نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال سوم، شماره ۳، پاییز۱۳۹۵

صفحات ۴۰- ۲۱

تاثیر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی رسوبات مارنی بر فرسایش و رسوبزایی آنها با استفاده از دستگاه شبیه ساز باران در منطقه لاتشور پاکدشت

خلیل رضایی [1]، استادیار زمین شناسی، گروه زمین شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.

دریافت مقاله: ۱۳۹۴/۱۱/۲۸ پذیرش نهایی: ۱۳۹۵/۰۵/۳۰

چکیده

فرسایش یکی از پدیده های مخرب و پیوسته ای است که نمی‌توان از آن جلوگیری کرد و فقط می‌توان با مطالعه خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک، آنرا تا حدی کنترل نمود. مارن‌ها یکی از مهمترین واحدهای رسوبی در ایران می‌باشند که به لحاظ ویژگی‌های فیزیکی- شیمیایی از رسوب‌زایی و فرسایش‌پذیری زیادی برخوردار هستند. این خاصیت مارن‌ها سبب خسارات زیست‌محیطی و عمرانی زیادی شده و از این رو مطالعه فرسایش و رسوب‌زایی واحدهای مارنی ضروری می‌باشد. یکی از نکات مهم در مورد مارن ها ماهیت دانه بندی و عناصر موجود در آنها و تاثیر این دو موضوع در میزان فرسایش می باشد. در پژوهش حاضر به بررسی ویژگی‌های فیزیکی- شیمیایی واحدهای مارنی و تاثیر آن بر اشکال مختلف فرسایشی در منطقه لاتشور پاکدشت پرداخته شده است. بدین منظور علاوه بر نمونه‌برداری از رسوبات، آزمایش شبیه‌سازی باران (به کمک دستگاه شبیه‌ساز باران) در ۶ ایستگاه و در ۳ تکرار آزمایش بارش در شش واحد رسوبی منطقه بر اساس اشکال مختلف فرسایشی انجام شد و همزمان، از نمونه های خاک مجاور پلات برداشت شده و در آزمایشگاه میزان رواناب و رسوب تولید شده در هر نقطه در آزمایشگاه تفکیک و اندازه گیری شد. همچنین در آزمایشگاه تحت آزمایش دانه بندی و تعیین حدود آتربرگ قرار گرفته و علاوه بر آن پارامترهای اسیدیته، هدایت الکتریکی، میزان عناصر سدیم، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، سدیم، گچ، کلر، یونهای نیترات، کربنات، سولفات، کربن آلی و CEC خاکها اندازه‌گیری گردید. در تجزیه و تحلیل داده‌ها از روش همبستگی پیرسون، اسپیرمن و مقایسه میانگین‌ها در نرم افزار آماری SPSS استفاده شده است. بر اساس نتایج تحلیل آماری اشکال مختلف فرسایشی از نظر میزان عناصر و دانه بندی، در میزان یون سدیم، سولفات و میزان درصد سیلت، دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشند. بصورتیکه میزان میانگین یون سدیم و سولفات از فرسایش سطحی به فرسایش خندقی در مارن‌های منطقه افزایش یافته و میزان میانگین درصد رس از فرسایش سطحی به فرسایش خندقی کاهش و میزان سیلت افزایش می‌یابد. نهایتا چهار متغیر یون سدیم،هدایت الکتریکی یا EC ، سولفات و درصد سیلت نمونه‌ها را می‌توان عواملی تاثیرگذار در توسعه فرسایش و ایجاد اشکال مختلف فرسایشی در مارن‌های منطقه دانست.

واژگان کلیدی: فرسایش، مارن، ویژگیهای فیزیکی و شیمیایی، شبیه ساز باران، لاتشور.

۱. نویسنده مسئول: Email:Khalil.rezaei@khu.ac.ir

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.3.3.21]

مقدمه

یکی از معضلات و مخاطرات طبیعی بزرگ امروز کشورمان فرسایش خاک است که متاسفانه بدلیل حجم بالای خاکهای نابوده شده رتبه اول در خاور میانه و رتبه سوم جهانی را برای ایران در نظر گرفته اند. این پدیده باعث پر شدن دریاچه‌ها، مخازن سدها و کاهش عمرمفید و بهره وری آنها، وقوع سیلاب‌های مکرر، از بین رفتن زیرساخت‌ها، جاده‌ها و زمین‌های کشاورزی و آلوده شدن آب شرب، شده است(رفاهی،۸،۱۳۸۳). فرسایش به فرآیندی گفته می‌شود که طی آن ذرات خاک به کمک فرایند هوازدگی و یا فعالیتهای انسانی، از بستر اصلی خود جدا شده و به کمک یک عامل انتقال دهنده به مکانی دیگر حمل می‌شود. اگر چه عامل طبیعی فرسایش و حمل می تواند آب، باد یا یخچال می باشد(Cerdan et al., ۲۰۱۰؛Romero-Diaz et al., ۲۰۰۷). اما فرسایش خاک وابسته به عوامل متعددی از جمله جنس و دانه بندی خاک، سازندهای زمین شناسی، اقلیم، شیب توپوگرافی، کاربری اراضی، پوشش گیاهی و فعالیتهای انسانی است.

برای کنترل فرسایش خاک ابتدا می بایست رفتار آن را بدرستی شناخت چراکه فرسایش پذیری خاک تابعی از قابلیت جدا شدن ذرات خاک و انتقال آنها، و ماهیت فیزیکی و شیمیایی ذرات آن می باشد. در واقع هر خاصیتی از خاک که بتواند مانع جدا شدن ذرات خاک و انتقال آن شود، فرسایش پذیری خاک را کاهش می دهد (رفاهی،۱۵،۱۳۸۶). محققان متعددی سعی کرده‌اند بین میزان فرسایش پذیری خاک و خصوصیات مختلف آن ارتباط برقرار سازند. این مطالعات با دامنه وسیعی از روش ها، در خاک های متفاوت، شرایط اقلیمی و بروشهای مدیریت مختلف انجام شده است (حسن زاده نفوتی،۱۳۸۳؛ García-Orenes et al., ۲۰۰۹ ؛). بعنوان یک روش، استفاده از دستگاههای شبیه ساز باران نیز بدلیل قابلیت کنترل فاکتورهای موثر در فرسایش، بطور روزافزونی در فرسایش مورد استفاده قرار می گیرد (Katuwal et al., ۲۰۱۳;Vermang et al., ۲۰۱۵ Arthur et al., ۲۰۱۱ ; Akgün & Türk, ۲۰۱۱؛) و در ایران نیز در نقاط مختلف با روشهای گوناگونی دستگاههای شبیه ساز باران با طراحیهای متنوعی ساخته شده و برای مطالعه فرسایش خاک مورد بهره برداری قرار گرفته اند که از آن جمله می‌توان مطالعات حشمتی (۱۳۷۶)، قدیمی عروس‌محله(۱۳۷۷)، اسماعیل نژاد و همکاران (۱۳۸۶)، عالیخانی(۱۳۹۱)، حاتمیان(۱۳۹۰)، خدادادی(۱۳۹۴) را نام برد. در این مطالعات میزان تولید رواناب و رسوب با باران‌ساز مصنوعی اندازه‌گیری شده و همگی بیان داشته‌اند که واحدهای مارنی، فرسایش و رسوب بالایی نسبت به سایر واحدهای زمین‌شناسی تولید می‌کنند. (Grubin &Bryan, ۲۰۱۱,۱۳۹۶۶). خاک‌های کائولینیتی بالاترین پایداری خاکدانه‌ها، کمترین میزان دیس‌پرسه شدن، کمترین میزان رواناب و در نتیجه کمترین ظرفیت حمل رسوب را دارند. در حالی که پایین‌ترین پایداری خاکدانه و بیشترین میزان رواناب در خاک‌های مونت‌موریلونیتی مشاهده می‌شود (Wakindiki & Ben-Hur,۲۰۰۲,۶۰۱). همچنین افزایش مقدار هدایت الکتریکی خاک نشانگر افزایش مواد قابل انحلال موجود در آن بوده و عاملی اساسی در شکل‌گیری و ایجاد آبکندهای جبهه‌ای به حساب می‌آید. بافت و کانی‌های خاک تاثیر اساسی بر پایداری خاک‌دانه‌ها دارند و بنابراین بر مقدار نفوذپذیری و از دست رفتن خاک، در هنگام بارندگی موثر هستند. خاک‌های با مواد آلی بیشتر، خاک‌دانه‌های بزرگتری تشکیل داده که این مقدار مواد آلی از یک طرف باعث پایداری بیشتر ساختمان خاک و از طرفی باعث افزایش خلل و فرج درشت در خاک شده که در نهایت ضریب آبگذری را افزایش می‌دهند و نهایتا فرسایش‌پذیری کاهش می‌یابد (Lado et al.,۲۰۰۴, ۲۳۹).

محل انتخاب شده برای این پژوهش، منطقه‌ی لاتشور، به علت نوع سازندهای موجود دچار فرسایش‌های زیادی می-شود. بدیهی است با شناخت ویژگی‌ها و نوع فرسایش مارن‌ها می‌توان گام مؤثری در رابطه با کنترل فرسایش مناطق مارنی برداشت. همچنین با توجه به استقرار رودخانه لاتشور در منطقه‌ی پاکدشت و وجود زمین‌های مزروعی فراوان، می‌توان کمک زیادی به اقتصاد و محیط زیست منطقه و کاهش نابودی خاک زراعی نمود.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.3.3.21]

داده ها و روش کار

حوزه آبخیز رودخانه لاتشور به عنوان جزئی از حوزه آبخیز کویر مرکزی ایران، در استان تهران و در شمال شرق شهرستان پاکدشت واقع گردیده است. حوضه آبخیز لاتشور جزیی از زون البرز مرکزی جنوبی و بخشی از حوضه آبخیز کویر مرکزی محسوب می‌شود. این حوضه در نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ تهران و در ورقه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ چنداب و ورامین واقع شده است. مساحت حوضه ۲۲/۲ کیلومتر مربع و محیط آن ۲۸/۴ کیلومتر بوده و در محدوده جغرافیایی '۵۱ °۵۱ تا '۵۵ °۵۱ طول شرقی و ″۴۵ '۲۵ °۳۵ تا ″۰۰ '۳۲ °۳۵ عرض شمالی قرار دارد(شکل۱). مساحت حوضه یکی از مهمترین خصوصیات فیزیکی حوضه بوده و با مقدار دبی سیلاب و حجم رواناب حوضه ارتباط مستقیم دارد، و عکس العمل حوضه آبخیز در برابر نزولات جوی تابع وسعت، شیب، میزان نفوذپذیری و شکل حوضه می‌باشد. مشخصات حوضه کوچک لاتشور در جدول شماره ۱ آمده است.

