



دانشگاه گواران و منابع طبیعی

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد بیست و چهارم، شماره سوم، ۱۳۹۶
<http://jwsc.gau.ac.ir>

تغییرات زمانی و مکانی الگوی اتصال ساختاری رسوب در حوزه آبخیز تهم‌چای زنجان

سعید نجفی^۱، * سیدحمیدرضا صادقی^۲ و تویاس هکمن^۳

^۱ دانش‌آموخته دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشگاه تربیت مدرس، آستاد تمام گروه مهندسی آبخیزداری،

دانشگاه تربیت مدرس، آستاد تمام گروه جغرافیای فیزیکی، دانشگاه کاتولیک اینگولشتات، آلمان

تاریخ دریافت: ۹۵/۳/۵؛ تاریخ پذیرش: ۹۶/۵/۲۵

چکیده

سابقه و هدف: استفاده بی‌رویه از منابع طبیعی سبب تشدید هدررفت خاک و تولید رسوب بیش از مقادیر مجاز شده است. افزایش رسوب تولیدی در حوزه‌های آبخیز سبب مشکلات درون و برون منطقه‌ای زیادی می‌شود. بنابراین آگاهی از پهنه‌های مهم و مستعد انتقال رسوبات از ملزومات طراحی راهبردهای مؤثر در مدیریت تولید و انتقال رسوب در حوزه‌های آبخیز است. یکی از مفاهیم مهم در این زمینه، بررسی اتصال ساختاری رسوب است که انتقال رسوب از یک بخش به بخشی دیگر و پتانسیل جابه‌جایی برای ذرات رسوب در سراسر سامانه آبخیز (درون‌دامنه‌ای، بین‌دامنه و آبراهه، درون‌آبراهه‌ای) را مورد بررسی قرار می‌دهد. از این‌رو، پژوهش حاضر به‌منظور بررسی پراکنش مکانی و تغییرات زمانی اتصال ساختاری رسوب در سه سال ۱۹۹۰، ۲۰۰۱ و ۲۰۱۴ در حوزه آبخیز تهم‌چای زنجان انجام شد.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه با استفاده از نقشه مدل رقومی ارتفاعی منطقه با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ و سلول‌های ۱۰۰ مترمربعی لایه‌های شیب، جهت جریان و جریان تجمعی جریان تهیه شدند. لایه رقومی عامل پوشش گیاهی نیز با استفاده از تصاویر Landsat و با استفاده از شاخص NDVI به‌دست آمد. در نهایت با استفاده از لایه شبکه آبراهه‌ای، شاخص اتصال ساختاری رسوب با توجه به دو سناریوی اتصال رسوبی دامنه و خروجی آبخیز و دامنه و شبکه آبراهه‌ای مورد محاسبه قرار گرفت.

یافته‌ها: نتایج نشان داد بر اساس سناریوی اول محدوده عددی ۸/۲۴- تا ۸/۰۶- و ۱/۰۲ تا ۱/۱۸ به ترتیب برای حداقل و حداکثر مقادیر شاخص اتصال برای سال‌های مورد بررسی به‌دست آمدند. شاخص اتصال ساختاری از سال ۱۹۹۰ تا سال ۲۰۱۴ از ۵- به ۷- کاهش یافته است. بر اساس نقشه‌های حاصل، مناطق غربی، جنوب‌غربی و شمال‌غربی، اتصال ساختاری بیش‌تری نسبت به بخش‌های دیگر حوزه آبخیز داشتند. از نظر مکانی نیز تفاوت خالص مقادیر شاخص اتصال رسوبی بین دو سال ۲۰۰۱ و ۲۰۱۴ با محدوده تغییرات ۰/۹ در عموم قسمت‌های حوزه آبخیز منجر به کاهش اتصال ساختاری رسوب از نظر مکانی شده است. طبق سناریوی دوم، بخش‌های شمالی و جنوب‌شرقی آبخیز به‌دلیل دوری از شبکه آبراهه‌ای و در مورد مناطق مرکزی در ترکیب با توپوگرافی ملایم، دارای اتصال رسوبی کم‌تری نسبت

* مسئول مکاتبه: sadeghi@modares.ac.ir

به بخش‌های دیگر آبخیز بوده که با نتایج تعیین اتصال ساختاری بر اساس خروجی آبخیز انطباق داشته است. هم‌چنین بخش‌های جنوبی، غربی و شمال‌غربی آبخیز، دامنه‌های یکپارچه‌ای از نظر مناطق مستعد انتقال رسوب به شبکه آبراه‌ای را تشکیل دادند.

نتیجه‌گیری: به‌طور کلی بر اساس نتایج پژوهش حاضر، امکان بررسی اتصال ساختاری و تغییرات زمانی و مکانی آن در گستره آبخیز وجود داشت و از طریق آن می‌توان به تشخیص مناطق همگن از نظر میزان احتمال انتقال رسوب تولیدی دست یافت. این امر زمینه‌ساز اتخاذ تصمیمات و برنامه‌های اصلاحی و مدیریتی هدف‌مند در مورد تولید و انتقال رسوب با توجه به اولویت پهنه‌های مشخص شده و محدودیت‌های مالی و تجهیزاتی به‌ویژه در کشورهایی چون ایران می‌شود.

واژه‌های کلیدی: حفاظت خاک، سناریوی انتقال رسوب، مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز، شاخص اتصال رسوبی، مدیریت رسوب

مقدمه

رسوب در سراسر سامانه آبخیز (درون‌دامنه‌ای، بین‌دامنه و آبراهه، درون‌آبراه‌ای) گفته می‌شود (۲ و ۳).

بر اساس همین تعریف از اتصال رسوبی، اتصال عملکردی^۲ و اتصال ساختاری رسوب^۳ دو مفهوم مشتق شده از اتصال است. اتصال عملکردی با توجه به عامل رسوب مربوط به تعامل فرآیندهای فرسایش و تولید رسوب با خصوصیات فیزیکی آبخیز و نحوه برداشت، انتقال و انباشت رسوب در تعامل با فرآیندهای هیدرولوژیکی است. در حالی‌که اتصال ساختاری مفهومی فیزیکی است که گستره ارتباط پیوسته و فیزیکی واحدهای سیمای سرزمین را بیان می‌کند. به‌عبارتی دیگر اتصال ساختاری با بررسی کالبدشناسی سامانه^۴ تحت بررسی، پتانسیل جابه‌جایی ذرات رسوب در سراسر سامانه آبخیز را مورد بررسی قرار می‌دهد که می‌تواند در قالب مقیاس‌های زمانی و مکانی یا هر دو با هم باشد (۲، ۵ و ۱۸).

بر اساس بررسی صورت گرفته، در رابطه با اتصال رسوبی گزارش علمی مستند در داخل کشور وجود

استفاده بی‌رویه از منابع طبیعی سبب تشدید هدررفت خاک و تولید رسوب بیش از مقادیر طبیعی و مجاز شده است (۱۵). افزایش رسوب تولیدی در حوزه‌های آبخیز سبب مشکلاتی مانند هدررفت خاک قابل کشت، کاهش قدرت تولید خاک، افزایش رسوب در سامانه‌های آبی و آسیب به تأسیسات آبی، کاهش کیفیت آب و همچنین حجم مخازن سدهای ذخیره آب می‌شود. بنابراین آگاهی از پهنه‌های مهم تولید رسوب و چگونگی انتقال رسوبات در یک حوزه آبخیز از ملزومات طراحی راهبردهای مؤثر در مدیریت تولید رسوب و دستیابی به کاهش تولید رسوب در حوزه‌های آبخیز است (۱۷). یکی از مفاهیم نوظهور در این بررسی اتصال رسوبی^۱ در حوزه‌های آبخیز می‌باشد. با بررسی اتصال رسوبی می‌توان به اجرای برنامه‌های حفاظتی مؤثر و مدیریت مجموعه‌های آبراه‌ای و انتقال رسوب دست یافت (۱۱). اتصال رسوبی به انتقال رسوب از یک بخش به بخشی دیگر و پتانسیل جابه‌جایی برای یک ذره

