

## مطالعات جغرافیایی مناطق خشک

دوره هفتم، شماره‌ی بیستم و ششم، زمستان ۱۳۹۵

دریافت مقاله: ۹۵/۰۴/۱۹ تأیید نهایی: ۹۵/۰۸/۱۶

صص ۳۸-۵۳

### طبقه‌بندی و تعیین شاخص‌های فرسایش‌پذیری مارن‌های جنوب شرق پیشوای ورامین با استفاده از دستگاه شبیه‌ساز باران

خلیل رضایی\*، استادیار رسوب‌شناسی گروه زمین‌شناسی - دانشگاه خوارزمی تهران

#### چکیده

یکی از واحدهای رسوبی فراوان و مهم از دیدگاه مخاطرات زیست‌محیطی، عمرانی، آب‌خیزداری و فرسایش خاک ایران، مارن‌ها می‌باشند که به دلیل ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی، خود توان تولید رسوب و فرسایش بالایی داشته و مطالعه و تفکیک آن‌ها ضروری است. ماهیت دانه‌بندی، اندازه‌ی ذرات سازنده، عناصر و ترکیبات شیمیایی موجود در مارن‌ها و تأثیر توأمان این دو موضوع، یکی از نکات مهم در مورد میزان فرسایش است. در پژوهش حاضر به بررسی ویژگی‌های فیزیکی - شیمیایی واحدهای مارنی و تأثیر آن بر اشکال مختلف فرسایشی در منطقه‌ی جنوب شرق پیشوای ورامین پرداخته شده است. در این تحقیق، پس از بازدید میدانی و انتخاب پنج واحد مارنی در منطقه بر اساس خصوصیات زمین‌شناسی و اشکال مختلف فرسایشی برای نمونه‌برداری از رسوبات، علاوه بر انجام آزمایش شبیه‌سازی باران (به کمک دستگاه)، برداشت نمونه از عمق ۵ تا ۱۵ سانتی‌متری نیز در پنج منطقه انجام شد. در آزمایشگاه، میزان رواناب و رسوب تولیدشده در هر نقطه تفکیک و اندازه‌گیری شد. هم‌چنین پارامترهای هدایت الکتریکی، میزان عناصر سدیم، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، گچ، درصد ذرات رسوبی و سدیم قابل جذب (SAR) نمونه‌ها در آزمایشگاه اندازه‌گیری و برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از روش تجزیه‌ی واریانس و مقایسه‌ی میانگین‌ها در نرم‌افزار آماری SPSS استفاده شده است. به دلیل تفاوت بین دامنه‌های رو به شمال و جنوب از نظر فرسایش، مقایسه‌ی اجمالی بین آن‌ها انجام شد. بر اساس نتایج، میزان میانگین یون سدیم و نسبت جذب سدیم از فرسایش سطحی به فرسایش خندقی در مارن‌های منطقه افزایش یافته و میزان میانگین درصد رس از فرسایش سطحی به فرسایش خندقی کاهش می‌یابد. هم‌چنین تجزیه‌ی واریانس اشکال مختلف فرسایشی در میزان یون سدیم، نسبت جذب سدیم و میزان درصد رس، دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشند. در نهایت، می‌توان سه متغیر نسبت جذب سدیم، درصد سیلت و رس و یون سدیم نمونه‌ها را می‌توان عواملی تأثیرگذار در فرسایش مارن‌های منطقه و ایجاد اشکال مختلف فرسایشی دانست.

**واژگان کلیدی:** فرسایش، خاک، مارن، رواناب، رسوب، شبیه‌ساز باران، ورامین.

\* Email: Khalil.rezaei@khu.ac.ir

## ۱- مقدمه

در کشور خشک و نیمه‌خشک ایران، متأسفانه فرسایش خاک به‌عنوان یک معضل جدی مطرح بوده و هر ساله خسارات زیادی از جمله؛ پر شدن دریاچه‌ها، مخازن سدها و کاهش عمر مفید و بهره‌وری آن‌ها، سیلاب‌های مکرر و از بین رفتن زیرساخت‌ها، جاده‌ها و زمین‌های کشاورزی و آلوده شدن آب‌های کشاورزی و شرب و سایر مسائل و مشکلات مهم محیط‌زیستی را سبب می‌شود. هوازگی و فرسایش طبیعی خاک امری قطعی و ناگزیر است، اما انسان با فعالیت‌های متنوع خود آن را کاهش یا افزایش می‌دهد (رفاهی، ۱۳۸۳: ۸). در طی فرسایش، ذرات خاک از بستر خود جدا شده و به کمک آب، باد، ثقل و یخ به مکان دیگری معمولاً در پایین‌دست انتقال می‌یابند. تا زمانی که این پدیده در حد طبیعی انجام پذیرد، مشکلی پیش نخواهد آمد؛ اما در صورت افزایش بیش‌ازحد آن باید برای جلوگیری از پیشرفت و کنترل آن راه‌کارهای اجرایی را در دستور کار قرار داد. برای مقابله‌ی درست و کارا با این پدیده، ابتدا باید آن را شناسایی و به‌نوعی رفتارشناسی نمود. یکی از روش‌های مطالعه، برآورد تقریبی میزان فرسایش، استفاده از شبیه‌ساز باران و اندازه‌گیری میزان خاک و رواناب حاصله و ارتباط آن‌ها با ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و آب منطقه است.

تحقیقات گوناگون و متنوعی در رابطه با شبیه‌سازی و تعیین میزان فرسایش خاک در جهان انجام شده و هنوز هم در حال پیشرفت است. در اینجا برای مثال به برخی از این تحقیقات در داخل و خارج کشور اشاره شده و البته موارد بسیار زیادتری را می‌توان در نقاط مختلف جهان و ایران یافت. آرناز (۲۰۰۶) با کمک شبیه‌ساز باران میزان رواناب و فرسایش را در شیب ۳/۸ درجه در خاک‌های لومی موردبررسی قرار داد. نتایج مطالعات وی حاکی از این است که میزان رواناب با شدت بارش، رابطه‌ی خطی نمایی دارد و میزان هدررفت خاک نیز با افزایش شدت بارش، افزایش می‌یابد. جین و همکاران (۲۰۰۸) اثرات مدیریت حوضه‌ی آبریز را بر میزان تولید رواناب و هدررفت خاک با استفاده از باران ساز مطالعه کردند. در این مطالعه ۲۸ آزمایش شبیه‌سازی بارش بر روی خاک‌های با مدیریت مختلف از جمله با شخم، بدون شخم، تحت شخم کم، با مالچ، بدون مالچ و نیز تحت دو کشت، مورد مطالعه قرار گرفته است. نتایج مطالعه‌ی آن‌ها نشان داد که بین این تیمارها از لحاظ شدت تولید رواناب و رسوب، اختلاف معنی‌داری وجود دارد؛ به‌طوری‌که خاک بدون مالچ - شخم‌خورده بیش‌ترین میزان هدررفت خاک را به خود اختصاص داده و خاک پوشیده شده توسط مالچ نسبت به سایر تیمارها خاک را بهتر حفاظت می‌کند. در ایران هم تحقیقاتی بر روی فرسایش و رسوب در مناطق مارنی انجام شده است که از آن جمله می‌توان مطالعات حشمتی (۱۳۷۶)، قدیمی عروس محله (۱۳۷۷)، اسماعیل‌نژاد 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. از نظر دانه‌بندی میزان و درصد سیلت در درجه‌ی اول و میزان رس و ماسه و گراول در درجه‌ی دوم تأثیر زیادی بر فرسایش خاک دارند. از نظر ارتباط نوع و شکل فرسایش خاک و ژئوشیمی آن، 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 تأثیر اساسی بر پایداری خاک‌دانه‌ها دارند؛ بنابراین بر مقدار نفوذپذیری و از دست رفتن خاک در هنگام بارندگی مؤثر هستند. خاک‌های با مواد آلی بیش‌تر، خاک‌دانه‌های بزرگ‌تری تشکیل داده که این مقدار مواد آلی از یک‌طرف 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 (لادو و همکاران، ۲۰۰۴: ۲۳۹).

