برآورد هدر رفت خاک ناشی از فرسایش آبی حوضه آبریز جزلاچای با استفاده از سه مدل FSM، Fargas، BLM

غلامحسن جعفری*: *دانشیار گروه ژئومورفولوژی، دانشکدهٔ علوم انسانی، دانشگاه زنجان، زنجان*
زینب کریمی: *کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی، دانشکدهٔ برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز*

نوع مقاله: پژوهشی
(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۵/۲۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۸/۱۶)
20.1001.1.22517812.1401.12.1.7.2

چکیده

شناسایی مناطق مستعد فرسایش و تولید رسوب در زیرحوضه‌های داخلی ایران ـ که به از بین رفتن هزاران تن خاک حاصلخیز در هر سال منجر می‌شود ـ امری ضروری است. در این تحقیق با استفاده از سه مدل BLM، Fargas و FSM، میزان فرسایش حوضه آبریز جزلاچای، یکی از زیر شاخه‌های قزل اوزن در شهرستان طارم (زنجان)، برآورد و پهنه‌بندی شد. برای این منظور از نقشه‌های زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ زنجان و توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰ تهم، (۳۰*۳۰) DEM و جداول امتیازدهی شدهٔ مربوط به هر یک از مدل‌ها با توجه به شاخص‌های مختلف و بازدیدهای میدانی استفاده شد. نتایج حاصل از بررسی مدل Fargas نشان داد که بیشترین وسعت حوضه یعنی ۸۲ درصد آن فرسایش شدید، ۱۳ درصد فرسایش زیاد و ۵ درصد فرسایش بسیار شدید داشت. بررسی مدل BLM نیز براساس سه واحد توپوگرافی (کوهستان، کوهپایه و دشت) انجام شد و نتایج حاصل از آن، بیانگر وسعت فرسایش متوسط در واحد دشت و فرسایش زیاد در واحدهای کوهستان و کوهپایه بود. براساس مدل FSM، میزان فرسایش‌پذیری حوضه برابر با ۶۹۹/۰۸ تن در کیلومتر مربع در سال در حوضه آبریز جزلاچای است. با توجه به بازدیدهای میدانی و نتایج به دست آمده، مدل BLM نتایج بهتری را برای بررسی فرسایش در حوضه آبریز جزلاچای ارائه می‌دهد.

واژگان کلیدی: جزلاچای، فرسایش، مدل BLM، مدل Fargas، مدل FSM.

* نویسنده مسئول: jafarihas@znu.ac.ir

[DOR: 20.1001.1.22517812.1401.12.1.7.2]

۱ـ مقدمه

کلمهٔ فرسایش به معنی ساییده شدن سطح زمین است که طی این فرایند، ذرات خاک از بستر اصلی خود جدا و به کمک یک یا چند عامل انتقال‌دهنده به مکانی دیگر منتقل می‌شوند (Refahi, 2009). عامل انتقال‌دهندهٔ ذرات خاک می‌تواند آب، باد یا یخچال باشد. به ذرات انتقال‌یافته و تجمع‌یافته در مکان دیگر، رسوب گفته می‌شود. فرسایش خاک از حاصلخیزی زمین‌های زراعی می‌کاهد و خسارت‌های زیانباری به وجود می‌آورد. این فرسایش، پدیده‌ای طبیعی است که امروزه به دلیل فعالیت‌های ناخردمندانهٔ بشر همانند تبدیل غیرمنطقی زمین و تخریب پوشش گیاهی، به یکی از مهم‌ترین تهدیدات زیست محیطی در جهان تبدیل شده‌است.

فرسایش خاک به طور طبیعی هنگامی رخ می‌دهد که نیروی باد، قطرات باران یا رواناب بر روی سطح خاک، بیش از نیروی نگهدارندهٔ ذرات آن باشد؛ به این معنی که پوشش گیاهی، از خاک در برابر این نیروها محافظت می‌کند (May and Place, 2005). فعالیت‌های فرسایشی در اکثر نقاط ایران فعال است و بیشتر زمین‌های حاصلخیز زراعی کشور را تهدید می‌کند. مدیر کل دفتر حفاظت از خاک و کنترل فرسایش، فرسایش خاک در ایران را پانزده تن در هکتار برآورده کرده‌است.

فرسایش یکی از تهدیدات بسیار مهم در جهان است که در این زمینه برای تعیین میزان خسارت‌ها، پهنه‌بندی مناطق مستعد و تعیین شدت فرسایش تحقیقات بسیاری صورت گرفته‌است؛ مثلاً Fargas و همکاران (۱۹۹۷)، روشی را برای شناسایی منابع رسوب مهم در حوضه‌های بزرگ ارائه کردند که در آن از دو عامل فرسایش‌پذیری تراکم آبراهه و سنگ‌شناسی (مناطق رسوب‌زا) استفاده شد. محققان مذکور روش خود را در حوضه آبریز Joaquin Costa در شمال شرق اسپانیا، با سطحی معادل Km^2 ۱۵۰۰ آزمودند که درست‌نمایی ۷۸/۵ ٪ داشت. عبدی (۲۰۱۶) با استفاده از دو مدل کیفی BLM و Fargas، به شناسایی شدت فرسایش در شمال شهر هشترود پرداخت که نتایج حاصل از آن بیانگر فرسایش شدید و بسیار شدید و حساسیت بسیار بالای سازندهای زمین‌شناسی بود. Prodocimi و همکاران (۲۰۱۷) به تجزیه و تحلیل فرسایش آبی در مزرعه‌های مدیترانه پرداختند؛ آنها فرسایش را مشکلی جدی برای زمین‌های کشاورزی به خصوص تاکستان‌های مدیترانه می‌دانند؛ چرا که تلفات زیادی به همراه دارد. در این مناطق علاوه بر از دست دادن خاک، از بین رفتن خاک نیز وجود دارد؛ پس برای مطالعهٔ این مناطق باید روشی استاندارد داشت. Schmidt و همکاران (۲۰۱۷)، به بررسی اثرات باد بر فرسایش خاک توسط آب پرداختند. نتایج به دست آمده نشان داد که وقتی سقوط عمودی قطرات باران منحرف می‌شود، بر شدت فرسایش خاک تأثیر می‌گذارد و فرسایش قابل توجهی را ایجاد می‌کند.

