



دوره‌ی ۳۴، شماره‌ی ۲، شماره‌ی پیاپی ۱۳۱، تابستان ۱۴۰۰، صفحه‌های ۱۴-۲  
شناسه‌ی دیجیتال: 10.22092/wmej.2020.342138.1320

مقاله‌ی پژوهشی

# پژوهش‌های آبخیزداری

## بررسی رابطه‌ی عامل‌های زمین‌ریختی با شکل‌های فرسایش آبی در بخشی از آبخیز حبله‌رود

عیسی جوکار سرهنگی

(نویسنده‌ی مسئول)\* دانشیار گروه جغرافیا دانشگاه مازندران

ابوالفضل یوسفی بلترک

کارشناس ارشد آب‌زمین‌شناسی دانشگاه مازندران

\*رایانامه‌ی نویسنده‌ی مسئول: e.jokar@umz.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۸ اسفند ۱۳۹۸ تاریخ پذیرش: ۲۰ شهریور ۱۳۹۹

### چکیده

نوع فرسایش شدت آن را نیز نشان می‌دهد. آبخیز بررسی‌شده یکی از منطقه‌های مستعد دام‌پروری در استان سمنان است که با بهره‌گیری بیش‌ازحد و نامناسب از زمین در خطر پیدایش و پیشرفت شکل‌های مختلف فرسایش آبی است. بنابراین ضروری است که عامل‌های مؤثر بر تشدید شرایط فرسایش آبی در آن‌ها برای مدیریت و مهار کردن آن‌ها بررسی کرده شود. در این تحقیق رابطه‌ی عامل‌های مهم زمین‌ریختی با تغییر شکل‌های فرسایش آبی سطحی، شیبی، خندقی و زمین بدخیم (بدلند) در بخشی از آبخیز حبله‌رود به‌دست آورده شد. طبقه‌های مختلف جنس سنگ، شیب، جهت و ارتفاع با هر یک از شکل‌های فرسایش در منطقه ارتباط داده شد تا ایجاد شدن انواع آن‌ها و شکل فرسایشی غالب در طبقه‌های هر یک از عامل‌ها مشخص کرده‌شود. با کمک گرفتن از پژوهش ارزیابی تخریب زمین در منطقه‌های خشک (LADA)، به شکل‌های فرسایش منطقه برحسب شدت و ضعف آن‌ها رتبه داده شد، و برپایه‌ی ماهیت داده‌ها و متغیرهای بررسی‌شده آزمون آماری کروسکال والیس به‌کار برده شد. نتیجه‌های به‌دست آمده بیانگر آن است که بیش‌ترین فراوانی شکل‌های پیشرفته‌ی فرسایش آبی یعنی فرسایش خندقی و بدخیم به‌ترتیب در سازندهای آهک‌رس و سنگ گچ و نمک (۸/۴٪ و ۱۵/۸٪)، بلندی‌های ۱۰۰۰-۱۲۰۰ متر (۶/۷٪ و ۲۱/۳٪)، شیب‌های ۱۰-۲۰٪ (۸/۷٪ و ۱۵٪)، و جهت دامنه‌ی جنوبی (۵/۷٪ و ۹/۵٪) است. نتیجه‌ی آزمون آماری برای جنس سنگ، شیب و جهت دامنه در تراز ۰/۰۱ و برای ارتفاع در تراز ۰/۰۵ معنی‌دار به‌دست آمد، که نشان می‌دهد شکل‌های فرسایش آبی در طبقه‌ی عامل‌های بررسی‌شده تفاوت مشخصی دارد. بنابراین می‌توان این عامل‌های زمین‌ریختی را برای ارزیابی کردن شکل‌های فرسایش آبی و شدت آن در منطقه‌های مشابه به‌کار برد.

واژگان کلیدی: شکل‌های فرسایش، طرح ارزیابی تخریب زمین، حبله‌رود، زمین‌ریختی

## مقدمه

طوری که فرآیند خاک‌سازی در دامنه‌ی شمالی و جنوبی با هم تفاوت دارد (رامشت ۲۰۰۱). ارتفاع در آب‌وهوای منطقه و به همراه آن در تشکیل و توسعه‌ی خاک و نوع تراکم پوشش گیاهی اثر دارد، و بنابراین آگاهی از ویژگی‌های پستی‌بلندی به‌ویژه نحوه‌ی توزیع سطح با ارتفاع در شناخت سازوکارهای آبخیزها اهمیت فراوان دارد (نخعی و قنوتی ۲۰۰۶). پستی‌بلندی مدل USLE به‌دلیل حساسیت زیاد نتیجه‌های مدل به آن، و به‌دلیل پیچیدگی اثرهای آن بر فرسایش خاک عامل مهمی در این مدل دانسته می‌شود (اسدزاده و میرزایی ۲۰۱۶).

پژوهش اسمیت و ویشمایر (۱۹۶۲) نشان داد که اثر فرسایش بر سطح‌های شیب‌دار بسیار پیچیده است. بودوکو و دزه‌برو (۲۰۰۵) با بررسی عامل‌های مختلف محیطی، شیب، جهت، و بافت خاک را مهم‌ترین عامل‌های مؤثر در فرسایش دانستند. سادیکی و فالج (۲۰۰۷) عامل‌های مؤثر بر فرسایش را معرفی کردند و میزان فرسایش را در رخساره‌های مختلف فرسایشی متفاوت دانستند که باید در تعیین میزان فرسایش به آن توجه شود. فاکس و همکاران (۲۰۰۸) نشان دادند که ریخت‌شناسی (شیب و جهت) از عامل‌های مهم در فرسایش‌پذیری خاک‌ها است و باید در برآورد کردن فرسایش خاک به آن توجه شود. لاینیگر و همکاران (۲۰۱۳) در ارزیابی تخریب زمین در منطقه‌های خشک (LADA) روش‌شناسی جامعی را برای تعیین و تهیه کردن نقشه‌ی تخریب زمین پایه‌ریزی و اجرا کردند. در این ارزیابی در سه مقیاس فضایی (محلی، ملی و جهانی) وضعیت، عامل‌ها و اثرهای تخریب زمین در نظام کاربری بررسی شد. شکل‌های فرسایش با آب و باد بررسی، و به هر یک از آن‌ها برحسب شدت تخریب ارزش و رتبه داده شد. نتیجه‌های آنان درک بهتری از پدیده‌های تخریب زمین به دست داد و عمل‌کرد مناسب در همه‌ی سطح‌ها را نشان داد. بررسی رابطه‌ی پستی‌بلندی و فرسایش خاک در فلات لسی چین با ترکیب کردن تحلیل بخش پایه‌ی (PCA) و وایازی خطی (چنگ و همکاران ۲۰۱۷) نشان داد که الگوی ویژگی‌های پستی‌بلندی آبخیز و شاخص پستی‌بلندی فرسایش مشابه است.