2- Functional Connectivity

3- Structural Connectivity

4- System's Anatomy

1- Sediment Connectivity

سرزمین، برای بررسی اتصال رواناب و رسوب در حوزه آبخیز بلانسینو^۸ در ایتالیا را معرفی کردند و ابراز داشتند که این شاخص‌ها امکان مدل‌سازی تکامل اتصال در سناریوهای مختلف مدیریتی را فراهم نمود. ایشان همچنین بیان نمودند که با استفاده از این شاخص‌ها مفهوم اتصال کمی شده و امکان تعیین نقاط بحرانی (داغ) رسوبی^۹ منابع اولیه رسوب وجود دارد و حتی امکان ارزیابی اثر اقدامات مؤثر بر کاهش یا ایجاد اتصال فراهم شده است (۱). لسکین و همکاران (۲۰۰۹) با استفاده از مدل LAPSUS^{۱۰} و مدل‌سازی رواناب و فرسایش و با تعیین مخازن و منابع رسوب در چهار سناریوی مدیریتی، به بررسی کیفی و مقایسه‌ای تأثیر اتصال هیدرولوژیکی در تغییرات منابع و مخازن رسوب در سناریوهای مدنظر در حوزه آبخیز کارکاوا^{۱۱} در اسپانیا پرداختند. نتایج پژوهش مذکور نشان داد که در سناریوی حذف ترانس‌های کشاورزی، تولید رواناب و رسوب به‌علت افزایش اتصال، به‌ترتیب چهار و نه برابر شد (۱۲). ویجی‌یاک و همکاران (۲۰۱۲) با استفاده از چهار سنجه^{۱۲} زمان پیمایش، ظرفیت انتقال رسوب، شاخص اتصال و زمان بقای رسوب به بررسی تغییرات مکانی نسبت تحویل رسوب دامنه‌ای پرداختند. نتایج نشان داد که بخش‌های مختلف آبخیز مورد مطالعه از نظر تغییرات نسبت تحویل رسوب در مقیاس زیرآبخیز قابل بررسی و تقسیم‌بندی است. به‌طوری‌که در سنجه زمان پیمایش، نقش توپوگرافی ملموس‌تر شده و مناطق مسطح با مشارکت رسوبی صفر و مناطق شیب‌دار با بیش‌ترین مشارکت مشخص شدند (۱۹).

ندارد. اما در مطالعات خارج از کشور طی ده سال اخیر توجه ویژه‌ای به این موضوع صورت گرفته است. بر همین اساس کراک و همکاران (۲۰۰۵) تغییرات غلظت رسوب خروجی از مقاطع کانالی را با توجه به دو نوع اتصال مستقیم (کانالی منتج از آبراهه‌ها و آبکنده‌ها) و اتصال شاری^۱ (ناشی از رواناب غیرمتمرکز) در انتقال رسوب در یک آبخیز جنگلی به مساحت ۳۷ کیلومترمربع در استرالیا بررسی نمودند. هر چند در این مطالعه شاخص به‌خصوصی برای بیان اتصال مورد استفاده قرار نگرفت اما احتمال رسیدن رواناب و رسوب به آبراهه به‌عنوان درجه‌ای از اتصال کامل، بخشی و بدون اتصال بیان شد (۶). فری‌ریز و همکاران (۲۰۰۷) به بررسی موانع و عوامل زمین‌ریختی^۲ مختلف و مؤثر بر انتقال و بیلان رسوب و تعیین آبشارهای رسوبی بر اساس مطالعات صورت گرفته در نیوزیلند و استرالیا پرداخته و اثر مناطق سپری^۳، موانع زیستی و نگاه‌داشت^۴ رسوب بر اتصال و انتقال رسوب را مورد بررسی قرار دادند. ایشان بیان نمودند که موانع مذکور اتصال بین اجزای مختلف سیمای سرزمین را تحت‌تأثیر قرار داده‌اند. همچنین ابراز داشتند که مناطق سپری مانع انتقال رسوب به آبراهه و کانال‌ها، موانع زیستی مانع حرکت رسوب در طول آبراهه و کانال‌ها و بخش‌های نگاه‌داشت رسوب سطحی به‌عنوان روکشی بر سطح آبراهه‌ها و دشت‌های سیلابی مانع دسترسی و انتقال رسوب شدند (۹). بورسلی و همکاران (۲۰۰۸) دو شاخص جدید اتصال^۶ (IC) و شاخص میدانی اتصال^۷ (FIC) با استفاده از اطلاعات توپوگرافی، کاربری و سیمای

8- Bilancino
9- Hot Spot
10- Landscape Process Modelling at Multi Dimensions and Scales
11- Carcavo
12- Metric

1- Diffuse Connectivity
2- Landform
3- Buffers
4- Barriers
5- Blankets
6- Index of Connectivity
7- Field Index of Connectivity

حوزه آبخیز Nianzhuang در چین پرداختند و با توجه به معیار وقوع فرسایش یا انباشت رسوب در بخش‌های مختلف آبخیز، مناطق منبع و مخزن رسوب تعیین شد. ایشان با توجه به نسبت تحویل رسوب یک درصدی در آبخیز مورد مطالعه، الگوی سیمای سرزمین را عامل مؤثری در مهار انتقال رسوب و پایین بودن اتصال رسوبی در حوزه آبخیز قلمداد کردند (۱۳).

اکثر این مطالعات معطوف به استفاده از نقشه‌های با توپوگرافی با دقت بسیار بالا (در حد یک متر) و عمدتاً بدون در نظر گرفتن بررسی مقایسه‌ای اثر پوشش گیاهی در محاسبه اتصال ساختاری رسوب بوده است. از طرفی همان‌طور که ذکر شد جمع‌بندی سوابق پژوهشی داخل کشور نیز بیانگر عدم وجود پژوهشی در این زمینه در داخل کشور حداقل بر اساس بررسی و جستجوهای نگارندگان می‌باشد. بنابراین پژوهش حاضر به بررسی اتصال ساختاری رسوب، پراکنش مکانی و تغییرات زمانی آن در حوزه آبخیز تهم‌چای و با توجه به دو سناریوی مرجع قرار دادن خروجی آبخیز و شبکه آبراهه‌ای پرداخته است. استفاده از این دو سناریو به دلیل نیازمندی در اطلاع از مناطق بالقوه تولید و انتقال رسوب بسته به اهداف مدیریت حوزه آبخیز می‌باشد. در شرایط کلی و با هدف جانمایی اقدامات حفاظتی برای کاهش رسوب‌دهی کلی حوزه آبخیز، تعیین مناطق مستعد تولید و انتقال رسوب با توجه به خروجی آبخیز، ضروری است.

مواد و روش‌ها

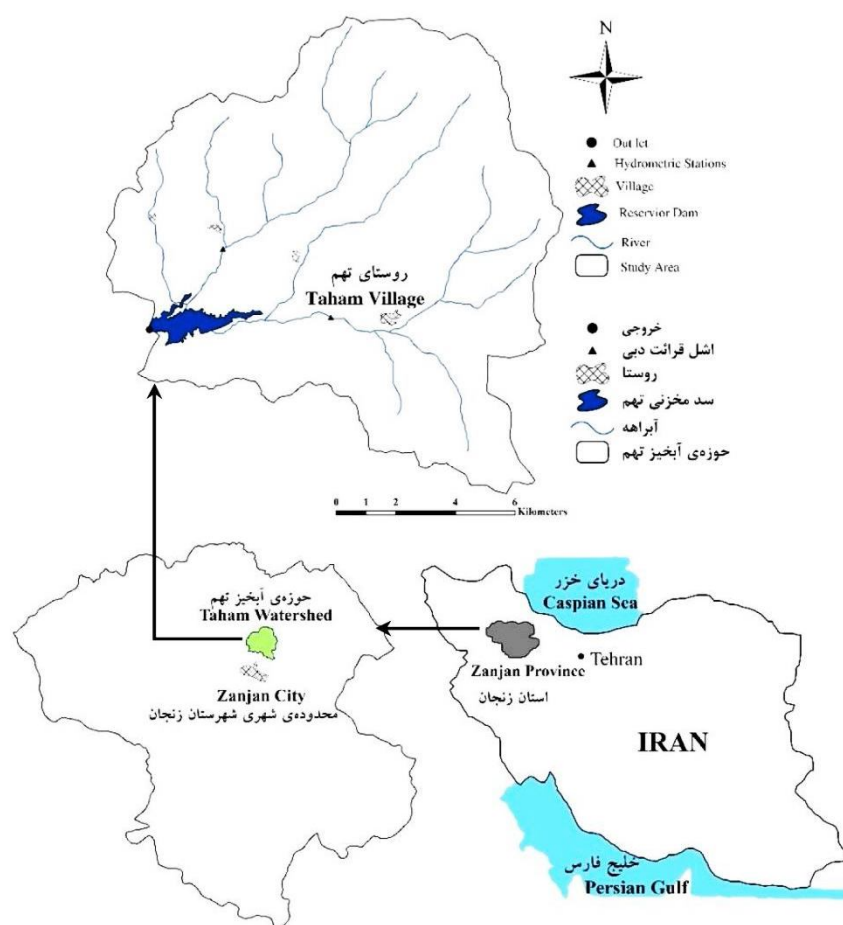
منطقه مورد مطالعه: برای انجام پژوهش حاضر، حوزه آبخیز تهم با مختصات ۳۶° تا ۳۳° $۵۳'$ عرض شمالی و $۱۷'$ ۴۸° تا $۳۷'$ ۴۸° طول شرقی در فاصله

