دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر
فصلنامه‌ی علمی فضای جغرافیایی

سال نوزدهم، شماره‌ی ۶۶
تابستان ۱۳۹۸، صفحات ۱۶۳-۱۳۹

*شهرام بهرامی[۱]
محمدعلی زنگنه اسدی[۲]
ابراهیم تقوی‌مقدم[۳]

ارزیابی تاثیر مورفومتری شبکه زهکشی بر نرخ رسوب و فرسایش حوضه‌های آبریز (نمونه موردی: ۱۵ حوضه در شمال‌شرق ایران)

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۵/۰۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۱/۰۸

چکیده

آگاهی از نرخ رسوب و فرسایش در حوضه‌های آبریز و عوامل موثر در آن از مهم‌ترین دغدغه‌ها و چالش‌های فراروی متخصصان علوم زمین به‌ویژه ژئومورفولوژیست‌هاست. پارامترهای مورفومتری شبکه زهکشی نقش بسیار تعیین کننده ای در نرخ رسوب حوضه‌ها دارد. در این تحقیق به منظور ارزیابی همبستگی شاخص‌های مورفومتری شبکه زهکشی در نرخ رسوب سالانه، از مدل رقومی ارتفاعی (DEM)، نقشه‌های توپوگرافی رقومی، نقشه‌های زمین‌شناسی و آمار و اطلاعات دبی و رسوب ۱۵ حوضه آبریز در شمال‌شرق کشور استفاده شد؛ و شاخص‌های ژئومورفومتری مانند تراکم زهکشی (Dd)، فرکانس زهکشی (FD)، بافت زهکشی (T)، تراکم گسل (Df) طول آبراهه‌ها (BL)، نسبت انشعابات (Rb)، تعداد ناهنجاری سلسله مراتبی (Ha)، شاخص ناهنجاری سلسله مراتبی (Δa)، تراکم ناهنجاری سلسله مراتبی (Ga)، زمان تمرکز (Tc) و واحدهای حساس به فرسایش (E) برای هر یک از حوضه‌ها در محیط نرم‌افزار Arc GIS 10.5 محاسبه شد. با استفاده از روش Ciccacci, et al (1987) نرخ رسوب سالانه هر یک حوضه‌ها برآورد شد. جهت اعتبار سنجی مدل از داده‌های رسوب سازمان آب منطقه‌ای استفاده و نرخ سالانه رسوب حوضه‌ها با منحنی سنجه

*۱- گروه ژئومورفولوژی دانشکده علوم زمین دانشگاه شهید بهشتی تهران. (نویسنده مسئول). E-mail: sh_Bahrami@sbu.ac
۲- گروه ژئومورفولوژی دانشکده جغرافیا و علوم محیطی دانشگاه حکیم سبزواری.
۳- دانش‌آموخته دکتری ژئومورفولوژی دانشکده جغرافیا و علوم محیطی دانشگاه حکیم سبزواری.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-30]

رسوب به‌دست آمد. سپس با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون در محیط نرم‌افزار SPSS 17، ارتباط شاخص‌های ذکر شده با نرخ رسوب سالانه بر حسب ton/km2 محاسبه شد. طبق بررسی‌های انجام شده: شاخص‌های Tc، A، E، Ha، BL، Δa به ترتیب با ۰/۲۷٤، ۰/۲۲٦، ۰/۱۱۸، ۰/۱۱۷ و ۰/۱۰۷ همبستگی ناچیزی با نرخ رسوب سالانه دارند و در سایر پارامترها نیز هیچ‌گونه ارتباط معناداری وجود ندارد. نتایج تحقیق نشان می‌دهد روش Ciccacci, et al (1987) روش مناسبی برای برآورد نرخ رسوب سالانه در حوضه‌های تحقیق نیست و عوامل دیگری مانند نرخ بارش سالانه، شدت بارش، وضعیت خاک و کاربری اراضی در نرخ رسوب سالیانه این حوضه‌ها تاثیر بیش‌تری دارند که حتما باید لحاظ شود.

کلید واژه‌ها: حوضه آبریز، رسوب معلق سالانه، مورفومتری، همبستگی.

مقدمه

حوضه آبریز واحدی است که یک استقلال و همگرایی در آن حاکم است و به‌عنوان بستر فرآیندهای درونی و بیرونی میدان کار بسیاری از محققان و دانشمندان علوم زمین می‌باشد (Chorly, 1969: 85). در این میان شبکه زهکشی به عنوان شریان‌های حیاتی حوضه‌ها باعث تغییر و تحولات عمده‌ای در مکانیسم حوضه‌ها می‌شوند. مهم‌ترین متغیرهای مورفومتریک حوضه آبریز عبارتند از متغیرهای مربوط به شکل حوضه از جمله: مساحت، محیط، گردواری و...، پارامتر های مربوط به شبکه زهکشی مانند طول آبراهه، تراکم زهکشی و ضریب انشعابات و پارامترهای مربوط به لیتولوژی و خطواره‌های زمین‌شناسی حوضه‌ها که تقریبا بر همه مولفه‌ها تأثیرگذارند و در نهایت دبی جریان و دبی رسوب و فرسایش خاک که به‌عنوان خروجی حوضه شناخته می‌شود. پارامترهای مورفومتری حوضه آبریز شاخص‌های بسیار مناسب برای تحلیل فرآیندهای ژئومورفولوژیکی هستند. مطالعات فرسایش و تولید رسوب از مهم‌ترین تحقیقاتی هستند که به‌منظور اجرای برنامه‌های حفاظتی آب‌وخاک، کاهش فرسایش، تغییر هیدرولیک جریان رودخانه‌ها و همچنین جلوگیری از کاهش گنجایش دریاچه سدهای مخزنی، توسط متخصصان علوم زمین و به‌خصوص ژئومورفولوژیست‌ها انجام می‌گیرد. با تشدید فرسایش در بالادست حوضه اغلب سدها قسمت اصلی خود در توانایی ذخیره آب خود را در طی ۲۵-۳۰ سال از دست می‌دهند (Rangzan et al., 2008: 123). اگر چه از دیدگاه زیست‌محیطی نمی‌توان از نقش رسوبات معلق در انتقال مواد غذایی، سموم و سایر آلاینده‌ها چشم‌پوشی کرد. با این حال مسئله فرسایش و رسوب در کشور ایران به عنوان یک معضل اساسی شناخته شده و تمامی سازمان‌های ذی‌ربط سعی در کاهش فرسایش و کنترل بار رسوبی رودخانه‌ها دارند. بررسی‌های انجام شده در کشور ما نشان می‌دهد که از سال (۱۳۳۰) تا (۱۳۷۸) فرسایش خاک رشدی حدود ٤٥٠ درصد داشته است که نشان‌دهنده‌ی یک فاجعه‌ی عظیم در سرزمین ماست (Ahmadi, 2007: 233). بار رسوبی عبارتند از کل رسوب خروجی از یک حوضه که مقدار آن در یک نقطه مرجع و در یک دوره زمانی خاص قابل اندازه‌گیری باشد (Vanoni, 1975: 27). در حالت کلی برآورد تولید

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-30]

رسوب کل (مجموع بار بستر و بار معلق) غیرممکن است (Hakimkhani & Arab Khedri, 2006: 223) از طرف دیگر در اکثر حوضه‌ها بار معلق قسمت عمده بار کل را تشکیل می‌دهد و بار بستر عمدتا از فرسایش رودخانه‌ای ناشی می‌شود بدین جهت تولید رسوب معلق در ارتباط نزدیک با فرسایش خاک قرار دارد (Vanoni,1975: 27).

در کشور ایران اندازه‌گیری بار معلق رودخانه‌ها بر اساس برنامه‌ای منظم از سال (۱۳۴۳) آغاز شده است به نحوی که تعداد ایستگاه‌های هیدرومتری در سال (۱۳۷۵) تعداد ۷۱۵ بوده که این رقم در سال (۱۳۸۵) به ۱۹۷۶ ایستگاه رسیده است (IWRMC, 2008: 8). بدیهی است که میزان رسوب رودخانه‌ها در مناطق خشک و نیمه‌خشک با توجه به ویژگی‌های فرسایشی حوضه‌های بالادست بسیار بالا است (Rangzan et al., 2008: 124). فرسایش خاک به پستی‌وبلندی، خاک، آب، پوشش گیاهی و هوا بستگی دارد، اما بار رسوبی به خصوصیات ژئومورفومتری حوضه، کاربری اراضی حوضه، شکل و تراکم شبکه زهکشی بستگی دارد (Walling, 1994: 40) از میان عوامل یاد شده عوامل هیدرومورفومتری حوضه آبریز از مهم‌ترین عواملی است که میزان بار رسوبی رودخانه را به‌شدت تحت تأثیر قرار می دهد (Montgomery, Brandon, 2002: 482). حوضه‌های آبریز شمال‌شرق کشور دارای اقلیم خشک و نیمه‌خشک هستند که دارای دبی رسوبی بالایی می‌باشند. با توجه به نیاز آبی دشت‌های پایین‌دست و ایجاد سازه‌های هیدرولیکی، بحث فرسایش و رسوب همواره یکی از دغدغه‌های مهندسان و متولیان مدیریت آب کشور بوده است. در این زمینه مطالعات گسترده‌ای در سراسر جهان انجام شده است.

مطالعات مربوط به ویژگی‌های کمی حوضه آبریز و تاثیر آن در فرآیندهای ژئومورفولوژیکی بیش‌تر بر موضوعاتی چون تکتونیک (Montgomery & Brandon, 2002, Keller, 1986, Hurtrez et al.,1999)، سیل‌خیزی (Alexander, 1972) (Gupta and Waymire, 1980, Harlin, 1984)، فرسایش رسوب (Strahler,1959, Harrison, 2000, Montgomery, 2002) استوار بوده است. Leopold & Langbein (1962) رابطه بین بارش موثر و محصول رسوبی را بررسی کرده است Leopold & Wolman (1957) در تحقیق دیگر رابطه شیب، دبی و فرم رودخانه را مورد بررسی قرار داده است. Suresh et al (2004) در تحقیقی با هدف اولویت‌بندی زیر حوضه‌های یک حوضه آبخیز، ویژگی‌های مورفومتری زیرحوضه‌ها را با توجه به نرخ رسوب آن‌ها مورد ارزیابی قرار داده است. بدین منظور زیر حوضه‌هایی، واجد آمار رسوب بلندمدت را انتخاب نموده سپس رابطه بین رسوب حوضه و ویژگی‌های مورفومتری حوضه را مشخص نموده است و به عنوان نتیجه، رابطه مساحت حوضه و نوع سازند حوضه را رابطه‌ای خطی و مثبت معرفی نموده است. Aksoy & Kavvas (2005) تک‌تک روش‌های مرسوم برآورد رسوب را به‌کار برده و ویژگی‌های مورفومتری حوضه آبریز و به‌طور اخص نقش ویژگی‌های دامنه و توپوگرافی حوضه‌ها در نرخ رسوب و فرسایش تعیین‌کننده می‌داند. Restrepo et al (2006) به بررسی عوامل کنترل‌کننده رسوب در حوضه زهکشی مگدونلا واقع در کلمبیا پرداخته و با استفاده از ویژگی‌های مورفومتری زیرحوضه‌ها، اقدام به اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها بر اساس میزان رسوب نموده است. DiBiase et al (2010) به ارزیابی نقش فرم چشم‌انداز در نرخ رسوب سالانه با استفاده از

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-30]

روش‌های مورفومتری و ^{10}Be[4] پرداخته‌اند. Zhang et al (2015) با ایجاد ارتباط بین مشخصات ژئومورفومتریک و میزان رسوب در فلات لویس چین پرداخته و با استفاده از روش PLSR عنوان نموده است که شکل حوضه و ضریب Relif تاثیر بسیار مهمی در نرخ رسوب سالانه حوضه دارد. Tuseta et al (2016) به بررسی عواملی چون بارش و رواناب و نقش آن‌ها در میزان رسوب در حوضه زهکشی سالاداه در کوه‌های آلپ پرداخته است و با بررسی ویژگی‌های کمی حوضه آبریز، نقش این دو عامل در افزایش نرخ رسوب سالانه بسیار موثر می‌داند.

