

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

خلیل رضایی^۱، استادیار زمین شناسی، گروه زمین شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.

پذیرش نهایی: ۱۳۹۵/۰۵/۳۰

دریافت مقاله: ۱۳۹۴/۱۱/۲۸

چکیده

فرسایش یکی از پدیده های مخرب و پیوسته ای است که نمی توان از آن جلوگیری کرد و فقط می توان با مطالعه خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک، آنرا تا حدی کنترل نمود. مارن ها یکی از مهمترین واحدهای رسوبی در ایران می باشند که به لحاظ ویژگی های فیزیکی - شیمیایی از رسوبزایی و فرسایش پذیری زیادی برخوردار هستند. این خاصیت مارن ها سبب خسارات زیست محیطی و عمرانی زیادی شده و از این رو مطالعه فرسایش و رسوبزایی واحدهای مارنی ضروری می باشد. یکی از نکات مهم در مورد مارن ها ماهیت دانه بندی و عناصر موجود در آنها و تأثیر این دو موضوع در میزان فرسایش می باشد. در پژوهش حاضر به بررسی ویژگی های فیزیکی - شیمیایی واحدهای مارنی و تأثیر آن بر اشکال مختلف فرسایشی در منطقه لانتشور پاکدشت پرداخته شده است. بدین منظور علاوه بر نمونه برداری از رسوبات، آزمایش شبیه سازی باران (به کمک دستگاه شبیه ساز 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 اندازه گیری گردید. در تجزیه و تحلیل داده ها از روش همبستگی پیرسون، اسپیرمن و مقایسه میانگین ها 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 معنی دار می باشند. بصورتیکه میزان میانگین یون سدیم و سولفات از فرسایش سطحی به فرسایش خندقی در مارن های منطقه افزایش یافته و میزان میانگین درصد رس از فرسایش سطحی به فرسایش خندقی کاهش و میزان سیلت افزایش می یابد. نهایتاً چهار متغیر یون سدیم، هدایت الکتریکی یا EC، سولفات و درصد سیلت نمونه ها را می توان عواملی تأثیرگذار در توسعه فرسایش و ایجاد اشکال مختلف فرسایشی در مارن های منطقه دانست.

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

مقدمه

یکی از معضلات و مخاطرات طبیعی بزرگ امروز کشورمان فرسایش خاک است که متأسفانه 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 عمر مفید و بهره‌وری آنها، وقوع سیلاب‌های مکرر، از بین رفتن زیرساخت‌ها، جاده‌ها و زمین‌های کشاورزی و آلوده شدن آب شرب، شده است (رفاهی، ۱۳۸۳، ۸). 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 می‌تواند 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 می‌بایست 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 می‌باشد. در واقع هر خاصیتی از خاک که بتواند مانع جدا شدن ذرات خاک و انتقال آن شود، فرسایش پذیری خاک را کاهش می‌دهد (رفاهی، ۱۳۸۶، ۱۵). محققان متعددی سعی کرده‌اند بین میزان فرسایش پذیری خاک و خصوصیات مختلف آن ارتباط برقرار سازند. این مطالعات با دامنه وسیعی از روش‌ها، در خاک‌های متفاوت، شرایط اقلیمی و روش‌های 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 می‌گیرد (Katuwal et al., ۲۰۱۱; Arthur et al., ۲۰۱۵; Vermang et al., ۲۰۱۳; 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 بهره‌برداری قرار گرفته‌اند 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، ۱۳۹۶). 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 et al., ۲۰۰۲، ۶۰۱). همچنین افزایش مقدار هدایت الکتریکی خاک نشانگر افزایش مواد قابل انحلال موجود در آن بوده و عاملی اساسی در شکل‌گیری و ایجاد آبکنده‌های جبهه‌ای به حساب می‌آید. بافت و کانی‌های خاک تأثیر 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 نهایتاً فرسایش‌پذیری کاهش می‌یابد (Lado et al., ۲۰۰۴، ۲۳۹).

محل انتخاب شده برای این پژوهش، منطقه‌ی لاتشور، به علت نوع سازندهای موجود دچار فرسایش‌های زیادی می‌شود. 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.

