نشریه علمی-پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز
جلد ۱۳، شماره ۱، ۱۴۰۰، صفحات ۲۳۵-۲۴۴

Journal of Watershed Engineering and Management
Volume 13, Issue 1, 2021, Pages 235-244
DOI: 10.22092/ijwmse.2020.351092.1818

# گزارش فنی

# بررسی و شناخت ویژگی‌های فرسایش و لیتولوژی مسیر حاشیه رودخانه‌ها و مسیل‌های منطقه سیستان

**منصور جهان‌تیغ*[۱] و سیداحمد حسینی[۲]**

[۱] دانشیار بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی سیستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، زابل، ایران و [۲] استادیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۳/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۷/۰۵

**چکیده**

هدف از اجرای این پژوهش، شناخت ویژگی‌های فرسایش و لیتولوژی مسیر حاشیه رودخانه‌ها و مسیل‌های منطقه سیستان بود. بدین منظور، وضعیت رودخانه‌های منطقه بر اساس حوزه‌های آبخیز مشخص و اقدام به جمع‌آوری آمار و اطلاعات، تهیه و رقومی‌سازی نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰۰ سیستان و استخراج اطلاعات مکانی و توصیفی و همچنین، آمار و اطلاعات مربوط به انواع فرسایش در رودخانه‌ها و مسیل‌های استان با استفاده از داده‌های موجود در گزارشات قابل دسترس و بازدیدهای میدانی جمع‌آوری شد. اطلاعات مربوط به انواع سازندهای زمین‌شناسی نیز با استفاده از نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی جمع‌آوری شد. مناطق حساس به فرسایش در طول مسیر رودخانه با استفاده از نقشه‌های حساس به فرسایش و نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰۰ زمین‌شناسی، حساسیت سازندها نسبت به فرسایش در کناره آبراهه‌ها ارزیابی شد. از مهمترین عوامل موثر ایجاد فرسایش در این حوضه شرایط زمین‌شناسی آن می‌باشد. بخش عمده‌ای از ابتدای حوزه‌های آبخیز مورد بررسی به‌وسیله نهشته‌های رسوبی (ناپیوسته) کواترنر پوشیده شده است که حساسیت زیادی نسبت به فرسایش آبی دارد. همچنین، دشت سیستان پوشیده از رسوبات دریاچه‌ای نئوژن و آبرفت‌های کواترنر است. طبقه‌بندی بستر رودخانه‌های منطقه سیستان نشان می‌دهد که سنگ، مخروط‌افکنه و سایر واحدها به‌ترتیب ۲۰/۷، ۳۸/۱ و ۴۱/۲ درصد طول مسیر آن‌ها را تشکیل می‌دهد. ۷/۲ درصد رودخانه‌های مورد بررسی تحت تاثیر فرسایش قرار گرفته که سهم نوع کناری و کف بستر ۸۵/۱ و ۱۴/۹ درصد بوده است.

**واژه‌های کلیدی:** حساسیت سازندها، فرسایش‌پذیری، کواترنر، مخروط‌افکنه، مناطق حساس به فرسایش

**مقدمه**

رشد سریع جمعیت و به‌دنبال آن افزایش تقاضا برای تامین نیازهای غذایی و استفاده نامعقول از منابع طبیعی یکی از چالش‌هایی است که روزگار کنونی با آن روبروست و با گذشت زمان نیز بر دامنه این نابسامانی‌ها افزوده می‌شود که ماحصل آن بروز پدیده فرسایش می‌باشد. هر چند فرسایش اجتناب‌ناپذیر بوده، نمی‌توان آن را کاملاً از بین برد، ولی فعالیت‌های انسانی می‌تواند آن‌را تشدید یا کاهش دهد. آثار سوء پدیده فرسایش در کوتاه‌مدت شاید چشمگیر و محسوس نباشد، ولی در بلندمدت اثرات سوء آن به‌وضوح بروز می‌کند. زیرا فرسایش با پدیده‌هایی از قبیل کاهش بازدهی زمین‌های زراعی، افت آب زیرزمینی و شور شدن آن، بروز طوفان‌های شنی،