هم‌چنین در بین انواع فرم‌های فرسایش، فرسایش ورقه‌ای در اراضی مارنی دارای غلظت کم یون سدیم، نسبت جذب سدیم پایین و مواد غیر پخش‌شونده، مقدار متوسط املاح، سیمای غالب فرسایش است؛ درحالی‌که بیش‌ترین تراکم فرسایش شیاری و آبکندی مربوط به مارن‌هایی با سدیم محلول و نسبت جذب سدیم زیاد است. سدیم زیاد باعث پراکنش خاک‌دانه‌ها شده و نهایتاً وقوع فرسایش را تشدید می‌کند (واشر و همکاران، ۲۰۰۴: ۴). اراضی دارای اشکال فرسایش

هزاردره‌ای، معمولاً غنی از سدیم و مواد به شدت پخش‌شونده هستند که مقدار، شدت و نوع فرسایش در آن‌ها به میزان زیاد تحت تأثیر نوع کانی‌های رسی خاک است. توسعه فرسایش آبکندی هم‌بستگی زیادی با حضور کانی‌های رسی متورم شونده اسمکتیتی دارد. کانی‌های گروه اسمکتیت غنی از سدیم باعث تشدید فرسایش و تغییر شکل اشکال فرسایش از حالت صفحه‌ای به آبکندی و هزاردره‌ای می‌شود، درحالی‌که تشکیلات فاقد کانی‌های اسمکتیتی نسبت به فرسایش پایدارتر هستند (گوربین و بریان، ۲۰۱۱: ۱۳۹۶۶). در بررسی خاک‌های رسی مشخص شده است که خاک‌های کائولینیتی بالاترین پایداری خاکدانه‌ها، کم‌ترین میزان دیس‌پرسه شدن، کم‌ترین میزان رواناب و در نتیجه کم‌ترین ظرفیت حمل رسوب را دارند. درحالی‌که پایین‌ترین پایداری خاکدانه و بیش‌ترین میزان رواناب در خاک‌های مونت‌موریلونیتی مشاهده می‌شود (واکیندیکی و بنهور، ۲۰۰۲: ۶۰۱). خاک‌های منطقه‌ی جنوب شرق پیشوا و رامین که برای این تحقیق انتخاب شده‌اند نیز به دلیل شرایط طبیعی وجود سازندهای فرسایش‌پذیر ماری و فعالیت‌های انسانی، کشاورزی و دامپروری دارای پتانسیل رسوب‌دهی بالایی است. بازدیدهای میدانی حاکی از وجود واحدهای ماری منطقه با انواع مختلف رخساره-ی فرسایشی اعم از رنگ، دانه‌بندی، فرسایش سطحی، فرسایش شیاری، فرسایش آبراهه‌ای و خندقی است. عمده‌ترین اهداف این تحقیق عبارت بودند از: شناسایی و طبقه‌بندی انواع فرسایش (ورقه‌ای، شیاری، هزاردره یا بدلند، خندقی، ...) روی مارن‌ها، طبقه‌بندی انواع مارن‌ها از دیدگاه فرسایش‌پذیری بر اساس شدت و شکل فرسایش به کمک شبیه‌ساز باران، تخمین کمی میزان رسوب‌زایی در مارن‌های حوضه بر اساس داده‌های روش آزمایشگاهی برآورد شده، تلفیق اطلاعات به‌دست‌آمده و ارائه‌ی نتایج حاصل از تحقیق، پهنه‌بندی مناطق حساس به فرسایش به‌منظور برنامه‌ریزی صحیح جهت اقدامات آبخیزداری و حفاظت خاک که در این منطقه لازم به نظر می‌رسد.

## ۲- منطقه‌ی مورد مطالعه

محدوده‌ی مورد مطالعه در منطقه‌ی جنوب شرق پیشوا و رامین، در نزدیکی روستاهای سلمان‌آباد، شورقاضی و قلعه بلند، ایستگاه راه‌آهن ابردژ و واقع در حاشیه‌ی یک حوضه‌ی نسبتاً کویری با آب‌وهوای گرم و خشک است. شهرستان ورامین یکی از شهرستان‌های استان تهران و دارای سه شهر بنام‌های ورامین، پیشوا و قرچک است. مناطق مورد مطالعه که بخشی از آن در جنوب شرق پیشوا ورامین است، محدوده‌ی دربرگیرنده‌ی کوه‌های سرخ و گچ است که دو گسل اصلی پیشوا در غرب و گرمسار در جنوب آن را در بر گرفته‌اند. از نگاه زمین‌شناسی و پهنه‌های ساختاری اگرچه استان تهران به دو ایالت زمین‌ساختی البرز و ایران مرکزی تعلق دارد که مرز این دو پهنه منطبق بر راندگی شمال تهران است که در اثر عملکرد آن مخلوط‌کنی‌های البرز به روی دشت تهران رانده شده است. بررسی واحدهای تکتونواستراتیگرافیک دو قلمرو البرز و ایران مرکزی نشان‌دهنده‌ی همانندی بسیار زیاد بین این دو است؛ به‌گونه‌ای که به لحاظ همانندی‌های موجود می‌توان البرز را چین‌های حاشیه‌ای ایران مرکزی دانست؛ اما این محدوده در ابتدای **زون** ایران مرکزی واقع بوده و خصوصیات ژئومورفولوژیکی آن با مناطق کویری در جنوب هم‌خوانی بیش‌تری تا ارتفاعات شمالی دارد. محدوده‌ی مورد مطالعه بین  $35^{\circ}11'$  تا  $35^{\circ}16'$  عرض شمالی و  $51^{\circ}46'$  تا  $51^{\circ}54'$  طول شرقی واقع شده است (شکل ۱). این منطقه بر اساس روش دومارتن دارای اقلیم گرم و خشک است. متوسط بارندگی منطقه کم‌تر از ۲۰۰ میلی‌متر در سال بوده و اغلب بارش‌ها در فصل زمستان و ماه‌های دی و بهمن و آن‌هم به‌صورت رگباری و ناگهانی گزارش شده است. ارتفاعات منطقه، اغلب متشکل از مارن و ماسه‌سنگ بوده و به دلیل وفور خاک‌های ماری، اشکال فرسایشی غالب در منطقه عمدتاً فرسایش آبراهه‌ای، شیاری، خندقی و در درجه‌ی بعد، فرسایش صفحه‌ای و تونلی هستند (شکل ۲). خاک‌های منطقه نیز متأثر از لیتولوژیهای بالادست، اغلب ریزدانه، مایل به قرمز رنگ و دارای رس و آهن زیادی هستند.

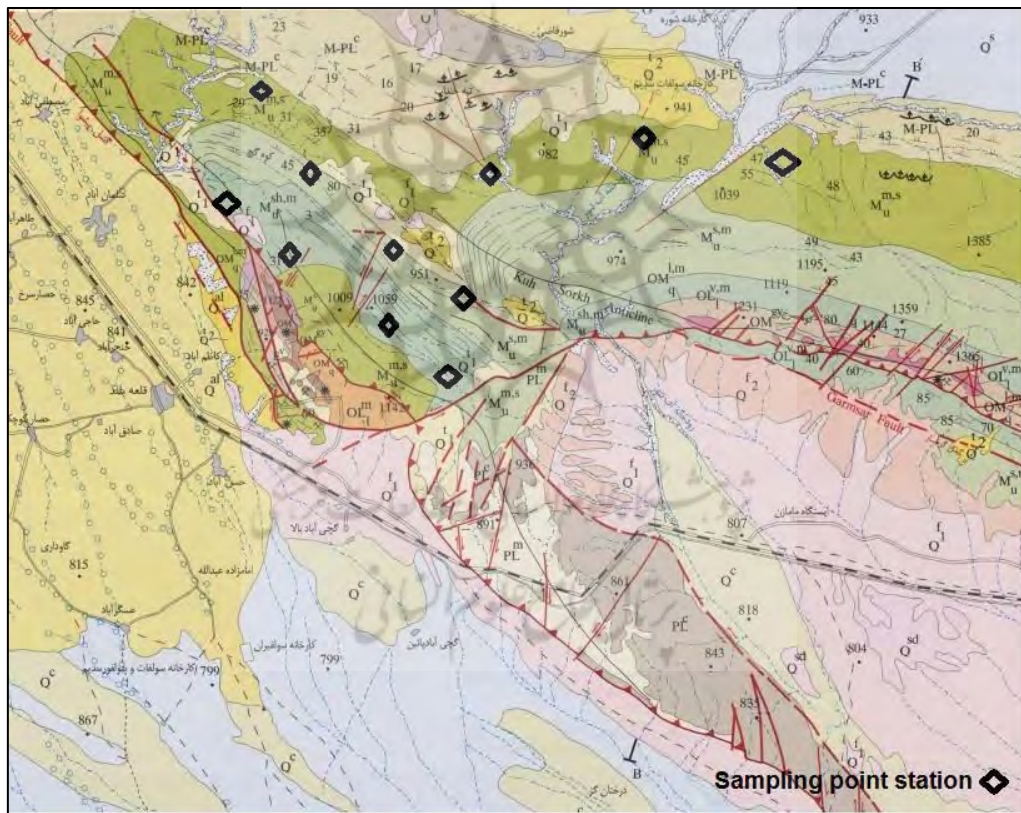
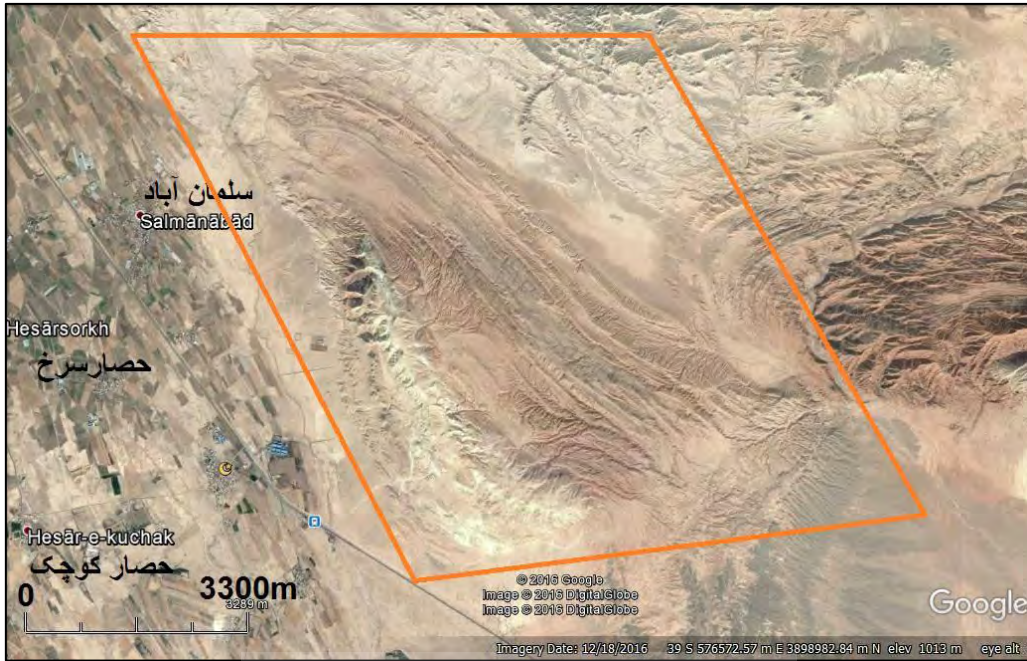
## ۳- مواد و روش‌ها

