

شاخص‌های فیزیکوشیمیایی موثر بر رسوب‌زایی مارن‌های پهنه زمین‌ساختی زاگرس، مطالعه موردی: استان چهارمحال و بختیاری

سید نعیم امامی*^۱ و حمیدرضا پیروان^۲

^۱ استادیار مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان چهارمحال و بختیاری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شهرکرد، ایران و ^۲ دانشیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۹/۲۶

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۴/۱۸

چکیده

مارن‌ها یکی از عوامل اصلی رسوب‌زایی و متعاقب آن فرسایش خاک در حوزه‌های آبخیز بشمار می‌روند. تحقیقات نشان می‌دهد که بین میزان رسوب‌زایی مارن‌ها با ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن‌ها ارتباط معنی‌داری وجود دارد. با هدف تعیین گسترش سازندهای مارنی از یکسو و ارزیابی کمی تاثیر شاخص‌های مذکور در میزان رسوب‌زایی مارن‌های استان چهارمحال و بختیاری، تحقیق جامعی صورت پذیرفت. در این پژوهش، پس از شناسایی و تفکیک چینه‌شناسی سازندهای مارنی استان و انجام نمونه‌برداری‌های سیستماتیک، آزمایش‌های کانی‌شناسی (XRD)، فیزیکی و شیمیایی لازم، انجام و نتایج با استفاده از روش‌های آماری تجزیه و تحلیل شدند. در ادامه، با استفاده از باران‌ساز قابل حمل در صحراء میزان رسوب‌زایی هر یک از واحدهای چینه‌شناسی مارنی اندازه‌گیری شد. مجموعاً ۱۰۷۳/۹۵ کیلومتر مربع معادل ۶/۵ درصد از مساحت استان را واحدهای چینه‌شناختی مارنی اشغال کرده است. از دیدگاه رسوب‌زایی، سازند رازک با میانگین ۹۶/۳۴ گرم بر متر مربع در رتبه اول و سپس، سازندهای پابده، هرمز، میشان و گورپی به ترتیب با ۹۴/۴۱، ۸۷/۱، ۷۶/۱۷ و ۳۳ گرم بر متر مربع رسوب تولیدی در رتبه‌های بعدی رسوب‌زایی قرار می‌گیرند. نتایج همبستگی بین بافت خاک و تولید رسوب حکایت از همبستگی مثبت معنی‌دار میزان سیلت، آهک فعال و سدیم تبادل و همبستگی منفی معنی‌دار مقدار رس با رسوب‌زایی دارد. حضور کانی‌های رسی کائولینیت و ایلیت از عوامل تشدید رسوب‌زایی در سازندهای مارنی بشمار می‌روند.

واژه‌های کلیدی: تشکیلات مارنی، شبیه‌ساز باران، فرسایش خاک، کانی‌شناسی، ویژگی‌های ذاتی

مقدمه

آن بین ۳۵ تا ۶۵ درصد باشد، اطلاق می‌کنند که پس از فرایند دیاژنز و سخت شدن تبدیل به سنگ مارن می‌شود.

مارن به‌عنوان حساس‌ترین لیتولوژی در برابر فرسایش و هوازدگی نقش عمده‌ای در رسوب‌زایی حوزه‌های آبخیز دارد (Ahmadi, ۱۹۹۹). انواع مختلفی از فرسایش (سطحی، شیاری و خندقی) در

واژه مارن، بیانگر نوع خاصی از سنگ‌ها و رسوبات حاصله بوده که اجزاء اصلی آن عبارتند از کربنات کلسیم یا آهک رس‌دار که متشکل از مقادیر متغیر رس، کلسیت و آراگونیت است (Russell و همکاران، ۲۰۰۳). Feyznia و همکاران (۲۰۰۳) مارن را به مخلوطی از رس و کربنات کلسیم که میزان کربنات

اسیدیته، منیزیم (Mg) از مهمترین علل فرسایش‌پذیری مارن‌ها است. Emami و Ghazavi (۲۰۰۱)، وجود میان‌لایه‌های مارنی حاوی کانی‌های رسی از جمله ایلات و مونت‌موریلونیت را عامل ذاتی و اساسی آماس‌پذیری و تضعیف خواص مکانیکی خاک‌های نرم استان چهارمحال و بختیاری دانسته‌اند. Heshmati (۲۰۰۰)، در بررسی سازندهای مارنی قصر شیرین و سومار دریافته است که میزان سدیم قابل تبادل در مارن‌ها می‌تواند معرف مناسبی از شاخص پخش‌شوندگی خاک باشد، چرا که وجود سدیم قابل تبادل و عدم امکان حضور این کاتیون در ساختار شبکه‌ای کربنات کلسیم موجود در مارن‌ها منجر به درهم ریختگی و به‌عبارتی رمبندگی کلوخه‌های مارنی می‌شود (Heede, ۱۹۷۱). مطالعه رسوبات در مناطق با فرسایش خندقی در مارن‌های آفریقای جنوبی نشان داد که بیشترین خندق‌ها در مارن‌هایی دیده می‌شود که سدیم قابل تبادل (ESP) و نسبت جذب سدیم (SAR) بالایی دارا هستند (Rienks و همکاران، ۱۹۹۹). بررسی زمین‌های تخریب یافته منطقه Petrer در اسپانیا، نشان داد که پارامترهای EC و SAR ارتباط زیادی با فرسایش‌پذیری و تولید زمین‌های تخریب‌یافته (Badlands) نشان می‌دهند و کربنات کلسیم در مارن‌های سفیدرنگ منطقه سبب پایدارشدن این نوع مارن‌ها نسبت به انواع خاکستری و قهوه‌ای شده است که حاوی مقادیری مواد آلی و یا ترکیبات اکسید آهن به‌صورت ناخالصی هستند (Bouma, ۱۹۹۸). درباره رسوب‌زایی مارن‌ها مطالعات مختلف و زیادی به‌وسیله Benito و همکاران (۱۹۹۱) در اسپانیا، England (۱۹۷۱) در جنوب داکوتای آمریکا، Bufalo (۱۹۹۲) در فرانسه و Sirventij و همکاران (۱۹۹۷) در اسپانیا انجام شده که نتایج این بررسی‌ها نشانگر حساسیت بسیار شدید مارن‌ها به فرسایش و تغییر و تحول اشکال فرسایشی در آن‌ها است و نقش شیب دامنه‌ها و شدت رواناب در تولید رسوب از عرصه‌های مارنی چشمگیر و قابل توجه است. همچنین، سدیم به‌عنوان یک عامل شیمیائی نقش مهمی را در انواع اشکال فرسایش در مارن‌ها ایفا می‌کند. Abbasi و Abdi (۲۰۰۵)، با تحلیل و بررسی ۲۹ نمونه از مارن‌های

اراضی مارنی استان چهارمحال و بختیاری مشاهده می‌شود (Emami, ۲۰۱۳). لذا، با توجه به تحقیقات انجام‌شده (Feyznia و همکاران ۲۰۰۳، Heshmati و همکاران، ۱۹۹۶)، در این بررسی، فرض بر این است که بین شدت فرسایش مارن‌های منطقه با ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی آن‌ها ارتباط تنگاتنگی وجود دارد. بنابراین، مسئله اساسی این است که کدام یک از ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی مارن‌ها بر شدت رسوب‌زایی آن‌ها در برابر عوامل تولید رسوب به‌ویژه بارندگی مؤثر است؟

در خصوص میزان فرسایش و رسوب‌زایی سازندهای مارنی، پژوهش‌هایی مبتنی بر اندازه‌گیری‌های صحرائی به انجام رسیده است که از آن جمله می‌توان به تحقیقات Jantzi (۲۰۱۷)، Moosdorf (۲۰۱۸)، Rey (۲۰۱۴)، Bamiki (۲۰۲۰) و Gourfi (۲۰۱۸) اشاره کرد. پیرامون تاثیر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیائی مارن‌ها بر رسوب‌زایی، تحقیقات محدودی انجام شده است. Khamechian (۱۹۹۱) با انجام آزمایشاتی چون حدود اتربرگ، درصد رطوبت، دانسیته خشک، مقاومت تک محوری، تعداد ضربات آزمایش نفوذ استاندارد، درصد رطوبت، چسبندگی و ... بر روی نمونه‌هایی از مارن دارای رس مونت‌موریلونیت، نتیجه‌گیری کرد که با افزایش مقدار کربنات کلسیم، میزان حساسیت مارن در برابر آب کاهش و ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی آن از نظر مهندسی، بهبود می‌یابد. Ahmadi (۱۹۹۵) در بررسی مارن‌های میوسن حوزه آبخیز طالقان نشان داد که ۹۰ درصد رسوبات انباشته شده در پشت سد سفیدرود حاصل فرسایش سازندهای مارنی میوسن است که از نظر کمی حدود ۵۰ میلیون تن در سال برآورد شده است. Ghadimi Aroos Mahale (۱۹۹۸) رسوب‌زایی زون‌ها و دوران‌های مختلف زمین‌شناسی را در حوزه‌های آبخیز دریاچه نمک مطالعه کرده، بیشترین رسوبات را به دوران ترشیری-کواترنری منتسب دانسته است. در این دوران، بیشترین گسترش طبقات مارنی دیده می‌شود. Ghadimi Aroos Mahale (۱۹۹۹) با بررسی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی مارن‌ها و اشکال فرسایش ایجاد شده، دریافته است که میزان سدیم بالا، سدیم قابل جذب (SAR) زیاد، شوری، کلر،

