت تولید و انتقال رسوب در سطح حوضه آبخیز طالقان است. یکی از مفاهیم کلیدی در این زمینه، بررسی اتصال رسوب است که قابلیت انتقال رسوب از یک بخش به بخشی دیگر و نیز پتانسیل جابه جایی برای ذرات رسوب در سراسر سیستم حوضه آبخیز (چه درون دامنه‌ای و چه بین دامنه و آبراهه) را مورد بررسی قرار می‌دهد. در این پژوهش این مهم با استفاده از دو دقت مکانی پوشش گیاهی و ارزیابی نتایج آنها با داده‌های میدانی در حوضه آبخیز طالقان جهت پایش اتصال رسوبی انجام و نهایتاً در این آبخیز نقشه شاخص اتصال رسوب استخراج و نیز صحت سنجی نتایج با بازدیدهای میدانی انجام شده است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد بررسی

حوضه آبخیز طالقان یکی از شاخه‌های آبخیز سفیدرود به شمار می‌رود که در دامنه رشته‌کوه البرز و در بخش شمال غربی استان تهران واقع شده است. وسعت منطقه مورد مطالعه ۸۰۴۲۸ هکتار می‌باشد که بین ۳۶ درجه و ۵ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۲۰ دقیقه عرض شمالی و ۵۰ درجه و ۳۹ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۱۱ دقیقه طول شرقی واقع شده است (شکل ۱). متوسط بارندگی آبخیز طالقان ۵۹۱ میلی‌متر در سال و متوسط دمای سالانه آن ۱۱/۶ درجه سانتیگراد بوده و شیب متوسط آن ۴۰/۵٪ است (Kazemi and Bayat, 2018).

محدودکننده انتقال و شار رسوب در سراسر سیمای سرزمین بیان می‌کنند (Wang et al., 2022; Upadhyay et al., 2020). به بیان ساده تر انتقال رسوب از یک ناحیه یا بخش به ناحیه یا بخشی دیگر و پتانسیل جابه جایی برای یک ذره رسوب در سراسر سامانه‌ی آبخیز (درون دامنه‌ای، بین دامنه و آبراهه، درون آبراهه‌ای) اتصال رسوبی نامیده می‌شود و به طور کلی و جامع می‌توان بیان داشت که «اتصال رسوبی» به عنوان انتقال رسوب از میان تمام منابع رسوب ممکن به تمام مخازن رسوب پتانسیل در یک سامانه تحت فرآیندهای جدایش، انتقال و ترسیب رسوب می‌باشد (Cislaghi and Bischetti, 2019; Millares-Valenzuela et al., 2022; Liu et al., 2022). بنابراین مفهوم اتصال، ارتباط درونی بین اجزای مورفولوژیکی سیمای سرزمین، امکان تحلیل انواع و میزان ارتباط مکانی بخش‌های مختلف آبخیز به منظور مدل سازی و کمی کردن شار و انتقال رسوب و نوع تغییرات آن در بازه‌های زمانی مختلف را نشان می‌دهد. با توضیحات فوق، ذکر این نکته نیز ضروری است که مطالعات مربوط به ارتباط فرآیندهای مختلف انتقال رسوب، بیلان رسوب، عدم قطعیت‌های متصور بر نسبت تحویل رسوب و رسوب ذخیره با مفهوم اتصال هیدرولوژیکی و رسوبی و اقدامات مدیریتی وابسته به آن سابقه چندانی ندارد، لکن روند مطالعات مذکور طی چند سال اخیر از رشد قابل توجهی برخوردار بوده است در همین رابطه اکثر مطالعات به بررسی نفوذ آب و تولید رواناب و نقش اتصال هیدرولوژیکی در این امر و نقش آن در انتقال رواناب پرداخته‌اند (Najafi et al., 2021). بطور کلی جمع بندی سوابق پژوهشی بیانگر کاربرد مفهوم اتصال در بررسی تغییرات هدایت هیدرولیکی، رطوبت خاک و تأثیر آن بر رفتار هیدرولوژیکی آبخیز، اتصال بالقوه و واقعی بخش‌های مختلف آبخیز در انتقال رسوب و ارائه شاخص شبکه به عنوان شاخصی ایستا و متأثر از توپوگرافی در مطالعه اتصال رواناب سطحی می‌باشد (Cavalli et al., 2019; Heckmann et al., 2018; Baartman et al., 2020). بررسی‌ها نشان می‌دهد که در این میان بررسی اتصال رسوبی و توجه هم زمان به بررسی اتصال ساختاری رسوب و با توجه به اثر آن بر مدیریت حوضه‌های آبخیز مورد توجه



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی حوضه آبخیز

شبکه‌ای مورد استفاده (به متر)؛ W_i عامل وزنی سلول S_i ؛ S_i تندی شیب مربوط به سلول k و k بیانگر شاخص اتصال محاسبه شده مخصوص به هر سلول می‌باشد (رابطه ۱). جزئیات مراحل کار تهیه نقشه و محاسبه شاخص اتصال زیرحوضه‌ها در شکل ۲ نشان داده شده است.

برای تهیه داده‌های مورد نیاز محاسبه D_{dn} و D_{up} در رابطه ۱، به دو نقشه توپوگرافی و پوشش گیاهی نیاز است. هر چه مقیاس نقشه‌ها بزرگ‌تر باشد انتظار می‌رود که نتیجه بهتر باشد. در برخی تحقیقات به ترتیب از دقت مکانی ۳۰، ۵ و ۲/۵ متر استفاده گردید (Borselli et al., 2019; Cavalli et al., 2019; Najafi et al., 2019). قبل از استفاده از نقشه مدل رقومی ارتفاعی به منظور نزدیک شدن به واقعیت هیدرولوژیکی، DEM pre-processing انجام می‌شود (Najafi et al., 2021). این اقدام به دلیل آن است که در برخی از مناطق جریان شبکه زهکشی به دلیل خطاهای DEM گم می‌شود و لذا از دستور sink filling برای رفع این مشکل استفاده می‌شود. برای تعیین متغیرهای مورد نیاز روابط D_{dn} و D_{up} ، ابتدا با استفاده از نقشه مدل رقومی ارتفاعی منطقه، لایه‌های اطلاعاتی شیب، جهت جریان و جریان تجمعی تهیه می‌شود. توضیح آنکه،