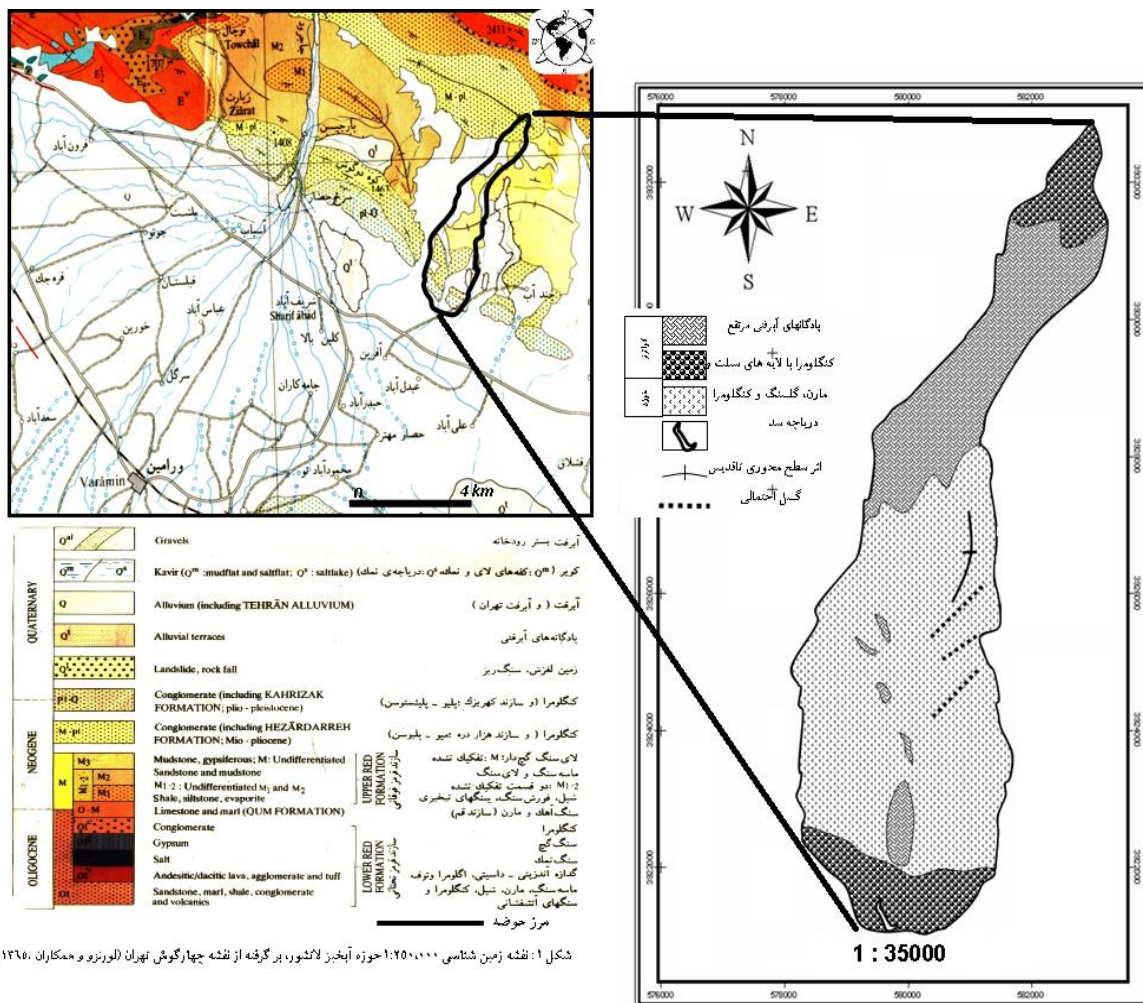
داده ها و روش کار

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

از نظر زمین‌شناسی حوزه 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 پادگانه‌های آبرفتی می‌باشند (شکل ۱). بطور کلی سازند قرمز بالایی دارای سه واحد M_1, M_2, M_3 می‌باشد که در حوزه مورد مطالعه تنها دو واحد M_1, M_2 رخنمون دارند. مطالعات ژئومورفولوژی نشان‌دهنده تشکیل این حوزه در یک ساختار تاقدیسی می‌باشد و از جنوب به کوه‌های دهانه و از شمال به کوه‌های قره‌آغاج ختم می‌گردد. روند چین خوردگی‌های موجود در حوزه و نوع سازندهای موجود نقشی بسیار اساسی در نحوه گسترش و شکل حوزه دارد. در شمال حوزه کوه‌های قره‌آغاج از جنس کنگلومرای میوپلیوسن، در غرب و جنوبغرب حوزه کنگلومرای هزاردره و در شرق و جنوبشرق حوزه رخنمون مارن واحد M_3 قابل مشاهده می‌باشد. سیما و ویژگی‌های سنگ‌شناسی نهشته‌های منطقه لاتشور قابل قیاس با سازند سرخ بالایی در ایران مرکزی است و احتمال هم‌ارزی 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 حوزه، مارن‌های قرمز رنگ، سنگ آهک‌های مارنی و میان لایه‌های کنگلومرای مشاهده می‌شود که این واحدها گاهی حاوی گچ و نمک می‌باشند. در مرز تبدیل واحد M_2 به M_3 از تعداد و ضخامت لایه‌های ماسه سنگی کاسته می‌شود و تدریجاً واحد M_2 به M_3 تبدیل می‌گردد. واحد M_2 ارتفاع بیشتری نسبت به واحد M_3 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 ایمریکیشن)، و انواع حرکات توده‌ای در این حوزه مشاهده شده‌اند (تصاویر شکل ۲). در حوزه 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.

جدول ۱: مقادیر ضرایب مختلف شکل حوزه آبخیز لاتشور

نام حوزه	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



شکل ۱: نقشه زمین شناسی ۱:۲۵۰،۰۰۰ حوزه آبخیز لاتشور، برگرفته از نقشه چهارگوش تهران (لورنزو و همکاران، ۱۳۶۵)

شکل ۱: نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه و حوضه آبخیز لاتشور