* مسئول مکاتبات: mjahantigh2000 @yahoo.com

کاهش اشتغال، مهاجرت‌های بی‌رویه و ... همراه است. در حال حاضر، انواع فرسایش خاک وجود دارد که نوع رودخانه‌ای یکی از مهمترین آن‌ها به حساب می‌آید. این نوع فرسایش سالانه خسارات زیادی را به اراضی مستعد وارد ساخته و همواره با تغییر مورفولوژی رودخانه‌ها همراه است. از بین رفتن پوشش گیاهی و به‌دنبال آن کاهش نفوذپذیری و ایجاد هرز آب بر سطح خاک یکی از دلایل فرسایش می‌باشد. لذا، خاک‌ها و کناره‌هایی که دارای پوشش گیاهی هستند، کمتر در معرض فرسایش قرار می‌گیرند (Jahantigh، ۲۰۱۱). یکی از انواع فرسایش، نوع رودخانه‌ای است که خسارات زیادی به اراضی مجاور وارد ساخته، باعث تغییر مورفولوژی رودخانه‌ها می‌شود. چنین روندی، خاک حاصلخیز زیادی را از دسترس خارج و خسارات بالایی به پایین دست تحمیل می‌کند. میزان فرسایش خاک در کشور سالانه حدود دو میلیارد تن در سال برآورد شده است (Nikkami و همکاران، ۲۰۲۰). پوشش گیاهی نقش موثری در کاهش فرسایش خاک دارد، استفاده مناسب از پوشش گیاهی روش مناسبی برای اصلاح مسیر و بهسازی رودخانه در جهت کاهش خسارات سیلاب است. مقاومت و سازگاری گیاه در مقابل شوری، کم‌آبی، قدرت جوانه‌زنی در زمین‌های سخت و صخره‌ها و زمین‌های شیب‌دار و همچنین، مقاومت در مقابل سیلاب باعث افزایش مقاومت برشی خاک و افزایش پایداری شیب‌های خاکی می‌شود ( Nik Manesh، ۲۰۰۷). در حوضه‌های مناطق خشک قسمت اعظم آبراهه‌ها را خشک رودها یا مسیل‌ها تشکیل می‌دهند (Alizadeh، ۱۹۹۹). فرسایش رودخانه‌ای در اثر حرکت جریان آب و نیرویی که از طرف جریان به بستر و کناره ها وارد می‌شود، صورت می‌گیرد. در اثر نیروی برشی که بر بستر رودخانه‌ها وارد می‌شود، خاک از بستر جدا و فرسایش ایجاد می‌شود. میزان فرسایش با شیب رابطه مستقیم دارد (Nemec، ۱۹۶۴). جریان آب در یک رودخانه پیچ و خمدار است، بیشینه سرعت از یک طرف آبراهه به طرف دیگر آن متغیر می‌باشد که فرایند نهایی آن بیشینه فرسایش در قسمت خارجی و تشکیل رسوب در بخش داخلی انحنای آن است (Refahi، ۲۰۰۰). عوامل موثری مانند شیب متوسط بستر رودخانه، نوع سنگ‌ها در مسیر رودخانه‌ها و همچنین، انرژی پتانسیل سیلاب‌ها در ایجاد فرسایش رودخانه‌ای نقش دارند (Mamodi، ۱۹۹۶). مسیر مستقیم رودخانه نشان‌دهنده شیب زیاد آن می‌باشد. بنابراین، رودخانه‌های کوهستانی از فرسایش زیادی برخوردارند. اگر مانعی در مسیر رودخانه به‌وجود آید، آن را از مسیر خود بر می‌دارد و رودخانه در چنین نقاطی عمیق‌تر نیز می‌شود که ماحصل آن دره‌های جوان با دیواره‌های تند و V شکل است. در نقاطی که رودخانه از انحنای زیادی برخوردار است، عمق رود خانه و کنار بستر آن نیز توسعه می‌یابد. سیلاب‌های حجیم در رودخانه‌های پر شیب، تغییرات بارزی در مورفولوژی آن‌ها ایجاد می‌کند (Petersen، ۱۹۸۶). به‌دلیل کمبود بارندگی رودخانه‌های فصلی در طی یک دوره زمانی طولانی خشک و فاقد جریان هستند و معمولا مقطع معرف این رودخانه‌ها عریض، کم‌عمق و مستطیل شکل با نسبت عرض به عمق۵۰ یا بیشتر می‌باشد. علاوه‌بر آن، این رودخانه‌ها فاقد جریان پایه هستند و فقط در هنگام وقوع بارندگی جریان دارند (Petersen، ۱۹۸۶). رودخانه‌های فصلی در مناطق خشک با مقطع مستطیلی، عرض زیاد و عمق کم و با تغییرات شدید دبی و رسوب، مشخصات ژئومورفولوژی متفاوت از رودخانه‌های مناطق مرطوب دارند. در خصوص هندسه رودخانه‌های فصلی، این شکل‌گیری به‌دلیل افت انتقال آب در اثر تغذیه سفره آب زیرزمینی است. کاهش جریان در جهت پایین‌دست، پتانسیل حمل و انتقال رسوبات و شرایط ته‌نشینی مواد رسوبی و بالا آمدن کف بستر را فراهم می‌کند. نتایج پژوهش Hossinkhani (۲۰۱۳) نشان داد که سه عامل لیتولوژی، پوشش سطح زمین و فرسایش آبراهه‌ای نقش اساسی در فرسایش و رسوب دارد. در پژوهشی Ramlakhan و Khanbilvardi (۱۹۸۸) برای برآورد فرسایش کناری رودخانه‌ها مدل تجربی را پیشنهاد دادند که بر اساس حجم مواد همراه سیلاب محاسبه می‌شود. Jennifer و همکاران (۲۰۰۶) فرسایش کناری رودخانه Willamette را بر اساس فرسایش‌پذیری آن‌ها برآورد کردند. آنان گزارش دادند که میزان فرسایش کناری در محدوده‌های مخروط‌افکنه سه تا پنج برابر بیش از محل‌های دارای گراول دوران پلیستوسن