تئوری مدل شاخص اتصال

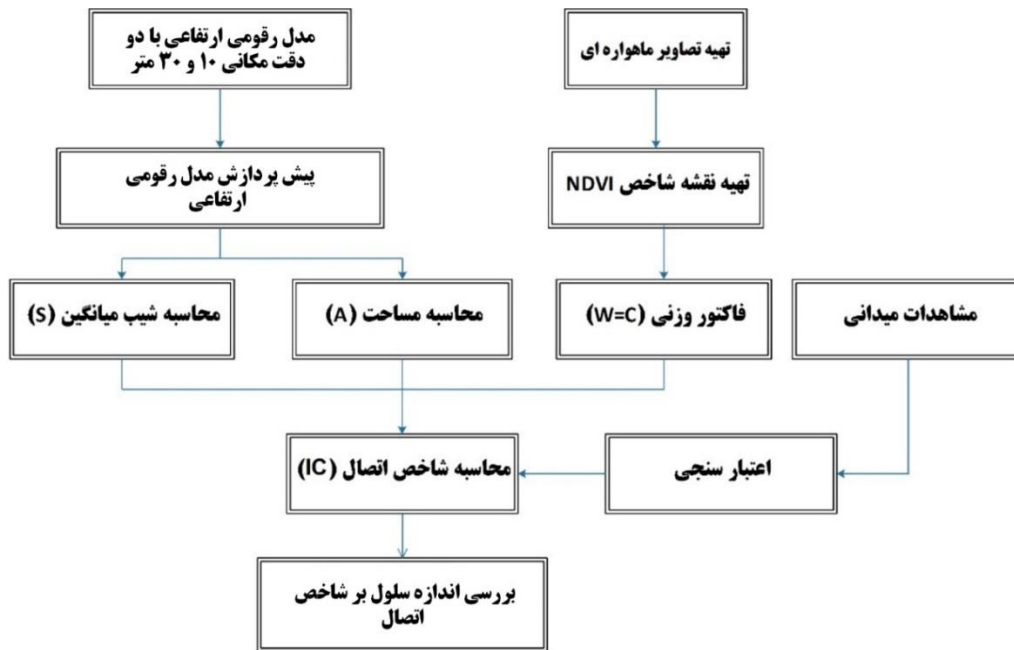
در سال ۲۰۰۸ در حوضه آبخیز بیلانچینو^۱ شاخص اتصال ساختاری که برای بیان وضعیت و کیفیت اتصال ساختاری استفاده می‌شود توسط بورسلی و همکاران تعریف گردید. این شاخص از ظرفیت مناسبی برای استفاده در حوضه‌های آبخیز مختلف در دنیا برخوردار است (Vanmaercke et al., 2021; Wohl et al., 2019; Persichillo et al., 2018).

برای تعیین شاخص اتصال از رابطه ۱ استفاده می‌شود (Borselli et al., 2020).

$$IC_k = \log_{10} \left(\frac{D_{up,k}}{D_{dn,k}} \right) = \log \left(\frac{\bar{W}_k S_k \sqrt{A}}{\sum_{i=k,n_k}^n \frac{d_i}{W_i S_i}} \right) \quad (1)$$

D_{dn} و D_{up} به ترتیب جزء بالادست و پایین‌دست این مدل است و اندیس k نشان می‌دهد که هر سلول مقدار IC خود را دارد. عوامل D_{up} به شرح ذیل می‌باشند: \bar{W} میانگین عامل وزنی سطح مشارکت بالادست (بدون بعد)؛ S میانگین تندی شیب سطح مشارکت بالادست (متر بر متر) و A سطح مشارکتی بالادست (مترمربع). همچنین اجزای D_{dn} شامل: طول مسیر به سمت پایین‌دست در سلول k ؛ نقشه

¹ Bilancino



شکل ۲. نمودار گردش محاسبه شاخص اتصال در این مطالعه

مشارکتی، جزء بالادست مسیر شروع جریان در انتقال رسوب محاسبه شد. سپس با استفاده از لایه‌های طول مسیر به سمت پایین‌دست، عامل وزنی هر سلول (رابطه ۲) و در نهایت تندی شیب هر سلول، جزء پایین‌دست در شبکه اتصال رسوبی محاسبه می‌شود. در نهایت با مرجع قرار دادن خروجی آبخیز و با استفاده از رابطه ۱ و در محیط نرم‌افزار ArcGIS 10-2-2 شاخص اتصال برای تمام پیکسل‌ها محاسبه می‌شود. محدوده IC از $(-\infty)$ تا $(+\infty)$ است و هنگامی که IC به سمت $+\infty$ سیر می‌کند، اتصال افزایش می‌یابد (Borselli et al., 2020).

برای تعیین NDVI از تصاویر ماهواره‌ای Sentinel-2A و Landsat 8 که قدرت تفکیک مکانی متفاوتی دارند استفاده گردید. تاریخ و مشخصات تصاویر استفاده شده در جدول ۱ بیان شده است.

جدول ۱. مشخصات تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده برای تعیین

شاخص NDVI		نام ماهواره
تاریخ ثبت	قدرت تفکیک مکانی	
۱۴۰۰/۰۴/۰۵	۱۰ متر	Sentinel-2A
۱۴۰۰/۰۴/۰۴	۳۰ متر	Landsat 8

عامل وزنی W ، مقاومت^۱ محلی به جریان رواناب و انتقال رسوب ناشی از ویژگی‌های پوشش و سطح زمین را نشان می‌دهد. از این‌رو، این عامل از ویژگی‌های سطحی که فرایندهای تولید رواناب و رسوب در یک آبخیز یا دامنه را تحت تأثیر قرار می‌دهند، مشتق می‌شود. در این مطالعه بر اساس پیشنهاد بورسلی^۲ و همکاران (۲۰۰۸) و همچنین نجفی و همکاران (۲۰۱۹) عامل پوشش گیاهی (C) مربوط به معادله جهانی فرسایش خاک معادل متغیر W استفاده خواهد شد. عامل C از شاخص NDVI (مطابق رابطه ۲) محاسبه می‌شود (Ayalew et al., 2020) که در آن NDVI شاخص وزنی است و از تفسیر تصویر ماهواره‌ای به دست می‌آید. عامل C بین صفر و یک متغیر است. در مقدار حداکثر، پوششی وجود ندارد و خاک کاملاً در معرض خطر فرسایش قرار دارد. در مقدار حداقل (صفر) پوشش گیاهی در بهترین وضعیت قرار دارد و خاک کاملاً محافظت شود (Borselli et al., 2020).

$$C = 1 - NDVI/2 \quad (2)$$

ابتدا با استفاده از لایه‌های اطلاعاتی میانگین گرادیان شیب، میانگین عامل وزنی حاصل از رابطه ۲ و سطح

