

## تأثیر خواص فیزیکوشیمیایی مارن‌ها بر میزان فرسایش‌پذیری آن‌ها با استفاده از دستگاه شبیه‌ساز باران در منطقه نوبران، ساوه

خلیل رضایی\* - استادیار گروه زمین‌شناسی، دانشگاه خوارزمی

پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۰۷/۱۷      تأیید نهایی: ۱۳۹۵/۱۲/۱۶

### چکیده

مارن‌ها یکی از مهم‌ترین واحدهای رسوبی در ایران می‌باشند که به لحاظ ویژگی‌های فیزیکی-شیمیایی از رسوب‌زدایی و فرسایش‌پذیری زیادی برخوردار هستند. ماهیت دانه‌بندی و عناصر موجود در آن‌ها و تأثیر این دو موضوع در میزان فرسایش مارن‌ها بسیار مهم می‌باشد. در پژوهش حاضر به بررسی ویژگی‌های فیزیکی-شیمیایی واحدهای مارنی و تأثیر آن بر اشکال مختلف فرسایشی در منطقه نوبران ساوه پرداخته شده است. بدین منظور علاوه بر نمونه‌برداری از رسوبات، آزمایش شبیه‌سازی باران (به کمک دستگاه شبیه‌ساز باران) در سه واحد مارنی منطقه بر اساس اشکال مختلف فرسایشی انجام شد و میزان رواناب و رسوب تولیدشده در هر نقطه در آزمایشگاه تفکیک و اندازه‌گیری شد. همچنین در آزمایشگاه پارامترهای هدایت الکتریکی، میزان عناصر سدیم، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، گچ، درصد ذرات رسوبی و سدیم قابل جذب (SAR) نمونه‌ها اندازه‌گیری گردید. در تجزیه و تحلیل داده‌ها از روش تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها در نرم‌افزار آماری SPSS استفاده شده است. همچنین مقایسه‌ای اجمالی بین دامنه‌های روبه شمال و جنوب که از نظر فرسایش متفاوت می‌باشند، نیز انجام شد. بر اساس نتایج تجزیه واریانس اشکال مختلف فرسایشی در میزان یون سدیم، نسبت جذب سدیم و میزان درصد رس، دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشند. 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 سه متغیر یون سدیم، نسبت جذب سدیم و درصد رس نمونه‌ها را می‌توان عواملی تأثیرگذار در فرسایش مارن‌های منطقه و ایجاد اشکال مختلف فرسایشی دانست. بنابراین بین نوع لندفرم و خواص فیزیکی و شیمیایی مواد سازنده و نحوه و میزان فرسایش‌پذیری آن ارتباط وجود دارد.

واژگان کلیدی: فرسایش؛ شبیه‌ساز باران؛ ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی؛ نوبران ساوه.

## مقدمه

امروزه فرسایش خاک از مسائل و مشکلات مهم محیط‌زیست به شمار می‌رود و پر شدن دریاچه‌ها، مخازن سدها و کاهش عمر مفید و بهره‌وری آن‌ها را سبب می‌شود. همچنین سیلاب‌های مکرر و از بین رفتن زیرساخت‌ها، جاده‌ها و زمین‌های کشاورزی و آلوده شدن آب شرب، ضررهای جبران‌ناپذیری به انسان و اکوسیستم وارد می‌نماید. فرسایش خاک امری اجتناب‌ناپذیر است که فعالیت‌های بشری می‌تواند آن را کاهش داده و یا افزایش دهد (رفاهی، ۱۳۸۳: ۸؛ آسنسیو و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۱۶: ۱۲۳۴؛ اشمید و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۱۶: ۸۴۵). طی فرایند فرسایش، ذرات خاک از بستر اصلی خود جدا شده و به کمک آب یا باد به مکان دیگری انتقال می‌یابند. برای مقابله با این پدیده ابتدا باید آن را شناسایی و به‌نوعی رفتارشناسی نمود. یکی از روش‌های بررسی فرسایش استفاده از شبیه‌سازهای باران است. مطالعات مختلف و متنوعی در این رابطه در جهان انجام شده و هنوز در حال پیگیری است. برای مثال جین و همکاران<sup>۳</sup> (۲۰۰۸: ۱۹۵) اثرات مدیریت حوضه آبریز را بر میزان تولید رواناب و هدر رفت خاک با استفاده از باران ساز مطالعه کردند. در این مطالعه ۲۸ های با مدیریت مختلف از جمله با شخم، بدون شخم، تحت شخم کم، با مالچ، سازی بارش بر روی خاک‌آزمایش شبیه بدون مالچ و نیز تحت دو کشت مورد مطالعه قرار گرفته است. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که بین این تیمارها از لحاظ شدت تولید رواناب و رسوب، اختلاف معنی‌داری وجود دارد، به‌طوری‌که خاک بدون مالچ - شخم خورده بیشترین میزان هدر رفت خاک را به خود اختصاص داده و خاک پوشیده شده توسط مالچ نسبت به سایر تیمارها خاک را بهتر حفاظت می‌کند. آرناز<sup>۴</sup> (۲۰۰۶: ۵۵) با کمک شبیه‌ساز باران میزان رواناب و فرسایش را در شیب ۳/۸ درجه در خاک‌های لومی مورد بررسی قرارداد. نتایج مطالعات وی حاکی از این است که میزان رواناب با شدت بارش، رابطه خطی نمایی دارد و میزان هدر رفت خاک نیز با افزایش شدت بارش، افزایش می‌یابد. همچنین در ایران نیز مطالعاتی بر روی فرسایش و رسوب در مناطق مارنی انجام شده است که از آن جمله می‌توان مطالعات حشمتی (۱۳۷۶)، قدیمی عروس محله (۱۳۷۷)، اسماعیل نژاد و همکاران (۱۳۸۶)، عالیخانی (۱۳۹۱)، حاتمیان (۱۳۹۰)، خدادادی (۱۳۹۴) را نام برد. در این مطالعات میزان تولید رواناب و رسوب با باران ساز مصنوعی اندازه‌گیری شده و همگی بیان داشته‌اند که واحدهای مارنی، فرسایش و رسوب بالایی نسبت به سایر واحدهای زمین‌شناسی تولید نموده و در رابطه با ارتباط نوع فرسایش خاک و ژئوشیمی آن، می‌توان بیان نمود که در بین انواع اشکال فرسایش، فرسایش ورقه‌ای در اراضی مارنی دارای غلظت کم یون سدیم، نسبت جذب سدیم پایین و مواد غیر پخش شونده، 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 (پازتور و همکاران<sup>۵</sup>، ۲۰۱۶: ۲۴۲۱؛ واشر و همکاران<sup>۶</sup>، ۲۰۰۴: ۴؛ بچت و همکاران<sup>۷</sup>، ۲۰۱۶: ۷۸۲). اراضی دارای اشکال فرسایش هزاردره‌ای، معمولاً غنی از سدیم و مواد به‌شدت پخش شونده هستند که مقدار، شدت و نوع فرسایش در آن‌ها به میزان زیاد تحت تأثیر نوع کانی‌های رسی خاک می‌باشد. 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