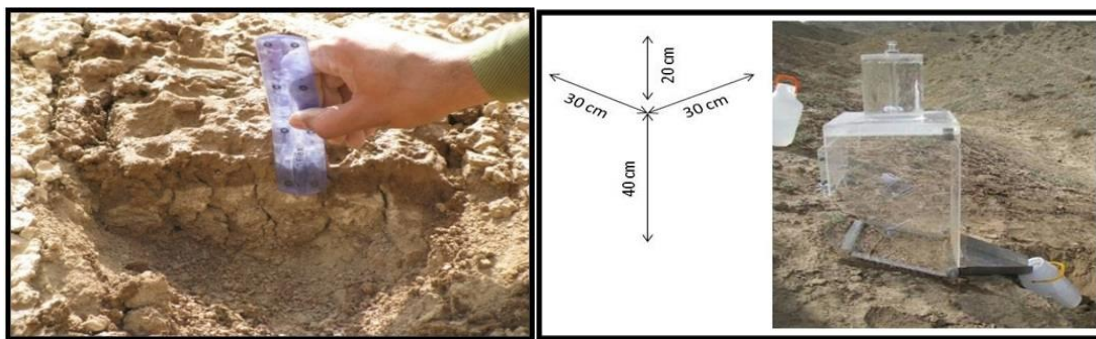
در خروجی حوضه لاتشور رسوبات آبرفتی کانال رودخانه عمدتاً از جنس سنگدانه‌های توفی سبز کرج همراه با سنگ‌های ولکانیکی از نوع آندزیتی - ماسه‌سنگ و سنگ آهک می‌باشد. مارن‌های M_۲ قرمز رنگ و در تناوب با ماسه‌سنگ است و فرسایش روی دامنه‌ها شیاری مشاهده شد و لایه‌های ماسه‌سنگ بصورت عدسی‌هایی به طول ۴۰ متر یا بیشتر 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_۳ 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. ماسه‌سنگ‌های واحد M_۳ 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 ماسه‌سنگی مشاهده شد. در مرز تبدیل واحد M_۲ به M_۳ از تعداد و ضخامت لایه‌های ماسه‌سنگی کاسته می‌شود و تدریجاً واحد

M_2 به M_3 تبدیل می‌گردد. واحد M_2 ارتفاع بیشتری به M_3 دارد. یکی از دلایل آن حضور لایه‌های ماسه‌سنگ به عنوان یک لایه‌ی مقاوم روی بخش نامقاوم مارنی است.



شکل ۲: (بالا راست) رخنمون مارن‌های M_3 به رنگ نخودی و رخنمون کنگلومرای پلیوسن (بالا چپ) در شرق و جنوب شرق رخنمون واحد M_2 با تناوب فراوان ماسه‌سنگ و مارن (پایین راست)، فرسایش ورقه‌ای و شیاری، و آثار یف کردگی (پایین چپ).

در این تحقیق در ابتدا، در مطالعات کتابخانه‌ای نقشه‌های زمین‌شناسی، توپوگرافی و ژئومورفولوژی منطقه جمع‌آوری 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 صحرائی 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 نمونه‌های خاک مجاور پلات برداشت شده و سپس در آزمایشگاه برای بخش خصوصیات فیزیکی تحت آزمایش دانه بندی و تعیین حدود آتربرگ (شکل ۴) و برای بخش خصوصیات شیمیایی تحت آنالیزهای تعیین اسیدیته، هدایت الکتریکی، میزان کاتیونها و آنیونها اصلی (شکل ۶)، قرار گرفت. از ۴ واحد رسوبی برداشت شده در منطقه پس از برداشت نمونه‌ها در صحرا، در آزمایشگاه از هر واحد دو نمونه مربوط به دو رخنمون انتخاب شد. نمونه‌های ۱ و ۲ مربوط به واحد M_3 (مارنی اول)، نمونه‌های ۳ و ۴ مربوط به واحد M_2 (مارنی دوم)، نمونه‌های ۵ و ۶ مربوط به کنگلومرای هزاردره (غیرمارنی اول) و نمونه‌های ۷ و ۸ مربوط به آبرفتهای دشت پایین دست حوضه (غیر مارنی دوم) بوده‌اند. در انتها با انجام آنالیزهای آماری و تحلیل نتایج روابط و فرمولهای مربوط بین کلیه پارامترهای اندازه‌گیری شده بدست آمد.



شکل ۳: نمای از شبیه‌ساز باران مورد استفاده و ابعاد آن (راست) اندازه‌گیری عمق نفوذ آب بارش در خاک (چپ).