احمدی و محمدی (۱۳۸۸) با استفاده از مدل Fargas در حوضه آبخیز سنگاب، به شناخت مناطق حساس به فرسایش پرداختند و نتیجهٔ آن بیانگر حساسیت ۸۱/۰۶٪ حوضه به فرسایش بسیار شدید و ۹/۳۴٪ آن به حساسیت زیاد بود. نوجوان و همکاران (۱۳۹۱) نیز با استفاده از مدل‌های BLm و Fargas، به تعیین شدت فرسایش در حوضه آبخیز بندره پرداختند. نتایج نشان داد که در دو مدل یاد شده، در ۷۳/۸۵ ٪ از سطح این حوضه از نظر شدت فرسایش توافق دیده می‌شود. نوحه‌گر و همکاران (۱۳۹۶) در حوضه‌آبخیز پستانک در استان فارس، به بررسی میزان رسوب با استفاده از مدل‌های BLm و Fargas پرداختند. آنها از نقشهٔ سیمای فرسایش واحدهای همگن روی نقشهٔ کاربری‌های اراضی و

[DOR: 20.1001.1.22517812.1401.12.1.7.2]

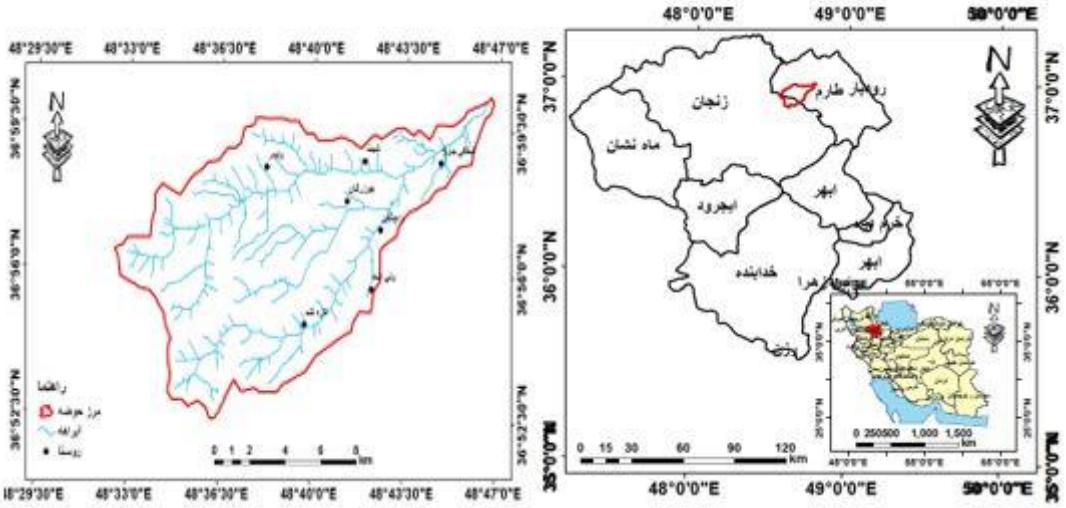
سازندهای زمین‌شناسی استفاده کردند و سازند بختیاری و اراضی زراعی، کمترین اهمیت نسبی را در فرسایش و تولید رسوب داشت. یمانی و همکاران (۱۳۹۹)، به بررسی پتانسیل فرسایش بادی و مناطق تولید گرد و غبار در پلایای جازموریان پرداختند. نتایج حاصل از این بررسی نشان داد که خطر گردو غبار در سطح پلایا و حواشی آن عملکرد وسیعی دارد و پلایای جازموریان به دلیل شرایط محیطی، یکی از منشأهای گرد وغبار در جنوب شرق کشور است.

مطالعات محدودی در زمینهٔ فرسایش در شهرستان طارم انجام شده‌است؛ از جمله این مطالعات می‌توان به پژوهش جعفری و محمدی (۱۳۹۷) اشاره کرد که در این پژوهش به مطالعهٔ دومینو در ژئومورفولوژی (حوضه‌آبریز قزل اوزن) پرداختند. نتایج نشان داد که دومینوی تغییرات سطح اساس به دو صورت درون‌حوضه‌ای و برون‌حوضه‌ای اتفاق افتاده‌است. انرژی انتشاریافته از سوی تغییرات سطح اساس، از بالاترین رتبهٔ آبراهه‌ای یک حوضه مانند سلسه و مهره‌های دومینو تا سرشاخه‌ها و آبراهه‌های رتبه یک انتقال یافته‌است. نمونهٔ چنین واکنشی، تسلط فرسایش قهقرایی در حوضه است. حیدری و همکاران (۱۳۹۸) نیز به بررسی فرسایش آبی، سیلاب و حفاظت خاک و آب- پهنه‌بندی سیلاب رودخانهٔ قزل‌اوزن با استفاده از مدل هیدرولیکی HEC_RAS در محیط Arc GIS (حوضهٔ طارم خلخال) پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد که با افزایش دوره بازگشت از دو تا دویست سال، سطح اراضی سیل‌گیر از مقدار ۱۶۱۶ تا ۲۷۴۳۷ کیلومتر افزایش یافت.

هدف از این پژوهش، بررسی فرسایش در حوضه‌آبریز جزلاچای (زیر حوضهٔ قزل‌اوزن) است که با توجه به شرایط کنونی و خشکسالی‌های پیاپی، فرسایش در این حوضه می‌تواند خسارت‌های جبران‌ناپذیری را برای آبادی‌های این حوضه در پی داشته باشد. در این پژوهش، فرسایش حوضه از طریق مقایسهٔ سه مدل (BLM، Fargas و FSM)، برآورد می‌شود.

۲ـ منطقهٔ مورد مطالعه

حوضه آبریز جزلاچای با مساحت ۱۴۹/۶۱ کیلومترمربع در استان زنجان و شهرستان‌های طارم و زنجان قرار دارد. از نظر موقعیت جغرافیایی، بین ´ ۳۳ ° ۴۸ تا ´ ۴۷ ° ۴۸ طول شرقی و ´ ۵۲ ° ۳۶ تا ´ ۵۹ ° ۳۶ عرض شمالی واقع شده‌است (شکل ۱).



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی حوضهٔ مورد مطالعه

[DOR: 20.1001.1.22517812.1401.12.1.7.2]

حداکثر ارتفاع حوضه، ۲۸۳۰ متر و حداقل ارتفاع در خروجی حوضه، ۴۴۰ متر است. حوضهٔ مورد مطالعه از نظر زمین‌شناسی در چالهٔ تکتونیکی طارم واقع است. لیتولوژی غالب حوضه، ماسه‌سنگ، توف، کنگلومرا، مارن، کوارتز مونزودیوریت و پادگانه‌های آبرفتی است.

حوضهٔ مورد مطالعه از شاخه‌های قزل‌اوزن در منطقهٔ طارم است که با توجه به لیتولوژی (لیتولوژی مارن‌دار و بارش-های رگباری) در معرض فرسایش قرار دارد. پایین بودن سطح اساس محلی رودخانه‌ها در این منطقه از طارم نیز که به شیب تند آبراهه‌ها منجر می‌شود؛ بر شدت فرسایش و اهمیت چنین مطالعاتی در این منطقه می‌افزاید. بر این اساس، یکی از زیر حوضه‌های رودخانهٔ قزل‌اوزن در طارم ــ که امکان فرسایش شدید داشت ــ انتخاب و مطالعه شد. **ـ مواد و روش**

به منظور بررسی فرسایش در حوضه آبریز جزلا چای از نرم‌افزارهای (Google Earth ،Arc GIS 10.5) و نقشه-های زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ و توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰ منطقه استفاده شد. ابتدا لایه‌های پایه اعم از زمین‌شناسی، توپوگرافی و آبراهه تهیه شد، سپس با کمک آنها در نرم‌افزار Arc GIS و اجرای مدل‌های Fargas، BLM و FSM ، به پهنه‌بندی فرسایش در حوضه آبریز جزلاچای پرداخته شد. بازدید میدانی از حوضهٔ مورد مطالعه به عمل آمد تا فرسایش در محیط نیز مشاهده شود. نقشه‌های زمین‌شناسی و توپوگرافی در محیط GIS رقومی و زمین مرجع شد و با استفاده از جداولی که مربوط به سه مدل FSM، Fargas و BLM است، لایه‌ها امتیاز داده شد و نقشه‌های پهنه‌بندی فرسایش تهیه، با هم مقایسه و تجزیه و تحلیل شد.