فصلی و مواد مادری در فرسایش آبی خاک‌های فرسایش‌پذیر در شرق اسپانیا را مطالعه کرد. نتایج نشان داد که در خاک‌های فرسایش‌پذیر در مناطقی که فاقد پوشش گیاهی مناسب هستند. طبیعت مواد مادری نقش اساسی در پدیده‌های آب‌شناختی و فرسایش ایفا می‌کند. با توجه به پژوهش‌های اندکی که در خصوص تاثیر ویژگی‌های ذاتی مارن‌ها در رسوب‌زایی صورت گرفته، در این تحقیق، تلاش شده تا نقش خصوصیات فیزیکی و شیمیایی این نوع خاص از سنگ‌شناسی در رسوب‌زایی مورد ارزیابی قرار گرفته، رسوب‌زایی سازنده‌های مارنی نیز با استفاده از باران‌ساز مصنوعی به صورت کمی اندازه‌گیری شود که حاصل تلاقی نتایج این بررسی‌ها اولویت‌بندی تشکیلات زمین‌شناختی مارنی از دیدگاه تولید رسوب و متعاقباً فرسایش‌پذیری آن‌ها خواهد بود.

مواد و روش‌ها

روش پژوهش: در ابتدا، با استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی استان که در قالب نقشه‌های ۱/۲۵۰۰۰۰ شهرکرد، ۱/۱۰۰۰۰۰ اردل، ۱/۱۰۰۰۰۰ بروجن و ۱/۱۰۰۰۰۰ چنگ نامگذاری شده‌اند، پس از بررسی و کنترل صحرایی، سازنده‌های واجد رخساره مارنی شناسایی و در سامانه اطلاعات جغرافیایی نقشه شیب مناطق تهیه و مکان‌های نمونه‌برداری رسوب و انجام آزمایش باران‌ساز مشخص شد. در بررسی‌های صحرایی، از مارن هوازده در عمق ۱۵-۱۰ سانتی‌متری برای انجام آزمایشات کانی‌شناسی (XRD)، فیزیکی و شیمیایی خاک نمونه‌برداری شد تا اثر برهم‌خوردگی سطحی خاک حذف شود و ویژگی‌های واقعی مارن‌ها مورد بررسی قرار گیرد. در انتها، با استفاده از دستگاه باران‌ساز مصنوعی عملیات اندازه‌گیری تولید رسوب انجام شد. دستگاه باران‌ساز مصنوعی مورد استفاده متشکل از یک صفحه ریزش باران به ابعاد یک در یک متر، قاب نگهدارنده صفحه ریزش باران، چهارپایه، چارچوب محصورکننده پلات و مخزن آب می‌باشد. صفحه ریزش باران از اتصال ۱۳ قطعه لوله پلی‌اتیلن با قطر ۱۶ میلی‌متر ساخته شده به شکلی که لوله‌ها به فواصل هشت سانتی‌متر از هم به‌طور موازی قرار گرفته‌اند. صفحه ریزش باران دستگاه متشکل از ۵۸۸

محدوده قزل‌اوزن سفلی دریافتند که هر چقدر بر میزان کلر (Cl^-)، سدیم (Na^+)، بی‌کربنات (HCO_3^-)، کلسیم (Ca^{2+}) و گچ در مارن‌ها افزوده می‌شود، شدت فرسایش افزایش یافته، اشکال فرسایش شیاری، هزار دره‌ای (در شیب‌های تند) و خندقی (در شیب‌های کم) گسترش می‌یابند.

بررسی و مطالعه خاک‌های مارنی و انواع مختلف فرسایش در ایران نشان داد که مارن‌ها در نواحی خشک دارای اختلاف فاحشی در فرسایش‌پذیری و رسوب‌زایی هستند (Esmailpour, ۱۹۹۶). به دلیل فقدان پوشش گیاهی، فرسایش فرسایش پاشمانی (splash erosion) سبب کاهش نفوذپذیری شده، در نتیجه انواع مختلف فرسایش مانند فرسایش هزاردره به‌طور واضح در مناطق مارنی قابل مشاهده است. مطالعه اشکال فرسایش در مارن‌ها، نشان داده است که ارتباطی مابین اشکال فرسایش، طبقات و بعضی خواص شیمیایی خاک وجود دارد، به‌طوری‌که فرسایش ورقه‌ای، خندقی و هزاردره و بیشترین تراکم خندق در مارن‌هایی قابل مشاهده است که نسبت جذب سدیم و محلولیت آن‌ها بالا می‌باشد (Ghadimi, Aroos Mahale, ۱۹۹۸, Bouma و Imeson, ۲۰۰۰). در تحقیقات خود، عواملی نظیر نسبت جذب سدیم، شوری، درصد کلسیت و کانی‌شناسی رس در نمونه‌های مارن سفید، قهوه‌ای و خاکستری بدلندهای پتر^۱ را بررسی کرده است. عوامل شوری و نسبت جذب سدیم ارتباط قوی با فرسایش‌پذیری بدلندها نشان داده است. کربنات کلسیم در مارن‌های سفید سبب پایدارشدن این نوع مارن‌ها نسبت به انواع خاکستری و قهوه‌ای شده است. نوع و درصد کانی‌های رسی نقش اساسی در فرسایش‌پذیری مارن‌ها دارد. به‌عنوان نمونه، کانی اسمکتیت می‌تواند سبب تورم و ظرفیت انقباضی بالا شود (Emami و Ghazavi, ۲۰۰۱). Mohamed (۲۰۰۰) نقش کانی‌های رسی در پایداری خاک‌های مارنی را در مناطق حاره‌ای و نیمه‌حاره‌ای خلیج فارس و امارات متحد عربی بررسی کرده، نتیجه گرفت که آهک در تثبیت خاک‌های مارنی می‌تواند موثر باشد. Creda (۲۰۰۲) تاثیرات

^۱ Petrer

آزمایشگاه منتقل و رسوب موجود در نمونه جدا شد و در دستگاه خشک‌کن به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد نگهداری و پس از خشک‌شدن توزین شد. همچنین، حجم رواناب خروجی از پلات نیز به وسیله ظروف مدرج اندازه‌گیری شد. بدین ترتیب، نتایج میزان رواناب و رسوب در فواصل زمانی پنج دقیقه برای هر آزمایش حاصل شد. برای تایید وجود کانی‌های رسی و تشخیص نوع آن‌ها، نمونه‌های ریزدانه رد شده از الک ۲۰۰ به شرکت تحقیقاتی مواد معدنی طیف کانسارن بینالود مشهد ارسال و با استفاده از دیفرانکتومتر استو-استودیپ^۱ با پرتو $CuK\alpha$ در جریان ۴۰ کیلووات با فیلتر نیکل و زاویه انحراف یک درجه آزمایش تعیین کیفی کانی‌ها صورت پذیرفت.

به منظور تعیین نقش عوامل شیمیایی و فیزیکی سازندهای مارنی در رسوب‌زایی از محل مناطق مورد آزمایش در سازندهای مارنی منتخب (سازند گورپی، هرمز، رازک، پابده و میشان که بیشترین وسعت از سازندهای مارنی را به خود اختصاص می‌دهند) نمونه‌های خاک از عمق ۱۰ تا ۱۵ سانتی‌متری برداشت و با استفاده از دستگاه جذب اتمی در آزمایشگاه‌های مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان چهارمحال و بختیاری و پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری مورد آزمایش قرار گرفتند. در این راستا، ۴۹ نمونه رسوب مارنی برداشت شد و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن‌ها نظیر بافت خاک، هدایت الکتریکی (EC)، اسیدیته (pH) گل اشباع، آنیون‌ها و کاتیون‌های بی‌کربنات، کلر، سولفات، کلسیم، منیزیم، سدیم و پتاسیم، آهک کل (TNV)، آهک فعال (ذرات کوچک کربنات کلسیم که قطر شان از ۶۰ میکرومتر کوچک‌تر است و در آب گاز کربنیک‌دار به آسانی حل می‌شوند، آهک فعال نامیده می‌شوند)، کربن آلی، فسفر قابل جذب، پتاسیم قابل جذب، ازت کل، وزن مخصوص ظاهری، ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC)، نسبت جذب سدیم (SAR)، سدیم تبدیلی (Na_x) و درصد سدیم قابل تبادل (ESP) اندازه‌گیری شد.

قطره‌چکان است. اجزای دستگاه قابل جدا شدن بوده، به دلیل سبکی وزن، کاربرد آن در هر شرایطی امکان‌پذیر است. در شکل ۱، نمایی از دستگاه باران‌ساز مصنوعی و اجزای آن نشان داده شده است. برای این‌که بتوان رواناب ایجاد شده و رسوب تولید شده از پلات را به یک نقطه هدایت و جمع‌آوری کرد، یک قاب از ورق فلزی با طول یک متر، عرض ۱۰ سانتی‌متر و ضخامت دو میلی‌متر، به نحوی ساخته شده که انتهای آن به شکل قیف باشد. در شکل ۲، پلات باران‌ساز، لوله و ظرف جمع‌آوری کننده آب و رسوب نمایش داده شده است.