<sup>1</sup> Asensio

<sup>2</sup> Schmid

<sup>3</sup> Jin

<sup>4</sup> Arenaz

<sup>5</sup> Pásztor

<sup>6</sup> Vacher

<sup>7</sup> Bechet

هستند (گوربین و بریان<sup>۱</sup>، ۲۰۱۱: ۱۳۹۶). خاک‌های کاتولینیتی 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 (واکیندیکی و بنهور<sup>۲</sup>، 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 تأثیر اساسی بر پایداری خاکدانه‌ها دارند و 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 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 (لادو و همکاران<sup>۳</sup>، ۲۰۰۴: ۲۳۹؛ زنگ و همکاران<sup>۴</sup>، ۲۰۱۷: ۳؛ فرری و همکاران<sup>۵</sup>، ۲۰۱۷: ۲).

خاک‌های منطقه نوبران نیز به دلیل شرایط طبیعی وجود سازندهای فرسایش‌پذیر ماری و فعالیت‌های انسانی، کشاورزی و دامپروری دارای پتانسیل رسوب‌دهی بالایی می‌باشد. بازدیدهای میدانی حاکی از وجود واحدهای ماری منطقه با انواع مختلف رخساره فرسایشی اعم از فرسایش سطحی، فرسایش شیاری، فرسایش آبراهه‌ای و خندقی می‌باشد. بررسی ارتباط ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها با میزان تولید رسوب در انواع مختلف اشکال فرسایش با هدف نهایی برآورد میزان رسوب تولیدی کل حوضه و پهنه‌بندی مناطق حساس به فرسایش به منظور برنامه‌ریزی صحیح جهت اقدامات آبخیزداری و حفاظت خاک در این منطقه لازم به نظر می‌رسد؛ که به‌عنوان هدف این تحقیق انتخاب شده است.

### محدوده مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه در منطقه نوبران ساوه در استان مرکزی و در حدفاصل  $35^{\circ}01'$  تا  $35^{\circ}14'$  عرض شمالی و  $49^{\circ}35'$  تا  $49^{\circ}55'$  طول شرقی واقع شده است (شکل ۱). این منطقه بر اساس روش دومارتن دارای اقلیم خشک می‌باشد. اشکال فرسایشی غالب در منطقه نوبران عمدتاً فرسایش صفحه‌ای و آبراهه‌ای و در درجه بعد، فرسایش خندقی هستند (شکل ۲).

### مواد و روش تحقیق

جهت انجام این تحقیق ابتدا با استفاده از نقشه 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 صحرائی و کنترل و تطبیق اطلاعات جمع‌آوری شده، نقاط نمونه‌برداری از مناطق ماری با استفاده از موقعیت‌یاب جهانی انتخاب و برحسب تراکم و فراوانی اشکال فرسایش اولویت‌بندی گردیدند. سپس در لندفرم‌های غالب ماری، که دارای جهت، درجه و شکل شیب یکسان بودند از سه نوع فرسایش شامل فرسایش صفحه‌ای، آبراهه‌ای و خندقی نمونه‌برداری شد. در مناطق مختلف محدوده نوبران، تعداد ۳۰ آزمایش شبیه‌سازی باران با استفاده دستگاه شبیه‌ساز باران (شکل ۳)، در ۳ واحد ماری ND (در بند)، NT (ظاهره خاتون) و NB (بیوران) انجام شد. واحدهای ماری ND و NT در سازند قم با سن الیگومیوسن در جنوب منطقه واقع شده است. واحد ماری NB مربوط به سازند قرمز فوقانی با سن الیگومیوسن در قسمت شمالی منطقه قرار دارد. میزان شدت بارش در دستگاه شبیه‌ساز باران، شیب