مدل Fargas، توسط Fargas و همکاران در سال ۱۹۹۷ ارائه شد. برای اجرای این مدل لازم است: شاخص فرسایش-پذیری حوضه تعیین شود ــ که در این مرحله، میزان فرسایش‌پذیری برای هر واحد سنگی بر اساس جدول ۱ مشخص می‌شود ــ روی هم اندازی لایهٔ آبراهه، واحدهای سنگی و ارزش‌گذاری میزان تراکم زهکشی هر واحد سنگی که توسط فارگاس و همکاران ارائه شده‌است (جدول ۲) و تعیین خطر فرسایش با استفاده از ضریب ارزش‌گذاری شده برای مقاومت سنگ نسبت به فرسایش و تراکم زهکشی در هر واحد سنگی (جدول ۳). (به نقل از نوحه‌گر و همکاران، ۱۳۹۶، Fargas et al, 1997).

جدول ۱: مقاومت سنگ نسبت به فرسایش (برگرفته از FAO, 1997 در MOPT,1992)

مقاومت به فرسایش	جنس سنگ	شاخص سختی
سنگ‌های خیلی سخت	سنگ‌های بازیک	۲-۰
	سنگ‌های اسیدی	۵-۰
	سنگ‌های دگرگونی	۴-۲
	ماسه سنگ‌های سخت نشده	۵-۴
سنگ‌های سخت تا سست	سنگ‌های آهکی خرد شونده	۴-۳
	دولومیت‌ها	۵-۳
	شیل سنگ‌های بسیار سست	۸-۷
	سنگ‌های پلاستیکی	۷-۶
	مارن و رس ژیپس	۱۰-۸
سست	آبرفت قدیمی	۸-۴
	آبرفت جدید	۹-۷

[DOR: 20.1001.1.22517812.1401.12.1.7.2]

جدول ۲: معیار تعیین خطر فرسایش و رسوب‌زایی (Fargas et al, 1997)

کلاس	میزان خطر	ارزش نسبی
۱	کم	<۱۰
۲	متوسط	۲۰-۱۰
۳	زیاد	۳۰-۲۰
۴	شدید	۴۰-۳۰
۵	بسیار شدید	>۴۰

جدول ۳: کلاس فرسایش تراکم زهکشی (Bucko and Mazurova, 1958 در Stroosnijder and Eppink, 1993)

کلاس	شدت فرسایش	تراکم زهکشی KM/KM^2	ارزش نسبی
۱	کم	< ۰/۱	۲
۲	متوسط	۰/۱- < ۰/۵	۴
۳	زیاد	۰/۵ - < ۱	۶
۴	شدید	۱- < ۲	۸
۵	بسیار شدید	> =۲	۱۰

روش BLM: این روش توسط دفتر مدیریت اراضی آمریکا ابداع شد. با استفاده از این مدل می‌توان وضعیت فرسایش را برحسب جمع نمرات عوامل هفتگانه ــ که در جدول ۴ ذکر شده‌است ــ امتیازدهی کرد و طبق این جدول، وضعیت کلی فرسایش برای هر تیپ فرسایشی مشخص می‌شود.

[DOR: 20.1001.1.22517812.1401.12.1.7.2]

جدول ۴: امتیازدهی عوامل سطحی براساس مدل BLM (Refahi, 2009)

شرح	حدود امتیاز	وضعیت ظاهری
حرکت توده‌های خاک	۳-۰	حرکت قابل ملاحظه‌ای دیده نمی‌شود.
	۵-۴	حرکت مختصر ذرات خاک
	۸-۶	حرکت متوسط و تازهٔ ذرات خاک. تراس‌های کم با ارتفاع کمتر از ۲/۵ سانتی‌متر
	۱۱-۹	آثار تجمع خاک و تازه ذرات مختلف در مقابل موانع کوچک که به هر رواناب، مشاهده می‌شود.
	۱۴-۱۲	خاک تحت‌الارضی در بیشتر مناطق ظاهر گشته به وضوح دیده می‌شود. تپه ماسه و فرسایش بادی دیده می‌شود.
پوشش لاشبرگ	۳-۰	تجمع بقایای گیاهی در منطقه
	۶-۴	بقایای گیاهی دارای حرکت کمی است.
	۸-۷	حرکت متوسط لاشبرگ آشکار است و در مقابل موانع رسوب کرده‌است.
	۱۱-۹	حرکت زیاد لاشبرگ آشکار است و مقادیر زیاد و بزرگ در مقابل موانع رسوب کرده‌است.
	۱۴-۱۲	لاشبرگ سطحی خیلی کمتر است.
پوشش سنگی سطح زمین	۲-۰	به خوبی توسعه‌یافته و به صورت یکسان پراکنده است.
	۵-۳	به صورت لکه‌ای پراکنده است.
	۸-۶	مقدار سنگ‌های کوچک و بزرگ با پراکنش خیلی ضعیف
	۱۱-۹	به صورت سطوح منفرد است و حرکت کمی را نشان می‌دهد.
	۱۴-۱۲	به میزان زیاد وجود دارند، اما به وسیلهٔ شیارها و خندق‌ها از هم جدا می‌شوند.
قطعات سنگی تحکیم یافته	۳-۰	شواهد قابل ملاحظه‌ای دیده نمی‌شود.
	۶-۴	در مسیر جریان‌ها به میزان کم وجود دارد.
	۹-۷	وجود سنگ‌های کوچک و گیاهان در مسیر جریان
	۱۲-۱۰	سنگ‌های کوچک و گیاهان به صورت برجستگی‌ها درآمده و عموماً ریشهٔ گیاهان دیده می‌شود.
	۱۴-۱۳	گسترش خیلی زیاد سنگ‌ها و گیاهان به صورت تحکیم‌یافته
شیارهای سطحی	۳-۰	شیارها در سطح زمین براثر فرسایش آبی دیده نمی‌شود.
	۶-۴	شیارها در سطح زمین مشهود است، ولی این شیارها عمقی کمتر از ۱/۵ سانتی‌متر دارند و فواصل بین آنها حدود سه متر است.
	۹-۷	شیارها با عمق ۱/۵ تا ۱۵ سانتی‌متر در سطح خاک به فواصل حدود سه متر از یکدیگر دیده می‌شوند.
	۱۲-۱۰	شیارها با عمق ۱/۵ تا ۱۵ سانتی‌متر در سطح خاک دیده می‌شوند که فواصل آنها حدود سه متر است.
	۱۴-۱۳	شیارها با عمق ۷/۵ تا ۱۵ سانتی‌متر با فاصلهٔ کمتر از ۱/۵ سانتی‌متر در سطح خاک دیده می‌شود.
شکل آبراهه	۳-۰	کمتر آبراهه‌ای در سطح زمین دیده می‌شود.
	۶-۴	مواد برجامانده در کف آبراهه تا حدودی مشهود است.
	۹-۷	ذرات موجود در کف آبراهه به ترتیب اندازه ته‌نشین شده‌اند.
	۱۲-۱۰	در کف آبراهه ذرات لای شن و مواد کوه رفتی دیده می‌شود.
	۱۵-۱۳	تراکم آبراهه در سطح زمین زیاد و اراضی غیرقابل کشت در محل ته‌نشست مواد کوهرفتی وجود دارد.
توسعه فرسایش خندقی	۳-۰	ممکن است در شرایط پایدار و پوشش گیاهی کف آبراهه و شیب‌های جانبی مستقر باشد.
	۶-۴	تعدادی خندق با فرسایش بسترو شیب کناری کم، مقداری پوشش گیاهی روی شیب‌ها وجود دارد.
	۹-۷	تعدادی خندق کاملاً توسعه‌یافته دارای فرسایش فعال در طول کمتر از پانزده درصد طول آن
	۱۲-۱۰	خندق‌ها به تعداد زیاد ۵۵-۱۰ درصد فعالیت فرسایش دارند.

