

## تحلیل میزان فرسایش و رسوب ناشی از رخساره‌های فرسایشی حوضه با مدل شبیه‌ساز باران

علی باقریان کلات\* - دکتری زمین‌شناسی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی

پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۱۱/۲۰      تأیید نهایی: ۱۳۹۸/۰۶/۱۱

### چکیده

در حوضه آبخیز کاخک واقع در خراسان رضوی، انواع ناهنجاری‌های طبیعی از جمله فرسایش خاک، انواع رخساره‌های فرسایشی (سطحی-شیاری، شیاری و شیاری - گالی) و رسوب‌زایی متوسط تا بالا دیده می‌شود. برای انجام این پژوهش، ابتدا ۴ واحد همگن (واحد‌های کاری) بر مبنای نوع لیتولوژی شامل شیل و ماسه‌سنگ و گابرو، رخساره‌های فرسایشی در کاربری مرتعی و در شیب مشابه انتخاب شد. ۳۲ آزمایش در شدت بارش ۳۶ میلی‌متر در ساعت و به مدت ۳۰ دقیقه با شبیه‌ساز باران بر روی واحد‌های کاری، انجام شد. مقدار رسوب هر یک از آزمایش‌ها اندازه‌گیری شد. به منظور بررسی عوامل موثر در تلفات خاک و فرسایش‌پذیری، نمونه برداری از خاک در لایه ۰ تا ۱۵ سانتی‌متری نیز از مجاور پلات‌های مورد آزمایش برداشته شد. آنالیز آماری اطلاعات با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام شد. نتایج نشان داد که لیتولوژی‌های مورد بررسی از نظر فرسایش و رسوبدهی با یکدیگر تفاوت معنی‌دار دارند. دو واحد کاری شامل شیل واجد فرسایش شیاری-خندقی (Jsh-RG) و ماسه‌سنگ واجد فرسایش سطحی-شیاری (JS-SR) به ترتیب با رسوبدهی ۶۸/۱۲ و ۴۵/۱۲ گرم در مترمربع دارای بیشترین و کمترین مقدار رسوبدهی می‌باشند. برخی از ویژگی‌های خاک مانند درصد سیلت، شوری و نسبت جذب سدیم با میزان فرسایش و رسوبدهی خاک دارای همبستگی مستقیم و فاکتورهای درصد پوشش گیاهی و درصد سنگریزه موجود در سطح خاک و همچنین درصد ماسه، کربن آلی و درصد آهک فعال خاک با میزان فرسایش و تولید رسوب، همبستگی معکوس و معنی‌دار نشان می‌دهند.

واژگان کلیدی: باران‌ساز مصنوعی، تلفات خاک، ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک.

## مقدمه

میزان فرسایش و تولید رسوب در برخی از حوضه‌ها زیاد بوده و سالانه حدود ۵/۰ تا ۱ درصد از حجم مخزن سدها از طریق تله اندازی رسوبات کاسه می‌شود (کمیتة جهانی سدهای بزرگ<sup>۱</sup>، ۲۰۰۰). سیلنتی شدن مخزن سدها از جمله مشکلاتی است که به دلیل رسوبدهی نسبتاً زیاد حوضه بالادست برخی از سدها گزارش شده است. به عنوان مثال سالانه بخش قابل توجهی از مخزن سدهایی مانند سد اسوان مصر (ابوزید و ال شی بینی<sup>۲</sup>، ۱۹۹۷، ۲۱۰) و سد تری جورج چین (هیو و همکاران<sup>۳</sup>، ۲۰۰۹، ۲۲۵۶) از رسوب انباشته می‌شود.

فرسایش و هدررفت خاک به عنوان یک مشکل جدی زیست محیطی بوده که ظرفیت نگهداری آب را در اثر ایجاد رواناب و کاهش ماده آلی خاک، کم می‌کند (اکویو و همکاران<sup>۴</sup>، ۲۰۰۹، ۲۳۷). رواناب فرآیند مهمی است که غالباً با هدررفت عناصر غذایی همراه است. بنابراین، بررسی رواناب به عنوان یکی از فرآیندهای اصلی فرسایش خاک، امری اجتناب‌ناپذیر است. از طرفی، به دلیل محدودیت‌های مالی و زمانی، شرایط سخت فیزیکی آبخیزها و نیز نوسانات غیرقابل پیش‌بینی اقلیمی، جمع‌آوری اطلاعات مربوط به جنبه‌های مختلف فرآیندهای هدررفت خاک در پهنه‌های طبیعی دشوار است (بارتز<sup>۵</sup> و رز، ۲۰۰۲، ۱۳۵). از این‌رو، شبیه‌ساز باران به عنوان ابزاری در پژوهش‌های هدررفت خاک، به طور وسیع مورد استفاده قرار گرفته است. دستگاه‌های شبیه‌ساز باران امکان اندازه‌گیری‌های متعدد در اراضی مختلف را به منظور تعیین فاکتورهای مؤثر بر رواناب و فرسایش فراهم می‌نمایند که از داده‌های به دست آمده از آن می‌توان برای اهداف مختلف استفاده نمود. با وجود چالش‌های موجود، استفاده از دستگاه‌های شبیه‌ساز باران به دلیل برتری‌های متعدد در پژوهش‌های هدررفت خاک و تولید رسوب در جهان رایج می‌باشد (سیگر<sup>۶</sup>، ۲۰۰۷، ۵۸).

بدلندها علیرغم گسترش اندک در یک حوضه، می‌توانند بخش قابل توجهی از رسوبدهی حوضه را به خود اختصاص دهند (لوپز تارازون<sup>۷</sup> و همکاران، ۲۰۱۲، ۱۵). میزان فرسایش در بدلندها بسیار زیاد است که گاهی از ۱۰ کیلوگرم در مترمربع در سال نیز بیشتر می‌شود (نادال رومرو<sup>۸</sup> و همکاران، ۲۰۱۱، ۲۹۸). بررسی بنیتو<sup>۹</sup> و همکاران (۱۹۹۳) نشان داد که میزان فرسایش سالانه خاک ارتباط نزدیکی را با ویژگی‌های فیزیکی - شیمیایی خاک دارد. بررسی‌های کانتون<sup>۱۰</sup> و همکاران (۲۰۰۱) بر روی نهشته‌های گل‌سنگ و ماسه‌سنگ سخت‌نشده نشان داد که خصوصیات خاک سطحی یکی از مهمترین عواملی است که تعیین‌کننده میزان فرسایش خاک و تولید رواناب است. سردا<sup>۱۱</sup> (۲۰۰۲) با بررسی میزان فرسایش خاک‌های مارنی، رسی و ماسه‌ای در مناطق بدلندی شرق اسپانیا نتیجه گرفت که ویژگی‌های سنگ مادری و میزان رطوبت خاک از پارامترهای مهم کنترل‌کننده فرسایش خاک است. بررسی فرسایش‌پذیری و تلفات خاک با

<sup>۱</sup> WCD<sup>۲</sup> Abu-zeid and El-shibini<sup>۳</sup> Hu et al<sup>۴</sup> Ekwue et al<sup>۵</sup> Barthes and Roos<sup>۶</sup> Seeger<sup>۷</sup> Lopez-Tarazon et al<sup>۸</sup> Nadal-Romero et al<sup>۹</sup> Benito et al<sup>۱۰</sup> Canton et al<sup>۱۱</sup> Cerda

استفاده از شبیه‌ساز باران موید آن است که درصد ماسه خیلی ریز، ماسه ریز، بافت خاک و نسبت سدیم تبدلی و تفاوت در نوع موادمادری، مهمترین پارامترهای خاک در فرسایش پذیری می‌باشد (دایکر<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۰۱، ۱۰۳).