<sup>1</sup> Grubin

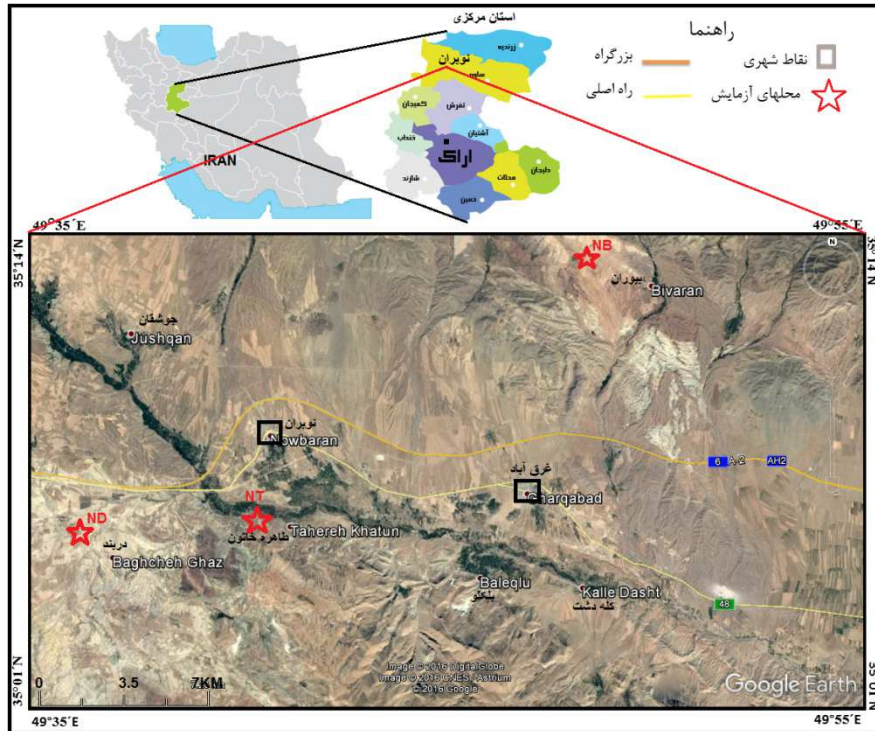
<sup>2</sup> Wakindiki

<sup>3</sup> Lado

<sup>4</sup> Zeng

<sup>5</sup> Ferreri

زمین و زمان دوام بارش در همه نقاط آزمایش شده یکسان در نظر گرفته شد. با استفاده از آزمایش شبیه‌سازی باران میزان رسوب‌دهی، میزان رواناب، زمان شروع رواناب و عمق نفوذ رواناب (شکل ۴) در واحدهای مارنی مختلف و اشکال مختلف فرسایشی اندازه‌گیری شد. نمونه‌های خاک و رسوب جمع‌آوری شده پس از خشک کردن، جهت آنالیزهای فیزیکی و شیمیایی به آزمایشگاه فرستاده شد.

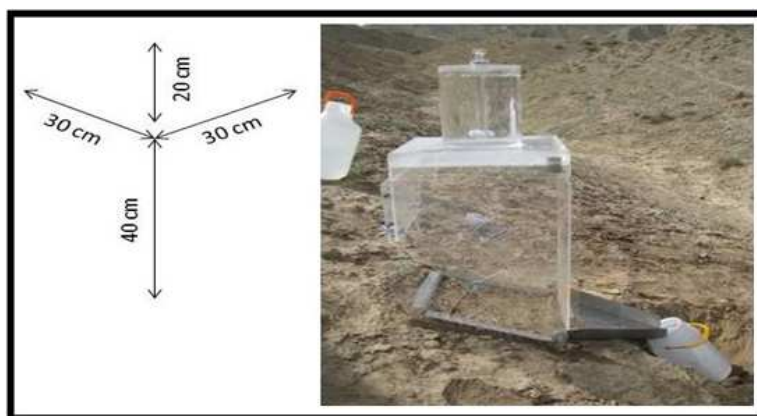


شکل ۱: نقشه منطقه مورد مطالعه و محل‌های نمونه‌برداری و انجام آزمایش‌های شبیه‌ساز باران.



شکل ۲: اشکال مختلف فرسایش (بالاراست) سطحی - ورقه‌ای، (بالاچپ) شیبی - آبراهه‌ای، (پایین) خندقی در منطقه مورد مطالعه.

کاتیون‌های کلسیم و منیزیم به روش تیتراسیون، سدیم و پتاسیم با دستگاه فلیم فتومتر، مقدار گچ به روش ترکیب با استون (بورت<sup>۱</sup>، ۲۰۰۴ : ۵۵) و ماده آلی به روش والکلی و بلک (پیچ و همکاران<sup>۲</sup>، ۱۹۸۲ : ۱۱۵۲) اندازه‌گیری شد. همچنین دانه‌بندی بخش شن به وسیله الک و بافت خاک به روش هیدرومتر تعیین گردید. برای تعیین کانی‌های رسی، در آزمایشگاه مرکز پژوهش متالوژی رازی از روش آزمایش اشعه ایکس (XRD) روی ۳ گروه نمونه (هر گروه شامل ۲ عدد) از واحدهای مختلف مارنی منطقه استفاده گردید. در این آزمایش، ابتدا برای آماده‌سازی نمونه‌ها جهت انجام آزمایشات تفرق اشعه X، نخست آهک به کمک استات سدیم، مواد آلی به کمک آب‌اکسیژنه و اکسیدهای آهن به کمک بافر سیترات و دی تیونات سدیم از نمونه‌ها حذف گردید. سپس اجزای خاک از هم تفکیک شد و رس تفکیک‌شده برای تهیه اسلاید مورد استفاده قرار گرفت. چهار تیمار مختلف به صورت اعمال درجه حرارت ۵۵۰ درجه، تأثیر اسیدکلریدریک، اشباع با منیزیم و اتیلن گلیکول بر روی نمونه‌ها انجام شد و میزان پراش اشعه ایکس به صورت گراف‌هایی مشخص گردید (دهقانی، ۱۳۹۲: ۴۲).



شکل ۳: نمایی از شبیه‌ساز باران مورد استفاده و ابعاد آن.