[DOR: 20.1001.1.22517812.1401.12.1.7.2]

۱۵-۱۳	خندق‌های فعال که بیش از پنجاه درصد منطقه را می‌پوشانند و از نظر فرسایشی فعال هستند.

جدول ۵: وضعیت فرسایش برحسب جمع نمرات هفت عامل (Refahi, 2009)

وضعیت فرسایش	جمع نمرات عوامل هفتگانه
جزئی	۰-۲۰
کم	۲۱-۴۰
متوسط	۴۱-۶۰
زیاد	۶۱-۸۰
خیلی زیاد	۸۱-۱۰۰

در مدل FSM از پنج عامل زمین‌شناسی، توپوگرافی، پوشش گیاهی، فرسایش خندقی و شکل حوضه برای محاسبهٔ رسوب‌دهی آن استفاده می‌شود. امتیاز هر عامل به صورت کم، متوسط و زیاد به ترتیب با اعداد ۱، ۲ و ۳ نشان داده می‌شود که با استفاده از پیمایش صحرایی و نقشه‌های توپوگرافی و زمین‌شناسی تعیین می‌شود (Moeini et al, 2017).

جدول ۶: نحوهٔ امتیازدهی عوامل مدل FSM (Verstreaten et al, 2003)

ردیف	عامل	امتیاز	تشریح عوامل
۱		۱	دامنه‌های با شیب بسیار ملایم و نزدیک به رودخانهٔ اصلی با اختلاف ارتفاع ۲۰۰ متر در هر پنج کیلومتر
	توپوگرافی	۲	دامنه‌های با شیب بسیار ملایم و نزدیک به رودخانهٔ اصلی با اختلاف ارتفاع ۲۰۰ تا ۵۰۰ متر در هر پنج کیلومتر
		۳	دامنه‌های با شیب بسیار ملایم و نزدیک به رودخانهٔ اصلی با اختلاف ارتفاع ۵۰۰ متر در هر پنج کیلومتر
۲	**پوشش گیاهی**	۱	پوشش اتصال خوب با خاک (۷۵ درصد سطح حوضه دارای پوشش گیاهی)
		۲	پوشش اتصال متوسط با خاک (۲۵ تا ۷۵ درصد سطح حوضه دارای پوشش گیاهی)
		۳	پوشش اتصال با خاک (کمتر از ۲۵ درصد سطح حوضه دارای پوشش گیاهی)
۳	**خندق‌ها**	۱	بسیار کم یا بدون خندق
		۲	کم با عمق قابل مشاهده
		۳	زیاد با عمق قابل مشاهده
۴	**سنگ‌شناسی**	۱	آهک، ماسه‌سنگ و کنگلومرا (درجه هوازدگی پایین)
		۲	نهشته‌های رسوبی نئوژن (گراول و غیره)
		۳	مواد با درجه هوازدگی بالا (شیل با مارن)
۵	**شکل حوضه**	۱	حوضه‌های کشیده یا یک رودخانهٔ اصلی
		۲	حوضه‌های با شکلی بین دایره‌ای و کشیده
		۳	حوضه‌های دایره‌ای شکل با چندین رودخانهٔ اصلی

بعد از امتیازدهی عوامل پنجگانه، مقدار ضریب FSM با ضرب عوامل در یکدیگر به دست خواهد آمد و با استفاده از این ضریب در معادلهٔ ۱، میزان فرسایش حوضه محاسبه می‌شود.

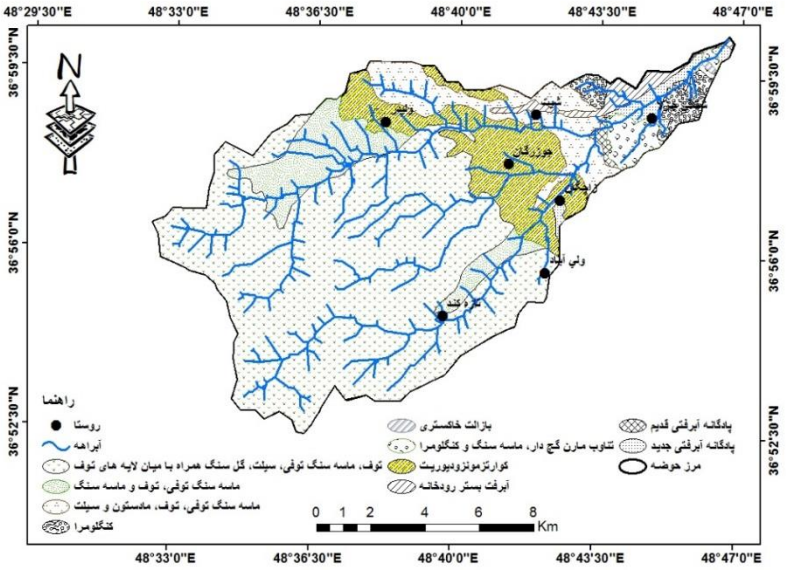
[DOR: 20.1001.1.22517812.1401.12.1.7.2]

$$SSY= 4139A^{0.43} + 7\ (FSMI)+ 326$$ معادلهٔ ۱

که در این معادله، SSY میزان فرسایش‌پذیری حوضه (تن در کیلومتر مربع)، A مساحت حوضه (کیلومتر مربع) و FSMI حاصل ضرب امتیازهای عوامل پنجگانه است.