شکل ۱- نمایی از دستگاه باران‌ساز مصنوعی و اجزای آن



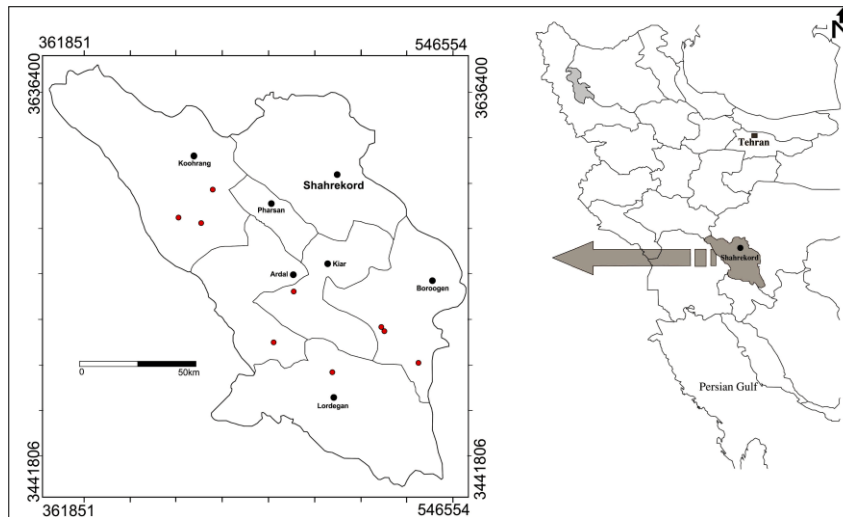
شکل ۲- پلات باران‌ساز، لوله و ظرف جمع‌آوری کننده آب و رسوب

در این تحقیق، چهار عامل شیب زمین، کاربری اراضی، شدت و مدت بارندگی و پوشش گیاهی برای تمامی آزمایشات ثابت در نظر گرفته شد. آزمایشات در طبقات شیب ۱۰ تا ۱۵ درصد انجام شد. مدت بارش در هر آزمایش ۳۰ دقیقه و شدت بارش در مدت انجام هر آزمایش ثابت و برابر ۴۰ (میلی‌متر بر ساعت) (میانگین ۱۰ ساله استان) تنظیم شد. میزان پوشش گیاهی برای تمامی تکرارها برابر صفر و هر آزمایش سه مرتبه تکرار شد. پس از اتمام آزمایش، نمونه‌ها به

¹ Stoe-Stodip

طول شرقی واقع شده است (شکل ۳). در این تحقیق، علاوه بر پیمایش صحرایی بر روی تمام رخنمون‌های مارنی منطقه و نمونه‌برداری از این واحدها، در نه ایستگاه آزمایش شبیه‌سازی باران و اندازه‌گیری رسوب حاصله صورت پذیرفت. مشخصات ایستگاه‌ها در جدول ۱، عنوان شده است.

منطقه مورد پژوهش: این تحقیق، در محدوده استان چهارمحال و بختیاری بر روی سازندهای مارنی به انجام رسیده است. این استان با مساحت ۱۶۵۳۳ کیلومتر مربع (یک درصد مساحت کل کشور) در بخش مرکزی کوه‌های زاگرس در حد فاصل ۴۸' ۹" تا ۳۱° تا ۴۸' ۳۲" عرض شمالی و ۳۰' ۴۹° تا ۲۶' ۵۱°



شکل ۳- موقعیت جغرافیایی استان چهارمحال و بختیاری بر روی نقشه شماتیک ایران (ایستگاه‌های نمونه‌برداری با دایره قرمز نشان داده شده‌اند)

جدول ۱- مشخصات مناطق مارنی مورد مطالعه

فاصله تا مرکز استان (کیلومتر)	مختصات جغرافیایی			شهرستان	نام منطقه
	ارتفاع	عرض	طول		
۹۶	۲۵۸۹	۳۱° ۴۵'	۵۱° ۰۴'	بروجن	وستگان
۱۰۰	۲۶۰۹	۳۱° ۴۶'	۵۱° ۰۳'	بروجن	وستگان
۱۲۰	۲۱۶۰	۳۲° ۱۱'	۵۰° ۱۲'	کوه‌رنگ	گردنه چری
۱۲۶	۲۰۸۳	۳۲° ۱۹'	۵۰° ۱۶'	کوه‌رنگ	دوآب صمصامی
۱۰۳	۱۷۴۰	۳۱° ۵۴'	۵۰° ۳۵'	کیار	رحیم‌آباد دوپلان
۱۳۳	۱۵۰۰	۳۱° ۴۲'	۵۰° ۳۳'	اردل	سرخون
۱۵۵	۱۵۸۱	۳۱° ۳۵'	۵۰° ۵۰'	لردگان	آب چنار
۱۱۰	۲۱۰۰	۳۱° ۳۷'	۵۱° ۱۴'	بروجن	له دراز
۱۵۰	۱۹۰۰	۳۶° ۱۲'	۵۰° ۰۶'	کوه‌رنگ	نازی بازفت

نتایج و بحث

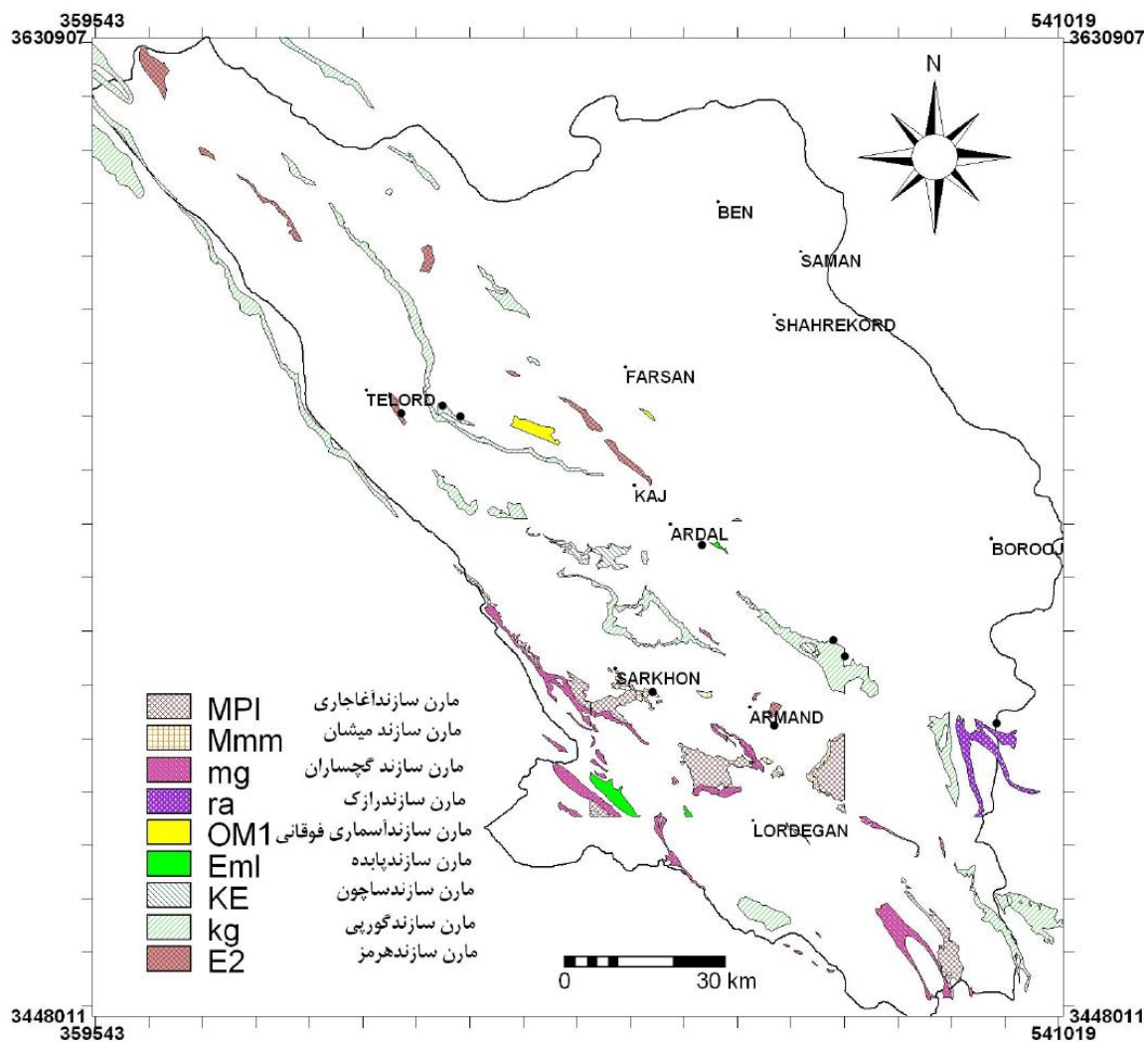
زمین‌شناسی و نوسانات دائمی عمق این حوضه موجب نهشته‌گذاری رسوبات ریزدانه و تشکیل رخساره‌های محیط کم‌عمق و نیمه‌عمیق در بین توالی‌های سنگ‌شناسی ادوار مختلف این حوضه شده است. مارن‌ها به‌عنوان لیتولوژی شاخص این محیط‌ها در قالب سازند، عضو و اشکوب از دوران اول تا سنوزوئیک در توالی سنگ چینه‌شناسی زاگرس قابل بررسی و