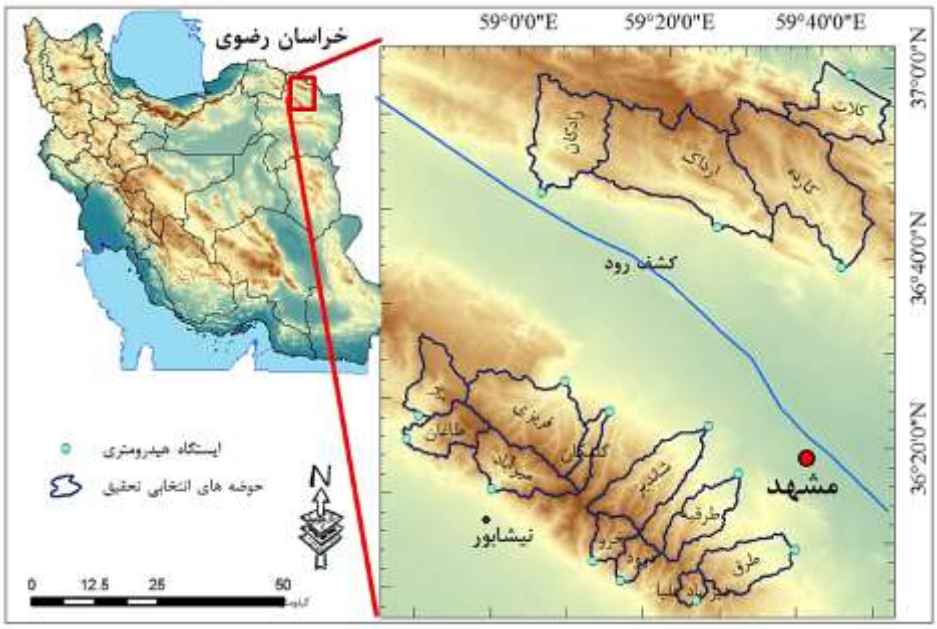
در ایران تاکنون مطالعه جامع و کاملی به‌جز مطالعات Hakimkhani & Arab Khedri (2006) در مورد نقش ویژگی‌های مورفومتری در نرخ رسوب معلق صورت نگرفته است. Onagh and Nahtani(2004) رابطه واحدهای ژئومورفولوژی و فرسایش و رسوب در حوضه آبخیز کاشیدار (گرگان رود) را مورد ارزیابی قرار داده و با استفاده از رخسارهٔ واحد ژئومورفولوژی و روش ام‌پسیاک، این رابطه را با رگرسیون ۰/۰٤ معنی‌دار اعلام نموده‌اند. Shariajafari and Ghyomiyan (2005) به بررسی رابطه رسوب حوضه با گسیختگی شیب و رانش زمین در حوضه طالقان مرکزی پرداخته و حوضه مزبور را به ۸ زیرحوضه تقسیم نموده و عامل حرکات توده‌ای را در افزایش رسوب‌زدایی حوضه کاملاً موثر معرفی کرده‌اند. Jokarsarhangi et al (2009) با استفاده از ویژگی‌های کمی حوضه‌های آبریز اقدام به مدل‌سازی سیلاب در حوضه‌های دامنه شمالی البرز نموده‌اند Bomeri et al (2011) با استفاده از ویژگی‌های کمی حوضه آبریز مانند مساحت و محیط، شکل، شیب و زمان تمرکز در پهنه‌های سیلابی در حوضه دامن را شناسایی نموده‌اند .Darabi et al (2016) با استفاده از پارامترهای مورفومتریک و به‌کار بردن روش تحلیل خوشه‌ای به طبقه‌بندی زیر حوضه‌های حوضه آبریز پل دوآب شازند پرداخته‌اند. Fathizad et al (2016) به بررسی نقش سازندهای زمین‌شناسی در فرسایش حوضه و بار رسوبی رودخانه دویرج استان لرستان پرداخته و با استفاده از معادله نسبت تحویل رسوب، مقدار فرسایش هر زیرحوضه را محاسبه نموده‌اند. هدف این مطالعه ارزیابی نقش عوامل ژئومورفومتری شبکه زهکشی در بار رسوبی رودخانه‌ها می‌باشد. جامعه آماری این مقاله ۱۵ حوضه آبخیز در شمال‌شرق کشور است با این شرط که دارای یک ایستگاه هیدرومتری (رسوب سنجی) در نقشه خروجی حوضه باشد و همچنین دارای آمار بلندمدت دبی و رسوب سالانه باشد.

معرفی منطقه مورد مطالعه

حوضه‌های مورد مطالعه در این تحقیق در چهارگوش مختصاتی عرض جغرافیایی '۵۵ °۳۵ تا '۱۲ °۳۷ و طول جغرافیایی '۰٦ °۵۹ و '۳۲ °۵۹ شامل حوضه‌های آبریز دیزباد علیا، درورود، خرو، میرآباد، طاغان، بار متعلق به حوضه آبریز دشت کویر و حوضه‌های فریزی، گلمکان، شاندیز، طرقبه، طرق، کارده، ارداک و رادکان متعلق به حوضه آبریز کشف رود و حوضه آبخیز کلات نیز متعلق به حوضه برون‌مرزی قره قورم می‌باشد (شکل ۱).

4- Cosmogenic erosion rates
5- Salada

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-30]

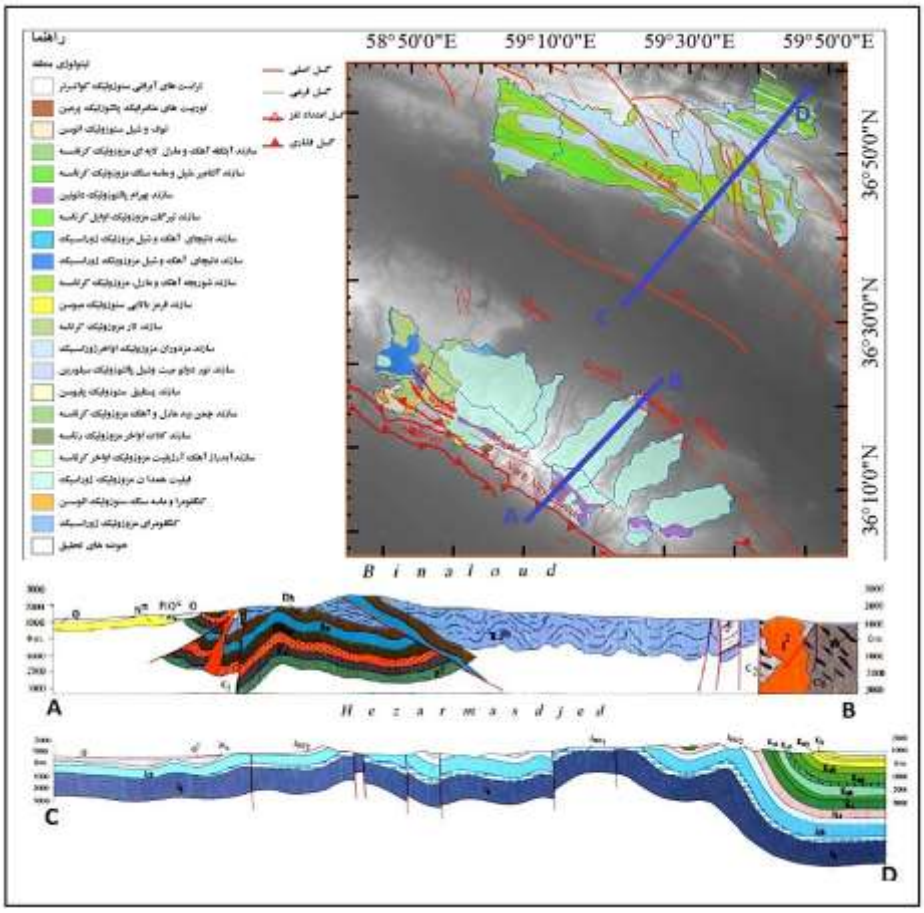


شکل ۱: موقعیت محدوده مورد مطالعه

Figure 1: Location of the studied area

طبق طبقه‌بندی آمبرژه و کوپن منطقه مورد مطالعه جزء اقلیم خشک و سرد و در قسمت‌های جنوبی منطقه، نیمه‌خشک و سرد می‌باشد. میانگین بارش در منطقه مورد مطالعه ۲۵۰-۴۰۰ میلی‌متر و میانگین دما ۱۵/۶ درجه است (IRIMO 2017) و فرآیند شکل‌زایی منطقه آب‌های جاری می‌باشد که تحت تاثیر توده‌های سرد شمالی قرار دارد که ذوب برف در ارتفاعات منطقه علاوه بر افزایش دبی رودخانه‌ها، تغذیه سفره آب زیرزمینی و بالتبع آن چشمه‌های پرآب کارستیک منطقه را سبب شده است (Alaei Taleghani, 2009: 242). حوضه‌های انتخاب شده در این تحقیق از دو زون ساختاری متفاوت کپه داغ و بینالود انتخاب شده است. حوضه ژئوسنکلینالی کپه داغ-هزارمسجد از لحاظ ساختاری مانند زاگرس تیپ ژورایی دارد و حوضه رسوبی-آذرین آلاداغ-بینالود در منتهی‌الیه البرز شرقی قرار دارد. چاله کشف رود در برگیرنده شهرهای مشهد، چناران و قوچان است و به صورت دشت پهناوری این حد انفصال این دو مجموعه ارتفاعی در منطقه است. مطابق شکل (۲) جهت گسل‌های دامنه جنوبی و شمالی بینالود شامل گسل بینالود، گسل شمال نیشابور، گسل آبقوی، بوژان، گسل آبقند- طرقبه، گسل گوراخک عموما شرقی و غربی هستند ولی در اثر حرکات همگرایی بلوک توران و مرکزی ایران، گسل‌های امتداد لغز کپه داغ شامل کلاته عرب‌ها، گسل اصلی کپه داغ و گسل قره‌داغ جهت شمالی-جنوبی دارند. مطالعات Shabanian, et al (2012) نشان می‌دهد در محل گسل اصلی راستگرد کپه‌داغ سالی ۴/۳ سانتی‌متر حرکت وجود دارد همچنین در محل گسل فشاری نیشابور در حدود ۱/۳ تا ۲/۵ سانتی‌متر در سال زیرراندگی وجود دارد.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-30]



شکل ۲: نقشه لیتولوژی منطقه منطبق بر رشته کوه هزار مسجد و بینالود و نیمرخ چینه‌شناسی حوضه‌های منتخب تحقیق

Figure 2: Lithology map of the area corresponding to the Hezarmasjed and Binalood mountains with stratigraphic profiles

حوضه‌های منتخب در دو رشته کوه به نام‌های هزارمسجد در شمال و بینالود در جنوب قرار گرفته‌اند که چاله ناودیسی کشف رود این دو توده را از هم جدا می‌کند. مرز شمالی منطقه منطبق بر گسل عشق‌آباد می‌باشد که این ارتفاعات را از دشت ترکمنستان جدا می‌کند. حوضه هزارمسجد از نوع ژئوسنکلینالی است و عمل رسوب‌گذاری در محیطی نسبتا آرام بوده است و شباهت فراوانی به زون چین‌خورده زاگرس شکسته دارد این منطقه در دوره مزوزوئیک باعث ایجاد سنگ‌هایی از جنس آهک، گچ، مارن، سیلتستون و کنگلومرا در قالب تشکیلات آق‌دربند، کشف‌رود، چمن‌بید، مزدوران، شوریجه، تیرگان، کلات و... شده است. واحد بینالود را که عده‌ای آن را دنباله البرز شرقی می‌دانند در دوره پالئوزوئیک تحت حرکات ماگمایی شدیدی قرارگرفته و توده گرانیتی بینالود و ساختارهای دگرگونی اطراف آنرا سبب شده است قسمت غربی آن‌که از توده‌های آندزیتی با قلل منفرد، در محدوده بخش چکنه نیشابور تشکیل شده است (Alaei Taleghani, 2009: 238). سازندهای تشکیل دهنده این زون عبارتند از فیلیت همدان، بهرام، لار، دلیچای، مزدوران، توف و شیل ائوسن، کنگلومرای مزوزوئیک و سازند قرمز بالایی می‌باشد (شکل ۲). بیش‌ترین ارتفاع منطقه قله بینالود با ارتفاع ۳۲۱۱ متر و کم‌ترین ارتفاع منطقه در منتهی‌الیه شرقی منطقه واقع در دشت مشهد–چناران با ارتفاع ۴۳۰ متر از سطح دریا می‌باشد.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-30]

مواد و روش‌ها

در این تحقیق جهت تحلیل‌های ژئومورفومتری از نرم‌افزار Arc gis 10.3 و تحلیل‌های آماری از نرم‌افزارهای SPSS 18 و Excel 2013 استفاده شده است. همچنین از نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی، نقشه‌های توپوگرافی رقومی ۱:۲۵۰۰۰ تولید شده سازمان نقشه‌برداری کشور و تصاویر ماهواره‌ای لندست و GoogleEarth با دقت بالا برای کنترل و اعتبارسنجی محاسبات ژئومورفومتری انجام شد. مبنای محاسبات مورفومتری مدل رقومی ارتفاعی (DEM) با دقت ۲۰ متر تهیه شده از نقشه‌های توپوگرافی رقومی سازمان نقشه‌برداری کشور و مدل رقومی ارتفاعی (DEM) ۳۰ متر مستخرج شده از تصاویر ماهواره Aster می‌باشد. تمامی اطلاعات مذکور در پایگاه اطلاعات زمینی (Geodatabase) طبقه‌بندی و آماده پردازش شد. در این تحقیق ابتدا داده‌های دبی و رسوب بیش از ۳۸ ایستگاه هیدرومتری از سازمان آب منطقه‌ای خراسان رضوی تهیه و از بین آن‌ها تعداد ۱۵ ایستگاه با شرایط زیر مناسب تشخیص داده شد. الف) بند انحرافی و سد در بالادست ایستگاه و جود نداشته باشد. ب) دارای طول دوره آماری بیش‌تر از ۱۵ سال اخیر باشد. در جدول (۱) مشخصات کلی حوضه‌های تحقیق به اختصار بیان شده است.