¹ Impedance

²Borselli

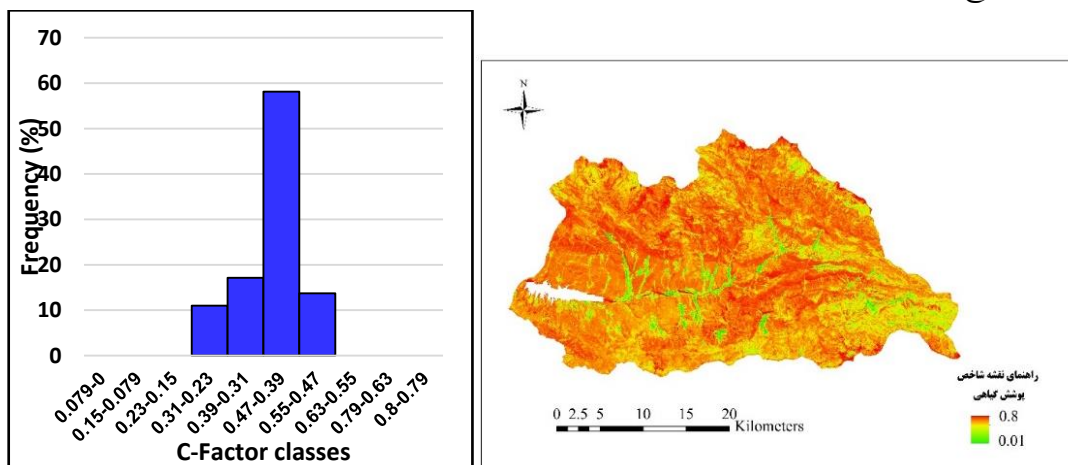
بازدیدهای میدانی

در انتها به منظور شناخت بیشتر حوضه مورد مطالعه، شناسایی پدیده‌های فرسایشی و ارزیابی کلی از وضعیت اتصال رسوبی مطابق با نقشه زمین‌شناسی و نقشه کاربری اراضی اقدام به پیمایش میدانی در سطح حوضه شد. محل بازدیدهای میدانی و تعداد آن مطابق با یافته‌های نجفی و همکاران (۲۰۱۵) در نظر گرفته شد. لذا پس از تعیین واحدهای کاری که از تلفیق نقشه کاربری اراضی و زمین‌شناسی حاصل شده بود، واحدهای با مساحت کمتر از ۵ هکتار با واحدهای مجاور ادغام شدند. پس از آن به منظور اعتبارسنجی نتایج مدل شاخص رسوب، شاخص اتصال رسوب میدانی بورسلی و همکاران (۲۰۰۸) مورد استفاده قرار گرفت. سپس مطابق با این شاخص‌ها اقدام به تهیه نقشه شاخص اتصال میدانی در ۳۰ محل در ۶ واحد کاری از ۲۰ واحد کاری گردید. انتخاب این واحدهای کاری براساس در دسترس بودن و نیز متنوع بودن کاربری اراضی در سطح حوضه آبخیز طالقان صورت گرفت. در نهایت این نتایج با نتایج نقشه شاخص اتصال حاصل از مدل با دو دقت مکانی مورد مطالعه تطبیق داده شده و اعتبار نتایج با دو دقت متفاوت حاصل شد.

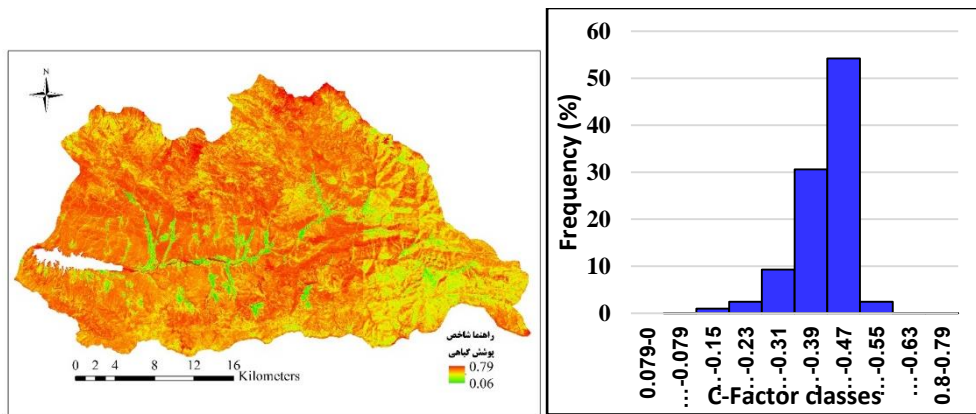
نتایج:

نقشه عامل پوشش گیاهی و شیب:

شکل ۳ پراکنش سطحی و درصد فراوانی طبقات مقادیر عامل پوشش گیاهی در سطح حوضه آبخیز طالقان را برای دو تصویر ماهواره‌ای نشان می‌دهد. کمترین عامل پوشش گیاهی ۰/۰۶ و بیشترین مقدار آن ۰/۷۹ است. عامل پوشش گیاهی حاصل از سنجنده Sentinel-2A نشان می‌دهد که کمترین مقدار آن برای طبقه ۰/۱۵ - ۰/۰۷۹ با درصد فراوانی ۱/۱۷ درصد (بیش از ۱۱۱۵ هکتار از سطح کل آبخیز) و بیشترین مقدار برای طبقه ۰/۵۵-۰/۴۷ با درصد فراوانی ۵۴ درصد (بیش از ۵۱۴۶۲ هکتار از سطح کل آبخیز) است. نتایج عامل پوشش گیاهی حاصل از تصاویر سنجنده Landsat 8 نشان می‌دهد که سه طبقه ۰/۰۷۹-۰، ۰/۱۵-۰/۰۷۹ و ۰/۲۳-۰/۱۵ با درصد فراوانی کمتر از یک درصد (کمتر از نه هکتار از سطح کل آبخیز) کمترین فراوانی و طبقه ۰/۴۷-۰/۳۹ با درصد فراوانی ۵۸/۵ درصد (۵۵۷۵۱ هکتار از سطح کل آبخیز) بیشترین درصد فراوانی را به خود اختصاص داده است.