۴ـ یافته‌ها (نتایج)

برای ارزیابی مدل BLM، هفت عامل در نظر گرفته شد که چهار عامل آن مربوط به فرسایش سطحی، یک عامل مربوط به فرسایش شیاری، یک عامل برای فرسایش آبراهه‌ای و عامل هفتم مربوط به فرسایش خندقی است (جدول ۴). مدل فارگاس بر پایهٔ زمین‌شناسی (شکل ۲) و دو عامل فرسایندگی (عامل تراکم زهکشی) و فرسایش‌پذیری (عامل حساسیت سنگ به فرسایش) شکل گرفته، ولی مدل BLM با استفاده از تیپ‌های فرسایشی و هفت عامل، ذکر شده‌است و با توجه به تحقیقات میدانی انجام می‌شود. مدل FSM مبتنی بر پنج عامل توپوگرافی، سنگ‌شناسی، خندق‌ها، شکل حوضه و پوشش گیاهی است که امتیازهای متفاوتی دارد و از طریق نقشه‌های توپوگرافی و زمین‌شناسی و بازدید میدانی برآورد می‌شود.



شکل ۲: انطباق زمین‌شناسی و آبراههٔ حوضهٔ مورد مطالعه

مدل فارگاس و همکاران براساس جداول ۷ و ۸ انجام شده‌است و بررسی انجام شده نشان می‌دهد که فرسایش در حوضه آبریز جزلاچای شدید است (شکل ۳).

[DOR: 20.1001.1.22517812.1401.12.1.7.2]

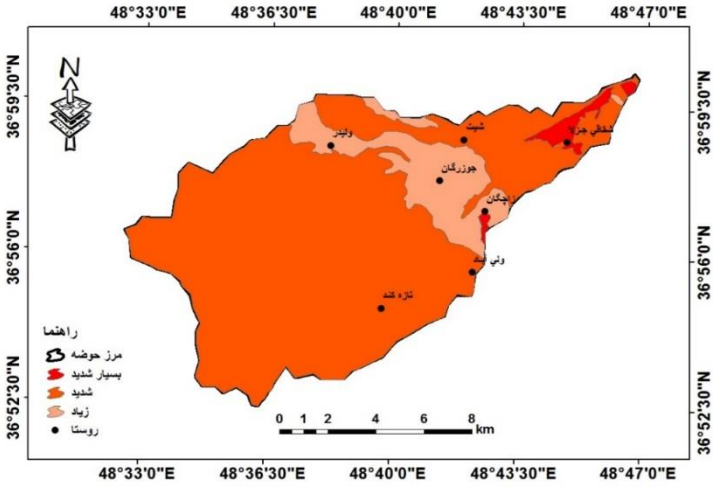
جدول ۷: کلاس فرسایش براساس تراکم زهکشی

کلاس	علامت واحد روی نقشه	تراکم زهکشی Km/Km^2	شدت فرسایش	ارزش نسبی
۱	Qal	۱/۰۳	شدید	۸
۲	Qt1	۱/۹۸	شدید	۸
۳	Qt2	۲/۲۲	بسیار شدید	۱۰
۴	Ngm2	۱/۰۷	شدید	۸
۵	Ngb2	۱	زیاد	۶
۶	Nbc2	۱/۲۵	شدید	۸
۷	E !-2 K.K	۱/۰۸	شدید	۸
۸	E 1 K.K	۱/۴۷	شدید	۸
۹	E 2 K.K	۱/۱۱	شدید	۸
۱۰	qm	۱/۱۵	شدید	۸

جدول ۸: نتایج نهایی مدل فارگاس

علامت واحد روی نقشه	نوع سنگ	امتیاز حساسیت سنگ	سطح (KM^2)	طول آبراهه (Km)	تراکم زهکشی Km/Km^2	امتیاز تراکم زهکشی	امتیاز شدت فرسایش	شدت فرسایش
Qal	آبرفت بستر رودخانه	۴	۲/۹۰	۳/۰۱	۱/۰۳	۱۰	۴۰	شدید
Qt1	پادگانه آبرفتی قدیمی	۴	۰/۶۱	۱/۲۱	۱/۹۸	۱۰	۴۰	شدید
Qt2	پادگانه آبرفتی جدید	۷/۵	۳/۰۸	۶/۸۵	۲/۲۲	۱۰	۷۵	بسیار شدید
Ngm2	تناوب مارن گچ‌دار، ماسه سنگ و کنگلومرا	۴	۳/۱۳	۳/۳۶	۱/۰۷	۱۰	۴۰	شدید
Ngb2	بازالت خاکستری	۲/۵	۰/۱۳	۰/۱۳	۱	۱۰	۲۵	زیاد
Nbc2	کنگلومرا	۴	۳/۶۰	۴/۵۳	۱/۲۵	۱۰	۴۰	شدید
E1-2 K.K	ماسه‌سنگ توفی، توف، مادستون و سیلت	۴	۱۲/۱۱	۱۳/۱۷	۱/۰۸	۱۰	۴۰	شدید
E 1 K.K	سنگ توف، توف و ماسه سنگ	۴	۱۳/۳۲	۱۹/۷۰	۱/۴۷	۱۰	۴۰	شدید

[DOR: 20.1001.1.22517812.1401.12.1.7.2]

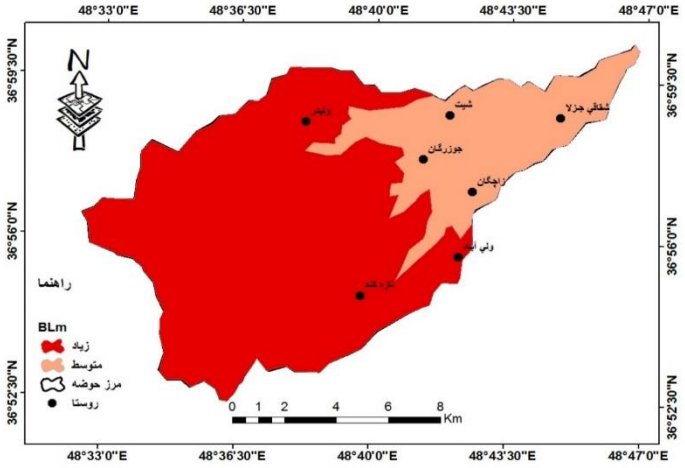


شکل ۳: نقشهٔ حاصل از اجرای مدل Fargas

بردارهای مورد نیاز برای تعیین شدت فرسایش در مدل BLM ارزیابی شد (جدول ۹ و شکل ۴). توضیح این امر لازم است که ارقام ستون ۹، از حاصل جمع ارقام ستون‌ها طبق جدول ۴ به دست می‌آید. در واحدهای کوهستان و کوهپایه نیز فرسایش زیاد و در واحد دشت متوسط است.