جدول ۱- مشخصات حوضه‌ها و ایستگاه‌های تحقیق

Table 1- Characteristics of basins and stations in research

شماره	ایستگاه	حوضه	مساحت m2	محیط km	میانگین ارتفاع m	میانگین شیب ٪	نسبت دایره‌ای Re	نسبت کشیدگی حوضه	تراکم زهکشی Km/km2
۱	دیزباد علیا	دیزباد	۲۹	٦/٦٦	۲۳٦۸	۲۰/۳۸	۰/۷	۱/٦	۳/۹۹
۲	مجموع درود	درود	٤٤/۸	۱۰/۹	۲۳۲۸	۲۰/۹۰	۰/٦	۱/۲	٤/۰۰٤
۳	چشمه علی	خرو	۵۹/۲	۱۲/۷	۲۳۸۳	۲۲/۰۱	۰/۲	۱/۲	٤/۳۰۱
٤	عیش‌آباد	میرآباد	۱٤۸/۳	۲۰/۵۹	۲۳٦۳	۲٤/۷۰	۱/۵	۱/۲	٤/٤۲۲
۵	طاغان	طاغان	۱۰۱/۱	۱۹/۱۵	۲۳٤۱	۲۸	۰/۳	۱/۰	٤/۳۹٤
٦	اریه- چهارباغ	بار	۱۱٤/۷	۲۳/٦۸	۲۲۲۸	۳۰/۵۵	۰/۵	۰/۹	٤/۳۲۸
۷	موشنگ	فریزی	۲۸۳/۲	۲٦/۰۹	۲۲۸٤	۲۵/۷٤	۱/۹	۱/۳	٤/۰۵۱
۸	گلمکان	گلمکان	٤٦/۷	۱۸/۸۷	۲۳۸۲	۸۱/۹۲	۰/۲	۰/۷	٤/۱۲
۹	سرآسیاب شاندیز	شاندیز	۱۹۷/۵	۳۲/۵٤	۲۲۵۱	۱۹/۹۵	۰/٤	۰/۹	٤/۹۷
۱۰	گلستان-جاغرق	طرقبه	۱۵۵/۵	۲٤/٤۷	۲۰۷۳	۱۷/۵٦	۰/۱	۰/۹	٤/۰۸٦
۱۱	کرتیان	طرق	۱۳٦/۸	۲۳/٤۰	۱۹٤۲	۱۸/۳٤	۱/۵	۱/۰	٤/۰٤
۱۲	کارده- بالادست	کارده	٤٤۲/۸	۵۰/٦٦	۲۱۲۸	۳۰/۳۳	۲/۱	۰/۸	۳/۹۳۸
۱۳	ارداک- ساروج	ارداک	٤۹۳/٤	٤٤/٤۳	۲۲۲۳	۲۷/۰٤	۰/٤	۱/۰	۳/۹۷۱
۱٤	امامزاده-رادکان	رادکان	۲٤۸/۳	۳٤/۳۲	۲۰٤۸	۲۰/۵۰	۰/٦	۰/۹	۳/۹۷۷
۱۵	دربند کلات	کلات	۱٦۷/۵	۳۱/٦٦	۱۸۳٤	۲٦/۳۰	۰/۳	۰/۸	۳/۹۷۷

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-30]

پس از تعیین ایستگاه‌های مناسب مرز حوضه‌های بالادست آن‌ها با استفاده از مدل ارتفاعی رقومی (Dem) ترسیم شد. سپس با استفاده از نقشه‌های رقومی ۱:۲۵۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری کشور تمامی محاسبات کلی حوضه آبریز شامل مساحت، محیط، نسبت دایره‌ای، نسبت کشیدگی، میانگین ارتفاع، شیب حوضه و به تفصیل محاسبات مربوط به ژئومورفومتری شبکه زهکشی از جمله: طول آبراهه، تراکم زهکشی، فرکانس زهکشی، تراکم گسل‌ها، نسبت انشعاب، ناهنجاری سلسله مراتبی، تراکم ناهنجاری سلسله مراتبی برای هر یک از حوضه‌ها استخراج شد. در این تحقیق با استفاده از معادله کرپیچ ۱۹٤۰، شاخص زمان تمرکز (Ts) مطابق رابطه (۱) محاسبه شد؛ که عبارتند از مدت زمان شروع رواناب تا زمانی که دبی به حداکثر مقدار یا تعادل خود برسد(Alizadeh, 2013: 135).

$$Ts = 0.949\ (\frac{L^3}{H})^{0.385}$$ رابطه (۱)

جهت محاسبه شاخص درصد واحدهای فرسایش‌پذیر از نقشه‌های ۱:۱۰۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی استفاده شد. بدین منظور لیتولوژی حوضه‌ها در یک بازه ۱۰ ارزشی مطابق با عامل زمین‌شناسی سطحی در روش پسیاک کلاس‌بندی شد. سپس مقادیر بالای ٦ به عنوان سازندهای فرسایش‌پذیر انتخاب و درصد آن در هر حوضه محاسبه و در مدل تحقیق مورد استفاده قرار گرفت. در جدول (۲) مولفه‌های کمی حوضه آبریز و شبکه زهکشی با ذکر مرجع آمده است. پس از استخراج خطوط توپوگرافی از این نقشه‌ها خطوط آبراهه‌ها به روش دستی ترسیم و با استفاده از سیستم رده‌بندی شبکه زهکشی استرالر[6] رده‌بندی شد (Strahler,1964: 4-39).

جدول ۲- مولفه های کمی حوضه آبریز و شبکه زهکشی

Table 2- Numerical parameters of drainage basin and drainage Network

شماره	مولفه کمی حوضه	معادل لاتین	علامت	رابطه	مرجع
۱	مساحت	Area (km^2)	A	-	-
۲	محیط	Perimeter (km^2)	P	-	-
۳	نسبت دایره‌ای	Elongation Ratio	Re	$Re= 2/L_b\times \sqrt{A/\pi}$	Miller (1953)
٤	نسبت کشیدگی	Form Factor	Rf	Rf = A/(Lb)2	Horton (1945)
٥	میانگین ارتفاع	Mean elevation(m)	H	-	-
٦	شیب حوضه	Mean Slope (degree)	S	-	-
۷	رده آبراهه	Stream Order (n)	U	Hierarchical Rank	Strahler (1964)
۸	طول آبراهه	Length (Km)	L	Length of the stream	Horton (1945)
۹	تراکم زهکشی	Drainage density (km^2/km)	DD	DD=∑LU/A	Horton (1932)
۱۰	فرکانس زهکشی	stream frequency	Fs	Fs =Nu/A	Horton (1945)
۱۱	بافت زهکشی	Drainage texture	T	T=Dd*DF	Smith (1950)
۱۲	نسبت انشعاب	Bifurcation ratio	Rb	Rb= Nu/Nu+1	Schumn (1956)
۱۳	تعداد ناهنجاری سلسله مراتبی	Hierarchical anomaly number	Ha	$Ha=\sum(Ha_{i-j}\times Ns_{i-j})$	Avena et al (1967) Bahrami (2013)
۱٤	شاخص ناهنجاری سلسله مراتبی	Hierarchical anomaly index	Δa	Da ¼ Ha=N1	Avena et al (1967)
۱٥	تراکم ناهنجاری سلسله مراتبی	Hierarchical anomaly density	ga	Ga=Ha/A	Baroni et al (2005)
۱٦	زمان تمرکز	Time of concentration	Lu	$0.949(\frac{L^3}{H})^{0.385}$	Kirpich (1940)

6- Strahler

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-30]

در روش رده‌بندی استرالر، بخشی از آبراهه که هیچ سرشاخه‌ای ندارد به عنوان آبراهه درجه ۱ است و با اتصال دو آبراهه درجه ۱، آبراهه درجه ۲ و با اتصال دو آبراهه درجه ۲، آبراهه درجه ۳ و با اتصال دوآبراهه درجه ۳، آبراهه درجه ٤ نامیده می‌شود. به‌طور کلی با اتصال دو آبراهه با درجه مشابه آبراهه یک درجه بالاتر تشکیل می‌شود. در هر سیستم زهکشی بی‌نهایت اتصال وجود دارد و در حالت طبیعی باید آبراهه‌های درجه یک به آبراهه درجه دو و دو آبراهه درجه دو به یک آبراهه درجه ۳ بریزد. در این حالت شبکه زهکشی ما هنجار است ولی اگر این قانون رعایت نشود سیستم آبراهه‌ها ناهنجاری سلسله مراتبی دارند. این مسئله می‌تواند در اثر عوامل متعدد زمین‌شناسی و تکتونیکی رخ دهد. آونا[۷] و همکاران شاخصی بنام Ha (تعداد ناهنجاری سلسله مراتبی آبراهه) را تعریف کردند. به نظر Avena et al (1986)، Ha عبارت است از حداقل تعداد آبراهه‌های درجه یک که باید به‌طور فرضی به شبکه زهکشی اضافه شوند تا اتصالات دارای نظم سلسله مراتبی شوند (Avena et al., 1967: 81-796) با توجه به این‌که هر گونه بی‌نظمی در شبکه زهکشی باعث ایجاد جریان نامنظم سیلابی شود لذا شاخص ناهنجاری سلسله مراتبی می‌تواند تاثیر مستقیمی بر روی رسوب حوضه‌ها داشته باشد (Ciccacci et al.,1986: 233-248). با توجه به این‌که محاسبه دستی Ha کار مشکلی است در این تحقیق ابتدا رابطه‌ای جهت محاسبه تعداد ناهنجاری سلسله مراتبی هر اتصال آبراهه (Ha i-j) تعریف می‌شود و بر اساس آن تعداد ناهنجاری سلسله مراتبی آبراهه در کل حوضه (Hat) به‌دست می‌آید. در حالتی که یک آبراهه مبدا (به‌عنوان مثال درجه ۱) به آبراهه بالاتر یا مقصد (به عنوان مثال درجه ۳) متصل شود، اگر آبراهه مبدا را i و آبراهه مقصد را j بنامیم، تعداد ناهنجاری سلسله مراتبی هر اتصال آبراهه (Ha i-j) از رابطه ۲ به دست می آید (Bahrami, 2013: 914-928).

$$Ha_{i\to j} = 2^{(j-2)} - 2^{(i-1)} \qquad \text{رابطه (۲)}$$

بعد از محاسبه (Ha i-j) تعداد آبراهه‌ها در هر اتصال (Ns i-j) به‌دست می‌آید. سپس از مجموع حاصل‌ضرب (Ha i-j) و (Ns i-j) تعداد ناهنجاری سلسله مراتبی آبراهه برای کل حوضه (Hat) به‌دست می‌آید (رابطه ۳).

$$Ha_t = \sum\left(Ha_{i\to j} \times Ns_{i\to j}\right) \qquad \text{رابطه (۳)}$$

بعد از محاسبه Hat، شاخص Δa (شاخص ناهنجاری سلسله مراتبی) از تقسیم Hat بر تعداد واقعی آبراهه‌های درجه یک حوضه به‌دست می‌آید. شاخص ga (تراکم ناهنجاری سلسله مراتبی) نیز از تقسیم Hat بر مساحت حوضه به دست می‌آید (Guarnieri & Pirrotta, 2008: 261). در ادامه شاخص انشعابات در حوضه‌های تحقیق محاسبه شد. شاخص انشعابات یکی از شاخص‌های شبکه زهکشی است که می‌تواند تاثیر مستقیمی بر هیدروگراف سیل و در ادامه بر نرخ رسوب داشته باشد. شاخص انشعابات از عدد نسبت انشعابات حوضه (Rb) منهای نسبت مستقیم انشعابات (Rbd) حوضه به‌دست می‌آید (Baroni et al., 2005: 223). تفاوت در نسبت انشعاب تحت تاثیر میزان تکامل حوضه

7- Avena

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-30]

و همچنین تنوع لیتولوژی آن است و از سوی دیگر با شکل حوضه در ارتباط است. در حوضه‌هایی که به شکل دایره نزدیک است نسبت زهکشی پایین است (Strahler, 1964: 115).

جهت محاسبه شاخص انشعابات ابتدا نسبت انشعابات (Rb) و سپس نسبت مستقیم انشعابات (Rbd) محاسبه شد. نسبت انشعابات برای هر رده از آبراهه از تقسیم تعداد کل آبراهه‌های آن درجه بر تعداد کل آبراهه‌های یک درجه بالاتر به دست می‌آید. نسبت انشعابات کل حوضه از میانگین Rb کل درجات محاسبه می‌شود (Guarnieri & Pirrotta, 2008: 262). نسبت مستقیم انشعابات (Rbd) برای هر رده آبراهه، از تقسیم تعداد آبراهه‌های آن درجه (که مستقیما به یک درجه بالاتر وارد می‌شوند) بر تعداد کل آبراهه‌های یک درجه بالاتر به‌دست می‌آید. نسبت مستقیم انشعابات کل حوضه از میانگین Rbd کل درجات به‌دست می‌آید (Baroni et al., 2005: 223).