شکل ۳ (الف)

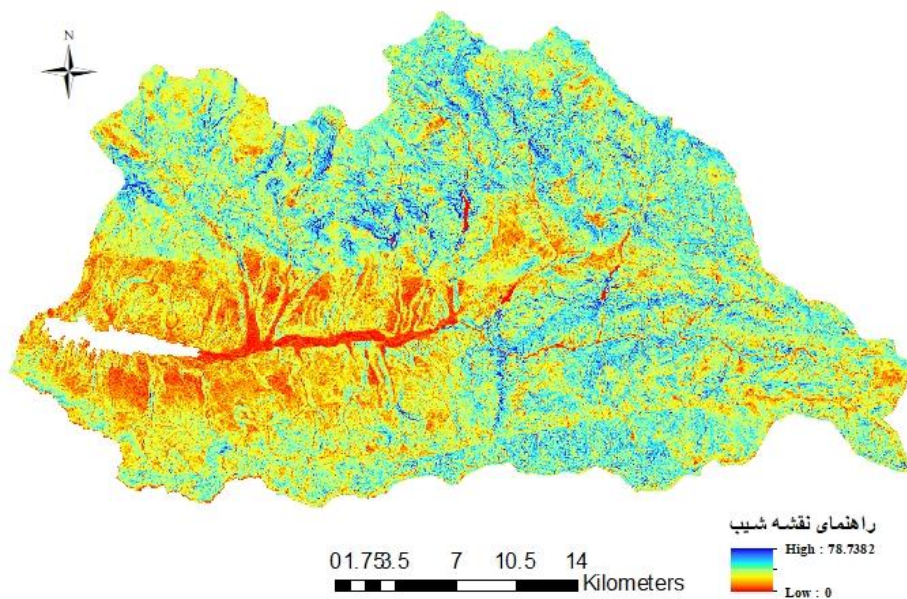


شکل ۳ (ب)

شکل ۳. سمت راست، تغییرات مکانی و سمت چپ، فراوانی مقادیر عامل پوشش گیاهی (الف) ماهواره Landsat 8، (ب) Sentinel-2A حوضه آبخیز طالقان

۰/۳۸ به دست آمد. نتایج آنالیز عامل پوشش گیاهی نشان می‌دهد که با وجود تفاوت در طبقه بیشترین پوشش گیاهی بین دو سنجنده، اما طبقه کمترین پوشش گیاهی بین دو سنجنده یکسان است. به طور کلی حوضه طالقان میانگین شیب ۲۳ درصد داشته و پراکنش پستی و بلندی‌های حوضه به شکلی است که بخش‌های نزدیک به مرز حوضه دارای شیب بالا و بخش‌های میانی و خصوصاً بخش‌های نزدیک به آبراهه اصلی پهنه‌های با شیب کم هستند (شکل ۴).

نتایج مقایسه درصد فراوانی طبقات به طور کلی نشان می‌دهد که کمترین فراوانی عامل پوشش گیاهی در هر دو سنجنده مورد بررسی بین سه طبقه ۰/۲۳ - ۰ قرار داشته ولی حداکثر فراوانی بین دو شاخص در دو طبقه ۰/۵۵ - ۰/۳۹ است. تاریخ برداشت دو تصویر سنجنده‌های Landsat 8 و Sentinel-2A (به ترتیب ۵ و ۴ تیر ماه ۱۴۰۰) را می‌توان از دلایل تشابه فراوانی طبقات عامل پوشش گیاهی بین این دو سنجنده عنوان کرد (شکل ۳). میانگین عامل پوشش گیاهی بدست آمده از دو تصویر ماهواره‌ای Landsat 8 و Sentinel-2A به ترتیب ۰/۴۳ و

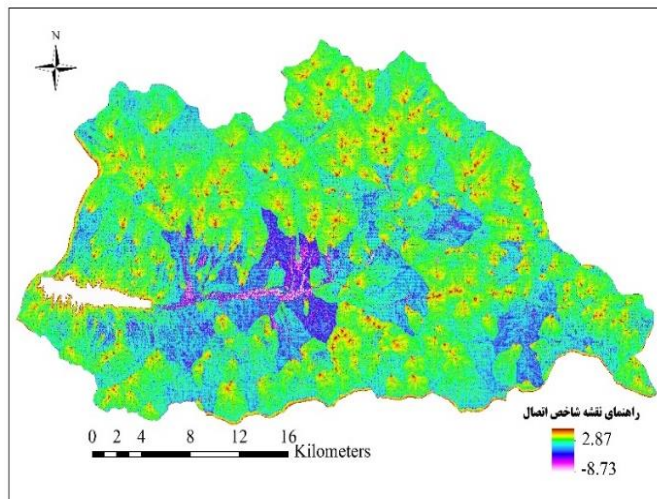
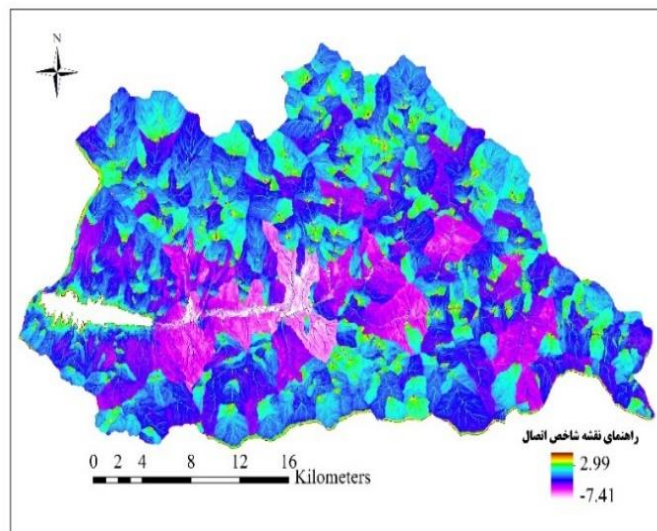


شکل ۴. نقشه میزان شیب حوضه آبخیز طالقان

نقشه‌های شاخص اتصال رسوب

نقشه‌های شاخص اتصال رسوبی حوضه مورد مطالعه با دو دقت مکانی ۱۰ و ۳۰ متر در شکل ۵ نشان داده شده است. در شاخص اتصال با دقت مکانی ۳۰ متر، محدوده عددی $۷/۴ - ۲/۹$ و در شاخص اتصال با دقت مکانی ۱۰ متر، این محدوده از $۸/۷ - ۲/۷۸$ به دست آمد. با وجود اینکه افزایش محدوده عددی شاخص اتصال نشان دهنده وجود پهنه‌هایی با بیشترین و کمترین احتمال انتقال رسوب است (Najafi et al., 2019)، اما قضاوت دقیق‌تر در این مورد بسته به میانگین شاخص اتصال رسوب و سطح تحت پوشش

طبقات عددی مربوطه در زیرحوضه‌های مورد مطالعه است. بر همین اساس در جدول ۲ مقادیر میانگین شاخص اتصال به همراه پراکنش سطحی هر طبقه مشخص شده است. همانطور که مشاهده می‌شود با وجود شباهت بسیار در دامنه اعداد شاخص اتصال رسوب بین دو تصویر، میانگین شاخص اتصال در دو تصویر یکسان متفاوت بوده و کمترین مقدار مربوط به تصویر با قدرت مکانی ۱۰ متر با مقدار $۴/۹۳ -$ و بیشترین مقدار تصاویر با قدرت مکانی ۳۰ متر با مقدار $۳/۵۶ -$ به دست آمده است.