در ایران نتیجه‌های بررسی اثر شیب بر شدت فرسایش و ایجاد رخساره‌های فرسایشی در آبخیز لتیان (محمدخان و همکاران ۲۰۱۰) نشان داد که درصد رخساره‌های فرسایشی در هر رده از شیب ابتدا افزایش و سپس کاهش پیدا می‌کند، که دلیل آن را افزایش رخساره‌های توده‌سنگی و بیرون‌زدگی سنگی در بلندی‌ها و مقاوم‌تر بودن جنس سنگ در شیب‌های زیادتر دانستند. نتیجه‌های بررسی آستانه‌ی پستی‌بلندی و عامل‌های مؤثر بر رسوب‌زایی و گسترش خندق‌ها در منطقه‌ی نیریز استان فارس (سلیمان‌پور و

فرسایش آبی سطحی، خندقی و حرکت‌توده‌یی در بیش از ۱۲۰,۰۰۰,۰۰۰ هکتار از منطقه‌های کوهستانی و دشت‌های میان آن‌ها در ایران غالب است (عرب‌خدری ۲۰۱۴). فرسایش شیاری یکی از فرآیندهای فرسایش ناشی از آب در زمین‌های شیب‌دار و مرتع‌ها در بسیاری از منطقه‌های جهان است که باعث ازدست‌رفتن مقدار زیادی خاک می‌شود (کیمارو و همکاران ۲۰۰۸). از میان شکل‌های مختلف فرسایش آبی، فرسایش خندقی رخداد مهم و مؤثری در نابودشدن خاک، تغییرکردن منظم زمین و آب، و پس‌رفت زمین‌ها است. فرسایش خندقی نقش اساسی در تولیدکردن رسوب در منطقه‌های حساس حوزه‌های آبخیز دارد (احمدی ۲۰۱۲). از جمله اثرهای مخرب این شکل فرسایش پرشدن مخزن سدها بر اثر تولیدشدن حجم زیاد رسوب، ازبین‌رفتن زمین‌های کشاورزی، کاهش یافتن حاصل‌خیزی خاک، گسترش یافتن زمین‌های بدخیم، و هدررفتن آب بر اثر کاهش ظرفیت نگهداری خاک است (دلایا و همکاران ۲۰۱۲). هدر رفتن خاک در این نوع فرسایش چندین برابر بیش‌تر از فرسایش شیاری و سطحی است، و هرگاه تعداد خندق‌ها در هر کیلومترمربع از زمین بیش از ۷۰ یا طول آن‌ها در هر کیلومترمربع زمین بیش از ۱۰ کیلومتر باشد، فرسایش خندقی به فرسایش بدخیم تبدیل می‌شود. در زمین‌های بدخیم معمولاً شکل‌های مختلف فرسایش نیز یافته می‌شود (رفاهی ۲۰۰۹). در بیش‌تر منطقه‌هایی که گسترش طبیعی زمین بدخیم در آن زیاد است، ویژگی‌های سنگ‌شناسی و آب‌وهوایی در ایجادکردن آن دخالت مستقیم دارد. در واقع نقشه‌ی سنگ‌شناسی است که اساس واحدهای زمین‌ریختی را تشکیل می‌دهد. همین واحدهای سنگ‌شناسی برحسب اثر عامل‌های تخریب و فرسایش، نوع‌ها (تیپ‌ها) و رخساره‌های متفاوتی را در هر واحد مشخص می‌کند (احمدی ۲۰۱۲). اختلاف ارتفاع، شیب دامنه‌ها و پستی‌بلندی سطحی اغلب به اختلاف مقاومت سنگ‌ها و ساختمان زمین‌شناسی وابسته است. از این‌رو اولین عاملی که در توجیه‌کردن اختلاف شکل‌های سطحی ناشی از فرسایش به آن توجه می‌شود، ویژگی‌های چینه‌شناسی و سنگ‌شناسی است. هر قدر سنگ‌ها سست‌تر باشد فرسایش آن‌ها بیش‌تر است (یمانی ۲۰۱۴). از طرفی، درک این‌که چگونه آب‌وهوا، پستی‌بلندی، و پوشش زمین بر فرآیندهای فرسایش خاک اثر می‌کند ضروری است (گابارو گالوت ۲۰۱۳). پستی‌بلندی نه‌تنها به خودی‌خود نقش مهمی در تشکیل و تکامل خاک دارد، بل که سنجه‌های حساس نیواری مانند دما و رطوبت را تغییر می‌دهد؛ پس تغییردهنده‌ی آب‌وهوا در تراز ناحیه‌یی دانسته می‌شود. جهت دامنه‌ها نیز بسیار مهم است، به

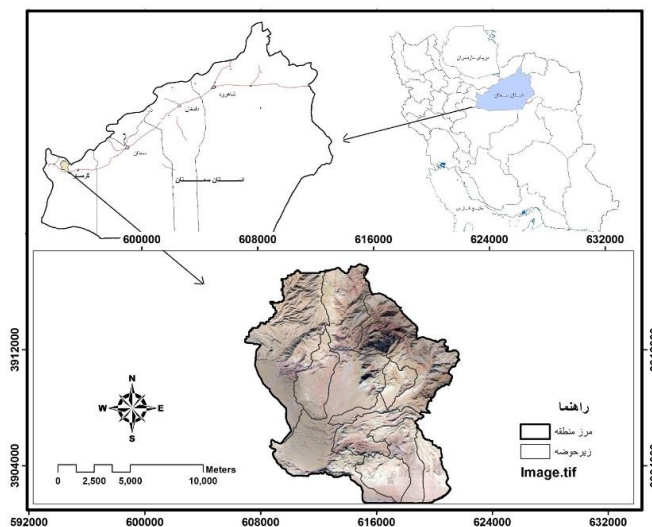
مختلف فرسایش آبی از فرسایش سطحی تا فرسایش خندقی و بدخیم دارد. برای مبارزه با، و به تبع آن موفقیت در، مهار کردن فرسایش خاک بررسی کردن کمی عامل‌ها و شکل‌های فرسایش و شدت آن‌ها در منطقه ضروری است. تاکنون نقش عامل‌های زمین‌ریختی در تشکیل و توسعه‌ی شکل‌های فرسایش آبی در ایران با توجه به طرح LADA و آمار استنباطی بررسی نشده‌است. این پژوهش برای شناخت علمی ارتباط عامل‌های جنس سنگ و ریخت‌شناسی با شکل‌های فرسایش آبی منطقه انجام شد.

### مواد و روش‌ها

منطقه‌ی بررسی شده جزو زیرحوزه‌ی کویر سمنان و گرمسار در شمال‌غربی آبخیز دشت کویر، در عرض جغرافیایی  $28^{\circ} 34'$  تا  $31^{\circ} 34'$  شمالی و طول جغرافیایی  $52^{\circ} 51'$  تا  $55^{\circ} 51'$  شرقی بخشی از آبخیز حبله‌رود در استان سمنان و شهرستان گرمسار است (شکل ۱). حوزه‌ی حبله‌رود از زیرحوزه‌های مهم آبخیز کویر نمک است که منطقه‌هایی از استان‌های تهران و سمنان شامل شهرستان‌های فیروزکوه، دماوند، سمنان و گرمسار در آن است. مساحت کل آن تا ایستگاه بنکوه ۳۲۰۹ کیلومتر مربع است، اما مساحت بررسی شده در پژوهش بخشی از آبخیز حبله‌رود را شامل می‌شود که حدود ۱۵۷۸۹ هکتار است. بیش‌ترین حد ارتفاع منطقه ۲۲۰۴ متر و کم‌ترین آن ۸۳۷ متر است. سازندهای زمین‌شناسی منطقه را اغلب آهک‌رس با فرسایش‌پذیری شدید و سنگ‌های تبخیری شامل سنگ‌گیچ و نمک و رسوب‌های آواری جوش‌سنگ و ماسه‌سنگ تشکیل داده‌است. این سازندها مربوط به دوران نوزیستی (سنوزویک) است و رخ‌نمون سازندهای قرمز زیرین، قم، قرمز زبرین، هزاردره و نهشته‌های آب‌رقتی آبخیز را شامل می‌شود. میانگین بارندگی سالانه‌ی منطقه ۱۷۰/۱ میلی‌متر و میانگین دما در آن ۱۴ درجه سانتیگراد است. در انتهای جنوب‌غربی آبخیز حبله‌رود به دلیل طولانی‌بودن دوره‌ی خشکی و پراکنش نامناسب بارندگی که در آن حدود ۸۵٪ از بارندگی رگباری است، مرتع‌ها بسیار فقیر است. چرای دام نیز در آن هست. این شرایط سبب تشدیدشدن فرسایش آبی و پیدا شدن شکل‌های مختلف آن (فرسایش سطحی، شیبی، خندقی و بدخیم) شده است (شکل ۲ تا ۴).

