

## بررسی تاثیر نوع لیتولوژی بر میزان فرسایش و رسوبدهی خاک در حوزه آبخیز سد سنگرد

علی باقریان کلات<sup>۱</sup>، غلامرضا لشکری پور<sup>۲\*</sup>، محمد غفوری<sup>۳</sup> و علی اکبر عباسی<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی دوره دکتری واحد بین الملل دانشگاه فردوسی مشهد، <sup>۲</sup> استاد گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد و <sup>۴</sup> دانشیار، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۵/۱۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۲/۰۷

### چکیده

در مناطق واجد خاک‌های با فرسایش پذیری 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 بر عهده دارد. این تحقیق، با هدف بررسی اثر نوع لیتولوژی و مواد مادری بر هدررفت خاک با استفاده از دستگاه شبیه‌ساز باران در حوزه آبخیز سد سنگرد واقع در استان خراسان رضوی انجام شد. برای انجام این پژوهش، ابتدا ۱۱ واحد همگن (واحدهای کاری) بر مبنای نوع لیتولوژی شامل مارن و کنگلومرا و رخساره‌های فرسایشی شامل سطحی-شیاری، شیاری و شیاری-آبراهه‌ای در کاربری مرتعی و در شیب مشابه (۲۰ درصد) انتخاب شد. ۳۳ 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. به‌منظور بررسی عوامل موثر در تلفات خاک و فرسایش پذیری، نمونه‌برداری از خاک در لایه صفر تا ۱۵ سانتی‌متری نیز از مجاور پلات‌های مورد آزمایش برداشته شد. تحلیل آماری اطلاعات با استفاده از نرم‌افزار SPSS 22 انجام شد. نتایج نشان داد که لیتولوژی‌های مورد بررسی از نظر فرسایش و رسوبدهی با یکدیگر تفاوت معنی‌دار دارند. دو واحد کاری شامل مارن حاوی املاح فراوان واجد فرسایش شیاری-آبراهه‌ای (Eem-RG) و کنگلومرا واجد فرسایش سطحی-شیاری (Plc-SR) به‌ترتیب با رسوبدهی ۲۶۰/۹ و ۴۵/۱ گرم در متر مربع دارای بیشترین و کمترین مقدار رسوبدهی می‌باشند. برخی از ویژگی‌های خاک مانند درصد سیلت، رطوبت اولیه خاک، شوری، اسیدیته و نسبت جذب سدیم با میزان فرسایش و رسوبدهی خاک دارای همبستگی مستقیم و عوامل 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 نشان می‌دهند.

واژه‌های کلیدی: تلفات خاک، شبیه‌ساز باران، فرسایش پذیری، کنگلومرا، مارن

### مقدمه

مشکلاتی است که به دلیل رسوبدهی نسبتاً زیاد حوضه بالادست برخی از سدها گزارش شده است. به‌عنوان مثال، سالانه بخش قابل‌توجهی از مخزن سدهایی مانند سد اسوان مصر (El-shibini و Abu-zeid)

سالانه حدود ۰/۵ تا یک درصد از حجم مخزن سدها از طریق تله‌اندازی رسوبات کاسته می‌شود (WSD، ۲۰۰۰). سیلنتی شدن مخزن سدها از جمله

بررسی‌های Canton و همکاران (۲۰۰۱)، بر روی نهشته‌های گل‌سنگ و ماسه‌سنگ سخت نشده نشان داد که خصوصیات خاک سطحی یکی از مهمترین عواملی است که تعیین‌کننده میزان فرسایش خاک و تولید رواناب است. Cerda (۲۰۰۲)، با بررسی میزان فرسایش خاک‌های مارنی، رسی و ماسه‌ای در مناطق بدلدنی 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 استفاده از شبیه‌ساز باران موید آن است که درصد ماسه خیلی ریز، ماسه ریز، بافت خاک و نسبت سدیم تبادلی و تفاوت در نوع مواد مادری، مهمترین پارامترهای خاک در فرسایش‌پذیری می‌باشد (Haregeweyn و همکاران، ۲۰۰۳؛ Duiker و همکاران، ۲۰۰۱؛ Rienks و همکاران، ۲۰۰۰).

Calvo-Cases و همکاران (۲۰۰۳)، در تحقیقی در جنوب شرقی اسپانیا نتیجه گرفتند که عوامل میزان پوشش گیاهی و سنگدانه‌های سطح خاک، میزان مواد آلی خاک و مقدار شیب دامنه و رخنمون واحدهای سنگی از جمله مهمترین عواملی هستند که میزان فرسایش خاک را کنترل می‌کنند. بررسی فرسایش‌پذیری مارن‌های حوضه کوچک در فرانسه با استفاده از مدل بارش-رواناب-فرسایش، نشان داد که در مارن‌های فاقد پوشش گیاهی، میزان فرسایش بسیار زیاد و سالانه بیش از ۱۰۰ تن در هکتار است (Mathys و همکاران، ۲۰۰۳). Vega و Fernandez (۲۰۰۶) با بررسی میزان فرسایش و رسوب اراضی بدلدنی بدون پوشش گیاهی اسپانیا با استفاده از شبیه‌ساز باران نتیجه گرفتند که میزان رواناب و رسوب با میزان رطوبت اولیه خاک ارتباط مثبت و با مواد آلی خاک ارتباط منفی دارد. بررسی‌های Vahabi و Nikkami (۲۰۰۸) در زمینه برخی از عوامل 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

(۱۹۹۷) و سد تری جورج چین (Hu و همکاران، ۲۰۰۹) از رسوب انباشته می‌شود. فرسایش خاک، به‌عنوان یک مشکل جدی زیست محیطی شناخته شده (Ekwue و همکاران، ۲۰۰۹) که ظرفیت نگهداری آب را در اثر ایجاد رواناب و کاهش ماده آلی خاک، کم می‌کند. رواناب فرایند مهمی است که غالباً با هدررفت عناصر غذایی همراه است (Perez-Latorre و همکاران، ۲۰۱۰). بنابراین، بررسی رواناب به‌عنوان یکی از فرایندهای اصلی فرسایش خاک، امری اجتناب‌ناپذیر است. از طرفی، به‌دلیل محدودیت‌های مالی و زمانی، شرایط سخت فیزیکی آبخیزها و نیز نوسانات غیرقابل پیش‌بینی اقلیمی، جمع‌آوری اطلاعات مربوط به جنبه‌های مختلف فرایندهای هدررفت خاک در پهنه‌های طبیعی دشوار است (Roos و Barthes، ۲۰۰۲). از این‌رو، شبیه‌ساز باران به‌عنوان ابزاری در پژوهش‌های هدررفت خاک، به‌طور وسیع مورد استفاده قرار گرفته است. دستگاه‌های شبیه‌ساز باران امکان اندازه‌گیری‌های متعدد در اراضی مختلف را به‌منظور تعیین عوامل مؤثر بر رواناب و فرسایش فراهم می‌نمایند که از داده‌های به‌دست آمده از آن می‌توان برای اهداف مختلف استفاده نمود. با وجود چالش‌های موجود، استفاده از دستگاه‌های شبیه‌ساز باران به‌دلیل برتری‌های متعدد در پژوهش‌های هدررفت خاک و تولید رسوب در جهان رایج می‌باشد (Seeger، ۲۰۰۷). بدلدن‌ها، علی‌رغم گسترش اندک در یک حوضه، می‌توانند بخش قابل توجهی از رسوبدهی حوزه را به خود اختصاص دهند (Garcia-Ruiz و همکاران، ۲۰۱۳؛ Lopez-Tarazon و همکاران، ۲۰۱۳). میزان فرسایش در بدلدن‌ها بسیار زیاد است که گاهی از ۱۰ کیلوگرم در مترمربع در سال نیز بیشتر می‌شود (Gallart و همکاران، ۲۰۱۱؛ Nadal-Romero و همکاران، ۲۰۱۳). بررسی Benito و همکاران (۱۹۹۳)، نشان داد که میزان فرسایش سالانه خاک ارتباط نزدیکی را با ویژگی‌های فیزیکی-شیمیایی خاک دارد. تحقیقات در اسپانیا بر روی خاک‌های حاصل از فرسایش چهار نوع مادری نشان داد که خاک حاصل از تشکیلات مارنی رسوب زیادی داشته و سریعاً رواناب تولید می‌کند، در صورتی که میزان رواناب و رسوب ماسه‌سنگ ناچیز است (Cerda، ۱۹۹۹).