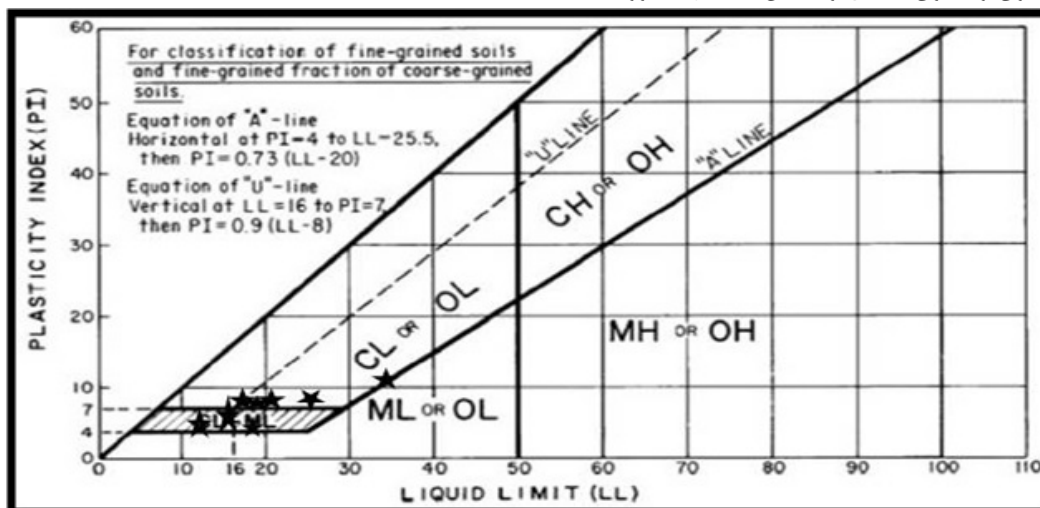
شکل ۴: اندازه‌گیری عمق نفوذ آب بارش در خاک.

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 ۵)، 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

<sup>1</sup> Burt

<sup>2</sup> Page

پرداخته شد. برای دستیابی به اهداف تحقیق و فرضیه‌ها، از آمار استنباطی شامل آزمون پارامتریک ضریب همبستگی پیرسون و آزمون تحلیل واریانس یک‌طرفه آنوا استفاده شد.



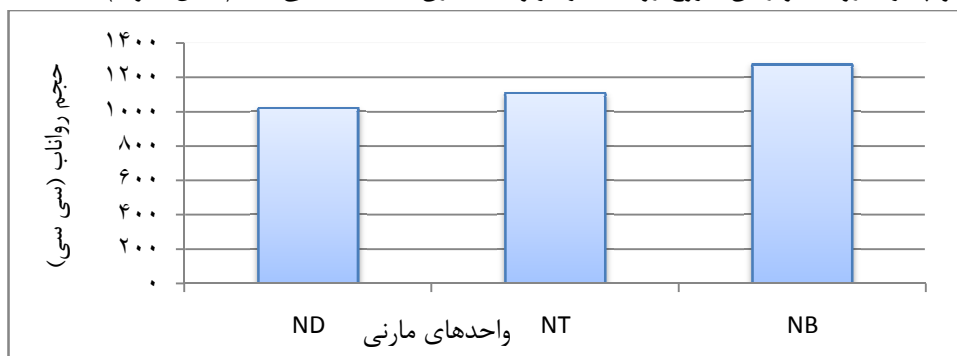
شکل ۵: محل قرارگیری نمونه‌های مورد مطالعه بر روی نمودار کاساگرانده، (برگرفته از ستایش، ۱۳۹۴).

### بحث و یافته‌ها

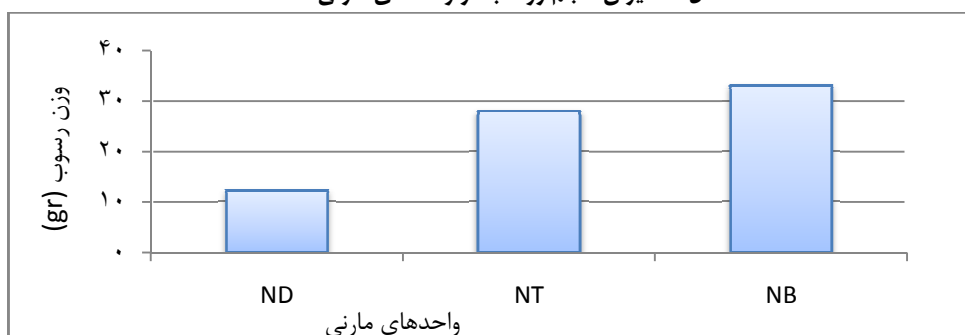
در منطقه نوبران تناوب لایه‌های مارن و ماسه‌سنگ رخنمون دارند. لذا علاوه بر تفکیک مارن‌ها، پارامترهای کانی‌شناسی، ترکیب ژئوشیمیایی و اندازه ذرات خاک و همچنین شیمی آب منفذی در دامنه‌های رو به جنوب و رو به شمال که به ترتیب دارا و فاقد شواهد فرسایش می‌باشند نیز در این تحقیق مدنظر قرار گرفته‌اند. اندازه ذرات و ترکیب شیمیایی آن‌ها یکی از عوامل مؤثر در فرسایش خاک هستند. نکته مهم و قابل توجه این است که اندازه ذرات و کانی‌شناسی رس‌ها توانایی تفکیک نواحی شیب‌دار با درجات متفاوتی از فرسایش را نیز دارا هستند. این امر در تحقیقات فراوانی بیان شده است. اصولاً فرسایش در فراوانی ذرات دانه‌ریز اتفاق می‌افتد. 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. بنابراین می‌توان 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 می‌باشند. 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. به‌طورمعمول خاک‌های مارنی حساس به فرسایش، دارای مقادیر بالاتری از pH، SAR و PS بوده درحالی‌که درصد سدیم قابل‌تبادل (ESP) در خاک‌های فرسایش ناپذیر بیشتر است. پوسته رویی خاک مشابه خاک‌های مقاوم عمل نموده و کمتر پخش و پراکنده می‌شوند. درواقع در هنگام هوازدگی 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<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۰۰: ۱۶۱).