جدول ۹: نتایج نهایی مدل BLM

تیپ فرسایشی	امتیاز عامل ۱	امتیاز عامل ۲	امتیاز عامل ۳	امتیاز عامل ۴	امتیاز عامل ۵	امتیاز عامل ۶	امتیاز عامل ۷	امتیاز شدت فرسایش	شدت فرسایش
E1	۷	۸	۱۲	۱۴	۴	۱۲	۱	۵۸	متوسط
E2	۷	۱۲	۱۲	۱۴	۵	۱۱	۲	۶۳	زیاد
E3	۸	۱۴	۱۲	۱۴	۴	۱۲	۲	۶۶	زیاد

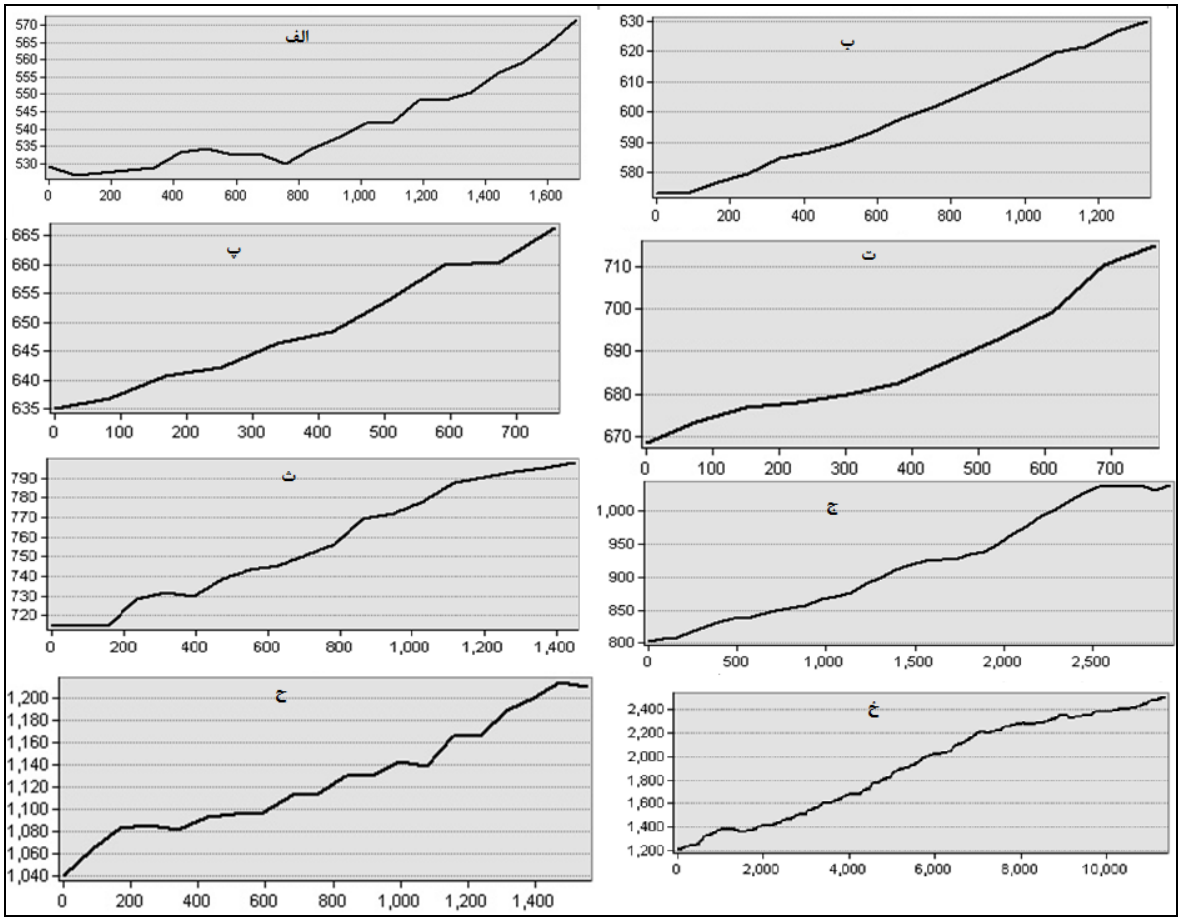


شکل ۴: نقشهٔ حاصل از اجرای مدل BLM

[DOR: 20.1001.1.22517812.1401.12.1.7.2]

عامل شیب در گذر از یک قطعه به قطعهٔ دیگر به طور محسوسی تغییر می‌کند. میانگین شیب در این قطعات مختلف، برابر نیست و میزان آن به تدریج از قطعات بالارود به سمت پایین‌رود کاهش می‌یابد. تنظیم نیمرخ تعادل از پایین به سمت بالا یعنی براثر عمل پسروی (فرسایش قهقرایی یا صعودی) صورت می‌گیرد (Mahmudi, 2012). در حوضهٔ مورد مطالعه، شیب از پایاب به سراب افزایش می‌یابد که این امر به دلیل تسلط فرسایش قهقرایی در حوضهٔ جزلاچای با توجه به پایین بودن سطح اساس و وجود ماده و انرژی بیشتر رودخانهٔ اصلی نسبت به سرشاخه‌ها است که به فرسایش بیشتر بستر رودخانهٔ اصلی منجر می‌شود و در سرشاخه‌ها فرسایش قهقرایی را مسلط می‌کند. در مدل BLM نیز قابل مشاهده‌است که در قسمت سراب، فرسایش (واحد کوهستان و کوهپایه) افزایش یافته‌است. مقدار شیب در بخش‌های مختلف براساس لیتولوژی‌های موجود متفاوت است که با توجه به لیتولوژی‌های حوضه از پایاب (لیتولوژی کنگلومرا) تا سراب (لیتولوژی ماسه‌سنگ توفی، توف و سیلت) مقدار شیب افزایش می‌یابد (شکل ۵ و جدول ۱۰). همبستگی خطی بین فاصله از محل خروجی حوضه و شیب با ضریب همبستگی بیش از ۰/۹ در رابطهٔ ۱ برآورد شده که Y شیب بر حسب درصد و X فاصله بر حسب کیلومتر از نقطهٔ خروجی است.

$$Y=1.592X-2.014 \qquad R^2=0/898$$ رابطهٔ ۱



شکل ۵: نیمرخ طولی بستر رودخانه در لیتولوژی‌های مختلف از سراب به طرف پایاب الف. کنگلومرا؛ ب. پادگانه آبرفتی جدید؛ پ. تناوب مارن گچ-دار و ماسه‌سنگ؛ ت. پادگانه آبرفتی قدیمی؛ ث. ماسه‌سنگ توفی، توف و مادستون؛ ج. کوارتزمونزودیوریت؛ ح و خ. ماسه‌سنگ توفی، توف و سیلت

[DOR: 20.1001.1.22517812.1401.12.1.7.2]

جدول ۱۰: وضعیت شیب در لیتولوژی حوضهٔ جزلاچای از پایاب به سراب

ردیف	لیتولوژی	شیب به درصد	فاصله آبراهه هر لیتولوژی تا پایاب
۱	کنگلومرا	۲/۴۷	۲۸۷۸
۲	پادگانه آبرفتی جدید	۴/۱۷	۴۲۴۴
۳	تناوب مارن گچ‌دار و ماسه‌سنگ	۴/۲۱	۵۳۲۹
۴	پادگانه آبرفتی قدیمی	۶/۰۵	۶۱۷۹
۵	ماسه‌سنگ توفی، توف و مادستون	۵/۷۲	۷۱۸۸
۶	کوارتزمونزودیوریت	۸/۸۸	۹۶۶۴
۷	ماسه‌سنگ توفی، توف و سیلت	۱۱/۳۰	۱۷۸۵۳

نتایج حاصل از بررسی پنج عامل بیان شده در مدل FSM در جدول ۶، برای برآورد میزان فرسایش‌پذیری در حوضه آبریز جزلاچای در جدول ۱۱ نشان داده شده‌است.

