



## Monitoring of sediment cell changes in rivers, using basin structural connectivity index (Case study: AbolAbbas Basin in Khuzestan)

Amin Zoratipour<sup>✉1</sup>, Kohzad Heydari<sup>2</sup>

1. Corresponding Author, Department of Nature Engineering, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani. Iran. Email: [Zoratipour@asnrukh.ac.ir](mailto:Zoratipour@asnrukh.ac.ir)
2. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Golestan, Iran. Email: [kohzad93@gmail.com](mailto:kohzad93@gmail.com)

---

---

### Article Info

**Article type:** Research Article

**Article history:**

**Received:** March. 7, 2022

**Revised:** June. 25, 2022

**Accepted:** July. 6, 2022

**Published online:** Aug. 23, 2022

**Keywords:**

Field sediment connectivity index,  
Sediment connectivity,  
Sediment transport potential,  
Vegetation index.

---

---

### ABSTRACT

In general, comprehensive watershed management depends on achieving an eco-hydrological balance of watersheds and improving the livelihood of stakeholders. One of the main principles of watershed management measures is sediment management through soil protection operations using new techniques such as the Sediment connectivity index. Sediment connectivity is an emerging term in watersheds that are often used to describe the internal relationships between runoff and sediment sources in the upper parts to the outlet of the relevant watershed. The purpose of this study was to monitor the spatial changes of sediment accurately, using structural Sediment connectivity index and analysis of sediment flow from upstream to the outlet in the basins, which was carried out in AbolAbbas watershed of Khuzestan during the summer period of years 2020-2021. The present study is based on the use of Borsley's proposed approach and cover land weighted layer. The results showed that the dimensionless index of sediment connection was estimated with a spatial accuracy of 30 m, ranging from -7.9 to 3.4 and obtained with an average of -5.50. The accuracy of the sediment connection index with determination coefficient of 0.56 has a good accuracy in monitoring the sediment transport potential from the upstream to the basin outlet. However, the results showed that the new method of sediment connectivity index in modeling sediment flow could be a pixel (cellular) tool to identify homogeneous areas in terms of distribution of sediment connection and make management decisions and programs.

---

---

Cite this article: Zoratipour, A., & Heydari, 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.

© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press.



DOI: <http://doi.org/10.22059/ijswr.2022.340158.669224>

---

---

## بررسی تغییرات سلولی رسوب با استفاده از شاخص اتصال ساختاری حوضه

## (مطالعه موردی: حوضه آبخیز ابوالعباس خوزستان)

امین ذرتی پور<sup>۱</sup>، کهزاد حیدری<sup>۲</sup><sup>۱</sup>. نویسنده مسئول، گروه مهندسی طبیعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاتانی، ایران. ایمیل: [Zoratipour@asnrukh.ac.ir](mailto:Zoratipour@asnrukh.ac.ir)<sup>۲</sup>. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گلستان، ایران. ایمیل: [kohzad93@gmail.com](mailto:kohzad93@gmail.com)

## چکیده

## اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۱۶

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۴/۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۴/۱۵

تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۶/۱

## واژه‌های کلیدی:

اتصال رسوب،  
شاخص اتصال رسوب میدانی،  
پتانسیل حمل رسوب،  
شاخص پوشش گیاهی.

به‌طور کلی مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز در گرو دستیابی به تعادل اکو هیدرولوژیکی آبخیزها و ارتقاء معیشت ذینفعان است. یکی از ارکان اصلی اقدامات آبخیزداری، مدیریت رسوب از طریق عملیات حفاظت خاک با بهره‌گیری از تکنیک‌های نوین نظیر اتصال رسوب است. اتصال رسوب اصطلاحی نوظهور در حوزه‌های آبخیز به شمار می‌رود که اغلب برای توصیف ارتباطات درونی بین رواناب و منابع رسوب در بخش‌های بالایی و خروجی آبخیز مربوطه استفاده می‌شود. هدف از این پژوهش پایش دقیق تغییرات مکانی رسوب، با استفاده از شاخص اتصال ساختاری و تحلیل جریان رسوب از بالادست تا خروجی در حوضه‌ها که در حوزه آبخیز ابوالعباس خوزستان در دوره زمانی ۱۳۹۹-۱۴۰۰ انجام گرفت. تحقیق حاضر بر پایه استفاده از رویکرد پیشنهادی بورسلی و نیز استفاده از لایه وزنی عامل پوشش گیاهی استوار است. نتایج نشان داد شاخص بی‌بعد اتصال رسوب با دقت مکانی ۳۰ متر، محدوده ۷/۹- تا ۳/۴ برآورد و با میانگین ۵/۵۰- به دست آمد. دقت شاخص اتصال رسوب با ضریب تبیین ۰/۵۶ دقت خوبی در پایش پتانسیل حمل رسوب از بالادست تا خروجی حوضه دارد. با این وجود نتایج تحقیق نشان داد که روش نوین شاخص اتصال رسوب در مدل‌سازی جریان رسوب می‌تواند به‌صورت پیکسلی (سلولی) ابزار مناسبی برای تشخیص مناطق همگن از نظر توزیع اتصال رسوب و نیز اتخاذ تصمیمات و برنامه‌های مدیریتی فراهم آورد.

استناد: ذرتی پور، امین؛ کهزاد حیدری، (۱۴۰۱). بررسی تغییرات سلولی رسوب با استفاده از شاخص اتصال ساختاری حوضه (مطالعه موردی: حوضه آبخیز ابوالعباس خوزستان).

مجله تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۳ (۶)، ۱۲۱۳-۱۲۲۶.

DOI: <http://doi.org/10.22059/ijswr.2022.340158.669224>

© نویسندگان.

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

## مقدمه

اتصال رسوب<sup>۱</sup> اصطلاحی نوظهور در حوزه‌های آبخیز است که برای توصیف ارتباط بین تغییرات رواناب و پهنه‌های رسوبی حوضه از بخش‌های بالایی به سمت خروجی آبخیز مربوطه استفاده می‌شود (Liu et al., 2022; Croke et al., 2005). اتصال رسوب به انتقال رسوب از یک بخش به بخش دیگر و پتانسیل جابجایی ذره رسوب در حوضه گفته می‌شود (Bracken et Arabkhedri et al., 2021; al., 2013). جابجایی و اتصال ممکن است دامنه‌ای، بین‌دامنه و آبراهه، و درون آبراهه‌ای باشد. در این رابطه، (Jarhani et al., 2015) نیز به دو نوع اتصال رسوب از طریق خندق‌ها و کانال‌های ایجادشده، و ارتباط آنها با جریان‌های دامنه‌ای به درون شبکه رودخانه‌ای، اشاره می‌کنند. البته این اتصال، هم از نظر مکانی و هم از نظر زمانی متفاوت است. جنبه‌های مکانی آن به فیزیوگرافی و تغییرات رقومی آبخیز مرتبط است. تحقیقات انجام‌شده توسط Arabkhedri et al., (2021) نشان داده است که تولید رسوب، انتقال و تحویل رسوب به پایین‌دست کانال‌های رودخانه نه تنها به فیزیوگرافی کلی آبخیز مرتبط است بلکه به جایگاه مکانی و اتصال درونی واحدهای فیزیوگرافی بستگی دارد. اثر هر مانع در برابر جریان آب و رسوب، بستگی به اندازه و موقعیت آن در آبخیز دارد (Fryirs et al., 2007). به طوری که، با افزایش اندازه آبخیز، دشت‌های سیلابی (که منابع اصلی رسوب به کانال‌ها هستند) جانشین دامنه‌ها می‌شوند. این قطعاً بر مقدار رسوب خارج‌شده از آبخیز اثر می‌گذارد (Upadhayay et al., 2020; Najafi et al., 2021). جنبه‌های زمانی نیز به عواملی از قبیل شدت و فراوانی بارش و رواناب و سیر تکامل زمانی مدیریت و کاربری اراضی و تغییرات فرایندهای انتقال رسوب مرتبط است. پوشش گیاهی نیز نقش بسیار مهمی در حرکت رسوب ایفا می‌کند چرا که علاوه بر افزایش نفوذپذیری بر زبری سطح و پتانسیل محلی ذخیره رسوب و آب نیز مؤثر است (Vigiak et al., 2012; Zanandrea et al., 2021). به دلیل این دو ویژگی مهم، پوشش گیاهی ارتباط بالادست و پایین‌دست را تحت تأثیر قرار می‌دهد. مناطق بدلند (هزاردره) و مناطقی که به شدت تخریب شده‌اند نسبت به اراضی کشاورزی و جنگلی از درجه بالاتری از ارتباط برخوردار هستند (Sidle et al., 2017). تأثیر پوشش گیاهی بر اتصال مؤثر رسوب، پدیده‌ای پویا در زمان و مکان است که از تغییر فصول، تغییرات شدید اقلیمی (مانند خشک‌سالی) و فعالیتهای مدیریتی و کاربری اراضی تأثیر می‌پذیرد.