کوالی و همکاران (۲۰۱۳) نیز در رابطه با شاخص اتصال، به‌جای استفاده از عامل پوشش گیاهی معادله جهانی فرسایش خاک، از شاخص زبری سطحی توپوگرافیکی^۱ استفاده کرده و امکان استفاده از آن برای بررسی اتصال مناطق واریزه‌ای بدون پوشش را مهیا نمودند. ایشان با تأکید بر سریع و آسان بودن این روش، بیان داشتند که تعیین توزیع اتصال رسوبی و تقسیم حوضه به مناطق همگن از این نظر، سبب ارائه نسخه‌های مدیریت رسوبی متناسب با هر منطقه شد (۵). مسنزل و همکاران (۲۰۱۴) در آبخیزی کوهستانی در پارک ملی سوئیس با استفاده از شاخص اتصال به بررسی اتصال ساختاری بخش‌های مختلف حوزه آبخیز مورد مطالعه پرداختند. ایشان برای ارزیابی نتایج حاصل از شاخص اتصال از نقشه‌برداری میدانی زمین‌ریختی^۲ استفاده کردند. نتایج نقشه‌برداری میدانی ضمن تأیید نسبی نتایج حاصل از شاخص اتصال، استفاده از هر دو روش برای رسیدن به درکی جامع از آبشارهای رسوبی^۳ و وضعیت اتصال و جفت و عدم جفت‌شدگی^۴ زمین‌ریخت‌ها در آبخیز مورد مطالعه را تأیید نمود (۱۴). وستر و همکاران (۲۰۱۴) به بررسی اتصال ساختاری و عملکردی رواناب در یک حوزه آبخیز آتش‌سوزی‌شده در کالیفرنیا با استفاده از مدل‌های رقومی ارتفاعی در حد تفکیک مکانی چند میلی‌متر پرداختند. نتایج بیانگر آن بود که در بارندگی‌های با شدت و مقدار کم‌تر میزان اتصال کاهش یافته، حال آن‌که بارندگی‌های با شدت و مقدار بالا منجر به سیلاب و جریان واریزه‌ای^۵ شده است (۱۸). لو و فو (۲۰۱۶) با استفاده از مدل WATEM-SEDEM به بررسی اتصال رسوبی در

- 1- Topographic Surface Roughness
- 2- Field Based Geomorphic Mapping
- 3- Sediment Cascades
- 4- Coupling and Decoupling
- 5- Debris Flow

سطح آب‌های آزاد و شیب متوسط ۲۸ درصد از زیرآب‌خیزهای زنجان‌رود می‌باشد. کاربری اراضی موجود در حوزه آبخیز تهم را انواع مختلف مراتع، باغ، مخلوط باغ و زراعت و مراتع به همراه دیم‌کاری تشکیل می‌دهند که بیش‌ترین وسعت آن با ۵۶ درصد مربوط به مراتع خالص است. شکل ۱ نمای کلی از منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد.

۲۲ کیلومتری شمال‌غربی شهرستان زنجان به سبب قابلیت دسترسی و وجود اطلاعات پایه مناسب انتخاب شد. سد مخزنی تهم در این آبخیز قرار دارد که حدود ۴۵ درصد آب شرب شهرستان زنجان را تامین می‌کند. حوزه آبخیز مذکور با متوسط بارندگی سالیانه ۳۸۲/۴ میلی‌متر، مساحت ۱۶۳ کیلومترمربع، محیط و طول رودخانه اصلی به ترتیب ۶۳ و ۱۴/۵ کیلومتر، ارتفاع کمینه و بیشینه ۱۸۱۱ و ۲۸۷۰ متر از



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در استان زنجان.

Figure 1. Location of the study area in Zanjan province, Iran.

تجمعی رواناب (۱) به شکل رابطه ۱ مورد توجه قرار گرفت.

روش پژوهش: برای تهیه نقشه اتصال ساختاری در پژوهش فعلی، رویکرد مبتنی بر فاصله از مخزن رسوب، ویژگی‌های مسیر حرکت رسوب و جریان

معکوس خطی و رابطه ۲ عامل پوشش گیاهی محاسبه شد. برای محاسبه شاخص NDVI در تصاویر مربوط به Landsat 8، باندهای چهار و پنج و در تصاویر دیگر باندهای سه و چهار مورد استفاده قرار گرفتند.

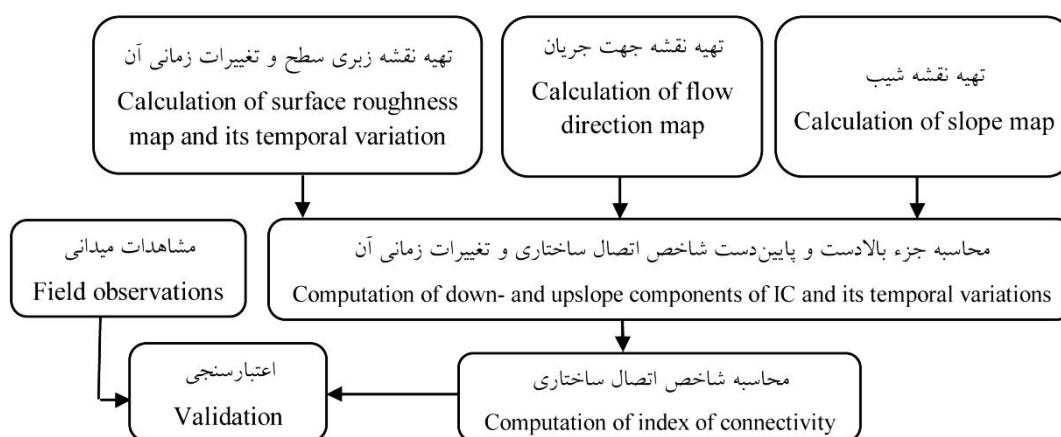
$$C = (1 - NDVI)/2 \quad (2)$$

با استفاده از لایه‌های اطلاعاتی حاصل، جزء بالادست مسیر شروع جریان در انتقال رسوب و جزء پایین‌دست در شبکه اتصال رسوبی محاسبه شدند. در نهایت محاسبه شاخص اتصال با استفاده از رابطه ۱ و در محیط نرم‌افزار ArcGIS صورت گرفت. این فرآیند با توجه به سناریوی انتقال رسوب با توجه به خروجی آبخیز و همچنین شبکه آبراهه‌ای مورد محاسبه و بررسی قرار گرفت (۱، ۵ و ۱۳). شکل‌های ۲ و ۳ جزئیات مربوط به نحوه محاسبات اجزای مترتب بر شاخص اتصال رسوبی را نشان می‌دهند. بر اساس رابطه ۱، شاخص اتصال رسوبی از نظر ریاضی بدون حد بوده و در دامنه $\pm\infty$ قرار می‌گیرد. هرچه این شاخص مثبت‌تر باشد، اتصال ساختاری برای انتقال رسوب بیش‌تر است و هرچه به سمت منفی میل کند، این اتصال کاهش خواهد یافت.

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

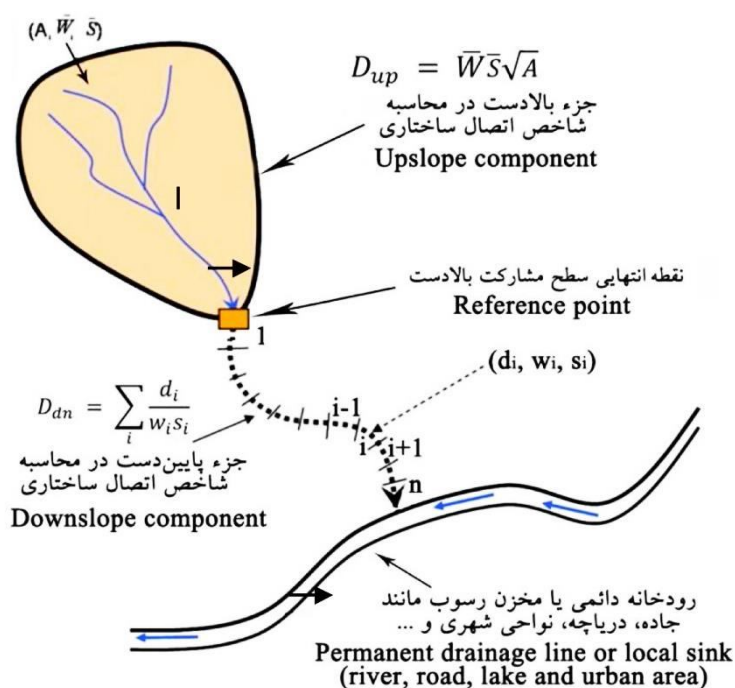
که در آن، D_{up} جزء بالادست^۱ شاخص اتصال، D_{dn} جزء پایین‌دست^۲ شاخص اتصال، \bar{W} میانگین عامل وزنی سطح مشارکت بالادست (بدون بعد)، \bar{S} میانگین تندی شیب سطح مشارکت بالادست (متر بر متر)، A سطح مشارکتی بالادست (مترمربع)، d_i طول مسیر به سمت پایین‌دست در سلول i ام نقشه شبکه‌ای مورد استفاده (به متر)، W_i عامل وزنی سلول i ام، S_i تندی شیب مربوط به سلول i ام، k بیانگر شاخص اتصال محاسبه شده مخصوص به هر سلول می‌باشد (۸). بر همین اساس با استفاده از نقشه مدل رقومی ارتفاعی منطقه با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ و سلول‌های ۱۰۰ مترمربعی لایه‌های اطلاعاتی شیب، جهت جریان و جریان تجمعی تهیه شد. با توجه به این‌که متغیر وزنی (W) ویژگی‌های مسیر حرکت مانند زبری را مورد توجه قرار می‌دهد بنابراین متغیر مربوطه را می‌توان به شرایط پوشش گیاهی مسیر نسبت داد؛ که بر همین اساس برای بررسی تأثیر تغییرات پوشش گیاهی در طول مطالعه و بررسی تغییرات زمانی شاخص اتصال، از عامل پوشش گیاهی (C) مربوط به مدل‌های خانواده معادله جهانی فرسایش خاک^۳ و معادل متغیر W در رابطه ۱ استفاده شد. از این‌رو، تغییرات زمانی این عامل برای بررسی تغییرات زمانی اتصال در سطح آبخیز با محاسبه شاخص NDVI^۴، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در دسترس Landsat 5، Landsat 7 و Landsat 8 به ترتیب در تاریخ‌های دوم جولای ۱۹۹۰، ۲۹ ژوئن ۲۰۰۱ و ۲۵ می ۲۰۱۴ مدنظر قرار گرفت (۷ و ۸) و سپس با استفاده از تبدیل