بررسی‌های Abdinejhad 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. Habibzadeh و همکاران (۲۰۱۳)، با بررسی میزان رواناب و رسوب مارن‌های استان آذربایجان شرقی نتیجه گرفتند که مارن‌های میوسن دارای بیشترین و مارن‌های با سن کرتاسه دارای کمترین میزان رسوبدهی هستند.

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 بدلندی دانه‌ریز مانند مارن‌ها متمرکز شده است در حالی‌که سایر نهشته‌های سخت نشده مانند کنگلومراها نیز با حساسیت به فرسایش بالایی که دارند، می‌توانند فرسایش و رسوب زیادی داشته باشند. شناخت رسوب‌زایی این‌گونه لیتولوژی‌ها می‌تواند در ارزیابی پیشنهادهای 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 حوزه آبخیز سد سنگرد واقع در استان خراسان رضوی می‌باشد.

### مواد و روش‌ها

#### موقعیت جغرافیایی و مشخصات حوضه مورد

**مطالعه:** حوزه آبخیز سد سنگرد، یکی از آبخیزهای منطقه خشک تا نیمه‌خشک ایران است که در استان خراسان رضوی قرار دارد. این حوضه در حد فاصل شمال غرب بردسکن و جنوب سبزوار، در طول جغرافیایی  $31^{\circ} 57'$  تا  $31^{\circ} 58'$  شرقی و عرض جغرافیایی  $29^{\circ} 35'$  تا  $29^{\circ} 47'$  شمالی با وسعت  $1229$  کیلومتر مربع و ارتفاع متوسط  $1860$  متر از سطح دریا واقع است (شکل ۱). کاربری عمده آن مرتع است. واحدهای زمین‌شناسی حساس به فرسایش شامل کنگلومرا و مارن در حوضه سد سنگرد حدود  $697$  کیلومتر مربع، معادل  $56/6$  درصد مساحت حوضه را تشکیل می‌دهند.

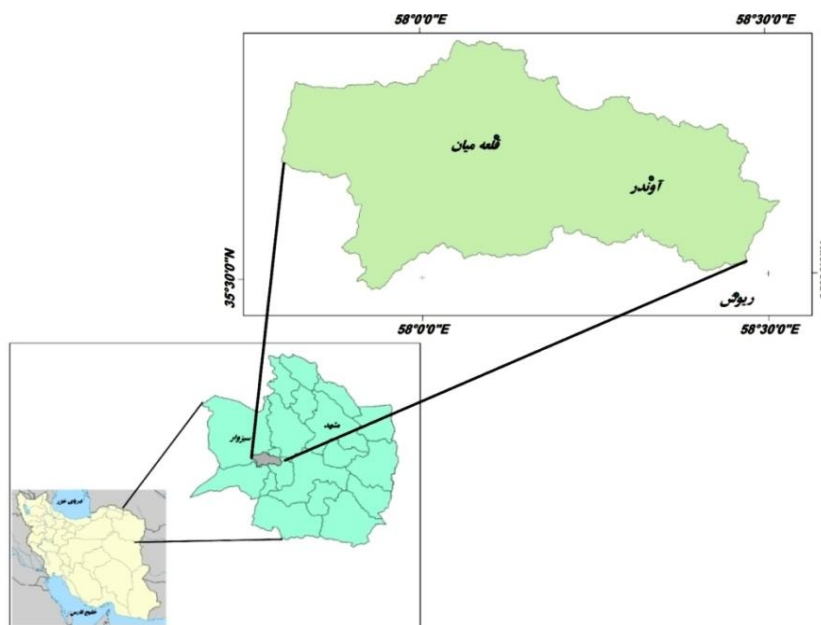
کم تا متوسط و ضرایب بالای رواناب از ویژگی‌های بارز این بدلندها بوده و میزان رسوبدهی بدلندها حداکثر برابر با  $8/84$  گرم در لیتر است (Matinez-Murillo و همکاران، ۲۰۱۳). بررسی‌های Shahrivar و همکاران (۲۰۱۲) موید آن است که افزایش مقادیر EC و SAR اراضی بدلندی، موجب تشدید فرسایش و گسترش بدلندها می‌شود. تحقیقات Moreno-de las Heras و Galart (۲۰۱۶) نشان داد که لیتولوژی‌های مارنی و سنگ‌های رسی به دلیل فرسایش‌پذیری بالایی که دارند، مکان گسترش بخش اعظم بدلندها در شمال شرقی اسپانیا می‌باشند.

جنس سازندهای موجود در منطقه، یکی از عوامل موثر در رسوب‌زایی حوزه‌های آبخیز است. به طوری که سازندهای حساس به فرسایش در مقایسه با سازندهای سخت و محکم دارای پتانسیل رسوبدهی بیشتری هستند (Feiznia, ۱۹۹۵). تغییر عوامل محیطی مانند اقلیم، لرزه‌خیزی و پوشش گیاهی در مقیاس حوزه‌های آبخیز کوچک عموماً کم و ثابت است و این در صورتی است که خصوصیات سنگ‌شناسی ذاتی مواد، می‌تواند حتی در حوضه‌های کوچک نیز متغیر باشد (Feiznia و Khosheghbal, ۲۰۰۳). Feiznia و همکاران (۲۰۰۸)، با انجام تحقیقی بر روی رسوب‌زایی سازندهای زمین‌شناسی در حوزه آبخیز گرگان به این نتیجه رسیدند که میزان فرسایش ویژه واحدهای کاری مورد بررسی از یک تا بیش از  $500$  تن در کیلومتر مربع در سال متغیر است که این موضوع عمدتاً با حساسیت سازندها نسبت به فرسایش و همچنین، نوع کاربری مرتبط است. Hassanzadeh Nofouti و همکاران (۲۰۰۸)، با بررسی تاثیر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مارن‌ها بر رسوبدهی آن‌ها نتیجه گرفتند که میزان SAR، EC و K نقش به سزایی در فرسایش‌پذیری مارن‌ها دارند. Hosseini و همکاران (۲۰۰۹)، با بررسی فرسایش‌پذیری نهشته‌های ریزدانه نئوژن نتیجه گرفتند که متغیرهای شیمیایی مانند SAR و pH از عوامل موثر در میزان تولید تلفات خاک می‌باشند. بررسی‌های Sheykh Rabiee و همکاران (۲۰۱۱)، نشان داد که ضریب رواناب و میزان تولید تلفات خاک در ماسه‌سنگ، آهک و دلومیت، شیل و آبرفت به ترتیب بیشترین تا کمترین میزان را دارند.

تعیین میزان تلفات خاک هر واحد کاری، از یک دستگاه شبیه‌ساز باران قابل حمل، ساخت پژوهشگرده حفاظت خاک و آبخیزداری استفاده شد (شکل ۲). این دستگاه دارای پلاتی به ابعاد  $۱۲۰ \times ۸۴$  سانتی‌متری است. دستگاه شبیه‌ساز باران از یک تشتک به ابعاد  $۱ \times ۱$  متر تشکیل شده است. جنس تشتک از نوع Plexiglass با ضخامت هشت میلی‌متر در کف و بدنه می‌باشد. فاصله روزنه‌ها در امتداد طول و عرض شبیه‌ساز باران هشت 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 هشت میلی‌متر است، لذا می‌توان شبیه‌ساز باران را از نوع لوله‌های باریک در نظر گرفت به طوری که قطر لوله  $۰/۶۶$  میلی‌متر و طول آن هشت 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 این‌که بارش قطرات به صورت یکنواخت بر روی سطح زمین انجام شود، از یک دستگاه موتور الکتریکی برای حرکت دادن افقی تشتک شبیه‌ساز باران استفاده شده است.