<sup>1</sup> Bouma

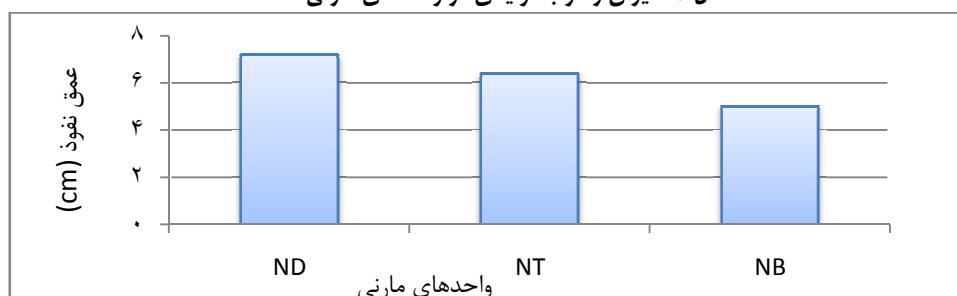
مقادیر اندازه ذرات و برخی خصوصیات مهم اندازه‌گیری شده خاک در منطقه نوبران در جدول شماره (۶ تا) آمده است. بر اساس نتایج آزمایش دانه‌بندی مشخص شد مارن‌های ND که در جنوب غربی منطقه قرار دارند از میزان رس بیشتری برخوردار هستند. همچنین مارن‌های NB (که در شمال نوبران قرار دارند) از سیلت بیشتری برخوردار هستند. بر اساس نتایج آزمایش شبیه‌سازی باران و شکل ۶، مشخص شد که بیشترین میزان رواناب مربوط به مارن‌های NB می‌باشد. همچنین بیشترین میزان رسوب‌دهی واحدهای ماری مربوط به مارن‌های NB می‌باشد (شکل ۷). بیشترین میزان نفوذپذیری رواناب و زمان شروع رواناب نیز مربوط به مارن‌های ND می‌باشد (شکل ۸ و ۹).



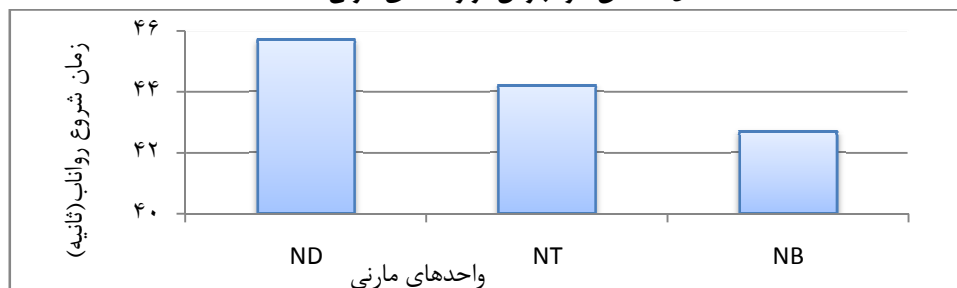
شکل ۶: میزان حجم رواناب در واحدهای ماری منطقه.



شکل ۷: میزان رسوب تولیدی در واحدهای ماری منطقه.



شکل ۸: عمق نفوذ بارش در واحدهای ماری منطقه.



شکل ۹: زمان شروع رواناب در واحدهای ماری منطقه.

بر اساس نتایج آزمون همبستگی پیرسون، میزان حجم رواناب با میزان رسوب تولیدی دارای همبستگی می‌باشد (جدول ۱). همچنین از داده‌های جدول ۱ می‌توان دریافت که مقدار رس با میزان رسوبدهی و حجم رواناب دارای همبستگی منفی معنی‌دار می‌باشد و نیز میزان رسوبدهی با میزان سیلت واحدهای مارنی دارای همبستگی مثبت می‌باشد. بررسی نتایج تجزیه واریانس آنووا در جدول ۲، نشان می‌دهد میزان حجم رواناب در بین واحدهای مارنی منطقه اختلاف معنی‌داری ندارد. بررسی نتایج مربوط تجزیه واریانس واحدهای مارنی منطقه نشان می‌دهد که اختلاف معنی‌داری بین میزان رسوبدهی، میزان رس و ماسه واحدهای مارنی مختلف وجود دارد. در واحدهای مارنی اشکال فرسایشی مختلف دیده می‌شود ولی اشکال فرسایشی غالب در مارن‌های منطقه نوبران از انواع فرسایش سطحی، آبراهه‌ای و خندقی است. لذا بررسی‌های آماری برای این سه فرسایش انجام شده و همان‌طور که در جدول ۳ مشخص است پراکندگی داده‌ها به‌ویژه در مورد میزان یون سدیم، SAR و رس در اشکال مختلف فرسایشی وجود دارد. 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 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 که نتایج این تحلیل بر روی میانگین داده‌ها در جدول ۴ آمده است. 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 تشکیل‌دهنده آن سدیم باشد، باعث انبساط شدید در خاک و دیسپرسه شدن آن می‌شود (ایلماز<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۰۵: ۳۳). میانگین مقادیر میزان هدایت الکتریکی در نتایج به‌دست‌آمده از نمونه‌های منطقه دارای اختلاف است ولی این اختلاف خیلی معنی‌دار نمی‌باشد.

جدول ۱: تعیین نوع بافت خاک‌های مارنی منطقه نوبران بر اساس حدود آتربرگ

نام واحد	نمونه	تکرار	حد خمیری %PL	حد روانی %LL	شاخص خمیری %PI	بافت خاک بر اساس طبقه‌بندی یونیفاید
ND	ND1	3	13.1	21.3	8.2	CL
	ND4	3	9.3	16.4	7.1	CL
	ND5	3	10.3	17.6	7.3	CL
	ND6	3	8.6	15.4	6.8	CL-ML
	ND10	3	25.6	36.3	10.7	CL
NT	NT13	3	11.2	18.6	7.4	CL
	NT14	3	9.3	17.1	7.8	CL
	NT15	3	18.3	26.2	7.9	CL
	NT16	3	13.6	14.6	4.9	CL-ML
NB	NB23	3	14.3	18.50	4.2	CL-ML

<sup>1</sup> Yilmaz



CL-ML	4.5	17.9	13.4	3	NB26
CL-ML	4.1	18.3	14.2	3	NB28
CL-ML	4.4	19.4	15	3	NB30

جدول ۲: مقادیر متوسط متغیرهای فیزیکی و شیمیایی مارن‌ها در اشکال مختلف فرسایش.