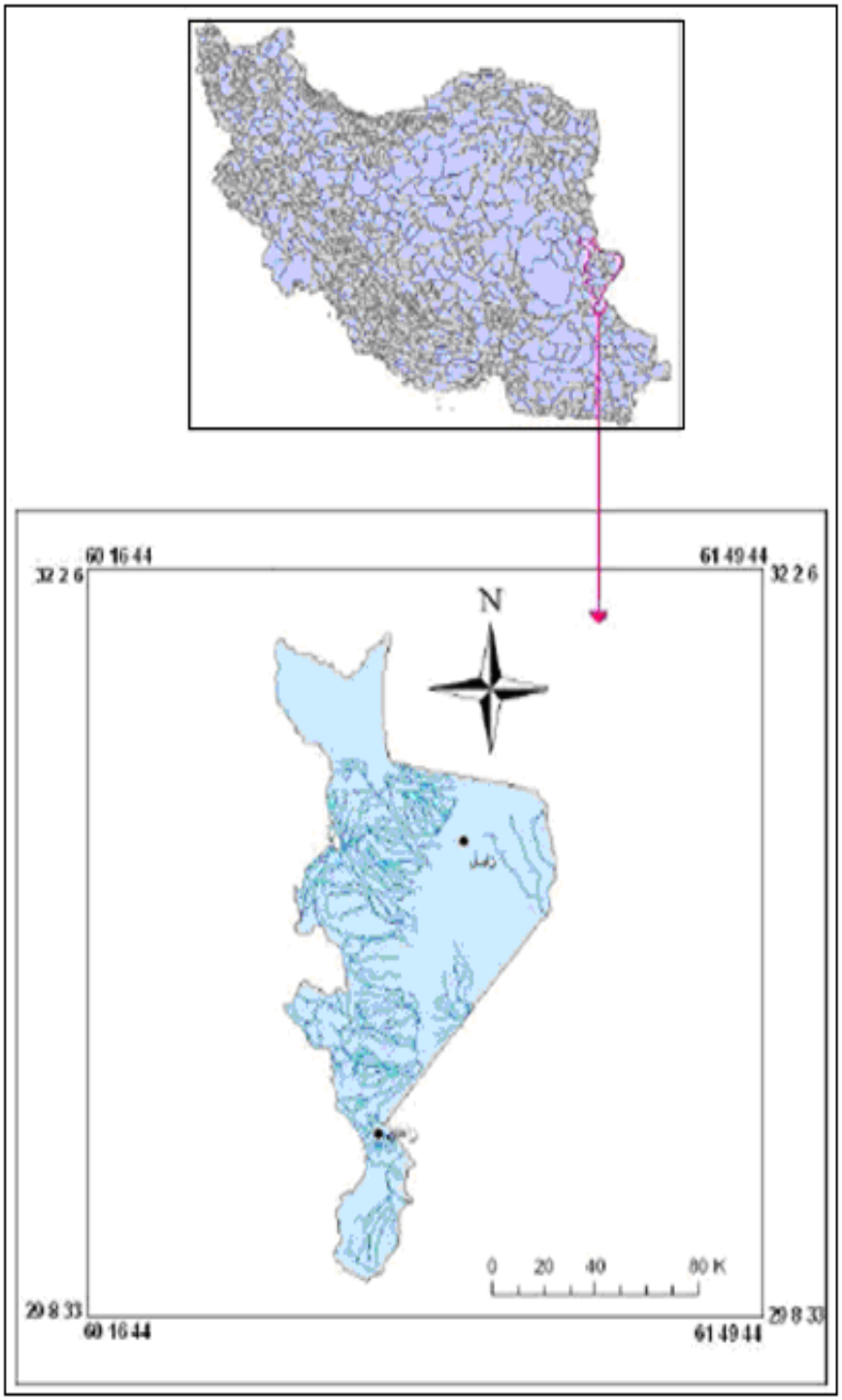
زمین‌شناسی است. Hosseini (۲۰۰۶) در طرح محوری بررسی و شناخت ویژگی‌های رودخانه و مسیل‌های کشور اطلاعات متنوعی مشتمل بر محل، موقعیت، نوع و شبکه آبراهه‌ها، ارتفاع بیشینه، ارتفاع کمینه، طول رودخانه، شیب طولی، مختصات جغرافیایی، نوع سازند زمین‌شناسی مسیر رودخانه‌ها وضعیت فرسایش بستری و کناری رودخانه‌ها، درصد حساسیت به فرسایش، نوع اراضی حاشیه رودخانه (کشاورزی، مرتعی و ...) و غیره را در ۱۰ استان کشور استخراج و طبقه‌بندی کردند. Phillips و Marden (۲۰۰۸) تحقیقی که بر روی رودخانه Orinocco در کشور نیوزلند انجام دادند، فرسایش کناری را بر اساس خصوصیات هیدرولیکی و شیب به دو دسته طبقه‌بندی کردند. Lawler (۱۹۹۳) فرسایش رودخانه‌ای را بر اساس مدت زمان اتفاق افتادن (کوتاه‌مدت، میان‌مدت و طولانی) و قابل تکرار بودن آن دسته‌بندی کرد. James و همکاران (۲۰۱۳) فرایند سواحل رودخانه‌ها را مورد بررسی قرار داد. نتایج کار آنان نشان داد که هشت درصد طول آن‌ها را توده‌های واریزه‌ای تشکیل داده، در حالی‌که ۳۳ و ۱۹ درصد آن را به‌ترتیب مخروط‌افکنه و محدوده فرسایش یافته تشکیل می‌دهد. Parsons و همکاران (۲۰۰۲) نیز با مروری کلی بر روش‌های ارزیابی فیزیکی رودخانه، سامانه‌های طبقه‌بندی رایج در استرالیا را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها روش‌های اندیس شرایط رودخانه‌ای و ژئومورفیک رودخانه‌های استرالیا مورد استفاده قرار دادند. نتایج کار آنان نشان داد که با توجه به قابلیت تغییر زیاد جریان و مورفولوژی پیچیده کانال‌ها، روش استرالیایی بهتر از روش بریتانیایی برای طبقه‌بندی رودخانه‌های محلی جواب می‌دهد. Rinaldi (۲۰۰۳) گزارش داد که عواملی از قبیل ساخت و ساز، تغییر کاربری اراضی اطراف رودخانه‌ها، ایجاد پوشش سنگی و ساخت سد باعث تغییر مسیر رودخانه‌ها می‌شود. وی معتقد است که ۶۰ درصد فرسایش رودخانه lllinois در زمان پر آبی صورت می‌گیرد. نتایج کار Velasco و همکاران (۲۰۰۳) نشان داد که بهینه‌سازی تثبیت رودخانه‌ها که از طریق سازه‌ای و غیرسازه‌ای قابل انجام است، از پیشرفت‌های مهم در مهندسی رودخانه محسوب می‌شود. در این بین نقش گیاهان رودخانه‌ای در دینامیک رودخانه و شرایط جریان، دارای نقشی حیاتی است. Thorne (۱۹۹۰) گزارش داد که پوشش گیاهی رابطه پیچیده‌ای با مورفولوژی و دینامیک رودخانه دارد، به‌طوری‌که دیواره‌های آن را به نحو مطلوبی محافظت می‌کند. بررسی و شناخت ویژگی‌های فرسایش رودخانه‌ها و مسیل‌های منطقه سیستان اساس این طرح را تشکیل می‌دهد.

## مواد و روش‌ها

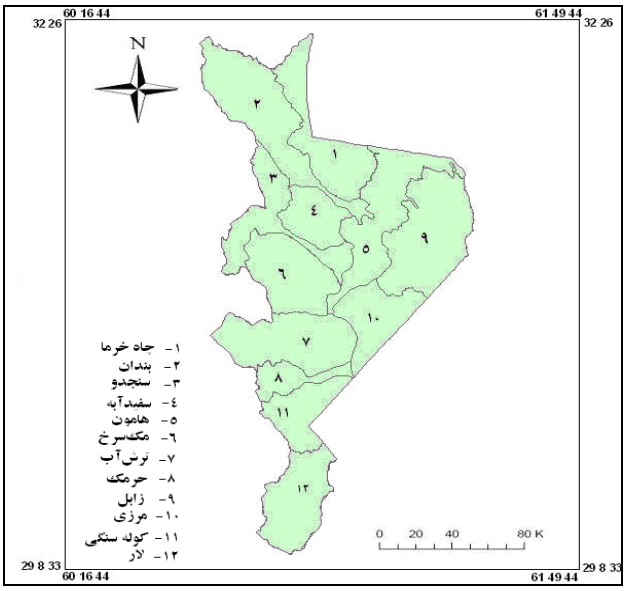
**منطقه مورد پژوهش:** در شمال استان سیستان و بلوچستان، شامل شهر زاهدان و منطقه سیستان با مختصات ″۴۴ ′۴۹ °۶۱ تا ″۴۴ ′۱۶ °۶۰ طول شرقی و ″۶ ′۲ °۳۲ تا ″۳۳ ′۸ °۲۹ عرض شمالی و ارتفاع متوسط ۲۲۰۰-۴۸۰ متری از سطح دریا واقع شده است. وسعت حوزه آبخیز سیستان ۲۱۰۱۹۰۰ هکتار است (شکل ۱). با توجه به شرایط اکولوژیکی محدوده مورد بررسی جزء مناطق خشک و بحرانی کشور محسوب می‌شود. کمبود آب و رطوبت از چالش‌هایی است که حیات در این منطقه را تحت و شعاع خود قرار می‌دهد، به‌طوری‌که این شرایط سخت اکولوژیکی استقرار و رویش پوشش گیاهی را با محدودیت همراه ساخته است. متوسط بارندگی سالیانه در منطقه مورد بررسی بین ۱۲۰-۶۰ میلی‌متر است که بیشترین آن در فصل زمستان ریزش می‌کند. میانگین درجه حرارت، متوسط بیشینه و بیشینه مطلق سالیانه به‌ترتیب ۱۸، ۲۵ و ۴۳ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. پوشش گیاهی آن را انواع شورپسند از جمله گز و نی، سالسولا و خارشتر تشکیل می‌دهد. از شاخص‌های بارز منطقه، بادهای شدید از جمله باد ۱۲۰ روزه سیستان است که معمولا با گرد و غبار همراه می‌باشد و زندگی در سیستان را با مشکل مواجه می‌سازد. خاک منطقه سنگین با زهکشی کم که شوری پدیده غالب آن محسوب می‌شود.