جهت انجام این تحقیق، ابتدا با استفاده از نقشه‌ی زمین‌شناسی با مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰، پهنه‌های ماری شناسایی و مرزبندی شد. هم‌چنین نقشه‌های توپوگرافی، ژئومورفولوژی، پوشش گیاهی و اقلیم منطقه مورد مطالعه قرار گرفت. سپس

با انجام بازدیدهای صحرایی و کنترل و تطبیق اطلاعات جمع‌آوری‌شده، نقاط نمونه‌برداری از مناطق مارنی با استفاده از موقعیت‌یاب جهانی انتخاب و برحسب تراکم و فراوانی اشکال فرسایش اولویت‌بندی گردیدند. سپس در لندفرم‌های غالب مارنی که دارای جهت، درجه و شکل شیب یکسان بودند، از پنج نوع فرسایش شامل فرسایش شیاری، صفح‌ای، آبراه‌ای، تونلی و خندقی نمونه‌برداری شد. در مناطق مختلف محدوددهی پیشوا، تعداد ۵۰ آزمایش شبیه‌سازی باران با استفاده دستگاه شبیه‌ساز باران (شکل ۳)، در ۵ واحد مارنی پلیوسن (اول)، M1, M2, M3 (دوم تا چهارم) و مارن سازند قم (واحد پنجم) انجام شد. واحدهای مارنی M مربوط به سازند قرمز فوقانی با سن میوسن در قسمت جنوب غرب قرار دارند. بر اساس آمار بارش‌های منطقه و در نظر گرفتن بارش‌های ۶ ساعته با دور بازگشت ۲ سال، دستگاه برای این میزان بارش کالیبره شده و میزان شدت (۱۲۰ میلی‌متر در ساعت) و زمان دوام بارش (۵ دقیقه برای هر نقطه‌ی آزمایش) در دستگاه شبیه‌ساز باران و شیب زمین (۳۰ درصد) در همگی نقاط آزمایش‌شده یکسان در نظر گرفته شد. دستگاه مربوط به دانشگاه خوارزمی تهران و دارای ابعاد ۳۰ در ۳۰ سانتی‌متر، ارتفاع ۴۰ سانتی‌متر و دارای ۱۰۰ سوراخ نازل و پلاتی در ابعاد ۳۰ در ۳۰ سانتی‌متر است. با استفاده از آزمایش شبیه‌سازی باران، میزان رسوب‌دهی و میزان رواناب (جمع‌آوری‌شده در ظروف تعبیه‌شده در زیر دستگاه)، زمان شروع رواناب و عمق نفوذ رواناب در واحدهای مارنی مختلف (اندازه‌گیری با خط‌کش پس از انجام آزمایش) و در مجاورت اشکال مختلف فرسایشی اندازه‌گیری شد (شکل ۳).

نمونه‌های خاک و رسوب جمع‌آوری‌شده پس از خشک‌کردن، جهت آنالیزهای فیزیکی و شیمیایی به آزمایشگاه فرستاده شد. کاتیون‌های کلسیم و منیزیم به روش تیتراسیون، سدیم و پتاسیم با دستگاه فلیم فتومتر، مقدار گچ به روش ترکیب با استون (بورت، ۲۰۰۴ : ۵۵) و ماده‌ی آلی به روش والکلی و بلک (پیچ و همکاران، ۱۹۸۲ : ۱۱۵۲) اندازه‌گیری شد. هم‌چنین دانه‌بندی بخش شن به‌وسیله‌ی الک و بافت خاک به روش هیدرومتر تعیین گردید. برای تعیین کانی‌های رسی، در آزمایشگاه مرکز پژوهش متالوژی رازی از روش آزمایش اشعه‌ی ایکس (XRD) روی ۵ گروه نمونه (هر گروه شامل ۲ عدد) از واحدهای مختلف مارنی منطقه استفاده گردید. برای آماده‌سازی نمونه‌ها جهت انجام آزمایشات تفرق اشعه‌ی X، ابتدا در آزمایشگاه آهک به کمک استات سدیم، مواد آلی به کمک آب‌اکسیژنه و اکسیدهای آهن به کمک بافرسیترات و دی‌تیونات سدیم از نمونه‌ها حذف گردید. سپس اجزای خاک از هم تفکیک شد و رس تفکیک‌شده برای تهیه‌ی اسلاید مورد استفاده قرار گرفت. چهار تیمار مختلف به‌صورت اعمال درجه حرارت، تأثیر اسیدکلریدریک، اشباع با منیزیم و اتیلن گلیکول بر روی نمونه‌ها انجام شد و میزان پراش اشعه‌ی ایکس به‌صورت گراف‌هایی مشخص گردید (دهقانی، ۱۳۹۲ : ۴۲).

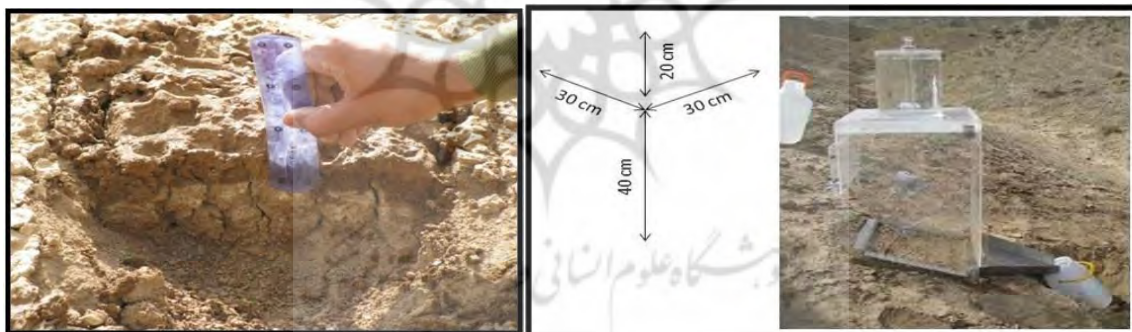
پس از انجام آنالیزهای فیزیکی - شیمیایی نمونه‌ها، حد روانی، حد خمیری و شاخص خمیری برای تعیین و تفسیر رفتار مهندسی نمونه‌ها تعیین گردید. کلیات این طبقه‌بندی اولین بار در سال ۱۹۵۳ توسط کاساگراند پیشنهاد گردید و امروزه پس از اصلاحاتی، در سطح وسیع مورد استفاده قرار می‌گیرد (شکل ۴ و جدول ۱)، برگرفته از: (ستایش، ۱۳۹۴ : ۵۶). در انتها، برای تجزیه و تحلیل اطلاعات، به تجزیه و تحلیل داده‌های گردآوری‌شده با استفاده از آزمون‌های آماری و نرم‌افزار SPSS پرداخته شد. جدول ۱ نشان می‌دهد که حد خمیری در مارن چهارم واحد M3 بیش‌ترین و در مارن اول پلیوسن کم‌ترین مقدار را دارد. حد روانی هم در مارن چهارم بیش‌ترین و در مارن اول کم‌ترین عدد را نشان می‌دهد. این امر به دلیل ترکیب دانه‌بندی و شیمی این دو خاک است.



