Sari Agriculture Sciences and Natural Resources University

Journal of Watershed Management Research, Vol. 16, Issue 1, 2025 p: 107-120

OPEN ACCESS

Research Paper

Sediment Connectivity Index Zoning in the Shazand Watershed, Markazi Province, Iran

Seyed Hamidreza Sadeghi[1], Somaye Zare[2], Mostafa Zabihi Seilabi[2], Fatemeh Abdulbaghi[3], Fatemeh Hasanpour[3], Ali Nouri[3], Fatemeh Esmailzadeh Ashini[3], Negin Rashidi[3], Masoumeh Hamzeh[3], Arasteh Payfeshordeh[3], Fatemeh Tavakoli[3], Sahar Mousavian[3], and Mehdi Khairparast[3]

1- Professor, Department of Watershed Engineering, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, Iran, (Corresponding Author: sadeghi@modares.ac.ir)
2- Ph.D. Students, Department of Watershed Engineering, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, Iran
3- M.Sc. Students, Department of Watershed Engineering, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, Iran

Received: 04 June 2024 Revised: 09 October 2024 Accepted: 21 October 2024

Extended Abstract

Background: Soil erosion is the land that separates soil particles from their original location, then changes to other places through various processes, and then deposits. Soil erosion and sediment production are among the most important problems in most regions of the world, causing a decrease in soil productivity, an increase in flood flows, a decrease in the health of water systems, and an increase in sediments in dam reservoirs. In addition to identifying the sources of sediment production, a model of potential sediment delivery to the waterway network is made to manage soil erosion and sediment production. As a result, the sedimentation of watersheds and sediment production areas, its delivery patterns from production sources to the network, and finally, depositing it in reservoirs, are needed for soil erosion management. One of the most important methods and characteristics of watershed sediment production is the sediment index of connectivity (IC). The connection process is an emerging concept to better understand the processes occurring at the surface of the watershed that affect water flow and sediment movement in different ways. This index explains the degree of connection of the sediment flow throughout the watershed, especially between the sediment source and the downstream area. Sediment management includes all measures that affect erosion, transportation, redistribution, and deposition of sediments in the direction of sediment diversion or trapping in waterway systems. Accordingly, sediment connectivity as an emerging concept in sediment management has been considered in recent years to investigate sediment transport in different parts of watersheds. The concept of connectivity is related to the state of a system, such as a watershed, which determines how and the degree of ease of material and energy transfer throughout the watershed system. In other words, connectivity indicates the continuity or discontinuity of runoff and sediment paths at a specific time and place. In this regard, the assessment of the sediment connectivity index in the Shazand Watershed was mentioned in the present study.

Methods: This study was conducted in the Shazand Watershed located in Markazi Province. The spatial pattern of sediment yield in the watershed and the sediment connectivity map of the watershed were investigated using the Sediment Delivery Ratio (SDR) model, the method presented by Borselli *et al.*, and the definition of the connectivity index. IC consists of two parts, including upstream and downstream. This index was calculated by incorporating the distance from the sediment sink (i.e., the end of the slope or the connection to the main waterway), the characteristics of the sediment movement path, factors affecting the cumulative flow of runoff, and local conditions in each part considering as a weighting factor (W). The more positive IC and tending to the positive infinity, the higher the probability of structural connection for sediment transport. The probability of sediment connectivity will decrease with more tendency to the negative infinity. Therefore, the sediment IC was estimated using the corrected digital elevation model and the cover management factor with a spatial accuracy of 30 m. Next, spatial changes and values of the sediment IC were calculated for 24 sub-watersheds of the study.

Copyright ©2025 Sadeghi et al. Published by Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University.
This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Non-Commercial 4.0 Unported License, which allows users to read, copy, distribute, and make derivative works for non-commercial purposes from the material, as long as the author of the original work is cited properly.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.61882/jwmr.2024.1272]

Results: The changes in the sediment IC in different sub-watersheds ranged from -7 to 1.4. The slope, land use, and land cover maps were used for this purpose. Comparing the land use map with the sediment IC shows the role of human disturbance in the natural functioning of ecosystems and natural systems. According to these maps, mountainous and high areas and rainfed lands transfer sediments and hydrological and sediment connectivity to the downstream area due to the naturalness of the areas and human interventions. Moreover, the lowland and steep highland areas mainly have the minimum and the maximum values of this index, respectively. One of the main factors affecting connectivity is the type of vegetation that affects the movement of particles so that connectivity increases and leads to more runoff production in areas without vegetation or with little coverage, but less runoff is produced, penetration increases, and connectivity decreases in areas with vegetation. Based on the resulting map and the concept of the sediment IC, the smaller its value is, the lower the probability of sediment transfer. In general, considering this index and its distribution can be important for prioritizing areas in terms of soil erosion and sediment management.
Conclusion: Considering the importance of preserving Iran's water and soil resources and providing suitable solutions for managing sediments in watersheds, the integrated management of watersheds in the country requires a specific framework in planning related to sediment monitoring and control. Recently, the concept of sediment connectivity has been more frequently used in the studies of soil erosion and sediment yield of watersheds. In this connection, the spatial variability and zoning of the sediment IC in the Shazand Watershed were evaluated in the present study for the management of sediment resources. The results of the present study can, therefore, be employed to plan management measures to control sediments in the Shazand Watershed, Markazi Province, Iran. Nevertheless, conducting more detailed and extensive studies, especially in different geomorphological conditions, will provide the necessary platforms for comprehensive conclusions.

Keywords: Integrated watershed management, Sediment connectivity, Sediment management, Soil erosion

How to Cite This Article: Sadeghi, S. H., Zare, S., Zabihi Seilabi, M., Abdulbaghi, F., Hasanpour, F., Nouri, A., Esmailzadeh Ashini, F., Rashidi, N., Hamzeh, M., Payfeshordeh, A., Tavakoli, F., Mousavian, S., & Khairparast, M. (2025). Sediment Connectivity Index Zoning in the Shazand Watershed, Markazi Province, Iran. *J Watershed Manage Res*, 16(1), 107-120. DOI: 10.61882/jwmr.2024.1272

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.61882/jwmr.2024.1272]

مقاله پژوهشی

پهنه‌بندی شاخص اتصال رسوبی در حوزه آبخیز شازند در استان مرکزی

سیدحمیدرضا صادقی[۱]، سمیه زارع[۲]، مصطفی ذبیحی‌سیلابی[۲]، فاطمه عبدالباقی[۳]، فاطمه حسن‌پور[۳]، علی نوری[۳]، فاطمه اسماعیل‌زاده‌آشینی[۳]، نگین رشیدی[۳]، معصومه حمزه[۳]، آراسته پای‌فشرده[۳]، فاطمه توکلی[۳]، سحر موسویان[۳] و مهدی خیرپرست[۳]

۱- استاد، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران، (نویسنده مسوول: sadeghi@modares.ac.ir)
۲- دانشجویان دکتری، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران
۳- دانشجویان کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۳/۱۵ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۳/۰۷/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۷/۳۰
صفحه ۱۰۷ تا ۱۲۰

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: فرسایش خاک پدیده‌ای است که ذرات خاک را از محل اولیه خود جدا می‌کند و سپس با فرایندهای مختلف به مکان دیگری انتقال و رسوب می‌دهد. فرسایش خاک و تولید رسوب یکی از مشکلات مهم در اکثر مناطق جهان است که سبب کاهش توان تولید خاک، افزایش جریان‌های سیلابی، کاهش سلامت سامانه‌های آبی، و افزایش رسوب در مخازن سدها می‌شوند. برای مدیریت فرسایش خاک و تولید رسوب، علاوه‌بر شناسایی عرصه‌های منبع تولید رسوب، باید الگوی تحویل بالقوه رسوب به شبکه آبراهه‌ها نیز تهیه شود. در نتیجه، برآورد رسوب‌دهی حوزه‌های آبخیز و هم‌چنین شناسایی مناطق تولید رسوب، الگوهای تحویل آن از منابع تولید به شبکه انتقال و در نهایت نهشتن آن در مخازن، برای مدیریت فرسایش خاک ضرورت دارند. یکی از مؤثرترین روش‌ها و مشخصه‌های مهم تولید رسوب آبخیز، استفاده از شاخص اتصال رسوبی (IC) است. فرایند اتصال یک مفهوم نوظهور برای درک بهتر از فرآیندهای رخداده در سطح حوزه آبخیز است که بر جریان آب و حرکت رسوب در مقیاس‌های مختلف تأثیر می‌گذارند. این شاخص درجه اتصال جریان رسوب در سرتاسر آبخیز مخصوصاً بین منبع رسوب و منطقه پایین‌دست را تبیین می‌کند. مدیریت رسوب شامل تمام اقداماتی است که فرسایش، انتقال، بازتوزیع و ترسیب رسوب را در راستای انحراف یا تله‌اندازی رسوب در سامانه‌های آبراهه‌ای تحت تاثیر قرار می‌دهد. بر همین اساس، اتصال رسوبی به‌عنوان مفهومی نوظهور در مدیریت رسوب، در چند سال اخیر برای بررسی انتقال رسوب در بخش‌های مختلف حوزه‌های آبخیز مورد توجه قرار گرفته است. مفهوم اتصال به‌حالتی از یک سامانه مانند حوزه‌ی آبخیز مربوط می‌شود که چگونگی و درجه‌ی آسانی انتقال مواد و انرژی در سراسر سامانه‌ی مذکور را تعیین می‌کند. به‌عبارتی دیگر، اتصال از پیوستگی یا ناپیوستگی مسیرهای رواناب و رسوب در زمان و مکانی مشخص حکایت دارد. در همین راستا، ارزیابی شاخص اتصال رسوبی در حوزه آبخیز شازند در پژوهش حاضر مد نظر قرارگرفت.

مواد و روش‌ها: این مطالعه در حوزه آبخیز شازند واقع در استان مرکزی انجام شد. برای بررسی الگوی مکانی تولید رسوب در آبخیز و نقشه اتصال رسوبی آبخیز از مدل Sediment Delivery Ratio، روش ارائه‌شده توسط Borrelli و همکاران و تعریف شاخص اتصال استفاده شد. شاخص IC از دو بخش عامل بالادست و پایین‌دست تشکیل می‌شود و برای محاسبه این شاخص، فاصله از مخزن رسوب (یا انتهای دامنه یا محل اتصال به آبراهه اصلی)، ویژگی‌های مسیر حرکت رسوب، عوامل مؤثر بر جریان تجمعی رواناب و شرایط محلی در هر قسمت از جریان به‌صورت عامل وزنی W در نظر گرفته می‌شود. هرچه این شاخص مثبت‌تر باشد و به‌سمت مثبت بی‌نهایت میل کند، احتمال اتصال ساختاری برای انتقال رسوب بیش‌تر است و هرچه به‌سمت منفی بی‌نهایت میل کند، احتمال اتصال کاهش خواهد یافت. از همین رو، برای برآورد شاخص اتصال رسوبی از مدل رقومی ارتفاع تصحیح شده و عامل پوشش گیاهی با دقت مکانی ۳۰ متر استفاده شد. در ادامه، تغییرات مکانی و مقادیر شاخص اتصال رسوبی برای ۲۴ زیرآبخیز مطالعاتی محاسبه شدند.