فرناندز<sup>۲</sup> و وگا (۲۰۰۶) با بررسی میزان فرسایش و رسوب اراضی بدلدنی بدون پوشش گیاهی اسپانیا با استفاده از شبیه‌ساز باران نتیجه گرفتند میزان رواناب و رسوب با میزان رطوبت اولیه خاک ارتباط مثبت و با مواد آلی خاک ارتباط منفی دارد. بررسی‌های وهابی<sup>۳</sup> و نیک کامی (۲۰۰۸) در زمینه برخی از فاکتورهای موثر بر فرسایش خاک با استفاده از شبیه‌ساز باران نشان داد که ضریب همبستگی بین نرخ رسوبدهی با پوشش گیاهی منفی است. ارزیابی و تحلیل بررسی‌هایی را که محققین مختلف با استفاده از بارانساز مصنوعی بر روی بدلدنهای مدیترانه‌ای در شرق اسپانیا و جنوب شرق فرانسه صورت گرفته بود، نشان داد که نرخ نفوذ کم تا متوسط و ضرایب بالای رواناب از ویژگی‌های بارز این بدلدنها بوده و میزان رسوبدهی بدلدنها حداکثر برابر با ۸۴/۸ گرم در لیتر است (مارتینز موریلو<sup>۴</sup>، ۲۰۱۳). بررسی‌های مورینو دلاس هراس و گالارت<sup>۵</sup> (۲۰۱۶) نشان داد که لیتولوژی‌های مارنی و سنگ‌های رسی به دلیل فرسایش پذیری بالایی که دارند، مکان گسترش بخش اعظم بدلدنها در شمال شرقی اسپانیا می‌باشند.

جنس سازندهای موجود در منطقه یکی از عوامل موثر در رسوب زایی حوضه‌های آبخیز است. سازندهای حساس به فرسایش در مقایسه با سازندهای سخت و محکم دارای پتانسیل رسوبدهی بیشتری هستند. تغییر عوامل محیطی مانند اقلیم، لرزه‌خیزی و پوشش گیاهی در مقیاس حوضه‌های آب خیز کوچک عموماً کم و ثابت است و این در صورتی است که خصوصیات سنگ‌شناسی ذاتی مواد، می‌تواند حتی در حوضه‌های کوچک نیز متغیر باشد (فیض‌نیا و خوش اقبال، ۲۰۰۳). حسینی و همکاران (۲۰۰۹) با بررسی فرسایش پذیری نهشته‌های ریزدانه نئوژن نتیجه گرفتند که متغیرهای شیمیایی مانند SAR و pH از عوامل موثر در میزان تولید تلفات خاک می‌باشند. بررسی‌های شیخ ربیعی و همکاران (۲۰۱۱) نشان داد که ضریب رواناب و میزان تولید تلفات خاک در ماسه‌سنگ، آهک و دولومیت، شیل و آبرفت به ترتیب بیشترین تا کمترین میزان را دارند. بررسی‌های عبدی‌نژاد و همکاران (۲۰۱۴) بر روی رسوبدهی واحدهای مختلف مارنی نشان داد که اثر واحدهای مارنی، شیب و اقلیم بر مقدار تلفات خاک کاملاً معنی‌دار است.

بررسی منابع مربوط به این تحقیق نشان داد که عوامل متعددی در تولید رواناب و هدررفت خاک نقش دارد. یکی از مهمترین عوامل، لیتولوژی و مواد مادری خاک می‌باشد. در بحث لیتولوژی‌های حساس به فرسایش، مطالعات غالباً بر روی نهشته‌های بدلدنی دانه‌ریز مانند مارن‌ها متمرکز شده است در حالی که برخی از سایر نهشته‌ها مانند شیل‌ها نیز با حساسیت به فرسایش بالایی که دارند، می‌توانند فرسایش و رسوب زیادی داشته باشند. شناخت رسوب‌زایی این‌گونه لیتولوژی‌ها می‌تواند در ارایه پیشنهادها مدیریتی و کمی نمودن تغییرات رواناب و هدررفت خاک مفید واقع شود. با توجه به این موارد، هدف این پژوهش بررسی تغییرات هدررفت خاک با تغییر مواد مادری خاک در حوضه آبخیز سد کاخک واقع در استان خراسان رضوی می‌باشد.

## مواد و روش‌ها

### الف- موقعیت جغرافیایی و مشخصات حوضه مورد مطالعه

۱ Duiker et al

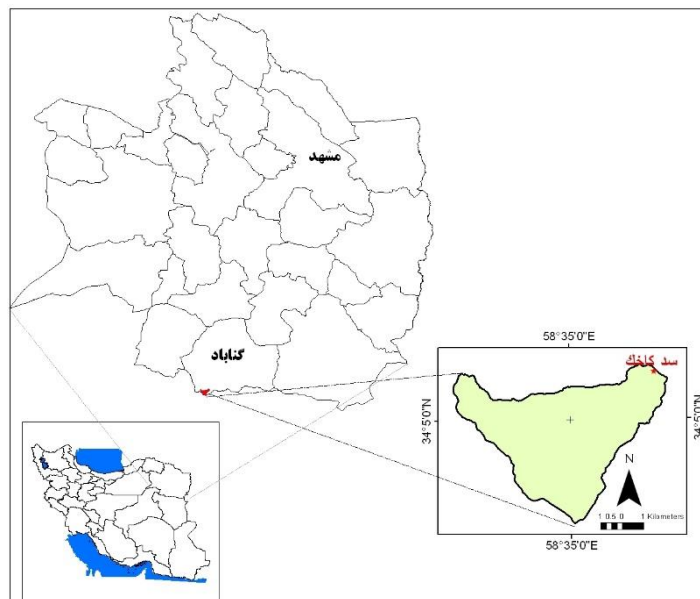
۲ Fernandez and Vega

۳ Vahabi and Nikkami

۴ Matinez-Murillo et al

۵ Moreno-de las Heras and Galart

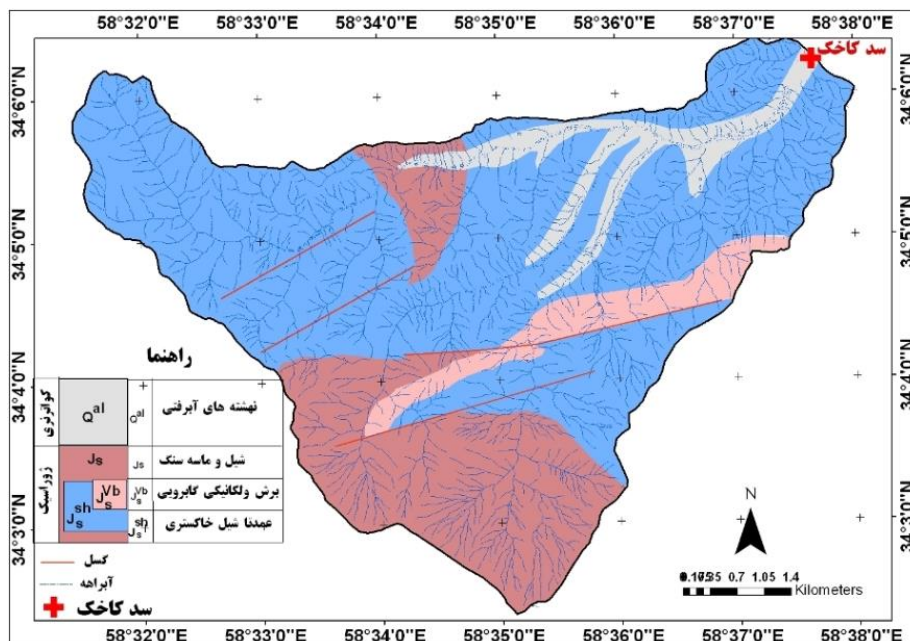
حوضه آبخیز کاخک در استان خراسان رضوی و در ۲۵ کیلومتری جنوب شهر گناباد واقع بوده و یکی از زیرحوضه‌های آبخیز کاخک می‌باشد (شکل ۱). این آبخیز در مختصات جغرافیایی  $58^{\circ} 23'$  تا  $58^{\circ} 37'$  طول جغرافیایی و  $34^{\circ} 2'$  تا  $34^{\circ} 17'$  عرض جغرافیایی واقع است. مساحت حوضه کاخک ۳۶۲۰ هکتار است. ارتفاع متوسط حوضه ۲۲۷۱ متر از سطح دریا می‌باشد. شیب متوسط حوضه ۳۲ در صد است. میانگین دمای سالانه حوضه  $11/6$  درجه سانتیگراد بوده و متوسط بارندگی سالانه منطقه ۲۸۰ میلی‌متر است. حوضه دارای اقلیم نیمه‌خشک می‌باشد. واحدهای شیلی حساس به فرسایش حدود نیمی از مساحت حوضه را تشکیل می‌دهند.