**روش پژوهش:** برای اجرای این پژوهش، حوضه مورد مطالعه به ۱۲ زیرحوضه تقسیم شد. موقعیت رودخانه‌های منطقه بر اساس حوزه‌های آبخیز مشخص و اقدام به جمع‌آوری آمار و اطلاعات، تهیه و رقومی‌سازی نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰۰ سیستان و استخراج اطلاعات مکانی و توصیفی و همچنین،

جمع‌آوری آمار و اطلاعات مربوط به انواع فرسایش در رودخانه‌ها و مسیل‌های استان با استفاده از اطلاعات مندرج در گزارشات قابل دسترس و بازدیدهای میدانی شد (شکل ۲). اطلاعات مربوط به انواع سازندهای زمین‌شناسی با استفاده از نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی جمع‌آوری شد. مناطق حساس به فرسایش در طول مسیر رودخانه با استفاده از نقشه‌های حساسیت به فرسایش و نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰۰ زمین‌شناسی، حساسیت سازندها نسبت به فرسایش در حاشیه آبراهه‌ها ارزیابی شد و در نهایت، بستر رودخانه‌ها و مسیل‌های منطقه از لحاظ زمین‌شناسی (شامل طول واقع درمسیر سنگی یا آبرفتی و سایر واحدها) و همچنین، نوع و میزان فرسایش شناسایی شد.




**شکل ۱**- موقعیت حوضه مورد مطالعه در کشور بر اساس نقشه تماب




**شکل ۲**- موقعیت زیرحوزه‌های آبخیز مورد مطالعه بر اساس نقشه تماب

## نتایج و بحث

طول رودخانه‌های منطقه سیستان ۲۹۹۷/۱ کیلومتر اندازه‌گیری شد. حوضه چاه خرما جزء سازند پلنگ و مربوط به دوران‌های کرتاسه بالایی، پلیستوسن، پلیستوسن-هالئوسن، نئوژن-کواترنری هالئوسن می‌باشد. از لحاظ لیتولوژی دارای کنگلومرای پلی‌میکریت و سنگ آهک آواری، مخروط‌افکنه جوان، پهنه‌های گراولی، پادگانه‌ها، سنگ آهک، آبرفت‌های ریز و رسوبات رودخانه‌ای است. در این منطقه هفت، ۴۳ و ۳۱۰/۲ کیلومتر از مسیر رودخانه به‌ترتیب سنگ، مخروط‌افکنه و سایر واحدها است. همچنین، ۱۱/۱ و دو کیلومتر از رودخانه‌های آن به‌ترتیب تحت تاثیر فرسایش کناری و کف بستر قرار گرفته است. حوضه بندان متعلق به سازند پلنگ، واحد افیولیتی و دوران‌های زمین‌شناسی پلیستوسن-هالئوسن، پالئوژن (پالئوسن-ائوسن)، کرتاسه بالایی-ائوسن است. از لحاظ لیتولوژی، این منطقه دارای کنگلومرا، به‌ویژه نوع سخت و رگه‌های ریزجدا شده، لایه‌های گابرو، ترکیبات ولکانیک، سنگ‌های آهکی رسوبی، بلوک‌های مارپیچی قرمز، صخره‌های متامورفیک و سنگ‌های آهکی کوچک قرمز می‌باشد. ۴۲/۸، ۴۹/۱ و ۶۰ کیلومتر از مسیر رودخانه‌های حوضه دارای سنگ، مخروط‌افکنه و سایر واحدها است. در ۲۳/۲ و ۳/۶ کیلومتر طول آن‌ها نیز فرسایش کناری و کف‌بستر صورت گرفته است. حوضه سنجدو دارای واحدهای کنگلومرا، به‌ویژه نوع سخت، لایه‌های گابرو، ترکیبات ولکانیک، سنگ‌های آهکی رسوبی، صخره‌های متامورفیک و سنگ‌های آهکی کوچک قرمز می‌باشد. همچنین، در پایین‌دست آن مخروط‌افکنه قدیمی و مخروط‌افکنه پوشیده از سنگریزه گسترش یافته است. ۱۱۰/۱، ۱۸۷/۱ و ۵۳/۱ کیلومتر از طول رودخانه‌ها در مسیر سنگ، مخروط‌افکنه و سایر واحدها قرار داشته، در ۳۵/۶ و سه کیلومتر آن‌ها فرسایش کناری و کف‌بستر دیده می‌شود. حوضه سفیدآبه جزء سازند سفیدآبه و از لحاظ سن مربوط به دوران پالئوژن، پلیستوسن، هالئوسن، نئوژن و کواترنری می‌باشد. از لحاظ لیتولوژی دارای مارن، ژیپس قرمز، مقدار جزئی سنگ آهک، مخروط‌افکنه‌های جوان، پهنه‌های گراولی، پادگانه‌هایی از ماسه و گراول، پهنه‌های سیلابی، آبرفت‌های سخت نشده، توف و بازالت و کنگلومرای کوچک، آبرفت‌های ریز، رسوبات رودخانه‌ای و لایه تحت ماسه‌های متوسط تا ریزدانه است. مسیر سنگی، مخروط‌افکنه و سایر واحدها در رودخانه‌های این حوضه به‌ترتیب ۲۷، ۲۲۳/۴ و ۱۴۳/۷ کیلومتر بوده، ۲۶/۳ و دو کیلومتر آن تحت تاثیر فرسایش کناری و کف بستر واقع شده است. حوضه مک‌سرخ-اومار جزء سازندهای سفیدآبه و چاپو و مربوط به دوره‌های هالئوسن، پلیستوسن-هالئوسن، کرتاسه بالایی، پالئوژن (پالئوسن)، نئوژن-کواترنری می‌باشد. از لحاظ لیتولوژی دارای نهشته‌های سیلابی، آبرفت‌های سخت