یافته‌ها: تغییرات شاخص اتصال رسوبی در زیرآبخیزهای مختلف در محدوده ۷ تا ۱/۴ بودند. برای این منظور، نقشه‌های شیب، کاربری اراضی و پوشش زمین مورداستفاده قرارگرفت. مقایسه نقشه کاربری اراضی با شاخص اتصال رسوبی نشان‌دهنده نقش برهم‌زنندگی انسان در کارکرد طبیعی بوم‌سازگان‌ها و سامانه‌های طبیعی است که براساس این نقشه‌ها، مناطق کوهستانی و مرتفع و اراضی دیم به‌دلیل طبیعی بودن مناطق و دخالت‌های انسانی انتقال رسوب و اتصال هیدرولوژیک و رسوبی منطقه به پایین‌دست را انجام می‌دهند. هم‌چنین، مناطق دشتی عمدتاً مقدار کمینه و مناطق مرتفع پرشیب، مقدار بیشینه این شاخص را داشتند. یکی از عوامل اصلی مؤثر بر اتصال، نوع پوشش گیاهی است که بر فرآیند جابجایی ذرات تأثیر می‌گذارد، به طوری‌که در مناطق بدون پوشش گیاهی یا دارای پوشش کم، اتصال افزایش پیدا می‌کند و منجربه تولید رواناب بیش‌تری می‌شود؛ اما در مناطقی با پوشش گیاهی، رواناب کم‌تری تولیدشده، نفوذ افزایش و اتصال کاهش پیدا می‌کند. بر اساس نقشه حاصل و مفهوم شاخص اتصال رسوبی، هرچه مقدار آن به‌سمت عدد کوچک‌تر میل کند بیان‌گر کاهش احتمال انتقال رسوب است. به‌طورکلی، در نظر گرفتن این شاخص و نحوه پراکندگی آن می‌تواند برای اولویت‌بندی مناطق از نظر مدیریت فرسایش خاک و رسوب مورد اهمیت باشد.

نتیجه‌گیری: با توجه به اهمیت حفظ منابع آب و خاک کشور و ارایه راه‌کارهای مناسب برای مدیریت رسوبات در حوزه‌های آبخیز، مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز کشور نیازمند چارچوبی مشخص در برنامه‌ریزی‌های مربوط به پایش و کنترل رسوبات است. از همین رو، اخیراً مفهوم اتصال رسوب در مطالعات فرسایش خاک و رسوب‌دهی حوزه‌های آبخیز مورد کاربرد بیش‌تری قرار گرفته است. در همین ارتباط، در پژوهش حاضر تغییرات مکانی و پهنه‌بندی شاخص اتصال رسوبی درحوزه آبخیز شازند برای مدیریت منابع رسوبی ارزیابی شد. بنابراین با تکیه بر نتایج پژوهش حاضر می‌توان برای برنامه‌ریزی اقدامات مدیریتی برای کنترل رسوبات در سطح حوزه آبخیز شازند استان مرکزی استفاده کرد. اگرچه انجام مطالعات تفضیلی‌تر و گسترده‌تر و به‌خصوص در شرایط مختلف ژئومورفولوژیک زمینه‌های لازم برای جمع‌بندی‌های نهایی را فراهم خواهد ساخت.

واژه‌های کلیدی: اتصال رسوبی، فرسایش، مدیریت جامع آبخیز، مدیریت رسوب

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.61882/jwmr.2024.1272]

مقدمه

خاک در حال حاضر تهدید بزرگی برای تخریب فرسایش زمین در مقیاس جهانی است که یک عامل مهم در تخریب زمین و تخریب بوم‌سازگان‌های طبیعی است (Sadeghi *et al.*, 2021; Borrelli *et al.*, 2021) و عواقب محیط‌زیستی و اجتماعی–اقتصادی (Sahour *et al.*, 2021) از جمله کاهش ظرفیت ذخیره‌سازی در امتداد مخازن پایین‌دست را باعث می‌شود که به‌شدت ایمنی و سلامت انسان را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Fenta *et al.*, 2020). عوامل متعددی مانند خاک، پوشش‌گیاهی و مداخلات انسانی در فرسایش خاک به‌ویژه در حوزه آبخیز اثرگذار هستند (Katebi Kord *et al.*, 2023; Chen *et al.*, 2023). الگوهای بارندگی، توپوگرافی، انواع رویدادهای بارندگی شدید مکرر همراه با تغییرات آب‌وهوایی، فرسایش خاک ناشی از آب را سبب شده، باعث تسریع تخریب زمین و خطر سیل در سراسر جهان می‌شوند (Hao *et al.*, 2022). در زمینه رویدادهای بارندگی شدید مکرر مرتبط با تغییرات آب و هوایی، انتقال رسوب در فواصل زمانی کوتاه خطر بیش‌تری را برای سیل و تخریب زمین به دنبال دارد (Dunkerley *et al.*, 2019). علی‌رغم وقوع همان بارندگی، عملکردهای هیدرولوژیک متمایز در انتقال رسوب به‌دلیل وجود رواناب و حرکت رسوب ناشی از الگوهای کاربری مختلف زمین قابل پیشرفت است (Ciampalini *et al.*, 2012; Sadeghi *et al.*, 2022). از آن‌جا که فرآیندهای فرسایش و رسوب جنبه‌های ریخت‌شناسی سطح توپوگرافی و تغییرات آن در طول زمان را تعیین می‌کنند، پویایی رسوب یک فرآیند کلیدی ازنظر اتصال مسیر منبع به مخزن (La Licata *et al.*, 2023) و به‌ویژه ارتباط با سامانه رودخانه‌ای است (Poesen, 2018). علاوه‌بر این، منابع رسوب فعال که باعث تولید رسوب بالا می‌شوند، در پاسخ به مقادیر مختلف بارندگی در حوزه‌های آبخیز، تغییرات قابل‌توجهی را نشان می‌دهند. از این رو، توجه به جریان رسوب در یک آبخیز، امری ضروری محسوب می‌شود (Zingaro *et al.*, 2019). با توجه به پیچیدگی بالای سامانه‌های هیدروژئومورفیک و تنوع زیاد فرآیندهای کنترل‌کننده کارایی انتقال آب و رسوب از طریق یک آبخیز، تهیه نقشه اتصال هیدرولوژیک[1] و رسوبی برای درک ارتباط بین بخش‌های مختلف سامانه و نقش پیکربندی سامانه، شکل‌های طبیعی زمین و اقدامات انسانی ساختارهایی در جهت حمایت یا ممانعت از تداوم مسیرهای رواناب و رسوب در طول زمان و بررسی تأثیر اختلالات طبیعی و انسانی بر دبی جریان و شار رسوب[2] و فرآیندهای مرتبط می‌توانند کمک کنند (Cavalli *et al.*, 2019; Najafi *et al.*, 2017).

در این خصوص، نسبت تحویل رسوب[3] و عوامل مؤثر بر آن نقش مهمی دارند (Bayat & Moradi, 2014). بنا بر این، شناسایی مناطقی که در طول رویدادهای بارندگی، رسوب را به خروجی متصل و انتقال می‌دهند، هم‌چنین شناسایی مناطق مستعد تولید رسوب به‌دلیل اثرات آن بر محیط زیست، زمین‌های کشاورزی، شبکه‌های آبیاری، مخازن آب و تشدید اثرات سیلاب‌ها از درجه اهمیت بالایی برخوردار است (Gerami *et al.*, 2022a). در این ارتباط، اتصال هیدرولوژیک به یک موضوع کلیدی در مطالعه فرآیندهای عمل‌کننده در سامانه‌های هیدروژئومورفیک تبدیل‌شده است و پیامدهای قوی بر درک رفتار آن‌ها دارد (Zanandrea *et al.*, 2020). اتصال رسوب[4] یک مفهوم اساسی و یک راه مؤثر برای آشکار کردن احتمال و مسیرهای انتقال رسوب از منبع به خروجی است (Bracken *et al.*, 2015). مفهوم اتصال، انتقال آب و رسوب بین عناصر منظره مرتبط را در مقیاس‌های مختلف توصیف می‌کند و تا چه اندازه جریان آب و انتقال رسوب تسهیل می‌شود (Wainwright *et al.*, 2011). اتصال بر نقش عناصر چشم‌انداز تأکید می‌کند که جدا شدن و انتقال رسوب را امکان‌پذیر می‌کند و به‌عنوان عوامل اتصال یا قطع‌کننده در انتقال رسوب در طول رویدادهای هیدرولوژیک عمل می‌کند. برای درک پویایی رسوب در حوزه‌های آبخیز است که به عنوان یک مؤلفه حیاتی در مدیریت آبخیز و حفاظت از خاک و آب عمل می‌کند. از سوی دیگر، اتصال رسوبی شاخصی است که نسبت تحویل رسوب را منطقه‌ای می‌کند و پتانسیل اتصال بین رسوبات، باتوجه به مشخصات زمین و ویژگی‌های توپوگرافی را تخمین می‌زند (Borselli *et al.*, 2008).