محققان متعددی در گذشته این مفاهیم را به صورت کیفی مورد بحث قرار داده‌اند. از آنجاکه پایه و اساس شاخص اتصال<sup>۲</sup> تجزیه و تحلیل در محیط GIS است، (Borselli et al., 2008) به منظور بررسی دقیق تر آن، شاخص میدانی اتصال<sup>۳</sup> را معرفی کردند که در آن به صورت میدانی با استفاده از جدولی اقدام به امتیازدهی سریع برخی از متغیرهای شاخص‌های اتصال می‌شود. (Vigiak et al., 2012) با استفاده از چهار سنجه<sup>۴</sup> زمان پیمایش، ظرفیت انتقال رسوب، شاخص اتصال و زمان بقای رسوب به بررسی تغییرات مکانی نسبت تحویل رسوب دامنه‌ای پرداختند. نتایج نشان داد که از نظر تغییرات نسبت تحویل رسوب، نقش توپوگرافی ملموس تر شده و مناطق مسطح با مشارکت رسوبی صفر و مناطق شیب‌دار با بیشترین مشارکت مشخص شدند. (Cavalli et al., 2013) ضمن اصلاح شاخص ارائه‌شده توسط (Borselli et al., 2008)، از زبری سطحی توپوگرافیکی حاصل از تصاویر لیدار<sup>۵</sup> (با قدرت تفکیک مکانی ۵×۵ متر) به عنوان عامل وزنی در شاخص اتصال استفاده کردند. نتایج آن‌ها بیان‌کننده عملکرد مناسب شاخص اتصال در تجزیه و تحلیل‌های ژئومورفومتریکی برپایه شواهد میدانی است. آن‌ها همچنین بر اساس نتایج به دست آمده پیشنهاد کردند که این روش می‌تواند در تعیین توزیع اتصال رسوبی و تقسیم حوضه به مناطق همگن بسیار مفید باشد. (Parsamehr et al., 2014) در تحقیقی میزان رسوب‌دهی ۱۱ زیر حوضه آبخیز شوردره استان گلستان عمدتاً متشکل از سازند لسی را با استفاده از مدل‌های تجربی PSIAC و MPSIAC برآورد کردند. آن‌ها از میزان رسوب‌دهی اندازه‌گیری شده پشت بندهای خروجی هر زیرحوضه به منظور واسنجی نتایج استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که مدل‌های تجربی مورد مطالعه برآورد بسیار کمتری از میزان واقعی به دست می‌دهند. همچنین بررسی میزان رسوب اندازه‌گیری شده نشان می‌دهد که به رغم مشابه بودن شرایط فیزیوگرافی، زمین‌شناسی، خاکشناسی، تا حدی اقلیم منطقه مورد مطالعه، بین رسوب‌دهی ویژه زیرحوضه‌ها اختلافی در حدود ۱۱ برابر وجود دارد. لذا لازم است این تفاوت در رسوب‌دهی زیرحوضه‌های با شرایط نسبتاً یکسان با مدل‌های توزیعی با قابلیت تشخیص مناطق ترسیب مثل شاخص اتصال رسوب بررسی شوند. به رغم توسعه و پیشرفت مفهوم اتصال رسوب در مجامع علمی بین‌المللی

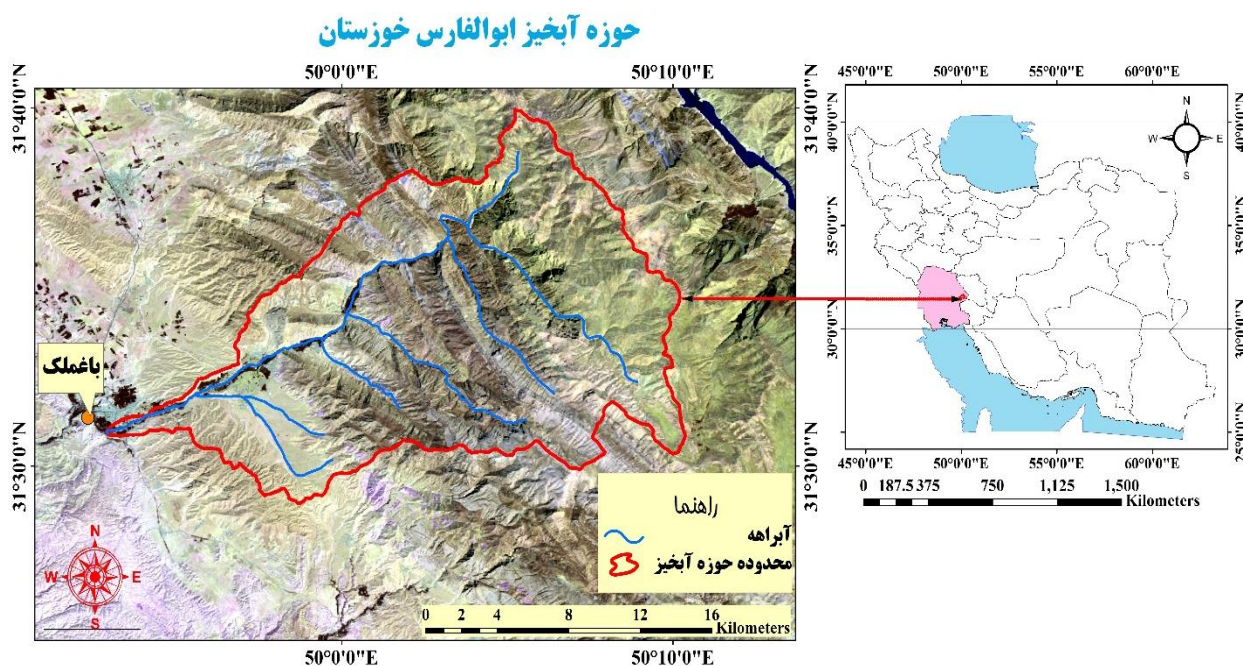
<sup>۱</sup> Sediment connectivity<sup>۲</sup> Index of Connectivity<sup>۳</sup> Field Index of Connectivity<sup>۴</sup> Metric<sup>۵</sup> LiDAR

در سالیان اخیر، در داخل کشور همچنان خیلی موردتوجه قرار نگرفته است. (Najafi et al., 2018) در تحقیقی به بررسی تغییرات زمانی و مکانی اتصال رسوب آبخیز تهمچای استان زنجان پرداختند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که امکان شناسایی مناطق همگن از نظر میزان احتمال انتقال رسوب در سرتاسر حوزه آبخیز وجود دارد. (Najafi et al., 2017) در تحقیقی دیگر اقدام به بررسی تحلیل الگوی اتصال ساختاری اتصال رسوب در آبخیزی در استان زنجان نمودند. آن‌ها جهت محاسبه شاخص اتصال از لایه‌های رقمی ارتفاعی، عامل پوشش گیاهی و بازدیدهای میدانی استفاده کردند. نتایج شاخص اتصال ساختاری محاسبه شده با بازدیدهای میدانی نشان از تطابق قابل قبول بین این دو بود که خود نشان از کارایی بالای این مدل دارد. (Arabkhedri et al., 2021) به بررسی رابطه بین رسوب‌دهی و شاخص اتصال رسوب در آبخیزهای کوچک و با پتانسیل رسوب مشابه پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که بین رسوب‌دهی خروجی آبخیزها و شاخص اتصال تطابق قابل قبولی ( $R=0.84$ ) وجود دارد. یکی از اجزای اصلی اقدامات آبخیزداری، مدیریت رسوب از طریق عملیات حفاظت خاک است. لذا برای رسیدن به این هدف و نیز تمرکز صحیح هزینه‌کردها و صرفه‌جویی در وقت، درک کافی از منشأ رسوب، مناطق رسوب‌گیر و الگوی حرکت رسوب در سطح آبخیزها از الزامات مدیریتی به حساب می‌آید. در نهایت این مطالعه با هدف تعیین و پایش پهنه‌های رسوبی حوضه با استفاده از شاخص اتصال رسوب حوضه در حوزه آبخیز ابوالعباس خوزستان انجام گرفت. آبخیز ابوالعباس از جمله حوضه‌های کوهستانی و مرتفع خوزستان به شمار می‌رود که بیشتر سطح آن از درختان جنگلی زاگرس پوشیده شده و دارای جریان آب رودخانه دائمی است. با توجه به وجود شهر بزرگ باغملک در خروجی آبخیز و نیز ثبت سیلاب‌های مختلف در سالیان اخیر تمرکز تحقیقاتی و مدیریتی زیادی بر روی این آبخیز به وجود آمده است. بنابراین پژوهش حاضر با هدف معرفی شاخص اتصال رسوب سپس قابلیت کاربرد این شاخص و در نهایت مقایسه با مدل شاخص اتصال رسوب میدانی (FIC)، انجام شده است.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد بررسی

حوزه آبخیز ابوالعباس استان خوزستان یکی از زیرحوضه‌های کوهستانی است که دارای مساحت ۲۸۱۲۳ هکتار و محیط ۹۲/۹ کیلومتر است که از نظر ابعاد در محدوده آبخیزهای متوسط مقیاس قرار می‌گیرد. آبخیز ابوالعباس در محدوده جغرافیایی  $31^{\circ} 53'$  تا  $31^{\circ} 06'$  طول شرقی و  $45^{\circ} 41'$  تا  $45^{\circ} 31'$  عرض شمالی به شکلی قرار گرفته که خروجی حوزه در محدوده شهر باغملک واقع شده است (شکل ۱). حوزه آبخیز مورد مطالعه با متوسط بارندگی سالیانه ۵۶۱ تا ۶۰۵ میلی‌متر، از زیرحوضه‌های آبریز جراحی-زهره است (ZoratiPour and Cheragi, 2020).