نشده، گلسنگ کربناته و شیل، ماسه سنگ، توف و بازالت و کنگلومرای کوچک، لایه‌های بیو مکریت، بیومیکریت‌های متوسط تا ضخیم لایه و علاوه‌بر آن مقداری گلسنگ است. ۱۱۴، ۱۲۴/۲ و ۶۴/۵ کیلومتر از مسیر رودخانه‌ها را سنگ، مخروط‌افکنه و سایر واحدها تشکیل می‌دهد و در ۱۷/۸ و یک کیلومتر از طول رودخانه‌های آن نیز فرسایش کناری و کف بستر روی داده است. حوضه ترش‌آب مربوط به سازند دوکوهه و متعلق به دوران‌های پالئوژن (پائوسن)، پلیستوسن-هالئوسن، کرتاسه بالایی-پالئوژن، نئوژن (پلیوسن)، پالئوژن-نئوژن (الیگوسن-میوسن)، نئوژن-کواترنری بوده، دارای تپه‌ها و میدان‌های ماسه‌ای و همچنین، از لحاظ زمین‌شناسی دارای کنگلومرا، آرنایت قهوه‌ای و قرمز، ماسه سنگ و گلسنگ به‌صورت فرعی، ماسه سنگ توربیدیتی با میان لایه‌های گلسنگ و شیل، توربیدیت کربناته، کلاستیک ساب‌گری وک (فلیش)، نهشته‌های سیلابی، آبرفت‌های سخت نشده و مخروط‌افکنه جوان می‌باشد. سنگ، مخروط‌افکنه و سایر واحدها به‌ترتیب در ۱۱۰/۶، ۱۷۳ و ۱۴۰/۹ کیلومتر از مسیر رودخانه‌ها وجود دارد و ۳۲/۹ و چهار کیلومتر آن‌ها نیز متاثر از فرسایش کناری و کف بستر است. حوضه حرمک در سازند گوری و بوک قرار داشته، زمین‌شناسی آن متعلق به دوران‌های پلیستوسن، پالئوژن-نئوژن (الیگوسن-میوسن)، هالئوسن پالئوژن (پالئوسن)، کرتاسه بالایی، پلیستوسن- هالئوسن است. از لحاظ سنگ‌شناسی شامل مخروط‌افکنه جوان، پهنه‌های گراولی، پادگانه‌ها، کنگلومرا، آرنایت قهوه‌ای و قرمز، نهشته‌های سیلابی، آبرفت‌های سخت نشده، گلسنگ، لیتیک‌گری وک، گلسنگ، آتشفشان آواری‌ها و سنگ‌های آتشفشانی، شیل کربناته و گلسنگ، ماسه سنگ ناپیوسته، مقدار جزئی، مخروط‌افکنه جوان، پهنه‌های گراولی است. رودخانه‌های این منطقه ۴۴/۲، ۹۸/۳ و ۶۳/۳ کیلومتر دارای بستر سنگ، مخروط‌افکنه و سایر واحدها هستند و ۶/۴ و ۵/۶ کیلومتر رودخانه‌ها دارای فرسایش کناری و کف‌بستر هستند. حوضه زابل مربوط به دوران‌های نئوژن-کواترنری، هالئوسن و پلیستوسن و دارای آبرفت‌های ریز، رسوبات رودخانه‌ای، تپه‌ها و میدان‌های ماسه‌ای، مخروط‌افکنه جوان، پهنه‌های گراولی و پادگانه است. ۷۲/۱ و ۶۶/۵ کیلومتر از رودخانه‌های این منطقه از مسیر سنگ، مخروط‌افکنه و سایر واحدها می‌گذرد و چهار کیلومتر آن تحت تاثیر فرسایش کناری قرار داشته، اثری از فرسایش کف بستر در آن دیده نمی‌شود. منطقه مرزی مربوط به دوره‌های هالئوسن، نئوژن-کواترنری است و از لحاظ زمین‌شناسی دارای تپه‌ها و میدان‌های ماسه‌ای، آبرفت‌های ریز و رسوبات رودخانه‌ای است. مسیر تمام رودخانه‌ها و مسیل‌ها از نوع سایر واحدها موارد می‌باشد و اثری از سنگ و مخروط‌افکنه در آن دیده نمی‌شود. منطقه کوله‌سنگی جزء سازند دوکوهه و مربوط به دوران‌های پالئوژن-نئوژن (الیگوسن-میوسن)، پلیستوسن-هالئوسن، پالئوژن (پالئوسن-ائوسن)، نئوژن-کواترنری، کرتاسه بالایی بوده، واحدهای کنگلومرا، آرنایت قهوه‌ای و قرمز، توربیدیت کربناته، کلاستیک ساب‌گری وک (فلیش)، مخروط‌افکنه جوان، پهنه‌های گراولی، پادگانه‌ها، تپه‌ها و میدان‌های ماسه‌ای، لایه‌های بیومکریت، آبرفت‌های ریزدانه، رسوبات رودخانه‌ای، گلسنگ، شیل سبز، گلسنگ‌های سبز تا بنفش رنگ نازک لایه، نهشته‌های سیلابی، آبرفت‌های سخت نشده، فیلیت، سیلت استون و ماسه سنگ، گرانودیوریت با دیگر سنگ‌ها، آبرفت‌های ریزدانه، رسوبات رودخانه‌ای در آن یافت می‌شود. ۱۴۱، ۹۴/۱ و ۲۴/۴ کیلومتر از مسیر رودخانه‌های این محدوده دارای بستر سنگی، مخروط‌افکنه و سایر واحدها هستند و ۱۷/۵ و ۶/۳ کیلومتر آن نیز تحت تاثیر فرسایش کناری و کف بستر قرار گرفته‌اند. حوضه لار مربوط به واحد افیولیتی و متعلق به دوران‌های زمین‌شناسی پلیستوسن-هالئوسن، پالئوژن (ائوسن)، کرتاسه بالایی و از لحاظ لیتولوژی انواع مخروط‌افکنه جوان، پهنه‌های گراولی، پادگانه، ماسه سنگ، گرانودیوریت با دیگر سنگ‌های اسیدی تا حد واسط متو، نیمه شیست‌ها و شیست‌ها، نهشته‌های سیلابی، آبرفت‌های سخت، تپه‌ها و میدان‌های ماسه‌ای، هاله دگرگونی و هورنفلس، فیلیت، سیلت استون و ماسه سنگ، سنگ‌های آتشفشانی، آتشفشان آواری‌ها و گلسنگ‌های سبز تا بنفش رنگ نازک لایه، شیل سبز، در آن یافت می‌شود. ۴۰/۸، ۹۶/۶ و ۱۰۹ کیلومتر رودخانه‌های این منطقه از مسیر