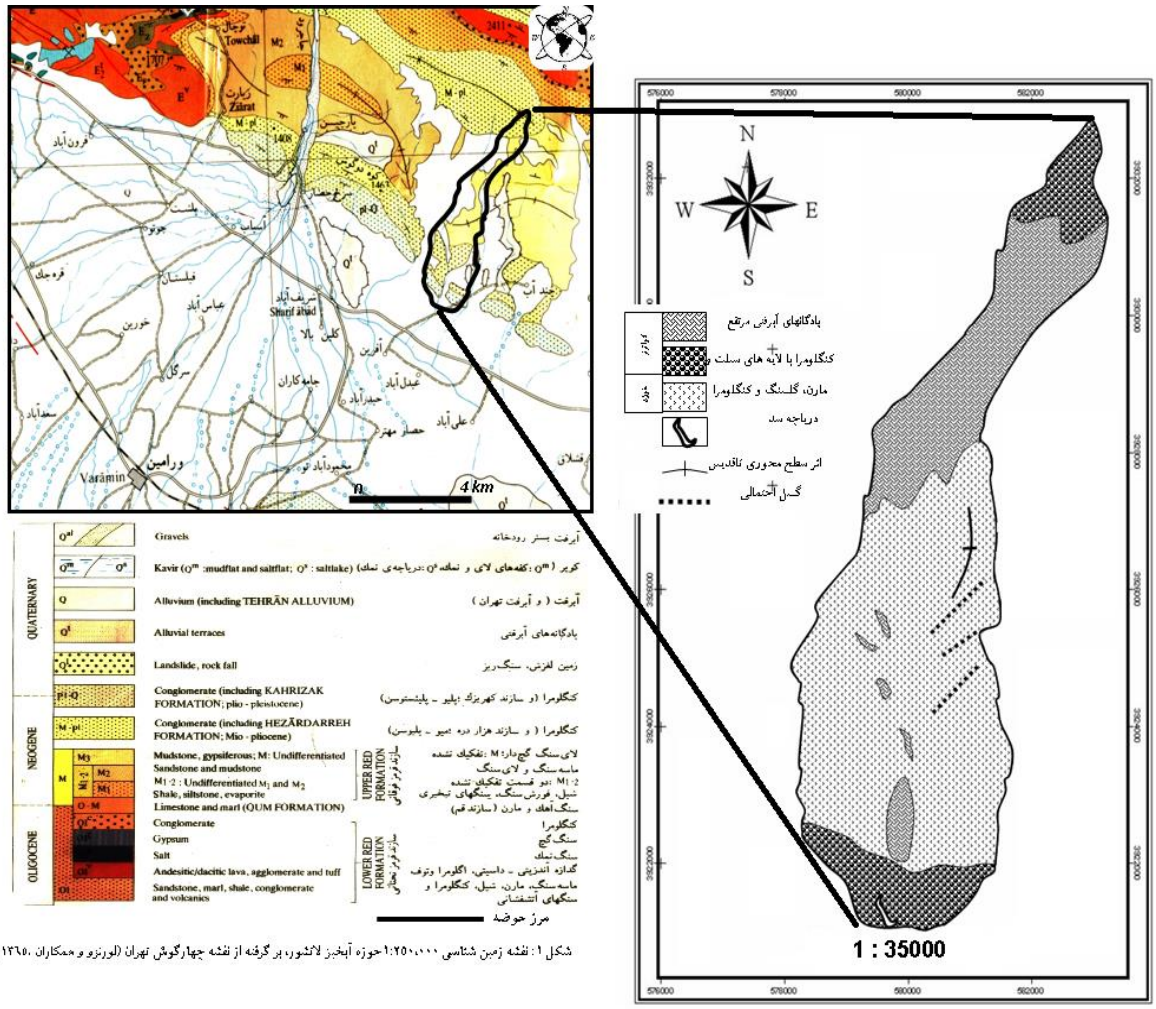
از نظر زمین شناسی حوضه مذکور در محدوده انتقالی زون ساختاری البرز مرکزی در با ایران مرکزی قرار گرفته و واحدهای سنگی سازنده اصلی آن سازندهای قرمز بالایی نئوژن، هزاردره و پادگانه های آبرفتی می‌باشند(شکل۱). بطور کلی سازند قرمز بالایی دارای سه واحد M۱,M۲,M۳ می باشد که در حوضه مورد مطالعه تنها دو واحد M۱,M۲ رخنمون دارند. مطالعات ژئومورفولوژی نشان‌دهنده تشکیل این حوضه در یک ساختار تاقدیسی می‌باشد و از جنوب به کوه‌های دهانه و از شمال به کوه‌های قره آغاج ختم می‌گردد. روند چین خوردگی‌های موجود در حوضه و نوع سازندهای موجود نقشی بسیار اساسی در نحوه گسترش و شکل حوضه دارد. در شمال حوضه کوه‌های قره‌آغاج از جنس کنگلومرای میوپلیوسن، در غرب و جنوبغرب حوضه کنگلومرای هزاردره و در شرق و جنوبشرق حوضه رخنمون مارن واحد $M_۳$ قابل مشاهده می‌باشد. سیما و ویژگی‌های سنگ‌شناسی نهشته‌های منطقه لاتشور قابل قیاس با سازند سرخ بالایی در ایران مرکزی است و احتمال هم-ارزی آن با مجموعه سازند سرخ زیرین، سنگ آهک‌های قم و سازند سرخ بالایی وجود دارد. تغییرات سنی آنها از الیگوسن تا میوسن خواهد بود و در این حوضه، مارن‌های قرمز رنگ، سنگ آهک‌های مارنی و میان لایه‌های کنگلومرایی مشاهده می‌شود که این واحدها گاهی حاوی گچ و نمک می‌باشند. در مرز تبدیل واحد $M_۲$ به $M_۳$ از تعداد و ضخامت لایه‌های ماسه سنگی کاسته می‌شود و تدریجاً واحد $M_۲$ به $M_۳$ تبدیل می‌گردد. واحد $M_۲$ ارتفاع بیشتری نسبت به واحد $M_۳$ دارد. یکی از دلایل آن حضور لایه‌های ماسه‌سنگ به عنوان یک لایه‌ی مقاوم روی بخش نا مقاوم مارنی است. اشکال متنوع ژئومورفولوژی نظیر مخروطهای آبرفتی، سدهای رسوبی، کانال‌ها، فرسایش آبراهه‌ای، هزاردره‌ای، خندقی، تراس‌های رودخانه‌ای (با ساخت رسوبی ایمبریکیشن)، و انواع حرکات توده‌ای در این حوضه مشاهده شده‌اند(تصاویر شکل۲). در حوضه لاتشور- در رسوبات کواترنری اشکال پادگانه‌های آبرفتی کهن و جدید دیده می‌شود که بستر رودخانه نیز شامل اجزای ریزدانه سیلتی، رسی، به رنگ قرمز به همراه گراول است.

جدول۱: مقادیر ضرایب مختلف شکل حوزه آبخیز لاتشور

نام حوضه	مساحت $Km^۲$	محیط Km	ارتفاع متوسط	شیب متوسط درصد	طول آبراهه اصلی Km	بلندترین طول آبراهه Km	طول Km	عرض Km
لاتشور	۲۲/۲	۲۸/۴	۱۳۴۷/۹۲۸	۲۲/۷۸	۱۳/۶۸	۱۳/۶۸	۱۲/۴۱	۱/۷۹

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.3.3.21]



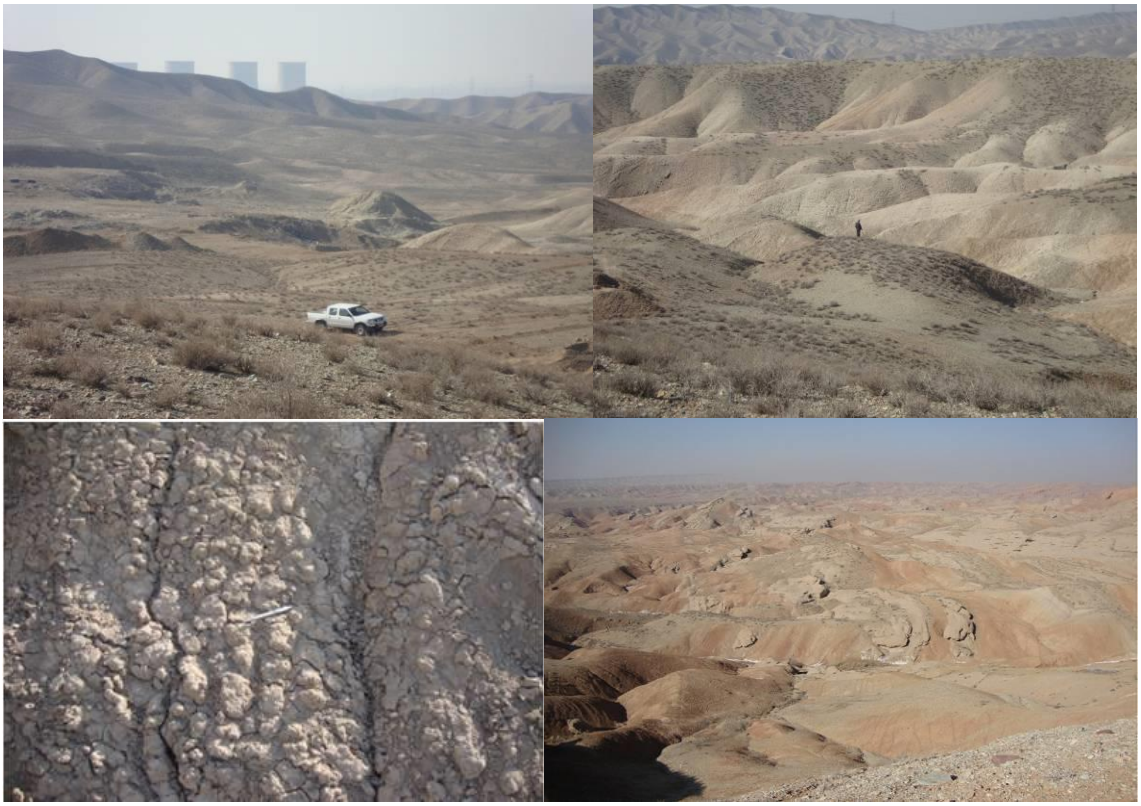
شکل ۱: نقشه زمین شناسی ۱:۲۵۰،۰۰۰ حوزه آبخیز لاتشور، بر گرفته از نقشه چهارگوش تهران (لورنزو و همکاران، ۱۳٦۵)

شکل۱: نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه و حوضه آبخیز لاتشور

در خروجی حوضه لاتشور رسوبات آبرفتی کانال رودخانه عمدتاً از جنس سنگدانه‌های توفی سبز کرج همراه با سنگ-های ولکانیکی از نوع آندزیتی- ماسه‌سنگ و سنگ آهک می‌باشد. مارن‌های M_2 قرمز رنگ و در تناوب با ماسه‌سنگ است و فرسایش روی دامنه‌ها شیاری مشاهده شد و لایه‌های ماسه‌سنگ بصورت عدسی‌هایی به طول ۴۰ متر یا بیشتر در واحد مارنی رخنمون دارد. در قسمت جنوبی حوزه شیب لایه‌ها به سوی جنوب است و به سمت شمال حوضه شیب لایه‌ها به سمت شمال‌اند شدند که بیانگر ساختار چین خورده تاقدیس است. مارن M_3 نخودی رنگ و پست و هموار، که البته در داخل مارن‌های قرمز بالایی این واحد لکه‌های شور و قلیایی است که لکه‌های شور به صورت پوسته سفید رنگ و لکه‌های قلیایی به رنگ سیاه روی دامنه‌ها دیده شد. تیپ فرسایش این واحد شیاری از نوع پنجه‌ای و موازی می‌باشد. ماسه سنگ-های واحد M_3 دارای سیمان آهکی است. انحلال آهک، اثر وزش باد و چرخش ذرات ماسه از یک طرف و حضور املاح نمکی از سوی دیگر سبب ایجاد حفراتی در سنگ‌ها می‌شود و می‌توان در آن‌ها پدیده‌ی کراس‌بدینگ را مشاهده نمود. البته در این ماسه‌سنگ‌ها به تناوب ماسه‌سنگ‌های گراول‌دار و میکروکنگلومرا و عدسی‌های گلی هم در داخل واحدهای ماسه-سنگی مشاهده شد. در مرز تبدیل واحد M_2 به M_3 از تعداد و ضخامت لایه‌های ماسه‌سنگی کاسته می‌شود و تدریجاً واحد

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.3.3.21]

$M_۲$ به $M_۳$ تبدیل می‌گردد. واحد $M_۲$ ارتفاع بیشتری به $M_۳$ دارد. یکی از دلایل آن حضور لایه‌های ماسه‌سنگ به عنوان یک لایه‌ی مقاوم روی بخش نامقاوم مارنی است.