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی حوزه آبخیز ابوالعباس در استان خوزستان

### جمع‌آوری اطلاعات و نقشه‌های موجود

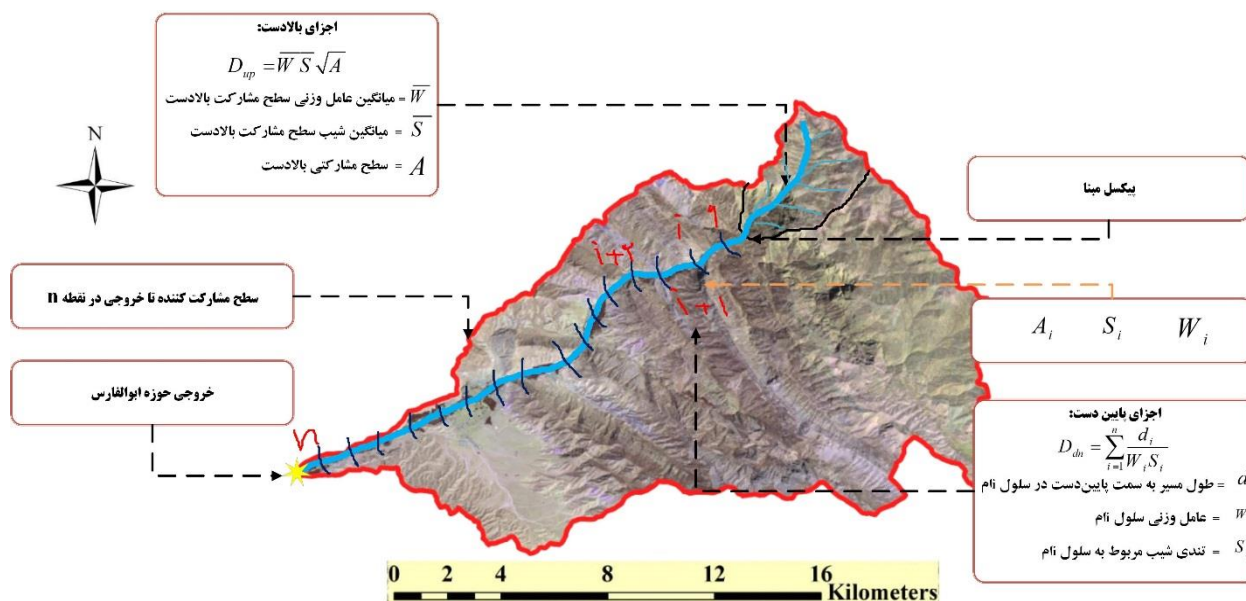
لایه‌های اطلاعاتی کاربری زمین، کاربری اراضی، سازندهای زمین‌شناسی از اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان و نیز مرکز تحقیقات جهاد کشاورزی و منابع طبیعی استان خوزستان تهیه شد. نقشه DEM ۱ حوزه با دقت ۳۰ متر از تصاویر ASTER استخراج شد. نقشه عامل پوشش گیاهی از طریق که از جمله مهم‌ترین عوامل در حرکت رسوب به حساب می‌آید از طریق استفاده از تصاویر ماهواره‌ای Landsat 8 مورخ ۲۴ شهریور ۱۴۰۰ از طریق رابطه ۲ تهیه شد.

### تئوری مدل شاخص اتصال

رویکرد مورد استفاده جهت محاسبه شاخص اتصال رسوب در این تحقیق برپایه فاصله از مخزن رسوب که خروجی حوزه ابوالعباس است و نیز خصوصیات آبراهه‌ها و نیز جریان تجمعی رواناب مطابق با روش کار Borselli et al., (2008) مورد توجه قرار گرفته است. در این تحقیق جهت تهیه نقشه شیب، جهت جریان و نیز جریان تجمعی جزء بالادست مسیر شروع جریان رسوب و نیز اجزاء پایین دست اتصال رسوب از لایه‌های DEM با مقیاس ۱:۳۰۰۰۰ و نیز پیکسل‌های با ابعاد ۹۰۰ مترمربعی استفاده شد. سپس برای تعیین شاخص اتصال از رابطه ۱ استفاده شد (Borselli et al., 2008). اجرای مدل شاخص اتصال مطابق با پیش فرض‌هایی در رابطه با انتقال رسوب به حالت‌های مختلفی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Lisenby et al., 2020; Keesstra et al., 2019). جزئیات مراحل کار تهیه نقشه و محاسبه شاخص اتصال آبخیز ابوالعباس در رابطه ۱ و نیز شکل ۲ نشان داده شده است.

$$IC_k = \log_{10} \left( \frac{D_{up,k}}{D_{dn,k}} \right) = \log \left( \frac{\bar{W}_k \bar{S}_k \sqrt{A}}{\sum_{i=k}^n \frac{d_i}{W_i S_i}} \right) \quad \text{رابطه ۱}$$

و Dup و Ddn به ترتیب جزء پایین دست و بالادست این مدل است و اندیس k بیانگر آن است که هر پیکسل مقدار مشخص IC خود را دارد. عوامل Dup به شرح ذیل می‌باشند:  $\bar{W}$  میانگین عامل وزنی سطح مشارکت بالادست (بدون بعد)؛  $\bar{S}$  میانگین شیب سطح مشارکت بالادست (متر بر متر)؛ A سطح مشارکتی بالادست (مترمربع). همچنین اجزای Ddn شامل:  $d_i$  طول مسیر به سمت پایین دست در سلول نام نقشه شبکه‌ای مورد استفاده (به متر)؛  $W_i$  عامل وزنی سلول نام؛  $S_i$  تندی شیب مربوط به سلول نام و k بیانگر شاخص اتصال محاسبه شده مخصوص به هر سلول است (رابطه ۱).  
جزئیات مراحل کار تهیه نقشه و محاسبه شاخص اتصال زیرحوضه‌ها در شکل ۱ نشان داده شده است.





## شکل ۲: گرافیک جریانی اجزاء مختلف محاسباتی شاخص اتصال رسوب در آبخیز ابوالعباس استان خوزستان

برای تهیه داده‌های مورد نیاز محاسبه Dup و Ddn در رابطه ۱، به دو نقشه توپوگرافی و پوشش گیاهی نیاز است که طرز تهیه آن‌ها در بالا ذکر شد. قبل از استفاده از نقشه مدل رقومی ارتفاعی به منظور نزدیک شدن به واقعیت هیدرولوژیکی اصلاح پیش‌پردازش تصاویر صورت می‌گیرد (Arabkhedri et al., 2021). این اقدام به دلیل آن است که در برخی از مناطق جریان شبکه زهکشی به دلیل خطاهای DEM گم می‌شود و لذا از دستور Sink filling برای رفع این مشکل استفاده می‌شود. در این مدل شبیه‌سازی اثرات مقاومت محلی به رواناب و انتقال رسوب ناشی از عواملی مثل پوشش گیاهی و زبری سطحی با استفاده از عامل وزنی W ملحوظ می‌شود. در این مطالعه بر اساس پیشنهاد Borselli et al., (2008) و Arabkhedri et al., (2021) عامل پوشش گیاهی (C) مربوط به معادله جهانی فرسایش خاک معادل متغیر W استفاده خواهد شد. عامل پوشش گیاهی با استفاده از شاخص NDVI مستخرج از تصاویر ماهواره‌ای Landsat8 که خصوصیات آن در جدول ۱ بیان شده، (مطابق رابطه ۲) محاسبه می‌شود (Arabkhedri et al., 2021). در مقدار حداکثر، پوششی وجود ندارد و خاک کاملاً در معرض خطر فرسایش قرار دارد. در مقدار حداقل (صفر) پوشش گیاهی در بهترین وضعیت قرار دارد و خاک کاملاً محافظت شود (Borselli et al., 2008; Whishmeier and Smith., 1978; Renard et al., 1997).

$$C = (1 - NDVI) / 2 \quad (\text{رابطه ۲})$$

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

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

جدول ۱. مشخصات تصویر ماهواره‌ای مورد استفاده برای تعیین شاخص NDVI

نام ماهواره	قدرت تفکیک مکانی	تاریخ ثبت	سنجنده
Landsat 8	۳۰ متر	۲۴ شهریور ۱۴۰۰	OLI_TIRS

## مدل شاخص اتصال رسوب میدانی (FIC)

در نهایت به منظور ارزیابی نتایج خروجی مدل IC و نیز شناسایی وضعیت رخساره‌های فرسایشی و رسوب حوزه، نتایج با مشاهدات میدانی در نقاطی از سطح حوزه مطابق با نقشه‌های توپوگرافی، شیب، جهت شیب، شماره منحنی (CN)، شاخص پوشش گیاهی و کاربری اراضی حوزه مورد مقایسه قرار گرفت (شکل ۳).