زمین‌شناسی عمومی: استان چهارمحال و بختیاری به‌واسطه این‌که در مجاورت ابر گسله زاگرس و در مرز دو صفحه عربستان و ایران مرکزی قرار گرفته، در برگیرنده بخشی از زون‌های زاگرس چین‌خورده، زاگرس مرتفع، سنندج-سیرجان است. شرایط متنوع حاکم بر حوضه رسوبی زاگرس در دوران‌های مختلف

مجموعه هرمز (E2)، سازندگورپی (Kg)، سازند ساچون (KE)، سازند پایده (Em1)، سازند آسماری فوقانی (OM1)، سازند گچساران (mg)، سازند رازک (Ra)، سازند میشان (Mmm) و سازند آغاچاری (Mpl) می‌باشند که در این بین مارن‌های متعلق به سازند گورپی با مساحتی معادل ۶۷۸/۳ کیلو مترمربع حدود ۴/۱۵ درصد از وسعت استان را به خود اختصاص داده، بنابراین، در بردارنده بیش از ۶۴ درصد از کل رخنمون‌های مارنی استان هستند (شکل‌های ۵ تا ۱۲). برای انجام بررسی‌های زمین‌شناسی و انتخاب سازندها و مکان‌های مناسب در این تحقیق، از نقشه‌های زمین‌شناسی یاد شده و نامگذاری‌های انجام شده در این نقشه‌ها استفاده شده است.

مطالعه هستند. بخش عمده‌ای از مارن‌های زاگرس در سازندهای هرمز، گورپی، پایده، آسماری، گچساران و رازک تمرکز یافته‌اند (Emami, ۲۰۱۳).

پراکنش مارن‌های استان: تشکیلات مارنی در استان چهارمحال و بختیاری با مساحت ۱۰۷۴ کیلومتر مربع که معادل ۶/۵ درصد مساحت استان چهارمحال و بختیاری است، در مرکز، غرب و جنوب این استان گسترش دارند (شکل ۴). سازندهای مارنی-رسی رخنمون یافته در قلمرو زمین‌ساختی زاگرس بلند و چین‌خورده از عوامل عمده تولید رسوب محسوب می‌شوند (Emami, ۲۰۱۳). با این حال، هنوز ارزیابی صحیحی از میزان، نقش و تأثیر آن‌ها در مقدار رسوب تولید شده در دسترس نیست. سازندهای مارنی رخنمون یافته در استان چهارمحال و بختیاری شامل



شکل ۴- نقشه پراکندگی سازندهای مارنی استان چهارمحال و بختیاری (سایت‌های بررسی و نمونه‌برداری مارن‌ها با علامت ● مشخص شده است)



شکل ۷- نمایی از نهشته‌های مارنی زمین لغزیده سازند پایده در منطقه رحیم‌آباد (دید به سمت غرب)



شکل ۶- نهشته‌های مارنی سازند گورپی در منطقه حفاظت شده سبزکوه-وستگان (دید به سمت جنوب غرب)



شکل ۵- رخنمون مارنی سازند هرمز در منطقه نازی بازفت (دید به سمت شمال)



شکل ۱۰- نمایی از مارن‌های سازند میشان در منطقه سرخون (دید به سمت شمال شرق)



شکل ۹- نمایی از سازند رازک در منطقه لهدراز در جنوب استان (نگاه به سمت جنوب)



شکل ۸- رخنمون مارنی سازند آسماری فوقانی (احتمالاً معادل رازک) در منطقه سیف‌آباد صمصامی (نگاه به سمت شمال)



شکل ۱۲- نهشته‌های مارنی سازند گورپی در گردنه چری (دید به سمت شمال)



شکل ۱۱- نمایی از سازند میشان در منطقه آب چنار (نگاه به سمت جنوب)

تحقیقات نشان می‌دهد که کانی اسمکتایت می‌تواند باعث تورم و انقباض شدید در مارن‌ها شود (Bouma, ۱۹۹۸). از سوی دیگر، حضور کانی رسی مونت‌موریلونیت، عامل ذاتی در پدیده آماس‌پذیری و وقوع زمین‌لغزش‌های استان چهارمحال و بختیاری ذکر شده است (Emami و Ghazavi, ۲۰۰۱). برخی از محققین نیز به نقش دو کانی رسی سپیولیت و پالی‌گورسکیت در ناپایداری‌سازی خاک‌های مارنی اشاره کرده‌اند (Ouhadi و Young, ۲۰۰۳). در جدول ۵، نتایج آزمایش XRD بر روی نمونه‌های مارنی مورد مطالعه ارائه شده است. در شکل‌های ۱۳ و ۱۴ دو نمونه فراکتوگرام‌های مربوط به آزمایش XRD بر روی

ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی سازندهای مارنی:
در جدول‌های ۲ تا ۴، نتایج آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی همراه با K ویشمایر (ضریب فرسایش‌پذیری) که با توجه به نتایج کمی عوامل موثر بر فرسایش و براساس معادله‌ای ریاضی حاصل می‌شود) و نسبت رس و بافت در نمونه‌های مارنی استان چهارمحال و بختیاری ارائه شده است.

ویژگی‌های کانی‌شناسی مارن‌ها: نوع کانی‌های رسی در مارن‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. وجود رس‌های انبساط‌پذیر همچون مونت‌موریلونیت، حساسیت مارن‌ها را به فرسایش افزایش می‌دهد.

مجموعاً نه سایت انتخاب شد، به گونه‌ای که بر روی سازند گورپی با بیشترین وسعت، سه سایت در دو منطقه، سازند پابده، دو سایت در دو منطقه و سازند میشان، دو سایت در دو منطقه، سازند رازک در یک سایت و سازند هرمز نیز در یک سایت مکان‌یابی شد. در این مطالعه، بارش با شدت ۴۰ میلی‌متر در ساعت به مدت نیم‌ساعت و سه مرتبه برای هر واحد مارنی ایجاد شد. بنابراین، در کل، ۲۴ نمونه رسوب مربوط به پنج سازند به‌دست آمد. در جدول ۶، نتایج آزمایشات درج شده است.

دو نمونه از مارن‌های مورد مطالعه ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که کانی‌های ایلایت-مونت‌موریلونیت و کائولینیت مهمترین و متداول‌ترین کانی‌های رسی در پیکره تمام سازندهای مارنی مورد مطالعه هستند. بر این اساس، تمامی مارن‌های مورد مطالعه از نوع دریایی و فاقد اجزای تبخیری هستند و از این‌رو، در قالب یک خانواده مورد مطالعه می‌گیرند. **نتایج عملیات شبیه‌سازی باران:** برای انجام عملیات شبیه‌سازی باران، با در نظر گرفتن پراکنش مارن‌ها در مناطق مختلف و میزان گسترش سازندها،

جدول ۲- نتایج آزمایشات فیزیکی مارن‌ها

مشخصات نمونه	عمق (cm)	درصد ماسه	درصد سیلت	درصد رس	بافت خاک	نسبت رس (ماسه+سیلت/رس)	نسبت K ویشمایر	نفوذپذیری	وزن مخصوص ظاهری (g/cm ³)
Ga10	۱۵	۱۱/۰	۴۷/۱	۴۲/۰	سیلتی-رسی	۱/۴	۰/۳۶	کم تا متوسط	۱/۳۹
Va10	۱۵	۲۰/۰	۲۶/۰	۳۴/۲	رسی	۰/۹	۰/۲۶	کم تا متوسط	۱/۴۷
Ra11	۱۵	۱۳/۸	۴۴/۳	۴۲/۰	سیلتی-رسی	۱/۴	۰/۴۶	کم تا متوسط	۱/۴۱
Sa10	۱۵	۱۸/۹	۴۶/۹	۳۴/۲	سیلتی-رسی لومی	۱/۹	۰/۴۴	کم تا متوسط	۱/۴۷
Ab11	۱۵	۳۸/۰	۴۶/۰	۱۶/۰	لوم	۵/۳	۰/۵۲	کم تا متوسط	۱/۵۱
Sr14	۱۵	۲۸/۰	۶۲/۰	۱۰/۰	لوم-سیلتی	۹/۰	۰/۶۲	کم تا متوسط	۱/۵۹
Ga11	۱۵	۶/۶	۴۲/۳	۵۱/۲	سیلتی-رسی	۱/۰	۰/۲۲	کم تا متوسط	۱/۴۸
La11	۱۵	۲۴	۳۴	۴۲/۰	رسی	۱/۴	۰/۴۲	کم تا متوسط	۱/۵۳
La10-15	۱۵	۳۱	۳۵	۳۴/۰	رسی-لومی	۱/۹	۰/۵۳	کم تا متوسط	۱/۴۶
La23	۱۵	۲۰	۴۱	۳۹/۰	رسی	۱/۶	۰/۴۳	کم تا متوسط	۱/۵۴
Na13	۱۵	۲۲/۰	۴۹/۰	۲۹/۰	سیلتی-رسی لومی	۲/۴	۰/۵۶	کم تا متوسط	۱/۵۱