- 1- Upslope Component
- 2- Downslope Component
- 3- Universal Soil Loss Equation/USLE
- 4- Normalized Difference Vegetation Index



شکل ۲- نمودار جریانی محاسبه شاخص اتصال رسوبی.

Figure 2. Flowchart for computation of structural sediment connectivity.



شکل ۳- اجزاء بالادست و پایین‌دست رابطه تعیین شاخص اتصال ساختاری رسوب و متغیرهای مربوط به آن (اقتباس از ۱).

Figure 3. Components of index of connectivity (IC) and their variables (after 1).

در تعیین اتصال ساختاری برای سال‌های ۱۹۹۰، ۲۰۰۱ و ۲۰۱۴ تهیه شد. شکل ۴ پراکنش سطحی و فراوانی مقادیر عامل پوشش گیاهی در سطح حوزه آبخیز برای سه مقطع زمانی ذکر شده را نشان می‌دهد. هر چند که

نتایج و بحث

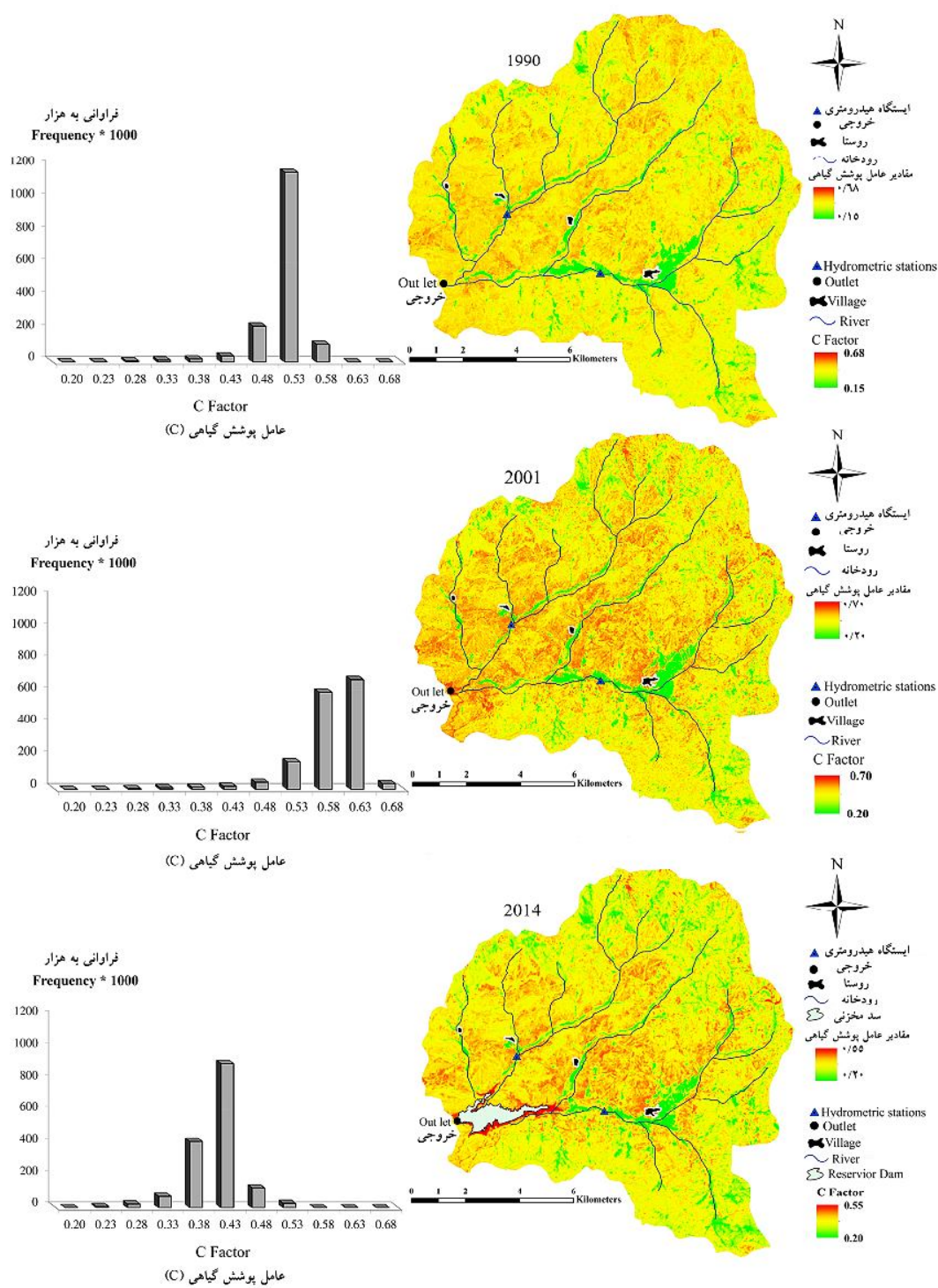
نقشه‌های عامل پوشش گیاهی و شیب: برای تعیین اتصال ساختاری و براساس روش‌های بیان شده، نقشه عامل پوشش گیاهی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین داده‌ها

در حدود ۰/۲ را شامل می‌شود و الگوی تقریباً یکسانی در بخش مرکزی و شرقی حوزه آبخیز مورد مطالعه از نظر زیاد بودن مقادیر و پراکنش پوشش گیاهی در بخش‌های ذکر شده وجود دارد. در مقابل، بخش‌های شمالی و جنوبی حوزه آبخیز در نقشه سال ۲۰۱۴ کاهش در مقدار عامل پوشش گیاهی به‌ویژه در بخش سرشاخه‌ها را نشان می‌دهد. ذکر این نکته نیز ضروری است که بر خلاف رویه معمول تخریب پوشش گیاهی در اکثر حوزه‌های آبخیز کشور، میزان آستانه اعداد عامل پوشش گیاهی در آبخیز مورد مطالعه از ۰/۱۵-۰/۶۸ در سال ۱۹۹۰ به ۰/۲-۰/۵۵ در سال ۲۰۱۴ کاهش یافته است که می‌تواند علاوه بر تأثیر میزان بارندگی در سال‌های ۱۹۹۰، ۲۰۰۱ و ۲۰۱۴ به ترتیب برابر با ۲۰۶، ۲۵۳ و ۳۰۱ میلی‌متر، به دلیل اقدامات حفاظتی بیولوژیکی و احداث حدود ۶۰۰ بند اصلاحی از اواخر سال‌های دهه ۷۰ در حوضه به دلیل وجود سد مخزنی تهم باشد. به‌طور کلی بخش‌های مرکزی حوزه آبخیز مقادیر بالاتری از عامل پوشش گیاهی را به خود اختصاص داده‌اند. نقشه شیب حوزه آبخیز مورد مطالعه نیز در شکل ۵ نشان داده شده است. همان‌گونه که از نقشه شیب مشخص است، مناطق کم‌شیب عموماً در بخش‌های مرکزی حوزه آبخیز پراکنده شده است.

کم‌ترین مقدار عامل پوشش گیاهی با رقم ۰/۱۵ مربوط به سال ۱۹۹۰ می‌باشد. اما تغییر تنها ۰/۰۵ در مقدار آن طی دوره زمانی بیش از دو دهه چندان قابل‌ملاحظه نیست. جالب‌تر این‌که در گذر زمان در طول دوره مورد مطالعه، حداکثر مقدار عامل پوشش گیاهی از ۰/۷ به ۰/۵۵ کاهش یافته است. اما به‌طور کلی میانگین وزنی مقدار عامل پوشش گیاهی ۰/۵۱، ۰/۵۸ و ۰/۴۱ به ترتیب برای دوره‌های زمانی ۱۹۹۰، ۲۰۰۱ و ۲۰۱۴ برآورد شد.