جدول ۱۱: نتایج نهایی مدل FSM

حوضه	توپوگرافی	پوشش گیاهی	خندق	سنگ‌شناسی	شکل حوضه	شاخص FSM	میزان فرسایش‌پذیری (تن بر کیلومتر مربع در سال)
جزلاچای	۱/۴۵	۲/۱۰	۱/۱۵	۱/۳۰	۲	۹/۱۰	۶۹۹/۰۸

۵ـ بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به شرایط کنونی کشور ایران که بی‌آبی و فرسایش شدید آن را تهدید می‌کند، ارزیابی میزان فرسایش در زیر حوضه‌های آن می‌تواند میزان فرسایش‌پذیری را در بخش‌های مختلف مشخص کند. در این پژوهش برای بررسی شدت فرسایش، حوضهٔ جزلاچای از زیر حوضه‌های قزل‌اوزن در منطقهٔ طارم (زنجان) انتخاب و برای اندازه‌گیری شدت فرسایش در این حوضه از سه مدل Fargas ، BLM و FSM استفاده شد. نتایج به دست آمده از مدل Fargas براساس زمین‌شناسی حوضه نشان می‌دهد که بیشترین وسعت حوضه یعنی ۸۲ درصد آن فرسایش شدید، ۱۳ درصد فرسایش زیاد و ۵ درصد فرسایش بسیار شدید دارد. نتایج حاصل از بررسی مدل BLM ــ با استفاده از هفت عامل که چهار عامل آن مربوط به فرسایش سطحی، یک عامل مربوط به فرسایش شیاری، یک عامل برای فرسایش آبراهه‌ای و عامل هفتم مربوط به فرسایش خندقی ــ در حوضه آبریز جزلاچای در سه واحد توپوگرافی (کوهستان، کوهپایه و دشت) نیز نشان می‌دهد که شدت فرسایش در واحد دشت، متوسط و در واحدهای کوهستان و کوهپایه زیاد است. بررسی فرسایش-پذیری حوضه با استفاده از مدل FSM در پنج فاکتور پوشش گیاهی، شکل حوضه، توپوگرافی، سنگ‌شناسی و خندق-های موجود در حوضه بر این دلالت دارد که میزان فرسایش‌پذیری حوضه برابر با ۶۹۹/۰۸ تن در کیلومتر مربع در سال است. از جمله عواملی که در شدت فرسایش و تولید رسوب و ایجاد سیلاب در حوضه‌ها مؤثر است، خصوصیات فیزیوگرافی و توپوگرافی حوضه از جمله وضعیت آبراهه‌ها، ارتفاع و شیب حوضه است. بخش مرکزی حوضه آبریز

[DOR: 20.1001.1.22517812.1401.12.1.7.2]

جزلاچای شیب زیادی دارد که عامل شیب با افزایش سرعت جریان آب‌ها به افزایش فرسایش در این بخش منجر می‌شود. بخش غربی و جنوب غربی حوضه نیز شیب ملایم تا تندی دارد و سازند این بخش، نیمه مقاوم است. همان طور که در نقشهٔ حاصل از مدل‌های Fargas و BLM مشاهده می‌شود، این محدوده (بخش غربی و جنوب غربی) دارای فرسایش زیاد است و فرسایش قهقرایی بر حوضهٔ مورد مطالعه تسلط دارد و به فرسایش بیشتر بستر رودخانهٔ اصلی منجر می‌شود. با توجه به بازدیدهای میدانی و نتایج حاصل از اجرای این مدل‌ها، مدل BLM با فرسایشی که در حوضه آبریز جزلاچای حاکم است، همخوانی بیشتری دارد.

منابع

1. Abdi, N., 2016. Evaluate the Accuracy of Fargas and BLM Models for Identification of Erosion Intensity, *Journal of Geology*, 1457-1468 .

2. Ahmadi, H., & A. A. Mohamadi., (2009). Identification of erosion sensitive areas by studying Fargas model (Murray study: Sangab watershed). *Journal Geographical Quarterly of the Land*. 6 (22), 1-9. (in Persian)

3. Fargas, D.; Martinez, J. A.; & R. M. Poch, 1997. Identification of Critical Sediment Source Area At Regional Level, *Physics & Chemistry of the earth*, 22(3-4), 355-359.

4. Heydari, A. R., Hatami M., & H. Ochaghloo, 2017. Water erosion, flood and soil and water protection_Ghezel Ozan river flood zoning using HEC_RAS hydraulic model in Arc GIS environment (Case study: Tarom Khalkhal Basin), 16th Iranian Soil Science Congress , Zanjan (in Persian)

5. Jafari, Gh. H., & H. Mohammadi., (2018). Dominoes in Geomorphology (Case study: Ghezel ozan basin). *E.E.R*. 3(3), 16-36.

6. Mahmoudi, F., 2012. Dynamic Geomorphology, Payame Noor University, Third Edition, Publisher: Payame Noor University Press, pp. 281 (in Persian)

7. May, L., & C. J. Place., (2005). A GIS-based model of soil erosion and transport. Freshwater forum. 48-61 pp

8. Moeini, A.; Mofidi, S.; Mohammadian Khorasani, Sh.; & A. R. Saiami, 2017. Comparison of FSM and Fargas models in erosion zoning of Kasilian watershed, 15th Iranian Soil Science Congress (in persian).

9. Mopt., 1992. Propuesta del proyecto de directericea, Cuence Del Ebro, Confederacion Hidrografica Del Ebro-MOPT.

10. Nohegar, A.; Kazemi, M.; Ahmadi, J.; Gholami, H.; & R. Mahdavi, 2017. Evaluation of sediment yield using homogeneous units on land uses and the Geological Formations (Case Study: Tange Bostanak watershed), *Journal of Hydro geomorphology*, 10(1), 99-119. (in Persian)

11. Nojavan, M.; Mohammadi, A. A.; & V. Gholami, 2012. Determining the severity of erosion using Fargas and BLM models studied: Bandar watershed, *Journal of Geography and Development*, 10, 29 (29), 119-130. (in Persian)

12. Prosdocimi, M.; Burguet, M.; Diprima, S.; Sofia, G.; Terol, E.; Rodrigo Comino, J.; Cerda, A.; & P. Tarolli, 2017. Rainfall simulation and Structure-from Mation Photogrammetry for the analysis of soil water erosion in Mediterranean vineyards, *Science of the Total Environment*, 204-215 pp

13. Refahi, H.Gh., 2009. Water Erosion and conservation, Sixth edition, P 671. (in Persian)

14. Schmidt, J.; Werner, M. V.; & M. Schindewolf, 2017. Wind Effects on soil Erosion by water- A sensitivity analysis using model Simulations on catchment scale, *Catena*, 168-175.

[DOR: 20.1001.1.22517812.1401.12.1.7.2]

15. Stroosnijder, L., & L. A. Eppink., (1993). Principles of soil and conservation. Lecture notes of course K 200-500/510. WAU, Wageningen
16. Verstraeten, G.; Poesen, J.; Vente, J. D.; & X. KOningkx, 2003. Sediment yield variability in Spani: a quantitative and Semiqualitative analysis using reservoir sedimentation rates, *Geomorphology*, 312-327.
17. Yamani, M.; Lak, R.; Goorabi, A.; Shahbazi, R.; & A. Shabanieraghi, 2020. Investigating the potential of wind Eeosion and dust production areas in Jazmourian playa, *E.E.R*, 1,10 (37), 21-38 (in persian).