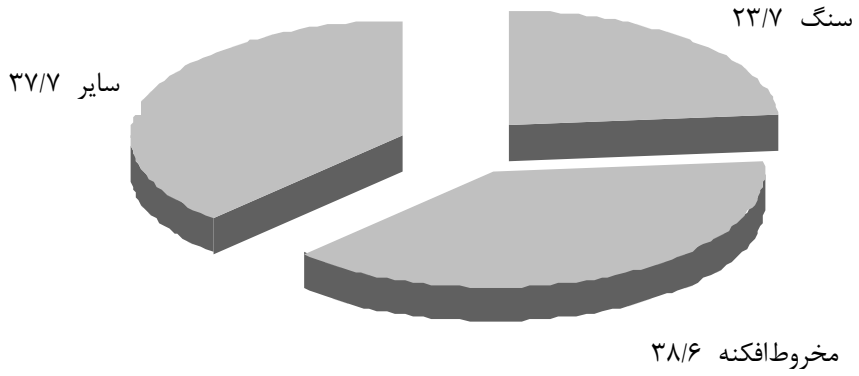
سنگ، مخروط‌افکنه و سایر واحدها می‌گذرد. همچنین، ۱۱/۲ و دو کیلومتر از طول رودخانه‌های آن فرسایش کناری و کف بستر روی داده است (جدول ۱). شکل ۳ مقایسه درصد سنگ، مخروط‌افکنه و سایر واحدها در رودخانه‌های سیستان و همچنین، جدول ۲ طبقه‌بندی فرسایش و لیتولوژی رودخانه‌های منطقه سیستان را نشان می‌دهد.

**جدول ۱**- خصوصیات فرسایش و لیتولوژی مسیر رودخانه‌های منطقه سیستان

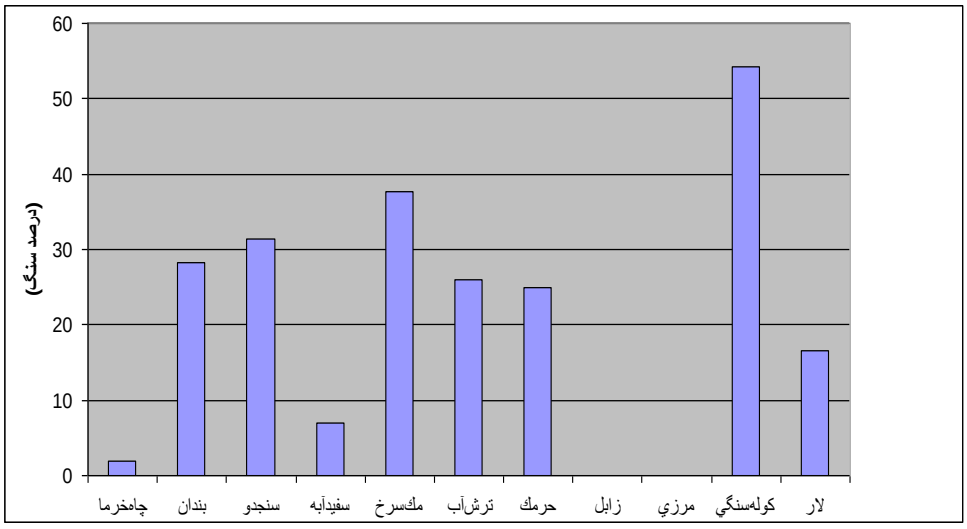
| نام حوضه | طول رودخانه‌های محدوده (km) | لیتولوژی مسیر رودخانه‌ها | | | نوع فرسایش | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | سنگی (km) | مخروط‌افکنه (km) | سایر واحدها (km) | کناری (km) | کف بستر (km) |
| چاه خرما | ۳۵۱/۲ | ۷ | ۴۳ | ۳۰۱/۲ | ۱۱/۱ | ۲ |
| بندان | ۱۵۱ | ۴۲/۸ | ۴۹/۱ | ۶۰ | ۲۳/۲ | ۳/۶ |
| سنجدو | ۳۵۰/۹ | ۱۱۰/۱ | ۱۸۷/۷ | ۵۳/۱ | ۳۵/۶ | ۳ |
| سفیدآبه | ۳۹۴/۱ | ۲۷ | ۲۲۳/۴ | ۱۴۳/۷ | ۲۶/۳ | ۲ |
| هامون | - | - | - | - | - | - |
| مک‌سرخ | ۳۰۲/۷ | ۱۱۴ | ۱۲۴/۲ | ۶۴/۵ | ۱۷/۸ | ۱ |
| ترش‌آب | ۴۲۴/۵ | ۱۱۰/۶ | ۱۷۳ | ۱۴۰/۹ | ۳۲/۹ | ۴ |
| حرمک | ۱۷۹/۴ | ۴۴/۲ | ۹۸/۳ | ۳۶/۳ | ۶/۴ | ۵/۶ |
| زابل | ۱۳۸/۶ | ۷۲/۱ | ۶۶/۵ | - | ۴ | - |
| مرزی | ۱۹۸/۵ | - | - | ۱۹۸/۵ | - | - |
| کوله سنگی | ۲۵۹/۵ | ۱۴۱ | ۹۴/۱ | ۲۴/۴ | ۱۷/۵ | ۶/۳ |
| لار | ۲۴۶/۵ | ۴۰/۸ | ۹۶/۶ | ۱۰۹ | ۱۱/۲ | ۲ |
| جمع | ۲۹۹۷/۱ | ۷۰۹/۶ | ۱۱۵۵/۹ | ۱۱۳۱/۶ | ۱۸۶/۲ | ۲۹/۵ |

**جدول ۲**- طبقه‌بندی فرسایش و لیتولوژی رودخانه‌های منطقه سیستان

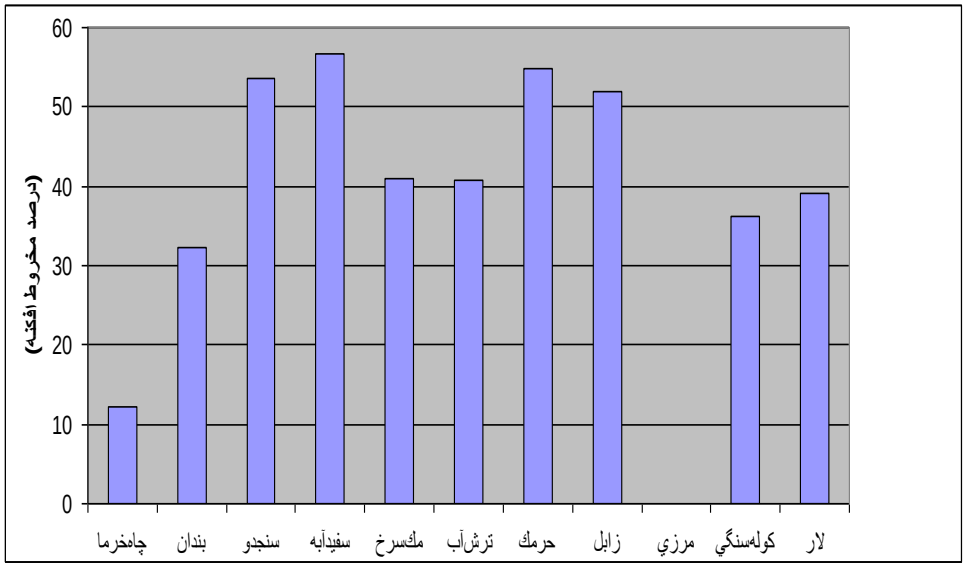
| لیتولوژی مسیر رودخانه‌ها | | | نوع فرسایش | |
|---|---|---|---|---|
| سنگ (درصد) | مخروط‌افکنه (درصد) | سایر واحدها (درصد) | کناری (درصد) | کف‌بستر (درصد) |
| ۲۰/۷ | ۳۸/۱ | ۴۱/۲ | ۸۵/۱ | ۱۴/۹ |