Va وستگان، Sr سرخون، Ra رحیم‌آباد، Ab آب چنار، Ga گردنه چری، Sa صمصامی و Na نازی

جدول ۳- نتایج آزمایشات شیمیایی مارن‌ها (بخش اول)

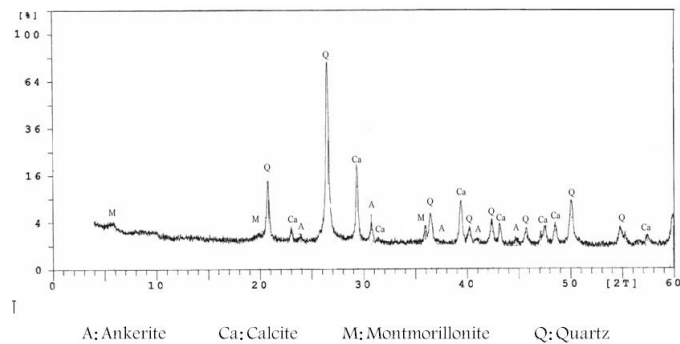
مشخصات نمونه	عمق (cm)	هدایت الکتریکی (EC*10 ³)	اسیدیته pH	آهک کل (درصد)	آهک فعال (درصد)	کربن آلی (درصد)	فسفر قابل جذب (mgkg ⁻¹)	پتاسیم قابل جذب (mgkg ⁻¹)	ازت کل (درصد)	سولفات (mel ⁻¹)
Ga10	۱۵	۰/۵۱۸	۷/۵۹	۴۲/۵	۹/۲۸	۰/۵۰	۰/۹	۲۲۵	۰/۰۳	۰/۳۸
Va10	۱۵	۰/۴۳۰	۷/۹۸	۵۴/۴	۴/۹۶	۱/۰۲	۱۷/۵	۳۶۰	۰/۱۶	۰/۱۷
Ra11	۱۵	۰/۶۰۸	۷/۷۸	۵۰/۵	۱۴/۷۲	۰/۲۳	۱/۷	۱۵۱	۰/۰۴	۰/۶۶
Sa10	۱۵	۰/۵۴۳	۷/۵۸	۵۴/۰	۱۹/۲۰	۰/۵۱	۳/۰	۱۵۵	۰/۰۵	۰/۱۷
Ab11	۱۵	۰/۴۵۰	۷/۷۵	۵۶/۵	۱۰/۴۰	۱/۷۴	۴/۸	۲۱۱	۰/۱۲	۰/۱۸
Sr14	۱۵	۰/۴۸۰	۷/۹۳	۵۸/۰	۱۰/۲۴	۰/۳۱	۲/۲	۱۱۷	۰/۰۳	۰/۰۱
Ga11	۱۵	۰/۵۵۶	۷/۸۴	۶۱/۰	۱۷/۶۰	۰/۱۴	۰/۷	۱۱۲	۰/۰۲۴	۰/۲۰
La11	۱۵	۰/۳۵۰	۸/۰۹	۴۹/۹	۴/۸۹	۰/۳۶	۵/۷	۱۶۷	۰/۱۳۰	۰/۱۲
La10-15	۱۵	۰/۳۶۰	۸/۳۶	۵۰/۰	۴/۰۹	۰/۲۹	۶/۵	۱۵۴	۰/۱۵۰	۰/۱۷
La23	۱۵	۰/۳۳۰	۸/۲۲	۴۶/۹	۵/۳۲	۰/۲۷	۶/۹	۱۵۶	۰/۰۹۰	۰/۲۵
La24	۱۵	۰/۴۶۰	۸/۴۲	۴۸/۰	۷/۲	۰/۳۳	۴/۱	۱۶۱	۰/۱۳۰	۰/۱۱
Na13	۱۵	۱/۱۲۰	۷/۷۴	۳۴/۳	۴/۴۸	۰/۵۲	۳/۱	۱۲۰	۰/۰۵۰	۲/۶۳

جدول ۴- نتایج آزمایشات شیمیایی مارن‌ها (بخش دوم)

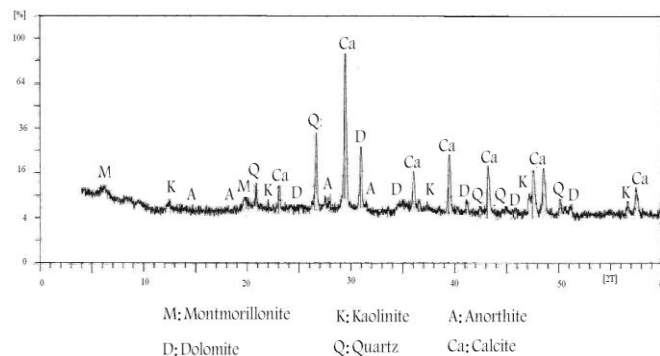
مشخصات نمونه	آنیون‌ها و کاتیون‌های محلول (mel ⁻¹)						نسبت جذب سدیم	ظرفیت تبادل کاتیون (me.100gr ⁻¹)	سدیم تبدالی (mel ⁻¹)	درصد سدیم تبدالی (درصد)
	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	Mg ⁺⁺	Ca ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺				
Ga10	۶/۰	۳/۰	۸/۰	۳/۰	۰/۴۰	۰/۵۰	۰/۲۳	۱۳/۵۰	۰/۰۳	۰/۱۸
Va10	۴/۰	۱/۵	۱/۹	۲/۸	۰/۱۴	۰/۸۳	۰/۵۴	۳۲/۷۰	۰/۰۳	۰/۱۰
Ra11	۱۰/۰	۳/۰	۲۲/۰	۳/۰	۰/۱۱	۲/۵۰	۰/۷۱	۲۲/۶۰	۰/۲۳	۱/۲۷
Sa10	۱/۰	۴/۰	۴/۰	۳/۵	۰/۰۶	۰/۴۰	۰/۱۶	۱۸/۱۰	۰/۰۱	۰/۱۶
Ab11	۹/۵	۲/۰	۲/۴	۶/۰	۱/۱۲	۰/۴۶	۰/۲۳	۹/۸۰	۰/۴۰	۴/۰۰
Sr14	۶/۰	۱/۵	۱/۰	۴/۰	۰/۴۳	۰/۱۵	۰/۰۹	۴/۳۰	۰/۳۰	۷/۰۰
Ga11	۳/۰	۵/۰	۱۴/۴	۳/۰	۰/۰۹	۱/۷	۰/۵۹	۹/۱	۰/۰۶	۰/۴۷
La11	۱/۰۰	۳/۵۰	۱/۲۰	۲/۸۰	۰/۰۶	۰/۴۹	۰/۳۴	۲۲/۹۶	۰/۳۰	۱/۳۰
La15	۱/۵۰	۳/۰۰	۲/۰۰	۲/۰۰	۰/۰۷	۰/۶۴	۰/۴۵	۲۲/۴۳	۰/۶۵	۲/۸۹
La10-15	۱/۵۰	۳/۰۰	۲/۰۰	۲/۰۰	۰/۰۶	۰/۶۰	۰/۴۲	۲۶/۴۳	۰/۴۳	۱/۶۲
La23	۱/۵	۳/۰	۲/۶	۱/۶	۰/۰۸	۰/۵	۰/۳۲	۱۹/۰	۰/۳۹	۲/۰۵
La24	۱/۵	۳/۵	۱/۸	۲/۴	۰/۱۳	۰/۸	۰/۵۴	۲۰/۸	۰/۳۳	۱/۵۸
Na13	۶/۰	۸/۰	۲/۶	۱۳/۶	۰/۰۶	۰/۹	۰/۴	۵/۳	۰/۰۲	۰/۳۸

جدول ۵- نتایج آزمایشات XRD مارن‌ها

شماره نمونه	نام سازند و محل	سن سازند	کانی شناسی	فرمول شیمیایی
S1-11534a	گورپی- وستگان	کرتاسه فوقانی (سانتونین- ماستریشتین)	کلسیت، کوارتز، ایلیت، شاموزیت	$CaCO_3, SiO_2, K_2(Si_6Al_2)Al_4O_{20}(OH)_4, (Fe, Al, Mg)_6(Si, Al)_4O_{10}(OH)_8$
S6-11539a	گورپی- گردنه چری	کرتاسه فوقانی (سانتونین- ماستریشتین)	کلسیت، کوارتز، مونت‌موریلونیت، آنکریت	$CaCO_3, SiO_2, Si_8Al_4O_{20}H_2O, (K,H_3O)Al_2Si_3AlO_{10}(OH)_2$
S7-11540a	پابده- رحیم‌آباد	پالئوسن- الیگوسن	کلسیت، دولومیت، کوارتز، مونت‌موریلونیت، کائولینیت، آنورتیت	$CaCO_3, CaMg(CO_3)_2, SiO_2, Si_8Al_4O_{20}H_2O, Si_4Al_4O_{10}(OH)_8, (Ca, Na)(Si, Al)_4O_8$
S5-11538a	میشان- سرخون	میوسن پیشین- میوسن میانی	کلسیت، دولومیت، کوارتز، مونت‌موریلونیت، کائولینیت، ایلیت، روتیل	$CaCO_3, CaMg(CO_3)_2, SiO_2, Si_8Al_4O_{20}H_2O, Si_4Al_4O_{10}(OH)_8, K_2(Si_6Al_2)Al_4O_{20}(OH)_4, TiO_2$
S4-11537a	رازک- له‌دراز	بوردیگالین تا میوسن میانی	کلسیت، دولومیت، کوارتز، ایلیت، کائولینیت، ایلیت	$CaCO_3, CaMg(CO_3)_2, SiO_2, Si_8Al_4O_{20}H_2O, Si_4Al_4O_{10}(OH)_8, K_2(Si_6Al_2)Al_4O_{20}(OH)_4$