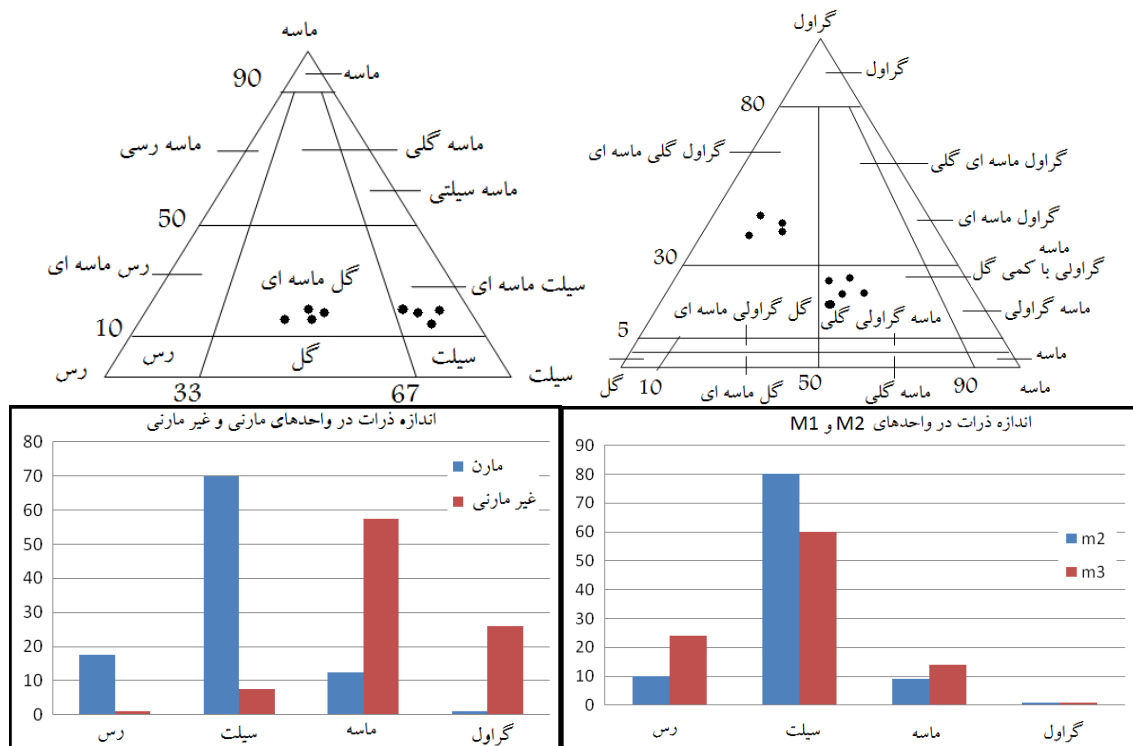
در منطقه لانتشور از دیدگاه بافت رسوبات، واحد مارنی M₃ دارای ۱۰ درصد رس، ۸۰ درصد ماسه، و ۱۰ درصد ماسه است. واحد M₂ دارای تقریباً ۲۵ درصد رس، ۶۰ درصد سیلت، ۱۵ درصد ماسه، واحد کنگلومرای هزاردره دارای ۶۰ درصد ماسه، ۴۰ درصد گراول و رسوبات دشت پایین دست حوضه ۱۵ درصد سیلت، ۵۵ درصد ماسه و ۳۰ درصد گراول است. 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 نمونه‌ها کمتر از حد انتظار بوده و نامگذاری مارن بر روی برخی واحدها را با شک و تردید همراه نمود. حدود آتریگ نیز حاکی از استقرار اغلب نمونه‌ها در محدوده CL, ML بوده و بین واحدهای کاری مختلف منطقه تمایز خوبی ایجاد می‌نماید.

شرح و تفسیر نتایج

هدف این تحقیق بررسی تأثیر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی مارنها بر میزان فرسایش پذیری آنها در منطقه لانتشور پاکدشت بوده است. از اینرو علاوه بر میزان انواع ذرات رسوبی (با اندازه‌های 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.

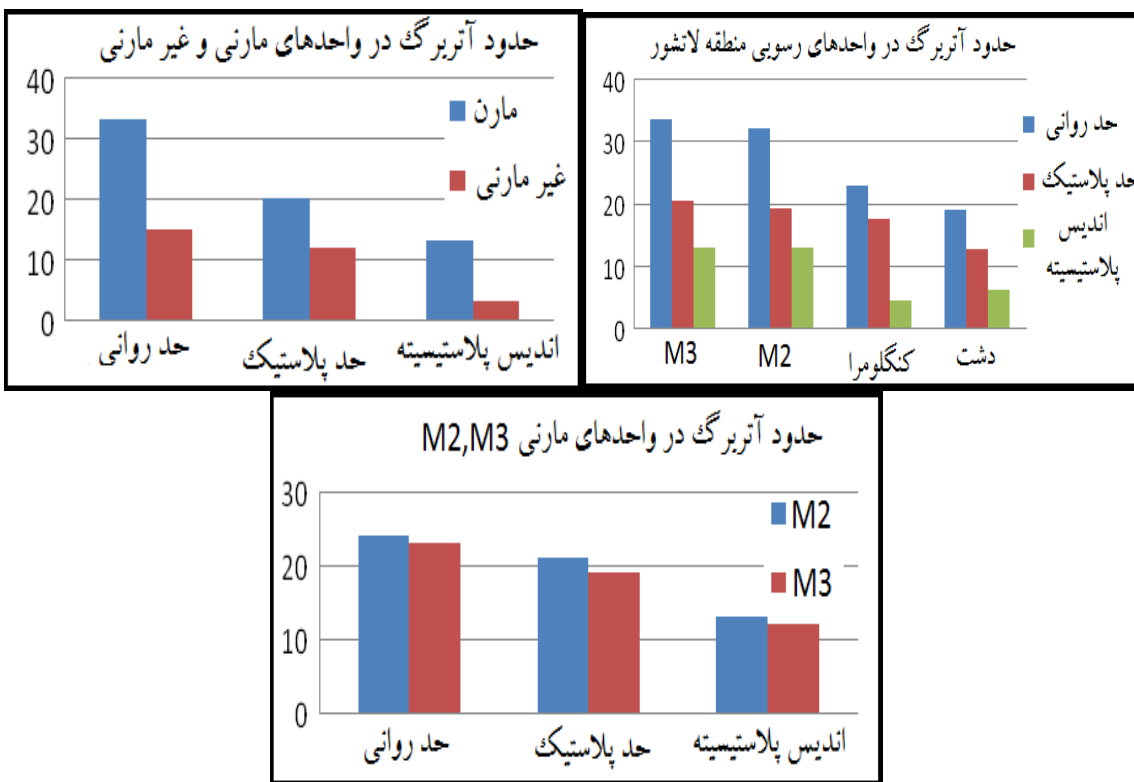
- خصوصیات فیزیکی

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؛ Ownegh & Nohtani, ۲۰۰۴; Vahabi & Nikkani, ۲۰۰۸). به طور کلی خاک‌هایی که مقدار زیادی سیلت و مقدار کمی رس دارند فرسایش پذیرترین خاکها به شمار می‌روند و معمولاً بافت سیلتی بیشترین حساسیت را به فرسایش دارد (Ownegh & Nohtani, ۲۰۰۴). خاکهای سیلتی اگر چه معمولاً خوب دانه بندی می‌شوند ولی در اثر مرطوب شدن، خاکدانه‌ها به آسانی شکسته و ذرات سیلت جدا منتقل می‌شوند. 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 می‌باشد (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.