[DOR: 20.1001.1.22517812.1401.12.1.7.2]

Estimation of soil loss due to water erosion of Jazlachai catchment using three models FSM, Fargas, BLM

Extended abstract

Gholamhasan jafari[1]:*Associate Professor of Geomorphology, Zanjan University. Zanjan*
zeinab karimi: *MS. c in Geomorphology, Faculty of Planning and Environmental Sciences, University of Tabriz, Tabriz*

Article History (Received: 2021/08/14 **Accepted:** 2021/11/7**)**

Extended abstract

1- Introduction

The word erosion means the abrasion of the earth's surface, during this process, soil particles are separated from their main bed and transferred to another place with the help of one or more transfer agents. Soil particles can be transported by water, wind or glaciers. Particles transferred and accumulated elsewhere are called sediments. Soil erosion reduces arable land fertility and causes harmful damage. Soil water erosion is a natural phenomenon that has become one of the most important environmental threats in the world today due to unwise human activities, such as the irrational transformation of the earth and the destruction of vegetation

The study basin is one of the Ghezel Ozan River branches in Tarom region, which is more prone to erosion due to the special lithology of this region (marl and tuff lithology) and heavy rainfall.

The purpose of this study is to investigate erosion in Jazla chay catchment, which is one of the Ghezel Ozan basins. Due to the current situation and successive droughts, erosion in this basin can cause irreparable damage to the villages of this basin. Basin erosion is estimated by comparing three models (BLM, Fargas and FSM)

2- Methodology

Jazla Chay catchment area with an area of 149.61 square kilometers is under the Ghezel Ozan tributaries in Tarom region. To study the erosion in the study basin, software (Arc GIS 10.5), Google Earth and geological map of 1.100000 and topography of 1.50000 area have been used. First, basic maps including geological maps, topography, waterway, land use have been prepared. Using Arc GIS software, Fargas, BLM and FSM models have been implemented for erosion zoning in Jazla chai catchment area. A field visit was made to the study basin to observe erosion in the environment. Geological maps, land use, topography in digital Gis and land environment were referenced and using tables related to three models FSM, Fargas and BLM, the layers were scored and erosion zoning maps were prepared and then compared.

The Fargas model was introduced by Fargas et al. In 1997. The following steps are required to implement this model: 1- Determining the erodibility index of the basin: At this stage, the amount of erodibility is determined for each stone unit. 2- Placing water maps and rock units and evaluating the amount of drainage density in each rock unit provided by Fargas et al. 3- Determining the risk of erosion using the evaluated coefficient for rock resistance to erosion and drainage density in each rock unit.

The BLM method was developed by the US Office of Land Management. Using this model, the erosion status can be scored according to the sum of the scores of seven factors (soil mass

[1]**Corresponding Author**: jafarihas@znu.ac.ir

[DOR: 20.1001.1.22517812.1401.12.1.7.2]

movement, litter cover, surface rock cover, reinforced rock fragments, surface grooves, waterway shape and development of moat erosion) and accordingly the factors of the general erosion status are determined for each type of erosion.

In FSM model, 5 factors of geology, topography, vegetation, moat erosion and basin shape are used to calculate the sedimentation of the basin. The scores of each factor are shown as low, medium and high with the numbers 1, 2 and 3, respectively, which are determined using field navigation, topographic and geological maps. After scoring the five factors, the value of FSM coefficient will be obtained by multiplying the factors in each other and using this coefficient, the erosion rate of the basin will be calculated

3- Results

To evaluate the BLM model, seven factors have been considered, of which 4 factors are related to surface erosion, one factor is related to furrow erosion, one factor is for canal erosion and the seventh factor is related to moat erosion. Mountains and foothills have high erosion and are moderate in the plain. The slope factor changes significantly from one piece to another. The average slope in these different parts is not equal and its amount gradually decreases from the upstream to the downstream parts. Adjusting the balance profile from the bottom up means that most of the reversal operation (regressive or ascending erosion) takes place. In the study basin, the slope increases from downstream to upstream, which indicates the dominance of regressive erosion in the basin. In the BLM model, it can also be seen that erosion has increased in the upstream part (mountain and foothills unit). The amount of slope varies in different parts based on the available lithologies, which according to the lithologies of the basin, the amount of slope increases from the downstream, which is the lithology of the conglomerate, to the upstream lithology, which is sandston tuff, tuff and silt . The profile of the studied basin is drawn from upstream to downstream, which indicates an increase in slope upstream. Fargas model is based on geology and two factors of erosion (drainage density factor) and erodibility factor (rock susceptibility factor to erosion) which according to Fargas model, erosion in the catchment area Jazla chay is violent. The FSM model uses 5 factors of topography, lithology, ditches, basin shape and vegetation that have different scores and is estimated through topographic and geological maps and field visits and according to the model. Erosion rate in Jazla chay catchment is estimated to be 699.08 tons per square kilometer per year.

4- Discussion & Conclusions

Given the current situation in Iran, which is threatened by drought and severe erosion, the assessment of erosion in its sub-basins can determine the rate of erosion in different sectors. In this study, Jazlachai basin has been selected from Ghezel Ozan sub-basins in Tarom region (Zanjan) to investigate the severity of erosion. To measure the intensity of erosion in the study basin, three models Fargas, BLM and FSM have been used. The results obtained from the Fargas model, based on the geology of the basin, show that the maximum area of the basin is 82% with severe erosion and 13% with erosion. High and 5% has very severe erosion. Results of BLM model (using seven factors, 4 of which are related to surface erosion, one factor related to furrow erosion, one factor for canal erosion and the seventh factor related to moat erosion) in Jazlachai catchment in three units Topography (mountain, foothills and plains) indicates that the intensity of erosion is moderate in the plain unit and high in the mountain and foothill units. Evaluation of basin erodibility using FSM model in 5 factors of vegetation, basin shape, topography, lithology and ditches in the basin indicates that the basin erodibility rate is equal to 699.08 tons per square kilometer in Is the year. Among the factors that are effective in

[DOR: 20.1001.1.22517812.1401.12.1.7.2]

the intensity of erosion and sediment production and flooding of basins, the physiographic and topographic characteristics of the basin, including the condition of waterways, height and slope of the basin. The central part of Jazlachai catchment has a high slope, the slope factor increases the erosion in this part by increasing the speed of water flow. The western and southwestern part of the basin has a gentle to steep slope and the formation of this part is semi-resistant. As can be seen in the map obtained from Fargas and BLM models, this area has high erosion and regressive erosion dominates in the study basin and leads to further erosion of the main riverbed. According to the field visits and the results of the implementation of these models, the BLM model is more compatible with the erosion that prevails in the Jazlachai catchment.

Key Words: Jazla chay, erosion, BLM model, Fargas model, FSM model.

[DOR: 20.1001.1.22517812.1401.12.1.7.2]