نسبت انشعاب (Rb) با استفاده از رابطه ٤ به‌دست می‌آید:

$$Rb\ (u\text{-}u+1)= Nu/Nu+1$$ رابطه (٤)

در این رابطه:

Rb= نسبت انشعاب، Nu= تعداد آبراهه‌های رتبه ویژه، Nu+1= تعداد آبراهه‌های رتبه بالاتر می‌باشد

به عبارت دیگر نسبت انشعابات برای هر رده از آبراهه از تقسیم تعداد کل آبراهه‌های آن درجه بر تعداد کل آبراهه‌های یک درجه بالاتر به‌دست می‌آید. نسبت انشعابات کل حوضه از میانگین Rb کل درجات محاسبه می‌شود (Guarnieri & Pirrotta, 2008: 267). نسبت انشعابات در ارتباط مستقیم با ناهنجاری در سیستم زهکشی نیز می‌باشد (Strahler, 1957: 914). در ادامه تحقیق تک‌تک شاخص‌های مورفومتری مربوط به ۱۵ حوضه آبریز به دقت محاسبه شد. پس از محاسبه شاخص‌های مورفومتری حوضه آبریز، این سوال مطرح است که آیا عوامل ژئومورفومتری می‌تواند تاثیری در نرخ بار رسوبی حوضه‌ها داشته باشد؟ در این تحقیق سعی شده با ارزیابی شاخص‌های مورفومتری شبکه زهکشی، تاثیر این متغیرها بر نرخ رسوب حوضه‌ها ارزیابی شود. بدین منظور با استفاده از روش‌های Ciccacci, et al، میزان رسوب کل حوضه آبریز محاسبه شد. این روش بر اساس خصوصیات مورفومتری شبکه زهکشی به خصوص تراکم زهکشی است. یکی از مهم‌ترین عوامل موثر در افزایش رسوب در حوضه‌ها میزان تراکم زهکشی است (Seta et al., 2008: 22). عموما هر چه میزان فراوانی آبراهه‌ها در یک حوضه بیش‌تر باشد میزان کاوش و برداشت رسوب از سطح حوضه بیش‌تر خواهد بود. بر همین مبنا Ciccacci و همکاران روشی ارائه دادند که بر اساس آن می‌توان رسوب حوضه را بر اساس ضریب تراکم زهکشی و میزان ناهنجاری سلسله مراتبی محاسبه نمود (Ciccacci et al.,1986: 233-248). برای محاسبه نرخ فرسایش ابتدا با توجه به نرخ تراکم زهکشی از یکی از این دو تابع استفاده می‌شود (رابطه ٤ و٥).

$$LogTu= 1.05954 +2.79687\log D+0.13985 \qquad \Delta a\ D\geq 6$$ رابطه (٥)

$$\Delta a\ D<6 \qquad LogTu= 1.44780 +0.32619D+0.10247$$ رابطه (٦)

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-30]

این روش‌ها با توجه به متغیرهای مورد استفاده، عموما مبتنی بر خصوصیات کمی حوضه آبریز می‌باشند. در ادامه تحقیق آمار دبی و رسوب برداشت شده از سطح ایستگاه‌ها هم سنجی و داده‌هایی که دارای خطا دستگاهی، انسانی، محیطی می‌باشد تصحیح و یا استانداردسازی شد. سپس با استفاده از نسبت رسوب به دبی نرخ رسوب سالانه در واحد تن از کل حوضه در سال محاسبه شد. در ادامه این میزان با نرخ بار رسوبی حاصل از روش Ciccacci و همکاران (تن در سال خروجی از کل حوضه) مقایسه شد. لازم به ذکر است با تمامی حوضه‌ها دارای تراکم زهکشی کم‌تر از ٦ بوده در نتیجه از رابطه ٦ برای برآورد نرخ رسوب (تن از کل حوضه) استفاده شد. پس از تحلیل نتایج دو روش، نرخ رسوب سالانه در هر کیلومتر مربع از حوضه‌ها محاسبه شد و ضریب همبستگی میان متغیرهای ژئومورفومتری حوضه آبریز با نرخ بار رسوب حوضه‌ها در واحد سطح، با استفاده از روش رگرسیون چند متغیره محاسبه و عوامل تاثیرگذار در افزایش بار رسوبی رودخانه تعیین و معرفی شدند.

یافته‌ها و بحث

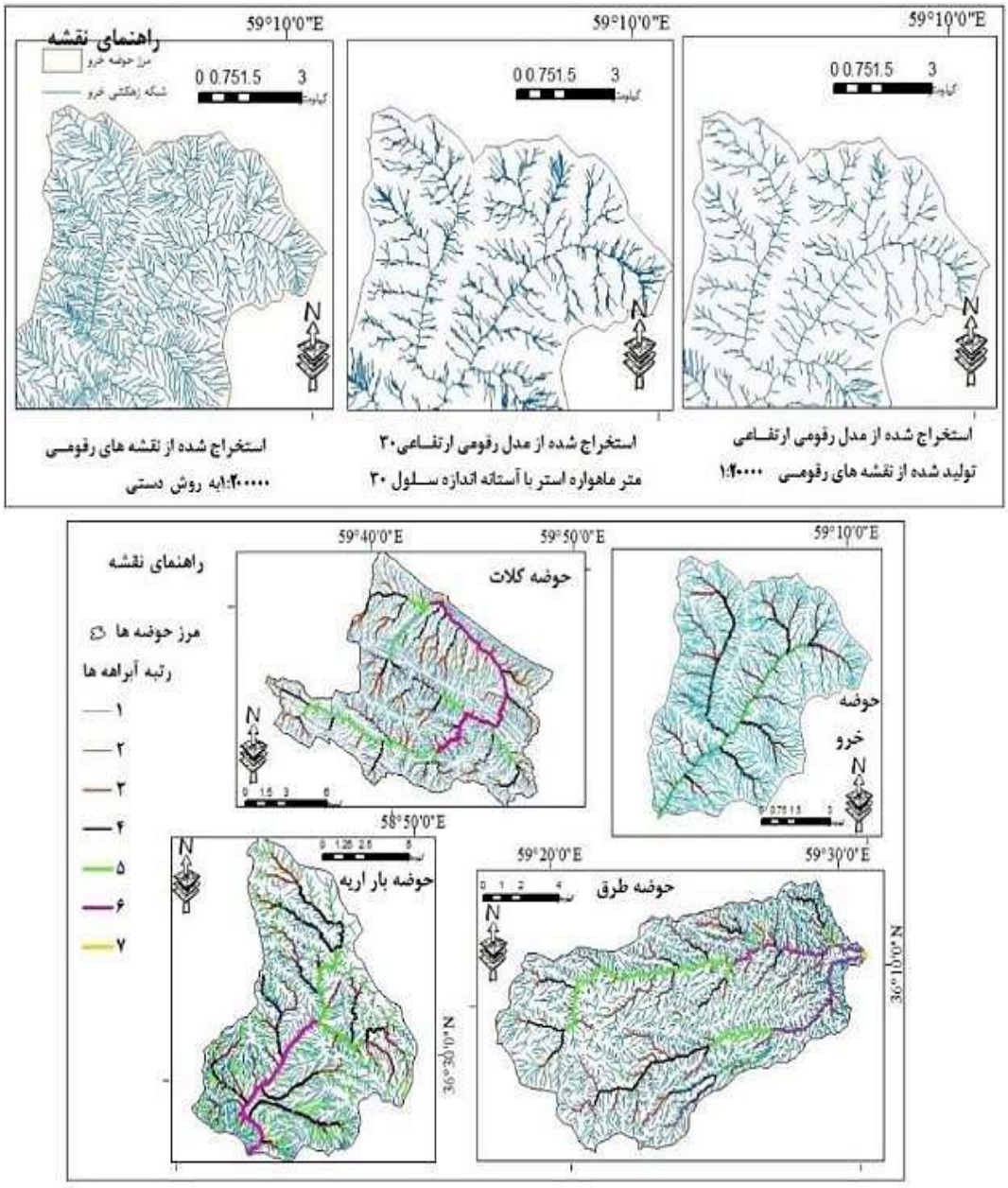
هر یک از مولفه‌های کمی حوضه زهکشی با مقادیر مشخص بیانگر نوعی فرم در حوضه است. این مولفه‌ها بر انرژی جریانی، حرکات توده‌ای و دبی سیلاب و رسوب در حوضه‌ها تاثیر می‌گذارد (Zhang et al., 2015: 20). در این تحقیق از متغیرهای مربوط به حوضه آبریز، متغیرهای شبکه زهکشی و متغیرهای لیتولوژیکی برای ارزیابی نقش این پارامترها بر دبی رسوب حوضه‌ها استفاده شد.

- رده‌بندی آبراهه‌ها

در این تحقیق ابتدا با استفاده از نقشه‌های ۱:۲۰۰۰۰سازمان نقشه‌برداری کشور اقدام به ترسیم شبکه زهکشی به روش دستی در محیط GIS شد. ترسیم تک‌تک آبراهه‌ها در حوضه‌های آبریز انتخاب شده یکی از مراحل سخت و طاقت‌فرسای این تحقیق بود. پس از انجام این مرحله، نتایج حاصل از محاسبه تراکم زهکشی مورد ارزیابی قرار گرفت. طبق محاسبات انجام شده تمامی حوضه‌ها دارای تراکم زهکشی بالای ٦/١ و در برخی حوضه‌ها به رقم بیش از ٧/٩ نیز می‌رسید. لذا از روش‌های دیگری جهت استخراج شبکه زهکشی استفاده شد. بدین منظور با استفاده از ماژول Arc hydro و مدل رقومی ارتفاعی ۳۰ متر ماهواره استر به‌صورت اتوماتیک آبراهه‌های موجود در هر حوضه استخراج شد. به دلیل خطای موجود در چیدمان پیکسلی مدل رقومی ارتفاعی، این شبکه زهکشی نیز دقیق نبوده و در برخی نقاط تمامی پیکسل‌ها را به‌عنوان آبراهه معرفی می‌نمود؛ حتی به روش آستانه گذاری (Hosseinzadeh & Jahadi, 2010: 16) سعی در استخراج شبکه زهکشی مناسب‌تر شد. آستانه ۲۵-۵۰ سلول برای استخراج شبکه زهکشی انتخاب و شبکه زهکشی ترسیم شد؛ اما این شبکه نیز دارای ایرادات اساسی در اتصال آبراهه‌ها بود. لذا اقدام به تولید مدل رقومی ارتفاعی از نقشه‌های رقومی ۱:۲۰۰۰۰سازمان نقشه‌برداری شد و با اندازه سلولی ۲۰ متر مدل رقومی ارتفاعی ساخته و به صورت اتوماتیک در نرم‌افزار GIS شبکه زهکشی برای تک‌تک حوضه‌ها تهیه شد (شکل ۳). در این تصویر نحوه استخراج و انتخاب شبکه زهکشی مناسب و دقیق را نشان می‌دهد که حوضه خرو به‌عنوان نمونه نشان داده شده است.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-30]

در ادامه تحقیق شبکه زهکشی انتخاب شده، با روش استرالر رتبه‌بندی شد؛ به نحوی که دو آبراهه درجه یک به یک آبراهه درجه دو متصل می‌شود و دو آبراهه درجه دو به یک آبراهه درجه سه متصل می‌شود. تعداد رده آبراهه در ۱۷ حوضه تحقیق بین ۵–۷ رده می‌باشد و حوضه دیزباد علیا با کم‌ترین شماره رده و حوضه کارده دارای بیش‌ترین شماره رده است.



شکل ۳: ترسیم و رده‌بندی براهه ها به روش استرالر

Figure 3: Drawing and classification of chanals by Astraler methood

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-30]

- شاخص انشعابات

شاخص انشعابات یکی از شاخص‌های شبکه زهکشی است که می‌تواند تاثیر مستقیمی بر هیدروگراف سیل دارد و هر چقدر شبکه زهکشی سیلابی‌تر باشد نرخ رسوب بیش‌تری نیز دارد. نسبت انشعابات در ارتباط مستقیم با ناهنجاری در سیستم زهکشی نیز می‌باشد. (Strahler, 1964: 113). در جدول (۳) تعداد آبراهه‌های موجود در هر رده به تفکیک آورده شده است و مقادیر Rb برای حوضه‌های تحقیق محاسبه شده است. بیش‌ترین میزان شاخص نسبت انشعاب ۵/۷۲ و۴/۵۹ به‌ترتیب مربوط به حوضه‌های گلمکان و شاندیز است و کم‌ترین میزان نسبت انشعاب مربوط به حوضه‌های رادکان و کلات به‌ترتیب ۲/۷۹ و ۲/۸ می‌باشد. در حالت کلی هر چقدر نسبت انشعاب بیش‌تر باشد شکل حوضه از حالت گرد به حالت کشیده بیش‌تر می‌شود. در این تحقیق حوضه‌هایی که دارای شکل گردتری نسبت به سایر حوضه‌ها هستند نسبت انشعابات کم‌تر و در نتیجه هیدروگراف سیل آن‌ها دارای راس تیزتر و رودخانه‌های آن‌ها سیلابی‌ترند؛ و این عامل نرخ رسوب معلق رودخانه‌ها افزایش می‌دهد.

جدول ۳- تعداد آبراهه‌ها در هر رده جهت محاسبه شاخص Rb

Table 3- Number of channels in each category to calculate Rb

حوضه درجه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵
نام حوضه	دیزباد	درود	خرو	میرآباد	طاغان	بار	فریزی	گلمکان	شاندیز	طرقبه	طرق	کارده	ارداک	رادکان	کلات
تعداد (U)	۵	۶	۵	۶	۶	۵	۷	۵	۶	۶	۷	۸	۷	۷	۷
۱	۲۸۲	۴۶۶	۶۵۹	۱۷۰۸	۱۱۲۳	۱۲۴۴	۲۹۵۴	۴۷۴	۲۰۶۹	۱۱۴۲	۱۲۳۵	۴۶۵۲	۵۲۰۴	۲۶۳۴	۱۷۲۲
۲	۷۵	۱۰۲	۱۲۹	۳۸۲	۲۵۸	۲۷۳	۵۶۸	۱۰۶	۳۹۴	۲۴۵	۲۴۴	۸۱۶	۹۱۵	۴۹۸	۳۱۷
۳	۱۶	۲۶	۳۴	۷۲	۶۰	۵۰	۱۳۲	۲۴	۸۴	۵۸	۵۶	۱۹۴	۲۱۶	۱۲۰	۹۰
۴	۴	۵	۸	۱۷	۱۱	۱۴	۲۵	۲	۱۴	۱۱	۱۳	۵۳	۵۰	۳۳	۲۰
۵	۱	۲	۲	۵	۴	۶	۱۰	۱	۲	۳	۲	۹	۹	۹	۶
۶	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۳	۰	۱	۱	۱	۲	۳	۳	۲
۷	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۱	۱	۱	۱	۱
SUM	۳۷۸	۶۰۲	۸۳۳	۲۱۸۵	۱۴۵۷	۱۵۸۸	۳۶۹۳	۶۰۷	۲۵۶۴	۱۴۶۰	۱۵۵۱	۵۷۲۷	۶۳۹۸	۳۲۹۸	۲۱۵۸
Rb	۴/۱۱	۳/۲۴	۳/۴۳	۳/۴۸	۳/۳۷	۳/۱۸	۲/۸۸	۵/۷۲	۴/۵۹	۳/۵۶	۴/۰۵	۳/۲۴	۳/۳۰	۲/۷۹	۲/۸

- شاخص ناهنجاری سلسله مراتبی

آونا و همکاران شاخصی بنام Ha (تعداد ناهنجاری سلسله مراتبی آبراهه) را تعریف کردند با توجه به این‌که هر گونه بی‌نظمی در شبکه زهکشی باعث ایجاد جریان نامنظم سیلابی شود لذا شاخص ناهنجاری سلسله مراتبی می‌تواند تاثیر مستقیمی بر روی رسوب حوضه‌ها داشته باشد (Avena et al., 1967: 83).