با این‌حال، کمّی‌کردن اتصال رسوب به دلیل پیچیدگی و مشکلات مربوط به اندازه‌گیری مستقیم شار رسوب در مقیاس‌های زمانی و مکانی چندگانه، یک کار چالش‌برانگیز است (Yan *et al.*, 2024). به‌عبارت دیگر، اتصال میزان درجه تسهیل سامانه انتقال مواد (به‌عنوان مثال رسوب) از طریق خود و در کنار آن مؤلفه‌های منظره مانند تپه‌ها و شبکه‌های رودخانه و هم‌چنین توانایی رسوبات را برای انتقال از طریق مناظر ناهمگن تا زمانی که به ویژگی خاصی از چشم‌انداز (مانند جریان، خروجی، سد، و دریاچه) برسند و نقش جامع عوامل محیطی در فرآیندهای حمل و نقل را نشان می‌دهد (Wohl *et al.*, 2019). به‌طورکلی، در مورد حوزه‌های آبخیز می‌توان به سه نوع اتصال سیمای سرزمین (جفت‌شدگی و ارتباط فیزیکی زمین‌ریخت‌ها)، هیدرولوژیک (انتقال رواناب از بخشی از سیمای سرزمین به بخشی دیگر و ایجاد پاسخ‌های روانابی در بخش‌های مختلف آبخیز) و رسوبی (انتقال فیزیکی رسوب و آلودگی‌های مربوط به آن در سراسر حوزه آبخیز) اشاره کرد (Jain & Tandon, 2010). از آن‌جایی که در فرسایش آبی انتقال رسوب به‌وسیله نیروی محرکه آب و فرآیندهای هیدرولوژی در شبکه آبراهه‌ای صورت می‌گیرد، مفهوم اتصال به حالتی از یک سامانه مانند حوزه آبخیز مربوط می‌شود که چگونگی و درجه آسانی انتقال مواد و انرژی در سراسر سامانه مذکور را تعیین می‌کند (Najafi *et al.*, 2017). به‌عبارت‌دیگر، اتصال از پیوستگی یا ناپیوستگی مسیرهای رواناب و رسوب در زمان و مکانی مشخص حکایت دارد (Kollongei & Lorentz, 2014). از این رو، اتصال رسوب یک عامل مهم است که حالت، کارایی و مقیاس انتقال رسوب در یک حوزه

[1] Hydrological Connectivity
[2] Sediment Flux
[3] Sediment Delivery Ratio
[4] Sediment Connectivity

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-07]
[DOI: 10.61882/jwmr.2024.1272]

آبخیز را کنترل می‌کند. از همین رو، توصیف فضایی الگوهای اتصال در یک حوزه آبخیز به شناسایی منابع رسوب و هم‌چنین تعریف مسیرهای انتقال رسوب کمک می‌کند (Najafi *et al.,* 2021). بنابراین مطالعه اتصال رسوب نه تنها برای توسعه درک بهتر پویایی رسوب مفید است بلکه توانایی پیش‌بینی جریان رسوب در سامانه‌های اصلی رودخانه و مناطق پایین‌دست آن را افزایش می‌دهد. این فرآیند هم به تغییرات آب‌وهوایی بلندمدت و هم مداخلات انسانی کوتاه‌مدت پاسخ می‌دهد (Mao *et al.,* 2009; Baartman *et al.,* 2013).

رویکردهای اتصال در طول زمان از طریق تکامل مفاهیم، تعاریف، روش‌ها و کاربردها تغییر کرده‌است (Zingaro *et al.,* 2019). مطالعات اولیه مفهوم نسبت تحویل رسوب را معرفی کردند، که در آن بودجه خالص رسوب محاسبه شد، که با نسبت جرم تحویلی به کانال‌ها و توده فرسایش‌یافته در یک آبخیز نشان داده می‌شود (Caine & Swanson, 2013). از طرفی دیگر ژئومورفولوژیست‌ها روی آبشار رسوب[1]، یعنی فرآیندهای عرضه، حمل‌ونقل و ذخیره‌سازی بر حرکت رسوب در یک حوزه آبخیز تمرکز کردند (Zhang *et al.,* 2021). در مقیاس بزرگ‌تر، درجه اتصال میان بخش‌های مختلف یک چشم‌انداز (یا سامانه ژئومورفیک)، به‌عنوان مثال، اتصال طولی، جانبی، و عمودی، بسیار مهم استدلال شد (Wohl *et al*., 2019). دیگران بر مسیرها و تفکیک فرآیندها، مانند جریان‌های دامنه، جریان‌های واریزه‌ای، کانال‌های رودخانه‌ای (Heckmann & Schwanghart, 2013)، و هم‌چنین مکان و نوع زمین‌ریخت‌های ذخیره‌سازی تمرکز کردند (Fryirs, 2013). پژوهش‌های بعدی با فرآیندهای انتقال‌های اولیه و مجدد (Bracken *et al.,* 2015)، رویدادهای کوچک و بزرگ‌مقیاس (Faulkner, 2008) و اثرات انسانی (Poeppl *et al.,* 2020) مرتبط بودند. با این‌حال تمام این مطالعات بر روابط قوی بین اجزای ساختاری[2] و عملکردی[3] اتصال رسوب تأکید می‌کنند (Zingaro *et al.,* 2019). اتصال ساختاری نمایانگر پیکربندی مکانی مربوط به مسیرها (تداوم)، طول و مقاومت در برابر جریان است (Zanandrea *et al.,* 2020). چنین پیکربندی‌هایی ناشی از زبری و ریخت زمین هستند. بر همین اساس، اتصال ساختاری رسوب مفهومی مشتق‌شده از اتصال است که با بررسی ساختاربندی سامانه تحت بررسی، پتانسیل جابه‌جایی ذرات رسوب در سراسر سامانه آبخیز را مورد بررسی قرار می‌دهد (Najafi *et al.,* 2017). از سوی دیگر، اتصال عملکردی به انتقال واقعی آب و رسوب اطلاق می‌شود و با رواناب سطحی مرتبط است. اتصال ساختاری بر آستانه‌های اتصال عملکردی تأثیر می‌گذارد که به‌نوبه خود، ویژگی‌های زمین‌ریخت‌شناسی مرتبط با ارزیابی اتصال ساختاری را تغییر می‌دهد. از سویی دیگر، اتصال ساختاری مجاورت واحدهای چشم‌انداز را توصیف می‌کند، درحالی‌که اتصال عملکردی تعامل بین عناصر ساختاری توسط فرآیندهای زمین‌ریخت‌شناسی، آبی، و بوم‌شناختی را توصیف می‌کند. مؤلفه ساختاری اتصال به فرد اجازه می‌دهد تا توزیع فضایی رسوب قابل جدا شدن بالقوه را براساس پیکربندی سامانه زمین‌ریخت‌شناسی تجسم کند (Lisenby *et al.,* 2020). درحالی‌که از طریق مؤلفه عملکردی، اندازه‌گیری جریان انرژی و مواد براساس فرآیندهای عملگر حوزه آبخیز امکان‌پذیر است (Zingaro *et al.,* 2019). علاوه بر این، اتصال را می‌توان بر اساس اهداف تحقیق به ارتباط چشم‌انداز، هیدرولوژیک و رسوبی تقسیم کرد (Cossart & Fressard, 2017). اتصال چشم‌انداز آبشار فیزیکی بین شکل‌های زمین یا واحدهای چشم‌انداز مختلف را بیان می‌کند. اتصال هیدرولوژیک نشان‌دهنده تأثیر ناهمگنی مکانی بر رفتار کلی هیدرولوژیک سامانه است (Keesstra *et al*., 2018). اتصال رسوب به رابطه آبشاری رسوب بین شکل‌های مختلف زمین یا واحدهای چشم‌انداز در یک حوزه آبخیز اشاره دارد (Cossart & Fressard, 2017)، که می‌تواند منعکس‌کننده توانایی انتقال رسوب به خارج از آبخیز باشد. ویژگی‌های مشترک این سه نوع اتصال (ارتباط چشم‌انداز، هیدرولوژیک و رسوبی) می‌تواند منعکس‌کننده فرآیند انتقال مواد در سامانه‌های ناهمگن پیچیده باشد. اتصال هیدرولوژیک و رسوبی رابطه نزدیکی را با اتصال چشم‌انداز نشان می‌دهد. اتصال رسوب تحت تأثیر اتصال هیدرولوژیک قرار می‌گیرد زیرا رواناب، شرایط انتقال رسوب را نشان می‌دهد.

به‌طورکلی تغییرات در اتصال رسوب ممکن است تأثیرات زیادی بر فرآیندهای فرسایش خاک، انتقال رسوبات و حرکت مواد وابسته به رسوب داشته باشد که بیش‌تر بر کیفیت خاک و آب تأثیر می‌گذارد. این فرآیند هم به تغییرات آب‌وهوایی بلندمدت و هم مداخلات انسانی کوتاه‌مدت پاسخ می‌دهد (Mao *et al.,* 2009). هم‌چنین، چندین عامل انسانی مانند استفاده از زمین و تغییرات پوشش زمین (LULC) ازجمله جنگل‌زدایی (Ward *et al*., 2009)، جنگل‌کاری (Keesstra *et al.,* 2009)، نوارهای گیاهی و سامانه‌های زهکشی کشاورزی (Calsamiglia *et al.,* 2018)، پوشش گیاهی ساحلی (Keesstra *et al.,* 2012)، اراضی رهاشده (Casalí *et al.,* 2010) و هم‌چنین زمین‌لغزش‌های سطحی (Persichillo *et al.,* 2017) انتقال رسوب در یک حوزه آبخیز را تحت تأثیر قرار می‌دهند.

پژوهش‌های محدودی در ارتباط با اتصال رسوبی در داخل و خارج از کشور انجام‌شده‌است. در این خصوص (Najafi *et al*., 2017) شاخص اتصال ساختاری رسوب در حوزه آبخیز تهم زنجان را بررسی کردند. نتایج ارزیابی نشان دادند که تطابق قابل‌قبولی بین شاخص اتصال عملکردی و اتصال ساختاری وجود داشت. نقشه اتصال ساختاری نیز با مقادیر بیشینه، کمینه و میانگین نشان داد که ۳۲ درصد از حوزه آبخیز اتصال ساختاری بالایی داشت که عمدتاً در بخش‌های غربی آبخیز تمرکز داشت. اسدی و همکاران (۲۰۱۸) به منظور تعیین متغیرهای زمین‌ریخت‌شناسی اثرگذار و قابل‌دسترس در تخمین رسوب معلق در حوزه آبخیز تمر، نقش شاخص اتصال رسوبی را مورد ارزیابی قراردادند. مقایسه نتایج نشان داد که شاخص اتصال رسوبی به‌همراه متغیرهای هیدرولوژیک کارایی مدل‌ها را بهبود بخشید (Asadi *et al.* 2018). جرمای و همکاران (۲۰۲۲) به بررسی، مرور و تحلیل مطالعات گذشته در زمینه IC پرداختند و شیوه‌های کمی‌سازی اتصال رسوب و رهیافت‌های مناسب‌تر را برای

[1] Sediment Catchment
[2] Structural Connectivity
[3] Functional Connectivity

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-07]
[DOI: 10.61882/jwmr.2024.1272]

پژوهش‌های آینده در این زمینه معرفی کردند. در این مطالعه، در بازه زمانی سال‌های ۲۰۰۸ تا ۲۰۲۲، عامل‌های وزنی عامل پوشش‌گیاهی، مدل USLE و زبری سطحی، بیش‌ترین فراوانی در مطالعات اتصال رسوب را داشتند (Gerami *et al.,* 2022a). هایلو و همکاران (۲۰۲۲) به بررسی اتصال رسوبی در حوزه آبخیز طالقان استان البرز پرداختند. نتایج این پژوهش نشان دادند که شاخص اتصال رسوبی با دقت مکانی ۱۰متر، دقت بالاتری نسبت به شاخص اتصال رسوبی با دقت مکانی ۳۰متر داشت و هم‌چنین دو عامل شیب و پوشش‌گیاهی از فراسنجه‌های مهم در رسوب‌دهی حوزه بودند (Hilo *et al.,* 2022). در پژوهشی دیگر، جرمای و همکاران (۲۰۲۲) به ارزیابی عامل وزنی مناسب برای برآورد شاخص اتصال رسوب در شرایط خاک شخم‌خورده دیم‌زارهای منطقه‌های کوهین، سرارود و گچساران پرداختند. در پژوهش مذکور، نتایج حاصل از کاربرد چهار عامل وزنی سنگ‌ریزه درون خاک، کربنات کلسیم فعال، میانگین وزنی قطر خاکدانه و مقاومت فروروی نشان دادند زمانی که میانگین وزنی قطر خاکدانه و مقاومت فروروی عامل وزنی شاخص پیوستگی باشد، رابطه بین میانگین شاخص پیوستگی با هدررفت خاک مناسب‌تر است و ضریب همبستگی بیش‌تری در مقایسه با سنگ‌ریزه درون خاک و کربنات کلسیم فعال دارد (Gerami *et al.,* 2022b).