متغیرهای فیزیکی و شیمیایی	فرسایش ورقه‌ای	فرسایش آبراهه‌ای	فرسایش خندقی
EC( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )	137	141	130
Ca <sup>++</sup> (meq/Lit)	6.8	5.1	9.3
K <sup>+</sup> (meq/Lit)	51.1	26.1	60.1
Mg <sup>++</sup> (meq/Lit)	6.11	36.12	80.6
Na <sup>+</sup> (meq/Lit)	43.5	86.85	40.198
0.5 SAR(meq/Lit)	28.7	0.11	50.38
CaSO <sub>4</sub> (%)	44.1	77	3
CO (%)	23	30	10
Gravel (%)	9	12	7
Sand (%)	16	19	22
Silt (%)	54	56	64
Clay (%)	19	14	8

جدول ۳: همبستگی بین متغیرهای فیزیکی با میزان رواناب و رسوب حاصله در واحدهای مارنی منطقه

فاکتور		حد روانی	حد خمیری	شاخص خمیری	حجم رواناب	وزن رسوب	زمان شروع رواناب
حد روانی	Pearson Correlation	1	.965**	.941**	-.146	.118	.299
	Sig. (2-tailed)		.000	.000	.634	.701	.320
	N	13	13	13	13	13	13
حد خمیری	Pearson Correlation	.965**	1	.820**	-.171	.118	.289
	Sig. (2-tailed)	.000		.001	.577	.702	.338
	N	13	13	13	13	13	13
شاخص خمیری	Pearson Correlation	.941**	.820**	1	-.099	.106	.282
	Sig. (2-tailed)	.000	.001		.748	.730	.351
	N	13	13	13	13	13	13
حجم رواناب	Pearson Correlation	-.146	-.171	-.099	1	.741**	-.589*
	Sig. (2-tailed)	.634	.577	.748		.004	.034
	N	13	13	13	13	13	13
وزن رسوب	Pearson Correlation	.118	.118	.106	.741**	1	-.057
	Sig. (2-tailed)	.701	.702	.730	.004		.854
	N	13	13	13	13	13	13
زمان شروع رواناب	Pearson Correlation	.299	.289	.282	-.589*	-.057	1
	Sig. (2-tailed)	.320	.338	.351	.034	.854	
	N	13	13	13	13	13	13

جدول ۴: نتایج تجزیه واریانس متغیرهای فیزیکی و شیمیایی مارن‌ها در اشکال مختلف فرسایش.

متغیرهای فیزیکی و شیمیایی	Significant Level	Mean Squares	Freedom Degree	Sum Squares
EC( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )	940	717.54	2	433.109
Ca <sup>++</sup> (meq/Lit)	164	21.165	2	43.33
K <sup>+</sup> (meq/Lit)	546	75	2	150
Mg <sup>++</sup> (meq/Lit)	312	631.11	2	261.23
Na <sup>+</sup> (meq/Lit)	0	772.9597	2	544.19195
0.5 SAR(meq/Lit)	0	214.418	2	428.836
CaSO <sub>4</sub> (%)	192	83.1	2	165.2
CO (%)	632	17	2	33
Gravel (%)	334	1	2	3
Sand (%)	578	1	2	2
Silt (%)	502	5	2	9
Clay (%)	24	10	2	20

جدول ۵: نتایج آزمون t فاکتورهای فیزیکی مناطق مختلف نوبران

Factor	Marls	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
میزان رسوب	ND	10	12.28	9.76351	3.08749
	NT	10	27.97	28.14171	8.89919
	NB	10	33.01	25.39249	8.02981
حجم رواناب	ND	10	1017.6	230.87428	73.00886
	NT	10	1105	146.52645	46.33573
	NB	10	1273.7	409.27037	129.42265
عمق نفوذ	ND	10	5.95	3.34539	1.05791
	NT	10	6.4	2.63312	.83267
	NB	10	5.4	4.00555	1.26667
زمان شروع رواناب	ND	10	45.7000	9.88883	3.12712
	NT	10	45.8000	9.16273	2.89751
	NB	10	42.7000	11.87949	3.75662
Gravel	ND	10	.0716	.03089	.00977
	NT	10	.0803	.02182	.00690
	NB	10	.1676	.25943	.08204
Sand	ND	10	.1467	.01863	.00589
	NT	10	.1790	.03806	.01204
	NB	10	.2040	.03688	.01166
silt	ND	10	.5020	.08561	.02707
	NT	10	.5290	.06471	.02046
	NB	10	.5540	.06168	.01950
Clay	ND	10	.2490	.05405	.01709
	NT	10	.1820	.04185	.01323
	NB	10	.1460	.05502	.01740

در بررسی ارتباط بین اشکال فرسایش با میزان عناصر می‌توان مشاهده نمود که حداقل مقدار یون کلسیم مربوط به فرسایش خندقی است (جدول ۲). با توجه به جدول ۲، بین میانگین مقدار یون کلسیم در اشکال مختلف فرسایشی، اختلاف وجود دارد اما با توجه به نتایج تجزیه واریانس (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 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 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 (دونتسووا و نورتون<sup>۱</sup>، ۲۰۰۱ : ۴۵). مقدار یون پتاسیم حداقل مربوط به فرسایش آبراهه‌ای و مقدار حداکثر آن مربوط به فرسایش خندقی بوده (جدول ۲) و هیچ اختلاف معنی‌داری بین اشکال مختلف فرسایش در مقدار یون پتاسیم وجود ندارد.