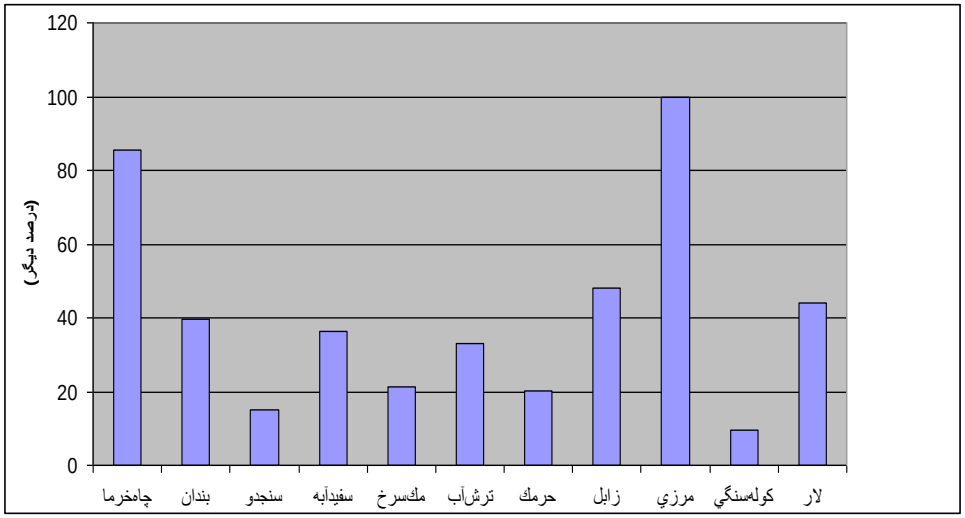

**شکل ۳**- مقایسه درصد سنگ، مخروط‌افکنه و سایر واحدها در رودخانه‌های سیستان



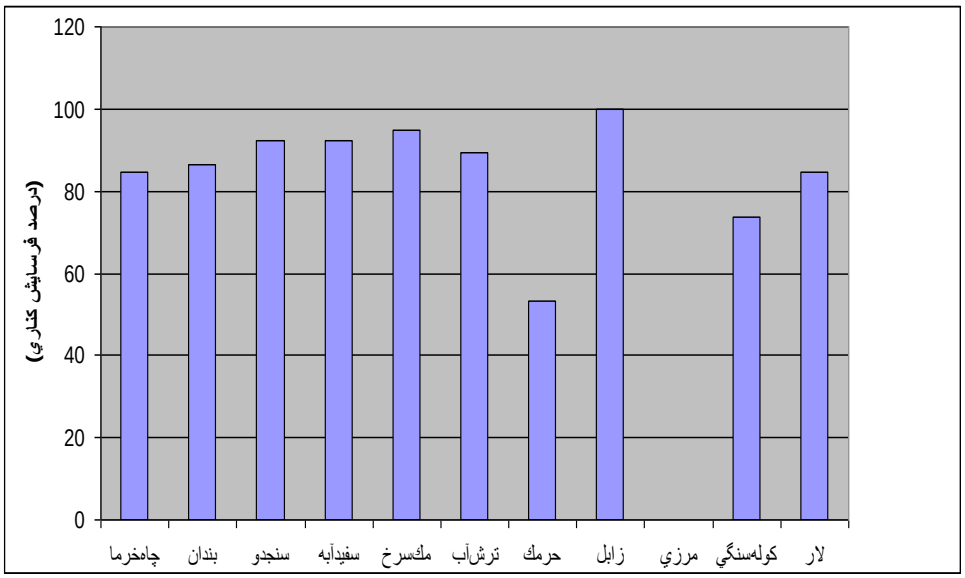

**شکل ۴**- مقایسه درصد سنگ مسیر رودخانه‌های منطقه سیستان به تفکیک حوضه



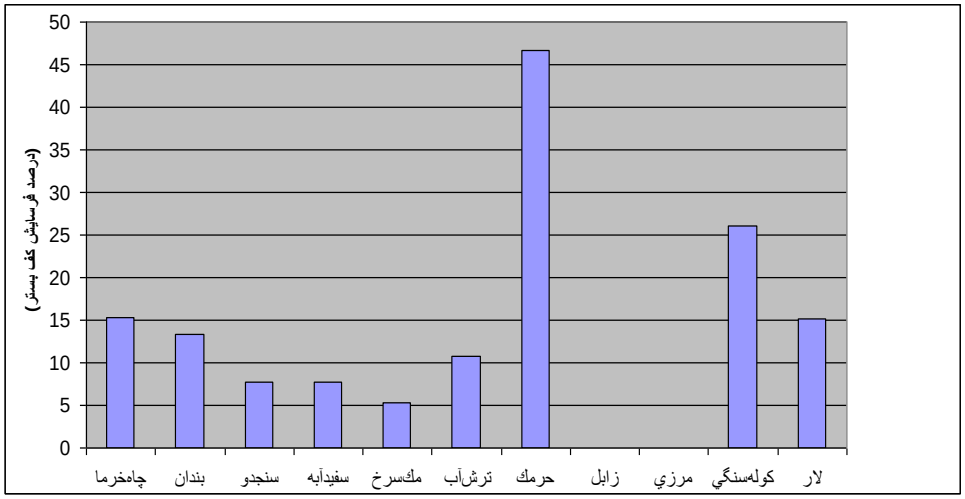

**شکل ۵**- مقایسه درصد مخروط‌افکنه مسیر رودخانه‌های سیستان به تفکیک حوضه




**شکل ۶**- مقایسه درصد سایر واحدها مسیر رودخانه‌های سیستان به تفکیک حوضه




**شکل ۷**- مقایسه درصد فرسایش کناری رودخانه‌های سیستان به تفکیک حوضه




**شکل ۸**- مقایسه درصد فرسایش کف بستر رودخانه‌های سیستان به تفکیک حوضه

## نتیجه‌گیری

مقایسه زمین‌شناسی منطقه نشان می‌دهد که کمترین درصد بستر سنگی مربوط به حوضه چاه خرما (دو درصد) و بیشترین آن متعلق به منطقه کوله‌سنگی (۵۴/۳ درصد) است. همچنین، بیشترین درصد مخروط‌افکنه (۵۶/۷ درصد) مربوط به حوضه سفیدآبه و حوضه مرزی فاقد آن است. علاوه‌بر آن کمترین و بیشترین مسیر سایر موارد در حوضه‌های کوله‌سنگی (۹/۴ درصد) و چاه خرما (۸۵/۸ درصد) دیده می‌شود. بررسی‌ها نشان داد که بیشترین مقدار فرسایش در حوضه سنجدو (۳۸/۶ کیلومتر) روی داده است که عمده آن مربوط به نوع کناری است، ولی در حوضه مرزی فرسایشی صورت نگرفته است. علت چنین فرسایشی به‌دلیل شیب زیاد منطقه، بالا بودن بارندگی و نوع لیتولوژی منطقه می‌باشد. علت کمی فرسایش در حوضه مرزی، هر چند سطح حوضه از لحاظ زمین‌شناسی دارای تپه‌ها و میدان‌های ماسه‌ای، آبرفت‌های ریز و رسوبات رودخانه‌ای می‌باشد، ولی به‌دلیل کمبود بارندگی، عدم فعالیت انسانی و مسطح بودن حوضه می‌باشد. طبقه‌بندی بستر رودخانه‌های منطقه سیستان نشان می‌دهد که ۲۰/۷، ۳۸/۱ و ۴۱/۲ درصد آن‌را به‌ترتیب سنگ، مخروط‌افکنه و سایر موارد تشکیل می‌دهد. ۷/۲ درصد رودخانه‌های مورد بررسی تحت تاثیر فرسایش قرار گرفته است، به‌طوری‌که

بخش عمده‌ای از فرسایش در رسوبات مخروط‌افکنه‌ها روی داده است. علت بالا بودن فرسایش در این واحد، به‌دلیل انفصال ذرات، تخلخل و نفوذپذیری زیاد و ناچیز بودن ضریب مقاومت از جمله جنس‌های با فرسایش‌پذیری بالا به شمار می‌آید که تحقیقات Jenifer و همکاران (۲۰۰۶) در خصوص فرسایش کناری رودخانه Willamette نیز نشان داد که میزان فرسایش کناری در محدوده‌های مخروط‌افکنه سه تا پنج برابر بیش از محل‌های دارای گراول دوران پلیستوسن زمین‌شناسی است، هم‌خوانی دارد. همچنین، نتایج این پژوهش با مطالعات James و همکاران (۲۰۱۳) که فرایند سواحل رودخانه‌ها را مورد بررسی قرار داده‌اند و نتایج کار آنان نشان داد که هشت درصد طول فرسایش را توده‌های واریزه‌ای تشکیل داده، در حالی‌که ۳۳ و ۱۹ درصد آن را به‌ترتیب مخروط‌افکنه و محدوده فرسایش یافته تشکیل می‌دهد، مطابقت دارد. همچنین، داده‌های این بررسی نشان داد که رودخانه‌های منطقه فرسایش کناری بیشتری دارند، به‌طوری‌که که سهم نوع کناری و کف بستر ۸۵/۱ و ۱۴/۹ درصد بوده است. علت زیاد بودن فرسایش کناری به‌دلیل پایین بودن درجه تراکم و سستی رسوبات سواحل رودخانه‌های منطقه به‌دلیل جدید بودن آن‌ها، متفاوت بودن جنس لایه‌ها، چسبندگی کم بعضی از لایه‌های رسوبی در معرض فرسایش و وجود املاح پراکنده کننده در بعضی از لایه‌ها است که Islam (۲۰۰۱) نیز به نتایج مشابهی دست یافته است.