تهیه نقشه واحدهای کاری: برای انجام این تحقیق، نقشه‌های مورد نیاز، شامل نقشه زمین‌شناسی، شیب، کاربری اراضی و رخساره‌های فرسایشی با استفاده از نرم‌افزار ArcGis تهیه شد. برای تهیه نقشه لیتولوژی‌های حساس به فرسایش که شامل نه واحد لیتولوژیکی فرسایش‌پذیر می‌باشد از نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ کاشمر (Eftekharnajhad و Behruzi, ۱۹۷۶)، تصاویر ماهواره‌ای و پیمایش‌های صحرایی استفاده شد. نقشه رخساره‌های فرسایشی حوضه شامل سه رخساره سطحی-شیاری، شیاری و شیاری-آبراهه‌ای است. قابل ذکر است که در هفت واحد لیتولوژیکی فقط یکی از انواع رخساره‌های فرسایشی قالب بود و فقط در دو واحد لیتولوژیکی و در هریک دو رخساره فرسایشی از گسترش قابل توجه برخوردار بود. لذا به این ترتیب در شیب ثابت (۲۰ درصد) و در کاربری اراضی قالب منطقه (کاربری مرتعی)، ۱۱ واحد کاری تعیین شد. در نهایت با استفاده از نرم‌افزار ArcGis، نقشه‌های سنگ‌شناسی، شیب، کاربری اراضی و رخساره‌های فرسایشی با یکدیگر تلفیق و نقشه واحدهای کاری برای حوضه تهیه شد (جدول ۱).

انجام بررسی‌های میدانی و آزمایشگاهی: برای



شکل ۱- موقعیت حوضه مورد بررسی

روش والکلی-بلک (Duiker 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 (Page, ۱۹۹۲) اندازه‌گیری شد.

**تحلیل آماری اطلاعات:** مقایسه داده‌ها و تجزیه و تحلیل اطلاعات اندازه‌گیری شده، با استفاده از نرم‌افزار SPSS 22 صورت گرفت. ابتدا، نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگراف-اسمیرنوف در سطح پنج درصد مورد آزمون قرار گرفت. در تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها در سطح پنج 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 (Mahdian و Vahabi، 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 به‌عنوان متغیر وابسته و پارامترهای فیزیکی و شیمیایی خاک (شامل مقاومت مکانیکی خاک سطحی، درصد ماسه، سیلت، رس، میزان هدایت الکتریکی، اسیدیته، درصد کربنات کلسیم، درصد ماده آلی، وزن مخصوص ظاهری خاک، درصد سنگریزه سطحی و پوشش گیاهی، درصد رطوبت اولیه خاک و نسبت جذب سدیم) به‌عنوان متغیر مستقل در نظر گرفته شد و نهایتاً بهترین مدل تعیین شد.

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 (N.R.A.R.K.، ۲۰۱۰)، لذا، در این بررسی در هر یک از ۱۱ واحد کاری، در شدت ۳۶ میلی‌متر در ساعت به مدت ۳۰ دقیقه و سه بار آزمایش با شبیه‌ساز باران در محل انجام شد. نهایتاً ۳۳ نمونه رسوب و رواناب به آزمایشگاه منتقل و پس از تعیین حجم رواناب و وزن رسوب، میزان رسوبدهی در هر آزمایش تعیین شد (Canton و همکاران، ۲۰۰۱).

درصد پوشش گیاهی و خرده‌سنگ موجود در سطح هر پلات تعیین شد. در هر واحد کاری، مقاومت خاک سطحی با استفاده از یک دستگاه مقاومت‌سنج قابل حمل در ۱۰ نقطه اندازه‌گیری شد (Pardini و همکاران، ۱۹۹۶). مقاومت‌سنج مورد استفاده ساخت کشور هلند می‌باشد که توان اندازه‌گیری مقاومت پنج میلی‌متر از سطح خاک را دارد. از خاک مجاور هر آزمایش، از عمق صفر تا ۱۵ سانتی‌متر نمونه خاک برداشته شد. درصد 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 درجه خشک شد. از میزان تفاوت بین وزن خاک اولیه با وزن خاک خشک، درصد رطوبت اولیه خاک محاسبه شد. از نمونه‌ها گل اشباع تهیه شد. سپس خصوصیات شیمیایی آن‌ها شامل اسیدیته، هدایت الکتریکی، کربن آلی طبق



شکل ۲- تصویری از دستگاه شبیه‌ساز باران مورد استفاده بر روی لیتولوژی مارنی از سازند مارن قرمز ائوسن (Eom) در حوضه مورد بررسی

## نتایج و بحث

بررسی‌های زمین‌شناسی منطقه نشان داد که لیتولوژی‌های مارنی و کنگلومرای، واحدهای زمین‌شناسی حساس به فرسایش می‌باشند. در منطقه نه واحد مارنی و کنگلومرای فرسایش‌پذیر با وسعت و مناطق پراکنش متفاوت، وجود دارد (شکل ۳) که در ادامه مورد بحث قرار گرفته است.

**کنگلومرای نئوژن (PLC):** این واحد، جدیدترین واحد سنگی منطقه است که عمدتاً در قسمت‌های غرب تا شمال غرب حوضه بر روی لیتولوژی‌های قدیمی‌تر واقع شده و به صورت تپه‌ماهورهای کم ارتفاعی در سطح حوضه گسترش زیادی دارد.

**مارن ژپس‌دار (Eoe):** این واحد از مارن‌های ژپس‌دار تشکیل شده و به صورت مورفولوژی تپه‌ماهوری در شمال شرق حوضه گسترش دارد.

**مارن قرمز (Eom):** مارن‌های قرمز، تپه‌ماهورهای کم ارتفاعی را در شرق حوضه به خود اختصاص داده است. **کنگلومرا و مارن قرمز (Eoc):** این واحد از کنگلومرا و مارن قرمز تشکیل شده و به دلیل فرسایش‌پذیری کمتر، بخش اعظم ارتفاعات شمال و شرق حوضه را

شکل داده است.

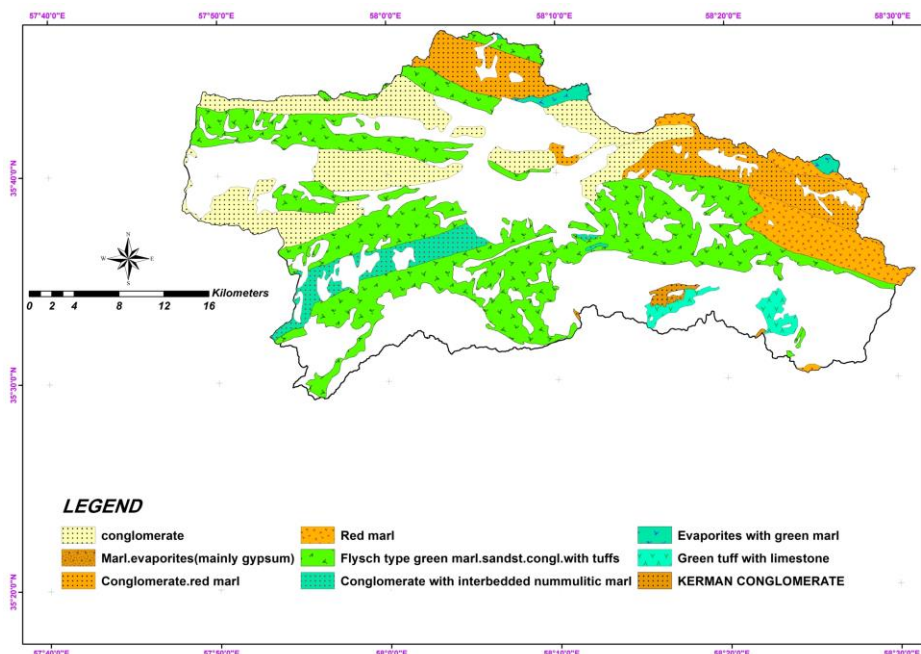
**سنگ‌های تیپ فلیش (Eft):** واحد فلیش با رنگ خاکستری روشن، به صورت تپه‌ماهورهای کم ارتفاع در اغلب قسمت‌های حوضه پراکنش دارد. تیپ فلیش از مارن، ماسه‌سنگ، کنگلومرا و توف سبز رنگ تشکیل شده است.