شکل ۱: تصویر گوگل ارث و نقشه‌ی زمین‌شناسی منطقه‌ی مورد مطالعه و نقاط نمونه‌برداری



شکل ۲: اشکال مختلف فرسایش سطحی - ورقه‌ای (بالا راست)، شیاری - آبراهه‌ای (بالا چپ)، خندقی (پایین راست)، تونلی (پایین چپ)



شکل ۳: (بالا و پایین) نمایی از شبیه‌ساز باران مورد استفاده و ابعاد آن (۲۵\*۲۵ سانتی‌متر)، (راست) اندازه‌گیری عمق نفوذ آب بارش در خاک



## ۴- بحث و نتایج

هدف این تحقیق، بررسی فرسایش خاک در مارن‌های منطقه‌ی پیشوای ورامین بوده است. سازند قرمز بالایی در منطقه‌ی پیشوای تناب لایه‌های مارن و ماسه سنگ بوده و به دلیل همین تناوب، علاوه بر تفکیک مارن‌ها، پارامترهای کانی‌شناسی، ترکیب ژئوشیمیایی و اندازه‌ی ذرات خاک و نیز شیمی آب منفذی در دامنه‌های رو به جنوب و رو به شمال که به ترتیب دارا و فاقد شواهد فرسایش می‌باشند، در این تحقیق مدنظر قرار گرفته‌اند.

شکل ۵ برای مثال دو منحنی دانه‌بندی و تغییرات انواع اندازه‌ی ذرات را در نمونه‌ها نشان می‌دهد. مقادیر برخی خصوصیات مهم اندازه‌گیری‌شده‌ی خاک در منطقه‌ی پیشوای در شکل‌ها و جداول (۱ تا ۶) آمده است. ابتدا با توجه نتایج آزمایش‌ها و خصوصیات زمین‌شناسی منطقه، مارن‌ها به پنج دسته تقسیم شدند. بر اساس نتایج آزمایش دانه‌بندی، مشخص شد مارن‌های دسته‌ی چهارم و پنجم منطقه از میزان سیلت بیش‌تری برخوردار هستند. هم‌چنین مارن‌های اول و دوم از رس بیش‌تری برخوردار هستند. تمامی نمونه‌ها سیلت فراوانی داشته و اصطلاح مارن به نظر زیاد درست نمی‌رسد و باید از سیلت آهکی رسی استفاده نمود (جدول ۲). گراول و ماسه درصد کم‌تری از ذرات را به خود اختصاص می‌دهند. تحقیقات متعددی در گذشته نشان داده است که اندازه‌ی ذرات (به‌ویژه درصد ذرات سیلت) و کانی‌شناسی رس‌ها توانایی تفکیک نواحی شیب‌دار با درجات متفاوتی از فرسایش را دارا هستند (آرناز، ۲۰۰۶؛ عالیخانی، ۱۳۹۱؛ حاتمیان، ۱۳۹۰ و خدادادی، ۱۳۹۴). اصولاً فرسایش در فراوانی ذرات دانه‌ریز سیلته‌ی بیش‌تر اتفاق می‌افتد. ذرات رسی علیرغم اندازه‌ی ریز، دارای خاصیت چسبندگی و جذب سطحی بوده و با تشکیل فلوکوله یا تجمع مقاومت بیش‌تری در مقابل فرسایش دارند. ریز بودن ذرات باعث کاهش نفوذپذیری شده و فرسایش و ایجاد رواناب را افزایش می‌دهد؛ بالعکس در سازندهای نفوذپذیر ذرات درشت‌تر بوده و علاوه بر امکان انتقال سیال، رواناب و فرسایش کم‌تری حادث می‌شود. فراوانی کانی‌های رسی در خاک‌ها و فرایند خاک‌زایی متفاوت، گوناگون بوده و در شیب‌های بدون فرسایش کانی‌های رسی مخلوط لایه زیاد شده و دیگر کانی‌ها کاهش می‌یابند. با توجه به موارد فوق می‌توان شیب‌های دارا و فاقد فرسایش را از هم تفکیک نمود.

بافت خاک یکی از عوامل مهم و مؤثر بر فرسایش‌پذیری خاک است. مطالعات میر و هارمون (۱۹۸۴) حاکی از آن است که خاک‌های با بافت ریز و چسبندگی زیاد به سختی از هم جدا می‌شوند، ولی به راحتی انتقال می‌یابند. در مقابل، خاک‌های درشت‌بافت، راحت‌تر جدا شده، ولی در انتقال مشکل داشته و رسوب کم‌تری نسبت به خاک‌های ریز ایجاد می‌کنند. عموماً خاک‌های سیلته‌ی و لومی-سیلته‌ی بسیار فرسایش‌پذیر 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؛ بنابراین می‌توان مقدار درصد رس را به‌عنوان عوامل تعیین‌کننده شدت و نوع فرسایش در مارن‌های منطقه‌ی پیشوای قلمداد کرد. نتایج مطالعات ویشمایر و همکاران (۱۹۷۱) و لوک (۱۹۷۹) که به طور جداگانه انجام شده‌اند، نشان می‌دهند که با افزایش میزان رس خاک، فرسایش‌پذیری کاهش و با افزایش سیلت، فرسایش‌پذیری خاک افزایش می‌یابد (حسن‌زاده نفوتی، ۱۳۸۱: ۱۷۱).

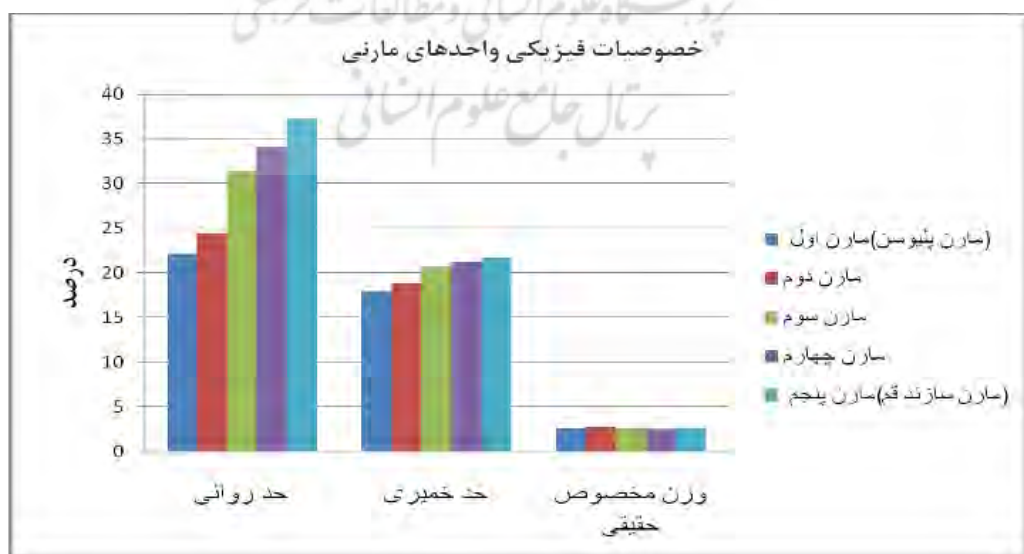
از نظر خصوصیات شیمیایی نیز شکل ۶ و جداول ۳ و ۴ و ۵ معرف این امر هستند که بین مارن‌های مختلف می‌توان تفکیکی را از این نظر اعمال نمود. سدیم و کلر بیش‌ترین و فراوان‌ترین یون‌ها بوده و نمک ترکیب اصلی تبخیری‌های منطقه را تشکیل می‌دهد. ژئوپس هم با ترکیب سولفات کلسیم، دومین فراوانی را داشته و باعث فراوانی دو عنصر در شکل ۶ شده است. هم‌چنین از داده‌های جدول ۳ می‌توان دریافت که آهک نمونه‌ها هم متغیر بوده و در مارن چهارم قرمز بالایی میوسن کم‌ترین و در مارن، مارن پنجم مربوط به سازند قم بیش‌ترین عدد را دارد. این امر به دلیل ماهیت محیط شیمیایی تشکیل متفاوت این دو در دریاچه و در دریای عمیق است.

هم‌چنین، اسیدیته، نسبت جذب سدیم (SAR)، مجموع نمک‌های محلول (TDS)، درصد سدیم (PS) از جمله پارامترهای قابل‌استفاده برای این کار می‌باشند. مطالعات متعددی نشان داده که در واقع در هنگام هوازگی کاهش شدیدی در میزان پارامترهای SAR، PS و ESP اتفاق می‌افتد. حداکثر SAR و TDS با کاهش نفوذپذیری و اندازه ذرات همواره هماهنگ و همراه بوده‌اند. مقادیر SAR و نوسانات آن اهمیت بالایی در فرسایش خاک داشته و معرفی برای پخش و تلاشی خاک محسوب می‌شوند (بوما و ایمسون، ۲۰۰۰: ۱۶۱). هم‌چنین TDS در شیب‌های غیرفرسایشی در عمق خاک افزایش یافته، اما در خاک‌های فرسایشی حداکثر TDS در عمق بسیار کمی قابل‌دسترسی است. به‌طورمعمول خاک‌های مارنی حساس به فرسایش، دارای مقادیر بالاتری از pH، SAR و PS بوده، درحالی‌که درصد سدیم قابل‌تبادل (ESP) در خاک‌های فرسایش‌ناپذیر بیش‌تر است. پوسته‌ی رویی خاک مشابه خاک‌های مقاوم عمل نموده و کم‌تر پخش و پراکنده می‌شوند.