کیهان‌پناه (۲۰۲۲) به مقایسه و ارزیابی تغییرات مکانی مقادیر SDR و شاخص اتصال در مقیاس آبخیز مارچشمه استان سمنان پرداخت. نقشه توزیعی شاخص اتصال رسوبی نشان داد که بیش‌ترین مقدار نقشه SDR نزدیک به ۰/۵ و کم‌ترین مقدار آن نزدیک به صفر و شاخص اتصال رسوبی از ۶/۷۱- تا ۳/۰۴ متغیر بودند. بر این اساس، نزدیک خروجی آبخیز میزان تحویل رسوب و انتقال رسوب بیش‌تر از میانگین کل آبخیز بود، اما در قسمت‌های شمالی آبخیز، تمرکز بر تحویل و انتقال رسوب نبود (Keyhan Panah *et al.* 2022). زاناندرای و همکاران (۲۰۲۰) به بررسی و ارزیابی شاخص اتصال رسوبی پرداختند. نتایج این پژوهش نشان دادند که مناطق دارای پوشش گیاهی، به‌ویژه جنگل‌های انبوه، مقادیر شاخص اتصال رسوبی پایین‌تر از مناطق دشتی مرتفع بود (Zanandria *et al.,* 2020). هائو و همکاران (۲۰۲۲) با استفاده از مدل MUSLE، اتصال رسوبی تحت تأثیر بارندگی و رواناب در یک حوزه آبخیز را مورد بررسی قراردادند. نتایج حاکی از آن بود که پوشش گیاهی ضعیف و خندق‌های متراکم اتصال بالایی داشتند (Hao *et al.,* 2022). اخیراً نیز یان و همکاران (۲۰۲۴) اتصال رسوب عملکردی در مقیاس‌های مختلف با استفاده از دو شاخص کلیدی عملکرد و علائم رسوب را مورد ارزیابی قراردادند. نتایج نشان دادند که فعال‌سازی اتصال رسوب تحت تأثیر مقدار، شدت و نوع بارندگی بود که بیش‌ترین فعال‌سازی در نمودار شیب مشاهده شد. هم‌چنین ارزیابی تغییرپذیری فرسایش خاک و فرآیندهای انتقال رسوب یکی از تلاش‌های بلندمدت ژئومورفولوژیست‌ها و هیدرولوژیست‌ها بوده است (Yan *et al.,* 2024)، زیرا توزیع مجدد رسوب می‌تواند برای محیط زیست و سامانه‌های رودخانه‌ای مضر باشد (Gay *et al.*, 2016; Sadeghi *et al.*, 2024). اتصال رسوب یک مفهوم اساسی برای درک پویایی رسوب در حوزه‌های آبخیز است که به‌عنوان یک مؤلفه حیاتی در مدیریت حوزه آبخیز و حفاظت از خاک و آب عمل می‌کند.

امروزه، یکی از اهداف مدیریت حوزه‌های آبخیز در سطح کشور دست‌یابی به تعادل بوم‌شناختی و آبی آبخیزها و نیز افزایش سطح درآمدی و ارتقای وضعیت اجتماعی گرودران است. برای نیل به این هدف، در سالیان اخیر اقدامات متعددی صورت گرفته‌است. یکی از اجزای اصلی اقدامات آبخیزداری، مدیریت رسوب از طریق عملیات 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 به‌حساب می‌آید. بنا بر این، تجزیه و تحلیل اتصال رسوب با درنظر گرفتن تأثیر فعالیت‌های انسانی و برنامه‌ریزی زمین بر فرسایش خاک و فرآیندهای انتقال رسوب مفید است. حال آن که این موضوع در کشور کم‌تر مورد توجه قرار گرفته است و محدود به چند پژوهش خاص است. از همین رو، در پژوهش حاضر پهنه‌بندی شاخص اتصال رسوبی با لحاظ عامل وزنی پوشش‌گیاهی در حوزه آبخیز شازند استان مرکزی برنامه‌ریزی شد.

مواد و روش‌ها

منطقه موردمطالعه

حوزه آبخیز شازند (شکل ۱) با مساحتی حدود ۱۷۴۰ کیلومترمربع و مختصات جغرافیایی در محدود طول شرقی "۱۵ '۴ °۴۹ تا "۱۲ '۵۲ °۴۹ عرض شمالی "۴۲ '۴۴ °۳۳ تا "۱۳ '۱۲ °۳۹ قرار دارد و یکی از زیرحوزه‌های واقع در استان مرکزی است. مقدار متوسط بارندگی و دمای سالیانه حوزه آبخیز شازند به‌ترتیب ۴۲۰ میلی‌متر و ۱۲ درجه سانتی‌گراد است. هم‌چنین مناطق مرکزی حوزه آبخیز دارای کمینه میزان فرسایش و نیز مناطق جنوبی‌تر آن تحت تأثیر تغییرات عامل طول شیب و نیز عامل فرسایش‌پذیری بیش‌ترین میزان فرسایش در منطقه را نشان می‌دهند (Mirchooli *et al.*, 2022). بیش‌ترین مساحت آبخیز مربوط به طبقه شیب کم‌تر از پنج درصد است که دشت حاصل‌خیز شازند را در خود جای‌داده است. مهم‌ترین مراکز سکونت‌گاهی منطقه شامل شهرهای شازند، آستانه، مهاجران، شهباز و توره و مهم‌ترین واحدهای صنعتی نیز شامل پتروشیمی، پالایشگاه و نیروگاه حرارتی هستند که در دشت شازند واقع شده‌اند و به‌تدریج بعد از سال ۱۳۶۷ فعال شدند (Davudirad *et al.*, 2016).

اندازه‌گیری شاخص اتصال رسوبی

افزایش دسترسی به داده‌های توپوگرافی با وضوح بالا در سال‌های اخیر و نیاز به درک الگوهای اتصال رسوب بین واحدهای چشم‌انداز باعث شده‌اند تا شاخص‌های زمین‌ریخت‌سنجی اتصال رسوب توسعه پیدا کنند. یکی از این شاخص‌ها، شاخص اتصال[1] در زمینه مطالعات فرسایش خاک است و در حوزه آبخیز با کاربری غالب کشاورزی در ایتالیا توسط Borselli *et al.* (2008) معرفی و مورداستفاده قرار گرفت. برای هر سلول، شاخص اتصال، پیوند هیدرولوژیک

[1] Index of Connectivity (IC)

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-07]
[DOI: 10.61882/jwmr.2024.1272]

بین منابع رسوب و پایین‌دست را توصیف می‌کند. اتصال رسوب نشان‌دهنده پیوندی است که شارهای رسوب در سراسر چشم‌انداز به‌ویژه بین منابع رسوب و مناطق پایین‌دست، که یک عامل مهم در مطالعه انتقال رسوب را کنترل می‌کند. این روش از چهار مرحله اصلی (۱) پایش میدانی انتقال رسوب در رودخانه، (۲) مدل‌سازی فرسایش خاک، (۳) مدل‌سازی اتصال رسوب و (۴) برآورد میزان تله‌اندازی ته‌نشست‌های مصنوعی تشکیل شده است.

مفهوم اتصال و مقیاس اندازه‌گیری آن به‌هم مرتبط هستند، زیرا براساس مقیاس با تغییر اتصال، مقدار انتقال آب و رسوب نیز تغییر می‌کند (Keesstra *et al.*, 2012). شاخص اتصال نشان‌دهنده پیوند بین بخش‌های مختلف آبخیز است (Gay *et al.*, 2015) که از نظر ریاضی بدون حد است و در دامنه مثبت و منفی بی‌نهایت قرار می‌گیرد. هر چه این شاخص مثبت‌تر باشد و به سمت مثبت بی‌نهایت میل‌کند، احتمال اتصال ساختاری برای انتقال رسوب بیش‌تر است و هر چه به سمت منفی بی‌نهایت میل‌کند، احتمال اتصال کاهش خواهد یافت. در پژوهش حاضر، شاخص اتصال رسوبی در محیط نرم‌افزار InVEST (Integrated Valuation of Ecosystem Services and Trade-Offs) محاسبه شد.

$$IC = Log\frac{D_{up}}{D_{dn}} \qquad (۱)$$

که در آن $D_{up,k}$ و $D_{dn,k}$ به‌ترتیب جز بالادست و جز بالادست اتصال هستند. شیب آستانه (Thresholded slopes) و عامل پوشش‌گیاهی (Cover-Management Factor) در محاسبه D_{up} و D_{dn} استفاده می‌شوند. مقادیر بالاتر شاخص اتصال رسوبی نشان می‌دهند که بخش بیش‌تری از رسوب فرسایش‌یافته از یک سلول بالایی به یک فرورفتگی در پایین شیب مانند یک جریان (اتصال بیش‌تر) تحویل داده می‌شود. اتصال بالا معمولاً زمانی اتفاق می‌افتد که مسیر جریان بین منابع رسوب و دامنه‌های شیب‌دار، کوتاه یا با پوشش گیاهی کم باشد. مقادیر پایین‌تر از شاخص اتصال (اتصال کم‌تر) با مناطق پوشش‌گیاهی بیش‌تر و شیب‌های کم‌تر مرتبط هستند. مؤلفه D_{upk}، پتانسیل مسیریابی رو به پایین شیب تولیدشده توسط رسوب است و با استفاده از رابطه (۲) تخمین زده می‌شود:

$$D_{upk} = \overline{W_K}\ \overline{S_K}\ \sqrt{A_K} \qquad (۲)$$

که در آن W_k عامل وزنی، S_k میانگین تندی شیب سطح مشارکت بالادست دامنه (متر بر متر) و A_K سطح مشارکت بالادست (مترمربع) هستند. لازم به ذکر است که در پژوهش حاضر از عامل پوشش‌گیاهی برای محاسبه عامل وزنی استفاده شد. در همین ارتباط، برای برآورد عامل پوشش‌گیاهی از رابطه (۳) به سبب عملکرد مناسب در آبخیز مطالعاتی استفاده شد (Kiani-Harchegani *et al.*, 2020). برای محاسبه شاخص NDVI نیز از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ (سنجده +ETM) سال ۱۴۰۱ استفاده شد.