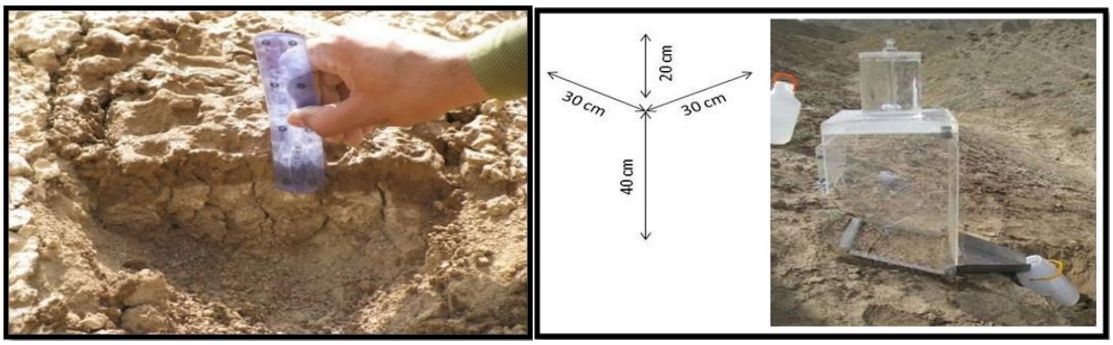


شکل۲:(بالاراست)رخنمون مارن‌های M۳ به رنگ نخودی و رخنمون کنگلومرای پلیوسن(بالاچپ) در شرق و جنوب شرق رخنمون واحدM۲ با تناوب فراوان ماسه‌سنگ و مارن(پایین راست)، فرسایش ورقه ای و شیاری، و آثار پف کردگی(پایین چپ).

در این تحقیق در ابتدا، در مطالعات کتابخانه ای نقشه های زمین شناسی، توپوگرافی و ژئومورفولوژی منطقه جمع آوری و بررسی و نقاط نمونه برداری انتخاب شد. همچنین با مروری بر مقالات مشابه در ایران و جهان تلاش شد تا کمترین میزان خطا در برداشتهای صحرایی هدف قرار گیرد. در بخش عملیات میدانی، در ابتدا در رخنمون سازندهای مختلف منطقه در ۶ ایستگاه و در ۳ تکرار آزمایش بارش، توسط شبیه ساز باران انجام شد تا در آزمایشگاه میزان رسوب و رواناب هر نقطه تعیین گردد. همزمان، از نمونه های خاک مجاور پلات برداشت شده و سپس در آزمایشگاه برای بخش خصوصیات فیزیکی تحت آزمایش دانه بندی و تعیین حدود آتربرگ (شکل۴) و برای بخش خصوصیات شیمیایی تحت آنالیزهای تعیین اسیدیته، هدایت الکتریکی، میزان کاتیونها و آنیونهای اصلی(شکل۶)، قرار گرفت.از ۴واحد رسوبی برداشت شده در منطقه پس از برداشت نمونه ها در صحرا، در آزمایشگاه از هر واحد دو نمونه مربوط به دو رخنمون انتخاب شد. نمونه های ۱و۲ مربوط به واحدM۳ (مارنی اول)، نمونه های ۳و۴ مربوط به واحدM۲ (مارنی دوم)، نمونه های ۵و۶ مربوط به کنگلومرای هزاردره (غیرمارنی اول) و نمونه های ۷و۸ مربوط به آبرفتهای دشت پایین دست حوضه(غیر مارنی دوم) بوده اند. در انتها با انجام آنالیزهای آماری و تحلیل نتایج روابط و فرمولهای مربوط بین کلیه پارامترهای اندازه گیری شده بدست آمد.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.3.3.21]



شکل۳: نمایی از شبیه‌ساز باران مورد استفاده و ابعاد آن(راست) اندازه‌گیری عمق نفوذآب بارش در خاک (چپ).

در منطقه لاتشور از دیدگاه بافت رسوبات، واحد مارنی M۳ دارای ۱۰ درصد رس، ۸۰ درصد ماسه، و ۱۰ درصد ماسه است. واحد M۲ دارای تقریباً ۲۵ درصد رس، ۶۰ درصد سیلت، ۱۵درصد ماسه، واحد کنگلومرایی هزاردره دارای ۶۰ درصد ماسه، ۴۰درصد گراول و رسوبات دشت پایین دست حوضه ۱۵ درصد سیلت، ۵۵ درصد ماسه و ۳۰ درصد گراول است. در منحنی‌های دانه‌بندی واحدهای مارنی، رسوبات دارای جورشدگی بد و اغلب اندازه‌هایی در حد سیلت داشته و در گروه ریزدانه سیلت رسی و سیلت ماسه ای قرار می‌گیرند. میزان رس در نمونه ها کمتر از حد انتظار بوده و نامگذاری مارن بر روی برخی واحدها را با شک و تردید همراه نمود. حدود آتربرگ نیز حاکی از استقرار اغلب نمونه ها در محدوده CL,ML بوده و بین واحدهای کاری مختلف منطقه تمایز خوبی ایجاد می نماید.

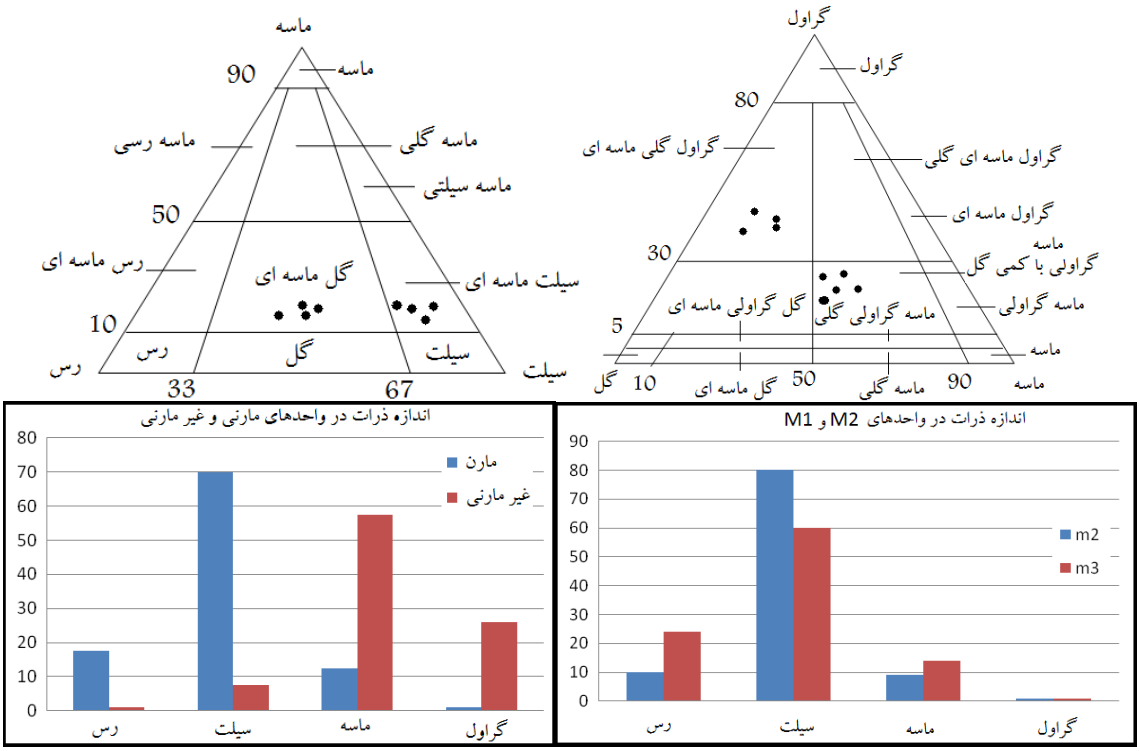
شرح و تفسیر نتایج

هدف این تحقیق بررسی تاثیر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی مارنها بر میزان فرسایش پذیری آنها در منطقه لاتشور پاکدشت بوده است. از اینرو علاوه بر میزان انواع ذرات رسوبی (با اندازه های مختلف)، به میزان عناصر و پارامترهای شیمیایی نظیر هدایت الکتریکی و اسیدیته و میزان کاتیونهای قابل تبادل در هر نمونه تحت آزمایش نیز توجه شده است که در ادامه به تفصیل مورد بحث واقع شده اند.

- **خصوصیات فیزیکی**

بافت خاک نشان دهنده درصد فراوانی نسبی ذرات ماسه، رس و سیلت و یکی از فاکتورهای مهم و مؤثر در ایجاد فرسایش و رسوب است (رضایی،۱۳۹۲; Vahabi & Nikkami, ۲۰۰۸;Ownegh & Nohtani, ۲۰۰۴). به طور کلی خاک‌هائی که مقدار زیادی سیلت و مقدار کمی رس دارند فرسایش پذیرترین خاکها به شمار می روند و معمولاً بافت سیلتی بیشترین حساسیت را به فرسایش دارد (Ownegh & Nohtani, ۲۰۰۴). خاکهای سیلتی اگر چه معمولاً خوب دانه بندی می شوند ولی در اثر مرطوب شدن، خاکدانه ها به آسانی شکسته و ذرات سیلت جدا منتقل می شوند. براساس وزن، ذرات درشت تر مقاومت بیشتری و ذرات ریزتر در حد رس کمترین مقاومت در برابر فرسایش پذیری دارند، همچنین از نظر چسبندگی، حساسترین ذرات به فرسایش ذرات دارای قطر بین ۲ تا ۲۰۰ میکرون یعنی محدوده سیلت و ماسه ریز می باشد (خامه چیان،۱۳۶۹؛ Sepaskhah & Shahabizad, ۲۰۱۰). چرا که این ذرات هم از نظر چسبندگی(مقاومت در برابر جدا شدن) و هم از نظر اندازه و وزن (مقاومت در برابر حمل و انتقال) دارای حداقل شرایط می‌باشند.