شکل ۱: موقعیت حوضه مورد بررسی

### ب- زمین‌شناسی و ژئومورفولوژی حوضه

در تقسیمات زمین‌شناسی ایران، منطقه مورد بررسی بخشی از زون زمین‌ساختی ایران مرکزی به شمار می‌رود (افتخارنژاد، ۱۹۸۰). بخش اعظم منطقه از نهشته‌های شیل و ماسه سنگ (سازند شمشک) تشکیل شده است (شکل ۲). گسترش واحدهای سنگهای شیلی به مراتب بیشتر می‌باشد. سنگهای شیلی (واحد زمین‌شناسی  $J^{sh}_s$ ) حدود نیمی از رخنمونهای سنگی حوضه را تشکیل می‌دهند. این سنگ‌ها سست و فرسایش پذیر بوده و قسمتهای پست‌تر منطقه را تشکیل می‌دهند. بخشهای ماسه‌سنگی سازند شمشک در برابر فرسایش نسبتاً مقاوم می‌باشند. بخشهای مرتفع و توده سنگی منطقه عمدتاً از ماسه‌سنگ و سنگهای آذرین تشکیل شده است. سنگهای آذرین عمدتاً ترکیب بازالتی داشته و در قسمتهای میانی حوضه گسترش دارند. نهشته‌های آبرفتی عهد حاضر عمدتاً در قسمتهای پایین دست حوضه و در بستر شاخه‌اصلی رودخانه کاخک دیده می‌شوند.



شکل ۲: نقشه زمین‌شناسی حوضه آبخیز سد کاخک

ویژگی‌های مرفولوژیک، زمین‌شناسی و پراکنش جغرافیایی واحدهای سنگی حوضه به اختصار به شرح ذیل است. شیل خاکستری ( $J^{sh}_s$ ): این واحد با مساحت ۲۰۰۰ هکتار، حدود ۵۵ درصد از مساحت حوضه را به خود اختصاص می‌دهد. شیل‌های خاکستری عمدتاً در قسمت‌های شمال شرق تا شمال غرب حوضه رخمون دارند. فرسایش شدید و وجود رخساره‌های فرسایشی شیاری و شیاری-خندقی از ویژگی‌های این واحدهای سنگی می‌باشد که در این تحقیق فرسایش‌پذیری اراضی واقع بر روی مناطق گسترش رخساره‌های فوق‌الذکر در قالب دو تیمار جداگانه، بررسی شد. شیل و ماسه‌سنگ ( $J_s$ ): این واحد که ۳۵۰ هکتار گسترش دارد حدود ۱۷ درصد از مساحت اراضی منطقه مورد بررسی را تشکیل داده‌است. رخساره سطحی-شیاری، رخساره غالب این اراضی می‌باشد. سنگ‌های گابرویی ( $J^{vb}_s$ ): سنگ‌های آذرین مافیکی با ترکیب گابرویی با روند شمال شرقی-جنوب غربی در بخش‌های مرکزی تا جنوبی حوضه کاخک رخمون دارند. رخمون این سنگها ۱۲۵ هکتار از اراضی حوضه را به خود اختصاص می‌دهد. رخساره سطحی-شیاری، رخساره غالب این اراضی می‌باشد. در این واحد، فرسایش‌پذیری اراضی واقع بر روی واحدهای سنگی گابرویی مورد بررسی قرار گرفته‌است.

### ج- تهیه نقشه واحدهای کاری

نقشه واحدهای کاری از تلفیق نقشه زمین‌شناسی، شیب، کاربری اراضی و رخساره‌های فرسایشی با استفاده از نرم افزار ArcGis تهیه شد. نقشه رخساره‌های فرسایشی حوضه شامل ۳ رخساره سطحی-شیاری، شیاری و رخساره شیاری-خندقی است. نهایتاً در این تحقیق، در شیب ۲۰ درصد، در کاربری اراضی غالب منطقه (کاربری مرتعی) و سه واحد زمین‌شناسی، چهار واحد کاری تعیین شد. با استفاده از نرم‌افزار ArcGis، نقشه‌های سنگ‌شناسی، شیب، کاربری اراضی و رخساره‌های فرسایشی با یکدیگر تلفیق و نقشه واحدهای کاری برای حوضه تهیه شد.

### د- انجام بررسی‌های میدانی و آزمایشگاهی

برای تعیین میزان تلفات خاک هر واحد کاری، از یک دستگاه شبیه‌ساز باران قابل حمل، ساخت پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری استفاده شد. این دستگاه دارای پلاتی به ابعاد ۸۴\*۱۲۰ سانتی متری است. دستگاه شبیه‌ساز باران از یک

تشتک به ابعاد ۱\*۱ متر تشکیل شده است. جنس تشتک از نوع Plexiglass با ضخامت ۸ میلی‌متر در کف و بدنه می‌باشد. فاصله روزنه‌ها در امتداد طول و عرض شبیه ساز باران ۸ میلی‌متر است. بنابراین مجموع کل روزنه‌ها ۱۶۹ عدد بوده و ارتفاع دیواره تشتک ۲۰ سانتیمتر و قطر روزنه‌ها ۰/۶۶ میلی‌متر است. با توجه به اینکه ضخامت کف تشتک ۸ میلی‌متر است، لذا می‌توان شبیه‌ساز باران را از نوع لوله‌های باریک در نظر گرفت به طوری‌که قطر لوله ۰/۶۶ میلی‌متر و طول آن ۸ میلی‌متر است. متوسط اندازه قطرات ۳/۶ میلی‌متر بوده و هر قطره با سرعت ۵/۳۵ متر در ثانیه از یک نازل سقوط می‌کند. عوامل مؤثر بر شدت باران تولید شده به ارتفاع آب یا فشار آب روی روزنه‌ها و قطر مفید روزنه‌ها بستگی دارد. برای این که بارش قطرات به صورت یکنواخت بر روی سطح زمین انجام شود از یک دستگاه موتور الکتریکی برای حرکت دادن افقی تشتک شبیه ساز باران استفاده شده است. در شکل (۳) تصویری از دستگاه شبیه‌ساز باران مورد استفاده ارائه شده است.



شکل ۳: تصویری از دستگاه شبیه‌ساز باران مورد استفاده برای انجام آزمایش‌ها در حوضه آبخیز سد کاخک

در این پژوهش، آن دسته از تداوم‌هایی که از نظر تولید رواناب و ایجاد رسوب مهم هستند و معمولاً کاربرد بیشتری دارند، مورد استفاده قرار گرفت. با توجه به این که شدت بارندگی ۳۰ دقیقه‌ای در دوره بازگشت ۱۰ سال برای حوضه ۳۶ میلی‌متر در ساعت است (اداره منابع طبیعی خراسان رضوی<sup>۱</sup>، ۲۰۱۰)، لذا در این بررسی در هر یک از ۱۱ واحد کاری، در شدت ۳۶ میلی‌متر در ساعت به مدت ۳۰ دقیقه و هشت بار آزمایش با شبیه‌ساز باران در محل انجام شد. نهایتاً ۳۲ نمونه رسوب و رواناب به آزمایشگاه منتقل و پس از تعیین حجم رواناب و وزن رسوب، میزان رسوبدهی در هر آزمایش تعیین شد.