بدین منظور تعداد ۴۲ نقطه به صورت تصادفی از سطح حوزه در نظر گرفته شد (شکل ۴) پس از آن نقاط بازدید میدانی صورت گرفته و وضعیت رسوب‌دهی در آن نقاط مطابق با شاخص‌ها و معیارهای مدل شاخص اتصال رسوب (جدول ۲) میدانی (FIC) مورد ارزیابی قرار گرفت (Borselli et al., 2008).

انتخاب نقاط به شکلی صورت گرفت که نماینده‌ای از سه عرصه با اتصال بالا، متوسط و کم در بین نقاط وجود داشته باشد. نقشه نقاط مورد مطالعه میدانی در شکل ۴ نشان داده شده است. در نهایت نتایج مدل شاخص اتصال رسوب میدانی (FIC) با نتایج شاخص اتصال رسوب IC مقایسه شده و اعتبار نتایج حاصل از آن حاصل شد.

جدول ۲: جدول امتیازبندی شاخص اتصال میدانی مورد بررسی جهت برآورد شاخص اتصال رسوب آبخیز ابوالعباس (Borselli et al., 2008)

امتیاز	محدوده	عوامل جزء بالادست در شاخص اتصال
۰	$N < 0.1$	۱: سطح مشارکت بالادست برحسب هکتار $(Nu)$
۱۵	$0.1 < N < 0.5$	
۳۰	$0.5 < N < 1$	
۴۵	$1 < N < 2$	
۶۰	$2 < N$	
۰	رسوب گذاری بالا	۲: وجود شواهد رسوب گذاری در سطح مشارکت بالادست $(Mu)$ نکته: در صورت عدم مشاهده شواهد فرسایش نمره صفر لحاظ می شود.
۵	شواهد رسوب گذاری مشخص و بالا	
۱۰	شواهد رسوب گذاری پراکنده ولی بالا	
۱۵	شواهد رسوب گذاری کم	
۲۰	عدم وجود شواهد رسوب گذاری	
۰	$RR > 4$	۳: سطح خاک لخت $(Cu1)$ نکته: این شاخص با استفاده از متوسط زبری سطح بخش بالادست نقطه مورد بررسی، برآورد می شود.
۵	$2 < RR < 4$	
۱۰	$1 < RR < 2$	
۱۵	$0.3 < RR < 1$	
۲۰	$RR < 0.3$	
۰	$80 < VC < 100$	۴: مناطق جنگلی، زراعی، بوتهزارها و علفزارها $(Cu2)$ نکته: این شاخص به عنوان معرف پوشش گیاهی در سطح حوزه آبخیز و از طریق محاسبه میانگین درصد تاج پوشش به همراه درصد سطح پایه گیاه برآورد می شود.
۵	$60 < VC < 80$	
۱۰	$40 < VC < 60$	
۱۵	$20 < VC < 40$	
۲۰	$VC < 20$	

$$Su = Nu + Mu + WuCu1 + (1 - Wu) \times Cu2$$

سرجمع امتیازهای جزء بالادست شاخص اتصال رسوب  $(Su)$ :  
 $Wu$ : به قسمتی از خاک سطحی اطلاق می شود که هیچ گونه پوششی ندارد، امتیاز این بخش بین صفر تا یک است.

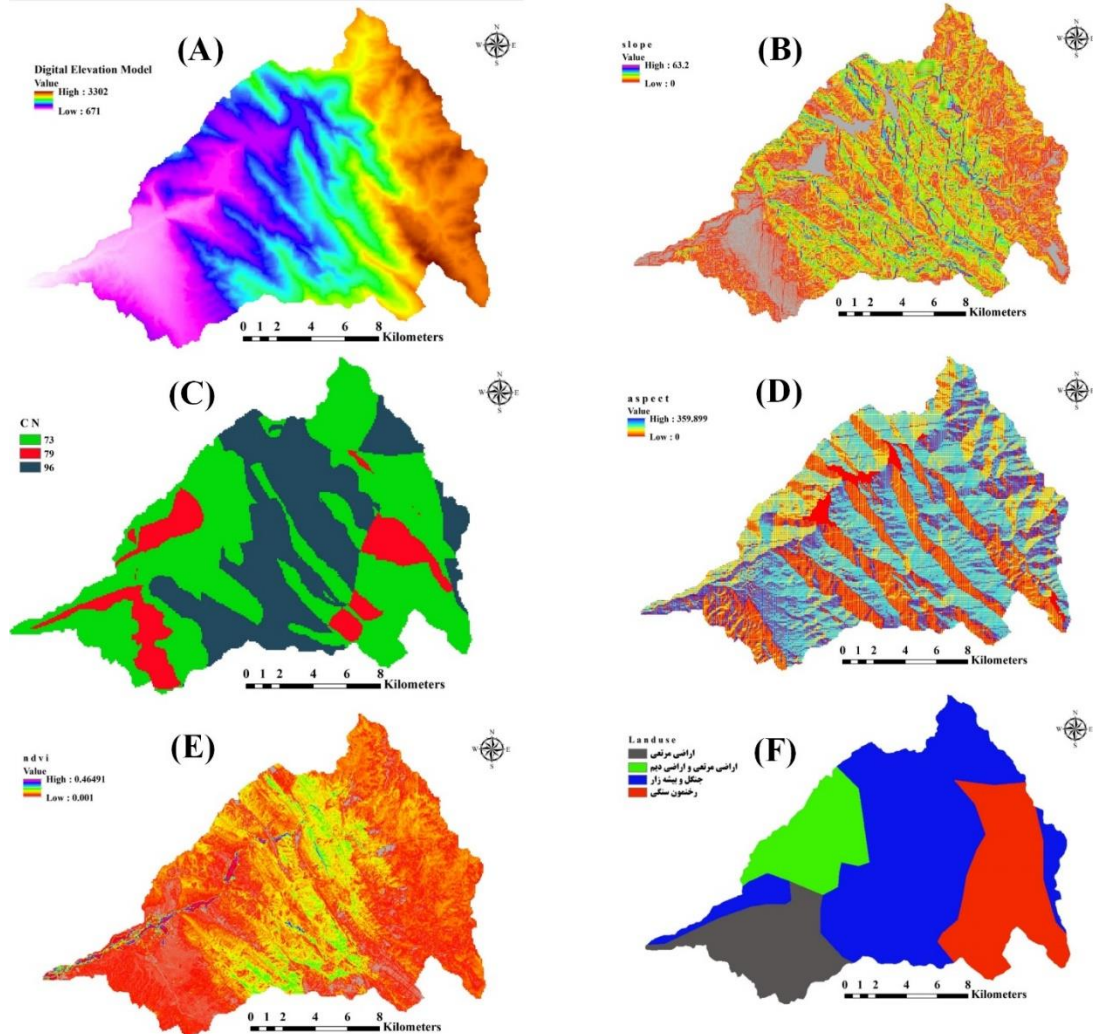
امتیاز	محدوده	عوامل جزء پایین دست در شاخص اتصال
۰	$Ad > 100$	۱: میزان فاصله از منبع رسوبی محلی $(Ad)$ برحسب متر
۵	$50 < Ad < 100$	
۱۰	$10 < Ad < 50$	
۱۵	$5 < Ad < 10$	
۲۰	$Ad < 5$	
۰	عرض نوارهای پوشش گیاهی بیش از ۴ متر و انبوه	۲: وجود نوارهای پوشش گیاهی در بخش انتهایی مسیر انتقال جریان رسوب $(Bd)$
۵	نوارهای پوشش گیاهی درهم تنیده و متراکم	
۱۰	نوارهای پوشش گیاهی منفصل و پراکنده	
۱۵	شواهد وجود نوارهای پوشش گیاهی ضعیف	
۲۰	فقدان هرگونه نوار پوشش گیاهی	
۰	شواهد رسوب گذاری زیاد	۳: وجود علائم رسوب گذاری در طول مسیر بخش پایین دست شاخص اتصال $(Cd)$ توضیح: در صورت نبود نشانه های فرسایش نمره این بخش صفر در نظر گرفته می شود.
۵	شواهد رسوب گذاری واضح تا زیاد	
۱۰	شواهد رسوب گذاری زیاد تا گسسته	
۱۵	شواهد رسوب گذاری کم	
۲۰	نبود هرگونه نشانه رسوب گذاری	
۰	$RR > 4$	۴: وضعیت سطحی خاک لخت $(Dd1)$ توضیح: این مؤلفه با استفاده از متوسط زبری سطح در امتداد مسیر بخش پایین دست شاخص اتصال مورد بررسی، برآورد می شود.
۵	$2 < RR < 4$	
۱۰	$1 < RR < 2$	
۱۵	$0.3 < RR < 1$	
۲۰	$RR < 0.3$	
۰	$80 < VC < 100$	۴: مناطق جنگلی، زراعی، بوتهزارها و علفزارها $(Dd2)$ نکته: این شاخص به عنوان معرف پوشش گیاهی در سطح مسیل های جریان و از طریق محاسبه میانگین درصد تاج پوشش بعلاوه درصد سطح پایه گیاه برآورد می شود.
۵	$60 < VC < 80$	
۱۰	$40 < VC < 60$	
۱۵	$20 < VC < 40$	
۲۰	$VC < 20$	