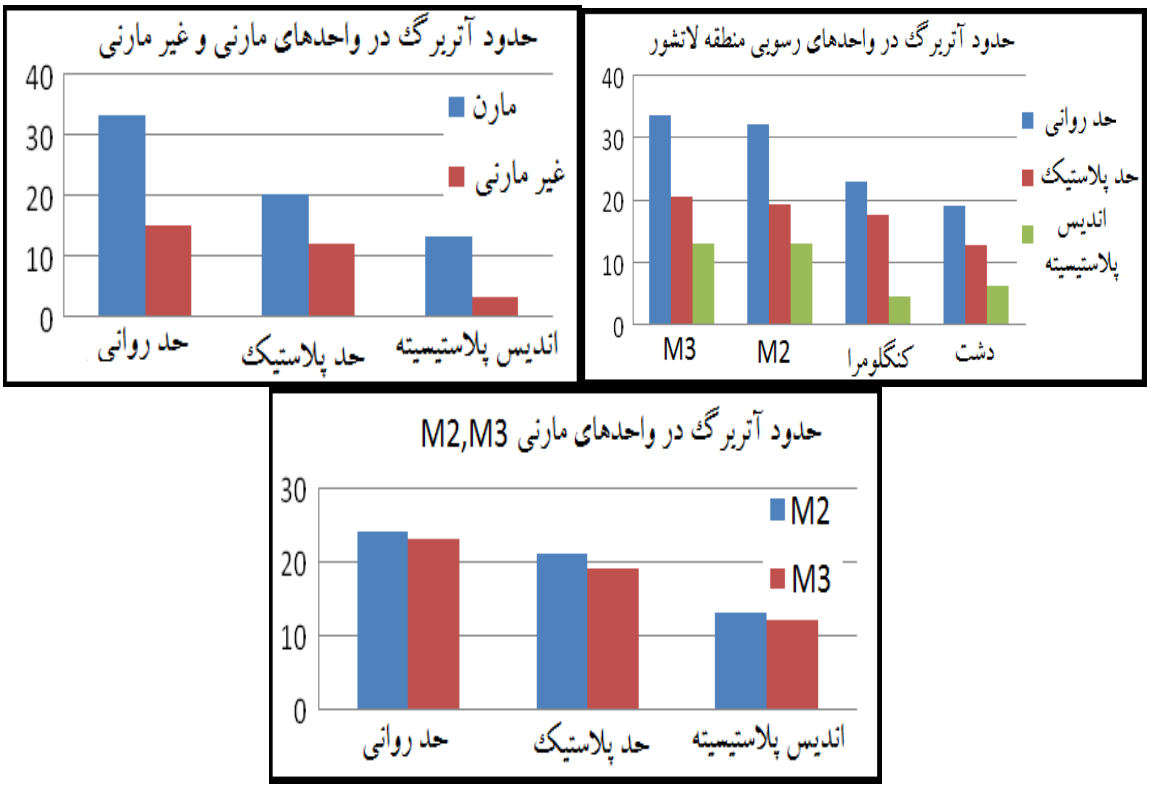
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.3.3.21]



شکل ۴: موقعیت نمونه ها در طبقه بندی فولک(۱۹۷۴) (بالا)، مقایسه اندازه ذرات واحدهای مارنی و غیرمارنی(پایین راست) میزان اندازه ذرات در واحدهای مارنی M۳، M۲(پایین چپ)

در منطقه مورد مطالعه،اندازه ذرات سازندهای M۲ و M۳ بیشتر به صورت سیلت، رس و ماسه می‌باشد و هرچه به سمت واحد کنگلومرای هزاردره و نهشته‌های آبرفتی می‌رویم، طبیعتا اندازه ذرات بزرگ‌تر می‌شود(شکل ۴). میزان درصد سیلت در M۳ بیشتر از واحد M۲ می‌باشد(شکل۴). بنابراین انتظار می‌رود واحدM۳ فرسایش پذیری بیشتری داشته و رسوب بیشتری تولید کند. با مقایسه میزان تولید رسوب و رواناب در هر واحد مشخص زمین شناسی با خصوصیات دانه بندی و بافت فیزیکی آن ممکن است بتوان ارتباطی بین نوع دانه بندی و فرسایش خاک برقرار نمود(Sepaskhah & Shahabizad, ۲۰۱۰). مطالعه برروی مارن‌های منطقه لاتشور نشان داد که اندازه ذرات می‌تواند نقش مهمی در میزان رواناب و رسوب در یک منطقه داشته باشد. از سوی دیگر در زمین‌شناسی مهندسی خاک‌هایی که رفتار مشابهی از خود نشان می‌دهند را می-توان در یک طبقه مهندسی خاک (طبقه‌بندی کاساگراند) قرار داد. در این تحقیق برای توصیف خواص مهندسی نمونه‌ها (خاصیت خمیری و دانه‌بندی) از سیستم طبقه بندی یونیفاید استفاده شده است(Memarian, ۱۹۹۵). پارامترهای لازم برای این طبقه‌بندی، آزمایش دانه‌بندی، حدهای آتربرگ و شاخص خمیری می‌باشد. بررسی نمونه‌های مورد مطالعه منطقه لاتشور نشان می‌دهد که این نمونه ها بیشتر در محدوده ML و CL قرار داشته، اکثرا ریز دانه بوده و حساسیت بسیار زیادی به فرسایش دارند. از نظر شاخص خمیری میزان خصوصیات مکانیکی(حد روانی و خمیری) در واحد M۳ نسبت به واحد M۲ بیشتر است و واحد M۲ سست تر از واحد M۳ می‌باشد و میزان عددی کمتری دارد(شکل۵). واحدهای مارنی به دلیل دارا بودن اجزاء ریز دانه سیلت و رس، حد روانی، حد روانی و اندیس پلاستیسیته بالاتری را نسبت به واحدهای غیر مارنی نشان می‌دهند.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.3.3.21]



شکل۵: میانگین حد روانی، حد خمیری و شاخص خمیری در کل واحدهای کاری(بالاراست)، در واحدهای مارنی و غیرمارنی(بالاچپ) در دو واحد مارنی حوزه آبخیز لاتشور (پایین)

- **خصوصیات شیمیایی**

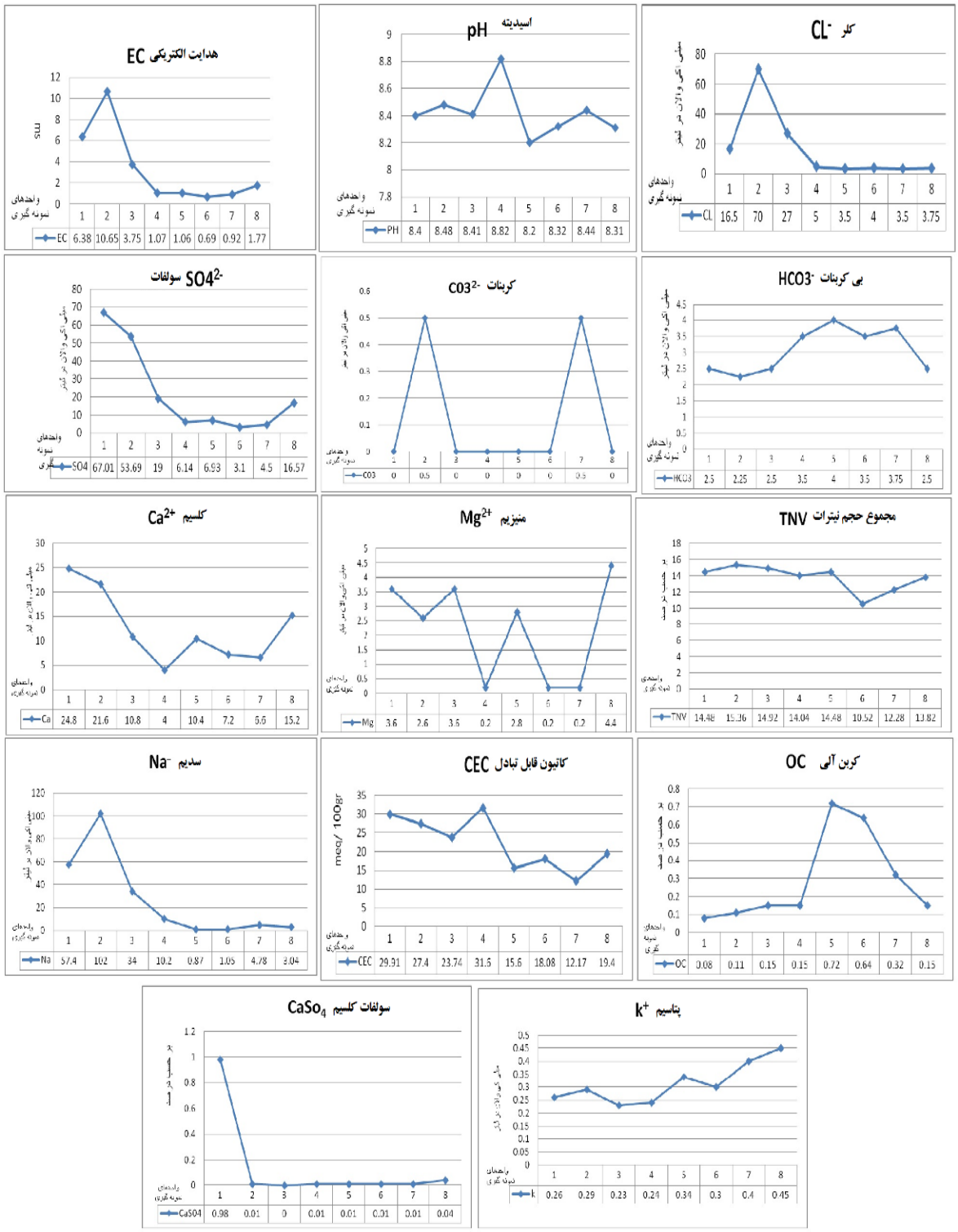
همانطور که ذکر شد برای مطالعه خصوصیات رسوبات ۴واحد رسوبی برداشت شده از منطقه پس از برداشت نمونه ها در صحرا، در آزمایشگاه از هر واحد دو نمونه مربوط به دو رخنمون انتخاب شد. نمونه های ۱و۲ مربوط به واحدM۳ (مارنی اول)، نمونه های ۳و۴ مربوط به واحدM۲ (مارنی دوم)، نمونه های ۵و۶ مربوط به کنگلومرای هزاردره (غیرمارنی اول) و نمونه های ۷و۸ مربوط به آبرفتهای دشت پایین دست حوضه(غیر مارنی دوم) بوده اند(شکل ۶). همانطور که در شکل۶ مشخص است میزان ECدر واحد $M_۳$ بیشترین میزان می‌باشد.که هرچه به سمت واحد کنگلومرای هزاردره و پایین دست حوضه می‌رویم از میزان آن کاسته می‌شود. طبق این نمودار میزان هدایت الکتریکی در مارن‌ها بیشتر از واحدهای غیر مارنی می‌باشد. میزان pH در واحد $M_۲$ بیشترین میزان است و میزان اسیدیته در واحدهای مارنی بیشتر می‌باشد و فرسایش پذیری بیشتر این واحدها را نسبت به واحدهای غیر مارنی نشان می‌دهد. در واحد $M_۳$ و دشت پایین دست حوضه میزان $CO_۳^{۲-}$ به یک اندازه می‌باشد.میزان $SO_۴^{۲-}$ هرچه از واحد $M_۳$ به سمت پایین دست حوضه می‌رویم، کاسته می‌شود. میزان سولفات در واحدهای مارنی بیشتر از واحدهای غیر مارنی می‌باشد ولی در پایین دست حوضه میزان آن تا حد واحد $M_۲$ افزایش یافته است. در واحد $M_۳$ میزان یون کلر زیاد است هرچه به سمت واحد $M_۲$ و کنگلومرای هزار دره و دشت پایین دست حوضه کم می‌شود.نشان دهنده این است که میزان کلر در واحدهای مارنی بیشتر است. میزان $HCO^{-۳}$ در در واحد $M_۳$ کم است و به سمت واحدM۲ بیشتر شده و در کنگلومرای هزار دره به بیشترین میزان خود می‌رسد و سرانجام در دشت پایین دست حوضه کم‌تر می‌شود. میزان یون کلسیم از واحد $M_۳$ به سمت واحد $M_۲$ کم می‌شود تا در این واحد به کمترین میزان خود می‌رسد و سپس شروع به افزایش می‌کند. میزان منیزیم از رابطه و قانون خاصی طبعیت نکرده است