بر اساس نتایج عامل پوشش گیاهی و نمودار فراوانی مقادیر آن، در سال‌های اخیر تغییرات مثبتی در میزان پوشش گیاهی از نظر شاخص عامل پوشش گیاهی ایجاد شده است. هر چند این تغییرات بر اساس آزمون تجزیه واریانس از نظر آماری معنی‌دار نبود، اما همان‌طور که از جدول ۱ مشخص است سطح تحت پوشش برخی طبقات عددی عامل پوشش گیاهی (۰/۳۸، ۰/۵۳، ۰/۵۸ و ۰/۶۳)، دارای تغییرات زیادی بوده است که اهمیت توجه به این تغییرات در محاسبه شاخص اتصال ساختاری را بیان می‌کند.

همان‌طور که از شکل ۴ ملاحظه می‌شود تغییر عامل پوشش گیاهی در طول دوره زمانی مورد بررسی از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۴ روندی کاهشی و محدوده‌ای



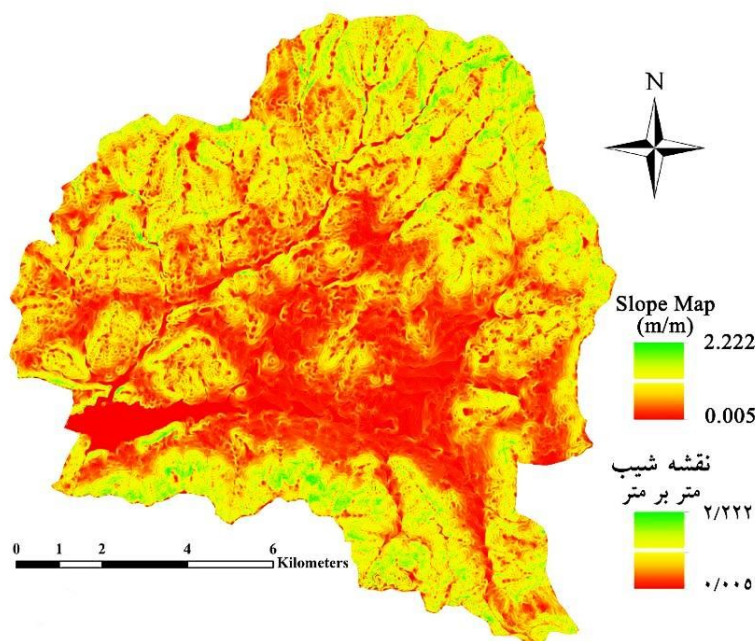
شکل ۴- تغییرات زمانی و مکانی و فراوانی مقادیر عامل پوشش گیاهی در سه سال مورد مطالعه در حوزه آبخیز تهم، استان زنجان.
 Figure 4. Temporospatial variations and frequency of C factor values in three study years in Taham Watershed, Zanjan province, Iran.

جدول ۱- سطح تحت پوشش مقادیر عامل پوشش گیاهی و شاخص اتصال ساختاری در سه سال مورد مطالعه در حوزه آبخیز تهم، استان زنجان.

Table 1. Areas of different C factors and structural sediment connectivity index values in three study years in Taham Watershed, Zanjan province, Iran.

سال Year	طبقات عامل پوشش گیاهی (C) Classes of C factor values																
	0.2	0.23	0.28	0.33	0.38	0.43	0.48	0.53	0.58	0.63	0.68	-	-	-	-	-	-
1990	0.03	0.26	0.71	1.09	1.77	3.58	22.42	116.24	11.34	0.00	0.00	-	-	-	-	-	-
2001	0.00	0.06	0.40	0.93	1.29	1.75	4.31	16.77	60.33	68.11	3.50	-	-	-	-	-	-
2014	0.00	0.61	2.20	6.93	41.70	90.66	12.76	2.60	0.00	0.00	0.00	-	-	-	-	-	-

سال Year	طبقات شاخص اتصال ساختاری Classes of structural sediment connectivity index																	
	-8	-7.3	-6.8	-6.3	-5.8	-5.3	-4.8	-4.3	-3.8	-3.3	-2.8	-2.3	-1.8	-1.3	-0.8	-0.3	0.2	0.8
1990	1.51	1.27	5.48	42.03	76.85	22.64	5.40	1.19	0.46	0.13	0.06	0.04	0.02	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01
2001	1.08	1.27	3.33	27.37	81.66	32.34	7.54	1.60	0.58	0.18	0.06	0.05	0.02	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01
2014	1.72	1.39	9.91	62.62	60.68	15.73	3.56	0.94	0.34	0.10	0.06	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01



شکل ۵- نقشه شیب حوزه آبخیز تهم، استان زنجان.

Figure 5. Slope map of Taham Watershed, Zanjan province, Iran.

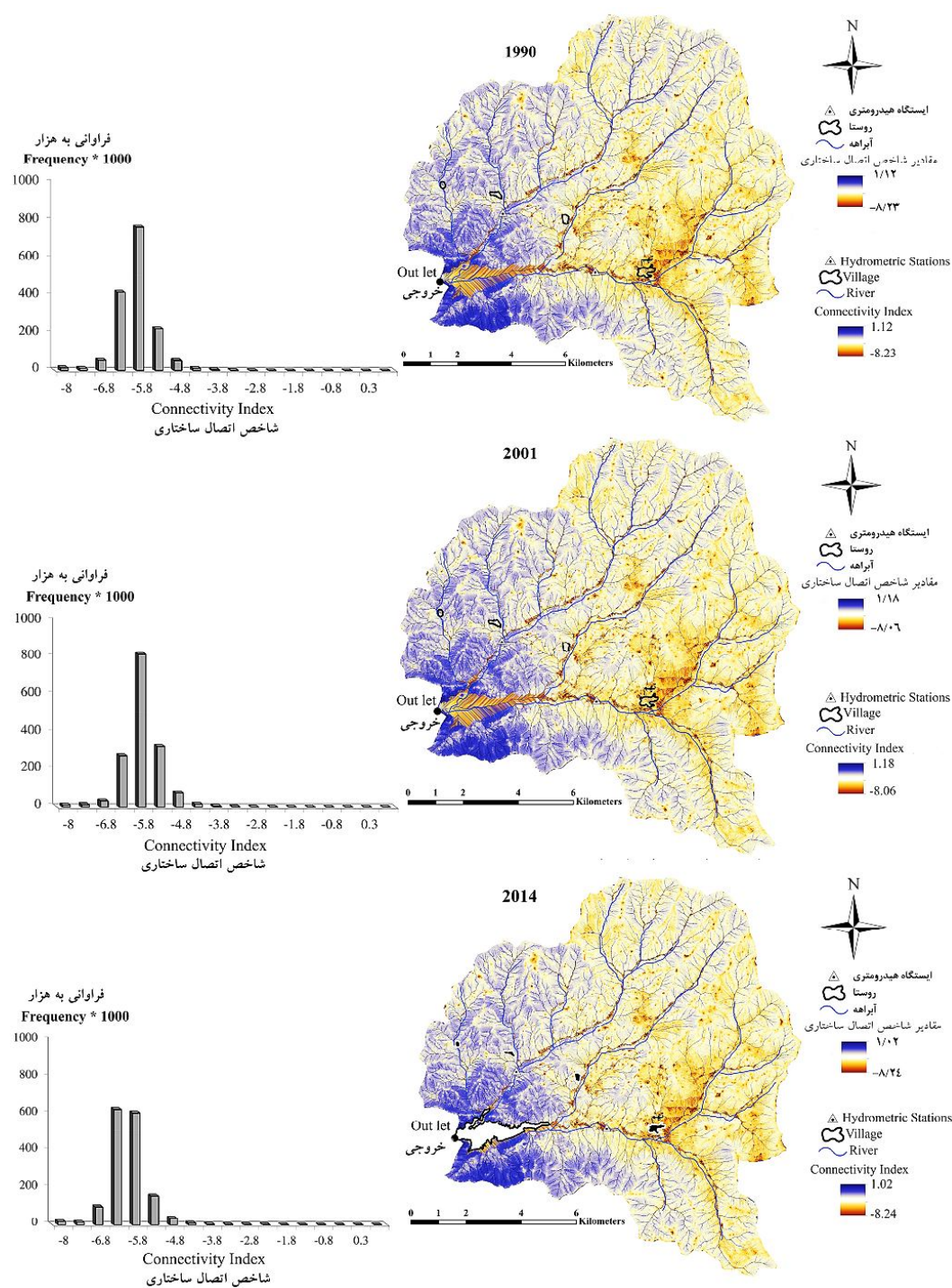
چاپ) و مبتنی بر داده‌برداری‌های میدانی مورد و اسنچی و تأیید در منطقه مورد مطالعه قرار گرفته است، بنابراین در این مطالعه محاسبه شاخص اتصال

نقشه‌های اتصال ساختاری رسوب و تغییرات آن: از آنجایی که کاربرد شاخص اتصال ساختاری رسوبی بر اساس مطالعه نجفی و همکاران (۲۰۱۷)، در دست

رسوبی) بر فرآیند انتقال رسوب، از اهداف مهمی است که نیازمند مطالعات بیش‌تر در ترکیب با فرآیندهای تولید و انتقال رسوب می‌باشد.