$$Sd = Ad + Bd + Cd + WdDd1 + (1 - Wd)Dd2$$

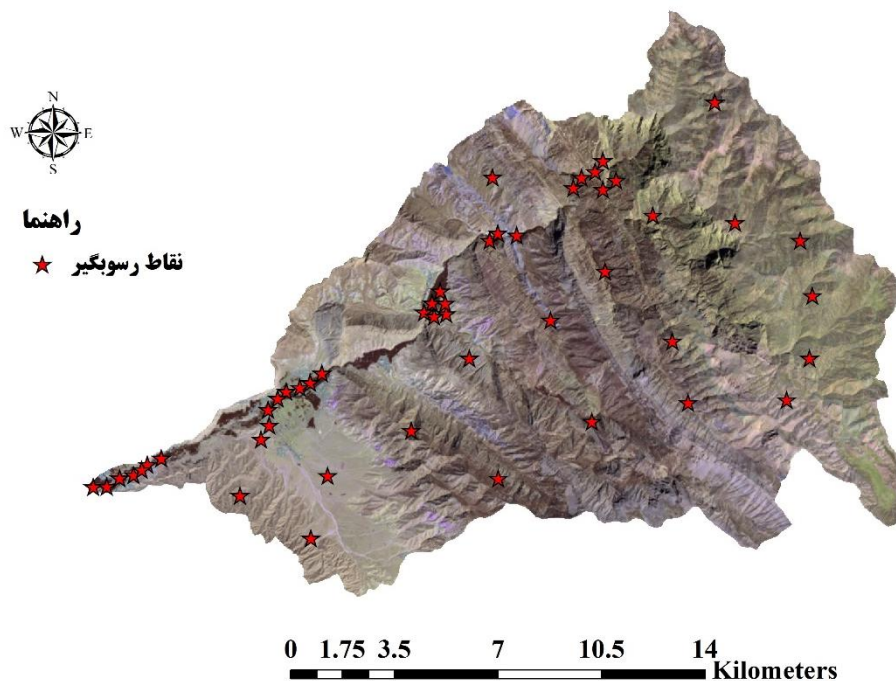
سرجمع امتیازهای جزء بالادست شاخص اتصال رسوب  $(Sd)$ :  
 $Wd$ : این مؤلفه مؤید بخشی از خاک سطحی است که هیچ پوشش گیاهی ندارد، دامنه این شاخص بین صفر تا یک است.

$$FIC = (Su + Sd) / 2$$

شاخص اتصال رسوب میدانی از رابطه زیر محاسبه می شود:



شکل ۳: نقشه عوامل مؤثر بر ترسیب رسوب: نقشه رقمی ارتفاعی (A)، میزان شیب (B)، نقشه شماره منحنی (C)، جهت شیب (D)، شاخص پوشش گیاهی (E)، کاربری اراضی (F)



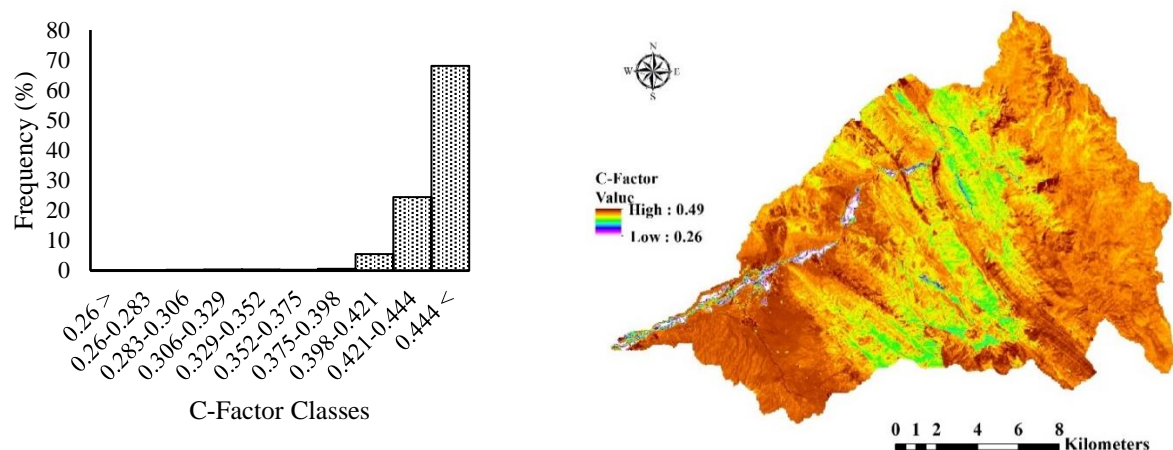
شکل ۴: مناطق مشاهداتی در آبخیز ابوالعباس



## نتایج

### نقشه عامل پوشش گیاهی و شیب:

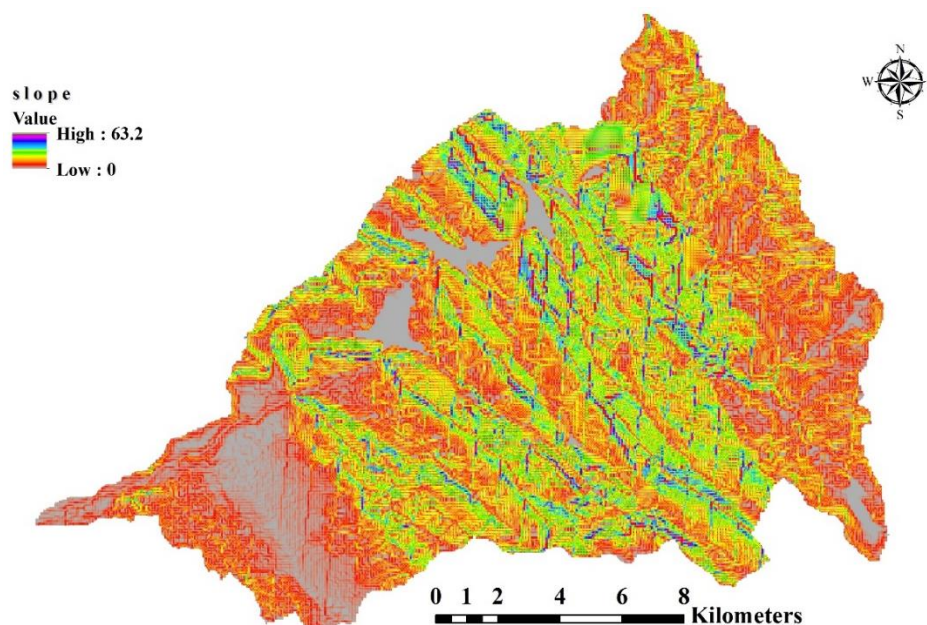
شکل ۵ پراکنش سطحی و درصد فراوانی طبقات مقادیر عامل پوشش گیاهی در سطح حوزه آبخیز ابوالعباس را برای تصویر ماهواره‌ای Landsat 8 نشان می‌دهد. کمترین عامل پوشش گیاهی ۰/۲۶ و بیشترین مقدار آن ۰/۴۹ است. عامل پوشش گیاهی حاصل از سنجند Landsat 8 نشان می‌دهد که کمترین مقدار آن برای طبقه ۰/۲۸۳ - ۰/۲۶ با درصد فراوانی ۱/۱۷ درصد (کمتر از یک هکتار از سطح کل آبخیز) و بیشترین مقدار برای طبقه ۰/۴۴۴ با درصد فراوانی ۶۸ درصد (بیش از ۱۹ هزار هکتار از سطح کل آبخیز) است.