در صد پوشش گیاهی و خرده سنگ موجود در سطح هر پلات تعیین شد. در هر واحد کاری، مقاومت خاک سطحی با استفاده از یک دستگاه مقاومت سنج قابل حمل در ۱۰ نقطه بر اساس روش پارذینی<sup>۲</sup> و همکاران (۱۹۹۶) اندازه‌گیری شد. این مقاومت سنج ساخت کشور هلند بوده و توان اندازه‌گیری مقاومت ۵ میلی‌متر از سطح خاک را دارد. از خاک مجاور هر آزمایش، از عمق ۰ تا ۱۵ سانتیمتر نمونه خاک برداشته شد. در صد رطوبت اولیه، وزن مخصوص و بافت هر نمونه در آزمایشگاه تعیین شد. برای تعیین درصد رطوبت اولیه خاک، وزن مشخصی از خاک در کوره الکتریکی در دمای ۱۰۵

<sup>۱</sup> Natural Resources Administration of Razavi Khorasan

<sup>۲</sup> Pardini et al

درجه خشک شد. از میزان تفاوت بین وزن خاک اولیه با وزن خاک خشک، در صد رطوبت اولیه خاک محاسبه شد. از نمونه‌ها گل اشباع تهیه شد. سپس خصوصیات شیمیایی آنها شامل اسیدیت، هدایت الکتریکی، کربن آلی طبق روش والکلی-بلک (دایکر<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۰۱)، میزان آنیون‌ها و کاتیون‌ها از روش موهر، درصد کربنات کلسیم با استفاده از روش کلسیمتری و نسبت جذب سدیم با استفاده از روش‌های استاندارد اندازه‌گیری شد (پیچ<sup>۲</sup>، ۱۹۹۲).

#### د- آنالیز آماری اطلاعات

تجزیه و تحلیل اطلاعات اندازه‌گیری شده، با استفاده از نرم‌افزار SPSS صورت گرفت. ابتدا نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگراف-اسمیرنوف در سطح ۵ درصد مورد آزمون قرار گرفت. در تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها در سطح ۵ درصد از روش دانکن استفاده شد. به منظور شناخت ارتباط بین خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک با میزان رسوبدهی واحدهای کاری مورد بررسی، از روش همبستگی پیرسون استفاده شد (وهابی<sup>۳</sup> و مهدیان، ۲۰۰۸). در انتها با استفاده از تحلیل رگرسیون چندمتغیره و بهره‌گیری از متغیرهای موثر در میزان فرسایش و رسوب، اقدام به توسعه مدل‌های خطی جهت برآورد هدررفت خاک شد. در بهره‌گیری از رگرسیون چند متغیره از روش Stepwise استفاده شد. میزان رسوب هر آزمایش به عنوان متغیر وابسته و پارامترهای فیزیکی و شیمیایی خاک (شامل مقاومت مکانیکی خاک سطحی، در صد ماده سه، سیلت، رس، میزان هدایت الکتریکی، اسیدیت، در صد کربنات کلسیم، در صد ماده آلی، در صد سنگریزه سطحی و پوشش گیاهی و نسبت جذب سدیم) به عنوان متغیر مستقل در نظر گرفته شد و نهایتاً بهترین مدل تعیین گردید.

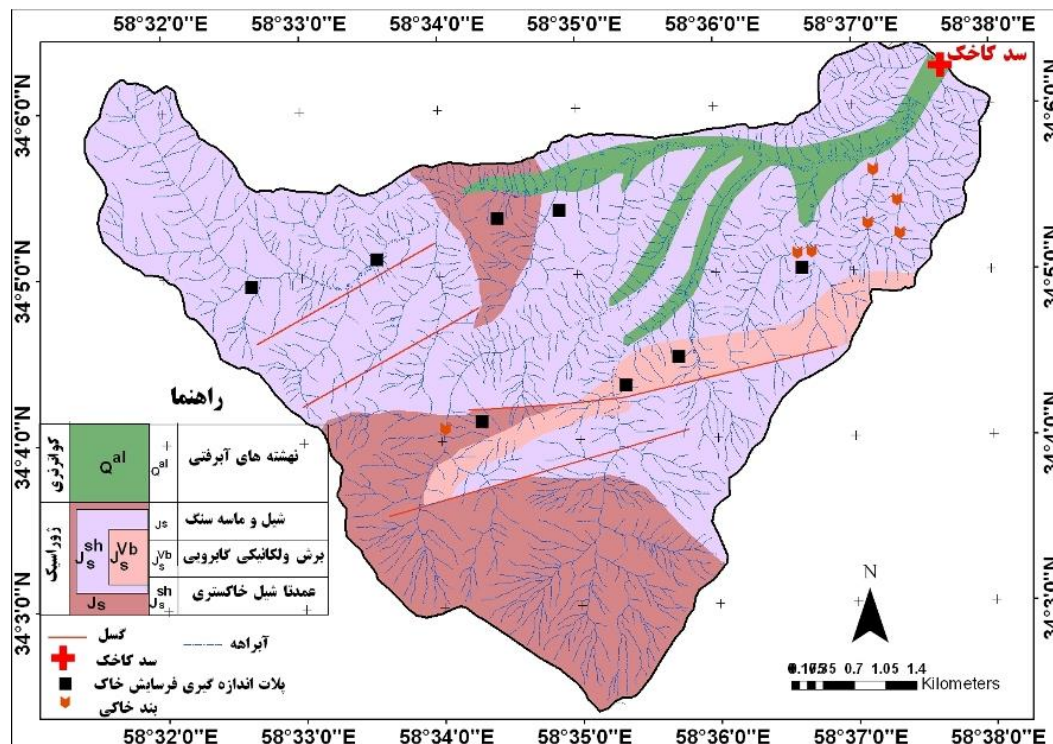
#### نتایج و بحث

بررسی‌های زمین‌شناسی نشان داد که لیتولوژی‌های شیلی، واحدهای زمین‌شناسی حساس به فرسایش بوده و بیش از نیمی از مساحت حوضه را تشکیل می‌دهند. در این سنگ‌ها، دو رخصاره فرسایشی شیاری و شیاری-خندقی دیده می‌شود. در این تحقیق، بررسی‌ها بر روی چهار واحد کاری انجام شد. موقعیت واحدهای کاری مختلف (مناطق انجام آزمایش‌های اندازه‌گیری فرسایش خاک با استفاده از دستگاه شبیه‌ساز باران) در روی نقشه واحدهای کاری (شکل ۴) نشان داده شده است. در جدول (۱) نیز مشخصات هر یک از واحدهای کاری ارائه شده است.

<sup>۱</sup> Duiker et al

<sup>۲</sup> Page

<sup>۳</sup> Vahabi and Mahdian



شکل ۴: نقشه پراکنش موقعیت پلات‌های اندازه‌گیری فرسایش خاک در حوضه (نقشه واحدهای کاری)

جدول ۱: نوع واحدهای سنگی و رخساره فرسایشی سایت‌های مورد آزمایش شبیه‌ساز باران در حوضه کاخک

واحد کاری	رخساره فرسایشی (Erosion facies)	واحدهای سنگی (مواد مادری خاک)	ردیف
Jsh-R	شیاری (Rill)	شیل خاکستری ( $J_s^{sh}$ )	۱
Jsh-RG	شیاری-خندقی (Rill-Gully)	شیل خاکستری ( $J_s^{sh}$ )	۲
Js-SR	سطحی-شیاری (Sheer-Rill)	ماسه سنگ ( $J_s$ )	۳
Jvbs-SR	سطحی-شیاری (Sheer-Rill)	گابرو ( $J_s^{vb}$ )	۴

بررسی‌ها نشان داد در مقایسه بین رسوبدهی لیتولوژی‌ها، سنگ‌های شیلی ( $J_{sh1}$  و  $J_{sh2}$ ) به ترتیب با میانگین رسوبدهی ۶۸/۱ و ۶۳/۹ گرم در مترمربع بیشترین میزان فرسایش و رسوبدهی را داشته و نهشته‌های ماسه سنگی با میانگین رسوبدهی ۴۵/۱ گرم در مترمربع کمترین میزان فرسایش و تولید رسوب را دارند و سنگهای آذرین گابرویی با میانگین رسوبدهی ۴۸/۶ گرم در مترمربع حالت بینابین را از نظر تولید رسوب نشان می‌دهند (شکل ۴).