جدول ۱: مقادیر متوسط حدود آتربرگ در نمونه‌ها

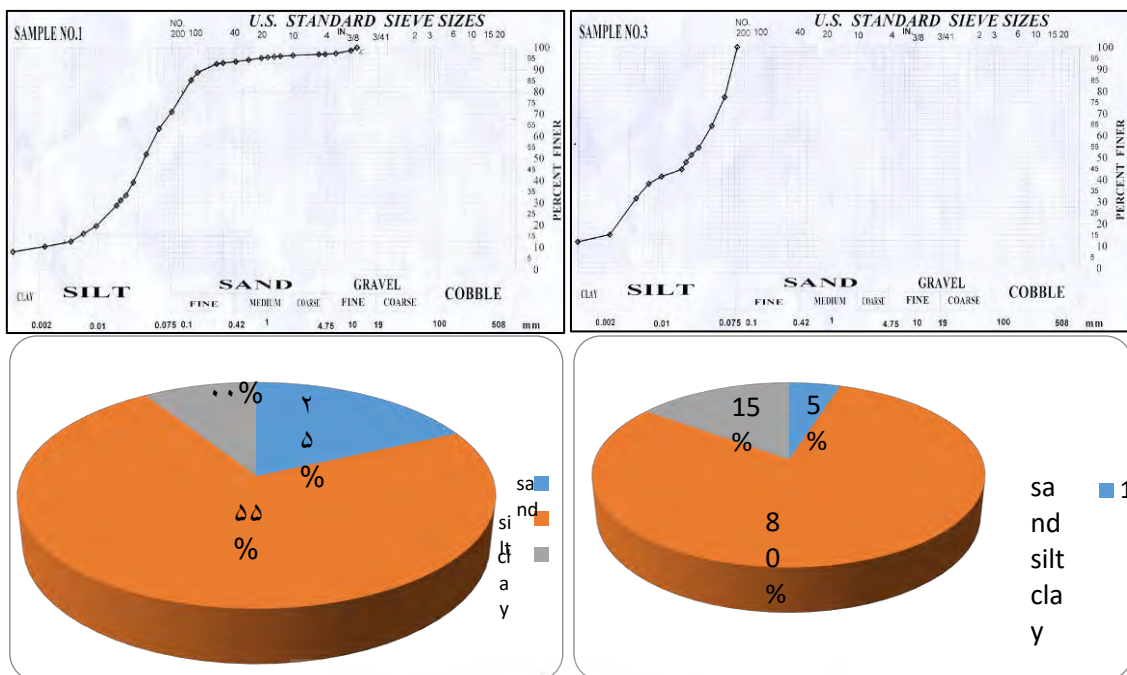
نام واحد زمین‌شناسی	حد خمیری			بافت خاک بر اساس طبقه‌بندی یونیفاید
	% PL	% LL	% PI	
مارن پلیوسن (مارن اول)	۱۹,۲۷	۲۴,۵۱	۵,۲۴	CL – ML
مارن پلیوسن (مارن اول)	۱۶,۶۱	۱۹,۷۱	۳,۱	CL
واحد M1 (مارن دوم)	۱۸,۸۷	۲۴,۳۹	۵,۵۲	CL – ML
واحد M2 (مارن سوم)	۲۰,۷۴	۳۱,۳۹	۱۰,۶۵	OL – ML
واحد M3 (مارن چهارم)	۲۲,۴۹	۳۸,۸۵	۱۶,۳۶	OL
واحد M3 (مارن چهارم)	—	ماسه‌ای	—	—
مارن سازند قم (مارن پنجم)	۲۱,۶۸	۳۷,۲۴	۱۵,۵۶	OL

OL: لای‌های آلی و رس‌های لای‌دار آلی با درجه‌ی خمیری کم، ML: رس‌های غیرآلی و ماسه‌های خیلی ریز، گرسنگ، ماسه‌های دانه‌ریز لای‌دار یا رس‌دار با درجه‌ی خمیری ناچیز، CL: رس‌های غیرآلی با درجه‌ی خمیری کم تا متوسط، رس‌های شن‌دار، رس‌های ماسه‌دار، رس‌های لای‌دار، رس‌های لاغر، حد روانی: پایین‌تر از ۵۰٪ به این مفهوم است که خاک به یکی از ۳ گروه زیر تعلق دارد: ML, CL, OL



شکل ۴: مقادیر و مقایسه‌ی وضعیت نمونه‌های مورد مطالعه از نظر حدود آتربرگ، (برگرفته از ستایش: ۱۳۹۴).





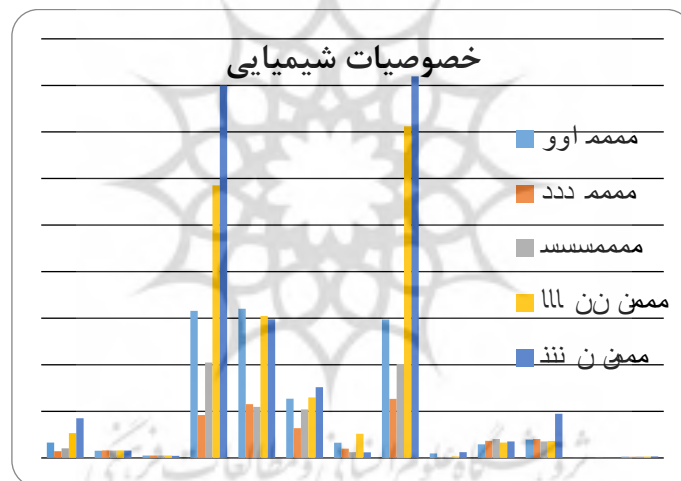
شکل ۵: دو منحنی دانه‌بندی و درصد انواع ذرات از دو نمونه مورد مطالعه

جدول ۲: مقادیر متوسط درصد اندازه‌ی ذرات مختلف در نمونه‌های معرف هر گروه

شماره‌ی نمونه	نام واحد	درصد رس	درصد سیلت	درصد ماسه	درصد گراول
۱	مارن اول (مارن پلیوسن)	۱۰	۶۰	۲۵	۵
۲	مارن اول (مارن پلیوسن)	۲۰	۵۵	۲۴	۱
۳	مارن چهارم (واحد M3)	۱۵	۸۰	۵	۰
۴	مارن سوم (واحد M2)	۱۵	۷۷	۵,۵	۲,۵
۵	مارن چهارم (واحد M3)	۵	۳۵	۵۵	۵
۶	مارن دوم (واحد M1)	۲۰	۶۲,۵	۱۰	۷,۵
۷	مارن پنجم (مارن سازند قم)	۲۷,۵	۷۱,۵	۱	۰

معمولاً در خاک، پایداری خاک‌دانه‌ها به نوع کانی رسی بستگی دارد. رس‌هایی که در آن‌ها نسبت سیلیس به اکسیدهای آهن و آلومینیم بیش‌تر باشد، در اثر رطوبت متورم شده و خاک‌دانه‌ها ناپایدار می‌گردند و برعکس رس‌هایی که این نسبت در آن‌ها کم‌تر باشد، خاک‌دانه‌های آن‌ها در برابر آب مقاومت بیش‌تری دارند و فرسایش‌پذیری آن‌ها کم‌تر است (حشمتی، ۱۳۷۶: ۱۷۲). حساسیت کانی‌های رسی نسبت به آماس‌پذیری و تورم به ترتیب از کائولینیت به کلریت، ایلیت، ورمیکولیت و نهایتاً مونتموریلونیت افزایش می‌یابد. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از آزمایشات XRD، کانی‌های رسی موجود در واحدهای مارنی مختلف از نوع ایلیت و کلریت می‌باشند که ایلیت فراوانی بیش‌تری دارد. این کانی‌ها در فرسایش‌پذیری از اهمیت نسبتاً کم‌تری برخوردار هستند. می‌توان گفت که هر یک از عوامل مربوط به خصوصیات فیزیکی و خود متغیر خصوصیات فیزیکی با میزان رواناب ارتباط معناداری دارند. به‌جز وزن مخصوص حقیقی که با میزان رواناب رابطه‌ی معناداری ندارد. با توجه به مقادیر ضریب همبستگی پیرسون در بالا می‌توان گفت که ابتدا حد خمیری و بعد حد روانی بیش‌ترین ارتباط را با میزان رواناب دارند و خود متغیر خصوصیات فیزیکی نیز به نسبت، ارتباط خوبی با میزان