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.3.3.21]

و در واحدهای مختلف تغییرات زیادی داشته است.نمودار سدیم همانند نمودار کلر می‌باشد و از واحد M_3 به واحد M_2 و در کنگلومرای هزاردره کم شده است. میزان TNV تقریباً ثابت بوده و تغییرات زیادی را نداشته و در تمام واحدهای مارنی یکسان است.میزان CEC از واحد M_3 به سمت M_2 کم تر شده و از واحد M_2 به سمت کنگلومرای هزاردره و دشت پایین دست حوضه به صورت نامنظم کم و زیاد می‌شود.میزان پتاسیم از واحدهای مارنی به سمت واحدهای غیر مارنی منطقه افزایش یافته است. میزان کربن آلی از واحد M_3 به سمت واحد M_2 افزایش داشته و در این واحد بیشترین میزان است و به سمت پایین دست حوضه کم می‌شود. میزان $CaSo_4$ در واحد M_3 بیشترین حد و در سایر واحدها به میزان بسیار کم است. بدلیل تناوب لایه های مارن و ماسه سنگ در منطقه لاتشور، علاوه بر تفکیک مارنها، پارامترهای کانی شناسی، ترکیب ژئوشیمیایی و اندازه ذرات خاک و همچنین شیمی آب منفذی در دامنه های رو به جنوب و رو به شمال که بتریتب دارا و فاقد شواهد فرسایش می باشند نیز در این تحقیق مد نظر قرار گرفته اند. نکته مهم و قابل توجه این است که اندازه ذرات و کانی شناسی رسها توانایی تفکیک نواحی شیبدار با درجات متفاوتی از فرسایش را دارا هستند. اصولا فرسایش در فراوانی ذرات دانه ریز اتفاق می افتد. ریز بودن ذرات باعث کاهش نفوذپذیری شده و فرسایش و ایجاد رواناب را افزایش می دهد. بالعکس در سازندهای نفوذپذیر ذرات درشت تر بوده و علاوه بر امکان انتقال سیال، رواناب و فرسایش کمتری حادث می شود. فراوانی کانی های رسی در خاکها و فرایند خاکزایی متفاوت، گوناگون بوده و در شیبهای بدون فرسایش کانیهای رسی مخلوط لایه زیاد شده و دیگر کانیها کاهش می یابند. بنابراین می توان شیبهای دارا و فاقد فرسایش را از هم تفکیک نمود. اسیدیته، نسبت جذب سدیم (SAR)، مجموع نمکهای محلول(TDS)، درصد سدیم(PS) از جمله این پارامترها می باشند. مطالعات متعددی نشان داده که TDS در شیبهای غیرفرسایشی در عمق خاک افزایش یافته اما در خاکهای فرسایشی حداکثر TDS در عمق بسیار کمی قابل دسترسی است. بطور معمول خاکهای مارنی حساس به فرسایش، دارای مقادیر بالاتری از pH ، SAR و PS بوده درحالیکه درصد سدیم قابل تبادل(ESP) در خاکهای فرسایش ناپذیر بیشتر بیشتر است. پوسته رویی خاک مشابه خاکهای مقاوم عمل نموده و کمتر پخش و پراکنده می شوند. در واقع در هنگام هوازدگی کاهش شدیدی در میزان پارامترهایSAR، PS وESP اتفاق می افتد. حداکثر SAR و TDS با کاهش نفوذپذیری و اندازه ذرات همواره هماهنگ و همراه بوده اند. مقادیر SAR و نوسانات آن اهمیت بالایی در فرسایش خاک داشته و معرفی برای پخش و تلاشی خاک محسوب می شوند(Bouma &Imeson,۲۰۰۰,۱۶۱). در خاکهای این منطقه پارامترهای EC,Ph,CEC, کلر،سولفات، کلسیم، نیترات، سدیم، کربن آلی در واحدهای مارنی دارای فرسایش بیشتر بوده و در سوی مقابل یونهای بی کربنات و پتاسیم بیشتر بوده اند. یونهای منیزیم، کربنات و سولفات کلسیم نیز رابطه مشخص و معینی با نوع خاکها و فرسایش آنها نشان نداده اند.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.3.3.21]



شکل۶: مقایسه میزان پارامترهای شیمیایی در واحدهای مارنی وغیر مارنی منطقه

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.3.3.21]

- **روابط بین متغیرها**

در انتها با استفاده از مقادیر بدست آمده از آزمایشات مختلف فیزیکی و شیمیایی و در محیط نرم افزار SPSS اقدام به بررسی روابط بین متغیر های با یکدیگر و ارتباط رسوب تولیدی و رواناب حاصله از هر نقطه با خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک برداشت شده گردید. در بررسی اولیه مشخص شد که دو واحد پر اهمیت مارنی رسوبزایی بیشتری داشته و از اینرو در بررسی مجدد بیشتر داده های دو واحد مارنی برای نعیین چگونگی ارتباطات انتخاب شدند که نتایج در ادامه آمده اند. ابتدا تلاش شد تا رابطه ای بین کلیه پارامترهای اندازه گیری شده با هم و با میزان تولید رسوب و رواناب بررسی شود. همچنین فراوانی انواع فرسایش با هر کدام از این پارامترها با کمک تصاویر منطقه و موقعیت لندفرمها هم مورد ارزیابی قرار گرفت(جداول۲تا۶ و شکل۷). جدول ۲ به بررسی رابطه اندازه ذرات و میزان تولید روسوب و رواناب می پردازد. بطور خلاصه نتایج این بررسیهای آماری نشان داد اگر چه میزان رواناب با هیچکدام از خصوصیات فیزیکی ارتباط خیلی معناداری ندارد ولی میزان رسوب با میزان درصد ماسه و درصد گراول رابطه منفی و با میزان سیلت رابطه مثبت دارد. این وضعیت در مطالعات دیگر نیز به اثبات رسیده است(Ownegh & Nohtani, ۲۰۰۴). اگرچه میانگین میزان رسوب و حجم رواناب در واحد M۳ با هیچکدام از عوامل خصوصیات فیزیکی رابطه ندارد. اما در واحد M۲ میزان رواناب با میزان رسوب و درصد ماسه رابطه منفی دارد، یعنی با افزایش آن‌ها میزان حجم رواناب کم می‌شود. ولی از سوی دیگر حجم رواناب با میزان رس رابطه مثبت دارد و با افزایش درصد رس میزان حجم رواناب افزایش می‌یابد. همچنین میزان رسوب با حجم رواناب و درصد رس رابطه منفی داشته و با درصد ماسه رابطه مثبت دارد. زیرا هرچه ذرات تشکیل دهنده واحد سازنده ریزتر باشد قدرت چسبندگی بیشتر شده و میزان رواناب و رسوب کاهش می‌یابد و بالعکس. همچنین حد روانی و اندیس پلاستیسیته با میزان رسوب رابطه مثبت دارد ولی مشابه برخی تحقیقات گذشته (Nikkami et al., ۲۰۰۵) هیچکدام از عوامل فیزیکی با میزان رواناب رابطه ندارد. میانگین میزان رسوب در واحد M۳ با حد روانی و اندیس پلاستیسیته رابطه مستقیم و با حد خمیری رابطه معکوس دارد. همچنین میزان رواناب در واحد M۳ نیز با حد روانی و اندیس پلاستیسیته رابطه مثبت و با حد خمیری رابطه منفی دارد. در واحد M۲ با حد روانی و اندیس پلاستیسیته رابطه مستقیم و با حد خمیری رابطه معکوس دارد و همچنین میزان رواناب واحد M۲ با اندیس پلاستیسیته و حد روانی رابطه منفی و با حد خمیری رابطه مثبت دارد. طبق نتایج بدست آمده واحد M۳ دارای ذرات درشت‌تری نسبت به واحد M۲ بوده و قابلیت فرسایش‌پذیری بیشتری دارد. بنابراین مطابق بسیاری از مطالعات، بافت خاک یکی از عوامل مهم و موثر بر فرسایش‌پذیری خاک می‌باشد. مطالعات میر و هارمون (Meyer&Harmon,۱۹۸۴,۱۱۵۵) نشان داده خاک‌های با بافت ریز و چسبندگی زیاد به سختی از هم جدا می‌شوند ولی به راحتی انتقال می‌یابند. در مقابل، خاک‌های درشت بافت، راحت‌تر جدا شده ولی در انتقال مشکل داشته و رسوب کمتری نسبت به خاک‌های ریز ایجاد می‌کنند. عموما خاک‌های سیلتی و لومی/سیلتی بسیار فرسایش پذیر و خاک‌های با رس زیاد دارای قابلیت فرسایش‌پذیری کمتری هستند. خاک‌های لومی و لومی/شنی فرسایش‌پذیری متوسط دارند. بر اساس نتایج دانه‌بندی ذرات مارن‌های منطقه بین اشکال مختلف فرسایشی در مقدار درصد گراول، ماسه، سیلت و رس اختلاف وجود دارد که تنها میزان درصد رس دارای اختلاف معنی‌دار است. میزان درصد رس در نمونه‌ها از اشکال فرسایشی سطحی به خندقی کاهش می‌یابد (جدول۲). بنابراین می‌توان مقدار درصد رس را به عنوان عوامل تعیین کننده شدت و نوع فرسایش در مارن‌های منطقه لاتشور قلمداد کرد. نتایج مطالعات (Wichmeier et al.,۱۹۷۱, ۱۹۲; Luk, ۱۹۷۹, ۲۵۱) که به طور جداگانه

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.3.3.21]

انجام شده‌اند، نشان می‌دهند که با افزایش میزان رس خاک، فرسایش‌پذیری کاهش و با افزایش سیلت، فرسایش‌پذیری خاک افزایش می‌یابد (حسن زاده نفوتی،۱۳۸۳،۱۷۱).