در جدول (۲) میانگین نتایج مربوط به آزمایشات انجام شده بر روی واحدهای کاری مورد بررسی، ارائه شده است. در جدول (۳) نیز میانگین برخی از ویژگیهای فیزیکی و شیمیایی خاک واحدهای کاری مورد بررسی ارائه شده است. همانطور که جدول (۲) نشان می‌دهد، بیشترین میزان تولید تلفات خاک در واحد کاری Jsh-RG (شیل‌های واجد فرسایش شیاری-خندقی)، به میزان ۶۸/۱۲ گرم در مترمربع و کمترین میزان تولید تلفات خاک در واحد کاری Js-SR، به میزان ۴۵/۱۳ گرم در مترمربع، با جنس ماسه سنگ و با فرسایش سطحی-شیاری اتفاق افتاده است. با توجه به میزان سطح هر واحد کاری و میانگین وزن تلفات خاک به دست آمده در واحد سطح (متر مربع) به وسیله آزمایشهای انجام شده با شبیه



ساز باران، میزان تولید تلفات خاک در حوضه مورد بررسی در نتیجه یک بارش به شدت ۳۶ میلی‌متر در ساعت در طی ۳۰ دقیقه، از سطح لیتولوژی‌های فرسایش‌پذیر حدود ۲۰۲۷ تن برآورد می‌شود (جدول ۲).

جدول ۲: مشخصات واحدهای کاری و میزان رسوبدهی این واحدها با استفاده از دستگاه شبیه ساز باران

وزن رسوب (تن)	رسوب (گرم در مترمربع)	مساحت (درصد)	مساحت (هکتار)	واحد کاری	فرسایش غالب	نوع سنگ مادر
۷۴۱/۰۱	۶۳/۸۸	۳۳/۹	۱۱۶۰	Jsh-R	شیاری	شیل
۷۶۷/۰۳	۶۸/۱۲	۳۲/۹	۱۱۲۶	Jsh -RG	شیاری- خندقی	شیل
۴۱۲/۸۵	۴۵/۱۲	۲۶/۸	۹۱۵	Js-SR	سطحی- شیاری	ماسه سنگ
۱۰۵/۹۳	۴۸/۵۹	۶/۴	۲۱۸	Jvbs -RG	سطحی- شیاری	سنگهای آذرین گابروبی

وزن کل تلفات خاک تولید شده از سطح حوضه (تن) ناشی از فرسایش و رسوبدهی واحدهای سنگی مختلف (در نتیجه یک بار بارش با شدت ۳۶ میلی متر در ساعت و به مدت ۳۰ دقیقه در سطح حوضه)

۲۰۲۶/۸۲

جدول ۳: میانگین برخی از ویژگیهای فیزیکی و شیمیایی خاک واحدهای کاری مورد بررسی

واحد کاری	اسیدیته	شوری (دسی زیمنس بر متر)	نسبت جذب سدیم	آهک فعال (درصد)	ماده آلی (درصد)	مقاومت خاک سطحی (کیلوگرم بر سانتیمتر مکعب)	پوشش گیاهی (درصد)	خرده سنگ (درصد)	درصد ماسه	درصد سیلت	درصد رس
Jsh-R	۷/۷۴	۱/۶۰	۲/۶۷	۱۱/۸	۱/۰۲	۲/۲	۱۱/۴	۲۸/۲	۴۰/۲	۴۲/۶	۱۷/۲
Eoe-RG	۷/۸۱	۱/۸۳	۲/۸۵	۱۱/۹	۱/۰۱	۱/۹	۸/۸	۲۶/۳	۴۰/۱	۴۳/۹	۱۶
Js-SR	۷/۷۳	۱/۱۶	۲/۲۰	۱۳/۸	۱/۴۱	۳/۴	۱۹/۵	۲۵/۷	۵۰/۷	۳۳/۷	۱۵/۰
Jvbs -RG	۷/۸۹	۱/۰۸	۲/۱۰	۱۳/۷	۰/۹۹	۳/۱	۱۷/۱	۲۴/۶	۴۵/۸	۳۴/۰	۱۶/۷

یکی از دلایل مهم وجود تفاوت در میزان فرسایش و رسوبدهی بین واحدهای کاری مورد بررسی، تفاوت در بافت خاک این واحدها است. آنالیز فیزیکی خاک واحدهای کاری (جدول ۳) نشان داد که در واحدهای ماسه‌سنگی و گابروبی درصد ماسه نسبت به واحدهای شیلی بیشتر بوده و درصد سیلت کمتر است. بالاتر بودن درصد سیلت و کمتر بودن درصد ماسه در واحدهای شیلی در مقایسه با واحدهای ماسه‌سنگی و گابروبی، حساسیت آنها را نسبت به فرسایش افزایش داده است. در این رابطه محققینی نظیر ریچتر<sup>۱</sup> و نگندنک (۱۹۷۷) معتقدند خاکهایی که در بافت خود دارای ۴۰ تا ۶۰ درصد سیلت باشند، دارای قابلیت فرسایش‌پذیری بالایی هستند. چرا که در این نوع خاکها، هر دو جزء فرایند فرسایش (جدا شدن و

<sup>۱</sup> Richter and Negendank

انتقال) معمولاً با سهولت بیشتر صورت می‌گیرد لذا می‌توان نتیجه گرفت خاکهای شیلی که دارای درصد بالای سیلت هستند، به دلیل چسبندگی اندک ذرات سیلت، خاکدانه‌های این خاکها در اثر مرطوب شدن به سهولت شکسته شده و ذرات سیلت جدا و منتقل می‌شود. در نتیجه، رسوبدهی افزایش می‌یابد در حالیکه ذرات ماسه به دلیل اندازه بزرگتر، مقاوم به انتقال بوده و ذرات ریز رس به علت چسبندگی بین ذرات، نسبت به جدا شدن مقاوم می‌باشند. محققین دیگر نیز در بررسی‌های خود نتایج مشابهی را گزارش کرده‌اند.

نتایج آنالیز واریانس مربوط به بررسی تاثیر نوع واحد کاری بر میزان فرسایش و تولید رسوب با استفاده از روش آزمون F (جدول ۴) نشان می‌دهد نوع واحد کاری بر میزان رسوبدهی تاثیر گذار بوده است و به عبارت دیگر، میانگین رسوبدهی در انواع مختلف لیتولوژی‌ها با هم از نظر آماری تفاوت معنی دار دارند ( $P < 0.01$ ).

جدول ۴: نتایج تحلیل واریانس برای بررسی اثر نوع واحد کاری بر میزان فرسایش و تولید رسوب

منابع تغییر	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	Fنسبت	P
نوع واحد کاری	۳۰۵۲/۷۹۵	۳	۱۰۱۷/۵۹۸	۱۷/۸۸۷	<۰,۰۰۰۱**
خطا	۱۵۹۲/۸۹۱	۲۸			
کل	۱۰۶۵۳۶/۸۲۳	۳۲			

معنی داری در سطح ۱ درصد\*\*

نتایج تحلیل ارتباط بین میزان فرسایش خاک و تولید رسوب با ویژگیهای فیزیکی و شیمیایی خاک با استفاده از رگرسیون چندمتغیره در جدول (۵) ارائه شده است. نتایج نشان داد که در رابطه رگرسیونی حاصل، درصد سنگریزه (R.F) و پوشش گیاهی موجود در سطح خاک (G.C) به طور معکوس به ترتیب بیشترین تاثیر در تغییرات میزان رسوبدهی واحدهای کاری را نشان می‌دهند.