رواناب دارد. هم‌چنین نتایج گویای آن است که متغیرهای زیر به ترتیب بیش‌ترین تا کم‌ترین ارتباط معنادار را با میزان رواناب دارند. نتایج آزمون آنووا در مورد تفاوت معنادار بین خصوصیات فیزیکی واحدهای مارنی مختلف را تأیید می‌کند. همان‌طور که دیده می‌شود، خصوصیات فیزیکی واحد مارنی اول و دوم تقریباً در یک راستا و خصوصیات فیزیکی واحدهای مارنی سوم، چهارم و پنجم نیز در یک راستا قرار دارند. با توجه به جدول شماره ۳ دیده می‌شود که بین میانگین‌ها تفاوت وجود دارد. برای این‌که متوجه شویم این تفاوت معنادار است یا نه، به مقدار  $F$  و  $sig.$  نگاه می‌کنیم که با توجه به آن‌ها دیده می‌شود، این تفاوت معنادار است. مطالعات گذشته نشان داده است که مقدار رس با میزان رسوب‌دهی و حجم رواناب دارای همبستگی منفی معنی‌دار است و نیز میزان رسوب‌دهی با میزان سیلت واحدهای مارنی دارای همبستگی مثبت است. هم‌چنین میزان حجم رواناب در بین واحدهای مارنی اغلب اختلاف معنی‌داری ندارد. در واحدهای مارنی اشکال فرسایشی مختلف دیده می‌شود، ولی اشکال فرسایشی غالب در مارن‌های منطقه‌ی پیشوا از انواع فرسایش آبراهه‌ای، سطحی، تونلی و خندقی است؛ لذا بررسی‌های آماری برای این پنج فرسایش انجام شده است. یکی دیگر از فاکتورهای مؤثر بر فرسایش میزان کاتیون‌های اصلی و نسبت کاتیون‌های تک به دو ظرفیتی در مارن‌ها است. همان‌طور که در جدول ۴ می‌توان دید مارن پنجم دارای مجموع کاتیون دو ظرفیتی بالا و تک‌ظرفیتی پایین‌تری است. مارن سوم قرمز بالایی هم کم‌ترین کاتیون‌های دو ظرفیتی را دارد. از دیدگاه نسبت کاتیون‌ها وارن چهارم بالاتریم مقدار را نشان می‌دهد. معمولاً پراکندگی داده‌ها به‌ویژه در مورد میزان یون سدیم، SAR و رس در اشکال مختلف فرسایشی وجود دارد.



شکل ۶: مقایسه‌ی خصوصیات شیمیایی پنج گروه مارنی منطقه

جدول ۳: متوسط مقادیر آهک و کربنات کلسیم کل در واحدهای مارنی منطقه

نام واحد مارنی	مقدار آهک (CaCO <sub>3</sub> ) %	میانگین کربنات کلسیم
مارن پلیوسن (مارن اول)	۲۲,۴	۱۹,۷۶
مارن پلیوسن (مارن اول)	۱۷,۱۲	
واحد مارنی M1 (مارن دوم)	۲۰,۲	۲۰,۲
واحد مارنی M2 (مارن سوم)	۱۷,۷۸	۱۷,۷۸
واحد مارنی M3 (مارن چهارم)	۱۶,۹	۱۸,۲۲
واحد مارنی M3 (مارن چهارم)	۱۹,۵۴	
مارن سازند قم (مارن پنجم)	۴۷,۴۸	۴۷,۴۸

جدول ۴: میانگین مقادیر متوسط کاتیون‌ها و نسبت کاتیونی در نمونه‌های منطقه

واحد زمین‌شناسی					میانگین کاتیون‌ها
مارن سازند قم (مارن پنجم)	واحد مارنی M3 (مارن چهارم)	واحد مارنی M2 (مارن سوم)	واحد مارنی M1 (مارن دوم)	مارن پلیوسن (مارن اول)	
۶۸	۵/۴۵	۱/۲۹	۲۱	۳/۸۳	Ca <sup>2+</sup> + Mg <sup>2+</sup>
۰۲۵/۲۰۸	۸۶/۱۷۸	۹۴/۵۰	۲۲/۳۲	۹۸/۷۸۸	Na <sup>+</sup> + K <sup>+</sup>
۰۵۹/۳	۹۳۰/۳	۷۵۰/۱	۵۳۴/۱	۴۷۱/۹	نسبت کاتیون‌های تک‌ظرفیتی به دو ظرفیتی

برای پی بردن به این‌که پراکندگی زیاد متغیرها بین میانگین‌های هر گروه حاصل شانس و خطای نمونه‌گیری است یا حاصل یک تفاوت منظم، می‌توان از آنالیز تحلیل همبستگی پیرسون استفاده کرد. در این قسمت یک روش آماری جهت تحلیل اطلاعات آماری از یک طرح یک متغیری با دو یا بیش از دو جامعه‌ی مستقل ارائه می‌گردد. نتایج این روش تحلیل این تحلیل بر روی میانگین داده‌ها در جدول ۷ آمده است. با استفاده از این روش می‌توان فرضیه‌های مربوط به وجود تفاوت بین میانگین‌های دو یا بیش از دو مورد آزمایش قرار داد (طالبی و پورکرمان، ۱۳۹۱: ۴). افزایش میزان هدایت الکتریکی خاک، نشانگر افزایش مواد قابل انحلال موجود در آن است. مقادیر زیاد هدایت الکتریکی در محلول خاک که بیش‌ترین یون‌های تشکیل‌دهنده‌ی آن سدیم باشد، باعث انبساط شدید در خاک و دیس‌پرسه شدن آن می‌شود (ایلماز و همکاران، ۲۰۰۵: ۳۳). میانگین مقادیر میزان هدایت الکتریکی در نتایج به‌دست‌آمده از نمونه‌های منطقه دارای اختلاف است، ولی این اختلاف خیلی معنی‌دار نیست. جدول ۵ مقادیر متوسط متغیرهای شیمیایی واحدهای مارنی منطقه را نشان می‌دهد و می‌توان دید که به دلیل شرایط تشکیل و محیط رسوبی دارای شرایط اکسیداسیون و احیاء متفاوت، عناصر شیمیایی و ترکیب یونی گوناگونی را دارا هستند. درجه‌ی شوری کم تا زیادی را نشان داده و از تبخیری کم‌عمق و سیخایی تا دریایی شور و فوق اشباع را در برمی‌گیرند.

در بررسی ارتباط بین اشکال فرسایش با میزان رواناب و زمان شروع فرسایش (جدول ۶) می‌توان مشاهده نمود که با افزایش رواناب انواع بیش‌تری از اشکال فرسایش دیده می‌شود. فرسایش تونلی هم با آستانه فرسایش بالا و رواناب نسبتاً کم اتفاق می‌افتد که با نفوذپذیری نسبتاً بالاتر زمین قابل توجیه است. هرچه حجم رواناب بیش‌تر شده آستانه‌ی شروع کم‌تر بوده است. 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 واریانس 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 (از طریق هوازدگی کانی‌های خاک آزاد شده یا از طریق افزایش دولومیت)، حالتی مثل خاک‌های سدیک به آن‌ها خواهد داد. منیزیم در سایت‌های تبدلی، 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 لایه‌ی آبپوشیده‌ی بیش‌تری دارد که باعث افزایش فاصله‌ی بین لایه‌های رس و کاهش نیروی الکترواستاتیک بین ذرات رس شده و منجر به دیس‌پرسه شدن می‌شود. هر چه میزان منیزیم نسبت به کلسیم در خاک‌ها افزایش یابد، میانگین وزنی قطر خاک‌دانه‌ها کاهش یافته و فرسایش و سله‌ی سطحی افزایش می‌یابد (دونتسووا و نورتون، ۲۰۰۱: ۴۵). مقدار یون پتاسیم حداقل

مربوط به فرسایش آبراه‌های و مقدار حداکثر آن مربوط به فرسایش خندقی بوده 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 است. همچنین با توجه به نتایج تجزیه‌ی واریانس، بین تمام اشکال فرسایشی از نظر یون سدیم اختلاف معنی‌داری وجود دارد؛ بنابراین اینجا نیز می‌توان یون سدیم را به‌عنوان یک شاخص برای تفکیک اشکال مختلف فرسایشی قلمداد کرد (بوما و ایمسون، ۲۰۰۰: ۱۶۲؛ واشر و همکاران، ۲۰۰۴: ۱۵۱). مقدار میانگین نسبت جذبی سدیم در مارن‌های مورد مطالعه دارای روند افزایشی از فرسایش صفحه‌ای به خندقی است. بین همه‌ی اشکال فرسایشی در میزان نسبت جذب سدیم اختلاف معنی‌دار وجود دارد؛ بنابراین می‌توان مقدار نسبت جذب سدیم را نیز به‌عنوان عوامل تعیین‌کننده‌ی شدت و نوع فرسایش در مارن‌ها قلمداد کرد (بوما و ایمسون، ۲۰۰۰: ۱۶۳؛ قدیمی، ۳۷۸: ۹۲۵).