به‌طورکلی بر اساس نقشه‌های حاصل و مفهوم شاخص اتصال رسوبی که هرچه به سمت عدد کم‌تر و منفی میل کند بیانگر کاهش احتمال انتقال رسوب است، بخش مرکزی حوزه آبخیز، اتصال ساختاری کم‌تر و مناطق غربی، جنوب‌غربی و شمال‌غربی، اتصال ساختاری بیش‌تری نسبت به بخش‌های دیگر حوزه آبخیز داشته است. دلیل این امر برای بخش مرکزی توپوگرافی ملایم و برای مناطق با اتصال بالا علاوه بر شیب نسبی بیش‌تر و پوشش گیاهی کم‌تر، نزدیکی به خروجی آبخیز می‌باشد که پتانسیل انتقال رسوب را افزایش و تله‌اندازی آن را کاهش داده است. طبق نمودارهای فراوانی مقادیر شاخص اتصال ساختاری رسوب شکل ۶، در سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۰۱ تقریباً تغییر مشهودی در الگوی شاخص اتصال ساختاری رسوب مشاهده نمی‌شود که مطابق با الگوی تغییرات نمودار عامل پوشش گیاهی در شکل ۴ می‌باشد. به‌طوری‌که بر اساس جدول ۱، تغییرات عامل پوشش گیاهی بین سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۱ در طبقات عددی ۰/۴۸ تا ۰/۶۸ رقم خورده است که اثر آن در میانگین مقادیر شاخص اتصال رسوب سال‌های مذکور انعکاس یافته است. به‌طوری‌که میانگین مقادیر شاخص اتصال رسوبی در دو سال ۱۹۹۰ و ۲۰۰۱ نسبت به سال ۲۰۱۴ با توجه به تمرکز تغییرات عامل پوشش گیاهی آن در طبقات عددی ۰/۲۸ تا ۰/۴۳، بیش‌تر می‌باشد. بنابراین احتمال انتقال رسوب در سال ۲۰۱۴ نسبت به دو سال مورد مقایسه دیگر کاهش داشته است. این نتایج مطابق با یافته‌های فرستر و همکاران (۲۰۱۴) می‌باشد که در بررسی تغییرات زمانی شاخص اتصال ساختاری رسوب، تغییرات پوشش گیاهی را از عوامل مهم اثرگذار بر این شاخص تشخیص دادند (۸).

ساختاری رسوب بر اساس دو سناریوی ارتباط اتصال دامنه‌ها و خروجی آبخیز و همچنین ارتباط دامنه‌ها و شبکه آبراهه‌ای اصلی صورت پذیرفت و دو نوع نقشه اتصال ساختاری به دست آمد. بر اساس نقشه اتصال ساختاری بر اساس سناریوی اتصال دامنه‌ها و خروجی آبخیز در سه مقطع زمانی مورد مطالعه که در شکل ۶ نشان داده شده است، محدوده عددی ۸/۲۴- تا ۸/۰۶- و ۱/۰۲ تا ۱/۱۸ به ترتیب برای حداقل و حداکثر اعداد شاخص اتصال به دست آمدند. هر چند افزایش محدوده عددی شاخص اتصال ساختاری در یک زمان خاص نسبت به زمانی دیگر، می‌تواند بیانگر وجود پهنه‌هایی با بیش‌ترین یا کم‌ترین احتمال انتقال رسوب نسبت به سایر زمان‌ها باشد (مانند محدوده عددی ۹/۳۵ واحدی برای سال ۱۹۹۰ در مقابل محدوده عددی ۹/۲۴ و ۹/۲۶ واحدی به ترتیب برای سال‌های ۲۰۰۱ و ۲۰۱۴) اما قضاوت جامع در این مورد بسته به میانگین وزنی شاخص اتصال ساختاری و سطح تحت پوشش طبقات عددی مربوطه در آبخیز مورد مطالعه می‌باشد. بر همین اساس و همان‌طور که از جدول ۱ مشخص است، مقادیر شاخص اتصال در سه سال ۱۹۹۰، ۲۰۰۱ و ۲۰۱۴ به ترتیب با مقادیر ۵/۷-، ۵/۸- و ۶- بیانگر کاهش عمومی اتصال ساختاری رسوب در سال ۲۰۱۴ نسبت به دو سال دیگر می‌باشد. هر چند اختلاف این مقادیر در سه زمان مورد نظر، از نظر آماری معنی‌دار نمی‌باشد اما باید توجه داشت که در گام اول، توجه به وجود چنین روابطی از احتمال انتقال رسوبات و تبیین وجود فرآیندهایی مانند اتصال ساختاری و تأثیر آن بر رفتار انتقال یا ذخیره رسوبی بر اساس تغییرات پوشش گیاهی، شیب و توپوگرافی امر مهمی به‌شمار می‌رود. از طرفی طبیعی است که مشخص کردن میزان تأثیر تغییرات شاخص اتصال بر رفتار انتقال رسوب، محدوده مؤثر و تغییرات دارای اثر معنی‌دار (مثلاً یک واحد تغییر مثبت یا منفی در مقدار شاخص اتصال

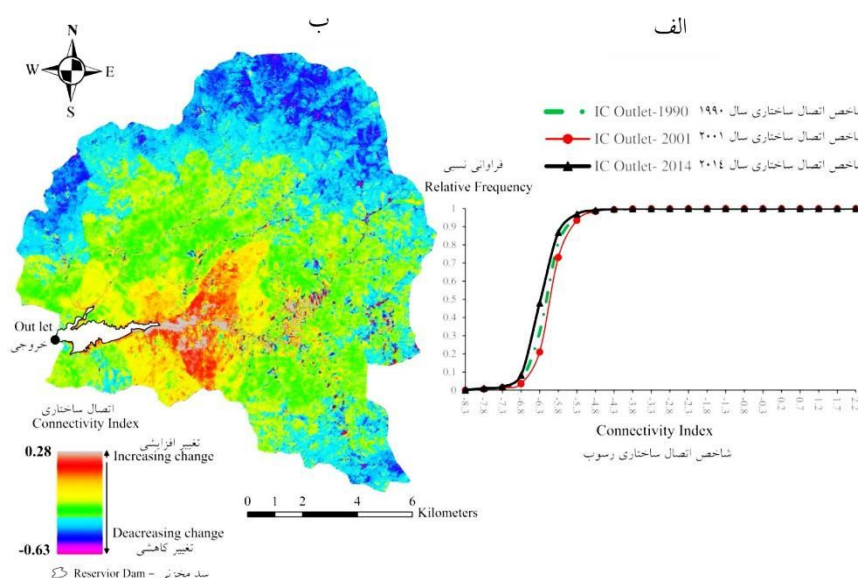


شکل ۶- تغییرات زمانی و مکانی و فراوانی مقادیر شاخص اتصال ساختاری رسوب در سه سال مورد مطالعه در حوزه آبخیز تهم، استان زنجان.

Figure 6. Temporospatial variations and frequency of structural sediment connectivity index in three study years in Taham Watershed, Zanjan province, Iran.

۲۰۱۴، می‌تواند به دلیل بهبود وضعیت پوشش گیاهی بر اثر اقدامات محدود بیولوژیکی و حفاظتی در سراسر آبخیز مورد مطالعه با توجه به وجود سد مخزنی تهم در آن باشد. شکل ۷ ب نیز تفاوت خالص مقادیر شاخص اتصال رسوبی بین دو سال ۲۰۰۱ و ۲۰۱۴ با محدوده تغییرات ۰/۹ از نظر مکانی را نشان می‌دهد. بر اساس این شکل، میزان تغییرات مکانی اتصال رسوبی بین دو سال ۲۰۰۱ و ۲۰۱۴ به جز در بخش مرکزی و در سطحی محدود، در سایر مناطق به کاهش اتصال رسوبی منجر شده است که نوع نتایج به دست آمده مطابق با یافته‌های فرستر و همکاران (۲۰۱۴) می‌باشد (۸). همچنین بیشترین مقادیر دامنه تغییرات شاخص اتصال ساختاری رسوب از نظر مکانی، به مناطق شمالی، غربی و جنوب شرقی و عموماً پرشیب حوزه آبخیز مربوط می‌شود که به دلیل عدم دسترسی آسان و اتخاذ رویکردهای حفاظتی منجر به بهبود اتصال رسوبی شده است.