جدول ۵: رابطه رگرسیونی بین رسوب تولیدی و ویژگیهای فیزیکی و شیمیایی خاک

مدل	مجزور R	خطای استاندارد برآورد	ضریب بتای استاندارد
Sediment Yield=109.112- 1.369 (R.F) -0.988(G.C)	۰,۸۷۰	۲۴,۴۳	***۰,۵۳۶ **۰,۴۸۰

\*\*\* و \*\* به ترتیب ضریب بتای استاندارد برای (Rock Fragment) و (Grass cover) می‌باشد.

نتایج استفاده از آنالیز همبستگی پیرسون به منظور شناخت ارتباط بین خصوصیات فیزیکی شیمیایی خاک با میزان رسوبدهی واحدهای کاری، در جدول (۶) ارائه شده است. همانگونه که این جدول نیز نشان می‌دهد، رسوبدهی لیتولوژی‌های حساس به فرسایش با درصد سیلت، همبستگی مثبت و قابل ملاحظه نشان دارند. محققینی مانند ریچتر<sup>۱</sup> و نگندنک Negendank (۱۹۷۷)، نیکولاس<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۰۴)، دی سانتیس<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۱۰) و پولیس<sup>۴</sup> و همکاران (۲۰۱۲) نیز در مطالعات خود به درصد بالای سیلت به عنوان عامل مهم در فرسایش خاک اشاره کرده اند. ضمناً در صد

<sup>۱</sup> Richter and Negendank

<sup>۲</sup> Nikolaus et al

<sup>۳</sup> De Santis et al

<sup>۴</sup> Pulice et al

بالای ماسه در خاک و درصد سنگریزه در سطح خاک ارتباط معکوس با میزان تولید رسوب دارد که از این نظر با بررسی‌های مرزوک<sup>۱</sup> و بلیک (۱۹۹۱) و وانگ<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۱۲) مطابقت دارد. پوشش گیاهی موجود بر روی لیتولوژی‌های فرسایش‌پذیر، همبستگی منفی و بالایی را با تولید رسوب نشان داد. نتیجه این بررسی با نتایج بررسی‌های محققینی مانند لی<sup>۳</sup> و اسکوگربو (۱۹۸۵)، رگیوس<sup>۴</sup> و همکاران (۲۰۰۰)، کانتون<sup>۵</sup> و همکاران (۲۰۰۱)، فرناندس<sup>۶</sup> و وگا (۲۰۰۶) و وهابی<sup>۷</sup> و نیک کامی (۲۰۰۸) هم‌خوانی دارد. میزان ماده آلی موجود در خاک از فاکتورهای دیگری است که با رسوبدهی همبستگی منفی اما پایینی را نشان داد. همبستگی منفی فرسایش‌پذیری با ماده آلی، توسط محققین مختلف و از جمله دایکر<sup>۸</sup> و همکاران (۲۰۰۱) و فرناندس و وگا (۲۰۰۶)، تایید شده است. در این رابطه، تحقیقات اکو<sup>۹</sup> و همکاران (۱۹۹۱) نشان می‌دهد که افزایش ماده آلی در خاک مانع از فروپاشی خاکدانه‌ها شده می‌شود به طوری که در یک خاک معین با افزایش قابل توجه مواد آلی، نرخ فروپاشی خاکدانه‌ها می‌تواند تا به یک سوم کاهش یابد.

در این بررسی، میزان رسوب تولیدی با شوری، نسبت جذب سدیم و اسیدیته خاک همبستگی مثبت نشان داد که با تحقیقات انجام شده به وسیله دی سانتیس و همکاران (۲۰۱۰) مطابقت دارد. در این مورد، مرزوک و بلیک (۱۹۹۱) و رینک<sup>۱۰</sup> و همکاران (۲۰۰۰) نیز نتیجه گرفتند رسوب تولیدی با شوری خاک همبستگی مثبت دارد.

این بررسی نشان داد که مقاومت خاک سطحی با رسوبدهی لیتولوژی‌های مورد بررسی، همبستگی منفی دارد. این نتیجه‌گیری با نتایج برونوری<sup>۱۱</sup> و همکاران (۱۹۸۹)، بارتز<sup>۱۲</sup> و روز (۲۰۰۲) و نادال رومرو<sup>۱۳</sup> و همکاران (۲۰۰۷) مطابقت و با نتایج سشونینگ<sup>۱۴</sup> (۱۹۹۴)، مبنی بر عدم وجود رابطه بین مقاومت خاک با هدرفت خاک مغایرت دارد. سشونینگ (۱۹۹۴)، علت نبود ارتباط را به دلیل شرایط اندازه‌گیری گزارش کرده است. ضمناً، میزان کربنات کلسیم فعال با رسوبدهی لیتولوژی‌های فرسایش‌پذیر دارای همبستگی منفی پایینی است (جدول ۶) که می‌توان نتیجه گرفت با افزایش مقدار کربنات کلسیم فعال خاک، پایداری خاک افزایش یافته و از شدت فرسایش و رسوبدهی خاک کاسته می‌شود. در این رابطه، بوما<sup>۱۵</sup> و ایمسون (۱۹۹۹) نتایج مشابهی را ارائه نموده‌اند.

جدول ۶: نتایج حاصل از روش همبستگی پیرسون در تعیین همبستگی رسوبدهی واحدهای کاری با ویژگی‌های خاک

ویژگی‌های خاک	مقاومت فیزیکی خاک	ماسه	سیلت رس	خرده سنگ	پوشش گیاهی	کربن آلی	آهک شوری	نسبت جذب سدیم	اسیدیته
---------------	-------------------	------	---------	----------	------------	----------	----------	---------------	---------

<sup>۱</sup> Merzouk and Blake

<sup>۲</sup> Wang et al

<sup>۳</sup> Lee and Skogerboe

<sup>۴</sup> Regues et al

<sup>۵</sup> Canton et al

<sup>۶</sup> Fernandez and Vega

<sup>۷</sup> Vahabi and Nikkami

<sup>۸</sup> Duiker et al

<sup>۹</sup> Ekwe et al

<sup>۱۰</sup> Rienks et al

<sup>۱۱</sup> Brunori et al

<sup>۱۲</sup> Barthes and Roos

<sup>۱۳</sup> Nadal-Romero et al

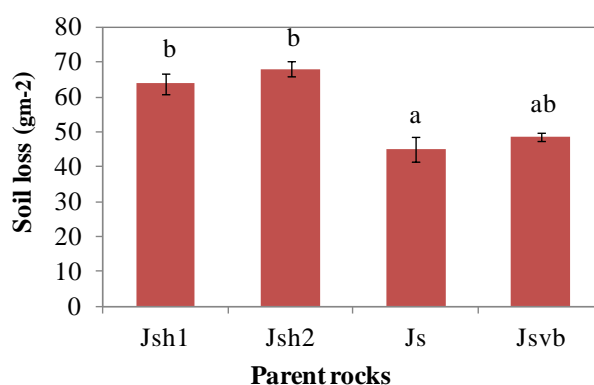
<sup>۱۴</sup> Schjonning

<sup>۱۵</sup> Bouma and Imeson

رسوبدهی ۰,۷۲۴<sup>\*\*</sup>-۰,۵۸۳<sup>\*\*</sup> ۰,۶۰۱<sup>\*\*</sup> ۰,۰۱۰<sup>\*\*</sup> ۰,۷۷۰<sup>\*\*</sup> ۰,۷۴۲<sup>\*\*</sup> ۰,۵۷۷<sup>\*</sup> ۰,۳۷۵<sup>\*</sup> ۰,۴۵۸<sup>\*\*</sup> ۰,۵۰۸<sup>\*\*</sup> ۰,۱۱۰<sup>\*</sup>

\* و \*\* به ترتیب همبستگی در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها در سطح ۵ درصد به روش دانکن نشان داد که رسوبدهی واحدهای کاری از نظر آماری با یکدیگر تفاوت معنی‌دار داشته و بر اساس تفاوت در میزان فرسایش و تولید رسوب، در دو گروه قرار می‌گیرند (شکل ۵). واحد شیل با فرسایش شیاری-خندقی (Jsh-RG) با میانگین رسوبدهی ۶۸/۱۲ گرم در مترمربع دارای بیشترین میزان رسوبدهی بوده و در گروه b قرار گرفته و واحد ماسه سنگ (Js-SR) با میانگین رسوبدهی ۴۵/۱۲ گرم در مترمربع با کمترین میزان رسوبدهی، در گروه a واقع شده است.