شکل ۵: تغییرات مکانی و فراوانی مقادیر عامل پوشش گیاهی ماهواره Landsat 8 حوزه آبخیز ابوالعباس

میان عامل پوشش گیاهی به دست آمده از تصویر ماهواره‌ای Landsat 8 ۰/۴۵ به دست آمد. الگوی پراکنش پوشش گیاهی در حوزه مورد مطالعه نشان می‌دهد که بخش مرکزی به دلیل پوشش جنگلی رشته‌های زاگرس و نیز محدوده آبراهه اصلی به دلیل پوشش گیاهی آب‌دوست و نیز ارضی کشاورزی نزدیک آبراهه از پوشش مناسبی برخوردار هستند.

نقشه شیب حوزه آبخیز ابوالعباس در شکل ۶ نشان داده شده است. همان‌طور که در نقشه شیب مشاهده می‌شود به طور کلی حوزه ابوالعباس میانگین شیب ۴۷ درصد داشته و پراکنش پستی و بلندی‌های حوزه به شکلی است که بخش بسیار زیادی از حوزه کوهستانی و با شیب بالاست و بخش‌های میانی و خصوصاً بخش‌های نزدیک به آبراهه اصلی پهنه‌های با شیب کم هستند.



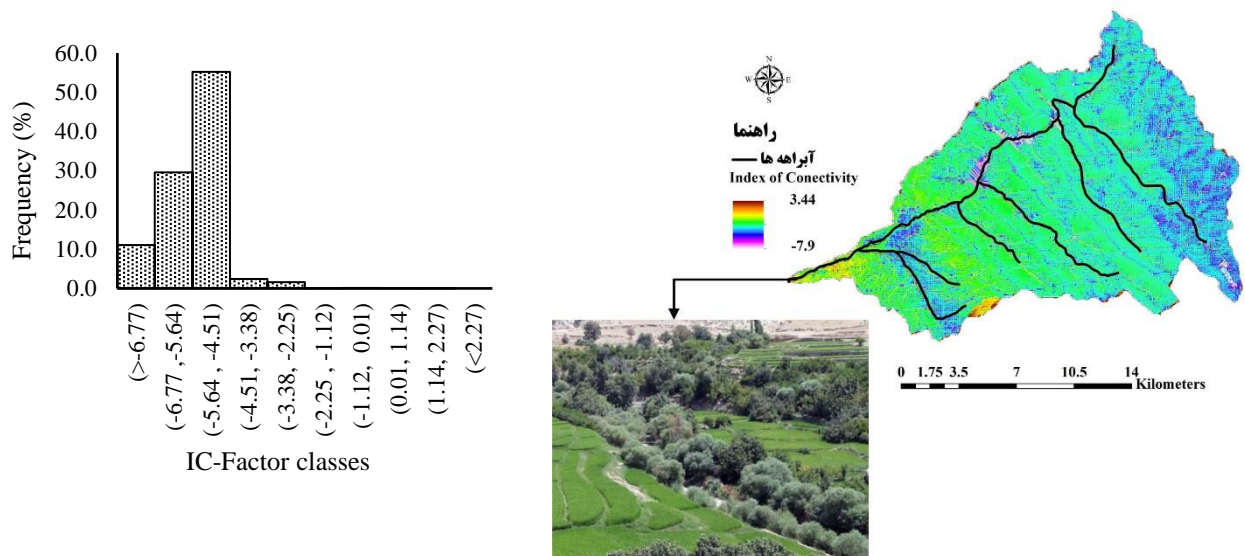
شکل ۶: نقشه شیب حوزه آبخیز ابوالعباس

### نقشه‌های شاخص اتصال رسوب

نقشه‌های شاخص اتصال رسوبی حوزه مورد مطالعه با دقت مکانی ۳۰ متر در شکل ۷ نشان داده شده است. در شاخص اتصال با دقت مکانی ۳۰ متر، محدوده عددی ۷/۹ - تا ۳/۴ به دست آمد. با وجود اینکه افزایش محدوده عددی شاخص اتصال نشان‌دهنده وجود پهنه‌هایی با بیشترین و کمترین احتمال انتقال رسوب است (Najafi *et al.*, 2018) اما قضاوت دقیق‌تر در این مورد بسته به میانگین شاخص اتصال رسوب و سطح تحت پوشش طبقات عددی مربوطه در زیرحوضه‌های مورد مطالعه است. بر همین اساس در جدول ۳ مقادیر میانگین شاخص اتصال به همراه پراکنش سطحی هر طبقه مشخص شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود میانگین شاخص اتصال در تصویر با قدرت مکانی ۳۰ متر مقدار ۵/۵۰- به دست آمده است. طبیعی است که تعیین میزان تأثیر تغییرات شاخص اتصال رسوب بر رفتار انتقال رسوب، محدوده مؤثر و تغییرات دارای اثر معنی‌داری (مثلاً یک واحد مثبت و یا یک واحد منفی در مقدار شاخص اتصال رسوبی) بر فرآیند انتقال رسوب، از اهداف کلیدی است که نیازمند مطالعات تفصیلی‌تری در زمینه مکانیسم و فرآیندهای تولید و انتقال رسوب است.

جدول ۳: سطح تحت پوشش مقادیر شاخص اتصال با دقت مکانی ۳۰ متر در حوزه آبخیز ابوالعباس، استان تهران

میانگین IC	( $> 8.15$ )	( $7.85 - 8.15$ )	( $7.55 - 7.85$ )	( $7.25 - 7.55$ )	( $6.95 - 7.25$ )	( $6.65 - 6.95$ )	( $6.35 - 6.65$ )	( $6.05 - 6.35$ )	( $5.75 - 6.05$ )	( $< 5.45$ )
درصد مساحت طبقات شاخص اتصال	۰	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰	۱/۶	۲/۴	۵۵/۲	۲۹/۶	۱۱

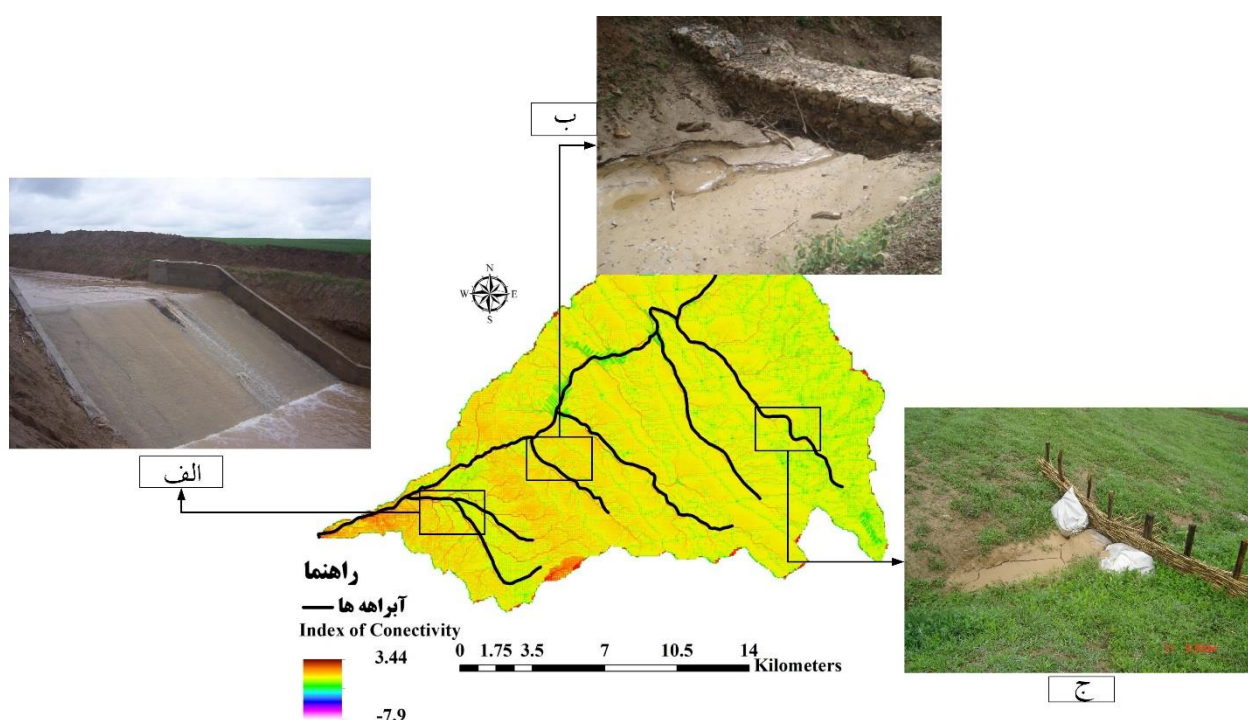


شکل ۷: نقشه توزیع مکانی و درصد فراوانی شاخص اتصال رسوب با دقت مکانی ۳۰ متر (۱) و ۱۰ متر (۲) در آبخیز ابوالعباس