$$C = \frac{1 - NDVI}{2} \qquad (۳)$$

حداقل مقدار A نیز برابر با سطح سلول مرجع (اندازه سلول) است. در مدل مذکور، یک حد بالا به شیب اعمال می‌شود تا انحراف در مقادیر بسیار بالای IC در شیب‌های تند را محدود کند (رابطه ۴). هم‌چنین، یک حد پایین برای جلوگیری از مقادیر بی‌نهایت برای IC تنظیم شده است (رابطه ۵) (Cavalli *et al.*, 2013).

$$S=\begin{cases} 0.005, & for\ S < 0.005 \\ S, & for\ 0.005 \le S \ge 1 \\ 1, & for\ S > 1 \end{cases} \qquad (۴)$$

$$C=\{0.001,\quad for\ C < 0.001\} \qquad (۵)$$

از مدل رقومی ارتفاع (Digital Elevation Model) با دقت مکانی ۳۰ متر نیز برای برآورد سطح مشارکت بالادست دامنه و تندی شیب استفاده شد. از همین رو، در ابتدا به‌منظور رفع خطاهای احتمالی در مدل رقومی ارتفاع از دستور Sink filling استفاده شد (Hilo *et al.*, 2022).

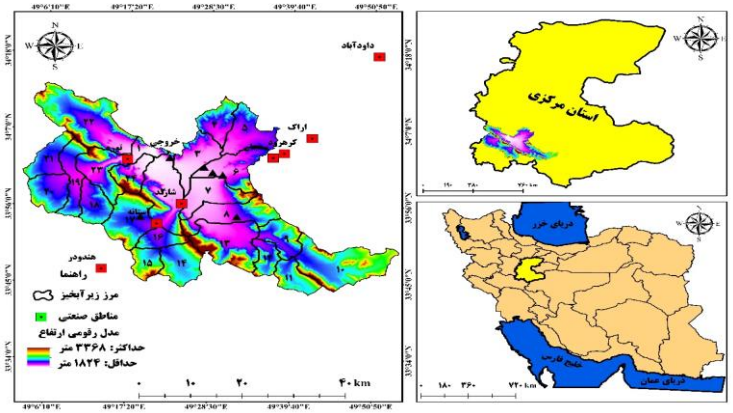
مؤلفه D_{dnk} نیز طول مسیر جریانی را نشان می‌دهد که یک ذره باید طی کند تا به نزدیک‌ترین هدف یا فرورفتگی برسد. بنا بر این، D_{dnk} نیز از رابطه (۶) محاسبه می‌شود:

$$D_{dnk} = \sum_{i=k,nk} \frac{d_i}{W_i\ S_i} \qquad (۶)$$

که در آن d_i طول مسیر به‌سمت پایین‌دست دامنه در سلول iام نقشه شبکه‌ای مورداستفاده (متر) و W_i و S_i به‌ترتیب عامل پوشش‌گیاهی سلول iام و تندی شیب مربوط به سلول iام (متر بر متر) هستند. برای برآورد d_i نیز از نقشه شبکه جریان رودخانه‌ای استفاده شد.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.61882/jwmr.2024.1272]

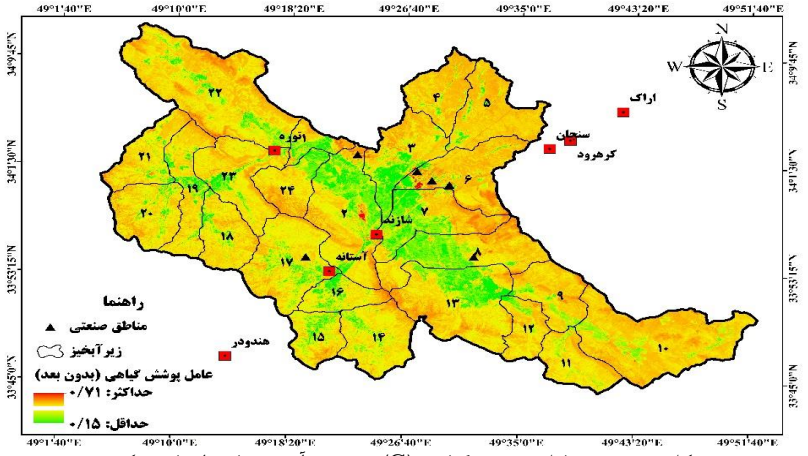


شکل ۱- موقعیت حوزه آبخیز شازند در استان مرکزی و ایران
Figure 1. Location of the Shazand watershed in Markazi Province and Iran

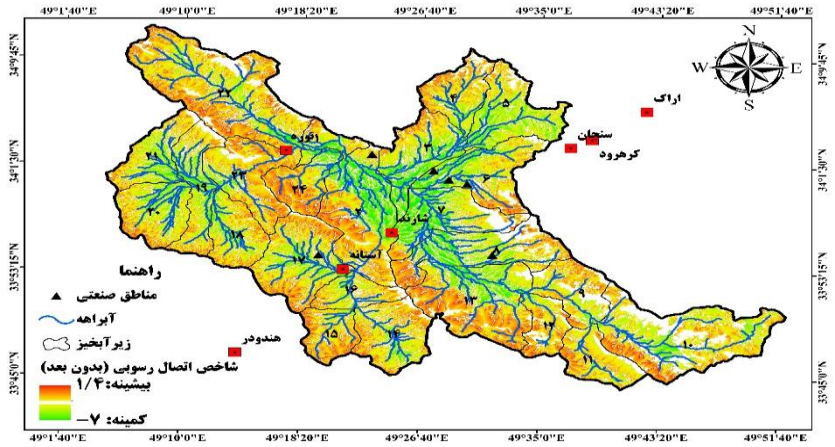
نتایج و بحث

در پژوهش حاضر، شاخص اتصال رسوبی با در نظرگرفتن عامل پوشش‌گیاهی به عنوان عامل وزنی برآورد شد. مقادیر عامل پوشش‌گیاهی در حوزه آبخیز شازند در شکل ۲ ارائه شده‌اند. بر اساس شکل ۲، مقادیر بیش‌تر عامل پوشش‌گیاهی حاکی از پوشش کم‌تر هستند. در حوزه آبخیز شازند، بیش‌ترین عامل پوشش‌گیاهی مربوط به اراضی باغی و کم‌ترین مقدار آن برای اراضی مرتعی و کشاورزی هستند. پراکنش مکانی و مقادیر شاخص اتصال رسوبی در مقیاس زیر آبخیز به‌ترتیب در شکل ۳ و جدول ۱ نشان داده شده‌اند.

.



شکل ۲- نقشه عامل پوشش گیاهی (C) در حوزه آبخیز شازند استان مرکزی
Figure 2. The cover management factor (C) map in the Shazand Watershed of Markazi Province, Iran



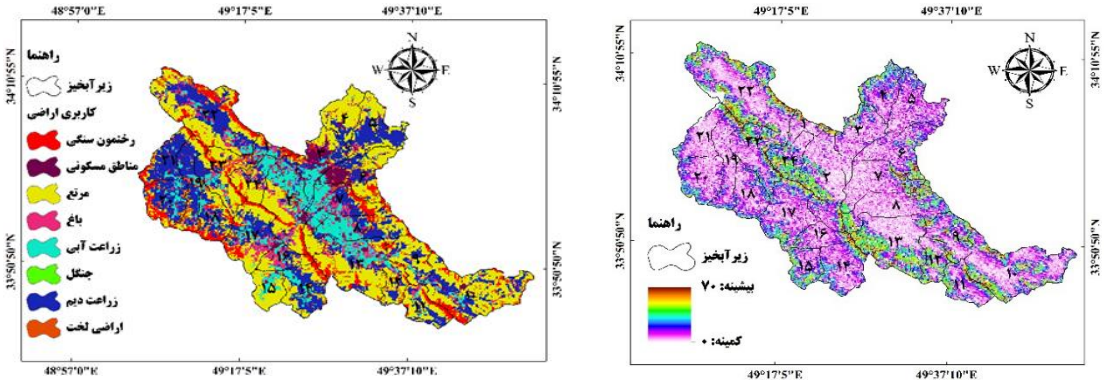
شکل ۳- تغییرات مکانی شاخص اتصال رسوبی در حوزه آبخیز شازند استان مرکزی
Figure 3. Spatial changes in the sediment connectivity index in the Shazand Watershed of Markazi Province, Iran

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-07]
[DOI: 10.61882/jwmr.2024.1272]

نتایج نشان دادند که تغییرات شاخص اتصال رسوبی در زیرآبخیزهای مختلف در محدوده ۷- تا۱/۴ هستند. مقادیر کمینه شاخص در بخش‌های از زیرآبخیزهای ۲، ۳، ۵، ۶، ۷، ۸، ۱۳، ۱۹، ۲۰ و ۲۱ که عمدتاً مناطق دشتی هستند، قرار دارند. این در حالی است که مقادیر بیشینه شاخص اتصال رسوبی در بخش‌های مرتفع زیرآبخیزهای ۲، ۴، ۱۰، ۱۲، ۱۳، ۲۲، ۲۳ و ۲۴ قابل مشاهده هستند. در همین راستا، بیشینه و کمینه مقدار شاخص مذکور به‌ترتیب مربوط به زیرآبخیزهای ۲۴ و ۸ با مقدار ۱/۴ و ۷/۰۱۸- هستند. بر اساس نقشه حاصل و مفهوم شاخص اتصال رسوبی، هرچه مقدار آن به‌سمت عدد کوچک‌تر میل کند بیان‌گر کاهش احتمال انتقال رسوب است. بخش‌های مرکزی، جنوبی، شمال‌غربی، و غربی آبخیز به‌ترتیب اتصال ساختاری بیش‌تر و مناطق مرکزی به سمت شمال و شرق اتصال ساختاری کم‌تری نسبت به سایر بخش‌های آبخیز دارند. نتایج پژوهش قبلی (Kiani-Harchegani *et al.,* 2020) نیز حاکی از این هستند که بیش‌ترین میزان هدررفت خاک در بخش‌هایی از زیرآبخیزهای ۲، ۴، ۱۰، ۱۲، ۱۳، ۲۲، ۲۳ و ۲۴ قابل مشاهده است که با نتایج پژوهش حاضر هم‌خوانی دارد. در همین راستا، وجود دشت هموار شازند با توپوگرافی ملایم یکی از دلایل اصلی مناطق با شاخص اتصال رسوبی کم‌تر است. از سوی دیگر، برای مناطق با اتصال بالا علاوه بر شیب نسبی بیش‌تر به پوشش گیاهی کم‌تر (شکل ۲) نسبت داد که پتانسیل انتقال و یا نگهداشت و تله‌اندازی رسوب را تحت کنترل درآورده است. در همین راستا، نتایج پژوهش‌های پیشین (Liu *et al.,* 2022; Zhang *et al.,*2021) حاکی از آن هستند که بالاترین میزان اتصال رسوب در مناطق با شیب زیاد رخ داده است که با نتایج پژوهش حاضر هم‌خوانی دارد. با افزایش درصد شیب، میزان انرژی در دسترس برای جریان سطحی سرعت جریان افزایش می‌یابد و همین عامل بر اتصال ساختاری اثر می‌گذارد (Heckmann *et al.,* 2018).