همکاران (۲۰۱۰) غالب بودن روان‌آب سطحی را در جایگاه فرآیند آب‌شناختی عمده در گسترش آن‌ها نشان داد. بررسی آستانه‌ی پستی‌بلندی نیز نشان داد که فرآیند روان‌آب سطحی به علت منفی‌شدن توان (b) غالب است. بررسی ارتباط بین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آهک‌رس حساس با فرسایش در آبخیز تلخه‌رود با نوع‌های مختلف فرسایش نشان داد که در میانگین داده‌ها در بین فرسایش‌های توده‌یی و هزاردره‌یی (بدخیم)، اسیدیته تفاوت معنی‌دار دارد (سلماسی و پیروان ۲۰۱۲). نتیجه‌های رابطه‌ی فرسایش‌پذیری، شکل‌های فرسایش و از میان‌رفتن خاک‌های حاصل از سه نوع آهک‌رس در آذربایجان غربی (سکوئی و همکاران ۲۰۱۶) نشان داد که با آن‌که به‌طور کلی وضعیت فرسایش سطحی در طبقه‌ی متوسط است، در منطقه‌های قره‌تپه و قره‌آغاج فرسایش خندقی امتیاز بیش‌تری گرفته است. ارزیابی فرسایش‌پذیری خاک در آبخیز سد طرق مشهد (صوفی و امامی ۲۰۱۷) نشان داد که در جهت شمالی کم‌ترین فرسایش‌پذیری در شیب کم‌تر از ۱۰٪ مشاهده شد، که با سایر درجه‌های شیب تفاوت معنی‌داری دارد. در جهت جنوبی بین درجه‌های مختلف از نظر مقدار شاخص فرسایش‌پذیری تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. جوکار سرهنگی و همکاران (۲۰۱۸) در تحلیل عامل‌های موثر بر تشکیل و گسترش زمین‌های بدخیم در آبخیز ماملو نشان دادند که زمین‌های بدخیم در منطقه‌های با گل‌سنگ، آهک-رس، گچ و جوش‌سنگ قرمز ارتفاع کم‌تر از ۱۴۰۰ متر و شیب ۵-۱۰٪ بیش‌ترین تراکم را دارد. امیری و همکاران (۲۰۱۹) در مدل‌سازی مکانی فرسایش خندقی آبخیز مهارلو نشان دادند که طبقه‌های ارتفاعی کم و جهت‌های جنوبی نقش موثری در وقوع فرسایش خندقی داشته است. یربی و همکاران (۲۰۲۰) در بررسی روابط ریخت‌سنجی خندق‌ها در بخش نیمه‌خشک استان ایلام به این نتیجه رسیدند که عامل‌های پستی‌بلندی بر شکل نهایی خندق‌ها تأثیرگذار است. بیش‌تر پژوهش‌ها بر یک شکل از فرسایش به‌ویژه فرسایش خندقی بوده است. در ارتباط با شکل‌های فرسایش آبی برخی از بررسی‌ها به شیب یا جهت دامنه، و برخی دیگر صرفاً به ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک یا فرسایش‌پذیری آن پرداخته‌اند.

منطقه‌ی بررسی شده با سازندهای زمین‌شناسی حساس آهک‌رس، پلمه‌سنگ و سنگ‌های تبخیری، آب‌وهوای خشک و نیمه‌خشک و تنوع ریخت‌شناسی، شرایط طبیعی را برای ایجادشدن نوع‌های



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه در استان سمنان و ایران.

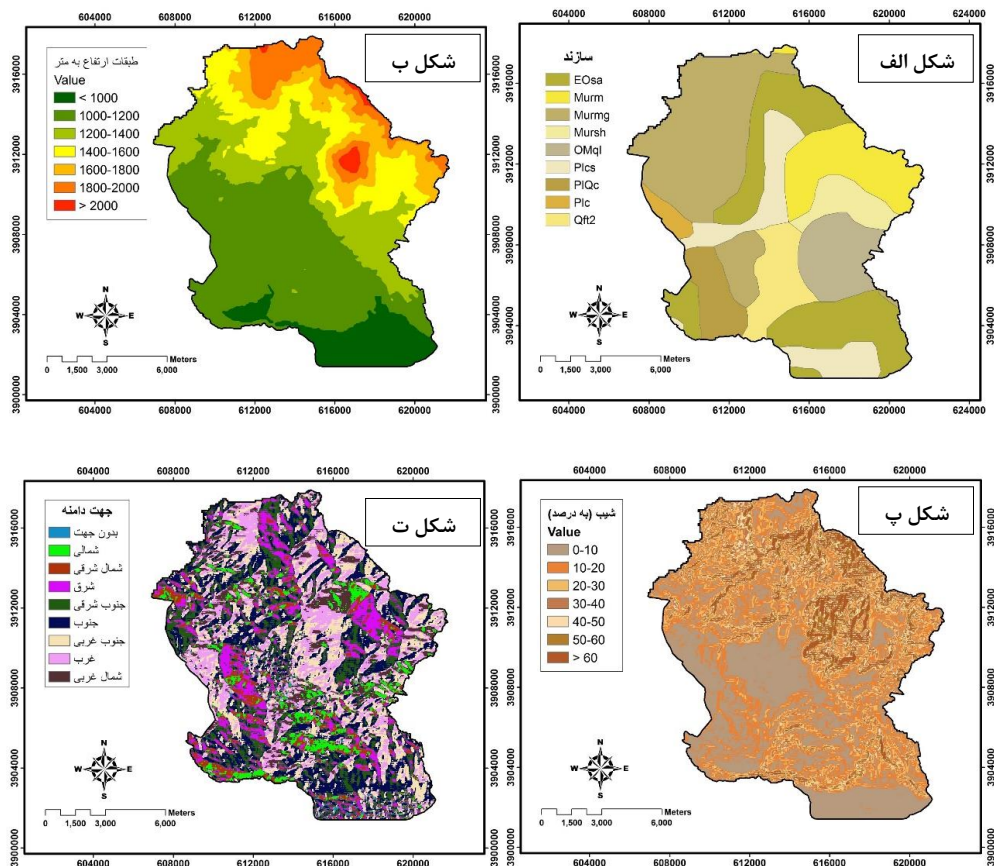


شکل ۲- مرحله‌های ابتدایی تخریب خاک با فرسایش سطحی و شیاری در منطقه. شکل‌های ۳ و ۴- مراحل پیشرفته‌ی شکل‌های فرسایش آبی در منطقه (خندقی و بدخیم).

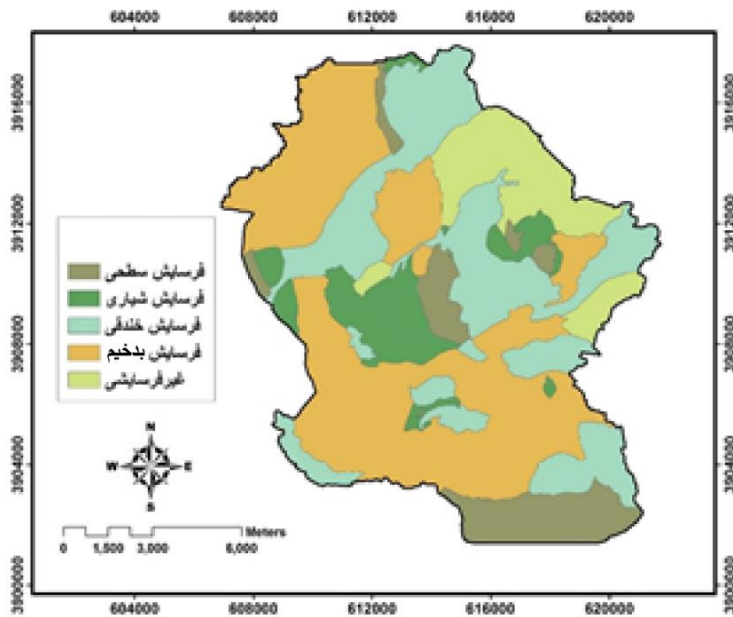
شد، و از آن‌جا که تشخیص شکل‌های فرسایش در صحرا به راحتی امکان‌پذیر است، برای تکمیل کردن و بازنگری نقشه، بازدیدهای صحرائی و تطبیق اطلاعات با دستگاه موقعیت‌یاب جهانی (GPS) انجام شد. به این ترتیب شکل‌های مختلف فرسایش در منطقه شامل فرسایش سطحی، شیاری، خندقی و بدخیم شناسایی و حدود آن‌ها تعیین کرده شد (شکل ۶).