(ب)

(الف)

شکل ۵. نقشه توزیع مکانی و درصد فراوانی شاخص اتصال رسوب
الف- با دقت مکانی ۳۰ متر و ب- با دقت مکانی ۱۰ متر در آبخیز طالقان

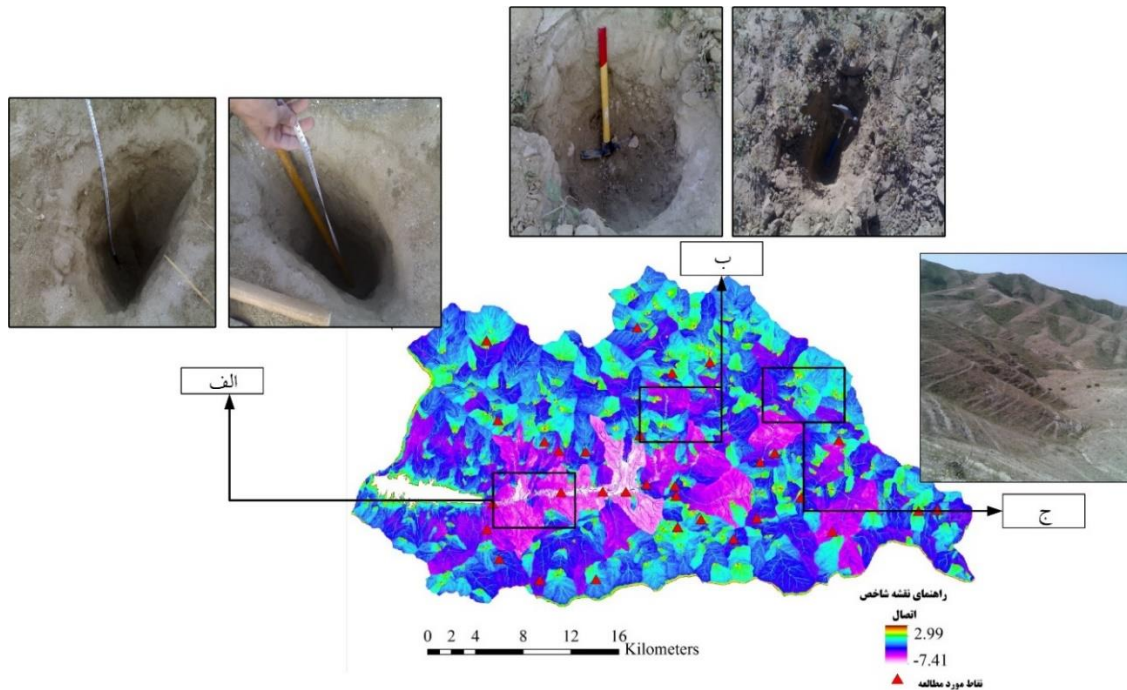
جدول ۲. سطح تحت پوشش مقادیر شاخص اتصال با دقت مکانی ۱۰ و ۳۰ متر در حوضه آبخیز طالقان

پیکسل سائز	میانگین IC	درصد مساحت طبقات شاخص اتصال									
		($<30/1$)	($30/1-74/1$)	($74/1-118/1$)	($118/1-162/1$)	($162/1-206/1$)	($206/1-250/1$)	($250/1-294/1$)	($294/1-338/1$)	($338/1-382/1$)	($382/1-426/1$)
۳۰(m)	-۳/۵۶	۰	۰/۰۶	۳/۰۳	۲۵/۶۸	۵۰/۱۸	۱۷/۵۵	۲/۸۰	۰/۰۸	۰/۵۳	۰/۰۵
۱۰(m)	-۴/۹۳	۰/۳۲	۳/۵۹	۳۱/۳۶	۵۶/۲۸	۷/۸۴	۰/۳۹	۰/۰۳	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۰۱

با توجه به تطبیق نسبتاً یکسان نتایج شاخص اتصال رسوب حاصل از تصاویر Landsat8 و Sentinel2A، جهت ارزیابی نتایج مدل، انتخاب نقاط شاخص با استفاده از نقشه IC حاصل از نقشه Landsat8 انجام پذیرفت. انتخاب نقاط به شکلی صورت گرفت که نماینده‌ای از سه عرصه با اتصال بالا، متوسط و کم در بین نقاط وجود داشته باشد. پس از تعیین نقاط شاخص، ارزیابی این نقاط روی آبخیز صورت گرفت (شکل ۶). جهت نمایش این ارزیابی بخش‌هایی به صورت شاخص در شکل ۵ نمایش داده شده است. شکل ۶-الف نماینده نقاطی است که دارای اتصال کم هستند همچنین شکل ۶-ب نماینده نقاطی است که اتصال متوسط دارند و در نهایت شکل ۶-ج نماینده نقاطی هستند که اتصال زیاد دارند. همانطور که در شکل ۶-الف مشهود است، کمترین میزان اتصال مربوط به آبراهه اصلی و در نزدیکی ورودی به سد طالقان مشاهده می‌شود. مشاهدات میدانی رسوب نیز حاکی از انباشت رسوب در این نقاط بوده و عمق رسوب در نقاطی تا بیش از یک متر نیز می‌رسد. همانطور که در شکل ۵-ب مشاهده می‌شود نقاط با اتصال متوسط بیشتر از دامنه های کم شیب و در آبراهه‌های فرعی متتهی به آبراهه اصلی مشاهده می‌شود. مشاهدات میدانی و نیز نتایج حاصل از پیاده سازی مدل FIC در این نقاط نیز این نتایج را تأیید می‌کند.

همانطور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود در شاخص اتصال رسوب با دقت مکانی ۳۰ متر، بیشترین سطح آبخیز طالقان در طبقه ۴/۰۶- تا ۲/۹۰- با درصد مساحت ۵۰/۱۸ بوده و در تصویر با دقت مکانی ۱۰ متر در طبقه ۵/۲۲- تا ۴/۰۶- با درصد مساحت ۵۶/۲۸ اختصاص پیدا کرده است. میانگین شاخص اتصال برای دو تصویر در جدول ۲ بیان شده است.