میزان تغییرات اتصال ساختاری رسوب با استفاده از نمودار تجمعی فراوانی در سه سال مورد بررسی به همراه تغییرات خالص مکانی آن نیز در شکل ۷ نشان داده شده است. همان‌طور که از شکل ۷ الف نمایان است شاخص اتصال ساختاری در محدوده ۵- تا ۷- از سال ۱۹۹۰ تا سال ۲۰۱۴ دچار کاهش شده است که بیشترین تغییر بین دو سال ۲۰۰۱ و ۲۰۱۴ مشاهده می‌شود. انتقال نمودار اتصال ساختاری رسوب سال ۲۰۱۴ به سمت چپ، بیانگر کاهش اتصال رسوبی از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۴ می‌باشد که بیانگر بهبود وضعیت پوشش گیاهی، کاهش احتمال انتقال رسوب و انعکاس آن در شاخص اتصال است. طبعاً به دلیل استفاده بیش‌تر از پوشش گیاهی بر اثر افزایش جمعیت و تعداد دام انتظار این بود که با توجه به تخریب پوشش گیاهی، شاخص اتصال ساختاری رسوبی نیز علاوه بر سال ۲۰۰۱، در سال ۲۰۱۴ نیز افزایش می‌یافت. اما عدم وقوع این روند همان‌طور که قبلاً ذکر شد، علاوه بر بهبود میزان بارندگی در سال



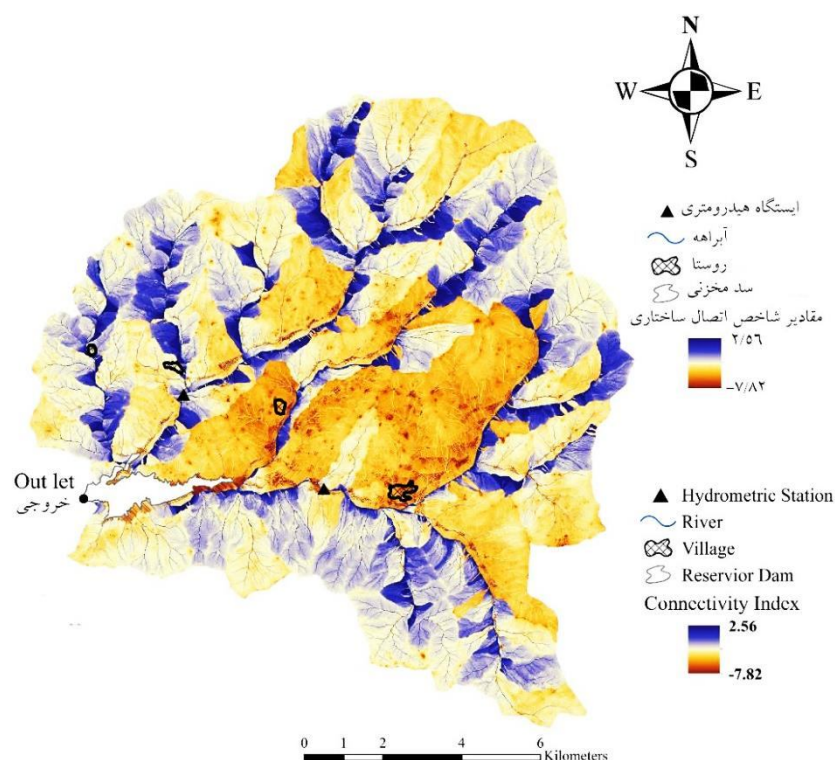
شکل ۷- نمودار تجمعی فراوانی نسبی مقادیر اتصال ساختاری رسوب در سه سال مورد مطالعه (راست) و تغییرات مکانی اتصال ساختاری رسوب از سال ۱۳۶۸ تا ۱۳۹۳ (چپ) در حوزه آبخیز تهم، استان زنجان.

Figure 7. Cumulative graph of relative frequency (right) and spatial changes (left) of structural connectivity index in three study years and from 1990 to 2014, respectively, in Taham Watershed, Zanjan province, Iran.

الگوهای متفاوت از اتصال ساختاری رسوب در اثر دو سناریوی مذکور مطابقت دارد (۵). البته باید توجه داشت که در اندک مطالعات صورت گرفته در این زمینه توسط پژوهشگرانی چون بورسلی و همکاران (۲۰۰۸)، مِسِنَزِل و همکاران (۲۰۱۴)، بروکس و همکاران (۲۰۱۶) و گی و همکاران (۲۰۱۶) تنها به بررسی کلی اتصال ساختاری رسوب و تغییرات مکانی آن بسنده شده است و تغییرات زمانی شاخص اتصال رسوبی و سناریوهای مورد استفاده به جز در مطالعه فُرسترو و همکاران (۲۰۱۴) و کاوالی و همکاران (۲۰۱۳)، مورد توجه نبوده است که برای نتیجه‌گیری‌های مقایسه‌ای، انجام مطالعات بیش‌تر را تأکید می‌کند (۱، ۴، ۵، ۸، ۱۰ و ۱۴).

علی‌رغم امکان انتقال رسوب از همه دامنه‌های مشرف به شبکه آبراه‌های اصلی، بخش‌های جنوبی، غربی و شمال‌غربی آبخیز، دامنه‌های یک‌پارچه‌ای از نظر مناطق مستعد انتقال رسوب به شبکه آبراه‌ای را تشکیل دادند. بر همین اساس به نظر می‌رسد یکی از کاربردهای استفاده از نتایج این سناریو در مدیریت رسوب حوزه‌های آبخیز، تعیین محل‌های مستعد از نظر انتقال بار رسوب حوزه‌ای باشد که با اتصال به بار رسوب آبراه‌ای به‌عنوان رسوب خروجی مطرح خواهد شد. هم‌چنین یک برآورد اولیه و کلی از مناطق در الویت اقدامات مدیریت رسوبی را نشان می‌دهد.

شکل ۸، نقشه اتصال ساختاری رسوب بر اساس سناریوی تعیین اتصال بین دامنه‌ها و شبکه آبراه‌ای را نشان می‌دهد. با توجه به عدم دسترسی به نقشه شبکه آبراه‌ای و تغییرات آن در سال‌های گذشته و هم‌چنین یکسانی لایه‌های عامل پوشش گیاهی با سناریوی قبلی، نقشه اتصال ساختاری بر اساس سناریوی مرجع قرار دادن شبکه آبراه‌ای با استفاده از نقشه شبکه آبراه‌ای کنونی و لایه عامل پوشش گیاهی سال ۲۰۱۴ به‌عنوان نقشه اتصال ساختاری کلی حوزه آبخیز مورد نظر بر اساس سناریوی مذکور مدنظر قرار گرفت. همان‌طور که ملاحظه می‌شود الگوی اتصال ساختاری رسوب در این سناریو کاملاً با سناریوی قبلی متفاوت می‌باشد. طبق انتظار منطقی، شبکه‌ای از دامنه‌های مشرف به شبکه آبراه و با پتانسیل بالای انتقال رسوب به شبکه‌ی آبراه‌های مورد شناسایی قرار گرفته است که یکی از دلایل آن نزدیکی دامنه‌ها به شبکه آبراه‌ای می‌باشد. اما در این میان بخش‌هایی مانند بخش مرکزی، شمالی و جنوب‌شرقی آبخیز به‌دلیل دوری از شبکه آبراه‌ای و در مورد مناطق مرکزی در ترکیب با توپوگرافی ملایم، دارای اتصال رسوبی کم‌تری نسبت به بخش‌های دیگر آبخیز می‌باشد که منطبق با نتایج تعیین اتصال ساختاری بر اساس خروجی آبخیز نیز می‌باشد. نتایج به‌دست آمده با نتایج مورد تأکید کاوالی و همکاران (۲۰۱۳) در خصوص گزارش



شکل ۸- نقشه عمومی اتصال ساختاری رسوب با توجه به شبکه آبراهه‌ای اصلی در حوزه آبخیز تهم، استان زنجان.

Figure 8. General structural sediment connectivity map in hillslope and main channel networks of Taham Watershed, Zanjan province, Iran.

محدودیت‌های مالی و تجهیزاتی به‌ویژه در کشورهایی چون ایران می‌شود. اهمیت دیگر این روش، استفاده از آن در ارزیابی تأثیر اقدامات مدیریتی و اصلاحی در کاهش پتانسیل انتقال رسوب در زمان و مکانی مشخص می‌باشد که منجر به تقویت یا اصلاح رویکردهای اتخاذشده قبلی خواهد شد. بنابر یافته‌های پژوهش، پیشنهاد می‌شود که جانمایی اقدامات مکانیکی در بخش‌های غربی، جنوبی و شمال‌غربی آبخیز مورد مطالعه متمرکز شود. در صورت تدارک اقدامات بیولوژیکی و اختصاص بودجه برای آن نیز پیشنهاد می‌شود از نظر مهار انتقال بار رسوب حوضه‌ای به شبکه آبراهه‌ای، این اقدامات با اولویت دامنه‌های جنوبی، غربی و شمال‌غربی به لحاظ نزدیکی به خروجی و وجود مناطق یک‌پارچه مستعد انتقال بار رسوبی مدنظر قرار گیرند.