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

در منطقه مورد مطالعه، اندازه ذرات سازندهای M۲ و M۳ بیشتر به صورت سیلت، رس و ماسه می باشد و هر چه به سمت واحد کنگلومرای هزاردره و نهشته های آبرفتی می رویم، طبیعتاً اندازه ذرات بزرگ تر می شود (شکل ۴). میزان درصد سیلت در M۳ بیشتر از واحد M۲ می باشد (شکل ۴). بنابراین انتظار می رود واحد M۳ 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 بر روی مارن های منطقه لاتشور نشان داد که اندازه ذرات می تواند نقش مهمی در میزان رواناب و رسوب در یک منطقه داشته باشد. از سوی دیگر در زمین شناسی مهندسی خاک هایی که رفتار مشابهی از خود نشان می دهند را می توان در یک طبقه مهندسی خاک (طبقه بندی کاساگراند) قرار داد. در این تحقیق برای توصیف خواص مهندسی نمونه ها (خاصیت خمیری و دانه بندی) از سیستم طبقه بندی یونیفاید استفاده شده است (Memarian, ۱۹۹۵). پارامترهای لازم برای این طبقه بندی، آزمایش دانه بندی، حدهای آتربرگ و شاخص خمیری می باشد. بررسی نمونه های مورد مطالعه منطقه لاتشور نشان می دهد که این نمونه ها بیشتر در محدوده ML و CL قرار داشته، اکثراً 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 می باشد و میزان عددی کمتری دارد (شکل ۵). 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 می دهند.

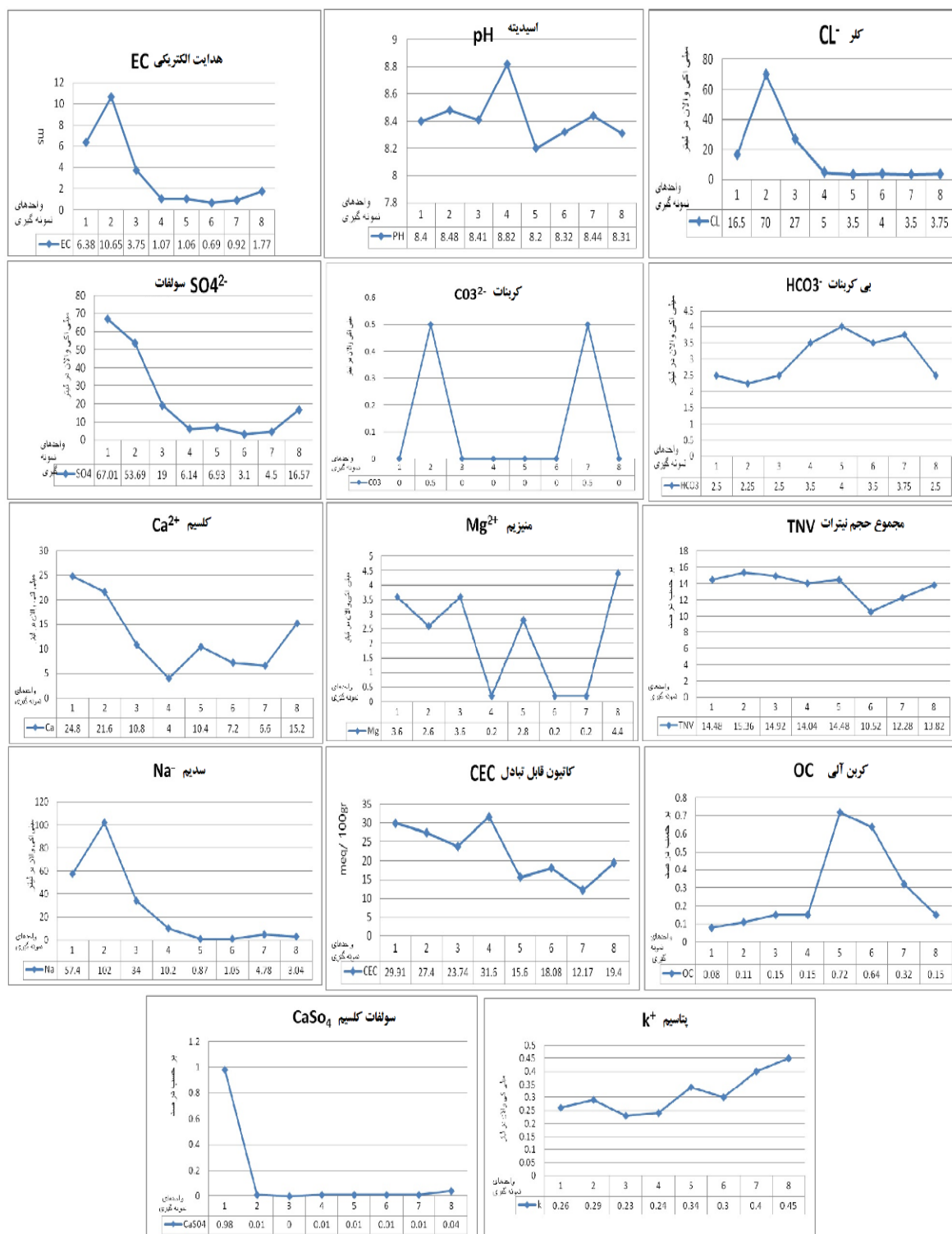


شکل ۵: میانگین حد روانی، حد خمیری و شاخص خمیری در کل واحدهای کاری (بالاراست)، در واحدهای مارنی و غیرمارنی (بالاچپ) در دو واحد مارنی حوزه آبخیز لاتشور (پایین)