برای تهیه‌کردن لایه‌ی جنس سنگ نقشه‌ی زمین‌شناسی (۱:۱۰۰۰۰۰) سازمان زمین‌شناسی کشور به کار برده شد (شکل ۵ الف) و لایه‌های ریخت‌شناسی منطقه شامل ارتفاع، شیب و جهت دامنه از مدل رقومی ارتفاع (DEM) با اندازه‌ی خانه‌های ۳۰ متری به دست آمد (شکل‌های ۵ ب، پ و ت). برای تهیه‌ی نقشه‌ی نوع فرسایش منطقه تصویر گوگل ارث ۲۰۱۴ و عکس‌های هوایی ۱۳۸۱ (۱:۲۰۰۰۰) سازمان نقشه‌برداری کشور به کار برده

بررسی رابطه‌ی عامل‌های زمین‌ریختی با شکل‌های فرسایش آبی...



شکل ۵- نقشه‌ی سازندهای زمین‌شناسی (الف)، طبقه‌های ارتفاع (ب)، طبقه‌های شیب (پ)، و جهت دامنه‌ی منطقه (ت).



شکل ۶- نقشه‌ی شکل‌های فرسایش آبی منطقه.

## نتایج

با تفکیک و تعیین کردن حد فرسایش آبی در بخشی از آبخیز حبله‌رود، شکل‌های مختلف آن شامل فرسایش سطحی، شیاری، خندقی و بدخیم تشخیص داده شد. نقشه‌ی به‌دست‌آمده (شکل ۶) نشان می‌دهد که فرسایش سطحی در ۱۵۱۹ هکتار، شیاری در ۱۳۹۸ هکتار، خندقی در ۴۴۵۱ هکتار و بدخیم در ۶۶۷۹ هکتار از مساحت منطقه است. شکل فرسایش غالب در منطقه فرسایش بدخیم با بیش‌ترین فراوانی ۴۲/۳٪ است. به‌علاوه حدود ۱۷۴۲ هکتار از سطح منطقه از برون‌زدهای سخت و یکپارچه‌ی سنگی تشکیل شده است که هیچ‌کدام از فرسایش‌های آبی در آن نیست و سطح فرسایش طبیعی شناخته شد. در این منطقه‌ها فرسایش ساختمانی غالب است و میزان فرسایش کم و طبیعی است. نتیجه‌های هم‌پوشانی دادن لایه‌های جنس سنگ، ارتفاع، شیب و جهت دامنه با شکل‌های مختلف فرسایش آبی منطقه با کاربرد ArcGIS در جدول‌های ۱ تا ۴ نشان داده شده است. نتیجه‌ی آزمون آماری کروسکال والیس برای بررسی معنی‌داری تغییر شکل‌های فرسایش آبی با عامل‌های زمین‌ریختی در جدول ۵ نشان داده شده است. بررسی رابطه‌ی جنس سنگ با نوع‌های مختلف فرسایش آبی منطقه بیانگر آن است که شکل‌های پیشرفته و بحرانی آن یعنی فرسایش بدخیم و خندقی در سازندهای حساس منطقه بیش‌ترین فراوانی را دارد. فراوانی بدخیم در سازند آهک‌رس و گچ ۱۵/۸٪ و در سنگ نمک ۷/۳٪ است. این میزان برای فرسایش خندقی به‌ترتیب ۸/۴٪ و ۶/۹٪ مشاهده شد (جدول ۱). در مقابل، فراوانی شکل‌های کم‌تر توسعه‌یافته مانند فرسایش سطحی در سنگ آهک توده‌یی بیش‌تر است (۵/۳٪).

جدول ۱- مساحت (هکتار) و درصد مساحت شکل‌های مختلف فرسایش آبی در سازندهای منطقه.

شکل‌های فرسایش	جنس سنگ								
	EOsa*	MUrm	MUrmg	MUrsh	OMql	PLcs	PIqc	Plc	Qft2
سطحی	۳۰۸	۳۲	۱۰۷	۷۰	۸۴۰	۰	۵۶	۰	۱۰۹
	٪۱/۹	٪۰/۲	٪۰/۷	٪۰/۴	٪۵/۳	٪۰	٪۰/۴	٪۰	٪۰/۷
شیاری	۲۲۱	۱۵۷	۴۶۹	۷۴	۲۰۲	۲۰	۱۱۴	۴۱	۱۴۳
	٪۱/۴	٪۱	٪۳	٪۰/۵	٪۱/۳	٪۰/۱	٪۰/۷	٪۰/۳	٪۰/۹
خندقی	۱۰۹۳	۸۷۲	۱۱۵۶	۳۹۰	۱۶۶	۴۳۲	۱۸	۸۲۱	۲۹۰
	٪۶/۹	٪۵/۵	٪۷/۳	٪۲/۵	٪۱	٪۲/۷	٪۰/۱	٪۵/۲	٪۱/۸
بدخیم	۱۳۳۶	۱۳۲	۲۵۰۵	۹۲	۲۹۱	۸۴۹	۶۹	۰	۵۹۴
	٪۸/۴	٪۰/۸	٪۱۵/۸	٪۰/۶	٪۱/۸	٪۵/۴	٪۰/۴	٪۰	٪۳/۸
فرسایش طبیعی	۵۷۲	۶۹۰	۳۴	۱۲۷	۲۴۶	۷۸	۰	۰	۰
	٪۳/۶	٪۴/۴	٪۰/۲	٪۰/۸	٪۱/۶	٪۰/۵	٪۰	٪۰	٪۰
مجموع	۲۵۳۰	۱۸۸۳	۴۲۷۱	۷۵۳	۱۷۴۵	۱۳۷۹	۲۵۷	۸۶۲	۱۱۳۶
	٪۲۲/۳	٪۱۱/۹	٪۲۷	٪۴/۸	٪۱۱	٪۸/۷	٪۱/۶	٪۵/۵	٪۷/۲

\*EOsa: سنگ نمک گنبدی و لایه‌یی، MUrm: آهک‌رس قرمز همراه با ماسه‌سنگ، MUrmg: آهک‌رس و سنگ گچ، MUrsh: پلمه‌سنگ، آهک‌رس و ماسه‌سنگ، OMql: سنگ آهک توده‌یی ضخیم، PLcs: جوش‌سنگ توده‌یی و ماسه‌سنگ، PIqc: جوش‌سنگی قرمز با جورشدگی متوسط، Plc: جوش‌سنگ و ماسه‌سنگ، Qft2: مخروط‌افکنه و پادگانه‌های آبرفتی.