جدول ۶: نتایج آزمون F فاکتورهای فیزیکی مناطق مختلف نوبران

Factor		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
میزان رسوب	Between Groups	2337.702	2	1168.851	2.289	.121
	Within Groups	13788.546	27	510.687		
	Total	16126.248	29			
حجم رواناب	Between Groups	338952.200	2	169476.100	2.099	.142
	Within Groups	2180476.500	27	80758.389		
	Total	2519428.700	29			
عمق نفوذ	Between Groups	5.017	2	2.508	.220	.804
	Within Groups	307.525	27	11.390		
	Total	312.542	29			
زمان شروع رواناب	Between Groups	62.067	2	31.033	.288	.752
	Within Groups	2905.800	27	107.622		
	Total	2967.867	29			
Gravel	Between Groups	.056	2	.028	1.230	.308
	Within Groups	.619	27	.023		
	Total	.675	29			
Sand	Between Groups	.017	2	.008	7.845	.002
	Within Groups	.028	27	.001		
	Total	.045	29			
silt	Between Groups	254.331	2	127.166	1.010	.378

<sup>1</sup> Dontsova

	Within Groups	3398.994	27	125.889		
	Total	3653.325	29			
Clay	Between Groups	.055	2	127.166	10.647	.000
	Within Groups	.069	27	125.889		
	Total	.124	29			

در مورد یون سدیم، با توجه به جدول ۲، حداقل و حداکثر مقدار یون سدیم به ترتیب مربوط به فرسایش صفحه‌ای و خندقی است. یون سدیم دارای یک‌روند افزایشی از فرسایش صفحه‌ای به خندقی می‌باشد. همچنین با توجه به نتایج تجزیه واریانس (جدول ۴)، 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 همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۰۰: ۱۶۲؛ و اشرف و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۰۴: ۱۵۱). مقدار میانگین نسبت جذب یون سدیم در مارن‌های مورد مطالعه دارای روند افزایشی از فرسایش صفحه‌ای به خندقی است (جدول ۲). بین همه اشکال فرسایشی در میزان نسبت جذب سدیم اختلاف معنی‌دار وجود دارد. بنابراین می‌توان مقدار نسبت جذب سدیم را نیز به‌عنوان عوامل تعیین‌کننده شدت و نوع فرسایش در مارن‌ها قلمداد کرد (بوما و همکاران، ۲۰۰۰: ۱۶۳؛ قدیمی، ۱۳۷۸: ۹۲۵).

بافت خاک یکی از عوامل مهم و مؤثر بر فرسایش‌پذیری خاک می‌باشد. مطالعات میر و هارمون<sup>۳</sup> (۱۹۸۴: ۱۱۵۵) نشان داده خاک‌های با بافت ریز و چسبندگی زیاد به‌سختی از هم جدا می‌شوند ولی به‌راحتی 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 سیلتی و لومی/سیلتی 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 (جدول ۳). بنابراین می‌توان مقدار درصد رس را به‌عنوان عوامل تعیین‌کننده شدت و نوع فرسایش در مارن‌های منطقه نوبران قلمداد کرد. نتایج مطالعات ویشمایر و همکاران (ویشمایر و همکاران<sup>۴</sup>، ۱۹۲: ۱۹۷۱) و لوک<sup>۵</sup> (۱۹۷۹: ۲۵۱) که به‌طور 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).

بر اساس نتایج آزمایش حدود آتربرگ انجام‌گرفته بروی نمونه‌های مورد مطالعه، مشخص شد اکثر نمونه‌ها در محدوده رس و رس-سیلت قرار می‌گیرند (جدول ۱). این خاک‌ها ریزدانه بوده و دارای چسبندگی زیاد می‌باشند. همچنین بر اساس این نتایج، مارن‌های NB از میزان سیلت بیشتری برخوردار بوده و فرسایش‌پذیری و رسوب‌دهی بیشتری نیز دارا می‌باشد.

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،

1 Bouma

2 Vacher

3 Meyer

4 Wichmeier

5 Luk

۱۳۷۶ : ۱۷۲). حساسیت کانی‌های رسی نسبت به آماس‌پذیری و تورم به ترتیب از کائولینیت به کلریت، ایلیت، ورمیکولیت و نهایتاً مونتوریلونیت 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. نتایج این تحقیق نشان داد که همانند بسیاری از مطالعات نقاط دیگر جهان اندازه ذرات (به‌ویژه سیلتها) و نوع کانی‌ها نقش مهمی در میزان فرسایش مارن‌ها داشته و لندفرم‌های متفاوتی را حاصل می‌کنند. بدیهی است این کار می‌بایست در نقاط دیگری نیز انجام شود تا مجموع نتایج حاصله بتواند فرموله شود.

### نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از تجزیه واریانس، یون سدیم و نسبت جذب سدیم در اشکال مختلف فرسایشی مارن‌های منطقه نوبران 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 و سیلت می‌باشد. با توجه به نتایج تجزیه 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 و سیلت عامل مهم در فرسایش‌پذیری مارن‌های منطقه به شمار می‌آید. مارن‌های شمال منطقه (NB) به دلیل میزان رس کمتر و میزان سیلت و رسوب‌دهی بیشتر نسبت به مارن‌های جنوب منطقه (NT & ND) 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.

### منابع

- اسماعیل نژاد، لیلا، ۱۳۸۶، خواص فیزیکوشیمیایی و فیزیکولوژیکی مارن‌ها و اثر آن‌ها بر فرسایش خاک در جنوب استان گیلان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، استادان راهنما: رمضان پور، حسن، شعبانپور، محمود، دانشگاه گیلان، ۱۷۵ صفحه.
- حاتمیان، زهرا، ۱۳۹۰، استفاده از شبیه‌ساز باران در تشخیص میزان فرسایش‌پذیری مارن‌های اشتهارد، پایان‌نامه کارشناسی ارشد رسوب‌شناسی دانشگاه آزاد اسلامی تهران شمال، استاد راهنما: حمیدرضا پیروان، خلیل رضایی، ۱۴۰ ص.
- حسن‌زاده نفوتی، محمد، ۱۳۸۳، مطالعه ویژگی‌های مؤثر بر فرسایش‌پذیری مارن‌ها، رساله دکتری آبخیزداری، دانشگاه آزاد اسلامی علوم و تحقیقات تهران، استاد راهنما: حسن احمدی، ۱۹۰ صفحه.
- حشمتی، محمدحسن، ۱۳۷۶، خواص فیزیکی، شیمیایی، فرسایش‌پذیری و رسوب‌زایی سازندهای پابده، گچساران و آغاچاری در ناحیه قصرشیرین، پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه تهران، استاد راهنما: حسن احمدی، ۱۸۵ صفحه.