- خصوصیات شیمیایی

همانطور که ذکر شد برای مطالعه خصوصیات رسوبات ۴ واحد 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 ۱ و ۲ مربوط به واحد M۳ (مارنی اول)، نمونه های ۳ و ۴ مربوط به واحد M۲ (مارنی دوم)، نمونه های ۵ و ۶ مربوط به کنگلومرای هزاردره (غیرمارنی اول) و نمونه های ۷ و ۸ مربوط به آبرفتهای دشت پایین دست حوضه (غیر مارنی دوم) بوده اند (شکل ۶). همانطور که در شکل ۶ مشخص است میزان EC در واحد M۳ بیشترین میزان می باشد. که هرچه به سمت واحد کنگلومرای هزاردره و پایین دست حوضه می رویم از میزان آن کاسته می شود. طبق این نمودار میزان هدایت الکتریکی در مارن ها بیشتر از واحدهای غیر مارنی می باشد. میزان pH در واحد M۲ بیشترین میزان است و واحدهای اسیدیته در واحدهای مارنی بیشتر می باشد و فرسایش پذیری بیشتر این واحدها را نسبت به واحدهای غیر مارنی نشان می دهد. در واحد M۳ و دشت پایین دست حوضه میزان CO_3^{2-} به یک اندازه می باشد. میزان SO_4^{2-} هرچه از واحد M۳ به سمت پایین دست حوضه می رویم، کاسته می شود. میزان سولفات در واحدهای مارنی بیشتر از واحدهای غیر مارنی می باشد ولی در پایین دست حوضه میزان آن تا حد واحد M۲ افزایش یافته است. در واحد M۳ میزان یون کلر زیاد است هرچه به سمت واحد M۲ و کنگلومرای هزار دره و دشت پایین دست حوضه کم می شود. نشان دهنده این است که میزان کلر در واحدهای مارنی بیشتر است. میزان HCO_3^- در در واحد M۳ کم است و به سمت واحد M۲ بیشتر شده و در کنگلومرای هزار دره به بیشترین میزان خود می رسد و سرانجام در دشت پایین دست حوضه کم تر می شود. میزان یون کلسیم از واحد M۳ به سمت واحد M۲ کم می شود تا در این واحد به کمترین میزان خود می رسد و سپس شروع به افزایش می کند. میزان منیزیم از رابطه و قانون خاصی طبیعت نکرده است

و در واحدهای مختلف تغییرات زیادی داشته است. نمودار سدیم همانند نمودار کلر می‌باشد و از واحد M_3 به واحد M_1 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_2 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 بترتیب 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. اصولاً 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 شبیههای بدون فرسایش کانیهای رسی مخلوط لایه زیاد شده و دیگر کانیها کاهش می یابند. بنابراین می توان شبیههای 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 شبیههای 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 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 پارامترهای SAR، PS و ESP 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, 2000, 161). 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.



شکل ۶: مقایسه میزان پارامترهای شیمیایی در واحدهای مارنی و غیر مارنی منطقه

- 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 تعیین 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 (جدول ۲ تا ۶ و شکل ۷). جدول ۲ به بررسی رابطه اندازه ذرات و میزان تولید رسوب 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 رسوب رابطه مثبت دارد و با افزایش درصد رسوب میزان رواناب افزایش می‌یابد. همچنین میزان رسوب با حجم رواناب و درصد رسوب 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. عموماً 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 (جدول ۲). بنابراین می‌توان مقدار درصد رس را به عنوان عوامل تعیین کننده شدت و نوع فرسایش در مارن‌های منطقه لاشور قلمداد کرد. نتایج مطالعات (Wichmeier et al., ۱۹۷۱, ۱۹۲; Luk, ۱۹۷۹, ۲۵۱) که به طور جداگانه

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 می‌توان 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 می‌توان 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 آبیوشی منیزیم به نسبت کلسیم کمتر بوده و در نتیجه ضخامت لایه آبیوشیده 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, 2001, 45). مقدار یون پتاسیم حداقل مربوط به فرسایش آبراه‌ای و مقدار حداکثر آن مربوط به فرسایش خندقی بوده (جدول ۵) 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 معنی‌داری وجود دارد. بنابراین اینجا نیز می‌توان یون سدیم را به عنوان یک شاخص برای تفکیک اشکال مختلف فرسایشی قلمداد کرد (Vacher et al., 2004, 151; Bouma & Imeson, 2000, 162). 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 معنی‌دار وجود دارد. بنابراین می‌توان مقدار نسبت جذب سدیم را نیز به عنوان عوامل تعیین‌کننده شدت و نوع فرسایش در مارن‌ها قلمداد کرد (قدیمی، ۱۳۷۸، ۹۲۵، ۱۶۳; Bouma & Imeson, 2000). بطور کلی در واحدهای مارنی اشکال فرسایشی مختلف دیده می‌شود ولی اشکال فرسایشی غالب در مارن‌های منطقه لاتشور از انواع فرسایش سطحی، آبراه‌ای 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.