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). بخش‌های آبراهه‌ای با توجه به شیب بالاتر (شکل ۶ و ۷) احتمال انتقال رسوب بالاتری دارند لذا انتظار بر این است که با حرکت به سمت خروجی زیرحوضه‌ها، تراکم رسوب بیشتر شود. اما احتمالاً با توجه به پوشش گیاهی مستقر در حریم آبراهه که از نوع چند ساله است پتانسیل انتقال رسوب کاهش پیدا کرده و موجب افزایش تله‌اندازی در این بخش خواهد شد. علاوه بر این، دو عامل مساحت و طول آبراهه نیز می‌توانند از پارامترهای مهم در این امر به شمار رود. این یافته‌ها با نتایج Bracken *et al.*, (2013) و Millares-Valenzuela *et al.*, (2022) همراستا است که در بررسی تغییرات شاخص اتصال رسوب عامل سطح حوزه و ضرایب شکل حوزه از عوامل مهم و اثرگذار برای این شاخص تشخیص داده‌اند. به عنوان مثال شکل ۸ الف، ب و ج مؤید این موضوع است که جریان رسوب در سرتاسر آبخیز و از آبراهه به آبراهه و دامنه به دامنه وجود دارد. اما هنگامی که نقطه‌ای به عنوان خروجی آبخیز مثلاً خروجی آبخیز ابوالعباس در نظر گرفته می‌شود، آن نقطه به عنوان یک مخزن رسوب در یک دوره کوتاه‌مدت در نظر گرفته می‌شود.

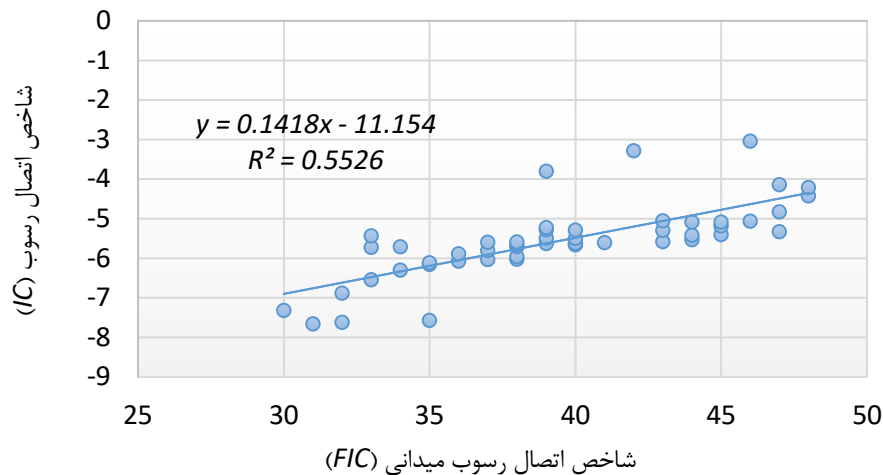
### آنالیز نتایج شاخص اتصال رسوب

پس از تعیین نقاط شاخص، ارزیابی این نقاط روی آبخیز صورت گرفت (شکل ۸). جهت نمایش این ارزیابی بخش‌هایی به صورت شاخص در شکل ۸ نمایش داده شده است. شکل ۸-الف نماینده نقاطی است که دارای اتصال کم هستند همچنین شکل ۸-ب نماینده نقاطی است که اتصال متوسط دارند و در نهایت شکل ۸-ج نماینده نقاطی هستند که اتصال زیاد دارند. همان‌طور که در شکل ۸-الف مشهود است، کمترین میزان اتصال مربوط به آبراهه اصلی و در نزدیکی ورودی به سد ابوالعباس مشاهده می‌شود. مشاهدات میدانی رسوب نیز حاکی از انباشت رسوب در این نقاط بوده و عمق رسوب در نقاطی تا بیش از یک متر نیز می‌رسد. همان‌طور که در شکل ۸-ب مشاهده می‌شود نقاط با اتصال متوسط بیشتر از دامنه‌های کم شیب و در آبراهه‌های فرعی منتهی به آبراهه اصلی مشاهده می‌شود. سپس وضعیت رسوب این نقاط با نقشه شاخص اتصال رسوب مقایسه و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نقشه نقاط مشاهداتی در شکل ۸ نشان داده شده است. مشاهدات میدانی و نیز نتایج حاصل از پیاده‌سازی مدل FIC در این نقاط نیز نتایج را تأیید می‌کند. البته باید توجه داشت که در اندک مطالعات صورت گرفته در این زمینه توسط پژوهشگران داخلی چون Arabkhedri et al., (2021) و Najafi et al., (2018) عمدتاً تمرکز بر بررسی تغییرات مکانی شاخص اتصال رسوب ساختاری بوده و این تغییرات با شواهد میدانی به صورت منسجم و با یک روش با چارچوب مشخص انطباق پیدا نکرده است ولی در این تحقیق سعی شد تا با استفاده از بازدهی‌های میدانی متعدد و نیز استفاده از روش پیشنهادی شاخص اتصال رسوب میدانی، نتایج مورد بررسی قرار گیرد. همچنین با توجه به افزایش تعداد سیلاب و نیز افزایش پتانسیل سطح سیل‌خیز حوزه ZoratiPour and Cheragi, (2020) مطالعه تغییرات زمانی شاخص اتصال رسوب در طول یک بازه زمانی مشخص می‌تواند تکمیل‌کننده مطالعه حاضر باشد.



شکل ۸: پایش میدانی نتایج شاخص اتصال رسوب در سه بخش رسوب زیاد (الف)، رسوب متوسط (ب) و رسوب کم (ج) در آبخیز ابوالعباس

نتایج برازش مقادیر شاخص اتصال رسوب IC با شاخص اتصال رسوب میدانی FIC در ۴۲ نقطه در شکل ۹ نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل ۹ مشخص است، رابطه بین این دو شاخص از نوع خطی بوده و ضریب تعیین ۰/۵۶ به دست آمد که نشان از دقت نسبتاً خوب نتایج حاصل از شاخص اتصال رسوب با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر است که با یافته‌های Zanandrea et al., (2021) و Kalantari et al., (2019) هم‌راستا است.



شکل ۹: نمودار پراکنش شاخص اتصال رسوب و شاخص اتصال رسوب میدانی حاصل از تصاویر Landsat8 آبخیز ابوالعباس

هر چند پراکنش نقاط در مواردی دچار بی‌نظمی شده اما روند کلی نتایج نشان می‌دهد که با افزایش میزان اتصال IC، میزان اتصال رسوب محاسباتی میدانی FIC نیز به صورت خطی افزایش پیدا کرده است که با یافته‌های Cavalli et al., (2013) هم‌راستا است. این نتایج با یافته‌های (Borselli et al., 2008), Cavalli et al., (2013), Arabkhedri et al., (2021) مطابقت دارد. با این وجود پرواضح است که ارزیابی دقیق نتایج مدل IC نیازمند پایش میدانی و برداشت نقاط بیشتر در سطح آبخیز است ( Arabkhedri et al., 2021; Cavalli et al., 2013).