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-30]

جدول ٤- نحوه محاسبه شاخص ناهنجاری سلسله مراتبی در حوضه‌های تحقیق

Table 4- Calculation of hierarchical anomaly index in research basins

مسیر	*z	۱		۲		۳		٤		٥		٦	
		x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y
۱→۲	۰	۲۲	۰	۳۲۹	۰	٤۷۲	۰	۱۲۲	۰	۸۱۲	۰	۹۳٦	۰
۱→۳	۱	۱۸	۱۸	۵۲	۵۲	۷٤	۷٤	۱٦۹	۱٦۹	۱۲۹	۱۲۹	۱۲٦	۱۲٦
۱→٤	۳	۳۹	۱۱۷	۲۵	۷۵	۱۷۱	۵۷	۱٦۵	٤۹۵	٦۰	۱۸۰	۱۱۱	۳۳۳
۱→۵	۷	۸	۵٦	۲۷	۱۸۹	۳۵	۵	۱٤۹	۱۰٤۳	۷٤	۵۱۸	۳٦	۲۵۲
۱→٦	۱۵	۰	۰	۱٦	۲٤۰	٤۳۵	۲۹	۳۲	٤۸۰	۵٤	۸۱۰	٤٤	٦٦۰
۱→۷	۳۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۲→۳	۰	٤۰	۰	۸۸	۰	۱۰٤	۰	۲۲٤	۰	۱٦٤	۰	۱۷۵	۰
۲→٤	۲	۲۹	۵۸	۱۳	۲٦	۵۲	۲٦	۵۳	۱۰٦	۲۱	٤۲	٤۸	۹٦
۲→۵	٦	۳	۱۸	۱۱	٦٦	۱۲	۲	٤۵	۲۷۰	٤۲	۲۵۲	۱٤	۸٤
۲→٦	۱٤	۰	۰	۸	۱۱۲	۲۸۰	۲۰	۲۰	۲۸۰	۲۵	۳۵۰	۲۳	۳۲۲
۲→۷	۳۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۳→٤	۰	۱۵	۰	۱۵	۰	۲۵	۰	۵۷	۰	۳۰	۰	٤۳	۰
۳→۵	٤	۰	۰	٤	۱٦	۱	٤	۱۹	۷٦	۱٦	٦٤	۵	۲۰
۳→٦	۱۲	۰	۰	۷	۸٤	۸	۹٦	٦	۷۲	۱۵	۱۸۰	۷	۸٤
۳→۷	۲۸	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
٤→۵	۰	٤	۰	٤	۰	٤	۰	۱۸	۰	۹	۰	۱۳	۰
٤→٦	۸	۰	۰	۱	۸	٤	۳۲	۰	۰	۲	۱٦	۲	۱٦
٤→۷	۲٤	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۵→٦	۰	۰	۰	۲	۰	۲	۰	٦	۰	٤	۰	۵	۰
۵→۷	۱٦	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
٦→۷	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
ha		۲٦۷		۸٦۸		۱۱۹۱		۲۹۹۱		۲۵٤۱		۱۹۹۳	
n1		۲۸۲		٤٦٦		٦۵۹		۱۷۰۸		۱۱۲۳		۱۲٤٤	
Δa		۰/۹٤٦		۱/۸٦		۱/۸		۱/۷۵		۲/۲٦		۱/٦	
ga		۹/۲۱		۱۹/٤		۲۰/۱		۲۰/۱		۲۵/۱		۱۷/۳۸	

ادامه جدول (٤)

	۷		۸		۹		۱۰		۱۱		۱۲		۱۳		۱٤		۱۵	
	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y
۱→۲	۲	۰	۳٤	۰	۱٦	۰	۷۹	۰	۹٤۵	۰	۳۵٦٦	۰	۳۹۷۱	۰	۲۰	۰	۱۳	۰
۱→۳	۲	۲۹۳	۵٤	۵٤	۱۸	۱۸	۱٤۰	۱٤	۱۵٤	۱۵٤	٤٤۳	٤٤۳	۵۳۱	۵۳۱	۲۸	۲۸	۱۵	۱۵
۱→٤	۲	٦٤۵	۲٦	۷۸	۳۹	۱۳	۲٤۹	۸۳	۸۸	۲٦٤	۲۹۹	۸۹۷	۲۸۷	۸٦۱	۱۵	٤۵	۸۹	۲٦
۱→۵	۲	۱٤۰۰	٤۷	۳۲	٦۲	٤۳	۳۹۹	۵۷	۱۲۲	۸۵٤	۱۳۲	۹۲٤	۲٤۹	۱۷٤۳	۱۱	۸۱	٦٦	٤٦
۱→٦	٦	۹۳۰	۰	۰	۸	۱۲	٦۱۵	٤۱	۰	۰	۱۱٦	۱۷٤۰	۵۸	۸۷۰	۲۷	٤۰	٤٦	٦۹
۱→۷	۱	۳٤۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۳۳	۱۰۲۳	۳۷	۱۱٤۷	۳٦	۱۱	۳	۹۳
۲→۳	۳	۰	٦٦	۰	۲٦	۰	۱۷	۰	۷۳	۰	۵۸٤	۰	٦۷٤	۰	۳٦	۰	۲۲	۰
۲→٤	۷	۱۵۰	۸	۱٦	٦۵	۱۳	٤۲	۸٤	۲۹	۵۸	۱۲۵	۲۵۰	۱۱٤	۲۲۸	٤۵	۹۰	۵۵	۱۱
۲→۵	۱	٦۷۲	۳۱	۱۸	۸۰	٤۸	۲۰٤	۳٤	٦۸	٤۰۸	٦٤	۳۸٤	۱۲۱	۷۲٦	٦٤	۳۸	۳٤	۲۰

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-30]

ادامه جدول ٤- نحوه محاسبه شاخص ناهنجاری سلسله مراتبی در حوضه‌های تحقیق

Continue Table 4- Calculation of hierarchical anomaly index in research basins

٢→٦	٣	٤٤٨	٠	٠	١	١٤	١٣	١٨٢	٠	٠	٦٥	٩١٠	٣٨	٥٣٢	١١	١٥	٣٠	٤٢
٢→٧	٧	٢١٠	٠	٠	٠	٠	٠	٠	٠	٠	١٧	٥١٠	٢٩	٨٧٠	٢٢	٦٦	٠	٠
٣→٤	٩	٠	٩	٠	٥٢	٠	٤١	٠	٣٣	٠	١٤٩	٠	١٤٧	٠	٨٨	٠	٦٥	٠
٣→٥	٢	١٠٤	١٥	٦٠	٣٦	١٤	١٣	٥٢	٢٣	٩٢	٣٢	١٢٨	٥١	٢٠٤	٢٢	٨٨	٩	٣٦
٣→٦	١	١٦٨	٠	٠	٠	٠	٧	٨٤	٠	٠	٢٧	٣٢٤	٢٠	٢٤٠	٥	٦٠	١٤	١٦
٣→٧	٣	٨٤	٠	٠	٠	٠	٠	٠	٠	٠	١٠	٢٨٠	٩	٢٥٢	٩	٢٥	٠	٠
٤→٥	٢	٠	٢	٠	١٥	٠	٩	٠	١٤	٠	٣٧	٠	٤٠	٠	٢٧	٠	١٦	٠
٤→٦	٣	٢٤	٠	٠	٠	٠	٢	١٦	٠	٠	١٢	٩٦	٥	٤٠	١	٨	٥	٤٠
٤→٧	١	٢٤	٠	٠	٠	٠	٠	٠	٠	٠	٢	٤٨	٥	١٢٠	٤	٩٦	٠	٠
٥→٦	١	٠	٠	٠	٢	٠	٣	٠	٢	٠	٩	٠	٨	٠	٨	٠	٦	٠
٥→٧	٠	٠	٠	٠	٠	٠	٠	٠	٠	٠	٢	٣٢	١	١٦	١	١٦	٠	٠
٦→٧	٣	٠	٠	٠	٠	٠	٠	٠	٠	٠	٣	٠	٣	٠	٣	٠	٢	٠
ha	٥٤٩٣		٧٢٣		١٩٠١		٢٠٢٥		١٨٣٠		٧٩٨٩		٨٣٨٠		٤٨٨٥		٢٦٤٥	
n1	٢٩٥٤		٤٧٤		٢٠٦٩		١١٤٢		١٢٣٥		٤٦٥٢		٥٢٠٤		٢٦٣٤		١٧٢٢	
Δa	١/٨٥		١/٥٢		٠/٩١		١/٧٧		١/٤٨		١/٧١		١/٦١		١/٨٥		١/٥٦	
ga	١٩/٣٩		١٥/٤		٩/٦		١٧/٥٣		١٣/٣٨		١٨/٠٤		١٦/٩		١٩/٦		١٥/٧	

*Z= $Ha_{i\rightarrow j}$ x= $Ns_{i\rightarrow j}$ y= $Ha_{i\rightarrow j}\times Ns_{i\rightarrow j}$

در جدول (٤ و ٥) مقادیر Hat برای هر اتصال محاسبه شد. بعد از محاسبه Hat، شاخص Δa (شاخص ناهنجاری سلسله مراتبی) از تقسیم Hat بر تعداد واقعی آبراهه‌های درجه یک حوضه به‌دست می‌آید. شاخص ga (تراکم ناهنجاری سلسله مراتبی) نیز از تقسیم Hat بر مساحت حوضه به‌دست می‌آید. سپس تعداد ناهنجاری سلسله مراتبی، شاخص ناهنجاری سلسله مراتبی و تراکم ناهنجاری سلسله مراتبی در هر یک از حوضه‌های تحقیق محاسبه شد. طبق محاسبات انجام شده مشخص شد حوضه ارداک با ٦٣٩٨ آبراهه بیش‌ترین تعداد آبراهه و حوضه دیزباد با ٣٧٨ کم‌ترین آبراهه را دارد همچنین با محاسبه تعداد ناهنجاری در تمامی رده‌ها در حوضه‌های تحقیق (ha) مشخص شد. حوضه ارداک و کارده به‌ترتیب ٨٣٨٠ و ٧٩٨٩ آبراهه بیش‌ترین و حوضه‌های دیزباد و گلمکان با ٢٦٧ و ٧٢٣ آبراهه، دارای کم‌ترین تعداد ناهنجاری سلسله مراتبی می‌باشد. همچنین حوضه‌های طاغان و دررود به‌ترتیب با ٢/٢٦ و ١/٨٦ بیش‌ترین و حوضه‌های شاندیز و دیزباد با ٠/٩١ و ٠/٩٤ کم‌ترین Δa را دارند با محاسبه شاخص تراکم ناهنجاری سلسله مراتبی مشخص شد حوضه طاغان با ٢٥/١٣٩ بیش‌ترین و حوضه دیزباد با ٩/٢١ متر در هر مترمربع کم‌ترین میزان تراکم ناهنجاری را دارد. طبیعی است هرچه مقدار تراکم ناهنجاری سلسله مراتبی در واحد سطح بیش‌تر باشد تلاطم آبراهه‌ها بیش‌تر و نرخ رسوب حوضه‌ها نیز بیش‌تر می‌شود.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-30]

- محاسبه رسوب با استفاده از خصوصیات شبکه زهکشی (روش Ciccacci, et al)

یکی از مهم‌ترین عوامل موثر در افزایش رسوب در حوضه‌ها میزان تراکم زهکشی است. عموما هر چه میزان فراوانی آبراهه‌ها در یک حوضه بیش‌تر باشد میزان کاوش و برداشت رسوب از سطح حوضه بیش‌تر خواهد. در این تحقیق با توجه به پایین بودن تراکم زهکشی در همه حوضه‌ها از رابطه دوم استفاده شد. این عامل به همراه شاخص ناهنجاری سلسله مراتبی در رابطه ٤ و ٥ لحاظ شده و نرخ رسوب سالانه محاسبه شده است. طبق محاسبات انجام شده در جدول (٥) حوضه‌های ارداک، کارده و فریزی با مقادیر ۳۵۸۵۹۳/۳۹۹۳۱۵،۲/۳ و ۲۵۸۱٦۷/۷ تن در سال دارای بیش‌ترین میزان رسوب و حوضه‌های دیزباد، دررود و گلمکان با ۲۰٤۷/۹، ۳۹٤۳۸/۸ و ٤۱٤۱٥/۸ تن در سال از کل حوضه کم‌ترین میزان رسوب را به خود اختصاص دادند.