نتیجه‌گیری کلی

در این پژوهش پراکنش و تغییرات مکانی و زمانی اتصال ساختاری رسوب با توجه به دو سناریوی اتصال بین دامنه‌ها و خروجی آبخیز و اتصال بین دامنه‌ها و شبکه آبراهه‌ای در انتقال رسوب مورد بررسی قرار گرفت. به‌طورکلی بر اساس نتایج پژوهش حاضر، امکان بررسی اتصال ساختاری و تغییرات مکانی و زمانی آن در گستره آبخیز وجود دارد و از طریق آن می‌توان به پهنه‌بندی اولیه و فیزیکی از بخش‌های مختلف از نظر احتمال انتقال رسوب دست یافت. این موضوع از این نظر اهمیت دارد که تشخیص مناطق همگن از نظر میزان احتمال انتقال رسوب تولیدی سبب اتخاذ تصمیمات و برنامه‌های اصلاحی و مدیریتی هدفمند در مورد تولید و انتقال رسوب با توجه به اولویت پهنه‌های مشخص شده و

منابع

1. Borselli, L., Cassi, P., and Torri, D. 2008. Prolegomena to sediment and flow connectivity in the landscape: A GIS and field numerical assessment. *Catena*. 75: 3. 268-277.
2. Bracken, L.J., Turnbull, L., Wainwright, J., and Bogaart, P. 2015. Sediment connectivity: a framework for understanding sediment transfer at multiple scales. *Earth Surf. Proc. Land*. 40: 2. 177-188.
3. Bracken, L.J., Wainwright, J., Ali, G.A., Tetzlaff, D., Smith, M.W., Reaney, S.M., and Roy, A.G. 2013. Concepts of hydrological connectivity: Research approaches, pathways and future agendas. *Earth-Sci. Rev.* 119: 17-34.
4. Broeckx, J., Vanmaercke, M., Balteanu, D., Chendes, V., Sima, M., Enciu, P., and Poesen, J. 2016. Linking landslide susceptibility to sediment yield at regional scale: application to Romania. *Geomorphology*. 268: 222-232.
5. Cavalli, M., Trevisani, S., Comiti, F., and Marchi, L. 2013. Geomorphometric assessment of spatial sediment connectivity in small Alpine catchments. *Geomorphology*. 188: 31-41.
6. Croke, J., Mockler, S., Fogarty, P., and Takken, I. 2005. Sediment concentration changes in runoff pathways from a forest road network and the resultant spatial pattern of catchment connectivity. *Geomorphology*. 68: 3-4. 257-268.
7. De Asis, A.M., and Omasa, K. 2007. Estimation of vegetation parameter for modeling soil erosion using linear Spectral Mixture Analysis of Landsat ETM data. *ISPRS J. Photogramm.* 62: 4. 309-324.
8. Foerster, S., Wilczok, C., Brosinsky, A., and Segl, K. 2014. Assessment of sediment connectivity from vegetation cover and topography using remotely sensed data in a dryland catchment in the Spanish Pyrenees. *J. Soil Sed.* 14: 1982-2000.
9. Fryirs, K.A., Brierley, G.J., Preston, N.J., and Kasai, M. 2007. Buffers, barriers and blankets: The (dis)connectivity of catchment-scale sediment cascades. *Catena*. 70: 1. 49-67.
10. Gay, A., Cerdan, O., Mardhel, V., and Desmet, M. 2016. Application of an index of sediment connectivity in a lowland area. *J. Soil Sed.* 16: 280-293.
11. Heckmann, T., and Schwanghart, W. 2013. Geomorphic coupling and sediment connectivity in an alpine catchment - Exploring sediment cascades using graph theory. *Geomorphology*. 182: 89-103.
12. Lesschen, J.P., Schoorl, J.M., and Cammeraat, L.H. 2009. Modelling runoff and erosion for a semi-arid catchment using a multi-scale approach based on hydrological connectivity. *Geomorphology*. 109: 3-4. 174-183.
13. Liu, Y., and Fu, B. 2016. Assessing sedimentological connectivity using WATEM/SEDEM model in a hilly and gully watershed of the Loess Plateau, China. *Ecol. Ind.* 66: 259-268.
14. Messenzehl, K., Hoffmann, T., and Dikau, R. 2014. Sediment connectivity in the high-alpine valley of Val Müschauns, Swiss National Park-linking geomorphic field mapping with geomorphometric modelling. *Geomorphology*. 221: 215-229.
15. Najafi, S., and Sadeghi, S.H.R. 2013. Comparative study of applying soil erosion mapping, fingerprinting and field measurement techniques in estimation of sediment sources. *J. Water. Eng. Manage.* 5: 3. 165-178. (In Persian)
16. Najafi, S., Sadeghi, S.H.R., and Heckmann, T. 2017. Analyzing structural sediment connectivity pattern in a watershed. *J. Water. Eng. Manage.* (In Press, In Persian)
17. Sadeghi, S.H.R., Najafi, S., Riyahi Bakhtiary, A., and Abdi, P. 2014. Soil erosion types ascription for sediment yield using composite fingerprinting technique. *Hydrol. Sci. J.* 59: 9. 1753-1762.
18. Wester, T., Wasklewicz, T., and Staley, D. 2014. Functional and structural connectivity within a recently burned drainage basin. *Geomorphology*. 206: 362-373.
19. Vigiak, O., Borselli, L., Newham, L.T.H., McInnes, J., and Roberts, A.M. 2012. Comparison of conceptual landscape metrics to define hillslope-scale sediment delivery ratio. *Geomorphology*. 138: 1. 74-88.

Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 24(3), 2017
<http://jwsc.gau.ac.ir>

Temporospatial variations of structural sediment connectivity patterns in Taham-Chi watershed in Zanjan province, Iran

S. Najafi¹, *S.H.R. Sadeghi² and T. Heckmann³

¹Ph.D. Graduate of Watershed Management Science and Engineering, Tarbiat Modares University,

²Professor, Dept. of Watershed Management Engineering, Tarbiat Modares University,

³Professor, Dept. of Physical Geography, Catholic University of Eichstaett-Ingolstadt, Eichstaett, Germany

Received: 05/25/2016; Accepted: 08/16/2017

Abstract

Background and Objectives: Overuse of natural resources exacerbates soil loss and sediment yield and has caused exceeding allowable rates of soil erosion. Many on-and off-site problems occurred due to irregular human use of natural resources leading to increasing sediment loads in the watersheds. Intensification of sediment yield leads to many intra and extra problems in the watersheds. The awareness on important and susceptible areas of sediment transport is therefore an essential tool to design effective strategies in management of sediment yield and transport in watersheds. Sediment connectivity is one of the most important concepts in this context to investigate sediment transfer between different locations and potential transfer of sediment particle across (between hillslopes, between channel and hillslope, within channel) a watershed. This research was therefore planned to investigate spatial and temporal variations of structural sediment connectivity in 1990, 2001 and 2014 years in Taham-Chai Watershed in Zanjan province, Iran.

Materials and Methods: In this study; slope, flow direction and flow accumulation layers have been made using digital elevation model (DEM) in 1:25000 scale and 100 m² cell sizes. The C factor layer has been made using Landsat images in 1990, 2001 and 2014 years based on the NDVI. All layers along with the main stream network layer of the watershed have been used under two scenarios viz. the potential connection of sediment between hillslopes and catchment outlet and sediment connection between hillslopes and main channels to estimate structural sediment connectivity.

Results: The results showed that the structural sediment connectivity based on the first scenario varied from -8.24 to -8.06 and 1.02 and 1.18 for min and max values, respectively. The Structural sediment connectivity index has decreased from -5 to -7 during 1990 until 2014. Regarding structural sediment connectivity maps, connectivity is high in western, southwestern and northwestern sections than other parts of the study area. The net spatial difference of structural sediment connectivity index values has been changed in the range of 0.9 from 2001 until 2014 which it is decreasing in the most sections of the study area and led to a decrease in structural sediment connectivity index. The results of the second scenario showed that the north and southwestern sections of the watershed along with central sections have low structural connectivity because of far distance from the channel network and slight topography respectively which these results are also consistent with results of first scenario. In addition, south, eastern and northeastern sections of the watershed have formed integrated hillslopes which they are prone to transfer sediment to the channel network.

Conclusion: Overall, on the basis of the results there is a possibility to investigate structural sediment connectivity and its temporal and spatial variations in the watershed. It also helps distinguish homogeneous sections by similar potential in sediment transport. Accordingly, investigation of structural sediment connectivity causes making conservative measurements and purposeful managerial decisions about sediment yield and transfer with respect to priority of homogeneous sections and financial and equipment constraints especially in countries such as Iran.

Keywords: Sediment connectivity index, Sediment management, Soil conservation, Sediment transfer scenario

* Corresponding Author; Email: sadeghi@modares.ac.ir