در بررسی ارتباط بین اشکال فرسایش با میزان عناصر می توان مشاهده نمود که حداقل مقدار یون کلسیم مربوط به فرسایش خندقی است. بین میانگین مقدار یون کلسیم در اشکال مختلف فرسایشی، اختلاف وجود دارد اما با توجه به نتایج تجزیه متغیرها (جدول ۴) این اختلاف معنی‌دار نیست و می توان بخشی از آن را برای خطای آزمایش در نظر گرفت. همچنین مقادیر یون منیزیم در بین اشکال مختلف فرسایشی اختلاف معنی‌داری ندارند. یون‌های منیزیم نیز نقشی مانند سدیم داشته و در خاک‌هایی که غلظت آن نسبت به کلسیم بالا باشد (یا از طریق هوازدگی کانی‌های خاک آزاد شده یا از طریق افزایش دولومیت)، حالتی مثل خاک‌های سدیک به آنها خواهد داد. منیزیم در سایت‌های تبادلی، دیسپرسه شدن خاک را افزایش داده و در نتیجه منجر به ایجاد سله سطحی و کاهش رواناب می‌شود. علت این است که انرژی آبپوشی منیزیم به نسبت کلسیم کمتر بوده و در نتیجه ضخامت لایه آبپوشیده بیشتری دارد که باعث افزایش فاصله بین لایه‌های رس و کاهش نیروی الکترواستاتیک بین ذرات رس شده و منجر به دیسپرسه شدن می‌شود. هر چه میزان نسبت منیزیم به کلسیم در خاک‌ها افزایش یابد، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها کاهش یافته و فرسایش و سله سطحی افزایش می‌یابد (Dontsova & Norton,۲۰۰۱,۴۵). مقدار یون پتاسیم حداقل مربوط به فرسایش آبراهه‌ای و مقدار حداکثر آن مربوط به فرسایش خندقی بوده (جدول۵) و هیچ اختلاف معنی‌داری بین اشکال مختلف فرسایش در مقدار یون پتاسیم وجود ندارد. در مورد یون سدیم، حداقل و حداکثر مقدار یون سدیم به ترتیب مربوط به فرسایش صفحه‌ای و خندقی است. یون سدیم دارای یک روند افزایشی از فرسایش صفحه‌ای به خندقی می‌باشد. بین تمام اشکال فرسایشی از نظر یون سدیم اختلاف معنی داری وجود دارد. بنابراین اینجا نیز می‌توان یون سدیم را به عنوان یک شاخص برای تفکیک اشکال مختلف فرسایشی قلمداد کرد(Bouma &Imeson,۲۰۰۰,۱۶۲;Vacher et al.,۲۰۰۴, ۱۵۱). مقدار میانگین نسبت جذبی سدیم در مارن‌های مورد مطالعه دارای روند افزایشی از فرسایش صفحه‌ای به خندقی است. بین همه اشکال فرسایشی در میزان نسبت جذب سدیم اختلاف معنی دار وجود دارد. بنابراین می‌توان مقدار نسبت جذب سدیم را نیز به عنوان عوامل تعیین کننده شدت و نوع فرسایش در مارن‌ها قلمداد کرد(قدیمی، ۱۳۷۸،۹۲۵;Bouma & Imeson,۲۰۰۰,۱۶۳).بطور کلی در واحدهای مارنی اشکال فرسایشی مختلف دیده می‌شود ولی اشکال فرسایشی غالب در مارن‌های منطقه لاتشور از انواع فرسایش سطحی، آبراهه‌ای و خندقی است. لذا بررسی‌های آماری بیشتر برای این سه فرسایش انجام شده است. پراکندگی داده‌ها به ویژه در مورد میزان یون سدیم، SAR و رس در اشکال مختلف فرسایشی وجود دارد.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.3.3.21]

جدول۲: همبستگی بین میزان رسوب وحجم رواناب و اندازه ذرات در واحدهای مارنی و غیرمارنی

		میانگین حجم رواناب(cc)	میانگین میزان رسوب(gr)	درصد رس	درصد سیلت	درصد ماسه	درصد گراول
میانگین حجم رواناب(cc)	Pearson Correlation	۱					
	Sig. (۲-tailed)						
میانگین میزان رسوب(gr)	Pearson Correlation	۵۸۷۰/	۱				
	Sig. (۲-tailed)	۱۶۶۰/					
درصد رس	Pearson Correlation	۰۶۸۰/	۶۶۹۰/	۱			
	Sig. (۲-tailed)	۸۸۵۰/	۱۰۰۰/				
درصد سیلت	Pearson Correlation	۶۰۹۰/	۹۶۳(**)۰/	۶۸۲۰/	۱		
	Sig. (۲-tailed)	۱۴۷۰/	۰۰۰۰/	۰۶۳۰/			
درصد ماسه	Pearson Correlation	۴۰۴۰/-	۹۳۲(**)۰/-	۷۴۰(*)۰/-	۹۴۸(**)۰/-	۱	
	Sig. (۲-tailed)	۳۶۹۰/	۰۰۲۰/	۰۳۶۰/	۰۰۰۰/		
درصد گراول	Pearson Correlation	۶۳۰۰/-	۸۹۶(**)۰/-	۶۴۲۰/-	۸۶۶(**)۰/-	۸۳۶(**)۰/	۱
	Sig. (۲-tailed)	۱۲۹۰/	۰۰۶۰/	۰۸۶۰/	۰۰۵۰/	۰۱۰۰/	

برای پی بردن به این که پراکندگی زیاد متغیرها بین میانگین‌های هرگروه حاصل شانس و خطای نمونه‌گیری است یا حاصل یک تفاوت منظم، می‌توان از آنالیز تحلیل واریانس آنووا استفاده کرد. در این قسمت یک روش آماری جهت تحلیل اطلاعات آماری از یک طرح یک متغیری با دو یا بیش از دو جامعه مستقل ارائه می‌گردد. این روش تحلیل واریانس یک متغیری (ANOVA) نامیده می‌شود.

جدول۳: همبستگی بین میزان رسوب وحجم رواناب و حدود آتربرگ در واحدهای مارنی و غیرمارنی

		میانگین حجم رواناب(cc)	میانگین میزان رسوب(gr)	حد روانی	حد خمیری	اندیس پلاستیسیته
میانگین حجم رواناب(cc)	Pearson Correlation	۱				
	Sig. (۲-tailed)					
میانگین میزان رسوب(gr)	Pearson Correlation	۵۸۷۰/	۱			
	Sig. (۲-tailed)	۱۶۶۰/				
حد روانی	Pearson Correlation	۰۸۴۰/	۷۷۳(*)۰/	۱		
	Sig. (۲-tailed)	۸۵۸۰/	۰۴۱۰/			
حد خمیری	Pearson Correlation	۱۳۰۰/-	۵۶۱۰/	۹۴۹(**)۰/	۱	
	Sig. (۲-tailed)	۷۸۱۰/	۱۹۱۰/	۰۰۰۰/		
اندیس پلاستیسیته	Pearson Correlation	۳۴۲۰/	۹۲۵(**)۰/	۹۱۷(**)۰/	۷۴۵(*)۰/	۱
	Sig. (۲-tailed)	۴۵۳۰/	۰۰۳۰/	۰۰۱۰/	۰۳۴۰/	

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.3.3.21]

با استفاده از این روش می‌توان فرضیه‌های مربوط به وجود تفاوت بین میانگین‌های دو یا بیش از دو جمله را مورد آزمایش قرار داد (طالبی و پورکرمان،۱۳۹۱،۴). افزایش میزان هدایت الکتریکی خاک، نشانگر افزایش مواد قابل انحلال موجود در آن می‌باشد. مقادیر زیاد هدایت الکتریکی در محلول خاک که بیشترین یون‌های تشکیل دهنده آن سدیم باشد، باعث انبساط شدید در خاک و دیسپرسه شدن آن می‌شود (Yilmaz et al.,۲۰۰۵, ۳۳). میانگین مقادیر میزان هدایت الکتریکی در نتایج بدست آمده از نمونه‌های منطقه دارای اختلاف است ولی این اختلاف خیلی معنی‌دار نمی‌باشد.

روش رگرسیون چند متغیره برای بدست آوردن روابط موجود بین گروهی ازمتغیرها در کلیه رشته های علوم کاربرد دارد. شکل کلی رگرسیون خطی چندمتغیره به صورت زیراست: (Y=B۰+B۱Y۱+B۲Y۲+..... +Bn Yn+ e) که در آن: Yمتغیر وابسته ،Yn: متغیرهای مستقل، Bn: ضرایب رگرسیون و eمؤلفه خطاست.بخش اولیه تجزیه تحلیل رگرسیونی چند متغیره، شامل گزینش متغیرهاست که از روابط گزینش پیش رونده، حذف پس رونده و رگرسیون گام به گام استفاده می شود. روش گام به گام از ترکیب دو روش اول و دوم (پیش رونده، حذف پس رونده) بدست آمده و یکی از دقیق ترین روش های گزینش متغیرها می باشد(Akgün & Türk, ۲۰۱۱ ؛Terranova et al., ۲۰۰۹). در این تحقیق از روش رگرسیون چند متغیره برای تعیین رابطه بین رسوب، رواناب(متغیرهای وابسته) باخصوصیات فیزیکی، شیمیایی و مکانیکی زیرواحدهای نئوژن(متغیرهای مستقل) استفاده شده است. معادلات رگرسیون حاصل از این مطالعه به شرح زیر می باشند:

$$\breve{Y} = a+ b۱x۱+b۲X۲+b۳x۳ =۱۲۱۷.۸۱۰+ (-۱۲.۹۱۷X۱) + ۰.۱۷۷ X۲+ (-۱۱.۳۴۱X۳)$$

$$\breve{Y} = a+ b۱x۱+b۲X۲+b۳x۳ =۱۱۷.۴۲۸+(-۰.۸۵۶X۱)+(-۱.۰۰۳)X۲+(-۰.۹۳۴X۳)$$

$$\breve{Y} = a+ b۱x۱+b۲X۲+b۳x۳ =۹۹۷.۱۰۶+ (-۱۷.۸۱۷X۱) +(۲۵.۸۱۰) X۲$$

$$\breve{Y} = a+ b۱x۱+b۲X۲+b۳x۳ =۱۷.۴۶۰+(-۱.۴۱۵X۱)+(۷.۵۲۹) X۲$$

طبق نتایج حاصل از معادلات رگرسیون فوق، بین عوامل فیزیکی با میزان رواناب ۸۹/۱ رابطه مستقیم وجود دارد. عوامل فیزیکی به تنهایی و بدون در نظر گرفتن سایر خصوصیات تعیین کننده میزان رواناب ۷۹/۴ درصد در میزان تولید رواناب نقش دارند. با توجه به ضریب استاندارد تفکیک رگرسیون، می توان نتیجه گرفت که بین درصد رس و درصد گراول با میزان رواناب رابطه منفی وجود دارد و بین درصد ماسه و میزان رواناب رابطه مثبت کمی وجود دارد. همچنین بین عوامل فیزیکی با میزان رسوب۹۶/۴ رابطه مستقیم وجود دارد عوامل فیزیکی به تنهایی ۹۶/۲۶ درصد در تولید میزان رسوب نقش دارد. با توجه به ضریب استاندارد تفکیک رگرسیون، می توان نتیجه گرفت که بین درصد رس و درصد گراول و درصد ماسه با میزان رسوب رابطه منفی وجود دارد.طبق نتایج حاصل از رگرسیون بین عوامل مکانیکی با میزان رواناب۶۶/۱ رابطه مستقیم وجود دارد و عوامل مکانیکی به تنهایی ۴۳/۷درصد در میزان تولید رواناب نقش دارد. بین حد خمیری و میزان رواناب رابطه منفی و بین اندیس پلاستیسیته و میزان رواناب رابطه مثبت وجود دارد. بعلاوه بین عوامل مکانیکی با میزان رسوب۹۴/۲رابطه مستقیم وجود دارد و عوامل فیزیکی به تنهایی ۸۸/۸ درصد در تولید میزان رسوب نقش دارند. با توجه به ضریب استاندارد تفکیک رگرسیون، می توان نتیجه گرفت که بین حد خمیری و میزان رسوب رابطه منفی و بین اندیس پلاستیسیته و میزان رسوب رابطه مثبت وجود دارد. همانطور که می دانیم اگر اعداد همبستگی مثبت باشد رابطه بین مواد مستقیم است یعنی با افزایش یک ماده آن یکی ماده نیز افزایش می‌یابد. در جداول مشاهده می‌شود که بین EC با $HCO_۳$ ، Clو Caرابطه مستقیمی وجود دارد.همچنین pHو $CO_۳$ با هیچکدام از عوامل مقایسه رابطه ای ندارند.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.3.3.21]