جدول ۲: همبستگی بین میزان رسوب و حجم رواناب و اندازه ذرات در واحدهای مارنی و غیرمارنی

درصد گراول	درصد ماسه	درصد سیلت	درصد رس	میانگین میزان رسوب (gr)	میانگین حجم رواناب (cc)		
					۱	Pearson Correlation	میانگین حجم رواناب (cc)
						Sig. (۲-tailed)	
				۱	۵۸۷۰/	Pearson Correlation	میانگین میزان رسوب (gr)
					۱۶۶۰/	Sig. (۲-tailed)	
			۱	۶۶۹۰/	۰۶۸۰/	Pearson Correlation	درصد رس
				۱۰۰۰/	۸۸۵۰/	Sig. (۲-tailed)	
		۱	۶۸۲۰/	۹۶۳(**)۰/	۶۰۹۰/	Pearson Correlation	درصد سیلت
			۰۶۳۰/	۰۰۰۰/	۱۴۷۰/	Sig. (۲-tailed)	
	۱	-	-	۹۳۲(**)۰/	۴۰۴۰/	Pearson Correlation	درصد ماسه
		۹۴۸(**)۰/	۷۴۰(*)۰/	۰۰۲۰/	۳۶۹۰/	Sig. (۲-tailed)	
		۰۰۰۰/	۰۲۶۰/	۰۰۲۰/	۳۶۹۰/	Sig. (۲-tailed)	
۱	۸۳۶(**)۰/	-	۶۴۲۰/	۸۹۶(**)۰/	۶۳۰۰/	Pearson Correlation	درصد گراول
		۸۶۶(**)۰/	۰۸۶۰/	۰۰۶۰/	۱۲۹۰/	Sig. (۲-tailed)	
	۰۱۰۰/	۰۰۵۰/	۰۰۸۶۰/	۰۰۶۰/	۱۲۹۰/	Sig. (۲-tailed)	

برای پی بردن به این که پراکندگی زیاد متغیرها بین میانگین‌های هر گروه 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.

جدول ۳: همبستگی بین میزان رسوب و حجم رواناب و حدود آتبرگ در واحدهای مارنی و غیرمارنی

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

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 از متغیرها در کلیه رشته‌های علوم کاربرد دارد. شکل کلی رگرسیون خطی چندمتغیره به صورت زیر است: $(Y = B_0 + B_1Y_1 + B_2Y_2 + \dots + B_n Y_n + e)$ که در آن: Y متغیر وابسته، Y_n : متغیرهای مستقل، B_n : ضرایب رگرسیون و e مؤلفه 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 می‌شود. روش گام به گام از ترکیب دو روش اول و دوم (پیش رونده، حذف پس رونده) بدست آمده و یکی از دقیق‌ترین روش‌های گزینش متغیرها می‌باشد (Terranova et al., ۲۰۰۹؛ Akgün & Türk, ۲۰۱۱). در این تحقیق از روش رگرسیون چند متغیره برای تعیین رابطه بین رسوب، رواناب (متغیرهای وابسته) با خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و مکانیکی زیرواحدهای نئوژن (متغیرهای مستقل) استفاده شده است. معادلات رگرسیون حاصل از این مطالعه به شرح زیر می‌باشند:

$$\bar{Y} = a + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 = 1217.81 + (-12.917X_1) + 0.177 X_2 + (-11.341X_3)$$

$$\bar{Y} = a + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 = 117.428 + (-0.856X_1) + (-1.003)X_2 + (-0.934X_3)$$

$$\bar{Y} = a + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 = 997.106 + (-17.817X_1) + (25.810) X_2$$

$$\bar{Y} = a + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 = 17.460 + (-1.415X_1) + (7.529) X_2$$

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، می‌توان 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 رسوب ۹۶/۴ رابطه مستقیم وجود دارد عوامل فیزیکی به تنهایی ۹۶/۲۶ درصد در تولید میزان رسوب نقش دارد. با توجه به ضریب استاندارد تفکیک رگرسیون، می‌توان 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 رواناب ۶۶/۱ رابطه مستقیم وجود دارد و عوامل مکانیکی به تنهایی ۴۳/۷ درصد 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 رسوب ۹۴/۲ رابطه مستقیم وجود دارد و عوامل فیزیکی به تنهایی ۸۸/۸ درصد در تولید میزان رسوب نقش دارند. با توجه به ضریب استاندارد تفکیک رگرسیون، می‌توان نتیجه گرفت که بین حد خمیری و میزان رسوب رابطه منفی و بین اندیس پلاستیسیته و میزان رسوب رابطه مثبت وجود دارد. همانطور که می‌دانیم 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_3 ، Ca و Cl رابطه مستقیمی وجود دارد. همچنین pH و CO_3 با هیچکدام از عوامل مقایسه رابطه ای ندارند.