با توجه به آمار حاصل مشاهده می‌گردد که: ۱- اول حد خمیری و بعد حد روانی ارتباط معناداری با میزان رواناب دارند و وزن مخصوص حقیقی ارتباط معناداری با میزان رواناب ندارد. ۲-  $R$  در جدول فوق در حقیقت میزان همبستگی چندگانه بین متغیرهای مستقل حد روانی و حد خمیری و متغیر وابسته میزان رواناب و رسوب حاصل را نشان می‌دهد که با توجه به مقدار آن می‌توان گفت همبستگی خوبی بین این متغیرها وجود دارد. ۳- مقدار  $A$  در معادلات پیش‌بینی برای نمرات خام در حقیقت همان عرض از مبدأ است؛ یعنی میزان متغیر وابسته بدون دخالت متغیرهای مستقل. ۴- مقادیر  $B$  در واقع ضرایب رگرسیونی استاندارد نشده هستند (ضرایب مربوط به مدل رگرسیونی برآورد شده). ۵-  $\beta$ ها نیز ضرایب رگرسیونی در حالت استاندارد شده می‌باشند که سهم نسبی هر متغیر مستقل را در تبیین تغییرات متغیر وابسته مشخص می‌کنند که با توجه به مقدار  $\beta$  مربوط به متغیرها می‌توان گفت که متغیر حد خمیری نسبت به متغیر حد روانی سهم بیش‌تری در تبیین تغییرات متغیر وابسته (میزان رواناب و رسوب حاصل) دارد. جدول ۸ نشان می‌دهد که مارن‌های سوم مربوط به قرمز بالای ۳ برابر و مارن‌های اول و پنجم ۹ تا ۹/۵ برابر حد مجاز فرسایش داشته و منطقه را در حالت بحرانی قرار داده‌اند. این امر برای اولویت‌بندی مناطق و عملیات حفاظتی مهم است. نتایج حاصل گویای آن است که معادله‌های پیش‌بینی برای نمرات خام و معادله نمرات استاندارد به صورت زیر می‌باشند: (۱) (حد خمیری)  $14,68 + (حد روانی) 3,736 + 13,52 =$  نمره‌ی میزان رواناب و (۲) (حد خمیری)  $0,463 + (حد روانی) 0,452 =$  نمره‌ی میزان رواناب. متغیر وابسته میزان رواناب و رسوب حاصل و متغیرهای مستقل حد خمیری و حد روانی رابطه وجود دارد. آنالیز رگرسیون خطی چندمتغیره نشان می‌دهد که به ترتیب حد خمیری- حد روانی بیش‌ترین ارتباط را با میزان رواناب و رسوب حاصل از واحدهای مارنی متفاوت دارند.

جدول ۵: مقادیر متوسط متغیرهای شیمیایی واحدهای مارنی منطقه

خصوصیات شیمیایی	مارن ۱	مارن ۲	مارن ۳	مارن ۴	مارن ۵
EC	۱۶,۵۵۰.۸	۷,۲۶	۱۰,۲۷	۲۶,۷	۴۲,۷
PH	۷,۷۸	۸,۰۷	۷,۹۴	۸,۱	۷,۹۵
Hco3	۲,۶۲۵	۲,۵	۲,۵	۲,۶۲۵	۲,۲۵
Cl	۱۵۷,۹۳۷	۴۶	۱۰۲,۵	۲۹۲,۷۵	۴۰۰
So4	۱۶۰,۱	۵۷,۷	۵۴,۷۴	۱۵۲,۴	۱۴۸,۹
Ca++	۶۳,۶	۳۲	۵۲	۶۵	۷۶
Mg++	۱۶,۲۸۳	۱۰	۶,۲	۲۶	۶
Na+	۱۴۸,۷۳	۶۳,۴۸	۱۰۰,۸۸	۳۵۶,۱	۴۰۹,۸
K+	۴,۸۷۵	۰,۹۶	۱	۱,۶۲۵	۶,۲۵
CEC	۱۴,۶	۱۸,۴	۲۰,۲	۱۶,۴۶۱	۱۷,۷۴
TNV	۱۹,۷۶	۲۰,۲	۱۷,۷۸	۱۸,۲۲	۴۷,۴۸
OC	۰,۰۷۴۲	۰,۰۹۹	۰	۰,۰۲	۰,۰۵۹
CaSo4	۱,۴۱۳	۱,۲۳	۱,۳۸	۱,۳۹۳	۱,۴۸
درجه‌ی شوری	کم	کم	متوسط	زیاد	زیاد

جدول ۶: میزان رواناب و آستانه شروع فرسایش در مارن‌های دارای اشکال مختلف فرسایش

ایستگاه	درصد شیب	میزان رواناب (سی‌سی)	زمان شروع یا آستانه فرسایش (دقیقه/ثانیه)	فرسایش غالب
۱	۲۰٪	۷۹۰	۱:۵۰	تونلی
	۲۰٪	۹۶۰	۱:۳۰	آبراه‌های
۲	۲۰٪	۱۱۰۰	۱:۲۰	-
	۲۰٪	۱۱۲۰	۱:۲۰	آبراه‌های
۳	۲۰٪	۱۱۷۰	۰:۵۰	موازی-پنجه‌ای-آبراه‌های و شیاری
	۲۰٪	۱۱۱۰	۰:۵۲	شیاری و پنجه‌ای
۴	۲۰٪	۷۹۰	۰:۳۳	-
	۲۰٪	۱۱۰۰	۰:۴۲	سطحی-شیاری-موازی
۵	۲۰٪	۹۳۰	۰:۲۸	پنجه‌ای
	۲۰٪	۹۲۰	۰:۲۸	پنجه‌ای
۷ و ۶	۲۰٪	۹۲۰	۰:۵۵	شیاری
	۲۰٪	۱۰۴۰	۰:۳۰	موازی-آبراه‌های-شیاری

جدول ۷: نتایج آماری همبستگی پیرسون بین متغیرها در نمونه‌های منطقه‌ی پیشوا

میزان رواناب	خصوصیات فیزیکی	وزن مخصوص حقیقی	حد خمیری	حد روانی
حد روانی	همبستگی پیرسون	۱		
	p- value			
حد خمیری	همبستگی پیرسون	۰,۹۷۳	۱	
	p- value	۰		
وزن مخصوص حقیقی	همبستگی پیرسون	-۰,۴۵۴	-۰,۵	۱
	p- value	۰,۰۳۱	۰,۰۲۵	
خصوصیات فیزیکی	همبستگی پیرسون	-۰,۴۸۸	۰,۹۸۳	۰,۹۹۹
	p- value	۰,۰۲۷	۰	۰
میزان رواناب	همبستگی پیرسون	۰,۲۶	۰,۵۱۴	۰,۴۰۹
	p- value	۰,۰۵۷	۰,۰۲۴	۰,۰۳۶

جدول ۸: نتایج میانگین فرسایش خاک در هر واحد مارنی در منطقه‌ی پیشوا

نام واحد مارنی	میزان فرسایش	میانگین فرسایش در هر واحد مارنی	میزان فرسایش نسبت به حد مجاز
مارن پلیوسن (مارن اول)	۱۷,۰۶۳	۱۱,۵۲۶	۹ برابر
مارن پلیوسن (مارن اول)	۵,۲۹۹		
مارن پلیوسن (مارن اول)	۹,۰۴۵		
مارن پلیوسن (مارن اول)	۱۴,۷۶۶		
(مارن دوم) M1 واحد مارنی	۱۶,۴۵۸	۹,۷۷۵	۸ برابر
(مارن دوم) M1 واحد مارنی	۸,۶۹		
(مارن دوم) M1 واحد مارنی	۴,۱۷۸		
(مارن سوم) M2 واحد مارنی	۷,۴۵۱	۱۱,۴۸۳	۹ برابر
(مارن سوم) M2 واحد مارنی	۱۵,۴۲۵		
(مارن چهارم) M3 واحد مارنی	۵,۸۷۲	۴,۰۶۱	۳ برابر
(مارن چهارم) M3 واحد مارنی	۳,۲۴۸		
(مارن چهارم) M3 واحد مارنی	۳,۰۶۴		
مارن سازند قم (مارن پنجم)	۷,۰۲۴	۱۱,۹۷۱	۹,۵ برابر
مارن سازند قم (مارن پنجم)	۱۲,۳۵۶		
مارن سازند قم (مارن پنجم)	۱۶,۵۳۳		