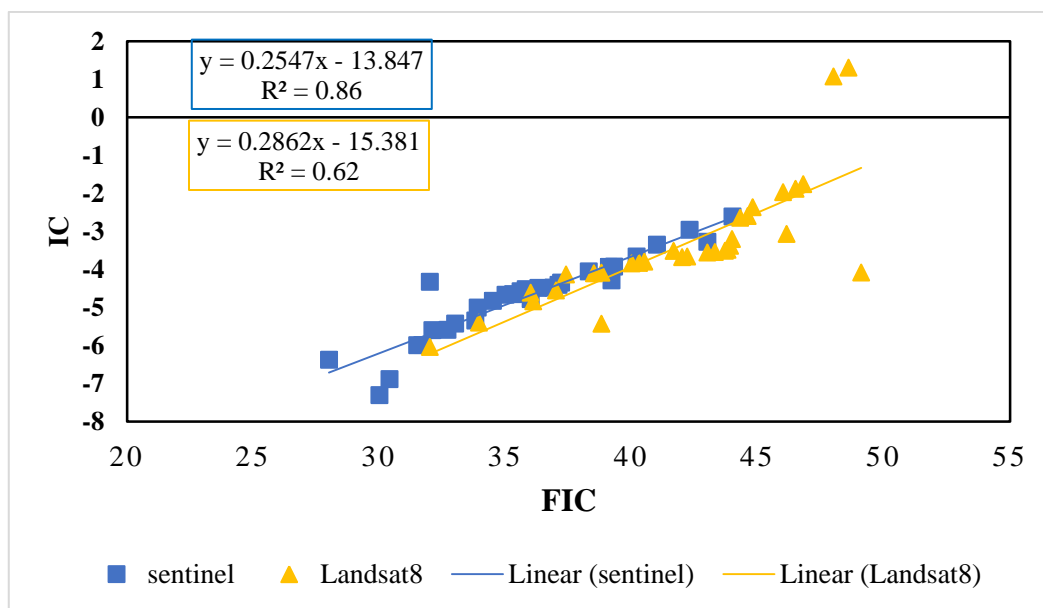
به طور کلی براساس مفهوم شاخص اتصال، هر چه اعداد منفی‌تر و کمتر می‌شود احتمال انتقال رسوب کاهش پیدا می‌کند (Arabkhedri et al., 2021). بخش‌های آبراهه ای با توجه به شیب بالاتر احتمال انتقال رسوب بالاتری دارند، لذا انتظار بر این است که با حرکت به سمت خروجی زیرحوضه‌ها، تراکم رسوب بیشتر شود. اما احتمالاً با توجه به پوشش گیاهی مستقر در حریم آبراهه که از نوع چند ساله است پتانسیل انتقال رسوب کاهش پیدا کرده و موجب افزایش تله‌اندازی در این بخش خواهد شد. علاوه بر این، دو عامل مساحت و طول آبراهه نیز می‌توانند از پارامترهای مهم در این امر به شمار رود. به عنوان مثال شکل ۵ الف، ب و ج مؤید این موضوع است که جریان رسوب در سرتاسر آبخیز و از آبراهه به آبراهه و دامنه به دامنه وجود دارد. اما هنگامی که نقطه‌ای به عنوان خروجی آبخیز مثلاً مخزن سد طالقان در نظر گرفته می‌شود، آن نقطه (مخزن سد طالقان) به عنوان یک مخزن رسوب در یک دوره کوتاه مدت در نظر گرفته می‌شود.



شکل ۶. پایش میدانی نتایج شاخص اتصال رسوب در سه بخش رسوب زیاد (الف)، رسوب متوسط (ب) و رسوب کم (ج) در آبخیز طالقان

۳۰ متر با مقدار عددی ۰/۶۲ به دست آمد که نشان از دقت بالاتر نتایج حاصل از شاخص اتصال رسوب با قدرت تفکیک مکانی ۱۰ متر نسبت به ۳۰ متر است که با یافته‌های زاناندره آ و همکاران (۲۰۲۱) و همچنین کلاتری و همکاران (۲۰۱۹) هم‌راستا می‌باشد.

نتایج برازش مقادیر اخص اتصال رسوب IC با شاخص اتصال رسوب میدانی FIC در ۳۰ نقطه در شکل ۶ نشان داده شده است. همانطور که در شکل ۷ مشخص است، رابطه بین این دو شاخص از نوع خطی بوده و ضریب تعیین در دقت مکانی ۱۰ متر با مقدار عددی ۰/۸۶ بیشتر از ضریب تعیین خروجی مدل با دقت مکانی



شکل ۷. نمودار پراکنش شاخص اتصال رسوب و شاخص اتصال رسوب میدانی حاصل از تصاویر Sentinel 2A و Landsat8 آبخیز طالقان

رسوب را در سطح زیرحوضه و حتی دامنه مورد ارزیابی دقیق‌تر قرار داد. لحاظ کردن نقشه جهت جریان و جریان تجمعی در فرضیات این مدل با توجه به اهمیت این موارد در رسوبدهی هر زیرحوضه، از مزایای این مدل به حساب می‌آید. یکی دیگر از مزایای بسیار مهم این مدل نیاز داده ای کم آن می‌باشد که می‌تواند مشکل پیچیده بودن و نیازهای داده‌ای فراوان مدل‌های فرسایش و رسوب موجود را تا حد زیادی کاهش دهد. همچنین با توجه به ظرفیت بالای این مدل می‌توان از مشتقات آن برای بررسی و تقسیم‌بندی نسبت تحویل رسوب در مقیاس دامنه و آبخیز استفاده کرد که می‌تواند زمینه‌های پژوهشی جدیدی برای محققان باشد. البته باید توجه داشت که در اندک مطالعات صورت گرفته در این زمینه توسط پژوهشگران تنها به بررسی کلی شاخص اتصال رسوب اکتفا شده است. لذا برای نتیجه‌گیری‌های مقایسه‌ای، انجام مطالعات بیشتر ضرورت دارد. یکی از اهداف اصلی این پژوهش در معرفی شاخص اتصال ایجاد چارچوب مفهومی واحدی جهت درک پیچیدگی‌ها و ناهمگنی‌ها رایج در مسائل فرسایش و رسوب است. لذا نتایج این مطالعه در این فاز قابلیت تعمیم به آبخیزهای مشابه ندارد. از آنجا که تشخیص مناطق همگن از نظر توزیع اتصال رسوب در اتخاذ تصمیمات و برنامه‌های اصلاح و مدیریتی هدفمند در مورد تولید و انتقال رسوب با توجه به اولویت پهنه‌های مشخص شده و محدودیت‌های مالی و تجهیزاتی به ویژه در کشورهای هم‌چون ایران از اهمیت بسزایی برخوردار است، لذا شاخص اتصال رسوب می‌تواند کمک بزرگی در این راستا باشد.