- محاسبه رسوب از طریق منحنی دبی-رسوب (سنجه رسوب)

برای به‌دست آوردن متوسط رسوب سالیانه در حوضه‌های تحقیق از منحنی دبی-رسوب (سنجه رسوب) استفاده شد. برای به‌دست آوردن رابطه بین دبی رودخانه و دبی رسوب ایستگاه‌ها از آمار طولانی مدت برداشت شده توسط سازمان تماب استفاده شد بدین صورت که یک تابع لگاریتمی برای این دو متغیر رسم و ضریب همبستگی آن محاسبه شد. با داشتن منحنی سنجه و رسوب و رسم منحنی تداوم جریان می‌توان مقدار رسوب را برای سال‌های مختلف برآورد نمود. سپس منحنی سنجه و رسوب برای تمامی ایستگاه‌ها رسم شد؛ و میزان رسوب سالانه برای هر ایستگاه تعیین شد.

جدول ٥- محاسبه نرخ رسوب سالانه برای کل حوضه‌های تحقیق

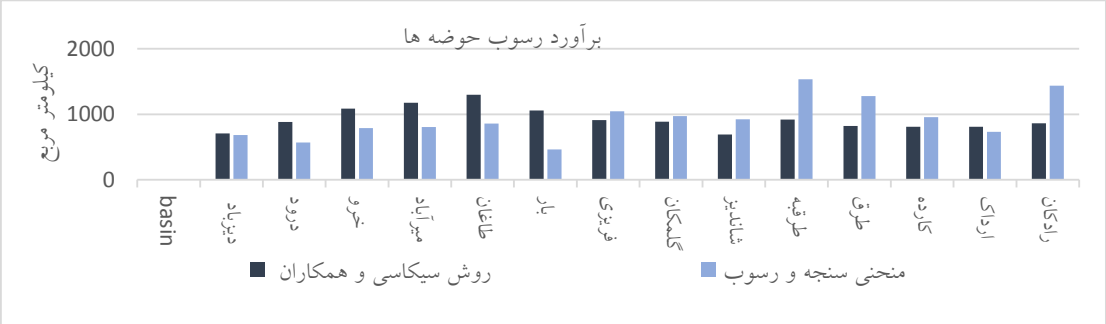
Table 5- Calculation of annual sediment rates for all research basins

شماره		۱	۲	۳	٤	٥	٦	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱٤	۱٥
حوضه	واحد	دیزباد	دررود	خرو	میرآباد	طاغان	بار	فریزی	گلمکان	شاندیز	طرقبه	طرق	کارده	ارداک	رادکان	کلات
Ciccacci و همکاران ۱۹۸۵	تن در سال	۲۰٤۷/۹	۳۹٤۳۸/۸	٦٤۳۱٤/٥	۱۷٤۰۷۰/۷	۱۳۱۱٤۰/٦	۱۲۱۰٦۸/۱	۲٥۸۱٦۷/۷	٤۱٤۱٥/۸	۱۳٦۳۳٥/۷	۱۰٥۹۲۲/۸	۱۱۲۳٤۰	۳٥۸٥۹۳	۳۹۹۳۱٥	۲۱٦۹۰۹/۷	۱۳٥۸۹۳
منحنی سنجه و رسوب	تن در سال	۱۹۷۸٦/٦	۲٥٥۷۸	٤٦۷٤٦/٥	۱۱۹۱۰۹/۲	۸٦٦٤۹/٦	٥۳۰۱۹/٤	۲۹٥۷٦٦/٦	٤٥۸٦۷/٥	۱۸۲۲٥۱/۱	۱۷۷۰۹۹/٦	۱۷٤٥٦۰	٤۲۳٤٦۸/٥	۳٦۰٦٤۷/٦	۳٥٦۸۳٥/٤	۲۱۲۸٤۳/۳

در این تحقیق با استفاده از اطلاعات سازمان آب منطقه‌ای و تعیین نسبت رسوب به دبی در حوضه‌های تحقیق مشخص

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-30]

شد حوضه‌های کارده و ارداک به‌ترتیب با ٤٢٣٤٦٨/٥ و٣٦٠٦٤٧/٦ تن در سال بیش‌ترین و حوضه‌های دیزباد و درود به‌ترتیب با ١٩٧٨٦/٦ و ٢٥٥٧٨ تن در سال از بیش‌ترین نرخ رسوب سالانه را دارند (شکل ٤).



شکل ٤: نمودار میزان رسوب سالانه در هر کیلومتر مربع از حوضه‌های تحقیق

Figure 4: Annual sediment diagram per square kilometer of the study basins

در این تحقیق برای اعتبارسنجی روش Ciccacci et al (1985) از داده‌های سنجه رسوب سازمان آب منطقه‌ای استفاده شد. همچنین از روش منحنی سنجه-رسوب برای کشف ارتباط بین مولفه‌های شبکه زهکشی و نرخ رسوب سالیانه استفاده و مبنای همبستگی نیز، نرخ رسوب سالانه در واحد کیلومتر مربع تعریف شد. مطابق جدول و شکل (٥) نرخ رسوب سالیانه هر یک از حوضه‌های تحقیق به‌دست آمد همان‌طور که در جدول آمده است پارامترهای مورفومتری شبکه زهکشی در ١٥ حوضه آبریز محاسبه و جهت کشف ارتباط آن با نرخ رسوب سالانه مورد استفاده قرار گرفت. در جدول (٦) محاسبه پارامترهای مورفومتری شبکه زهکشی آمده است.

جدول ٦- محاسبه پارامترهای مورفومتری شبکه زهکشی و نرخ رسوب سالانه

Table 6- Calculation of morphometric parameters of drainage network and annual sedimentation rate

شماره	نام حوضه	طول آبراهه	فرکانس زهکشی	زمان تمرکز	بافت زهکشی	تراکم گسل‌ها	واحدهای فرسایش پذیر	میانگین دبی سالیانه به M3/S	تعداد ناهنجاری سلسله مراتبی	شاخص ناهنجاری سلسله مراتبی	تراکم ناهنجاری سلسله مراتبی	رسوب سالیانه منحنی سنجه و رسوب	رسوب سالیانه روش Ciccacc et al
علام	–	L	Df	Tc	T	Df	E	Q	Ha	Δa	Ga	ss	Log sy
واحد	–	کیلومتر	–	ساع	–	Km/km2	٪	M3/S	n	–	N/km2	Ton/ km2	Ton/ km2
١	دیزباد	١١٥/٩	١٣/٠٣	٠/٠٦	٣/٨٤	٠/٠٠٠٧	٥٤/٦٤	٠/١٣	٢٦٧	٠/٩٥	٩/٢١	٦٨٢/٦١	٧٠٦/٢٩
٢	درود	١٧٩/٤	١٣/٤٤	٠/٩٢	٣/١٦	٠/٠٠٠٥	٨٥/٢٣	٠/٢٧	٨٦٨	١/٨٦	١٩/٣٨	٥٧٠/٩٦	٨٨٠/٣٧
٣	خرو	٢٥٤/٧	١٤/٠٧	١/٠٦	٣/٨٠	٠/٠٠٠٥	٧٣/٥٠	٠/١٣	١١٩١	١/٨١	٢٠/١١	٧٨٩/٥١	١٠٨٦/٢١
٤	میرآباد	٦٥٥/٧	١٤/٧٤	١/٧٧	٣/٤٠	٠/٠٠٠٥	٨٥/٤٣	٠/٢٥	٢٩٩١	١/٧٥	٢٠/١٧	٨٠٣/٢٨	١١٧٣/٩٤
٥	طاغان	٤٤٤/٢	١٤/٤١	١/٦٥	٤/٠١	٠/٠٠٠٤	١٥/٨٠	٠/٤٣	٢٥٤١	٢/٢٦	٢٥/١٤	٨٥٧/٢٥	١٢٩٧/٤١
٦	بار	٤٩٦/٣	١٣/٨٥	٢/٣٥	٤/٩١	٠/٠٠٠٤	٢٨/٤٦	٠/٤٩	١٩٩٣	١/٦٠	١٧/٣٨	٤٦٢/٣٥	١٠٥٥/٧٥
٧	فریزی	١١٤/٢	١٣/٠٤	٢/٣٦	٤/٨٩	٠/٠٠٠٦	٨٩/٣٤	١/٢٨	٥٤٩٣	١/٨٦	١٩/٤٠	١٠٤٤/٥	٩١١/٧٢
٨	گلمک	١٩٢/٣	١٣	١/٦٦	٢/٨٧	٠/٠٠٠٣	٩٠/٠٦	٠/٣١	٧٢٣	١/٥٣	١٥/٤٩	٩٧١/٨٦	٨٨٧/١٩

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-30]

ادامه جدول ٦- محاسبه پارامترهای مورفومتری شبکه زهکشی و نرخ رسوب سالانه

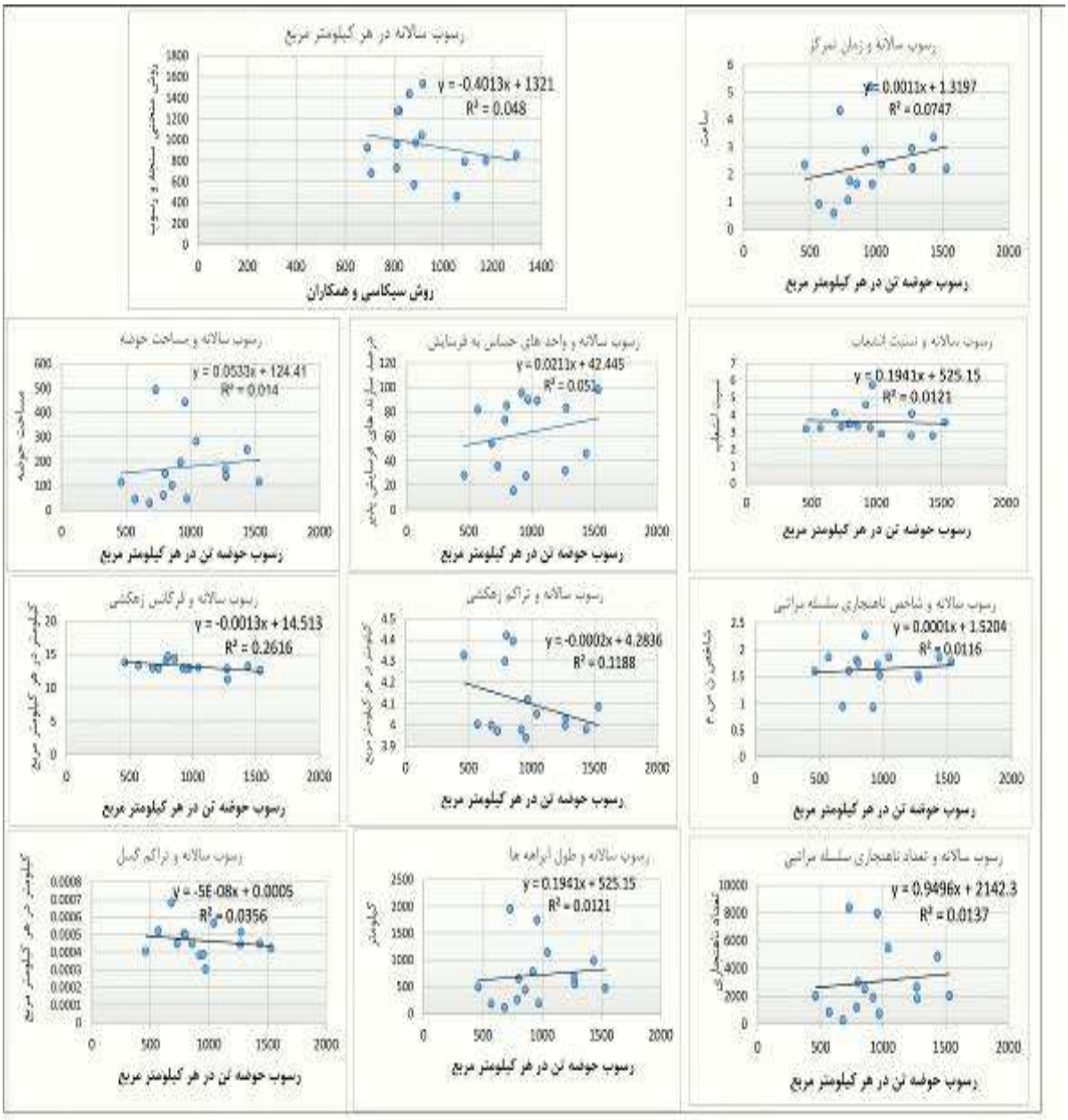
Table 6- Calculation of morphometric parameters of drainage network and annual sedimentation rate