لایه‌ی نوع فرسایش آبی با لایه‌های متغیرها در ArcGIS هم‌پوشانی داده، و برای تعیین کردن رابطه‌ی عامل‌های زمین‌ریختی با شکل‌های مختلف فرسایش آبی آزمون آماری به‌کار برده شد. بر پایه‌ی داده‌های طرح ارزیابی تخریب زمین در منطقه‌های خشک (LADA) به شکل‌های فرسایش آبی منطقه برحسب شدت و ضعف آن‌ها رتبه داده شد. به فرسایش سطحی و شیاری که از مرحله‌های ابتدایی تخریب خاک است و شدت آن‌ها کم‌تر است به‌ترتیب رتبه‌ی ۱ و ۲، و به فرسایش خندقی و بدخیم که مرحله‌ی نهایی از میان‌رفتن و هدررفتن خاک است رتبه‌ی ۳ و ۴ داده شد (لاینگر و همکاران ۲۰۱۳). با در نظر گرفتن ماهیت متغیرها و داده‌های بررسی‌شده آزمون کروسکال والیس به‌کار برده شد. این آزمون که با مجموع رتبه‌های مشاهده‌ها کار می‌کند به تحلیل پراش شبیه است، اما به فرض بهنجار بودن جامعه‌ها نیازی ندارد و به‌جای داده‌ها، رتبه‌ی آن‌ها به‌کار برده می‌شود. در کروسکال والیس فرض برابر بودن میانگین‌های  $K$  جامعه آزموده می‌شود (نصیری ۲۰۱۵). توزیع آماره‌ی این آزمون مجذور کای با  $K-1$  درجه‌ی آزادی است و مقدار آن از رابطه‌ی ۱ به‌دست می‌آید:

$$\chi^2 = \frac{12 \sum_{i=1}^k n_i (\bar{R}_i - \frac{n+1}{2})^2}{n(n+1)} \quad \text{رابطه‌ی ۱}$$

$\bar{R}_i$  میانگین رتبه‌ها در نمونه‌ی  $i$  ام ( $1 \leq i \leq k$ )،  $n_i$  تعداد مشاهده‌ها در نمونه‌ی  $i$  ام، و  $n = n_1 + n_2 + \dots + n_k$  کل مشاهده‌ها است.

## بررسی رابطه‌ی عامل‌های زمین‌ریختی با شکل‌های فرسایش آبی...

و در بلندی‌های بیش‌تر از ۲۰۰۰ متر هیچ فرسایش خندقی و بدخیم ثبت نشد. در مقابل، بیش‌ترین فراوانی در سطح فرسایش طبیعی با رخ‌نمون سنگی در طبقه‌ی ارتفاعی ۱۸۰۰ - ۱۶۰۰ متر بود. در منطقه‌های مرتفع (در مقایسه با بلندی‌های ۱۲۰۰ تا ۱۶۰۰ متر) فراوانی نسبی شکل‌های کم‌تر توسعه‌یافته‌ی فرسایش آبی مثل فرسایش سطحی و شیبی بیش‌تر بود.

بررسی رابطه‌ی لایه‌ی ارتفاع با شکل‌های مختلف فرسایش آبی منطقه (جدول ۲) نشان می‌دهد که فراوانی شکل‌های پیشرفته‌ی فرسایش آبی در طبقه‌ی ارتفاعی ۱۰۰۰-۱۲۰۰ متر بیش‌تر است (فرسایش بدخیم ۲۱/۳٪ و فرسایش خندقی ۶/۷٪). این فراوانی تا ارتفاع ۱۶۰۰ متر نیز دیده می‌شود (فرسایش بدخیم ۶/۴٪ و فرسایش خندقی ۵/۶٪)، اما در بلندی‌های بیش‌تر از ۱۶۰۰ متر نوع‌های پیشرفته‌ی فرسایش آبی کاهش چشمگیری نشان داد

جدول ۲- مساحت (هکتار) و درصد مساحت شکل‌های مختلف فرسایش آبی در طبقه‌های ارتفاعی منطقه.

ارتفاع (متر)		شکل‌های فرسایش						
>۲۰۰۰	۱۸۰۰-۲۰۰۰	۱۶۰۰-۱۸۰۰	۱۴۰۰-۱۶۰۰	۱۲۰۰-۱۴۰۰	۱۰۰۰-۱۲۰۰	<۱۰۰۰		
۴۱	۸۶	۵۹	۱۱	۶	۳۹۲	۹۲۳	سطحی	
٪۰/۳	٪۰/۵	٪۰/۴	٪۰/۱	٪۰	٪۲/۵	٪۵/۸		
۵۰	۱۴۸	۴۵	۲۶	۲۸	۱۱۰۲	۰	شیاری	
٪۰/۳	٪۰/۹	٪۰/۳	٪۰/۲	٪۰/۲	٪۷	٪۰		
۰	۵۶۴	۵۷۱	۸۷۹	۱۱۱۰	۱۰۵۹	۲۶۸	خندقی	
٪۰	٪۳/۶	٪۳/۶	٪۵/۶	٪۷	٪۶/۷	٪۱/۷		
۰	۹۵	۲۶۵	۱۰۰۸	۱۵۹۲	۳۳۶۵	۳۵۴	بدخیم	
٪۰	٪۰/۶	٪۱/۷	٪۶/۴	٪۱۰/۱	٪۲۱/۳	٪۲/۲		
۶۳	۲۸۱	۵۹۹	۴۴۷	۲۸۲	۷۰	۰	فرسایش طبیعی	
٪۰/۴	٪۱/۸	٪۳/۸	٪۲/۸	٪۱/۸	٪۰/۴	٪۰		
۱۵۴	۱۱۷۴	۱۵۳۹	۲۳۷۱	۳۰۱۸	۵۹۸۸	۱۵۴۵	مجموع	
٪۱	٪۷/۴	٪۹/۷	٪۱۵	٪۱۹/۱	٪۳۷/۹	٪۹/۸		

۶۰٪ (۳/۱٪) غالب است. به‌طور کلی در شیب‌های کم‌تر از ۱۰٪ میزان فرسایش کم‌تر است؛ از این رو فراوانی نوع‌های کم‌تر توسعه‌یافته‌ی فرسایش سطحی و شیبی در این طبقه بیش‌تر است (فرسایش سطحی ۷/۴٪ و فرسایش شیبی ۶/۱٪). فرسایش در شیب‌های بیش‌تر از ۱۰٪ افزایش یافت و بیش‌تر شکل‌های پیشرفته‌تر فرسایش آبی دیده شد (بدخیم ۱۵٪ تا ۶/۴٪)

نتیجه‌های هم‌پوشانی لایه‌های شیب و شکل‌های مختلف فرسایش آبی منطقه (جدول ۳) نشان می‌دهد که بیش‌ترین فراوانی در فرسایش سطحی و شیبی در طبقه‌ی شیب ۱۰-۰٪ و فرسایش خندقی و بدخیم در طبقه‌ی شیب ۲۰-۱۰٪ بود، و با افزایش شیب از سطح آن‌ها کاسته می‌شد. اما سطح فرسایش طبیعی با رخ‌نمون سنگی در طبقه‌ی شیب بیش‌تر از

جدول ۳- مساحت (هکتار) و درصد مساحت شکل‌های مختلف فرسایش آبی در طبقه‌های شیب منطقه.

شیب (درصد)		شکل‌های فرسایش						
>۶۰	۵۰-۶۰	۴۰-۵۰	۳۰-۴۰	۲۰-۳۰	۱۰-۲۰	۰-۱۰		
۵۰	۷	۱۶	۴۰	۶۸	۱۶۶	۱۱۷۲	سطحی	
٪۰/۳	٪۰	٪۰/۱	٪۰/۳	٪۰/۴	٪۱/۱	٪۷/۴		
۱۰۴	۳۳	۲۰	۳۹	۷۹	۱۵۷	۹۶۶	شیاری	
٪۰/۷	٪۰/۲	٪۰/۱	٪۰/۲	٪۰/۵	٪۱	٪۶/۱		
۵۹۶	۱۶۹	۲۰۰	۴۵۳	۸۲۵	۱۳۷۲	۸۳۵	خندقی	
٪۳/۸	٪۱/۱	٪۱/۳	٪۲/۹	٪۵/۲	٪۸/۷	٪۵/۳		
۳۲۸	۶۶	۲۴۴	۴۶۰	۱۰۰۸	۲۳۶۳	۲۲۱۰	بدخیم	
٪۲/۱	٪۰/۴	٪۱/۵	٪۲/۹	٪۶/۴	٪۱۵	٪۱۴		
۴۸۹	۱۳۴	۱۴۸	۲۸۱	۳۲۷	۲۸۳	۸۰	فرسایش طبیعی	
٪۳/۱	٪۰/۸	٪۰/۹	٪۱/۸	٪۲/۱	٪۱/۸	٪۰/۵		
۱۵۶۷	۴۰۹	۶۲۸	۱۲۷۳	۲۳۰۷	۴۳۴۱	۵۲۶۳	مجموع	
٪۹/۹	٪۲/۶	٪۴	٪۸/۱	٪۱۴/۶	٪۲۷/۵	٪۳۳/۳		