جدول۴: ضریب همبستگی اسپیرمن جهت آزمون رابطه ی بین برخی متغیرهای شیمیایی

		EC	PH	CO۳	HCO۳	CL	SO۴	Ca
EC	Correlation Coefficient	۱.۰۰۰	.۲۸۶	.۱۲۶	-.۸۴۷**	.۷۷۸*	.۹۵۲**	.۷۸۶*
	Sig. (۲-tailed)	.	.۴۹۳	.۷۶۶	.۰۰۸	.۰۲۳	.۰۰۰	.۰۲۱
	N	۸	۸	۸	۸	۸	۸	۸
PH	Correlation Coefficient	.۲۸۶	۱.۰۰۰	.۵۰۴	-.۲۸۲	.۵۱۵	.۰۴۸	-.۲۶۲
	Sig. (۲-tailed)	.۴۹۳	.	.۲۰۳	.۴۹۸	.۱۹۲	.۹۱۱	.۵۳۱
	N	۸	۸	۸	۸	۸	۸	۸
CO۳	Correlation Coefficient	.۱۲۶	.۵۰۴	۱.۰۰۰	-.۱۳۰	.۰۶۳	.۰۰۰	.۰۰۰
	Sig. (۲-tailed)	.۷۶۶	.۲۰۳	.	.۷۵۹	.۸۸۱	۱.۰۰۰	۱.۰۰۰
	N	۸	۸	۸	۸	۸	۸	۸
HCO۳	Correlation Coefficient	-.۸۴۷**	-.۲۸۲	-.۱۳۰	۱.۰۰۰	-.۸۴۰**	-.۷۳۷*	-.۷۳۷*
	Sig. (۲-tailed)	.۰۰۸	.۴۹۸	.۷۵۹	.	.۰۰۹	.۰۳۷	.۰۳۷
	N	۸	۸	۸	۸	۸	۸	۸
CL	Correlation Coefficient	.۷۷۸*	.۵۱۵	.۰۶۳	-.۸۴۰**	۱.۰۰۰	.۶۴۷	.۵۰۳
	Sig. (۲-tailed)	.۰۲۳	.۱۹۲	.۸۸۱	.۰۰۹	.	.۰۸۳	.۲۰۴
	N	۸	۸	۸	۸	۸	۸	۸
SO۴	Correlation Coefficient	.۹۵۲**	.۰۴۸	.۰۰۰	-.۷۳۷*	.۶۴۷	۱.۰۰۰	.۸۸۱**
	Sig. (۲-tailed)	.۰۰۰	.۹۱۱	۱.۰۰۰	.۰۳۷	.۰۸۳	.	.۰۰۴
	N	۸	۸	۸	۸	۸	۸	۸

همچنین می‌توان طبق جدول HCO_3 با EC ، Cl، Caو SO_4 رابطه مستقیم با یکدیگر دارند. اما Cl تنها با HCO_3 و SO_4 با HCO_3 و Ca و Ca با HCO_3 و SO_4 با یکدیگر رابطه مستقیم دارند. همچنین هیچکدام از عوامل بالا با یکدیگر رابطه معکوس ندارند. در جدول مشاهده می‌شود که K،Mg، CEC، TNV،$CaSO_4$ با هیچ‌یک از عوامل رابطه‌ای ندارند. تنها Naو OCبا یکدیگر رابطه مستقیم دارند. حد روانی، حد خمیری و وزن رسوب هیچگونه تأثیری بر یکدیگر ندارند.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.3.3.21]

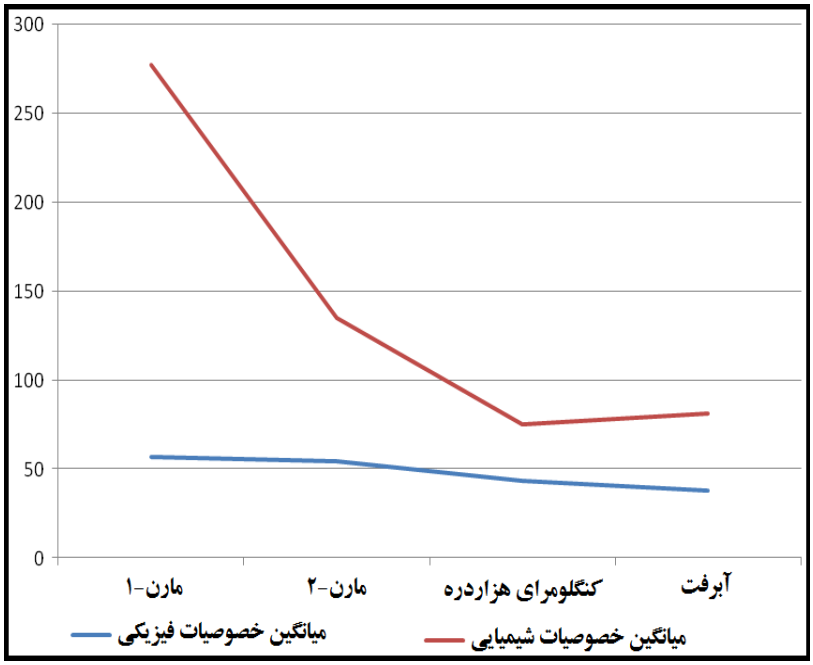
جدول ۵: همبستگی بین میزان رواناب و رسوب حاصله در کل واحدهای مارنی و غیر مارنی و شاخص‌های خصوصیات شیمیایی

		EC	PH	CO۳	HCO۳	CL	SO۴	Ca	Mg	Na	K	CEC	TNV	OC	CaSO۴
میزان رواناب و رسوب حاصله	مقدار R	.۴۳۰	-.۶۰۱	.۰۳۱	-.۶۴۷	.۳۰۰	.۴۹۶	.۷۲۸*	.۸۹۸**	.۳۳۰	.۴۴۹	-.۰۹۶	.۴۴۳	-.۲۹۳	.۲۵۸
	Sig. (۲-tailed)	.۲۸۸	.۱۱۵	.۹۴۱	.۰۸۳	.۴۷۱	.۲۱۱	.۰۴۱	.۰۰۲	.۴۲۵	.۲۶۴	.۸۲۱	.۲۷۲	.۴۸۱	.۵۳۸

جدول ۶: آمار توصیفی متغیرهای اصلی تحقیق

متغیرهای اصلی	میانگین	انحراف معیار	مینیمم	ماکزیمم
خصوصیات فیزیکی	۴۸.۶۰۸۶	۸.۹۵۷۰۱	۳۴.۴۹	۵۸.۲۶
خصوصیات شیمیایی	۱۳۱.۸۲۵۰	۹۴.۶۷۹۶۸	۵۷.۶۱	۳۱۴.۹۵
میزان رواناب و رسوب حاصله	۹۹۳.۹۴۸۳	۲۳۹.۶۹۴۸۵	۵۴۵.۰۲	۱۳۳۶.۳۷

نتایج آزمون ANOVA نیز نشان داد که بطور کلی خصوصیات فیزیکی در واحدهای مارنی مختلف، تفاوت معناداری دارند(جدول۶). اگر میانگین کل خصوصیات فیزیکی و شیمیایی را با میزان تولید رسوب و رواناب حاصله در واحدها مقایسه کنیم (شکل۷) می توان مشاهده نمود که واحدهای مارنی و فرسایش پذیر نسبت به واحدهای کنگلومرایی و آبرفتی مقادیر بالاتری را داشته و بهمین دلیل تنوع و وفور یونهای مختلف تمایل بیشتری به شرکت در واکنشهای مختلف هوازدگی و فرسایشی دارند.



شکل ۷: ارتباط میانگین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی با میزان فرسایش در واحدهای مارنی و غیرمارنی منطقه مورد مطالعه

نتیجه گیری

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.3.3.21]

این تحقیق با هدف بررسی رابطه خصوصیات فیزیکی و شیمیایی واحدهای رسوبی مختلف منطقه لاتشور با میزان فرسایش خاک و تولید رواناب در هر واحد انجام شده است. از دیدگاه خصوصیات فیزیکی رسوبات واحدهای مارنی منطقه دارای جورشدگی بد و اغلب اندازه‌هایی در حد سیلت دارند و اکثر نمونه ها در محدوده سیلت رسی و سیلت ماسه ای قرار می گیرند. اما میزان رس در نمونه ها کمتر از حد انتظار بوده و نامگذاری مارن بر روی برخی واحدها را با شک و تردید همراه نمود. پارامتر دانه بندی بخوبی واحدهای مختلف مارنی، رسوبات پایین دستی کواترنر و کنگلومرای هزاردره را تفکیک می کند. حدود آتربرگ نیز حاکی از استقرار اغلب نمونه ها در محدوده CL,ML بوده و بین واحدهای کاری مختلف منطقه تمایز خوبی ایجاد نموده و با در نظر گرفتن میزان رواناب و رسوب می تواند دلیل بر فرسایش پذیری برخی واحدها محسوب گردد. در بین خصوصیات شیمیایی نیز میزان پارامترهای یونهای سدیم، سولفات، کلر، کاتیون قابل تبادل، هدایت الکتریکی، ، با فراوانی انواع لندفرمهای فرسایشی رابطه مستقیم داشته و یونهای بی کربنات، پتاسیم رابطه ای معکوس داشته اند.

منابع

اسماعیل نژاد، لیلا، رمضانپور، حسن، شعبانپور، محمود. ۱۳۸۶. *خواص فیزیکوشیمیایی و فیزیولوژیکی مارنها و اثر آنها بر فرسایش خاک در جنوب استان گیلان*، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه گیلان،۱۷۵صفحه.

حاتمیان، زهرا. ۱۳۹۰. *استفاده از شبیه ساز باران در تشخیص میزان فرسایش پذیری مارنهای اشتهارد*، پایان نامه کارشناسی ارشد رسوب شناسی دانشگاه آزاد اسلامی تهران شمال،استاد راهنما: حمیدرضا پیروان، خلیل رضایی، ۱۴۰ صفحه.