**کنگلومرا با میان لایه‌های مارن (Ecm):** در قسمت‌های جنوب غرب حوضه، این واحد به صورت تپه‌های پستی دیده می‌شود که در امتداد شمال شرق-جنوب غرب گسترش یافته است.

**سنگ‌های تبخیری با مارن سبز (Eem):** این واحد از سنگ‌های تبخیری و به‌ویژه گچ و مارن‌های سبز رنگ تشکیل شده و از گسترش اندکی در قسمت‌های شمالی حوضه برخوردار است.

**مارن سبز (Et):** مارن‌های سبز با میان لایه‌هایی از آهک در جنوب غرب منطقه گسترش نسبتاً کمی داشته و به صورت تپه‌های مرتفع دیده می‌شوند.

**کنگلومرای کرمان (Pkg):** واحد کنگلومرای کرمان، در جنوب حوضه به صورت تپه مرتفعی و با گسترش شمال شرق-جنوب غرب دیده می‌شود.



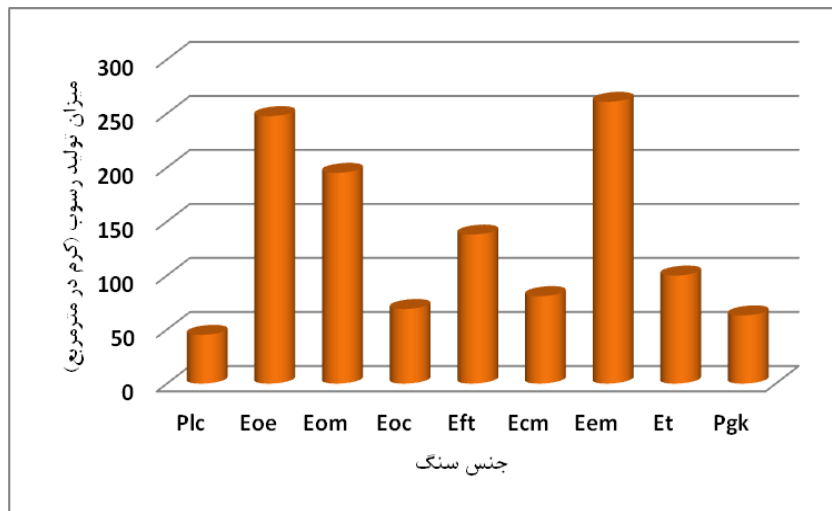
شکل ۳- نقشه پراکنش واحدهای مارنی و کنگلومرای در حوضه مورد بررسی

مارنی بیشترین میزان فرسایش و رسوبدهی را داشته و نهشته‌های کنگلومرای کمترین میزان فرسایش و

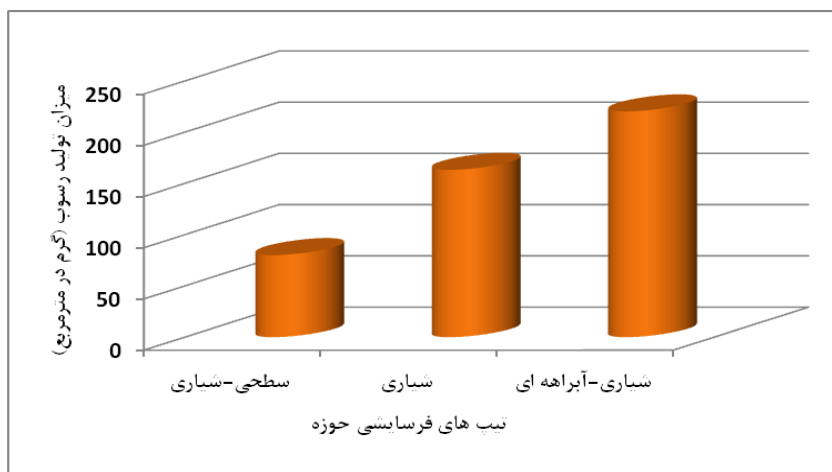
بررسی‌ها نشان داد که در مقایسه بین لیتولوژی‌های حساس به فرسایش، لیتولوژی‌های

میانگین رسوبدهی ۲۲۰ و ۸۰ گرم در متر مربع، بیشترین و کمترین فرسایش و رسوبدهی را در واحد سطح نشان می‌دهند (شکل ۵).

تولید رسوب را دارند و واحدهای متشکل از مارن و کنگلومرا حالت حدواسط را نشان می‌دهند (شکل ۴). در مقایسه بین رخساره‌های فرسایشی نیز رخساره شیاری-آبراهه‌ای و سطحی-شیاری به ترتیب با



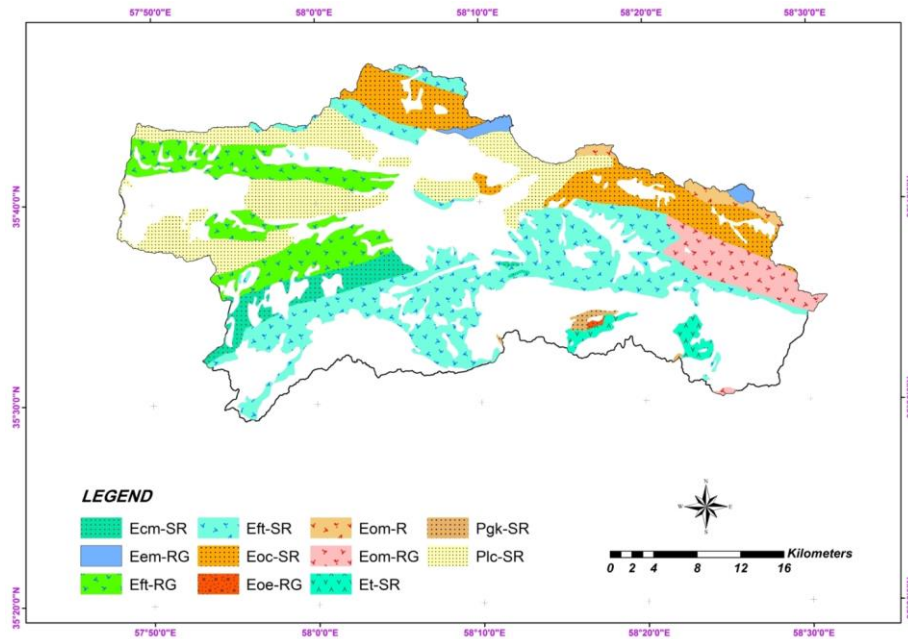
شکل ۴- نمودار مقایسه میانگین تولید رسوب در سنگ‌های مختلف حوزه



شکل ۵- نمودار مقایسه میانگین رسوب تولیدی در تیپ‌های مختلف فرسایشی حوزه

تولید تلفات خاک در واحد کاری Plc-SR، به میزان ۴۵/۱۳ گرم در متر مربع، با جنس کنگلومرا 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 شبیه‌ساز باران، میزان تولید تلفات خاک در حوزه مورد بررسی در نتیجه یک بارش به شدت ۳۶ میلی‌متر در ساعت در طی ۳۰ دقیقه، از سطح لیتولوژی‌های فرسایش‌پذیر حدود ۷۳۹۸۷ تن برآورد می‌شود.