و فرسایش بیش‌تری رخ می‌دهد. از این‌رو، شکل‌های پیشرفته‌ی فرسایش آبی در دامنه‌های جنوبی گسترش بیش‌تری نشان می‌دهد (فرسایش بدخیم ۹/۵٪ و فرسایش خندقی ۵/۷٪). پس از آن، شیب‌های جنوب غربی گرم‌تر از شیب‌های جنوب شرقی است (همان)؛ از این‌رو، گسترش این فرسایش‌ها به ترتیب در دامنه‌های جنوب غربی و سپس جنوب شرقی نیز دیده شد. در مقابل در دامنه‌های شمالی که تابش کم‌تر و رطوبت و پوشش گیاهی بیش‌تر است، شدت فرسایش کاسته شده و شکل‌های پیشرفته‌ی فرسایش آبی در آن کم‌تر از دامنه‌های دیگر است (فرسایش بدخیم ۲/۷٪ و فرسایش خندقی ۱/۸٪).

٪ و خندقی ۸/۷٪ تا ۵/۲٪). نتیجه‌های هم‌پوشانی لایه‌های جهت دامنه و شکل‌های مختلف فرسایش آبی منطقه (جدول ۴) نشان می‌دهد که بیش‌ترین فراوانی شکل‌های فرسایش بررسی شده به‌ویژه بدخیم و خندقی در جهت دامنه‌ی جنوبی است، در حالی که در منطقه‌های مسطح و در جهت‌های شمال شرقی و شمالی به کم‌ترین مقدار بود. تفاوت در آفتاب‌گیری جهت‌های مختلف دامنه‌ها، شرایط دمایی متفاوت خاک و در نتیجه هوا را به وجود می‌آورد. تابش آفتاب بر هر واحد سطح زمین در دامنه‌های جنوبی بیش از شیب‌های شمالی است (کاوایانی و علیجانی ۲۰۱۲). در نتیجه رطوبت و پوشش گیاهی کم‌تر است



جدول ۴- مساحت (هکتار) و درصد مساحت شکل‌های فرسایش آبی در جهت‌های مختلف دامنه.

جهت دامنه									
شکل‌های فرسایش	مسطح	شمال	شمال شرق	شرق	جنوب شرق	جنوب	جنوب غرب	غرب	شمال غرب
سطحی	۳۵	۴۲	۶۷	۱۵۲	۲۸۲	۳۸۳	۳۲۸	۱۸۱	۴۹
	%۰/۲	%۰/۳	%۰/۴	%۱	%۱/۸	%۲/۴	%۲/۱	%۱/۱	%۰/۳
شیاری	۹	۳۴	۱۰۲	۲۸۲	۲۱۵	۲۶۲	۱۹۱	۲۱۹	۸۴
	%۰/۱	%۰/۲	%۰/۶	%۱/۸	%۱/۴	%۱/۷	%۱/۲	%۱/۴	%۰/۵
خندقی	۱	۲۷۸	۱۷۳	۴۰۹	۵۵۲	۹۰۵	۸۸۲	۷۹۷	۴۵۴
	%۰	%۱/۸	%۱/۱	%۲/۶	%۳/۵	%۵/۷	%۵/۶	%۵	%۲/۹
بدخیمی	۵	۴۲۵	۴۲۹	۶۸۱	۱۰۷۹	۱۴۹۵	۱۰۴۰	۹۹۴	۵۳۲
	%۰	%۲/۷	%۲/۷	%۴/۳	%۶/۸	%۹/۵	%۶/۶	%۶/۳	%۳/۴
فرسایش طبیعی	۱	۱۰۸	۴۳	۸۱	۱۴۰	۴۳۰	۴۰۷	۳۳۵	۱۹۸
	%۰	%۰/۷	%۰/۳	%۰/۵	%۰/۹	%۲/۷	%۲/۶	%۲/۱	%۱/۳
مجموع	۵۱	۸۸۷	۸۱۴	۱۶۰۵	۲۲۶۸	۳۴۷۵	۲۸۴۸	۲۵۲۶	۱۳۱۷
	%۰/۳	%۵/۶	%۵/۲	%۱۰/۲	%۱۴/۴	%۲۲	%۱۸	%۱۶	%۸/۳

کروسکال والیس برای جنس سنگ، شیب و جهت دامنه کوچک‌تر از ۰/۰۱ و برای ارتفاع کوچک‌تر از ۰/۰۵ است، تفاوت شکل‌های فرسایش آبی در این متغیرها معنی‌دار است و بین شکل‌های مختلف فرسایش آبی در طبقه‌های این عامل‌ها تفاوت مشخصی

در بررسی درستی تفسیر نتیجه‌ها و تعیین کردن معنی‌داری تغییر شکل‌های فرسایش آبی در طبقه‌های بررسی شده (جدول ۵)، از آن‌جا که تراز معنی‌داری متناظر با آماره‌ی آزمون

جدول ۵- نتیجه‌ی آزمون کروسکال والیس برای عامل‌های زمین‌ریختی.

ردیف	عامل	Chi-Square	df	Sig	تفاوت
۱	جنس سنگ	۲۳/۲۹۷	۸	۰/۰۰۳	دارد
۲	ارتفاع	۱۴/۲۸۸	۶	۰/۰۲۷	دارد
۳	شیب	۸۳/۷۷۰	۶	۰/۰۰۰	دارد
۴	جهت دامنه	۴۷/۲۸۲	۸	۰/۰۰۰	دارد

پژوهش سلماسی و پیروان (۲۰۱۲) نیز نشان داد که بیش‌ترین میزان فرسایش در آبخیز بررسی شده در سازندهای آهک‌رسی است و درصد ماسه بین شکل‌های مختلف فرسایش خندقی و بدخیم، و مقدار گچ بین فرسایش شیاری، خندقی و هزاردره‌یی تفاوت معنی‌دار نشان می‌دهد. سادیکی (۲۰۰۷) نیز جنس سنگ را از عامل‌های مؤثر بر فرسایش معرفی کرد و علت آن را مقاومت متفاوت سنگ‌ها در

وجود دارد.

#### بحث و نتیجه‌گیری

در این تحقیق، تغییر نوع‌های فرسایش آبی موجود در بخشی از آبخیز جله‌رود و رابطه‌ی بین عامل‌های زمین‌ریختی با شکل‌های فرسایش بررسی شد. نتیجه نشان‌دهنده‌ی رابطه‌ی معنی‌دار جنس سنگ و ریخت‌شناسی با شکل‌های فرسایش آبی است. نتیجه‌ی

نیز اغلب برف است که فرساینده‌گی آن با فرسایش کاوشی باران تفاوت دارد. از این رو، بیش‌ترین فراوانی سطح فرسایش طبیعی در طبقه‌ی ارتفاعی ۱۶۰۰-۱۸۰۰ متر مشاهده شد. در بلندی‌های کم‌تر، گسترش شکل‌های پیشرفته‌ی فرسایش آبی یعنی فرسایش خندقی و بدخیم بیش‌تر است، و در طبقه‌ی ارتفاعی ۱۰۰۰-۱۲۰۰ متر به حد بیشینه می‌رسد. یثربی و همکاران (۲۰۲۰) نیز در پژوهش خود به این نتیجه رسیدند که عامل‌های پستی‌بلندی بر شکل نهایی خندق‌ها تأثیرگذار است.