- خدادادی، ابوذر، ۱۳۹۳، بررسی مکانیسم و شاخص‌های فرسایش‌پذیری مارن‌ها و نهشته‌های کواترنری نوبران ساوه با استفاده از شبیه‌ساز باران، پایان نامه کارشناسی ارشد رسوب‌شناسی دانشگاه خوارزمی تهران، استاد راهنما: خلیل رضایی و فرج‌ا... فیاضی، ۱۵۰ صفحه.
- دهقانی، نفیسه، ۱۳۹۲، مطالعه مکانیسم‌ها و شاخص فرسایش‌پذیری مارن‌های سازند قرمز بالایی در حسن‌آباد جنوب تهران، پایان نامه کارشناسی ارشد رسوب‌شناسی، دانشگاه آزاد تهران شمال، استاد راهنما: خلیل رضایی، ۱۴۵ 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 سازوکارهای فرسایش خاک در حوضه آبخیز لانتشور با استفاده از شبیه‌ساز باران، پایان نامه کارشناسی ارشد رسوب‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی تهران شمال، استاد راهنما: حمیدرضا پیروان، خلیل رضایی، ۱۶۲ صفحه.
- 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.
- طالبی، آیدا، پورکرمان، محمد، ۱۳۹۱، متغیرهای فیزیکی و شیمیایی مارن‌ها و تأثیر آن‌ها بر اشکال مختلف فرسایش در حبله رود، هفتمین همایش زمین‌شناسی مهندسی و محیط‌زیست، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- Arenaz, J., 2006, *Factors affecting runoff and erosion under simulated rainfall in Mediterranean vineyards. Soil & Tillage Research, vol.93, pp.12- 132.*
- Asensio C., Lozano F. J., Gallardo P., and Giménez A., 2016, *Soil wind erosion in ecological olive trees in the Tabernas desert (southeastern Spain): a wind tunnel experiment, Solid Earth, vol.7, pp.1233-1242, doi: 10.5194/se-7-1233-2016.*
- Bechet J., Duc J., Loye A., Jaboyedoff M., Mathys N., Malet J.Ph., Klotz S., Le Bouteiller C., Rudaz B., Travelletti J., 2016, *Detection of seasonal cycles of erosion processes in a black marl gully from a time series of high-resolution digital elevation models (DEMs), Earth Surf. Dynam., vol.4, pp.781-798, 2016, doi:10.5194/esurf-4-781-2016.*
- 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, vol.40, pp.147-171.*
- Burt, R., 2004, *Soil Survey Laboratory Methods Manual. United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service, USA, 700p.*
- 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.*
- Ferreri V., Errea P., Alonso E., Gomez-Gutierrez A., Nadal-Romero E., 2017, *A Multscale approach to assess geomorphological processes in a semiarid badland area (Ebro Depression, Spain), Cuadernos de Investigación Geográfica, pp.1-19, DOI: 10.18172/cig.3139.*
- Grubin, M. K. & Bryan, R., 2011, *Clay mineralogy as a crucial factor in badland hillslope processes. Geophysical Research Abstracts, EGU, Vol. 13, pp.2011-13966.*
- 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, *oil management effects on runoff and soil loss from field rainfall simulation. Vol, 75. Issue2, pp.191-199.*

- Lado, M., Paz, A., & Ben-Hur, M., 2004, *Organic matter and aggregate size interactions in saturated hydraulic conductivity*. *Soil Science Society American Journal*, vol.68, pp.234-242.
- Luk, S. H., 1979, *Effect of soil properties on erosion by wash and splash*. *Earth Surf. Processe and Landforms*. Vol. 4. Pp.241-255.
- Meyer, L. D., & Harmon. W. C., 1984, *Susceptibility of agricultural soil to inter rill erosion*. *Soil Sci Soc. Am. J.*Vol.48, PP.1152-1157.
- 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. 1159p.
- Pásztor L., Négyesi G., Laborczi A., Kovács T., László E., and Bihari Z., 2016, *Integrated spatial assessment of wind erosion risk in Hungary*, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, vol.16, pp.2421–2432, doi:10.5194/nhess-16-2421-2016.
- Rienks.S.M., & Both, J. ,2000, *Some physical and chemical properties of sediment exposed in a gully in northern Kwazula Natal, South Africa and their relationship to the erodibility of the coluvial layers*. *Catena*. Vol.40, pp.153- 167.
- Schmid Th., Rodríguez-Rastrero M., Escribano P., Palacios-Orueta A., Ben-Dor E., Plaza A., Milewski R., Huesca M., Bracken A., Cicuéndez V., Pelayo M., and Chabrilat S., 2016, *Characterization of Soil Erosion Indicators Using Hyper-spectral Data From a Mediterranean Rain fed Cultivated Region*, *IEEE Journal of selected topics in Applied Earth observations and remote sensing*, V.9, N.2, pp.845-860.
- 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).
- Wakindiki, I. I. C., & Ben-Hur, M. ,2002, *Soil mineralogy and texture effects on crust micromorphology, infiltration and erosion*. *Journal of Soil Science Society American*, vol. 66, pp.597-605.
- Wichmeier, W. H., Johnson, C. B., & Cross, B. V., 1971, *A Soil erodibility nomograph for farmland and construction sites*, *J. Soil and Water Conser.*, Vol. 26, pp.189-193.
- Yilmaz, K., Eluk, U., 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*. *Turk. J. Agric. For.* Vol.29, pp.29-37.
- Zeng Ch., Wang Sh., Bai X., Li Y., Tian Y., Li Y., Luhua X., 2017, *Soil erosion evolution and spatial correlation analysis in a typical karst geomorphology using RUSLE with GIS*, *Solid Earth Discuss.*, pp.1-26. doi:10.5194/se-2017-1,2017.