در شکل ۶، واحدهای کاری مورد بررسی و در جدول ۱ میانگین نتایج مربوط به آزمایشات انجام شده با استفاده از دستگاه شبیه‌ساز باران بر روی این واحدها، ارائه شده است. در جدول ۲ نیز میانگین برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک واحدهای کاری مورد بررسی ارائه شده است. همان‌طور که جدول ۱ نشان می‌دهد، بیشترین میزان تولید تلفات خاک در واحد کاری Eem-RG (مارن‌های حاوی املاح فراوان واجد فرسایش شیاری-آبراهه‌ای)، به میزان ۲۶۰/۸۹ گرم در متر مربع و کمترین میزان



شکل ۶- نقشه واحدهای کاری مورد بررسی

جدول ۱- مشخصات واحدهای کاری مورد بررسی و میزان رسوبدهی این واحدها با استفاده از دستگاه شبیه ساز باران

وزن رسوب (تن)	رسوب (گرم در متر مربع)	مساحت (درصد)	مساحت (کیلومتر مربع)	واحد کاری	فرسایش غالب	نوع سنگ مادر
۷۱۱۱/۱۲	۴۵/۱۳	۲۲/۶۱	۱۵۷/۵۷	Plc-SR	سطحی-شیاری	کنگلومرای نئوژن
۲۰۸/۳۴	۲۴۷/۶۳	۰/۱۲	۰/۸۴	Eoe-RG	شیاری-آبراهه‌ای	مارن ژیبس‌دار
۱۹۴۷/۴۹	۱۶۳/۳۰	۱/۷۱	۱۱/۹۳	Eom-R	شیاری	مارن قرمز
۱۰۶۹۹/۵۵	۲۲۶/۹۹	۶/۷۶	۴۷/۱۴	Eom-RG	شیاری-آبراهه‌ای	مارن قرمز
۶۵۶۵/۱۳	۶۹/۰۸	۱۳/۶۴	۹۵/۰۴	Eoc-SR	سطحی-شیاری	کنگلومرای و مارن قرمز
۲۳۴۷۵/۹۸	۱۰۵/۰۴	۳۲/۰۷	۲۲۳/۵۰	Eft-SR	سطحی-شیاری	سنگ‌های تپ فلیش
۱۷۴۳۷/۲۱	۱۷۰/۹۴	۱۴/۶۴	۱۰۲/۰۱	Eft-RG	شیاری-آبراهه‌ای	سنگ‌های تپ فلیش
۲۶۰۱/۹۴	۸۱/۰۲	۴/۶۱	۳۲/۱۱	Ecm-SR	سطحی-شیاری	کنگلومرای با میان لایه مارن
۲۲۷۸/۲۰	۲۶۰/۸۹	۱/۲۵	۸/۷۳	Eem-RG	شیاری-آبراهه‌ای	سنگ‌های تبخیری با مارن سبز
۱۴۰۸/۵۲	۱۰۰/۰۴	۲/۰۲	۱۴/۰۸	Et-SR	سطحی-شیاری	مارن سبز
۲۵۴/۰۷	۶۳/۱۷	۰/۵۸	۴/۰۲	Pgk-SR	سطحی-شیاری	کنگلومرای کرمان
وزن کل تلفات خاک تولید شده در حوضه (تن) از واحدهای حساس به فرسایش (در نتیجه یک بار بارش با شدت ۳۶ میلی متر در ساعت و به مدت ۳۰ دقیقه در سطح حوضه)						
۷۳۹۸۷/۵۵						

فرسایش افزایش داده است. در این رابطه Richter و Negendank (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 انتقال) معمولاً با سهولت بیشتر صورت می‌گیرد، لذا می‌توان نتیجه گرفت خاک‌های مارنی که دارای درصد بالای سیلت هستند، به دلیل چسبندگی اندک ذرات

تفاوت در بافت خاک واحدهای کاری، از دلایل مهم وجود تفاوت در میزان فرسایش و رسوبدهی آنها است. تحلیل فیزیکی خاک واحدهای کاری نشان داد که واحدهای مارنی عمدتاً دارای بافت سیلتی لوم تا لومی و واحدهای کنگلومرایی دارای بافت لومی می‌باشند (جدول ۳). بالاتر بودن درصد سیلت و کمتر بودن درصد ماسه در واحدهای مارنی در مقایسه با واحدهای کنگلومرایی، حساسیت آنها را نسبت به



انتقال بوده و ذرات ریز رس به علت چسبندگی بین ذرات، نسبت به جدا شدن مقاوم می‌باشند. این نتیجه‌گیری، مورد تایید محققین دیگر مانند Canga (۱۹۹۹) و Abdinejhad (۲۰۱۴) نیز می‌باشد.

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 حالی که ذرات ماسه به دلیل اندازه بزرگ‌تر، مقاوم به

جدول ۲- میانگین برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک واحدهای کاری مورد بررسی

واحد کاری	اسیدیته	شوری (دسی زمینس بر متر)	نسبت جذب سدیم	رطوبت اولیه خاک (درصد)	آهک فعال (درصد)	ماده آلی (درصد)	وزن مخصوص (گرم بر سانتی‌متر مکعب)	مقاومت خاک سطحی (کیلوگرم بر سانتی‌متر مکعب)	پوشش گیاهی (درصد)	خرده‌سنگ (درصد)
Plc-SR	۷/۸۷	۱/۴۲	۴/۰۵	۶/۳۴	۲۰/۱۶	۰/۳۶	۱/۳۶	۳/۱۶	۱۳/۳	۲۶/۷۰
Eoe-RG	۷/۹۷	۲/۵۹	۷/۱۰	۷/۹۵	۱۴/۰۰	۰/۱۰	۱/۳۲	۰/۶۷	۰/۷	۸/۳۰
Eom-R	۷/۸۷	۱/۲۳	۲/۵۴	۹/۵۸	۱۷/۸۰	۰/۲۰	۱/۲۶	۱/۰۷	۴/۳	۱۱/۰۰
Eom-RG	۸/۰۳	۲/۴۹	۶/۰۰	۵/۹۴	۱۴/۵۰	۰/۰۸	۱/۳۰	۰/۷۹	۱/۳	۵/۷۱
Eoc- SR	۷/۷۳	۱/۲۴	۲/۸۲	۵/۵۸	۱۸/۸۳	۰/۱۹	۱/۳۵	۲/۵۶	۱۱/۰	۲۰/۷۰
Eft- SR	۷/۷۷	۰/۸۹	۲/۰۵	۵/۲۴	۱۹/۱۰	۰/۳۲	۱/۲۸	۱/۳۰	۵/۷	۲۰/۶۰
Eft-RG	۸/۰۰	۲/۲۰	۳/۲۶	۶/۵۱	۱۶/۴۰	۰/۲۱	۱/۳۴	۱/۱۸	۴/۴	۱۳/۳۰
Ecm- SR	۷/۸۳	۰/۸۳	۱/۸۴	۵/۵۷	۱۸/۳۰	۰/۲۴	۱/۳۷	۲/۱۵	۱۰/۶	۱۷/۳۰
Eem-RG	۸/۰۷	۷/۷۷	۱۲/۷۰	۷/۰۰	۱۳/۲۰	۰/۱۲	۱/۳۱	۰/۶۲	۰/۷	۶/۰۰
Et-SR	۷/۹۷	۲/۱۹	۴/۴۶	۵/۹۷	۱۸/۴۳	۰/۰۹	۱/۳۵	۱/۶۳	۵/۳	۱۴/۳۰
Pgk-SR	۷/۸۷	۱/۰۳	۲/۹۴	۶/۴۴	۱۵/۳۰	۰/۲۷	۱/۳۹	۳/۰۴	۱۳	۲۴/۰۰

جدول ۳- طبقه‌بندی بافت واحدهای مارنی و کنگلومرایی مورد بررسی

واحد کاری	درصد ماسه	درصد سیلت	درصد رس	بافت خاک
Plc-SR	۴۳	۴۰	۱۷	Loam
Eoe-RG	۳۲	۵۲	۱۶	Silty Loam
Eom-R	۳۸	۴۲	۲۰	Loam
Eom-RG	۳۱	۴۷	۲۲	Loam
Eoc- SR	۴۴	۳۸	۱۸	Loam
Eft- SR	۴۳	۳۹	۱۸	Loam
Eft-RG	۳۳	۴۴	۲۳	Loam
Ecm- SR	۴۵	۳۷	۱۸	Loam
Eem-RG	۲۸	۵۴	۱۸	Silty Loam
Et-SR	۳۰	۴۴	۲۶	Clay Loam
Pgk-SR	۴۱	۴۰	۱۹	Loam

مختلف لیتولوژی‌ها با هم از نظر آماری تفاوت معنی‌دار دارند ( $P < 0.01$ ).