حسن زاده نفوتی، محمد.۱۳۸۳. *مطالعه ویژگیهای موثر بر فرسایش پذیری مارنها*، رساله دکتری، دانشگاه آزاد اسلامی علوم و تحقیقات تهران، استاد راهنما: حسن احمدی،۱۹۰صفحه.

حشمتی، محمدحسن.۱۳۷۶. *خواص فیزیکی، شیمیایی،فرسایش پذیری و رسوبزایی سازندهای پابده، گچساران و آغاجاری در ناحیه قصرشیرین*، پایان نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه تهران، استاد راهنما: ۱۸۵صفحه.

خامه چیان، محمد. ۱۳۶۹. *بررسی خصوصیات فیزیکی و مکانیکی سنگهای مارنی و رسی*، پایان نامه کارشناسی ارشد زمین شناسی مهندسی دانشگاه تربیت مدرس، استاد راهنما: حسین معماریان، ۱۶۰ص.

خدادادی، ابوذر. ۱۳۹۳. *بررسی مکانیسم و شاخصهای فرسایش پذیری مارنها و نهشته های کواترنر لاتشور ساوه با استفاده از شبیه ساز باران*، پایان نامه کارشناسی ارشد رسوب شناسی دانشگاه خوارزمی تهران،استاد راهنما: خلیل رضایی و فرج ا... فیاضی، ۱۵۰ص.

دهقانی، نفیسه. ۱۳۹۲.*مطالعه مکانیسم ها و شاخص فرسایش پذیری مارنهای سازند قرمز بالایی در حسن آباد جنوب تهران*، پایان نامه کارشناسی ارشد رسوب شناسی، دانشگاه آزاد تهران شمال، استاد راهنما: خلیل رضایی ،۱۴۵صفحه.

رضایی، خلیل.۱۳۹۲. *رسوب شناسی*. انتشارات شینه، ۳۵۵صفحه.

رفاهی، حسینقلی. ۱۳۸۶. *فرسایش آبی و کنترل آن*. چاپ سوم، انتشارات دانشگاه تهران،۳۴۰صفحه.

ستایش، عبدالمتین. ۱۳۹۴. *مکانیک خاک در مهندسی عمران*. انتشارات دانشگاه تهران، ویرایش دوم،۱۶۵صفحه.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.3.3.21]

عالیخانی، الهه. ۱۳۹۱. *تعیین ساز و کارهای فرسایش خاک در حوضه آبخیز لاتشور با استفاده از شبیه ساز باران*، پایان نامه کارشناسی ارشد رسوب شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی تهران شمال، استاد راهنما: حمیدرضا پیروان، خلیل رضایی، ۱۶۲ص.

قدیمی عروس محله، فریدون، پورمتین، علی، قدوسی. جواد، ۱۳۷۸، *تاثیر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی مارنها در ایجاد اشکال فرسایش*، اولین کنفرانس زمین شناسی مهندسی و محیط زیست ایران،۹۱۹-۹۲۹.

طالبی، آیدا، پورکرمان، محمد.۱۳۹۱. *متغیرهای فیزیکی و شیمیایی مارنها و تاثیر آنها بر اشکال مختلف فرسایش در حبله رود*، هفتمین همایش زمین شناسی مهندسی و محیط زیست، دانشگاه صنعتی شاهرود.

Akgün, A., & Türk, N. (۲۰۱۱). *Mapping erosion susceptibility by a multivariate statistical method: a case study from the Ayvalık region, NW Turkey*.Computers & Geosciences, **۳۷**(۹), ۱۵۱۵-۱۵۲۴.

Arenaz, J. (۲۰۰۶). *Factors affecting runoff and erosion under simulated rainfall in Mediterranean vineyards*. Soil & Tillage Research, ۱۲- ۱۳۲.

Arthur, E., Cornelis, W. M., Vermang, J., & De Rocker, E. (۲۰۱۱). *Effect of compost on erodibility of loamy sand under simulated rainfall*. Catena, **۸۵**(۱), ۶۷-۷۲.

Bouma, N. A., & Imeson, A. C. (۲۰۰۰). *Investigation of relationships between measured field indicators and erosion processes on badland surfaces at Petrer, Spain*. Journal of Catena, **۴۰**, ۱۴۷-۱۷۱.

Burt, R. (۲۰۰۴). *Soil Survey Laboratory Methods Manual*. United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service, USA, **۷۰۰**.

Cerdan.O , Govers.G, Le Bissonnais.Y, Van Oost.K, Poesen.J, N. Saby, Gobin.A, Vacca.A, Quinton.J, Auerswald.K, Klik.K,. Kwaad.F.J.P.M, Raclot.D, Ionita.I, Rejman .J, Rousseva.S, Muxart.T, Roxo.M.J, Dostal.T,۲۰۱۰, *Soil Erosion Simulation*, journal Elsevier, Geomorphology **۱۲۲** (۲۰۱۰) ۱۶۷–۱۷۷.

Dontsova, K. & Norton, L.D. (۲۰۰۱). *Effects of exchangeable Ca:Mg ratio on soil clay flocculation, infiltration and erosion*. National Soil Erosion Research Laboratory. USDA-ARS.

García-Orenes, F., Cerdà, A., Mataix-Solera, J., Guerrero, C., Bodí, M. B., Arcenegui, V. & Sempere, J. G. (۲۰۰۹). *Effects of agricultural management on surface soil properties and soil–water losses in eastern Spain*. Soil and Tillage Research, **۱۰۶**(۱), ۱۱۷-۱۲۳.

Grubin, M. K. & Bryan, R. (۲۰۱۱). *Clay mineralogy as a crucial factor in badland hillslope processes*. Geophysical Research Abstracts, Vol. **۱۳**, EGU, ۲۰۱۱-۱۳۹۶۶.

Jin, K., Cornelis, W. M., Gabriels, D., Schiettecatte, W., Neve, S. D., Lu, J., Buysse, T., Wu, H., cal, D., Jin, J., & Harmann, R. (۲۰۰۸). *Soil management effects on runoff and soil loss from field rainfall simulation*. Vol, **۷۵**. Issue۲, ۱۹۱-۱۹۹.

Katuwal, S., Vermang, J., Cornelis, W. M., Gabriels, D., Moldrup, P., & de Jonge, L. W. (۲۰۱۳). *Effect of root density on erosion and erodibility of a loamy soil under simulated rain*. Soil Science, **۱۷۸**(۱), ۲۹-۳۶.

Lado, M., Paz, A., & Ben-Hur, M. (۲۰۰۴). *Organic matter and aggregate size interactions in saturated hydraulic conductivity*. Soil Science Society American Journal, ۶۸, ۲۳۴-۲۴۲.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.3.3.21]

Luk, S. H. (۱۹۷۹) . *Effect of soil properties on erosion by wash and splash*. Earth Surf. Processe and Landforms., Vol. **۴**., ۲۴۱-۲۵۵.

Memarian, H. (۱۹۹۵). *Engineering geology and Geotechnic*, Tehran University pub., ۹۸۶p.

Meyer, L. D., & Harmon. W. C. (۱۹۸۴). Susceptibility of agricultural soil to interrill erosion. Soil Sci Soc. Am. J.Vol.**۴۸**, PP۱۱۵۲-۱۱۵۷.

Nikkami D., Jafari Ardakani A., Bayat Movahed F., and Razmjoo P. (۲۰۰۵), *The effect of plough on rain-fed farm soil erosion. Proc. of international conference on human impacts on soil quality attributes, Isfahan, Iran*. International Journal of Sediment Research, Vol. **۲۳**, No. ۴, ۲۰۰۸, pp. ۳۷۶–۳۸۶(In Persian).

Ownegh, M., & Nohtani, M. (۲۰۰۴, July). *Relationship between geomorphologic units and erosion and sediment yield in Kashidar watershed, Golestan Province*, Iran. In S. R. Raine, A. J. W. Biggs, N. W. Menzies, D. M. Freebairn, & P. E. Tolmie (Eds.), Proceedings of ISC (Vol. **۱۳**).

Page, A. L., Miller, R. H. & Keeney, D. R. (۱۹۸۲). *Methods of Soil Analysis Part ۲: Chemical and Microbiological Properties*. ۲nd ed., American Society Agronomy, Journal of Soil Science Society American, Madison, Wisconsin, USA. ۱۱۵۹.

Rienks.S.M. & Both, J. (۲۰۰۰). *Some physical and chemical properties of sediment exposed in a gully in northern Kwazula Natal, South Africa and their relation ship to the erodibility of the coluvial layers*. Catena. V.**۴۰**, ۱۵۳- ۱۶۷.

Romero-Diaz, A., Alonso-Sarriá, F., & Martínez-Lloris, M. (۲۰۰۷). *Erosion rates obtained from check-dam sedimentation (SE Spain)*. A multi-method comparison. Catena, **۷۱**(۱), ۱۷۲-۱۷۸.

Sepaskhah, A. R., & Shahabizad, V. (۲۰۱۰). *Effects of water quality and PAM application rate on the control of soil erosion, water infiltration and runoff for different soil textures measured in a rainfall simulator*. Biosystems engineering,**۱۰۶**(۴), ۵۱۳-۵۲۰.

Terranova, O., Antronico, L., Coscarelli, R., & Iaquinta, P. (۲۰۰۹). *Soil erosion risk scenarios in the Mediterranean environment using RUSLE and GIS: an application model for Calabria (southern Italy)*. Geomorphology, **۱۱۲**(۳), ۲۲۸-۲۴۵.

Vacher, C. A., Raine, S. R. & Loch, R. J. (۲۰۰۴). *Testing procedures to characterize tunneling risk on soil materials. ۱۳th International Soil Conservation Organization Conference- Brisbane*. July ۲۰۰۴ (ISCO).

Vahabi, J., & Nikkami, D. (۲۰۰۸). *Assessing dominant factors affecting soil erosion using a portable rainfall simulator. International Journal of Sediment Research*, **۲۳**(۴), ۳۷۶-۳۸۶.

Vermang, J., Norton, L. D., Huang, C., Cornelis, W. M., da Silva, A. M., & Gabriels, D. (۲۰۱۵). *Characterization of Soil Surface Roughness Effects on Runoff and Soil Erosion Rates under Simulated Rainfall*. Soil Science Society of America Journal, **۷۹**(۳), ۹۰۳-۹۱۶.

Wakindiki, I. I. C., & Ben-Hur, M. (۲۰۰۲). *Soil mineralogy and texture effects on crust micromorphology, infiltration and erosion*. Journal of Soil Science Society American, **۶۶**, ۵۹۷-۶۰۵.

Wichmeier, W. H., Johnson, C. B., & Cross, B. V. (۱۹۷۱). *A Soil erodibility nomograph for farmland and construction sites*, J . Soil and Water Conser, Vol. **۲۶**, ۱۸۹-۱۹۳.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.3.3.21]

Yilmaz, K., Eluk, U., Kapur, S., & Ryan, J. (۲۰۰۵). *Clay Minerals, Ca/Mg Ratio and Fe-Al-Oxides in Relation to Structural Stability, Hydraulic Conductivity and Soil Erosion in Southeastern Turkey*. Turk J Agric For **۲۹** (۲۰۰۵) ۲۹-۳۷.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.3.3.21]