شکل ۱۳- نمودار تحلیل کانی‌شناسی مارن گورپی (گردنه چری)



شکل ۱۴- نمودار تحلیل کانی‌شناسی مارن میشان (سرخون)

جدول ۶- نتایج آزمایشات باران ساز مصنوعی

شماره نمونه	نام سازند	نام منطقه	تکرار	مقدار رسوب (gcm ⁻³)	مقدار رواناب (cm ³)	میانگین رسوب در سه تکرار (gcm ⁻³)	میانگین رواناب در سه تکرار (cm ³)	نسبت رسوب به رواناب (gcm ⁻³)	عمق ترشده گی (cm) در سه تکرار
Va1	گوری	وستگان ۱	۱	۳۵/۷۲	۶۰۰۹	۲۲/۱	۳۴۹۰/۳۳	۰/۰۰۶	۹/۳۳
			۲	۲۳/۰۹	۲۷۲۸				
			۳	۷/۴۹	۱۷۳۴				
Va2	گوری	وستگان ۲	۱	۴۱/۳۷	۵۴۱۸	۲۹/۲۳	۳۸۲۰/۰	۰/۰۰۷	۹/۱
			۲	۲۷/۴۵	۳۴۹۲				
			۳	۱۸/۸۷	۲۵۵۰				
Ga	گوری	گردنه چری	۱	۲۳/۴۵	۲۰۸۸	۴۲/۲۳	۳۱۵۱/۰	۰/۰۱۳	۶
			۲	۶۶/۴۶	۳۷۶۸				
			۳	۴۵/۷۸	۳۵۹۸				
Sa	پابده	صمصامی	۱	۱۰۰/۹۱	۶۷۸۵	۷۹/۷۳	۷۴۵۲/۳۳	۰/۰۱۲	۴/۵
			۲	۱۱۳/۳۴	۷۳۷۷				
			۳	۵۴/۹۶	۸۱۹۵				
Ra	پابده	رحیم آباد	۱	۱۵۸/۷۳	۶۲۹۵	۹۹/۱۰	۴۵۰۳/۷	۰/۰۲۲	۴/۵
			۲	۸۳/۰۲	۳۷۱۳				
			۳	۵۵/۵۵	۳۵۰۵				
			۲	۶۸/۳۳	۶۲۳۳				
			۳	۱۱۸/۶۵	۱۱۵۷۰				
Sr	میشان	سرخون	۱	۷۸/۸۶	۷۲۳۵	۹۶/۶۰	۶۵۸۵/۵	۰/۰۱۵	۴/۵
			۲	۱۱۴/۱۶	۵۹۳۶				
Ab	میشان	آب چنار	۱	۳۵/۸۲	۹۴۰۹	۵۵/۷۳	۱۰۶۲۸/۰	۰/۰۰۵	۴/۲۵
			۲	۷۱/۶۵	۱۱۸۴۷				
Na	هرمز	نازی	۱	۸۵/۲	۹۷۸۴	۸۷/۰۹	۱۱۱۸۵	۰/۰۰۷	۴/۴۴
			۲	۱۰۵/۸۶	۱۱۱۷۰				
			۳	۷۰/۲۳	۱۲۶۰۱				
La	رازک	له دراز	۱	۱۰۲/۰۶	۷۱۷۰	۹۶/۳۴	۸۳۲۴/۳۳	۰/۰۱۱	۴
			۲	۶۸/۳۳	۶۲۳۳				
			۳	۱۱۸/۶۵	۱۱۵۷۰				

با رسوب حاصل از سایر سازندها به طور معنی داری کمتر بوده که حکایت از فرسایش پذیری و رسوب زایی کمتر این سازند نسبت به سایر سازندهای مارنی مطالعه شده دارد. نسبت رسوب به رواناب نیز در سایت های مطالعه شده ۰/۰۰۷ گرم بر سانتی متر مکعب بوده که بسیار کمتر از همین نسبت در سایر سازندهای مارنی است. با توجه به این که لیتولوژی هر دو منطقه مارنی است، اما از آن جایی که نسبت رسوب در وستگان کمتر بوده، (مقدار رسوب بیشتر)، میزان رسوب زایی کاهش یافته است. با افزایش درصد رس

مقایسه مقادیر کمی رسوب زایی سازندهای مارنی سازند گوری: از آن جایی که در استان چهارمحال و بختیاری، این سازند بیشترین گسترش را نسبت به سایر سازندها دارا است، برای انجام آزمایش شبیه سازی باران سه منطقه تحت پوشش این سازند انتخاب شد. مقایسه بین میزان رسوب دهی در این سه منطقه نشان داد که در منطقه وستگان به طور میانگین ۲۵/۶۶ گرم بر متر مربع رسوب و در گردنه چری به طور میانگین ۴۲/۳۳ گرم بر متر مربع رسوب تولید شده است. با این حال، هر دو رقم یاد شده در مقایسه

می‌توان دلیل آن‌را در بالاتر بودن سیلت در منطقه آب چنار به‌عنوان یکی از اجزاء اصلی بافت خاک این مناطق جستجو کرد. همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد، در دو منطقه مذکور درصد سیلت بالاترین مقدار را به خود اختصاص داده و در این بین نیز در منطقه سرخون میزان سیلت خاک بیشتر از آب‌چنار است. به‌علاوه، نسبت رس هم یک پارامتر تاثیرگذار می‌باشد، به‌طوری‌که با کاهش نسبت رس موجود در خاک، مقادیر رسوب‌زایی و شدت فرسایش افزایش می‌یابد. وجود رس همراه با لیتولوژی مارنی باعث کاهش نرخ نفوذپذیری خاک و افزایش سطح رواناب می‌شود که این نتایج مشابه با نتایج محققین دیگر می‌باشد (Schietecatte و همکاران، ۲۰۰۵؛ Hussein و همکاران، ۲۰۰۷).

سازند رازک: این سازند به‌دلیل گسترش ناچیز در سطح استان و تنها در یک اقلیم، صرفاً در منطقه لهدراز در جنوب استان مورد بررسی و آزمایش قرار گرفت. در نتیجه سه بار تکرار، میانگین رسوب معادل $96/34$ گرم بر متر مربع و میانگین نسبت رسوب به رواناب $0/14$ گرم بر متر مربع می‌باشد. این میزان رسوب در بین همه سازندهای مارنی، بالاترین مقادیر را به خود اختصاص داده است. جالب آن که به استثنای سازند میشان که به‌دلیل پایین بودن قابل ملاحظه رس مقادیر استثنایی نسبت رس را نشان می‌دهد، بالاترین نسبت رس که نشانگر غلبه اجزاء سیلتی-ماسه‌ای بر رس می‌باشد، متعلق به سازند رازک بوده که باز هم تایید دیگری بر رابطه معکوس درصد رس و رسوب‌زایی است (Schietecatte و همکاران، ۲۰۰۵؛ Hussein و همکاران، ۲۰۰۷). از سوی دیگر، غلبه کانی‌های رسی کائولینیت و ایلیت و فقدان کانی مونت‌موریلونیت از وجوه بارز اختلاف این مارن‌های این سازند نسبت به سایر سازندها بوده، این ویژگی می‌تواند یکی از علل رسوب‌زایی بالاتر این سازند نسبت به سایر سازندهای مارنی مورد مطالعه باشد.

سازند هرمز: سازند هرمز صرفاً در منطقه نازی بافت، واجد سنگ‌شناسی یکپارچه مارنی بوده، در سایر رخنمون‌ها در سطح استان تنها می‌توان میان‌لایه‌های مارنی را مشاهده کرد که غالباً همراه با

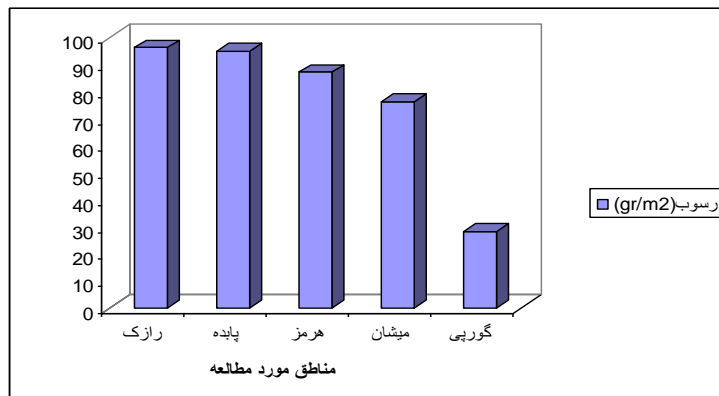
موجود، به‌ویژه حضور کانی مونت‌موریلونیت در خاک، مقادیر فرسایش کمتر شده که این نتایج کاملاً در انطباق با نتایج محققین دیگر است (Renard و همکاران، ۱۹۹۱؛ Ghadimi Aroos Mahale، ۱۹۹۸). دلیل اصلی این پدیده را می‌توان به ظرفیت بالای نگهداشت آب به‌وسیله رس‌های مونت‌موریلونیتی به‌ویژه با توجه به شدت بارش‌های نسبتاً کم منطقه که در حد اشباع‌سازی رس‌ها نیست، عنوان کرد. بنابراین، بارش‌های در حد میانگین ۱۰ ساله، قبل از آن‌که خاک‌های رسی را اشباع کرده، موجب جدایش رسوب از سطح سنگ شوند، خاتمه یافته، صرفاً باعث اشباع خاک‌های رسی می‌شوند. این در حالی است که خاک‌های با سیلت و ماسه بالا به‌دلیل عدم چسبندگی مناسب و فقدان خاکدانه با همین میزان بارش از سطح خاک گسیخته و به شکل رسوب همراه رواناب‌ها به حرکت در می‌آیند (Emami و Ghazavi، ۲۰۰۱).