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،

نتایج تحلیل واریانس مربوط به بررسی تاثیر نوع واحد کاری بر میزان فرسایش و تولید رسوب با استفاده از روش آزمون F (جدول ۴) نشان می‌دهد که نوع واحد کاری بر میزان رسوبدهی تاثیرگذار بوده است و به عبارت دیگر، میانگین رسوبدهی در انواع

درصد سنگریزه و پوشش گیاهی موجود در سطح خاک به طور معکوس و درصد سیلت به طور مستقیم به ترتیب بیشترین تاثیر در تغییرات میزان رسوبدهی واحدهای کاری را دارند.

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	نسبت F	P
ضریب ثابت	۶۴۰۵۳۷/۶۳۲	۱۰	۶۴۰۵۳۷/۶۳۲	۶۴۶/۶۱۷	<۰/۰۰۰۱**
نوع واحد کاری	۱۸۴۰۳۴/۳۲۰	۱۰	۱۸۴۰۳۴/۳۲۰	۱۸/۵۷۸	<۰/۰۰۰۱**
خطا	۲۱۷۹۳/۱۷۴	۲۲			
کل	۸۴۶۳۶۵/۱۲۶	۳۳			

\*\* معنی دار در سطح یک درصد

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

ضریب بتای استاندارد	خطای استاندارد برآورد	مجذور R	مدل
۰/۳۹۲*			
۰/۴۰۳**	۲۳/۲۱	۰/۹۱	$Sediment Yield = 103.33 - 6.34(Grasscover) - 4.22(Rock Fragment) + 3.24(Silt)$
۰/۲۴۸***			

\*، \*\* و \*\*\* به ترتیب ضریب بتای استاندارد برای (Grasscover)، (Rock Fragment) و (Silt) می باشد.

Lee و Skogerboe (۱۹۸۵)، Cerda (۱۹۹۹)، Regues و همکاران (۲۰۰۰)، Canton و همکاران (۲۰۰۱)، Mathys و همکاران (۲۰۰۳)، Fernandez و Vega (۲۰۰۶) و Vahabi و Nikkami (۲۰۰۸)، هم خوانی دارد. میزان ماده آلی موجود در خاک از عوامل دیگری است که با رسوبدهی همبستگی منفی اما پایینی را نشان داد. همبستگی منفی فرسایش پذیری با ماده آلی، به وسیله محققین مختلف و از جمله Martz (۱۹۹۲)، Duiker و همکاران (۲۰۰۱) و Fernandez و Vega (۲۰۰۶)، تایید شده است. افزایش ماده آلی در خاک مانع از فروپاشی خاکدانه‌ها می شود، به طوری که در یک خاک معین با افزایش قابل توجه مواد آلی، نرخ فروپاشی خاکدانه‌ها می تواند تا به یک سوم کاهش یابد (Ekwe, ۱۹۹۱).

در این بررسی، میزان کربنات کلسیم فعال با رسوبدهی لیتولوژی‌های فرسایش پذیر دارای همبستگی منفی پایینی است (جدول ۶) که می توان نتیجه گرفت با افزایش مقدار کربنات کلسیم فعال خاک، پایداری خاک افزایش یافته و از شدت فرسایش

نتایج مربوط به استفاده از روش بررسی همبستگی پیروسون به منظور شناخت ارتباط بین خصوصیات فیزیکی شیمیایی خاک با میزان رسوبدهی واحدهای کاری، در جدول ۶ ارائه شده است. همان گونه که این جدول نشان می دهد، رسوبدهی لیتولوژی‌های حساس به فرسایش با درصد سیلت، همبستگی مثبت و قابل ملاحظه نشان دارند. Richter و Negendank (۱۹۷۷)، Rienks و همکاران (۲۰۰۰)، Duiker و همکاران (۲۰۰۱)، Nikolaus و همکاران (۲۰۰۴)، De Santis و همکاران (۲۰۱۰) و Pulice و همکاران (۲۰۱۲)، نیز در مطالعات خود به درصد بالای سیلت به عنوان عامل مهم در فرسایش خاک اشاره کرده اند. ضمناً درصد بالای ماسه در خاک و درصد سنگریزه در سطح خاک ارتباط معکوس با میزان تولید رسوب دارد که از این نظر با بررسی‌های Merzouk و Blake (۱۹۹۱) و Wang و همکاران (۲۰۱۲)، مطابقت دارد. پوشش گیاهی موجود بر روی لیتولوژی‌های فرسایش پذیر، همبستگی منفی و بالایی را با تولید رسوب نشان داد. نتیجه این بررسی با نتایج بررسی‌های محققینی مانند

هدررفت خاک اشاره کرده‌اند. تاثیر مثبت رطوبت اولیه خاک در میزان هدر رفت خاک به این دلیل است که با افزایش میزان رطوبت قبلی خاک، حجم رواناب افزایش یافته و هدررفت خاک افزایش می‌یابد.

میزان رسوب تولیدی با شوری، نسبت جذب سدیم و اسیدیته خاک همبستگی مثبت نشان داد که با تحقیقات انجام شده به وسیله De Santis و همکاران (۲۰۱۰) مطابقت دارد. در این مورد، Merzouk و Blake (۱۹۹۱) و Rienks و همکاران (۲۰۰۰)، نیز نتیجه گرفتند، رسوب تولیدی با شوری خاک همبستگی مثبت دارد. نسبت بالای جذب سدیم در مارن‌ها می‌تواند مهمترین شاخص پراکندگی خاک‌های مارنی باشد. Hassanzade Nofouti و همکاران (۲۰۰۸)، نیز در تحقیقات خود بر روی مارن‌های ایوانکی نتیجه گرفتند که برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مارن‌ها مانند میزان شوری و نسبت جذب سدیم از عوامل اصلی فرسایش‌پذیری مارن‌ها به شمار می‌روند.

و رسوبدهی خاک کاسته می‌شود. بررسی‌های Bouma و Imeson (۱۹۹۹)، تاییدی بر این نتایج است. مقاومت خاک سطحی نیز با رسوبدهی لیتولوژی‌های مورد بررسی، همبستگی منفی نشان داد. این نتیجه‌گیری با نتایج Nearing و Bradford (۱۹۸۵)، Brunori و همکاران (۱۹۸۹)، Barthes و Roos (۲۰۰۲) و Nadal-Romero و همکاران (۲۰۰۷) مطابقت و با نتایج Schjonning (۱۹۹۴)، مبنی بر عدم وجود رابطه بین مقاومت خاک با هدررفت خاک مغایرت دارد. Schjonning (۱۹۹۴)، علت نبود ارتباط را به دلیل شرایط اندازه‌گیری گزارش کرده است.