جدول ۴: ضریب همبستگی اسپیرمن جهت آزمون رابطه ی بین برخی متغیرهای شیمیایی

		EC	PH	CO ₃	HCO ₃	CL	SO ₄	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
CO ₃	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
HCO ₃	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
SO ₄	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 HCO₃ با EC، Ca، Cl، SO₄ رابطه مستقیم با یکدیگر دارند. اما Cl تنها با HCO₃ و SO₄ با HCO₃ و Ca و Ca با HCO₃ و SO₄ با یکدیگر رابطه مستقیم دارند. همچنین هیچکدام از عوامل بالا با یکدیگر رابطه معکوس ندارند. در جدول مشاهده می‌شود که K، Mg، CEC، TNV، CaSO₄ با هیچ یک از عوامل رابطه‌ای ندارند. تنها Na و OC با یکدیگر رابطه مستقیم دارند. حد روانی، حد خمیری و وزن رسوب هیچگونه تأثیری بر یکدیگر ندارند.

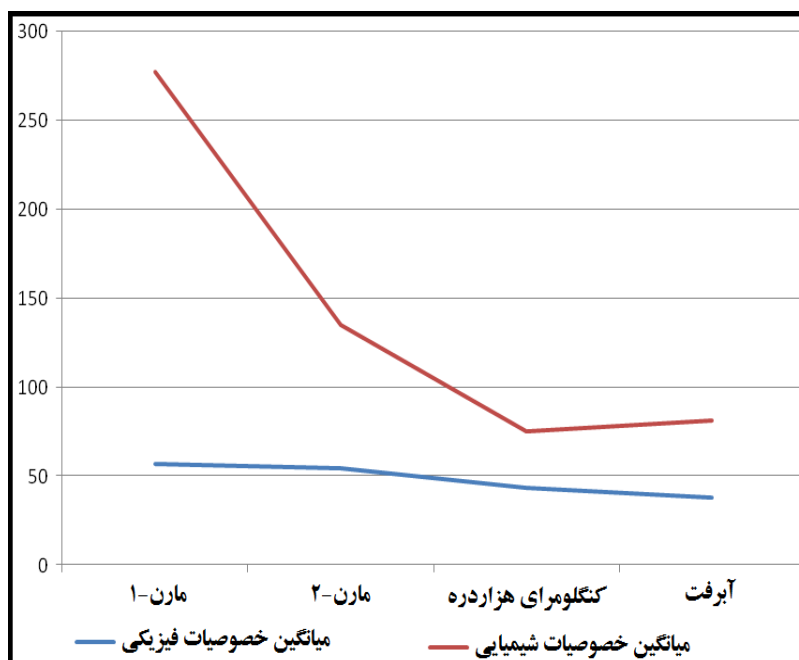
جدول ۵: همبستگی بین میزان رواناب و رسوب حاصله در کل واحدهای مارنی و غیر مارنی و شاخص‌های خصوصیات شیمیایی

		EC	PH	CO ₃	HCO ₃	CL	SO ₄	Ca	Mg	Na	K	CEC	TNV	OC	CaSO ₄
میزان رواناب و رسوب حاصله	R مقدار	.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 (جدول ۶). اگر میانگین کل خصوصیات فیزیکی و شیمیایی را با میزان تولید رسوب و رواناب حاصله در واحدها مقایسه کنیم (شکل ۷) می‌توان مشاهده نمود که واحدهای مارنی و فرسایش پذیر نسبت به واحدهای کنگلومرایی و آبرفتی مقادیر بالاتری را داشته و به همین 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 غیر مارنی منطقه مورد مطالعه

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 نمونه‌ها در محدوده سیلت رسی و سیلت ماسه ای قرار می‌گیرند. اما میزان رس در نمونه‌ها 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 می‌کند. حدود آتبرگ نیز حاکی از استقرار اغلب نمونه‌ها در محدوده CL,ML بوده و بین واحدهای کاری مختلف منطقه تمایز خوبی ایجاد نموده و با در نظر گرفتن میزان رواناب و رسوب می‌تواند 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 فیزیکی و شیمیایی و فیزیولوژیکی مارن‌ها و اثر آنها بر فرسایش خاک در جنوب استان گیلان*، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه گیلان، ۱۷۵ صفحه.
- 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، ۱۹۰ صفحه.
- حشمتی، محمد حسن. ۱۳۷۶. *خواص فیزیکی، شیمیایی، فرسایش پذیری و رسوبی سازندهای پایده، گچساران و آغاچاری در ناحیه قصرشیرین*، پایان نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه تهران، استاد راهنما: ۱۸۵ صفحه.
- 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، ۱۶۰ ص.
- خدادادی، ابودر. 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 ... فیاضی، ۱۵۰ ص.
- 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، ۱۴۵ صفحه.
- رضایی، خلیل. ۱۳۹۲. *رسوب شناسی*. انتشارات شینه، ۳۵۵ صفحه.
- رفاهی، حسینقلی. ۱۳۸۶. *فرسایش آبی و کنترل آن*. چاپ سوم، انتشارات دانشگاه تهران، ۳۴۰ صفحه.
- ستایش، عبدالمتین. ۱۳۹۴. *مکانیک خاک در مهندسی عمران*. انتشارات دانشگاه تهران، ویرایش دوم، ۱۶۵ صفحه.

- عالیخانی، الهه. ۱۳۹۱. تعیین ساز و کارهای فرسایش خاک در حوضه آبخیز لانتشور 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، تأثیر 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 تأثیر 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.

- Luk, S. H. (۱۹۷۹). *Effect of soil properties on erosion by wash and splash*. Earth Surf. Processes 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, PP ۱۱۵۲-۱۱۵۷.
- 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 Kwazulu 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., & Iaquina, 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.

Yilmaz, K., Eluk, U., Kapur, S., & Ryan, J. (٢٠٠٥). *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 ٢٩ (٢٠٠٥) ٢٩-٣٧.