سازند پابده: سازند پابده در منطقه رحیم‌آباد و منطقه صمصامی با لیتولوژی مارنی مورد بررسی قرار گرفته است. ارقام میانگین رسوب در دو منطقه یاد شده بسیار نزدیک به یکدیگر بوده، معادل $94/41$ گرم بر متر مربع است. میانگین نسبت رسوب به رواناب نیز معادل $0/17$ گرم بر سانتی‌متر مکعب می‌باشد که موید رسوب‌زایی بسیار بیشتر از سازند گورپی است. به نظر می‌رسد که باید به نقش عوامل شیمیایی در بالاتر بودن نسبت رسوب به رواناب توجه ویژه‌ای داشت، به‌علاوه حضور کانی کائولینیت در کنار مونت‌موریلونیت از وجوه تمایز این سازند با مارن‌های سازند گورپی بوده که می‌تواند به‌عنوان یکی از عوامل موثر در رسوب‌زایی بیشتر سازند پابده مدنظر قرار گیرد.

سازند میشان: سازند میشان در دو منطقه سرخون و آب‌چنار مورد ارزیابی و آزمایش قرار گرفت. میانگین رسوب معادل $76/17$ گرم بر متر مربع و میانگین نسبت رسوب به رواناب $0/1$ گرم بر متر مربع می‌باشد. منطقه آب چنار با وجود رواناب تولیدی بیشتر نسبت به منطقه سرخون رسوب‌دهی پایین‌تری را دارا می‌باشد، به گونه‌ای که نسبت رسوب به رواناب در سرخون $0/15$ گرم بر سانتی‌متر مربع و در آب‌چنار $0/05$ گرم بر سانتی‌متر مربع است که

ژپیس هستند. بدین لحاظ، آزمایش باران‌ساز بر روی پیکره مارنی گنبد نمکی نازی در منطقه بازفت انجام شد. در نتیجه سه بار تکرار، میانگین رسوب معادل ۸۷/۱ گرم بر متر مربع و میانگین نسبت رسوب به رواناب ۰/۰۰۶ گرم بر متر مربع است. بر اساس مقایسه میزان کمی رسوب‌زایی و نسبت

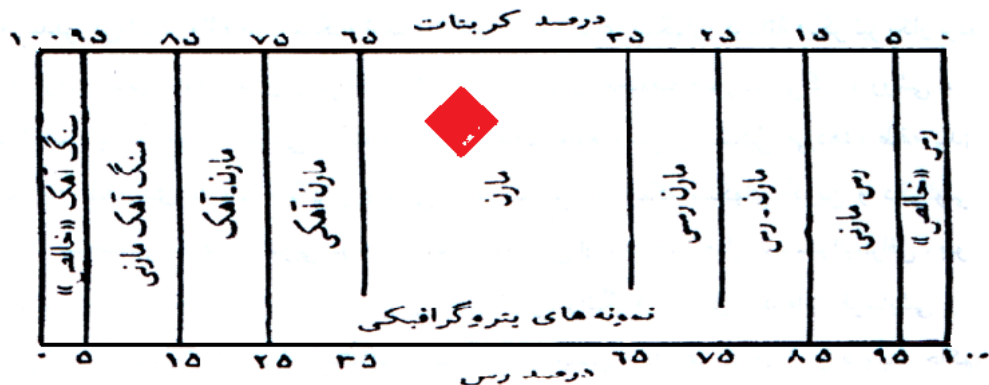
رسوب به رواناب، سازند رازک با میانگین ۹۶/۳۴ گرم بر متر مربع در اولویت قرار داشته، سپس، سازندهای پایده، هرمز، میشان و گورپی به ترتیب با ۹۴/۴۱، ۸۷/۱، ۷۶/۱۷ و ۳۳ گرم بر متر مربع در رتبه‌های بعدی قرار می‌گیرند. در شکل ۱۵، میزان رسوب‌زایی سازندها به صورت نمودار ارائه شده‌اند.



شکل ۱۵- مقایسه میزان رسوب (گرم بر متر مربع) تولیدی از سازندهای مورد مطالعه

رابطه رسوب‌زایی با ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی سازندهای مارنی: با توجه به نقش موثر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی در پایداری و عدم پایداری نمونه رسوبات مارنی و با توجه به نتایج آزمایشات فیزیکی و شیمیایی بر روی نمونه‌های منتخب مارنی (جدول ۲ و ۳)، در این مبحث به ذکر تحلیل‌های آماری پارامترهای اندازه‌گیری شده، پرداخته می‌شود. خصوصیات آماری ویژگی‌های اندازه‌گیری شده در جدول ۷ درج شده است. تحلیل آماری خصوصیات فیزیکوشیمیایی

مارن‌ها: قبل از پرداختن به تجزیه و تحلیل روابط بین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی مارن‌ها با رسوب‌زایی لازم به ذکر است که بر اساس جدول ۷، میانگین میزان رس در مارن‌های استان چهارمحال و بختیاری معادل ۳۹/۵ درصد و میانگین میزان کربنات (آهک کل) ۵۲/۹ درصد است که بر این اساس و آن گونه که در شکل ۱۶ نیز نشان داده شده است، تمامی نمونه‌ها (لوزی قرمز رنگ) در قلمرو سنگ‌شناسی مارن قرار می‌گیرند (Feyznia و همکاران، ۲۰۰۳).



شکل ۱۶- طبقه‌بندی مارن‌ها

مقایسه‌های آماری نیز صرفاً عوامل مستقل به‌عنوان علل تفاوت رسوب‌زایی سازندها مورد مقایسه قرار می‌گیرند و عوامل مستقل مبنای قضاوت در مقادیر رسوب‌زایی هستند (Bouma, ۱۹۹۸). در ادامه، با استفاده از رویه همبستگی (CORR) تمام عوامل مستقل و وابسته با یکدیگر سنجیده شده و ضرایب همبستگی استخراج شد که بخشی از نتایج آن‌ها در جدول ۸، قابل مشاهده است.

به‌منظور ارزیابی دقیق آماری روابط بین خصوصیات فیزیکوشیمیایی و رسوب‌زایی مارن‌ها از نرم‌افزار SAS.V8 استفاده شد. با توجه به این‌که شاخص‌های فرسایش‌پذیری به‌عنوان عوامل وابسته در رسوب‌زایی حاصل تعامل عناصر فیزیکی و شیمیایی خاک به‌عنوان عوامل مستقل می‌باشند، ابتدا عوامل وابسته شامل رسوب‌زایی، عامل K ویشمایر و نسبت رس تعیین و از عوامل مستقل که شامل ۲۳ عامل تحلیل‌شده خاک در آزمایشگاه بودند، تفکیک شد. در

جدول ۷- خصوصیات آماری ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مارن‌ها