### ۵- نتیجه‌گیری

در این تحقیق، مکانیسم‌ها و میزان فرسایش‌پذیری مارن‌های منطقه‌ی پیشوای ورامین با استفاده از دستگاه شبیه‌ساز باران از دیدگاه ژئوشیمیایی مورد بررسی قرار گرفته است. در این رابطه سه فاکتور درصد ذرات سیلت و رس، میزان یون سدیم و کانی‌های رسی در تولید رسوب و فرسایش‌پذیری مارن‌ها، مهم تشخیص داده شده‌اند. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از تجزیه‌ی واریانس، یون سدیم و نسبت جذب سدیم در اشکال مختلف فرسایشی مارن‌های منطقه‌ی پیشوا دارای اختلاف معنی‌داری هستند که عوامل مهمی در تنوع اشکال فرسایشی در منطقه می‌باشند. بیش‌ترین میانگین یون سدیم و نسبت جذب سدیم مربوط به فرسایش خندقی و کم‌ترین میانگین یون سدیم و نسبت جذب سدیم مربوط به فرسایش سطحی

می‌باشند؛ بنابراین یون سدیم و SAR باعث افزایش فرسایش‌پذیری در مارن‌های منطقه شده است. فاکتور مهم دیگر در فرسایش‌پذیری مارن‌های منطقه، مقدار کم درصد ذرات رس است. با توجه به نتایج تجزیه‌ی واریانس، میزان درصد رس در اشکال مختلف فرسایشی دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشند. میزان درصد رس در نمونه‌ها از فرسایش سطحی به خندقی کاهش می‌یابد. با توجه به نتایج آزمون همبستگی پیرسون می‌توان دریافت که با افزایش میزان ذرات رس، میزان رسوبدهی کاهش می‌یابد. هم‌چنین با توجه به این‌که میزان رس در واحدهای مارنی مختلف دارای اختلاف معنی‌داری است، فاکتور میزان رس، عامل مهم در فرسایش‌پذیری مارن‌های منطقه به شمار می‌آید. مارن‌های شمال منطقه به دلیل میزان رس کم‌تر و میزان سیلت و رسوبدهی بیش‌تر نسبت به مارن‌های جنوب منطقه از فرسایش‌پذیری بیش‌تری برخوردار هستند. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از آزمون‌های مهندسی، خاک‌های منطقه جزو خاک‌های ریزدانه با چسبندگی زیاد به شمار می‌آیند. نوع کانی رسی در مارن‌های منطقه، کانی‌های رسی ایلیت و کلریت تشخیص داده شدند که در فرسایش‌پذیری از اهمیت کم‌تری برخوردار هستند.

#### ۶- منابع

۱. اسماعیل‌نژاد، لیلا، رمضان‌پور، حسن، شعبان‌پور، محمود (۱۳۸۶)، خواص فیزیکی‌وشیمیایی و فیزیولوژیکی مارن‌ها و اثر آن‌ها بر فرسایش خاک در جنوب استان گیلان، پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد، دانشگاه گیلان، ۱۷۵ صفحه.
۲. حاتمیان، زهرا (۱۳۹۰). استفاده از شبیه‌ساز باران در تشخیص میزان فرسایش‌پذیری مارن‌های اشتهارد، پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد رسوب‌شناسی دانشگاه آزاد اسلامی تهران شمال، استاد راهنما: حمیدرضا پیروان، خلیل رضایی، ۱۴۰ صفحه.
۳. حسن‌زاده نفوتی، محمد (۱۳۸۳). مطالعه‌ی ویژگی‌های مؤثر بر فرسایش‌پذیری مارن‌ها، رساله‌ی دکتری، دانشگاه آزاد اسلامی علوم و تحقیقات تهران، استاد راهنما: حسن احمدی، ۱۹۰ صفحه.
۴. حشمتی، محمدحسن (۱۳۷۶). خواص فیزیکی، شیمیایی، فرسایش‌پذیری و رسوب‌زایی سازندهای پابده، گچساران و آغاچاری در ناحیه‌ی قصر شیرین، پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه تهران، استاد راهنما: حسن احمدی، ۱۸۵ صفحه.
۵. خدادادی، ابودر (۱۳۹۳). بررسی مکانیسم و شاخص‌های فرسایش‌پذیری مارن‌ها و نهشته‌های کواترنر نوبران ساوه با استفاده از شبیه‌ساز باران، پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد رسوب‌شناسی دانشگاه خوارزمی تهران، استاد راهنما: خلیل رضایی و فرج‌ا... فیاضی، ۱۵۰ صفحه.
۶. دهقانی، نفیسه (۱۳۹۲). مطالعه‌ی مکانیسم‌ها و شاخص فرسایش‌پذیری مارن‌های سازند قرمز بالایی در حسن‌آباد جنوب تهران، پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد رسوب‌شناسی، دانشگاه آزاد تهران شمال، استاد راهنما: خلیل رضایی، ۱۴۵ صفحه.
۷. رفاهی، حسینقلی (۱۳۸۶). فرسایش آبی و کنترل آن، چاپ سوم، انتشارات دانشگاه تهران.
۸. ستایش، عبدالمتین (۱۳۹۴). مکانیک خاک در مهندسی عمران، ویرایش دوم، تهران: انتشارات دانشگاه تهران.
۹. عالیخانی، الهه (۱۳۹۱). تعیین ساز و کارهای فرسایش خاک در حوضه‌ی آبخیز لانتشور با استفاده از شبیه‌ساز باران، پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد رسوب‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی تهران شمال، استاد راهنما: حمیدرضا پیروان، خلیل رضایی، ۱۶۲ صفحه.
۱۰. قدیمی عروس محله، فریدون، پورمتین، علی، قدوسی، جواد (۱۳۷۸). تأثیر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی مارن‌ها در ایجاد اشکال فرسایش، اولین کنفرانس زمین‌شناسی مهندسی و محیط‌زیست ایران، صص ۹۱۹-۹۲۹.
۱۱. طالبی، آیدا، پورکرمان، محمد (۱۳۹۱). متغیرهای فیزیکی و شیمیایی مارن‌ها و تأثیر آن‌ها بر اشکال مختلف فرسایش در حبله‌رود، هفتمین همایش زمین‌شناسی مهندسی و محیط‌زیست، دانشگاه صنعتی شاهرود.

12. Arnaez, J., Lasanta, T., Ruiz-Flaño, P., & Ortigosa, L. (2007). Factors affecting runoff and erosion under simulated rainfall in Mediterranean vineyards. *Soil and Tillage Research*, 93(2), 324-334.
13. Bouma, N. A., & Imeson, A. C. (2000). Investigation of relationships between measured field indicators and erosion processes on badland surfaces at Petrer, Spain. *Journal of Catena*, 40, 147-171.
14. Burt, R. (2004). *Soil Survey Laboratory Methods Manual*. United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service, USA, 700.
15. Dontsova, K. & Norton, L.D. (2001). Effects of exchangeable Ca:Mg ratio on soil clay flocculation, infiltration and erosion. National Soil Erosion Research Laboratory. USDA-ARS.
16. Grubin, M. K. & Bryan, R. (2011). Clay mineralogy as a crucial factor in badland hillslope processes. *Geophysical Research Abstracts*, 13, EGU, pp 2011-13966.
17. Jin, K., Cornelis, W. M., Gabriels, D., Schiettecatte, W., Neve, S. D., Lu, J., Buysse, T., Wu, H., cal, D., Jin, J., & Harmann, R. (2008). Soil management effects on runoff and soil loss from field rainfall simulation. *Catena*, 75(2), 191-199.
18. Lado, M., Paz, A., & Ben-Hur, M. (2004). Organic matter and aggregate-size interactions in saturated hydraulic conductivity. *Soil Science Society of America Journal*, 68(1), 234-242..
19. Luk, S. H. (1979). Effect of soil properties on erosion by wash and splash. *Earth Surface Processes and Landforms*, 4(3), 241-255..
20. Meyer, L. D., & Harmon, W. C. (1984). Susceptibility of agricultural soils to interrill erosion. *Soil science society of America Journal*, 48(5), 1152-1157.
21. Page, A. L., Miller, R. H. & Keeney, D. R. (1982). *Methods of Soil Analysis Part 2: Chemical and Microbiological Properties*. 2nd ed., American Society Agronomy, Journal of Soil Science Society American, Madison, Wisconsin, USA. 1159.
22. Rienks, S. M., Botha, G. A., & Hughes, J. C. (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(1), 11-31.
23. Vacher, C. A., Raine, S. R. & Loch, R. J. (2004). Testing procedures to characterize tunneling risk on soil materials. 13th International Soil Conservation Organization Conference- Brisbane. July 2004 (ISCO).
24. Wakindiki, I. I. C., & Ben-Hur, M. (2002). Soil mineralogy and texture effects on crust micromorphology, infiltration, and erosion. *Soil Science Society of America Journal*, 66(3), 897-905.
25. Wischmeier, W. H., Johnson, C. B., & Cross, B. V. (1971). Soil erodibility nomograph for farmland and construction sites.
26. Yilmaz, K., Çelik, I., Kapur, S., & Ryan, J. (2005). Clay minerals, Ca/Mg ratio and Fe-Al-oxides in relation to structural stability, hydraulic conductivity and soil erosion in southeastern Turkey. *Turkish journal of agriculture and forestry*, 29(1), 29-37.