شکل ۵: نتایج مقایسه میانگین رسوبدهی واحدهای کاری با استفاده از آزمون دانکن

با توجه به نتیجه آنالیز تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها به روش دانکن که نشان داد واحدهای کاری با توجه به میزان رسوبدهی، در دو گروه قرار می‌گیرند، می‌توان نتیجه گرفت که این دو گروه از نظر میزان فرسایش و رسوبدهی با یکدیگر تفاوت معنی‌دار دارند که متأثر از ویژگیهای فیزیکی و شیمیایی ذاتی نوع سنگ مادری می‌باشد. محققینی مانند Bryan و Campbell (۱۹۸۰)، Nadal-Romero و همکاران و Gallart و Moreno-des Heras (۲۰۱۶) نیز در تحقیقات خود نتیجه گرفتند، لیتولوژی‌های دانه ریز و یا غیرمتراکم مانند برخی از شیل‌ها به دلیل فرسایش و رسوبدهی زیاد، ممکن است مکان گسترش بدلندها باشند. در این رابطه Haregeweyn و همکاران (۲۰۰۳)، تغییرپذیری تلفات خاک را عمدتاً وابسته به تفاوت در زمین‌شناسی، پوشش زمین و فعالیت‌های انسانی دانسته و Cerda (۲۰۰۲) معتقد است که در مناطق واجد خاکهای با فرسایش‌پذیری زیاد که فاقد پوشش گیاهی بوده و یا میزان پوشش گیاهی ناچیز است، سرشت ذاتی سنگ مادر، نقش به‌سزایی در تولید رواناب و هدررفت خاک ایفا می‌کند.

### نتیجه‌گیری

نتایج آزمایشهای متعدد با دستگاه شبیه‌ساز باران نشان داد که عواملی چون خصوصیات فیزیکی و شیمیایی واحدهای کاری مورد بررسی و همچنین ویژگیهای پوشش خاک سطحی مانند درصد سنگریزه، مقاومت خاک سطحی و درصد پوشش گیاهی از مهمترین عوامل تعیین‌کننده میزان هدررفت و رسوبدهی خاک از سطح پلاتهای مورد بررسی می‌باشند.

این بررسی نشان داد که سنگ‌های شیلی نسبت به سایر سنگها نسبت به فرسایش حساس‌تر بوده، سست و فرسایش‌پذیر هستند لذا قسمت‌های پست‌تر منطقه را تشکیل داده و رخنمون ماسه سنگها و سنگ‌های گابرویی که از مقاومت بیشتری نسبت به فرسایش برخوردارند بخشهای مرتفع و توده سنگی منطقه را تشکیل می‌دهند.

واحدهای فرسایش‌پذیر شیلی بیش از نیمی از حوضه آبخیز کاخک را تشکیل داده و میزان فرسایش و رسوبدهی بیشتری را نسبت به سایر لیتولوژی‌های موجود در حوضه نشان می‌دهند. یکی از دلایل مهم در تفاوت میزان فرسایش و تولید رسوب در واحدهای کاری مورد بررسی، وجود تفاوت در بافت این واحدها می‌باشد. واحدهای شیلی در مقایسه با واحدهای ماسه‌سنگی و گابرویی در اجزای بافت خود دارای درصد بیشتری سیلت و مقدار کمتری ماسه هستند. به دلیل چسبندگی اندک ذرات سیلت، خاکدانه‌های خاکهای ماری در اثر مرطوب شدن به سهولت شکسته شده و ذرات سیلت جدا و منتقل می‌شود. در حالیکه ذرات ماسه به دلیل اندازه بزرگتر، مقاوم به انتقال بوده و ذرات ریز رس به علت چسبندگی بین ذرات، نسبت به جدا شدن مقاوم می‌باشند. در نتیجه، رسوبدهی خاکهای شیلی در مقایسه با خاکهای با منشأ ماسه‌سنگی و گابرویی، به مراتب بیشتر است.

تحلیل اطلاعات با استفاده از روش همبستگی پیرسون و رگرسیون چندمتغیره نشان داد که درصد سیلت، شوری و نسبت جذب سدیم خاک با میزان فرسایش و رسوبدهی خاک دارای همبستگی مثبت داشته و فاکتورهای درصد پوشش گیاهی و درصد سنگریزه موجود در سطح خاک و همچنین درصد ماسه، کربن آلی و درصد آهنک فعال خاک با میزان فرسایش و تولید رسوب، همبستگی منفی دارند.

تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها به روش دانکن نیز نشان داد که واحدهای کاری با توجه به میزان رسوبدهی، در دو گروه قرار می‌گیرند به طوری که واحدهای شیلی بیشترین میزان تولید رسوب را داشته و واحدهای ماسه‌سنگی و گابرویی کمترین میزان فرسایش و رسوب را دارا هستند. بر این اساس می‌توان نتیجه گرفت که این دو گروه از نظر میزان فرسایش و تولید رسوب با یکدیگر تفاوت معنی‌دار دارند که متاثر از ویژگیهای فیزیکی و شیمیایی ذاتی نوع سنگ مادری می‌باشد.

با توجه به حساسیت سنگ‌های شیلی به فرسایش، نهایتاً نتیجه گرفته می‌شود که در برنامه ریزی به منظور ساخت سد و یا سایر پروژه‌های عمرانی، لازم است به فرسایش‌پذیری واحدهای شیلی توجه شود. در این رابطه، یافته‌های برخی از محققین نیز نشان می‌دهد که برخی از لیتولوژی‌های دانه ریز و یا سخت نشده مانند برخی از شیل‌ها به دلیل فرسایش و رسوبدهی زیاد، می‌تواند محل گسترش بدلدها بوده و پتانسیل زیادی از نظر فرسایش و رسوب داشته باشند.

## منابع

- Abdinejad, P., S. Feiz Nia and H. R. Peyrowan. 2014. Comparison of Zanjan marly soils erodability using rainfall simulator. *Iranian Journal of Soil Research*, 28(2): 407-419 (in Persian).
- Abu-zeid, M. A. and F. Z. El-shibini. 1997. Egypt's High Aswan Dam. *Water Resources Development*, 13 (2): 209-217.
- Barthes, B., and E. Roos. 2002. Aggregate stability as an indicator of soil susceptibility to runoff and erosion; validation at several level. *Catena*, 47: 133-149.
- Benito, G., M. Gutierrez and C. Sancho. 1993. The Influence of Physico chemical properties on Erosion processes in Badland Areas ,Ebro Basin , Ne-spain, *Zetschrift Fur Geomorphology*, 37 (2): 199-214.
- Boscagli, A., S. Maccherini, and A. Chiarucci. 1996. Germination of nine species of a pioneer plant community of pliocene clay soils of central western Italy under different photo- and thermo-periods. *Acta Societatis Botanicorum Poloniae*, 65 (3-4): 301-306.
- Bouma, N. A. and A. C. Imeson. 1999. Investigation of relationship between measured field indicators and erosion processes on badland surfaces at petrer, Spain. *Catena*, 40: 147-171.
- Brunori, F.; Penzo, M. c.; Torri, F. 1989. Soil shear strength: its measurement and soil detachability. *Catena*, 16: 59-71.