جدول ۱- مقادیر شاخص اتصال رسوبی در حوزه آبخیز شازند استان مرکزی
Table 1. Sediment connectivity index values in the Shazand Watershed of Markazi Province, Iran

کمینه Minimum	بیشینه Maximum	زیرآبخیزها Sub-watersheds
-5.113	1.058	1
-5.174	1.272	2
-5.254	0.794	3
-6.018	0.922	4
-6.809	0.308	5
-6.255	1.159	6
-5.941	1.237	7
-7.018	1.319	8
-6.839	1.069	9
-5.932	1.395	10
-5.192	1.219	11
-6.796	1.063	12
-5.129	1.400	13
-4.709	1.074	14
-4.336	0.971	15
-5.241	1.228	16
-4.900	1.137	17
-4.989	0.860	18
-4.978	0.724	19
-4.981	0.489	20
-4.724	0.751	21
-5.071	1.377	22
-4.749	1.215	23
-5.116	1.419	24



شکل ۴- نقشه شیب (راست) و کاربری اراضی/پوشش اراضی (چپ) حوزه آبخیز شازند استان مرکزی
Figure 4. Slope (right) and land use/ cover (left) map of the Shazand Watershed in Markazi Province, Iran

نتایج حاکی از آن هستند که تغییرات مکانی شاخص اتصال رسوبی در شرایط مختلف مشابه نبوده‌اند (شکل ۳). تغییرات کاربری اراضی یک نگرانی جهانی به‌دلیل اثرات بالقوه محیط‌زیستی مختلف هستند که بر خدمات بوم‌سازگان حوزه آبخیز تأثیر می‌گذارند (Da Silva *et al*., 2020) و یکی از مهم‌ترین عواملی هستند که بر رسوب و انتقال آن تأثیرگذارند. انسان با ایجاد تغییرات در سطح زمین و با تولید رسوب در حوزه‌های آبخیز با کاربری‌های عمدتاً متأثر مثل

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-07]
[DOI: 10.61882/jwmr.2024.1272]

کشاورزی بر اتصال اثر می‌گذارد. به دلیل تأثیرات قابل توجه فرسایش خاک و تولید رسوب بر بهره‌وری خاک زمین‌های کشاورزی و تأثیرات احتمالی مضر خارج از عرصه آن‌ها، مطالعات متعددی نقش عامل انسانی در تولید رسوب در زمین‌های زراعی را اثبات می‌کنند. متأسفانه به جنبه‌های مختلف تأثیرات انسانی، در فرایندهای مؤثر دامنه‌ها از طریق ایجاد زیرساخت‌های کشاورزی (مثل جاده‌های خاکی، خاک‌ریزها)، خاک‌ورزی و مدیریت زمین و تأثیر معنی‌دار آن‌ها بر افزایش غیرطبیعی رسوبات به جریان‌های دامنه‌ای کم‌تر توجه شده‌است (McCool & Williams, 2008). بر اساس نقشه کاربری/پوشش اراضی (شکل ۴)، مناطق کوهستانی و مرتفع و اراضی دیم به‌دلیل طبیعی بودن مناطق ساختار طبیعی خود را حفظ کرده، انتقال رسوب را انجام می‌دهند. به عبارتی دیگر، اتصال هیدرولوژیک و رسوبی منطقه وظیفه انتقال رسوب تولیدشده به پایین‌دست را به‌طور متوقع انجام می‌دهد. شاخص اتصال رسوبی در مناطق دارای اراضی زراعی (شکل ۴) غالب به‌دلیل برخورداری از شیب مسطح و همچنین وجود پوشش گیاهی زیاد (شکل ۲) از مقادیر پایین‌تری برخوردار و بیان‌کننده عدم انتقال رسوب از بالادست به پایین‌دست است. در همین راستا و در توافق با یافته‌های پژوهش فعلی، Zanandria *et al.* (2020) نیز بیان داشتند که پوشش گیاهی و خصوصاً در مناطق جنگلی نقش قابل‌توجهی در کاهش میزان اتصال رسوب و به طور کلی شاخص اتصال رسوبی داشتند. همچنین، López-vicente *et al.* (2017) در زیرآبخیز جنگل‌کاری شده، اثر فعالیت‌های انسانی ۷۰ ساله بر اتصال رواناب را بررسی کردند. نتایج نشان دادند که بیش‌ترین اتصال مربوط به شبکه‌های جاده و پیاده‌رو، آبراهه‌ها و آبکندها بود، اما جنگل‌های دست‌کاشت باعث کاهش اتصال شده بود. آن‌ها با دقت مکانی یک متر نتیجه گرفتند که تغییر در اتصال عمدتاً به تغییر در عامل پوشش گیاهی وابسته بود. جینگ و همکاران (Jing *et al.*, 2022) و لیو و همکاران (Liu *et al.*, 2022) نیز نشان دادند که الگوی توزیع مکانی و نوع کاربری زمین نه تنها بر جدا شدن رسوب، بلکه بر مسیر انتقال بالقوه، فاصله و سرعت انتقال رسوب نیز تأثیر می‌گذارد و مناطق با اتصال کم را می‌توان به وجود تغییرات در زمین و پوشش‌گیاهی در منظری با شیب کم نسبت داد که به‌طور مؤثر عملکرد هیدرولوژیک دامنه‌ها را تضعیف و مانع از انتقال رسوب می‌شود. مقدار و نوع پوشش‌گیاهی یکی از عوامل اصلی مؤثر بر اتصال است که بر فرایند جابجایی ذرات تأثیر می‌گذارد و می‌تواند مقدار نفوذ را در خاک افزایش دهد، به طوری که در مناطق بدون پوشش‌گیاهی یا دارای پوشش کم، اتصال افزایش پیدا می‌کند و منجر به تولید رواناب بیش‌تری می‌شود. اما در مناطقی با پوشش گیاهی، رواناب کم‌تری تولیدشده، نفوذ افزایش و اتصال کاهش پیدا می‌کند. رویداد بارندگی با شدت بالا باعث جاری شدن مقدار زیادی رواناب در زمین‌های بدون پوشش می‌شود، اما زمانی که رواناب به مناطقی با پوشش‌گیاهی می‌رسد، به خاک نفوذ کرده، اتصال را کاهش می‌دهد (Bracken & Croke, 2007). همچنین، وجود پوشش گیاهی در مجاورت رودخانه‌ها و افزایش تراکم پوشش گیاهی در بعضی مناطق از انتقال رسوب کاسته، مقدار عددی شاخص اتصال رسوب را در حاشیه رودخانه‌ها کاهش می‌دهد که با نتایج پژوهش پیشین (Zoratipour & Heydari., 2022) نیز هم‌سویی دارد. در این راستا، Wang & Zhang (2022) گزارش دادند که تغییرات مکانی IC توسط پوشش‌گیاهی و عوامل اقلیمی کنترل می‌شود. هم‌چنین، اثرات پوشش گیاهی بر اتصال رسوب توسط فرآیندهای هیدرولوژی، هیدرولیک و فرسایش خاک به‌دست می‌آیند. از این‌رو، اتصال رسوب ارتباط نزدیکی با تنوع پوشش گیاهی دارد. هنگامی که پوشش گیاهی افزایش می‌یابد، تأثیر تاج پوشش‌گیاه، بستر و پوسته زیستی و هم‌چنین سامانه ریشه آن بر اتصال رسوب به‌طور قابل توجهی با افزایش نفوذ، کاهش عمق و سرعت رواناب، و جدا شدن خاک توسط تأثیرات قطرات باران و جریان زمینی افزایش می‌یابد (Najafi *et al.*, 2021). به طور هم‌زمان، الگوهای فضایی پوشش‌گیاهی یا لکه‌ها نیز به‌طور قابل توجهی اصطکاک رواناب و قدرت فرسایشی جریان ضعیف را افزایش می‌دهند و به طور مؤثر ظرفیت انتقال رسوب و تولید رسوب را کاهش می‌دهند. علاوه بر این، ویژگی‌های خاک، مانند تخلخل، تجمع و ظرفیت نفوذ، به‌تدریج با سن و راهبردهای احیای پوشش گیاهی تغییر می‌کنند، که بیش‌تر بر فرآیندهای هیدرولوژیک و فرسایشی، یعنی فرسایش‌پذیری خاک تأثیر می‌گذارند (Wang *et al.*, 2019)، و اتصال رسوبی حوزه آبخیز را تغییر می‌دهند. پوشش‌گیاهی با تغییر فرآیندهای هیدرولوژیک و جلوگیری از فرسایش خاک نقش مهمی در اتصال رسوب دارد. تاج‌پوشش گیاهی، لایه بستر و سامانه ریشه دارای عملکرد هیدرولوژیک بوم‌شناسی قوی در کاهش رواناب و کاهش جداشدگی خاک با جریان آب و ظرفیت انتقال رسوب هستند (Najafi *et al.*, 2021). تاج‌پوشش گیاهی می‌تواند به‌طور مؤثر انرژی جنبشی بارندگی را کاهش دهد، خاک را از پاشش مستقیم محافظت کند و اتصال رسوب را کاهش دهد. بستر گنجانده‌شده در لایه بالایی خاک و سامانه ریشه گیاهی می‌توانند به‌طور قابل توجهی مقاومت در برابر فرسایش خاک را افزایش دهند، جدا شدن خاک را با جریان آب کاهش دهند و از اتصال رسوب بکاهند (Persichillo *et al.*, 2018). به‌طور هم‌زمان، پوشش بستر در سطح زمین و رشد پوسته‌های زیستی می‌توانند زبری سطح زمین و اصطکاک جریان را افزایش دهند، قدرت فرسایشی جریان را کاهش دهند و از اتصال رسوب بکاهند (Sun *et al.*, 2019). علاوه بر این، الگوی فضایی جوامع گیاهی می‌تواند بر فرآیندهای هیدرولوژی و فرسایش تأثیر بگذارد و در نتیجه بر اتصال رسوب و توزیع فضایی آن در مقیاس آبخیز تأثیرگذار باشد.