Reference:

- Arabkhedri, M., Heidary, K., & 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. Doi: 10.1007/s11368-021-02978-z
- Ayalew, D. A., Deumlich, D., Šarapatka, B., & Doktor, D. (2020). Quantifying the sensitivity of NDVI-based C factor estimation and potential soil erosion prediction using Spaceborne earth observation data. *Remote Sensing*, 12(7), 1136. Doi: 10.3390/rs12071136
- Baartman, J. E., Nunes, J. P., Masselink, R., Darboux, F., Biielders, C., Degré, A., & Wainwright, J. (2020). What do models tell us about water and sediment connectivity? *Geomorphology*, 367, 107300. Doi: 10.1016/j.geomorph.2020.107300
- Borselli, L., Cassi, P., & Torri, D. (2008). Prolegomena to sediment and flow connectivity in the landscape: a GIS and field numerical assessment. *Catena*, 75(3), 268-277. Doi: 10.1016/j.catena.2008.07.006

هر چند پراکنش نقاط در مواردی دچار بی‌نظمی شده اما روند کلی نتایج نشان می‌دهد که با افزایش میزان اتصال IC، میزان اتصال رسوب محاسباتی میدانی FIC نیز به صورت خطی افزایش پیدا کرده است. رابطه بین این دو شاخص با دو دقت مکانی ۳۰ متر و ۱۰ متر بر روی شکل ۷ نشانه داده شده است که با یافته‌های کاوالی و همکاران (۲۰۱۹) هم‌راستا است. این نتایج با بورسلی و همکاران (۲۰۱۸) و عربخدری و همکاران (۲۰۲۱) مطابقت دارد. با این وجود پرواضح است که ارزیابی دقیق نتایج مدل IC نیازمند پایش میدانی و برداشت نقاط بیشتر در سطح آبخیز است (Cavalli et al., 2019; Arabkhedri et al., 2021).

نتیجه‌گیری کلی

در این پژوهش ابتدا شاخص اتصال رسوب آبخیز طالقان با تکیه بر اطلاعات DEM ۳۰ متری در دو سناریو تهیه NDVI از تصویر ماهواره ای الف (Landsat 8 و ب) Sentinel-2A (به ترتیب دقت مکانی ۳۰ و ۱۰ متر) تهیه شد. رابطه متوسط شاخص های IC30 و IC10 با FIC در ۳۰ نقطه مشخص، اندازه گیری و تحلیل گردید. نتایج نشان داد که شاخص اتصال رسوب با دقت مکانی ۱۰ متر ($R^2 = 0.86$) دقت بالاتری نسبت به شاخص اتصال با دقت مکانی ۳۰ متر ($R^2 = 0.62$) دارد که هر دو نشان از دقت نسبتاً مناسب مدل در پتانسیل حمل رسوب به خروجی آبخیز دارد. همچنین نتایج نشان داد که شیب و عامل پوشش گیاهی از پارامترهای بسیار مهم در رسوبدهی آبخیز طالقان هستند که البته جهت بررسی اثر مساحت و طول آبراهه اصلی می‌توان نتایج شاخص اتصال

- Borselli, L., Bartolini, D., Corradeghini, P., Lenzi, A., & Petri, P. (2020). Flow Connectivity Patterns in Complex Anthropized Landscape: Application in Cinque Terre Terraced Site. In *Proceedings of the GEOMORPHOMETRY 2020 Conference* (pp. 55-58). DOI: 10.30437/GEOMORPHOMETRY2020_15
- Cavalli, M., Heckmann, T., & Marchi, L. (2019). Sediment connectivity in proglacial areas. In *Geomorphology of proglacial systems* (pp. 271-287). Springer, Cham. DOI: 10.1007/978-3-319-94184-4_16
- Cislaghi, A., & Bischetti, G. B. (2019). Source areas, connectivity, and delivery rate of sediments in mountainous-forested hillslopes: A probabilistic approach. *Science of the Total Environment*, 652, 1168-1186. Doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.10.318
- Heckmann, T., Cavalli, M., Cerdan, O., Foerster, S., Javaux, M., Lode, E., & Brardinoni, F. (2018). Indices of sediment connectivity: opportunities, challenges and limitations. *Earth-Science Reviews*, 187, 77-108. Doi: 10.1016/j.earscirev.2018.08.004
- Kalantari, Z., Ferreira, C. S. S., Koutsouris, A. J., Ahlmer, A. K., Cerdà, A., & Destouni, G. (2019). Assessing flood probability for transportation infrastructure based on catchment characteristics, sediment connectivity and remotely sensed soil moisture. *Science of the total environment*, 661, 393-406. Doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.01.009
- Kazemi, R., Bayat, R. (2018). Investigating the effects of land use change on minimum flow indicators (Case study: Taleghan watershed). *Journal of Water and Soil Conservation*, 24 (1), 287-294 (in Farsi).
- Keesstra, S. D., Davis, J., Masselink, R. H., Casali, J., Peeters, E. T., & Dijkema, R. (2019). Coupling hysteresis analysis with sediment and hydrological connectivity in three agricultural catchments in Navarre, Spain. *Journal of Soils and Sediments*, 19(3), 1598-1612.
- Lisenby, P. E., Fryirs, K. A., & Thompson, C. J. (2020). River sensitivity and sediment connectivity as tools for assessing future geomorphic channel behavior. *International Journal of River Basin Management*, 18(3), 279-293.
- Liu, W., Shi, C., Ma, Y., & Wang, Y. (2022). Evaluating sediment connectivity and its effects on sediment reduction in a catchment on the Loess Plateau, China. *Geoderma*, 408, 115566.
- López-Vicente, M., & 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.
- Millares-Valenzuela, A., Eekhout, J. P., Martínez-Salvador, A., García-Lorenzo, R., Pérez-Cutillas, P., & Conesa-García, C. (2022). Evaluation of sediment connectivity through physically-based erosion modeling of landscape factor at the event scale. *CATENA*, 213, 106165.
- Najafi, S., Sadeghi, S., Heckmann, T. (2015). Concept and Role of Structural and Functional Sediment Connectivity in Sediment Management of Watersheds. *Extension and Development of Watershed Management*. 3. 53-58 (in Farsi).
- Najafi, S., Sadeghi, S., Heckmann, T. (2019). Analyzing structural sediment connectivity pattern in Taham Watershed, Iran. *Watershed Engineering and Management*, 10(2), 192-203(in Farsi).
- Najafi, S., Dragovich, D., Heckmann, T., & Sadeghi, S. H. (2021). Sediment connectivity concepts and approaches. *Catena*, 196, 104880.
- Persichillo, M. G., Bordoni, M., Cavalli, M., Crema, S., & Meisina, C. (2018). The role of human activities on sediment connectivity of shallow landslides. *Catena*, 160, 261-274.
- Upadhayay, H. R., Lamichhane, S., Bajracharya, R. M., Cornelis, W., Collins, A. L., & Boeckx, P. (2020). Sensitivity of source apportionment predicted by a Bayesian tracer mixing model to the inclusion of a sediment connectivity index as an informative prior: illustration using the Kharka catchment (Nepal). *Science of the Total Environment*, 713, 136703.
- Vaezi, A. R., Abbasi, M., Bussi, G., & Keesstra, S. (2017). Modeling sediment yield in semi-arid pasture micro-catchments, NW Iran. *Land Degradation & Development*, 28(4), 1274-1286.
- Vanmaercke, M., Panagos, P., Vanwallegem, T., Hayas, A., Foerster, S., Borrelli, P., ... & Poesen, J. (2021). Measuring, modelling and managing gully erosion at large scales: A state of the art. *Earth-Science Reviews*, 218, 103637.
- Vigiak, O., Borselli, L., Newham, L. T. H., McInnes, J., & Roberts, A. M. (2012). Comparison of conceptual landscape metrics to define hillslope-scale sediment delivery ratio. *Geomorphology*, 138(1), 74-88.
- Wang, C., Zhang, G., Zhu, P., Wang, Z., & Xing, S. (2022). Sediment connectivity of small watershed affected by gully development and vegetation restoration on the loess plateau. *Geoderma*, 410, 115663.
- Wohl, E., Brierley, G., Cadol, D., Coulthard, T. J., Covino, T., Fryirs, K. A., ... & Sklar, L. S. (2019). Connectivity as an emergent property of geomorphic systems. *Earth Surface Processes and Landforms*, 44(1), 4-26.
- Zanandrea, F., Michel, G. P., Kobiyama, M., Censi, G., & Abatti, B. H. (2021). Spatial-temporal assessment of water and sediment connectivity through a modified connectivity index in a subtropical mountainous catchment. *Catena*, 204, 105380.