- Bryan, R.B. and I. A Campbell Edmonton. 1980. Sediment entrainment and transport during local rainstorms in the Steepleville badlands, Alberta. *Catena*, 7: 51-65.
- Canga, M. 1999. Effect of subsequent simulated rainfall on runoff and erosion. *Turk. J. Agriculture Forestry*, 23: 659-665.
- Canton Y., F. Domingo, A. Sole Benet and J. Puigdefabregas. 2001. Hydrological and erosion response of a badland system in semiarid SE Spain. *Journal of Hydrology*, 252: 65-84.
- Cerda A., 1999. Parent Material and Vegetation Affect Soil Erosion in Eastern Spain. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 63:362-368.
- Cerda, A. 2002. The effect of season and parent material on water erosion on highly eroded soils in eastern Spain. *Journal of Arid Environments*, 52: 319-337.
- De Santis F., M.L.Giannossi, L. Medici, V. Summa, and F. Tateo. 2010. Impact of physico-chemical soil properties on erosion features in the Aliano area (Southern Italy). *Catena*, 81: 172-181.
- Duiker, S.W., D.C. Flanagan and R. Lal. 2001. Erodibility and infiltration characteristics of five major soils of southwest Spain. *Catena*, 45(2): 103-121.
- Eftekharnajhad, J. A. Behruzi A. 1976. 1:250000 Geological Map of Kashmar. Geological Survey and Mineral Exploration of Iran.
- Ekwe, E. I. 1991. The effects of soil organic matter content, rainfall duration and aggregate size on soil detachment. *Soil Technol.*, 4: 197-207.
- Ekwue, E.I., C. Bharat, and K. Samaroo. 2009. Effect of soil type, peat and farmyard manure addition, slope and their interactions on wash erosion by overland flow of some Trinidadian soils. *Bios. Engine.*, 102: 236-243.
- Feiz Nia, S. and M. Khosheghbal. 2003. Investigating sensitivity to erosion and sediment yield of formations in Lalyan drainage basin. *Iranian Journal of Natural Resources*. 56 (4): 356-381 (in Persian).
- Fernandez, C. and Jack. Vega. 2006. Run off and soil erosion after rainfall simulations in burned soil. *Forest ecology and management*, 375-387.
- Haregeweyn, N., Poesen J., Nyssen J., Verstraeten J., Vente G., Govers G. S., Deckers S and C.A. Igwe. 2003. Erodibility of soils of the upper rainforest zone, Southeastern Nigeria. *Land Degrad. And Develop.*, 14: 323-334.
- Higuchi K., M. Chigira and D.H. Lee . 2013. High rates of erosion and rapid weathering in a Plio-Pleistocene mudstone badland, Taiwan. *Catena*, 106: 68-82.
- Hosseini, S. H., Feiz Nia S., Peyrowan H. R. and Gh. R. Zehtabian. 2009. Assessment of runoff and sediment generation in Neogene's units under rainfall simulator (Case study: Taleghan Basin). *Journal of Range and Watershed Management*, 62: 215-228 (in Persian).
- Hu B., Z. Yang, H. Wang, X. Sun , N. Bi and G. Li. 2009. Sedimentation in the Three Gorges Dam and the future trend of Changjiang (Yangtze River) sediment flux to the sea. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 13: 2253-2264.
- Jordan, A. and Z. Martinez. 2008. Soil Loss and runoff rates on unpaved forest roads in southern Spain after simulated rainfall. *Forest Ecology and Management*, 255(3): 913-919.
- Lee, C. R. and J. G. Skogerboe. 1985. Quantification of erosion control by vegetation on problem soils. Pages 437-444 in W. C. El Swaify, W. C. Moldenhauer, and A. Lo, eds. *Soil erosion and conservation*. Soil Conservation Society of America, Ankeny, IA.
- López-Tarazón, J.A., R. J. Batalla, D. Vericat and T. Francke. 2012. The sediment budget of a highly dynamic mesoscale catchment: the river Isábena. *Geomorphology* 138: 15-28.
- Martínez-Murillo J.F., E. Nadal-Romero, D. Regues, A. Cerda and J. Poesen. 2013. Soil erosion and hydrology of the western Mediterranean badlands throughout rainfall simulation experiments: a review. *Catena*, 106: 101-112.

- Merzouk, A. and G. R. Blake. 1991. Indices for the estimation of interrill erodibility of Moroccan soils. *Catena*, 18: 537-550.
- Moreno-de las Heras. M. and F. Gallart. 2016. Lithology controls the regional distribution and morphological diversity. *Geomorphology*, 273: 107-115.
- Natural Resources Administration of Razavi Khorasan (N. R. A. R. K.), 2010. Evaluation of Performanced Khoshroode-Kashmar Watershed Management. 90 p.
- Nadal-Romero E., D. Regues, C. Marti-Bono and P. Serrano-Mula. 2007. Badland dynamics in the central Pyrenees: temporal and spatial patterns of weatheriang processes. *Earth Surf. Process. Landforms*, 32: 888-904.
- Nadal-Romero, E., J.F. Martinez-Murillo, M. Vanmaercke and J. Poesen. 2011. Scale-dependency of sediment yield from badland areas in Mediterranean environments. *Prog. Phys. Geogr.*, 35: 297-332.
- Nichols, M.H., M. A. Nearing, V. O. Polyakov and J.J. Stone. 2004. A sediment budget for a small semiarid watershed in southeastern Arizona, USA. *Geomorphology*, 180-181: 137-145.
- Page, A.L. 1992. *Methods of Soil Analysis*. ASA and SSSA Pub., Madison W.
- Pardini G., G. Vigna Guidi, R. Pini, D. Regues and F. Gallart. 1996. Structural changes of smectite-rich mudrocks experimentally induced by freeze-thawing and wetting-drying cycles. *Catena*, 27: 149-165.
- Pulice I., C. Cappadonia, S. Fabio, G. Robustelli, C. Conoscenti, R. De Rose, E. Rotigliano and V. Agnesi. 2012. Geomorphological, Chemical and Physical study of "Calanchi" landforms in NW Sicily (southern Italy). *Geomorphology*, 153-154: 219-231.
- Regues D., R. Guardia and F. Gallart. 2000. Geomorphic agents versus vegetation spreading as causes of badland occurrence in a Mediterranean subhumid mountainous area. *Catena*, 40: 173-187.
- Richter G. and J. F. Negendank. 1977. Soil erosion processes and their measurement in the German area of the Moselle river. *Earth Surface Processes*, 2: 261-78.
- Seeger, M. 2007. Uncertainty of factors determining runoff and erosion processes as quantified by rainfall simulations. *Catena*, 71: 56-67.
- Sheykh Rabiee M. R., Feiz Nia S. and H. R. Peyrowan. 2011. Study runoff and soil loss in Map Units of Hiv Watershed, measurements and comparision at the rainfall simulator scale. *Scientific Quaterly Journal, Geoscience*, 20 (80): 57-63 (in Persian).
- Vahabi, J., and M. H. Mahdian. 2008. Rainfall simulation for the study of the effects of efficient factors on runoff rate. *Current Sci.* 95: 1439-1445.
- Vahabi J. and D. Nikkami. 2008. Assessing dominant factors affecting soil erosion using a portable rainfall simulator. *Elsevier*, 23: 376-386.
- Wang, X., Z. Li, C. Cai, Z. Shi, Q. Xu, Z. Fu and Z. Guo. 2012. Effect of rock fragment cover on hydrological response and soil loss from Regosols in a semi-humid environment in South-West China. *Geomorphology*, 151-152: 234-242.
- WCD. 2000. *Dams and Development: A New Framework for Decision making*, Earthscan, London and Sterling, VA.