جهت دامنه نیز یکی از متغیرهای مؤثر بر شکل‌های فرسایش آبی منطقه است و رابطه‌ی معنی‌داری با تغییر شکل‌های فرسایش آبی منطقه در تراز اطمینان ۹۹٪ نشان داده شد. پژوهش‌های پیشین ارتباط جهت دامنه را با شدت فرسایش آبی تأیید می‌کند (فاکس و همکاران ۲۰۰۸، احمدی ۲۰۱۲ و امیری و همکاران ۲۰۱۹). جهت‌های جنوبی و جنوب غربی گرم‌تر است (کاوایی و علیجانی ۲۰۱۲) و عامل‌های تخریب و فرسایش فعال‌تر عمل می‌کند. در جهت دامنه‌ی جنوبی و جنوب غربی بیش‌ترین رخداد فرسایش از نوع خندقی و بدخیم است، اما در دامنه‌های شمالی و شمال شرقی فراوانی آن‌ها کم‌تر است. عرب‌قشقای و همکاران ۲۰۱۱ نیز در پهنه‌بندی فرسایش خندقی در آبخیز طرود فیروزکوه نشان دادند که بیش‌ترین فرسایش خندقی در جهت‌های جنوب شرقی و جنوبی است. در واقع دامنه‌های شمالی حساسیت کم‌تری به فرسایش آبی دارد و پایداری بیش‌تری نشان می‌دهد.

با شناختن میزان گسترش هر یک از شکل‌های فرسایش آبی و ارتباط آن‌ها با عامل‌های زمین‌ریختی، و معرفی کردن حساس‌ترین طبقه‌های هر یک از عامل‌ها در این تحقیق می‌توان راه‌کارهای اجرایی مناسبی برای مقابله با آسیب‌های فرسایش آبی را متمرکز و بهتر کرد. پیشنهاد می‌شود که در طبقه‌های بحرانی عامل‌های بررسی‌شده، که فرسایش پیشرفته‌ی خندقی و بدخیم بیش‌ترین فراوانی را دارد، کارهای حفاظتی و قرق کرده شود، زیرا هزینه‌ی اصلاح کردن آن‌ها بیش‌تر از سود حاصل از انجام آن‌ها است، اما لازم است طبقه‌هایی که در آن‌ها فراوانی و حساسیت شکل‌های پیشرفته‌ی فرسایش کم‌تر است (داده‌های پژوهش) در اولویت اجرایی سایر کنش‌های آبخیزداری و سازه‌ی گذاشته شود. در طبقه‌هایی که فرسایش سطحی و شیاری غالب است می‌توان با انجام‌دادن کارهای اصلاحی و زیستی سرعت روان‌آب‌ها را کاهش داد و به تثبیت نوع‌های فرسایش کمک کرد. بهره‌وری در منطقه باید بر اساس شرایط زمین‌ریختی و توان سرزمین باشد، و اگر متناسب با ویژگی‌های هریک از طبقه‌های عامل‌های بررسی‌شده نباشد منجر به گسترش یافتن بیش‌تر شکل‌های فرسایش در منطقه می‌شود.

مقابل فرسایش دانست. به‌علاوه میزان فرسایش را در رخساره‌های مختلف فرسایشی متفاوت دانست، که باید در تعیین کردن میزان فرسایش به آن توجه شود.

سطح شکل‌های اولیه‌ی فرسایش آبی یعنی فرسایش سطحی در سنگ‌های مقاوم آهک توده‌ی با فراوانی ۳/۵٪ در منطقه بیش‌ترین بود، در حالی که فراوانی شکل‌های پیشرفته و بحرانی فرسایش خندقی و بدخیم در سازندهای آهک رس و گچ که حساسیت زیادی به فرسایش دارند، به‌ترتیب با ۸/۴٪ و ۱۵/۸٪ بیش‌ترین بود. جوکار سرهنگی و همکاران (۲۰۱۸) در تحلیل عامل‌های مؤثر بر گسترش بدخیم‌ها در آبخیز ماملو به این نتیجه رسیدند که بدخیم‌ها در منطقه‌های با گل‌سنگ، آهک‌رس، گچ و جوش‌سنگ قرمز بیش‌ترین فراوانی را نشان می‌دهند. آزمودن آماری عامل شیب در تراز اطمینان ۹۹٪ نشان داد که شکل‌های فرسایش در طبقه‌های آن تفاوت مشخصی دارد و شیب یکی از عامل‌های مهم است که می‌تواند بر شکل‌های فرسایش آبی اثر بگذارد. به نظر شینجو (۲۰۰۲) نیز شیب یکی از خصوصیت‌هایی است که همبستگی زیادی با فرسایش و انواع آن دارد. نتیجه‌های تحقیق کوثری و همکاران (۲۰۱۰) نشان داد که تغییر جزئی شیب به‌ویژه شیب‌های کم تأثیر زیادی بر افزایش زمان تمرکز دارد، و با افزایش یافتن شیب آبراه تأثیر سنجه‌هایی مانند طول آبراه اصلی یا شماره‌ی منحنی بر زمان تمرکز افزایش می‌یابد. در شیب کم‌تر از ۱۰٪، شکل‌های ابتدایی و کم‌تر توسعه‌یافته‌ی فرسایش سطحی و شیاری فراوانی بیش‌تری دارد، و با افزایش یافتن شیب شکل‌های پیشرفته‌ی فرسایش آبی یعنی فرسایش خندقی و بدخیم گسترده می‌شود. در شیب‌های زیاد سطح فرسایش طبیعی برون‌زدهای سنگی غالب می‌شود و فرسایش به‌دلیل نبود خاک کاهش می‌یابد. محمدخان و همکاران (۲۰۱۰) نیز با دیدن همبستگی بین شیب و شدت فرسایش در آبخیز لتیان، طبقه‌های شیب ۲۰ تا ۳۰ درصد را در حد بیشینه‌ی فرسایش دانستند. در موقعیت‌های شیب تند، فرسایش منجر به حذف شدن خاک سطحی می‌شود (برهه و همکاران ۲۰۱۲)؛ از این رو فراوانی شکل‌های مختلف فرسایش آبی در شیب‌های زیاد کاهش می‌یابد.

بررسی ارتفاع نشان داد که تفاوت مشخصی در نوع‌های فرسایشی طبقه‌های ارتفاعی منطقه است، و ارتفاع در تراز اطمینان ۹۵٪ ممکن است یکی از عامل‌های تأثیرگذار در ایجاد شدن شکل‌های فرسایشی باشد. در بلندی‌ها هوا سرد و شیب زیاد است و تشکیل و تجمع خاک کند است. به سبب زمان رویش کوتاه گیاهان و سردی هوا در بلندی‌ها، ریززیندگان خاک نمی‌توانند به‌خوبی فعالیت کنند، خاک‌زایی به‌کندی انجام می‌گیرد، و فرسایش بیش‌تر زمین‌شناختی و طبیعی است (امیدوار ۲۰۱۰). شکل بارش