Print ISSN: 2251-7480
Online ISSN: 2251-7400

Journal of
**Water and Soil
Resources Conservation
(WSRCJ)**

Web site:

<https://wsrcj.srbiau.ac.ir>

Email:

iauwsrcj@srbiau.ac.ir
iauwsrcj@gmail.com

**Vol. 12
No. 3 (47)
Spring 2023**

Received:
2022-07-12

Accepted:
2022-10-17

Pages: 51-64

Spatial Pattern of Sediment Yield by Sediment Structural Connectivity Model in The Taleghan Watershed, Iran

Mohammad Ali Hilou¹, Seyed Abbas Hosseini^{2*} and Ahmad Sharafati³

1) Ph.D. Candidate, Department of Civil Engineering, Science and Research Branch; Islamic Azad University; Tehran; Iran.

2) Assistance Prof.; Department of Civil Engineering; Science and Research Branch; Islamic Azad University; Tehran; Iran.

3) Assistance Prof.; Department of Civil Engineering; Science and Research Branch; Islamic Azad University; Tehran; Iran.

*Corresponding author email: abbas2hoseyni@gmail.com

Abstract:

Background and Aim: Nowadays, due to the importance of sediments in watersheds, the integrated watershed management in the country requires a specific framework in planning related to monitoring and control of sediments. One of the most effective methods is the use of sediment connectivity index (IC). Connectivity process is an innovative concept to understand the processes which occur in the watershed area that affect water flow and sediment movement at different spatial-temporal scales. This index explains the degree of connection of the sediment flow throughout the watershed, especially between the sediment source and the downstream area, and in a way, expresses the sediment delivery ratio. Therefore, the current research is conducted with the aim of investigating the sediment connectivity in Taleghan watershed of Alborz province to extract the sediment connectivity index map and also verify the results with field investigations.

Method: In this research, in order to investigate the spatial pattern of sediment production in the watershed, the sediment connectivity map of the basin was drawn from the method presented by Borselli et al. and the definition of connectivity index (IC). For this purpose, at first, topographic data from 30-Meter Digital Elevation Model and vegetation data at 10- and 30-meters spatial resolution are obtained with Sentinel-2A and Landsat 8 images, respectively, and by using data layers such as the average slope gradient, the average weighting factor and the upslope contributing area the amount of upstream component of the flow starting path in sediment transport was calculated. Then, using the layers of the length towards the downslope path, the weight factor of each cell and finally the slope gradient of each cell, the downstream component in the sediment connectivity network was calculated and by referring to catchment outlet in the ArcGIS 10-2-2 software, the connectivity index for all pixels Calculated and the sediment connectivity map was drawn. The IC can assume values ranging from $-\infty$ to $+\infty$ and as IC grows toward $+\infty$, the connectivity increases, finally in order to evaluate the results of the field connection index model (FIC), it is implemented in 30 points of the watershed and the correlation between the IC index and FIC in these points are evaluated.

Results: According to the findings of this research as well as the fitting of IC sediment connectivity index values with FIC field sediment connectivity index in 30 points, the relationship between these two indicators is linear. The coefficient of determining the output of the model with a spatial accuracy of 30 meters was obtained with a numerical value of 0.62, It shows the higher accuracy of the sediment connectivity index results with a spatial resolution of 10 meters compared to 30 meters. Although the distribution of the points is irregular in some cases, the general trend of the results shows that with the increase in the amount of IC connection, the amount of FIC field computing sediment connection has also increased linearly. In calculating the index of connectivity, the factors such as the shape, slope and roughness of the basin which are easily accessible due to the less data requirement and high efficiency, can be the basis for improving the estimation of sedimentation models.

Conclusion: In this research, the results show that the sediment connectivity index with a spatial accuracy of 10 meters has a higher accuracy than the connectivity index with a spatial accuracy of 30 meters. In addition, the results demonstrate the slope and the vegetation factor are critical parameters in the sedimentation of the Taleghan watershed. It is also worth mentioning that in order to investigate the effect of the watershed area and the principal waterway length, the results of the sediment connectivity index can be evaluated more precisely at the sub-basin and even the hillslopes. Considering the importance of these items in the sedimentation of each sub-basin, including the flow direction map and flow accumulation in the assumptions of this model, is one of the advantages of this technique. The other important advantage of this model is its low data requirement, which can greatly reduce the complexity and data requirements of existing erosion and sedimentation models.

Keywords: Erosion, Sediment connectivity, Filed sediment connectivity index, Vegetation, Taleghan watershed