## نتیجه‌گیری کلی

در این پژوهش ابتدا شاخص اتصال رسوب آبخیز ابوالعباس با تکیه بر اطلاعات DEM ۳۰ متری و شاخص وزنی NDVI حاصل از تصویر ماهواره‌ای Landsat (با دقت مکانی ۳۰ متر) تهیه شد. رابطه متوسط شاخص‌های IC30 با FIC در ۴۲ نقطه مشخص، اندازه‌گیری و تحلیل گردید. نتایج نشان داد که شاخص اتصال رسوب با دقت مکانی ۳۰ متر با ضریب تعیین  $R^2 = 0.56$  دقت نسبتاً خوبی در نشان دادن پتانسیل حمل رسوب به خروجی آبخیز برخوردار است. همچنین نتایج نشان داد که شیب و عامل پوشش گیاهی از پارامترهای بسیار مهم در رسوب‌دهی آبخیز ابوالعباس هستند که البته جهت بررسی اثر مساحت و طول آبراهه اصلی می‌توان نتایج شاخص اتصال رسوب را در سطح زیرحوضه و حتی دامنه مورد ارزیابی دقیق‌تر قرار داد. لحاظ کردن نقشه جهت جریان و جریان تجمعی در فرضیات این مدل با توجه به اهمیت این موارد در رسوب‌دهی هر زیرحوضه، از مزایای این مدل به حساب می‌آید. یکی دیگر از مزایای بسیار مهم این مدل نیاز داده‌ای کم آن است که می‌تواند مشکل پیچیده بودن و نیازهای داده‌ای فراوان مدل‌های فرسایش و رسوب موجود را تا حد زیادی کاهش دهد. همچنین با توجه به ظرفیت بالای این مدل می‌توان از مشتقات آن برای بررسی و تقسیم‌بندی نسبت تحویل رسوب در مقیاس دامنه و آبخیز استفاده کرد که می‌تواند زمینه‌های پژوهشی جدیدی برای محققان باشد. البته باید توجه داشت که در اندک مطالعات صورت گرفته در این زمینه توسط پژوهشگران تنها به بررسی کلی شاخص اتصال رسوب اکتفا شده است. لذا برای نتیجه‌گیری‌های مقایسه‌ای، انجام مطالعات بیشتر ضرورت دارد. یکی از اهداف اصلی این پژوهش در معرفی شاخص اتصال ایجاد چارچوب مفهومی واحدی جهت درک پیچیدگی‌ها و ناهمگنی‌ها رایج در مسائل فرسایش و رسوب است لذا نتایج این مطالعه در این فاز قابلیت تعمیم به آبخیزهای مشابه ندارد. از آنجا که تشخیص مناطق همگن از نظر توزیع اتصال رسوب در اتخاذ تصمیمات و برنامه‌های اصلاح و مدیریتی هدفمند در مورد تولید و انتقال رسوب با توجه به اولویت پهنه‌های مشخص شده و محدودیت‌های مالی و تجهیزاتی به‌ویژه در کشورهایی همچون ایران از اهمیت بسزایی برخوردار است، لذا شاخص اتصال رسوب می‌تواند کمک بزرگی در این راستا باشد.

## سپاس‌گزاری

این تحقیق حاصل از طرح پژوهشی با عنوان "بررسی رابطه شاخص اتصال رسوبی در آبخیز منجیق استان خوزستان" با شماره ۹۹۱/۳۶ مورخ ۱۴۰۰/۰۶/۳۱ است که دکتر امین ذرتی‌پور به عنوان مجری مسئول و دکتر کهزاد حیدری به عنوان مجری دوم طرح هستند. در آخر



نویسندگان این پژوهش بر خود واجب می‌دانند تا از سرکار خانم دکتر نوشین زندی سوهانی به عنوان معاونت پژوهشی و فناوری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان که بستر اجرا را فراهم نموده و نیز حمایت مالی آن دانشگاه در طی مراحل طرح، تقدیر و تشکر به عمل آورند.

"هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد"

## REFERENCES

- Ali, G., Oswald, C., Spence, C. and Wellen, C. (2018). The T-TEL method for assessing water, sediment, and chemical connectivity. *Water Resources Research*, 54(2), 634-662.
- Arabkhedri, M., Heidary, K., and Parsamehr, M. R. (2021). Relationship of sediment yield to connectivity index in small watersheds with similar erosion potentials. *Journal of Soils and Sediments*, 21(7), 2699-2708.
- Borselli, L., Cassi, P., and Torri, D. (2008). Prolegomena to sediment and flow connectivity in the landscape: a GIS and field numerical assessment. *Catena*, 75(3), 268-277.
- Bracken, L. J., Turnbull, L., Wainwright, J., and Bogaart, P. (2015). Sediment connectivity: a framework for understanding sediment transfer at multiple scales. *Earth Surface Processes and Landforms*, 40(2), 177-188.
- Cavalli, M., Trevisani, S., Comiti, F., and Marchi, L. (2013). Geomorphometric assessment of spatial sediment connectivity in small Alpine catchments. *Geomorphology*, 188, 31-41.
- 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.
- Heckmann, T. and Vericat, D. (2018). Computing spatially distributed sediment delivery ratios: inferring functional sediment connectivity from repeat high-resolution digital elevation models. *Earth Surface Processes and Landforms*, 43(7), 1547-1554.
- Jarihani, A. A., Callow, J. N., McVicar, T. R., Van Niel, T. G. and Larsen, J. R. (2015). Satellite-derived Digital Elevation Model (DEM) selection, preparation and correction for hydrodynamic modelling in large, low-gradient and data-sparse catchments. *Journal of Hydrology*, 524, 489-506.
- Kalantari, Z., Ferreira, C. S. S., Koutsouris, A. J., Ahlmer, A. K., Cerdà, A., and Destouni, G. (2019). Assessing flood probability for transportation infrastructure based on catchment characteristics, sediment connectivity and remotely sensed soil moisture. *Science of the total environment*, 661, 393-406.
- Keesstra, S. D., Davis, J., Masselink, R. H., Casali, J., Peeters, E. T., and Dijkma, R. (2019). Coupling hysteresis analysis with sediment and hydrological connectivity in three agricultural catchments in Navarre, Spain. *Journal of Soils and Sediments*, 19(3), 1598-1612.
- Lisenby, P. E., Fryirs, K. A. and 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.
- Lisenby, P. E., Fryirs, K. A., and 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., and Wang, Y. (2022) Evaluating sediment connectivity and its effects on sediment reduction in a catchment on the Loess Plateau, China. *Geoderma*, 408, 115566.
- Michaelides, K. and Chappell, A. (2009). Connectivity as a concept for characterising hydrological behaviour. *Hydrological Processes*, 23(3), 517-522.
- Millares-Valenzuela, A., Eekhout, J. P., Martínez-Salvador, A., García-Lorenzo, R., Pérez-Cutillas, P., and Conesa-García, C. (2022) Evaluation of sediment connectivity through physically-based erosion modeling of landscape factor at the event scale. *CATENA*, 213, 106165.
- Najafi, S., Dragovich, D., Heckmann, T., & Sadeghi, S. H. (2021). Sediment connectivity concepts and approaches. *Catena*, 196, 104880.
- Najafi, S., Sadeghi, S. and Heckmann, T. (2018). Analyzing structural sediment connectivity pattern in taham watershed, iran. *Watershed engineering and management*, 10(2), 192-203. (In Farsi)
- Najafi, S., Sadeghi, S. H., and Heckmann, T. (2017). Temporospatial variations of structural sediment connectivity patterns in Taham-Chi watershed in Zanjan province, Iran. *Journal of Soil and Water Conservation*, 24(3), 131-147. (In Farsi)
- Owens, P.N. (2020). Soil erosion and sediment dynamics in the Anthropocene: a review of human impacts during a period of rapid global environmental change. *Journal of Soils Sediments* 20, 4115-4143.





- Parsamehr, M. R., Eisaei, H., Abdoli, S. and Asiaei, M. (2014). Calibration of PSIAC & MPSIAC Empirical Models using Sediment Survey of Small Reservoirs in North-East Iran, Golestan Province. Soil Conservation and Watershed Management Research Institute. Iran. 70 P. (In Farsi)
- Renard, K. G. (1997). Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). *United States Government Printing*.
- Upadhayay, H. R., Lamichhane, S., Bajracharya, R. M., Cornelis, W., Collins, A. L., and Boeckx, P. (2020) Sensitivity of source apportionment predicted by a Bayesian tracer mixing model to the inclusion of a sediment connectivity index as an informative prior: illustration using the Kharka catchment (Nepal). *Science of the Total Environment*, 713, 136703.
- Van der Knijff, J. M., Jones, R. J. A. and Montanarella, L. (2000). Soil erosion risk: assessment in Europe.
- 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.
- Wang, C., Zhang, G., Zhu, P., Wang, Z., and Xing, S. (2022) Sediment connectivity of small watershed affected by gully development and vegetation restoration on the loess plateau. *Geoderma*, 410, 115663.
- Whishmeier, W.H. and Smith, D.D., 1978. Predicting Rainfall Erosion Losses—A Guide to Conservation Planning. U.S. department of Agriculture. 537
- Zanandrea, F., Michel, G. P., Kobiyama, M., Censi, G. and Abatti, B. H. (2021). Spatial-temporal assessment of water and sediment connectivity through a modified connectivity index in a subtropical mountainous catchment. *CATENA*, 204, 105380.
- ZoratiPour, A. and Cheragi, M. (2020) Combined Application of Multi-Criteria Decision Making Methods and Remote Sensing Systems for Flood Cellular Zoning of Abolabbas River Basin in Khuzestan Province. *Journal of Irrigation Sciences and Engineering (JISE)*. (In Farsi)