- Ahmadi H. 2012. Applied Geomorphology, (water erosion), 8nd edition, Tehran University Press, 688 p. (In Persian).
- Amiri M, Pourghasemi H, Ghanbarian GA, Afzali SF. 2019. Spatial modeling of gully erosion in Maharlou Watershed using different scenarios and weights-of-evidence algorithm, *Journal of Watershed Engineering and Management*, 11(4): 1016–1032. (In Persian).
- Arabghashghaii Z, nikkami D, Shadfar S, Moeini A. 2011. Gally erosion zoning in the Taroud basin of Firoozkoo, *Land Geographical Research Journal*, 8(31): 107–118. (In Persian).
- Arabkhedri M. 2014. A Review of Factors Affecting Water Soil Erosion in Iran, *Journal of land manegment*, 2(1): 17– 26. (In Persian).
- Asadzadeh F, Mirzaee S. 2016. Application of DEM to Compute Topographic Factor of RUSLE Model using Geostatistical Technique in Rashakan Region, Urmia, *Journal of Watershed Management Research*, 7(14): 245–254. (In Persian).
- Berhe A, Harden JW, Torn MS, Kleber M, Burton SD, Harte J. 2012. Persistence of soil organic matter in eroding versus depositional landform positions, *Journal of Geophysical Research*, 117(2): 1–16.
- Bodoqe jM, Dez-Herrero A. 2005. Sheet erosion rates determined by using dendrogeomorphological analysis of exposed tree roots: Two examples from central Spain, *Catena*, 64(1): 81–102.
- Cheng NN, He HM, Yang SY, Lu YJ, Jing ZW. 2017. Impacts of topography on sediment discharge in Loess Plateau, China. *Quaternary International*, 440(2): 119–129.
- Dlapa P, Chrenkova K, Mataix-Solera J, Simkovic I. 2012. Soil profile improvement as a byproduct of gully stabilization measures, *Catena*, 92: 155–161.
- Fox DM, Maselli F, Carrega P. 2008. Using spot images and field sampling to map burn severity and vegetation factors affecting post forest fire erosion risk, *Catena*, 75(3): 326–335.
- Gabarrón-Galeote MA, Martínez-Murillo JF, Quesada MA, Ruiz-Sinoga JD. 2013. Seasonal changes in the soil hydrological and erosive response depending on aspect, vegetation type and soil water repellency in different Mediterranean micro environments, *Solid Earth*, 4(2): 497–509.
- Jokar Sarhangi E, Esmaili R, Mortezaei N. 2018. Analysis of effective factors in the formation and development of badlands in Mamlo Watershed, Jajrud, *Physical Geography*, 10(38): 81–94.
- Kavyani MR, Alijani B. 2012. The foundations of climatology, 17nd edition, SAMT press. 592 p. (In Persian).
- Kimaro DN, Poesen J, Msanya BM, Deckers JA. 2008. Magnitude of soil erosion on the northern slope of the Uluguru Mountains, Tanzania: Interrill and rill erosion, *Catena*, 75(3): 38–44.
- Kousari MR, Saremi Naeini MA, Tazeh M, Frozeh MR. 2010. Sensitivity analysis of some equation for estimation of time of concentration in watersheds, *Arid Biom Scientific and Research Journal*, 1(1): 57– 66. (In Persian).
- Liniger H, Vanlynden G, Nachtergaele F, Schwilch G, Biancalan R. 2013. Land degradation assessment in dryland (LADA) project, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 183 p.
- Mohamad Khan Sh, Ahmadi H, Feiznia S, Salajeghea A. 2010. Investigation of the effect of slope on the intensity of water erosion rate

- (Case study: Latian Watershed), *Watershed Management Researches Journal (Pajouhesh & Sazandegi)*, 23(89): 73–81. (In Persian).
- Nakhaei M, Ghanavati A. 2006, Application of dimensionless hipsometric curves in determining current areas erosion and sedimentation of Kheirabad Basin of kohkiloyeh and Koyerahmad Province, *Iranian Journal of Geology*, 2(4): 65–72. (In Persian).
- Nasiri R. 2015. *Statistical analysis with IBM SPSS statistics 23*, Pouygaran Press. 291 p. (In Persian).
- Omidvar K. 2010. *An introduction to soil conservation and watershed management*, Yazd University Press. 320 p. (In Persian).
- Rafahi HG. 2009. *Soil srosion by water and Conservation*, Tehran University Press, 671 p. (In Persian).
- Ramesht MH, Saif A. 2001. *Soil geography*, Esfahan University Press, 309 p. (In Persian).
- Sadiki A, Faleh A. 2007. Assessing soil erosion and control factors by the radiometric technique in the Boussouab Catchment, Eastern Rif, Morocco, *Catena*, 71(1): 13–20.
- Salmasi R, Peyrowan HR. 2012. Study of the relation between physico-chemical properties and erosional features of marly sediments in the Talkheh Rood watershed, *Watershed Engineering and Management*, 4(3): 160–169. (In Persian)
- Shinjo H, Hirata M, Konga N, Kosak T. 2002. Evaluation of water erosion risk and recommendation for sustainable landuse northeast-ern Syria. 17th WCSS, Thailand, 1175.
- Smith DD, Wischmeier WH. 1962. *Rainfall erosion, advances in agronomy*, New York, Academic Press, 14: 109–148.
- Sokouti R, Peyrowan H, Nikkami D, Mahdian M. 2016. Investigation on erodibility and soil loss of marly drived soils in west Azerbaijan Province, Iran. *Watershed Engineering and Management*, 7(4): 379–388 (In Persian).
- Soleimanpour SM, Sufi M, Ahmadi H. 2010. A study on the topographic threshold and effective factors on sediment production and gully development in Neyriz, Fars Province, *Journal of Range and Watershed Management*, *Iranian Journal of Natural Resources*, 63(1): 41– 53. (In Persian).
- Soofi MB, Emami H. 2017. An evaluation of soil erodibility in the catchment of torogh dam in Mashhad, *Environmental Erosion Research*, 27(3): 25–38. (In Persian).
- Wang J, Qiu B, Fu Y, Chen LL. 2001. Soil nutrients in relation to land use and landscape position in the semi-arid small catchment on the loess Plateau in China, *Journal of Arid Environments*, 48(4): 537–550.
- Yamani M. 2014. *Geomorphological maps, Techniques and Methods*, Tehran University Press, 318 p. (In Persian).
- Yasrebi B, Soufi M, Khalagh Mirnia KH, Mohammadi J. 2020. Morphometric relationships of Ilam Province gullies, *Journal of Watershed Engineering and Management*, 12(1): 244–258. (In Persian).



## ***Watershed Management Research***

VOL. 34, No. 2, Ser. No: 131, Summer 2021, pp. 2 -14

DOI: 10.22092/wmej.2020.342138.1320

Research Paper

### **Determining the Relationships between Geomorphology Factors with Types of Water Erosion on a sub-watershed of the Hablehrood Catchment**

**Eisa Jokar Sarhangi**

(Corresponding Author)\* Associate Professor of Geomorphology, Faculty of Humanity, University of Mazandaran, Babolsar, Iran

**Abolfazl Yousefi**

M.Sc. in Hydro geomorphology, Faculty of Humanity, University of Mazandaran, Babolsar, Iran

Corresponding Author Email: e.jokar@umz.ac.ir

Received: 08 March 2020

Accepted: 20 September 2020

#### **Abstract**

Forms of erosion demonstrate its intensity. The study area is one of the suitable rangelands for animal husbandries in the Province of Semnan, which is subjected to a plethora of water erosion forms due to an overuse of the land. Therefore, it is necessary to investigate the effective factors in an aggravation of water erosion conditions in this area to manage and control it. Erosion in arid and semi-arid regions is intense; therefore, it is necessary to take action to inhibit or reduce it. As the forms of erosion are identifiable, we tried to determine the relationships between geomorphology and forms of water erosion, namely: sheet, rill, gully and badland in a sub-watershed of the Hablehrood catchment. Different classes of lithology, slope, aspect and elevation were correlated with any of forms of erosion in the area to determine their variety in the development and dominant erosion on each of the classes and each factor. Using the guidelines of the Land Degradation Assessment in Drylands (LADA), the forms of erosion in terms of its intensity was ranked and was used according to the typology of the variables. The Kruskal-Wallis test was on. The results indicated that the highly developed forms of water erosion, gullies and badlands, marl, gypsum and salt formations (8.4 and 15.8%), an elevation of 1000-1200 meters, the slope of 10-20% (8.7 and 15%) and the southern aspects domain (5.7 and 9.5%) respectively. The result of Kruskal-Wallis test for the slope and aspect at 0.01 and elevation at 0.05, respectively, were found to be significant, which indicated that there were specified differences in the forms of water erosion at the specified classes of geomorphology factors of the area. Therefore, geomorphology factors may be used to assess forms of water erosion and its intensity in similar regions.

■ **Keywords:**KeyWords: Forms of erosion, geomorphology, LADA, Hablehrood ■