شماره	نام حوضه	طول آبراهه	فرکانس زهکشی	زمان تمرکز	بافت زهکشی	تراکم گسل‌ها	واحدهای فرسایش پذیر	میانگین دبی سالیانه به M3/S	تعداد ناهنجاری سلسله مراتبی	شاخص ناهنجاری سلسله مراتبی	تراکم ناهنجاری سلسله مراتبی	رسوب سالیانه منحنی سنجه و	رسوب سالیانه
۹	شاندیز	۷۸۵/٤	۱۲/۹۸	۲/۸۷	۲۵/۸۷	۰/۰۰۰٤	۹۵/٤۷	۰/۵۱	۱۹۰۱	۰/۹۲	۹/٦۳	۹۲۲/۷۹	٦۹۰/۳
۱۰	طرقبه	٤۷۲	۱۲/٦٤	۲/۲۰	۲٦/٤۵	۰/۰۰۰٤	۹۸/۷۳	۰/۲۱	۲۰۲۵	۱/۷۷	۱۷/۵۳	۱۵۳۳/۰۵	۹۱٦/۹۱
۱۱	طرق	۵۵۱/٤	۱۱/۳٤	۲/۲٤	۳۲/۹۸	۰/۰۰۰۵	۸۳/۵٦	۰/۳۷	۱۸۳۰	۱/٤۸	۱۳/۳۸	۱۲۷۵/۹۷	۸۲۱/۱٦
۱۲	کارده	۱۷٤۳/۹	۱۲/۹۳	۵/۱۹	۵۹/۵۵	۰/۰۰۰٤	۲۷/۸۱	۰/۵٤	۷۹۸۹	۱/۷۲	۱۸/۰٤	۹۵٦/۳٤	۸۰۹/۸۳
۱۳	ارداک	۱۵۵۹/۳	۱۲/۹۷	٤/۳۱	٤۰/٤٦	۰/۰۰۰٤	۳۵/۸۷	۰/۹٤	۸۳۸۰	۱/٦۱	۱٦/۹۸	۷۳۰/۹۷	۸۰۹/۳٤
۱٤	رادکان	۹۸۷/٦	۱۳/۲۸	۳/۳۵	۳۷/۰۷	۰/۰۰۰٤	٤٦/۳۲	۰/۳٤	٤۸۸۵	۱/۸۵	۱۹/٦۷	۱٤۳۷/۰۷	۸٦۱/٤۷
۱۵	کلات	٦٦۹/٦	۱۲/۸۸	۲/۹۵	٤۸/۲٤	۰/۰۰۰٤	۳۲/۰۳	۰/۲۸	۲٦٤۵	۱/۵٤	۱۵/۷۹	۱۲۷۰/۵۸	۸۱۱/۲۲

طبق برآوردهای حاصل روش Ciccacci et al (1985)، حوضه طاغان و میرآباد به‌ترتیب با ۱۲۹۷/٤۱ و ۱۱۷۳/۹٤ تن هر کیلومترمربع بیش‌ترین نرخ رسوب سالانه را داشته و حوضه‌های شاندیز و دیزباد با ٦۹۰/۳ و ۷۰٦/۲۹ تن در هر کیلومتر مربع کم‌ترین نرخ رسوب سالانه را دارد. این در حالی است که نتایج حاصل از منحنی سنجه و رسوب منتج شده از داده‌های سازمان آب منطقه‌ای نشان می‌دهد حوضه‌های طرقبه و رادکان به‌ترتیب با ۱۵۳۳/۰۵ و۱٤۷۳/۰۷ تن و حوضه‌های بار و دررود به‌ترتیب با ٤٦۲/۳۵ و ۵۷۰/۹٦ تن در هر کیلومتر مربع رسوب سالانه دارند. محاسبات حوضه‌های واقع در جنوب‌شرق رشته کوه بینالود دارای رسوب کم‌تری نسبت سایر نقاط می‌باشند. محاسبات نشان می‌دهد حوضه‌های غربی دامنه جنوبی بینالود از رسوب بیش‌تری نسبت به حوضه‌های شرقی برخوردار است. رسوب سالیانه تمامی حوضه‌های دامنه شمالی بینالود در واحد سطح بالا است و هر چه به سمت شرق پیش می‌رویم رسوب حوضه‌ها بیش‌تر می‌باشد به نحوی که حوضه‌های شرقی مانند طرق و طرقبه رسوب بیش‌تری نسبت به حوضه‌های غربی دارند. در رشته کوه هزارمسجد نیز حوضه‌های غربی چون رادکان و کلات، نرخ رسوب سالانه بیش‌تری نسبت به حوضه‌های شرقی دارند. در ادامه به منظور ارزیابی رابطه همبستگی بین پارامترهای ژئومورفومتری حوضه زهکشی و نرخ رسوب حوضه‌ها از رابطه خطی و ضریب همبستگی پیرسون استفاده شد. مطابق شکل (٦)، ابتدا رابطه همبستگی دو روش Ciccacci و همکاران (۱۹۸۷) و نرخ رسوب حاصل از منحنی سنجه و رسوب داده‌های سازمان آب منطقه‌ای مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج حاکی از این است که هیچ ارتباط معناداری بین نتایج روش Ciccacci et al (1985) و داده‌های حاصل از منحنی سنجه و رسوب وجود ندارد. با استفاده از تحلیل‌های آماری چون رابطه خطی (ضریب تعیین R2) و ضریب همبستگی پیرسون و معیار تصمیم ($\sigma 2$) پارامتر نرخ رسوب سالانه در هر کیلومتر مربع از حوضه

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-30]

به عنوان متغیر مستقل و شاخص‌های مورفومتری حوضه آبریز و شبکه زهکشی به عنوان متغیر وابسته رابطه همبستگی ایجاد و مقادیر مندرج در جدول (٦) به‌دست آمد.



شکل ۵: ضریب همبستگی پارامتر رسوب حوضه‌ها با سایر ویژگی مورفومتری حوضه(محاسبات نگارندگان۱۳۹۵)

Figure 5: Correlation coefficient between basin sedimentation parameters with other morphometric characteristics

طبق محاسبات انجام شده بر روی حوضه‌های تحقیق مشخص شد شاخص‌های زمان تمرکز، درصد واحدهای فرسایش پذیر، مساحت حوضه‌ها، تعداد ناهنجاری سلسله مراتبی، طول آبراهه، ناهنجاری سلسله مراتبی به‌ترتیب با ۰/۲۷٤،

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-30]

۰/۲۲۶، ۰/۱۱۸، ۰/۱۱۷ و ۰/۱۰۷ همبستگی ضعیفی با نرخ رسوب سالانه در واحد کیلومتر مربع دارند (جدول ۷). این در حالی است که شاخص‌های تراکم ناهنجاری سلسله مراتبی، نسبت انشعاب، بافت زهکشی، تراکم گسل، تراکم زهکشی و فرکانس زهکشی هیچ‌گونه رابطه‌ای با نرخ رسوب سالانه در حوضه‌های مورد مطالعه نداشته است.

جدول ۷- ماتریس همبستگی پیرسون بین میزان رسوب حوضه‌ها و شاخص‌های مورفومتری

Table 7- Pearson correlation matrix between basin sedimentation and morphometric indices

آماره	شاخص	علامت	معادله	ضریب تعیین R2	ضریب پیرسون PS	ضریب معناداری SIG
	مساحت حوضه ها	A	y = 0.0533x + 124.41	۰/۰۱۴	۰/۱۱۸	۰/۶۷۴
	واحدهای فرسایش پذیر	E	y = 0.0211x + 42.445	۰/۰۵۱	۰/۲۲۶	۰/۴۱۸
	تراکم زهکشی	Dd	y = -0.0002x + 4.2836	۰/۱۱۹	-۰/۳۴	۰/۲۱۵
	فرکانس زهکشی	FD	y = -0.0013x + 14.513	۰/۳۶۳	-۰/۵۱۲	۰/۰۵۱
	بافت زهکشی	T	y = -0.0036x + 40.439	۰/۰۱۵	-۰/۱۲۱	۰/۶۶۹
	تراکم گسل	Df	y = -5E-08x + 0.0005	۰/۰۳۶	-۰/۲۳۸	۰/۳۹۳
	طول آبراهه کیلومتر	L	y = 0.1941x + 525.15	۰/۰۱۲	۰/۱۱۰	۰/۶۹۷
	نسبت انشعاب	Rb	y = 0.1941x + 525.15	۰/۰۱۲۱	-۰/۰۷۲	۰/۸۰۰
	زمان تمرکز	Tc	y = 0.0011x + 1.3197	۰/۰۷۴۷	۰/۲۴۷	۰/۳۲۳
	تعداد ناهنجاری س.مراتبی	Ha	y = 0.9496x + 2142.3	۰/۰۱۴	۰/۱۱۷	۰/۶۷۸
	شاخص ناهنجاری س.مراتبی	Δa	y = 0.0001x + 1.5204	۰/۰۱۲	۰/۱۰۷	۰/۷۰۴
	تراکم ناهنجاری س.مراتبی	Ga	y = -0.0002x + 17.355	۰/۰۰۳	-۰/۰۱۶	۰/۹۵۵

زمان تمرکز (Ts) به عنوان یک فاکتور هیدرولوژیکی ارتباط مستقیمی با سیلاب حوضه‌ها دارد و سیلاب نیز مهم‌ترین عامل افزایش فرسایش و رسوب در سطح حوضه است. در این تحقیق از روش Kirpich (1940) برای محاسبه زمان تمرکز در حوضه‌ها استفاده شد. این شاخص ارتباط مستقیمی با مساحت حوضه‌ها و منحنی CN در حوضه‌ها دارد لذا باعث افزایش نرخ رسوب سالانه حوضه‌ها می‌گردد. درصد سازندهای فرسایش پذیر(E) در حوضه‌ها ارتباط مستقیمی با نرخ فرسایش دارد. سازندهای قرمز بالایی، دلیچای، فلیت‌های سری مایان، سازندهای گچ و مارنی و سازندهای آبرفتی کواترنری جدید ازجمله سازندهایی هستند که تاثیر مستقیمی در نرخ رسوب سالیانه حوضه‌ها دارند. طبق

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-30]

محاسبات ناهنجاری سلسله مراتبی در شبکه زهکشی، عاملی تاثیر گذار در نرخ رسوب سالانه است. این عامل باعث تلاطم و آشفتگی هیدرولوژی شبکه زهکشی شده، افزایش فرسایش در بخش‌های کناری و محل اتصال شبکه زهکشی را سبب می‌شود.

نتیجه‌گیری

پارامترهای ژئومورفومتری شبکه زهکشی از مهم‌ترین عوامل تاثیر گذار بر نرخ رسوب حوضه‌ها می‌باشد. به‌منظور ارزیابی این فرض در این تحقیق، ۱۵ ایستگاه در منطقه شمال‌شرق کشور انتخاب و حوضه‌های بالادست آن‌ها ترسیم و مشخصات کلی حوضه‌ها و پارامترهای مورفومتری شبکه زهکشی که می‌تواند در نرخ رسوب حوضه‌ها تاثیر داشته باشند معرفی و محاسبه شد. سپس از روش Ciccacci, et al (1987) که اساس آن بر پایه مشخصات مورفومتری حوضه است نرخ رسوب سالانه برای حوضه‌های تحقیق برآورد شد. طبق محاسبات بیش‌ترین نرخ رسوب سالانه مربوط به حوضه‌های ارداک و کارده به‌ترتیب با ۳۹۹۳۱۵/۵ و ۳۵۸۵۹۳/٦ می‌باشد و حوضه‌های دیزباد و دررود به ترتیب با ۲۰٤۷۲/۹ و ۳۹٤۳۸/۸ تن در سال دارای کم‌ترین نرخ رسوب سالانه می‌باشند. مهم‌ترین مرحله در هر تحقیق علمی اعتبارسنجی مدل‌های پیشنهادی در تحقیق است. بدین منظور از آمار رسوب سازمان آب منطقه‌ای خراسان رضوی استفاده شد. داده‌های رسوب حوضه‌ها دسته‌بندی و پس از پردازش، داده‌های دارای خطا شناسایی و تصحیح شدند. با توجه به این‌که داده‌های برداشت شده از رسوب با روش نمونه‌برداری روزانه است لذا با استفاده از نسبت رسوب به دبی و همچنین استفاده از آمار دبی ماهیانه این ایستگاه‌ها، میزان رسوب سالیانه هر یک از ایستگاه‌های تحقیق محاسبه شد. طبق محاسبات هیچ ارتباط معناداری بین نتایج روش Ciccacci et al (1985) و داده‌های حاصل از منحنی سنجه و رسوب وجود ندارد. در نتیجه نتایج حاصل از روش Ciccacci et al نشان‌دهنده مقادیر واقعی رسوب سالیانه نمی‌باشد و عوامل دیگری از جمله: میزان بارش سالانه، شدت بارش، وضعیت خاک و کاربری در نرخ رسوب سالیانه این حوضه‌ها نقش دارند که در این روش لحاظ نشده است. در ادامه تحقیق با استفاده ضریب تعیین تعدیل شده (R2) و ضریب همبستگی پیرسون، ارتباط هر یک پارامترهای کمی شبکه زهکشی و نرخ رسوب سالیانه حوضه محاسبه و مورد تحلیل قرار گرفت. از نتایج روش منحنی سنجه و رسوب به‌دست آمده از داده‌های واقعی سازمان آب منطقه‌ای خراسان رضوی بر حسب تن در هر کیلومتر مربع در سال، به عنوان مبنای محاسبه همبستگی بین پارامترها و نرخ رسوب سالانه استفاده شد. طبق محاسبات انجام شده مشخص شد شاخص‌های زمان تمرکز، درصد واحدهای فرسایش پذیر، مساحت حوضه‌ها، تعداد ناهنجاری سلسله مراتبی، طول آبراهه، ناهنجاری سلسله مراتبی به‌ترتیب با ۰/۲۷٤، ۰/۲۲٦، ۰/۱۱۸، ۰/۱۱۷ و ۰/۱۰۷ دارای همبستگی بسیار کم و ضعیف با نرخ رسوب سالانه در واحد کیلومتر مربع می‌باشند. این در حالی است که شاخص‌های تراکم ناهنجاری سلسله مراتبی، نسبت انشعاب، بافت زهکشی، تراکم گسل، تراکم زهکشی و فرکانس زهکشی هیچ‌گونه رابطه‌ای با نرخ رسوب سالانه در حوضه‌های مورد مطالعه نداشته است. در نتیجه در حوضه‌های تحقیق عوامل دیگری همچون کمیت و کیفیت بارش، وضعیت خاک و پوشش گیاهی و کاربری ارضی و مهم‌تر از همه نرخ فرسایش خندقی تاثیرگذار است. طبق تحقیقات صورت گرفته، یکی از مهم‌ترین