## منابع مورد استفاده


1. Alizadeh. A. 1999. Applied hydrology. Astane Ghods Razavi Publication, 816 pages (in Persian).
2. Hosseini, A. 2006. Studying and recognition of characteristics erosion rivers of Iran. Research Final Report, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, 120 pages (in Persian).
3. Hosseinkhani. H. 2013. Assessing the risk of erosion and sedimentation Sharyar dem Mianhe basin. Iranian Journal of Earth Sciences, 26: 87-96 (in Persian).
4. Jahantigh. M. 2011. Determination of the most widespread reservation of precipitation system (contour furrow and pitting). Research Final Report, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, 31 pages (in Persian).
5. Jennifer, R.W., T.L. Stephen and P.B. John. 2006. Determination of bank erodibility for natural and anthropogenic bank materials using a model of lateral migration and observed erosion along the Willamette river Oregon, U.S.A. River Research and Applications, 22: 631–649.
6. James, R., G. Jacky Croke and C. Thompson. 2013. Quantifying different riverbank erosion processes during an extreme flood event. Earth Surface Processes and Landforms, 38(12): 1393–1406.
7. Islam, N. 2001. The Open approach to flood control: the way to the future in Bangladesh. Futures, 33: 783-802.
8. lawler, D.M. 1993. The measurement of river bank erosion and lateral channel change: a review. Earth Surface Processes and Landforms, 18: 771-821.
9. Mamodi. F. 1996. Geomorphology of Iran. Tehran University Publication, 399 pages (in Persian).
10. Nikkami, D., S. Shadfar and A. Jafari Ardakani. 2020. Design and establishment of the maps and database for erosion and sediment yield in 7th order watersheds. Research Final Report, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, 272 pages (in Persian).
11. Ramlakhan, D. and R.M. Khanbilvardi. 1988. A conceptual model for river bank erosion. Water International, 13: 154-160.
12. Refahi, H. 2000. Water erosion control. Tehran University Publications, 551 pages (in Persian).
13. Rinaldi, M. 2003. Recent channel adjustments in alluvial rivers of Tuscany, central Italy. Earth Surface Processes and Landforms, 28: 587–608.
14. Parsons, M., M. Thoms and R. Norris. 2000. Australian river assessment system: review of physical river assessment methods, a biological perspective. Environment Australia, 65 pages.
15. Phillips, C.J. and M. Marden. 2008. River bank styles and effects of vegetation on bank stability a pilot assessment. http: //icm.landcareresearch. co.nz/knowledgebase. publications/public/ Riparian_typology_report_final.pdf
16. Thorne, C.R. 1990. Effects of vegetation on riverbank erosion and stability. John Wiley, 128-144.
17. Velasco, D.; A. Bateman, J.M. Redondo and V. Demedina. 2003. An open channel flow experimental and theoretical study of resistance and turbulent characterization over flexible vegetated linings. Flow Turbulence and Combustion, 70(1-4): 69-88.