میزان رطوبت اولیه خاک نیز از عوامل دیگری است که در این بررسی با میزان فرسایش و رسوبدهی خاک همبستگی مثبت اما پایینی را نشان داد (جدول ۶). Fernandez و Vega (۲۰۰۶)، Jordan و همکاران (۲۰۰۸)، Vahabi و Nikkami (۲۰۰۸)، Defersha و Melesse (۲۰۱۲) و Martinez-Murillo و همکاران (۲۰۱۳) به همبستگی مثبت رطوبت اولیه خاک با

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 خرده‌سنگ	پوشش گیاهی	رطوبت اولیه خاک	کربن آلی	آهک شوری	نسبت جذب سدیم	اسیدیته
رسوبدهی	** ۰/۱۸۸۵	** ۰/۷۰۷	** ۰/۰۰۱۰/۷۷۴	** ۰/۸۹۵	** ۰/۹۰۹	* ۰/۴۳۷	* ۰/۴۳۹	* ۰/۴۴۱

\* و \*\* به ترتیب همبستگی در سطح احتمال پنج و یک درصد

در سطح پنج درصد مشاهده نمی‌شود، اما با سایر واحدهای کاری اختلاف معنی‌داری وجود دارد. واحد کاری Plc-SR که دارای کمترین مقدار تولید رسوب است با واحدهای کاری Ecm-SR، Eft-SR، Eoc-Sr، Et-SR و Pkg-Sr از نظر رسوبدهی اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد ندارد، اما با سایر واحدهای کاری، اختلاف معنی‌دار نشان می‌دهد.

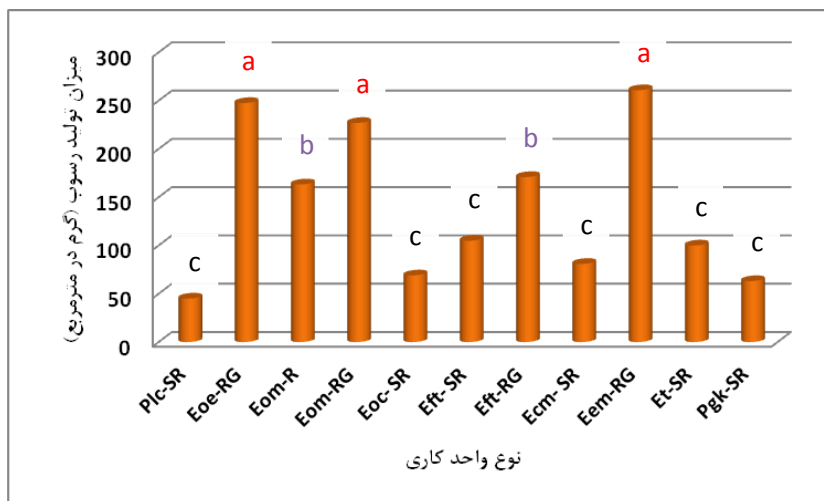
با توجه به نتیجه تحلیل تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها به روش دانکن که نشان داد، واحدهای کاری با توجه به میزان رسوبدهی، در سه گروه قرار می‌گیرند، می‌توان نتیجه گرفت که این سه گروه از نظر میزان فرسایش و رسوبدهی با یکدیگر تفاوت معنی‌دار دارند که متاثر از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی ذاتی نوع سنگ مادری می‌باشد. Bryan و

تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها در سطح پنج 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 سه گروه قرار می‌گیرند (شکل ۷). واحد کاری Eem-RG با میانگین رسوبدهی ۲۶۰/۸۹ گرم در متر مربع دارای بیشترین میزان رسوبدهی بوده و در گروه a قرار گرفته و واحد کاری Plc-SR با میانگین رسوبدهی ۴۵/۱۳ گرم در متر مربع با کمترین میزان رسوبدهی، در گروه c واقع شده است. سایر موارد به شرح زیر است:

بین واحد کاری Eem-RG که بیشترین مقدار رسوبدهی را نشان می‌دهد با واحدهای کاری Eoe-RG و Eom-RG، از نظر تولید رسوب اختلاف معنی‌داری

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 بر عهده دارد.

Campbell (۱۹۸۰)، Nadal-Romero و همکاران و Moreno-des Heras و Gallart (۲۰۱۶) نیز در تحقیقات خود نتیجه گرفتند، لیتولوژی‌های دانه‌ریز و یا سخت نشده از قبیل مارن‌ها، رس‌سنگ‌ها و برخی از شیل‌ها، به‌دلیل فرسایش و رسوبدهی زیاد، مکان گسترش بدلندها می‌باشند. در این رابطه Haregeweyn و همکاران (۲۰۰۳)، تغییرپذیری تلفات



شکل ۷- نتایج مقایسه میانگین رسوبدهی واحدهای کاری با استفاده از آزمون دانکن

می‌باشند. در نتیجه، رسوبدهی خاک‌های مارنی در مقایسه با خاک‌های با منشاء کنگلومرایی، به مراتب بیشتر است.

نتایج تحلیلی که با استفاده از روش همبستگی پیرسون و رگرسیون چند متغیره انجام شد، نشان داد که درصد سیلت، رطوبت اولیه خاک، شوری، اسیدیته و نسبت جذب سدیم خاک با میزان فرسایش و رسوبدهی خاک دارای همبستگی مثبت و عوامل 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 منفی نشان می‌دهند.

تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها به روش دانکن نیز نشان داد که واحدهای کاری با توجه به میزان رسوبدهی، در سه گروه قرار می‌گیرند، به‌طوری که واحدهای مارنی بیشترین میزان تولید رسوب را داشته و واحدهای کنگلومرایی کمترین میزان فرسایش و رسوب را دارا هستند. بر این اساس،

### نتیجه‌گیری

این بررسی نشان داد که واحدهای زمین‌شناسی مارنی و کنگلومرایی فرسایش‌پذیر، حدود ۶۹۷ کیلومتر مربع، معادل ۵۶/۶ درصد از مساحت حوزه آبخیز سد سنگرد سبزوار را تشکیل 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 مارنی عمدتاً دارای بافت سیلتی لوم تا لوم بوده و در مقایسه با واحدهای کنگلومرایی که دارای بافت لومی می‌باشند، در اجزای بافت خود دارای درصد بیشتری سیلت و مقدار کمتری ماسه هستند.

به‌دلیل چسبندگی اندک ذرات سیلت، خاکدانه‌های خاک‌های مارنی در اثر مرطوب شدن به سهولت شکسته شده و ذرات سیلت جدا و منتقل می‌شود. در حالی که ذرات ماسه به‌دلیل اندازه بزرگ‌تر، مقاوم به انتقال بوده و ذرات ریز رس به‌علت چسبندگی بین ذرات، نسبت به جدا شدن مقاوم

می‌توان نتیجه گرفت که این سه گروه از نظر میزان فرسایش و رسوبدهی با یکدیگر تفاوت معنی‌دار دارند که متاثر از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی ذاتی نوع سنگ مادری می‌باشد.