شیب عامل دیگر مؤثر بر شاخص اتصال رسوبی بوده است که تغییرات آن را کنترل کرده است. بر این اساس، با کاهش شیب، انتقال رسوب کاهش یافت و از میزان شاخص اتصال رسوبی کاسته شد. افزایش شیب می‌تواند زمان غلظت رواناب را کاهش دهد، قدرت جریان و فرسایش خاک را افزایش دهد و طبیعتاً اتصال رسوبی را تقویت کند (Garosi *et al.*,

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-07]
[DOI: 10.61882/jwmr.2024.1272]

2019). فرسایش خاک با طول شیب به‌عنوان تابع توان افزایش می‌یابد. علاوه بر این، اثرات خاک بر اتصال رسوب ارتباط نزدیکی با خواص آن، یعنی پایداری ساختار خاک و فرسایش‌پذیری دارد. ظرفیت نگه‌داری آب و ویژگی‌های نفوذ برای خاک‌هایی با انواع و بافت‌های مختلف کاملاً متفاوت هستند (Zhao *et al*., 2020)، که مستقیماً بر تولید رواناب و بنابراین ظرفیت جداسازی خاک و ظرفیت‌های انتقال رسوب توسط جریان زمینی تأثیر می‌گذارند. رطوبت خاک، که تغییرات مکانی و زمانی زیادی را نشان می‌دهد، با تغییر فرآیند هیدرولوژیک و مقاومت در برابر فرسایش خاک بر اتصال رسوب تأثیر می‌گذارد (Gonzalez-Ollauri & Mickovski, 2017). علاوه بر این، فرسایش‌پذیری خاک توسط خواص خاک کنترل می‌شود که بر میزان رسوب فرسایش‌یافته و توزیع مکانی آن تأثیر می‌گذارد و اتصال رسوب حوزه‌های آبخیز کوچک را افزایش می‌دهد (Wang & Zhang, 2021). در همین راستا، مناطق با اتصال کم را می‌توان به اثر ترکیبی و وجود تغییرات در زمین و پوشش‌گیاهی در منظری با شیب کم نسبت داد که به‌طور مؤثر عملکرد هیدرولوژیک دامنه‌ها را تضعیف و مانع از انتقال رسوب می‌شود. به طور کلی، بر اساس مفهوم شاخص اتصال، هر چه اعداد منفی‌تر و کم‌تر می‌شود احتمال انتقال رسوب کاهش پیدا می‌کند (Arabkhedri *et al.,* 2021). در نتیجه، بخش‌های آبراهه‌ای با توجه به شیب بالاتر احتمال انتقال رسوب بالاتری دارند، لذا انتظار بر این است که با حرکت به‌سمت خروجی زیرآبخیزها، تراکم رسوب بیش‌تر شود. در همین راستا، در آبخیز طالقان نیز گزارش شد که شیب و پوشش گیاهی از مهم‌ترین متغیرهای مؤثر بر شاخص رسوبی بودند که نتایج این پژوهش را تأیید می‌کنند (Hilo *et al.,* 2022).

نتیجه‌گیری کلی

مفهوم اتصال به‌عنوان واژه‌ای برای توصیف ارتباط داخلی بین منبع تولید رواناب و رسوب در بالادست حوزه‌های آبخیز و مخازن مربوطه در پایین‌دست استفاده می‌شود. برای محاسبه اتصال، شاخص‌های مبتنی بر سلول، مانند شاخص اتصال، از جمله شاخص‌های پرکاربرد در مطالعات هستند که به‌علت تفاوت در عامل وزنی آن، از شکل‌های مختلف این شاخص استفاده شده است. در این مطالعه، رویکردی برای ارزیابی شاخص اتصال رسوبی، با استفاده از عامل وزنی پوشش‌گیاهی ارائه شده است. اگرچه مطالعات تکمیلی و جامع‌تری برای دستیابی به خروجی‌های مستندتر مورد تأکید است. اطلاع از مقادیر اتصال رسوبی می‌تواند اقدامات مدیریتی در جهت کاهش این اتصال را سوق دهد. هرچه این شاخص مثبت‌تر باشد و به سمت مثبت بی‌نهایت میل‌کند، احتمال اتصال ساختاری برای انتقال رسوب بیش‌تر است و هر چه به سمت منفی بی‌نهایت میل‌کند، احتمال اتصال کاهش خواهد یافت. در نتیجه، با شناخت بهتر IC، می‌توان از آن به‌عنوان ابزاری برای مدیریت پایدار آبخیزها استفاده کرد. در همین راستا، بررسی اتصال رسوب در مقیاس‌های زمانی متفاوت پیشنهاد می‌شود. هم‌چنین پیشنهاد می‌شود که در مطالعات مرتبط با فرسایش و رسوب، از شاخص اتصال رسوب برای بهبود دقت خروجی‌های مدل‌های فرسایش و رسوب استفاده شود.

References

Arabkhedri, M. (2015). The possibility of estimation of long-term average annual erosion based on measurements of erosion from a few rainfall events. *Extension and Development of Watershed Management*, 3(11), 7-1. [In Persian]

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.

Asadi, H., Shahidi, K., Sidel, R., & Kelami Harris, S. M. (2018). Prediction of suspended sediment using hydrological and hydrogeomorphic data in intelligent models. *Iran Water Resources Research*, 15(3), 105-119. [In Persian]

Baartman, J. E., Masselink, R., Keesstra, S. D., & Temme, A. J. (2013). Linking landscape morphological complexity and sediment connectivity. *Earth Surface Processes and Landforms*, 38(12), 1457-1471.

Borrelli, P., Alewell, C., Alvarez, P., Anache, J. A. A., Baartman, J., Ballabio, C., & Panagos, P. (2021). Soil erosion modelling: A global review and statistical analysis. *Science of the Total Environment,* 780, 146494.

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.

Bracken, L. J., & Croke, J. (2007). The concept of hydrological connectivity and its contribution to understanding runoff dominated geomorphic systems. *Hydrological Processes,* 21(13), 1749–1763.

Bracken, L. J., Turnbull, L., Wainwright, J., & Bogaart, P. (2015). Sediment connectivity: a framework for understanding sediment transfer at multiple scales. *Earth Surface Processes and Landforms,* 40(2), 177-188.

Caine, N., & Swanson, F. (2013). Geomorphic coupling of hillslope and channel systems in two small mountain basins. *Geomorphology: Critical Concepts in Geography. Routledge, Oxon*, 159-173.

Calsamiglia, A., García-Comendador, J., Fortesa, J., López-Tarazón, J. A., Crema, S., Cavalli, M., Calvo-Cases, A., & Estrany, J. (2018). Effects of agricultural drainage systems on sediment connectivity in a small Mediterranean lowland catchment. *Geomorphology,* 318, 162–171.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.61882/jwmr.2024.1272]

Casalí, J., Giménez, R., Díez, J., Álvarez-Mozos, J., Del Valle de Lersundi, J., Goñi,M., Campo, M. A., Chahor, Y., Gastesi, R., & López, J. (2010). Sediment production and water quality of watersheds with contrasting land use in Navarre (Spain). *Agricultural Water Management,* 97, 1683–1694.

Cavalli, M., Trevisani, S., Comiti, F., & Marchi, L. (2013). Geomorphometric assessment of spatial sediment connectivity in small Alpine catchments. *Geomorphology*, 188, 31-41.

Cavalli, M., Vericat, D., & Pereira, P. (2019). Mapping water and sediment connectivity. *Science of the Total Environment,* 673, 763-767.

Chen, C., Zhao, G., Zhang, Y., Bai, Y., Tian, P., Mu, X., & Tian, X. (2023). Linkages between soil erosion and long-term changes of landscape pattern in a small watershed on the Chinese Loess Plateau. *Catena*, 220, 106659.

Ciampalini, R., Billi, P., Ferrari, G., Borselli, L., & Follain, S. (2012). Soil erosion induced by land use changes as determined by plough marks and field evidence in the Aksum area (Ethiopia). *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 146(1), 197-208.

Cossart, É., & Fressard, M. (2017). Assessment of structural sediment connectivity within catchments: insights from graph theory. *Earth Surface Dynamics*, 5(2), 253-268.

Da Silva, J. L. B., de Albuquerque Moura, G. B., da Silva, M. V., Lopes, P. M. O., de Souza Guedes, R. V., e Silva, Ê. F. D. F., & de Moraes Rodrigues, J. A. (2020). Changes in the water resources, soil use and spatial dynamics of Caatinga vegetation cover over semiarid region of the Brazilian Northeast. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 20, 100372.

Davudirad, A. A., Sadeghi, S. H. R., & Sadoddin, A. (2016). The impact of development plans on hydrological changes in the Shazand Watershed, Iran. *Land Degradation & Development,* 27(4), 1236-1244.

Dunkerley, D. L. (2019). Rainfall intensity bursts and the erosion of soils: An analysis highlighting the need for high temporal resolution rainfall data for research under current and future climates. *Earth Surface Dynamics*, 7(2), 345-360.

Faulkner, H. (2008). Connectivity as a crucial determinant of badland morphology and evolution. *Geomorphology,* 100(1-2), 91-103.

Fenta, A. A., Tsunekawa, A., Haregeweyn, N., Poesen, J., Tsubo, M., Borrelli, P., & Kurosaki, Y. (2020). Land susceptibility to water and wind erosion risks in the East Africa region. S*cience of the Total Environment*, 703, 135016.

Fryirs, K. (2013). (Dis) Connectivity in catchment sediment cascades: a fresh look at the sediment delivery problem. *Earth Surface Processes and Landforms,* 38(1), 30-46.

Garosi, Y., Sheklabadi, M., Conoscenti, C., Pourghasemi, H. R., & Van Oost, K. (2019). Assessing the performance of GIS-based machine learning models with different accuracy measures for determining susceptibility to gully erosion. *Science of the Total Environment*, 664, 1117-1132.

Gay, A., Cerdan, O., Mardhel, V., & Desmet, M. (2016). Application of an index of sediment connectivity in a lowland area. *Journal of Soils and Sediments,* 16, 280-293.