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-30]

عوامل افزایش نرخ رسوب در حوضه‌ها گالی‌ها می‌باشد که اگر این عارضه فرسایشی با فرآیندهای تخریبی حاصل از بارش‌های سیلابی همراه گردد می‌تواند نرخ رسوب حوضه‌ها را به شدت افزایش دهد. با توجه به وجود رسوبات سست همچون لس، مارن و رس مربوط به اواخر سنوزوئیک و کواترنر در برخی از حوضه‌های تحقیق، تاثیر این عامل بسیار مهم چشم‌گیر می‌باشد. هرچند بحث فرسایش و رسوب در سطح حوضه‌ها از پیچیده‌ترین و حساس‌ترین مباحث پیش روی پژوهشگران است اما می‌توان با ارایه یک مدل جامع و بومی از منطقه نرخ رسوب سالانه را به دقت محاسبه نمود. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که اگر چه عوامل مورفومتری شبکه زهکشی می‌تواند تاثیر فراوانی بر روی نرخ رسوب سالانه حوضه‌ها داشته باشد اما این عوامل برای یک برآورد دقیق از نرخ رسوب سالانه کافی و مناسب نیست، لذا نیازمند یک مدل دقیق و منطقی هستیم که علاوه بر بررسی عوامل مورفومتری حوضه آبریز، عوامل اقلیمی، هیدرولوژیکی، انسانی و فنولوژیکی حاکم بر حوضه‌های آبریز نیز بررسی و مورد ارزیابی قرار گیرند. لذا نتایج حاصل از روش Ciccacci et al نشان‌دهنده مقادیر واقعی رسوب سالیانه نمی‌باشد و عوامل متعدد دیگری در نرخ رسوب سالیانه این حوضه‌ها مانند نرخ بارش سالانه، شدت بارش، وضعیت خاک و کاربری اراضی در نرخ رسوب سالیانه نقش دارند که در این روش لحاظ نشده است. این قبیل مطالعات می‌تواند با درک روابط همبستگی بین پارامترهای اصلی حوضه آبریز و فرآیندهای ژئومورفیک موثر در آن‌ها، میزان نرخ رسوب سالانه حوضه‌ها را تعیین و روند تکامل حوضه‌ها را تعیین نماید. همچنین با معرفی عوامل تاثیرگذار در افزایش نرخ رسوب سالانه راهنمای مناسبی در تدوین خط و مشی برنامه‌های حفاظت آب‌وخاک باشد.



شکل ٦: تصویر A- شخم زدن دامنه در راستای شیب زمین و تشدید فرسایش، تصویر B- عملیات راه‌سازی باعث فرسایش دامنه (حوضه آبریز طرق)، تصویر C- افزایش بار رسوب معلق رودخانه طرق در اثر رگبارهای بهاری، تصویر D- توالی سازندهای زمین‌شناسی در مسیر رودخانه میرآباد تصویر E- ایستگاه هیدرومتری حوضه بار.

Figure 6: Image A- Plowing the slope in the direction of gradient and exacerbating erosion, Image B- Road construction causes erosion of the slope (Torogh basin), Image C- Increased sediment load of the river by the spring rainfall, Picture D- Geological formation sequence on the Meadrabad river direction, Image E- Hydrometric station in Bar basin.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-30]

References

- Ahmadi, H., Jafari, M., Golkarian, A., Abrisham, E., Laflen, J., (2007), "Estimating water erosion and sediment using WEPP model (Case study of Bar-Erieh watershed, Neyshabur)", ***Pajouhesh & Sazandegi***, 75: 161-172. [In Persian].
- Aksoy, A., Kavvas, M., (2005),"A review of hillslope and watershed scale erosion and sediment transport models", ***Catena***, 64: 247-271.
- Alaei Taleghani, M., (2009), "***Geomorphology of Iran***", Tehran: Ghomes publication. [In Persian].
- Alexander, GN., (1972), "Effect of catchment area on flood magnitude", ***Journal of Hydrology***, 16 (3): 225-240.
- Alizadeh, A., (2013), ***"The principles of applied hydrology***", 36th Edition, Imam Reza publication: Mashhad. [In Persian].
- Avena, G. C., Giuliano, G., Lupia Palmieri, E., (1967), "Sulla valutazione quantitativa della gerarchizzazione ed evoluzione dei reticoli fluviali", ***Bollettino della Societa Geologica Italiana***, 86: 81-796.
- Bahrami, Sh., (2013), "Analyzing the drainage system anomaly of Zagros basins: Implications for active tectonics", ***Tectonophysics***, 608: 914-928.
- Bahrami, Sh., Abkari, E., Motamedi Rad, M., (2015), "Geometry analysis of drainage basins by means of tectonic geomorphology indicators (Case study: Sadkharv, Kalateh-Sadat, Farub-Ruman and Gelian catchments), ***Journal of geographical space***, 14 (48): 199-222. [In Persian].
- Baroni, C., Noti, V., Ciccacci, S., Righini, G., Salvatore, M. C., (2005), "Fluvial origin of the valley system in northern Victoria Land (Antarctica) from quantitative geomorphic analysis", ***GSA Bulletin***, 117: 212-228
- Bomeri, M., Nahtanifar, A. B., Radfar, Sh., Mahdavi, A., (2011), "Identification of flood plains and physiographic and quantitative features of diving basin using GIS and remote sensing, ***Geography And Development Iranian Journal***, 9 (22): 129-14. [In Persian].
- Chorley, R. J., (1969), "The drainage basin as the fundamental geomorphic unit', a synthesis of hydrology, geomorphology and socio-economic geography", ***Methue Methuen***, 26: 77-9
- Ciccacci, S., Fredi. P., Palmieri, E. L., Pugliese, F., (1986), "Indirect evalution of erosion entity in drainage basins through geomorphic, climatic and hydrological parameters".Gardiner, V. (Ed.), International Geomorphology Part II. John Wiley & Sons Ltd, Chichester, pp 33-48
- Darabi, H., Solaimani, K., Shahedi, K., Miryaghubzadeh4, M., (2013), "Sub-watersheds classification based on morphometric parameters using cluster analysis in Pol-Doab Shazand watersh", ***Water and Soil Science***, 22 (4): 199-211. [In Persian].
- DiBiase, R. A., Kelin, X.,Whipple, A., Arjun, M., Heimsath, A., William, B., Ouimet, B., (2010), "Landscape form and millennial erosion rates in the San Gabriel Mountains, ***CAEarth and Planetary Science Letters***, 289: 134-144.
- Fathizad, H., Karimi, A., Tavakoli, M., (2016), "Role of sensitivity of erosion the geological formations at erosion rate and sediment yield (Case study: Sub-basins of Doviraj river, Ilam province)", ***Journal of Watershed Management Research***, 7 (13): 208-193. [In Persian].
- Goudie, A., (2004), ***"Encyclopedia of geomorphology***," vol 2, Internatinal association of Geomorphology: London.
- Guarnieri, P., Pirrotta, C., (2008), "The response of drainage basins to the late quaternary tectonics in the Sicilian side of the Messina Strait (NE Sicily)", ***Geomorphology***, 95: 260-273.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-30]

- Gupta, V., Waymire, E., Wang, C., (1980), "A representation of an instantaneous unit hydrograph from geo- morphology", ***Journal of Water Resource***, 16: 855-862.
- Hakimkhani, Sh., Arab Khedri, M., (2006), "Regression analysis between suspended sediment and hydrogeomorphometric characteristics of Lake Urmia Basin", ***Agricultural Science Journal***, 4 (17): 223-231. [In Persian].
- Harlin, J. M., (1984), "Watershed morphometry and time to hydrograph peak", ***Journal of Hydrology,*** 67: 141-154.
- Horton, R. E., (1932), "***Drainage basin characteristics***", American Geophysical Union: Washington, DC.
- Hosseinzadeh, S. R., Jahadi, T. M., (2010), "Assessing the quality and accuracy of drainage morphometric analyses of drainage networks extracted from digital elevation models: A case study on Robate Gharebil catchment in Northern Khorasan", ***Geography and Regional Development***, 8 (14): 183 -212. [In Persian].
- Hurtrez, J. E., Lucazeau, F., Lavé, J., Avouac, J. P., (1999), "Investigation of the relationships between basin morphology, tectonic uplift, and denudation from the study of an active fold belt in the Siwalik Hills, central Nepal", ***Journal of Geophysical Research***, 104:12779-12796.
- Iran Water Resource Management Company (IWRMC), (2008), "***Data base of Iran Water Resources KhorasanRazavi Province***", Tehran. [In Persian].
IRIMO, (2017)," ***Meteorological organization country***", Tehran. [In Persian].
- Jokarsarhangi, E., AmirAhmadi, A., Nikzad, E., (2009), "Modeling the flood estimation of the northern sub-areas of Alborz mountains using quantitative geomorphology and morphometric properties and using the geographic information system", ***Journal of Geography and Planning***. 14(29):162-141. [In Persian].
- Keller, E. A., (1986), "Investigation of active tectonics: Use of surficial earth processes", **Active tectonics**, 136-147.
- Leopold, L. B., Langbein, W. B., (1962), "The concept of entropy in landscap evolution", ***US Geological Survey Professional Paper***, 1: 1-26.
- Leopold, L. B., Wolman, M. G., (1957), "River channel patterns: Braided, meandering and straight", ***US Gcological Survey Profcssional Papcr***, 282: 39-85.
- Miller, J. P., (1958), "***High mountain streams: Effects of geology on channel characteristics and bed material***", New mexico: State Bureau of mines and minral resource.
- Montgomery, D. R., Brandon, M.T., (2002), "Topographic controls on erosion rates in tectonically active mountain ranges", ***Earth Planet, Sci. Lett***, 201:481-489.
- Onagh, M., Nahtani, M., (2004), "Relationship between geomorphologic units and erosion and sediment production in Gorganrood Kashidar watershed", ***Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources***, 11 (1): 157-170. [In Persian].
- Rangzan, K., Zarasvandi, A., Heydari, A., (2008), "Comparison of EPM and MPSIAC models in gis & rs for erosion and sediment yield assessment of the Pegah-Sorkh basin, Gotvand area, Khuzestan province, Iran", ***Physical Geography Research Quarterly***, 40 (64): 123-136. [In Persian].
- Restrepo, J. D., Kjerfve, B., Hermelin, M., (2006), "Factors controlling sediment yield in a major South American drainage basin: The Magdalena river, Colombia", ***Journal of Hydrology***, 316 (1): 213-232.
- Schumm, SA., (1963), "Sinuosity of alluvial rivers on the great plains", ***Bulletin of the Geological Society of America***, 74: 1089-1100.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-30]

- Kirpich, Z. P., (1940), "Time of concentration of small agricultural watersheds", ***Civil Engineering***, 6: 362- 1940.
- Seta, M. D., Monte, M. D., Fredi, P., Palmieri, E. L., (2007), "Direct and indirect evaluation of denudation rates in Central Italy", ***Catena*** 71:21-30.
- Shabanian, E., Bellier, O., Siame, L., Abbassi, MR., Bourlès, D., Braucher, R., Farbod, Y., (2012), "The Binalud mountains: A key piece for the geodynamic puzzle of NE Iran, ***Tectonics***, 31: 280-304.
- Shariajafari, M., Ghyomiyan, J., (2005), "Relationship and correlation study between sedimentation with slope failure and land drain in central Taleghan basin", ***Geosciences Researches Journal***, 14 (55): 90-97. [In Persian].
Strahler, A. N., (1957), "Quantitative analysis of watershed geomorphology", ***Transactions American Geophysical union***, 38 (6): 913-920.
- Strahler, A. N., (1964), "Quantitave geomorphology of drainage basins and channel networks", In: McGraw, H., (ed) , Handbook of Applied Hydrology, Book Company, New York, pp 222-242.
- Suresh, M., Sudhakar, S., Tiwari, K. N., Chowdary, V. M., (2004), "Prioritization of watersheds mophometric parameters and assessment of surface water potential using remote Sensing"**,** ***Journal of tl Indian Society of remote sensing***, 3: 249-259
- Tuseta, J. D., Vericata, B., Batallaa, R., (2016), "Rainfall, runoff and sediment transport in a Mediterranean mountainous catchment", ***Journal of Science of The Total Environment***, 540 (1): 114-132.
- Vanoni, V. A., (1975), "***Sedimentation engineering***", Manuals & Reports on Engineering Practice, American Society of Civil Engineers: New York, USA.
- Walling, D. E., (2017), "***Measuring sediment yield from river basins***", In Soil erosion research methods", New York: Routledge.
- Zhang, H.Y., Shi, Z. H., Fanga, N. F., Guoa, M. H., (2015), "Linking watershed geomorphic characteristics to sediment yield: Evidence from the loess plateau of China", ***Geomorphology,*** 234: 19-27.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-30]