#### منابع مورد استفاده

1. Abdinejhad, P., S. Feiznia 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).
2. Abu-zeid, M.A. and F.Z. El-Shibini. 1997. Egypt's High Aswan Dam. *Water Resources Development*, 13(2): 209-217.
3. 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.
4. 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.
5. 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.
6. 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.
7. Brunori, F., M.C. Penzo and F. Torri. 1989. Soil shear strength: its measurement and soil detachability. *Catena*, 16: 59-71.
8. Bryan, R.B. and I.A. Campbell Edmonton. 1980. Sediment entrainment and transport during local rainstorms in the Steveville badlands, Alberta. *Catena*, 7: 51-65.
9. Calvo-Cases, A., C. Boix-Fayos and A.C. Imeson. 2003. Runoff generation, sediment movement and soil water behaviour on calcareous (limestone) slopes of some Mediterranean environments in southeast Spain. *Geomorphology*, 50: 269-291.
10. Canga, M. 1999. Effect of subsequent simulated rainfall on runoff and erosion. *Agriculture Forestry*, 23: 659-665.
11. Canton, Y., F. Domingo, A.S. Benet and J. Puigdefabregas. 2001. Hydrological and erosion response of a badland system in semiarid SE Spain. *Journal of Hydrology*, 252: 65-84.
12. Cerda, A. 1999. Parent material and vegetation affect soil erosion in eastern Spain. *Soil Science Society of America Journal*, 63: 362-368.
13. 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.
14. 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.
15. 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.
16. Eftekharnajhad, J.A. and A. Behruzi. 1976. 1:250000 geological map of Kashmar. Geological Survey and Mineral Exploration of Iran, ناشر؟
17. Ekwe, E.I. 1991. The effects of soil organic matter content, rainfall duration and aggregate size on soil detachment. *Soil Technology*, 4: 197-207.
18. 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 Engineer*, 102: 236-243.
19. Feiznia, S. 1995. Rock strength to erosion in various climates of Iran. *Natural Resources Journal of Iran*, 47: 95-116 (in Persian).
20. Feiznia, S. and M. Khosheghbal. 2003. Investigating sensivity to erosion and sediment yield of formations in Latyan Drainage Basin. *Iranian Journal of Natural Resources*, 56(4): 356-381 (in Persian).
21. Feiznia, S., J. Dastorani, H. Ahmadi and J. Ghoddousi. 2008. Investigating sensivity to erosion and sediment yield of formations in Gorgan Drainage Basin. *Journal of the Iranian Natural Resources*, 61: 13-27 (in Persian).
22. Fernandez, C. and J. Vega. 2006. Runoff and soil erosion after rainfall simulations in burned soil. *Forest Ecology and Management*, 12: 375-387.
23. Gallart, F., N. Perez-Gallego, J. Latron, G. Catari, N. Martínez-Carreras and G. Nord. 2013. Short- and long-term studies of sediment dynamics in a small humid mountain Mediterranean basin with badlands. *Geomorphology*, 196: 242-251.
24. Garcia-Ruiz, J.M., E. Nadal-Romero, N. Lana-Renault and S. Begueria. 2013. Erosion in Mediterranean landscapes: changes and future challenges. *Geomorphology*, 198: 20-36.

25. Haregeweyn, N., J. Poesen, J. Nyssen, J. Verstraeten, G. Vente, G.S. Govers, S. Deckers and C.A. Igwe. 2003. Erodibility of soils of the upper rainforest zone, southeastern Nigeria. *Land Degradation and Development*, 14: 323-334.
26. Habibzadeh, A., M.R. Nikjoo and H.R. Peyrowan. 2013. Evaluation of runoff and sediment in the marl outcropping in East Azerbaijan. *Journal of Geography and Planning*, 43: 71-91 (in Persian).
27. Hassanzadeh Nofouti, M., S. Feiznia, H. Ahmadi, H.R. Peyrowan and J. Ghayoumian. 2008. Investigation on physico-chemical properties of marls on sediment yield using a rainfall simulator. *Journal of Iranian Association of Engineering Geology*, 37(5): 775-784 (in Persian).
28. 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.
29. Hosseini, S.H., S. Feiznia, H.R. Peyrowan 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).
30. 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. *Hydrology and Earth System Sciences*, 13: 2253-2264.
31. 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.
32. 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.
33. 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.
34. Martinez-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.
35. Mathys, N., S. Brochot, M. Meunier and D. Richards. 2003. Erosion quantification in small marly experimental catchments of Deaix (Alpes de Haute Province, France). Calibration of the ETC rainfall-runoff-erosion model. *Catena*, 50: 527- 548.
36. Merzouk, A. and G.R. Blake. 1991. Indices for the estimation of interrill erodibility of Moroccan soils. *Catena*, 18: 537-550.
37. Moreno-de las Heras, M. and F. Gallart. 2016. Lithology controls the regional distribution and morphological diversity. *Geomorphology*, 273: 107-115.
38. Natural Resources Administration of Razavi Khorasan (N.R.A.R.K.). 2010. Evaluation of performed Khoshroode-Kashmar Watershed Management, ناشر؟, 90 pages.
39. Nadal-Romero, E., D. Regues, C. Marti-Bono and P. Serrano-Mula. 2007. Badland dynamics in the central Pyrenees: temporal and spatial patterns of weathering processes. *Earth Surface Processes and Landforms*, 32: 888-904.
40. Nadal-Romero, E., J.F. Martinez-Murillo, M. Vanmaercke and J. Poesen. 2011. Scale-dependency of sediment yield from badland areas in Mediterranean environments. *Progress in Physical Geography*, 35: 297-332.
41. Nearing, M.A. and J.M. Bradford. 1985. Single waterdrop splash detachment and mechanical properties of soils. *Soil Science Society of America Journal*, 49: 547-552.
42. 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.
43. 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.
44. 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.
45. 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.
46. 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.
47. Rienks, S.M., G.A. Botha and J.C. Hughes. 2000. Some physical and chemical properties of sediments exposed in a gully (donga) in northern Kwazulu-natal, South Africa and their relationship to the erodibility of the colluvial layers. *Catena*, 39: 11-31.
48. Seeger, M. 2007. Uncertainty of factors determining runoff and erosion processes as quantified by rainfall simulations. *Catena*, 71: 56-67.

49. Shahriyar, A., C. Ten boon sung, S. Jusop, A. Abdul Rahim and M. Soufi. 2012. Roles of SAR and EC in gully erosion development (a case study of Kohgiloye and Boyerahmad Province, Iran). *Journal of Research in Agricultural Science*, 8(1): 1-12.
50. Sheykh Rabiee, M.R., S. Feiznia and H.R. Peyrowan. 2011. Study runoff and soil loss in map units of Hiv Watershed, measurements and comparison at the rainfall simulator scale. *Scientific Quaterly Journal, Geoscience*, 20(80): 57-63 (in Persian).
51. Vahabi, J. and M.H. Mahdian. 2008. Rainfall simulation for the study of the effects of efficient factors on runoff rate. *Current Science*, 95: 1439-1445.
52. Vahabi, J. and D. Nikkami. 2008. Assessing dominant factors affecting soil erosion using a portable rainfall simulator. *International Journal of Sediment Research*, 23: 376-386.
53. 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.

## Investigation on effects of lithology on soil erosion and sediment yield in Sangerd Drainage Basin

Ali Bagherian Kalat<sup>1</sup>, Gholamreza Lashkaripour<sup>\*2</sup>, Mohammad Ghafouri<sup>3</sup> and Aliakbar Abbasi<sup>4</sup>

<sup>1</sup> PhD Student, Ferdowsi University of Mashhad International Campus, Iran, <sup>2 and 3</sup> Professor, Faculty of Science, Ferdowsi University, Mashhad, Iran and <sup>4</sup> Associate Professor, Soil Conservation and Watershed Management Department, Agricultural and Natural Resources Research Center of Khorasan Razavi, AREEO, Mashhad, Iran

Received: 25 February 2017

Accepted: 06 August 2017

### Abstract

On areas with highly eroded soils, where vegetation is absent or negligible, runoff generation and erosion processes can greatly be affected by the nature of parent material. This research was carried out to investigate the effects of lithology and soil parent material on erosion and soil loss, using rainfall simulator in Sangerd Drainage Basin which is located in Khorasan Razavi Province. To do this research, 11 homogeneous soil units (map units) with the same slope (20%), land use (rangeland), different lithology (marls and conglomerate) and erosion facies (sheet-rill, rill and rill-gully) were selected. A rainfall simulator producing 36 mm h<sup>-1</sup> rainfall intensity and 30 minute duration was used at 33 locations over soil erosion plots. The amount of sediments was measured. In order to investigate factors affecting on soil erosion and sediment yield, soil was sampled from 0-15 cm depth of plot adjacent areas. For statistical analysis, SPSS 22 was used. Results showed that soil erosion and sediment yield have meaningful differences in different lithologies. Eem-RG and Plc-SR soil units with 260.9 and 45.1 gr m<sup>-2</sup> have the most and the least sediment yield, respectively. It was found that the sediment yield had positive correlation with some soil properties such as silt, Ec, pH, SAR and antecedent soil moisture and negative correlation with sand, OC, NPV, vegetation and rock fragment cover.

**Keywords:** Conglomerate, Marl, Rainfall simulator, Soil erodibility, Soil loss

---

\*Corresponding author: lashkaripour@um.ac.ir