Gerami, Z., Arabkhedri, M., Karimi, A., & Asadi, H. (2022a). A review of the basics and application of sediment connectivity index in soil erosion studies. *Iran Water and Soil Research,* 53(9), 2191-2208 [In Persian]

Gerami, Z., Arabkhedri, M., Karimi, A., & Asadi, H. (2022b). An appropriate weighting factor for calculating sediment connectivity index in bare tilled soils. *Watershed Management Research Journal*, 35(3), 114-130 [In Persian]

Gonzalez-Ollauri, A., & Mickovski, S. B. (2017). Plant-soil reinforcement response under different soil hydrological regimes. *Geoderma*, 285, 141-150.

Hao, R., Huang, X., Cai, Z. W., Xiao, H. B., Wang, J., & Shi, Z. H. (2022). Incorporating sediment connectivity index into MUSLE model to explore soil erosion and sediment yield relationships at event scale. *Journal of Hydrology,* 614, 128579.

Heckmann, T., & Schwanghart, W. (2013). Geomorphic coupling and sediment connectivity in an alpine catchment—Exploring sediment cascades using graph theory. *Geomorphology,* 182, 89-103.

Heckmann, T., Cavalli, M. Cerdan, O. Foerster, S. Javaux, M. Lode, E. Smetanová, A. Vericat, D., & Brardinoni, F. (2018). Indices of sediment connectivity: opportunities, challenges and limitations. *Earth-Science Reviews,* 187, 77–108.

Hilo, M. A., Hosseini, S. A., Shrafati, A. (2022). Spatial pattern of sediment production using structural model of sediment connection in Taleghan watershed, Iran. *Protection of Water and Soil Resources,* 12(3), 51-64 [In Persian].

Jain, V., & Tandon, S. K. (2010). Conceptual assessment of (dis) connectivity and its application to the Ganga River dispersal system. *Geomorphology,* 118, 349-358.

Jing, Y., Zhao, Q., Lu, M., Wang, A., Yu, J., Liu, Y., & Ding, S. (2022). Effects of road and river networks on sediment connectivity in mountainous watersheds. *Science of the Total Environment,* 826, 154189.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.61882/jwmr.2024.1272]

Katebi Kord, A., Sadeghi, S. H. R., Singh, V. P. (2023). Effects of different methods for calculation of topographic factor on precision of storm-wise soil loss estimation. *JWMR*, 14(28), 1-13 [In Persian]

Kayhan-Panah, M., Najafinjad, A., Pourqasmi, H., & Mohammadian Behbahani, A. (2022). Comparison and evaluation of spatial changes of sediment connectivity and sediment delivery ratio in Marcheshme watershed (*Semnan province*). *Iran Soil and Water Research,* 53(11), 2655-2670 [In Persian]

Kiani-Harchegani, M., & Sadeghi, S. H. (2020). Practicing land degradation neutrality (LDN) approach in the Shazand Watershed, Iran. *Science of the Total Environment,* 698, 134319.

Keesstra, S. D., Kondrlova, E., Czajka, A., Seeger, M., & Maroulis, J. (2012). Assessing riparian zone impacts on water and sediment movement: a new approach. *Netherland Journal of Geosci,* 91(1–2), 245–255.

Keesstra, S. D., Nunes, J. P., Saco, P., Parsons, T., Poeppl, R., Masselink, R., & Cerdà, A. (2018). The way forward: Can connectivity be useful to design better measuring and modelling schemes for water and sediment dynamics?. *Science of the Total Environment*, 644, 1557-1572.

Keesstra, S. D., van Dam, O., Verstraeten, G., & van Huissteden, J. (2009). Changing sediment dynamics due to natural reforestation in the Dragonja catchment, SW Slovenia. *Catena,* 78, 60–71.

Kollongei., K. J., & Lorentz, S. A. (2014). Connectivity influences on nutrient and sediment migration in the Wartburg catchment, KwaZulu-Natal Province, South Africa. *Physics and Chemistry of the Earth,* 67, 12–22.

La Licata, M., Bosino, A., Bettoni, M., & Maerker, M. (2023). Assessing landscape features and geomorphic processes influencing sediment dynamics in a geomorphologically highly active Mediterranean agroecosystem: The upper Val d'Arda case study (Northern Apennines, Italy). *Geomorphology*, 433, 108724.

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., & Wamg, 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., Kramer, H., & Keesstra, S. D. (2021). Effectiveness of soil erosion barriers to reduce sediment connectivity at small basin scale in a fire-affected forest. *Journal of Environmental Management,* 278, 111510.

López-Vicente, M., Nadal-Romero, E., & Cammeraat, E. L. (2017). Hydrological connectivity does change over 70 years of abandonment and afforestation in the Spanish Pyrenees. *Land Degradation & Development,* 28(4), 1298-1310.

Mao, L., Cavalli, M., Comiti, F., Marchi, L., Lenzi, M. A., & Arattano, M. (2009). Sediment transfer processes in two Alpine catchments of contrasting morphological settings. *Journal of Hydrology,* 364(1-2), 88-98.

McCool, D. K., & Williams, J. D. (2008). Soil Erosion by Water. *Encyclopedia of Ecology*, 3284–3290.

Messenzehl, K., Hoffmann, T., & 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.

Mirchooli, F., Sadeghi, S. H. R., & Khaledi Darvishan, A. (2022). Comparative analysis of the effect of different algorithms for calculating the topographic factor on the amount and spatial distribution of soil erosion in the Shazand Watershed, Iran. *Watershed Engineering and Management*, 14(2), 232-242. [In persian]

Najafi, S., Dragovich, D., Heckmann, T., & Sadeghi, S. H. R. (2021). Sediment connectivity concepts and approaches. *Catena,* 196, 104880.

Najafi, S., Sadeghi, S. H. R., & Hackman, T. (2017). Temporal and spatial changes of sediment structural connection pattern in Tehamchai Zanjan watershed. *Journal of Water and Soil Protection Research,* 24(3), 131-147[In Persian]

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.

Persichillo, M. G., Bordoni, M., Meisina, C., Bartelletti, C., Barsanti, M., Giannecchini, R., D'Amato Avanzi, G., Galanti, Y., Cevasco, A., Brandolini, P., & Galve, J. P., (2017). Shallow landslides susceptibility assessment in different environments. *Geomatics, Natural Hazards and Risk,* 8, 748–771.

Poeppl, R. E., Fryirs, K. A., Tunnicliffem, J., & Brierley, G. J. (2020). Managing sediment (dis)connectivity in fluvial systems. *Science of the Total Environment*, 736, 139627.

Poesen, J. (2018). Soil erosion in the anthropocene: research needs. *Earth Surface Processes and Landforms*, 43, 64-84.

Sadeghi, S. H. R., Jafarpoor, A., Zabihi Silabi, M., Molashahi, S., Naghdi, M., Sharifi Moghani, M., Ghysoori, Z., & Farzadfar, E. (2021). Biologic Management Framework of Soil Erosion in the Watershed (Applied study: Oshnavieh Galazchai, West Azerbaijan, Iran). *Soil and Water Research*, 52(4), 997-1010 [In Persian].

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.61882/jwmr.2024.1272]

Sadeghi, S. H. R., Zabihi Silabi, M., & Vafakhah, M. (2024). Prioritization of the sub-watersheds based on the dynamic changes of the watershed using the game theory approach. *Advances in Space Research*, 73(12), 5822-5835.

Sadeghi, S. H. R., Zabihi Silabi, M., Katebi Kord, A., & Mostafazadeh, R. (2022). Soil Erosion dynamic on storm-basis due to land use correction in the high priority sub-watersheds of the Galazchai Watershed, West Azerbaijan, Iran. *Watershed Management Research*, 13(26), 21-33, [In Persian]

Sahour, H., Gholami, V., Vazifedan, M., & Saeedi, S. (2021). Machine learning applications for water-induced soil erosion modeling and mapping. *Soil and Tillage Research*, 211, 105032.

Sun, W., Mu, X., Gao, P., Zhao, G., Li, J., Zhang, Y., & Chiew, F. (2019). Landscape patches influencing hillslope erosion processes and flow hydrodynamics. *Geoderma*, 353, 391-400.

Wainwright, J., Turnbull, L., Ibrahim, T.G., Lexartza-Artza, I., Thornton, S. F., & Brazier, R. E. (2011). Linking environmental regimes, space and time: Interpretations of structural and functional connectivity. *Geomorphology*, 126(3-4), 387-404.

Wang, C., & Zhang, G. (2022). Spatial variation in sediment connectivity of small watershed along a regional transect on the loess plateau. *Catena,* 217, 106473.

Wang, H., & Zhang, G. H. (2021). Temporal variation in soil erodibility indices for five typical land use types on the Loess Plateau of China. *Geoderma*, 381, 114695.

Wang, H., Zhang, G. H., Li, N. N., Zhang, B. J., & Yang, H. Y. (2019). Variation in soil erodibility under five typical land uses in a small watershed on the Loess Plateau, China. *Catena*, 174, 24-35.

Ward, P. J., van Balen, R. T., Verstraeten, G., Renssen, H., & Vandenberghe, J. (2009). The impact of land use and climate change on late Holocene and future suspended sediment yield of the Meuse catchment. *Geomorphology,* 103, 389–400.

Wohl, E., Brierley, G., Cadol, D., Coulthard, T. J., Covino, T., Fryirs, K. A., & Meitzen, K. M. (2019). Connectivity as an emergent property of geomorphic systems. *Earth Surface Processes and Landforms,* 44(1), 4-26.

Yan, X., Jiao, J., Jiang, X., Xu, Q., Li, M., Zhang, Z., & Yang, L. (2024). Rainfall characteristics of sediment connectivity activation from plot to watershed scales on the Loess Plateau. *Catena,* 235, 107654.

Zanandrea, F., Michel, G. P., & Kobiyama, M. (2020). Impedance influence on the index of sediment connectivity in a forested mountainous catchment. *Geomorphology,* 351, 106962.

Zhang, Y., Huang, C., Zhang, W., Chen, J., & Wang, L. (2021). The concept, approach, and future research of hydrological connectivity and its assessment at multiscales. *Environmental Science and Pollution Research,* 28, 52724–52743.

Zhao, G., Gao, P., Tian, P., Sun, W., Hu, J., & Mu, X. (2020). Assessing sediment connectivity and soil erosion by water in a representative catchment on the Loess Plateau, China. *Catena*, 185, 104284.

Zingaro, M., Refice, A., Giachetta, E., D'Addabbo, A., Lovergine, F., De Pasquale, V., & Capolongo, D. (2019). Sediment mobility and connectivity in a catchment: A new mapping approach. *Science of the Total Environment,* 672, 763-77.

Zoratipour, A., & Hydari, K. (2022). Monitoring of sediment cell changes in rivers, using basin structural connectivity index (Case study: AbolAbbas Basin in Khuzestan). *Iranian Journal of Soil and Water Research,* 53(6), 1213-1226.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.61882/jwmr.2024.1272]