متغیر	میانگین	انحراف معیار	کمینه	بیشینه
نسبت رس	۱/۸۴۸۷۹	۱/۳۴۸۷	۰/۷	۹
ضریب فرسایش	۰/۴۳۱۰۲	۰/۱۱۷۲۸	۰/۲۲	۰/۶۷
وزن مخصوص ظاهری (grcm^{-3})	۰/۵۰۴۴۹	۰/۰۵۹۲۷	۱/۳۳	۱/۶۵
مقدار رس (درصد)	۳۹/۵۴۲۸۶	۱۱/۲۷۸۰۸	۱۰	۵۸/۴
مقدار سیلت (درصد)	۳۸/۱۸۹۸	۱۰/۵۹۵۶	۱۸/۹	۶۲
مقدار ماسه (درصد)	۲۲/۲۸۵۷۱	۸/۲۲۷۳۷	۳/۹	۳۹
ازت کل (درصد)	۰/۰۸۱۴۹	۰/۰۴۱۲۲	۰/۰۱	۰/۱۶
پتاسیم قابل جذب (mgkg^{-1})	۲۴۴/۸۳۶۷	۱۳۷/۴۷۰۴	۳۷	۵۸۰
فسفر قابل جذب (mgkg^{-1})	۱۱/۴۷۵۳۱	۱۱/۸۹۶۷۲	۰/۷	۴۲/۰۶
کربن آلی (درصد)	۰/۳۸۳۴۷	۰/۲۸۵۷۶	۰/۰۶	۱/۷۴
آهک فعال (درصد)	۹/۳۱۱۸۴	۴/۶۳۴۳۵	۳/۰۴	۲۰/۲۱
آهک کل (درصد)	۵۲/۹۳۴۶۹	۱۲/۱۸۰۲۷	۱۹/۲	۷۶
اسیدیته	۸/۰۱۹۸	۰/۳۲۳۴۱	۷/۲۹	۸/۵۳
هدایت الکتریکی (dsm^{-1})	۰/۴۸۱۱۲	۰/۳۳۳۳۳	۰/۲۸۳	۲/۲۳
ظرفیت تبادل کاتیونی ($\text{me}/100$)	۲۱/۲۵۷۵۵	۹/۶۶۳۴۵	۴/۳	۴۳/۵
بی‌کربنات (meL^{-1})	۵/۷۰۸۱۶	۴/۴۴۳۴۳	۱	۲۲
کلر (meL^{-1})	۲/۷۴۶۹۴	۲/۰۳۰۶۱	۱	۹/۶
کلسیم (meL^{-1})	۴/۲۰۲۰۴	۳/۹۸۴۷۹	۰/۴	۲۰
منیزیم (meL^{-1})	۴/۱۱۶۳۳	۴/۶۷۲۹	۰/۴	۲۲
سدیم (meL^{-1})	۰/۹۰۱۸۴	۰/۹۷۳۲۱	۰/۱۵	۵/۱
سدیم تبدیلی (meL^{-1})	۰/۱۶۵۳۱	۰/۲۱۳۹۴	۰/۰۱	۰/۸
درصد سدیم قابل تبادل	۰/۷۵۵۵۱	۰/۹۶۸۷۳	۰/۱	۴
نسبت جذب سدیم	۰/۴۴۹۳۸	۰/۳۲۰۲۴	۰/۰۹	۱/۹
پتاسیم محلول (meL^{-1})	۰/۱۳۵۱	۰/۱۶۹۳۲	۰/۰۴	۱/۱۲
سولفات (meL^{-1})	۰/۴۰۹۱۸	۰/۵۷۴۲۱	۰/۰۱	۲/۶۳

همکاران، ۱۹۹۹). همبستگی‌هایی که با دو ستاره مشخص شده‌اند، در سطح معنی‌داری یک درصد و

در جدول ۸، وضعیت همبستگی متغیرها به‌صورت ماتریس و به روش پیرسن ارائه شده است (Rienks و

با محاسبه کمی تاثیر هر یک از عوامل مستقل مورد بررسی در این تحقیق، معادلات ریاضی تعیین کننده عوامل وابسته به دست می آید.

برای بررسی و مقایسه این که کدامیک از پارامترهای تحلیل شده در میزان رسوبدهی موثرند، روند تغییرات هر پارامتر با مقدار رسوبزایی ملاک عمل قرار گرفت. بدین صورت که اگر روند تغییرات رسوبزایی همسو با افزایش یا کاهش هر یک از پارامترهای فیزیکی و شیمیایی مورد نظر باشد، فرض بر این قرار می گیرد که پارامتر مزبور در رسوبدهی موثر بوده است. در غیر این صورت، فرض مزبور صحیح نیست. این تاثیرات در صورتی قابل استناد خواهند بود که دقت لازم را داشته باشند که این دقت در سطح احتمال یک درصد و پنج درصد در نظر گرفته شده است.

آنهایی که با یک ستاره مشخص شده اند، در سطح پنج درصد رابطه خطی معنی دار نشان می دهند و مواردی که با ns نشان داده شده اند، دارای همبستگی خطی معنی دار نیستند. در ادامه، با استفاده از رویه رگرسیون (Reg) معادله های تابعیت بین پارامترهای وابسته و مستقل محاسبه شد. به عبارتی نقش هر یک از عوامل مستقل که شامل مقادیر عناصر موجود در خاک های ماری و نیز اجزاء فیزیکی سازنده این خاک ها هستند، به صورت یک تابع ریاضی در برابر شاخص های فرسایش پذیری که همان عوامل وابسته هستند، قرار گرفته و ضریب تاثیر عوامل مستقل محاسبه شد. در نهایت، با توجه به تاثیرگذاری هر یک از پارامترهای مستقل بر روی R² های جزئی مهمترین عوامل موثر در رسوبزایی و همچنین، مهمترین پارامترهای تعیین کننده K ویشمایر و نسبت رس همراه با فرمول های مربوطه استخراج شد. بدین ترتیب،

جدول ۸- ماتریس ضرایب همبستگی چندگانه بین برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی مارن ها به روش پیرسن

سدیم تبادل	آهک کل	آهک فعال	Ka.v.a.	درصد ماسه	درصد سیلت	درصد رس	نسبت رس	رسوبزایی	صفت
۰/۵۷۷۴	-۰/۴۹۶۱	۰/۳۵۱۵	-۰/۷۵۲۷	۰/۰۰۴۲	۰/۵۳۶۷	-۰/۵۰۷۳	۰/۳۶۱۹	۱	رسوبزایی
<۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۳	۰/۰۱۳۲ *	<۰/۰۰۰۱ **	۰/۹۷۷ ns	<۰/۰۰۰۱ **	۰/۰۰۰۲ **	۰/۰۱۰۶ *		
**	**								
-۰/۴۲۷۷	-۰/۰۸۵۶	۰/۱۵۰۷	-۰/۴۸۳۴	۰/۳۷۲۴	۰/۶۰۳۸	-۰/۸۳۹۳	۰/۳۶۱۹۹	۱	نسبت رس
۰/۷۷۰۴ ns	۰/۵۵۸۶ ns	۰/۳۰۲۱ ns	۰/۰۰۰۴ **	۰/۰۰۸۴ **	<۰/۰۰۰۱ **	<۰/۰۰۰۱ **	۰/۰۱۰۶		
-۰/۰۴۸۹	۰/۱۷۳۵	-۰/۱۹۷۲	۰/۶۱۵۵	-۰/۴۴۵۲	-۰/۷۱۸۴	۱	-۰/۸۳۹۳	-۰/۵۰۷۳	رس (درصد)
۰/۷۳۸۳	۰/۲۲۳	۰/۱۷۴۳	<۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۱۳	<۰/۰۰۰۱		<۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۲	
-۰/۰۵۵۸	-۰/۳۵۸۷	۰/۴۳۷۱	-۰/۷۰۳۹	-۰/۳۰۳۰	۱	-۰/۷۱۸۴	۰/۶۰۳۸	۰/۵۳۶۷	سیلت (درصد)
۰/۷۰۳۱	۰/۰۱۱۴	۰/۰۰۱۷	<۰/۰۰۰۱	۰/۰۳۴۳		<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	
۰/۱۳۷۸	۰/۲۲۴۸	-۰/۲۹۰۹	۰/۱۵۹۸	۱	-۰/۳۰۳۰	-۰/۴۴۵۲	۰/۳۷۲۴	۰/۰۰۴۲	ماسه (درصد)
۰/۳۴۴۸	۰/۱۲۰۳	۰/۰۴۲۵	۰/۲۷۲۶		۰/۰۳۴۳	۰/۰۰۱۳	۰/۰۰۸۴	۰/۹۷۷	
-۰/۳۱۹۹	۰/۳۳۷۰	-۰/۵۰۶۰	۱	۰/۰۶۸۵	-۰/۷۰۸۴	۰/۶۱۵۵	-۰/۴۸۳۴	-۰/۷۵۲۷	Ka.v.a.
۰/۰۲۵	۰/۰۱۷۹	۰/۰۰۰۲		۰/۶۳۹۸	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۴	<۰/۰۰۰۱	
-۰/۰۹۷۰	۰/۰۳۳۹	۱	-۰/۵۰۶۰	-۰/۲۹۰۹	۰/۴۳۷۱	-۰/۱۹۷۲	۰/۱۵۰۴	۰/۳۵۱۵	آهک فعال
۰/۵۰۷	۰/۸۱۶۹		۰/۰۰۰۲	۰/۰۴۲۵	۰/۰۰۱۷	۰/۱۷۴۳	۰/۳۰۲۱ ns	۰/۰۱۳۲*	
-۰/۲۶۶۴	۱	۰/۰۳۳۹	۰/۳۳۷۰	۰/۲۲۴۸	۰/۳۵۸۷	۰/۱۷۳۵	-۰/۰۸۵۶	-۰/۴۹۶۱	آهک کل
۰/۰۶۴۲		۰/۸۱۶۹	۰/۰۱۷۹	۰/۱۲۰۳	۰/۰۱۱۴	۰/۲۲۳	۰/۵۵۸۶ ns	۰/۰۰۰۳**	
۱	-۰/۲۶۶۴	-۰/۰۹۷۰	-۰/۳۱۹۹	۰/۱۳۷۸	-۰/۰۵۵۸	-۰/۰۴۸۹	-۰/۰۴۲۷	۰/۵۷۷۴	سدیم تبادل
	۰/۰۶۴۲	۰/۵۰۷	۰/۰۲۵	۰/۳۴۴۸	۰/۷۰۳۱	۰/۷۳۸۳	۰/۷۷۰۴ ns	<۰/۰۰۰۱**	

* و ** به ترتیب در سطح احتمال پنج درصد، یک درصد معنی دار و ns غیر معنی دار است. (به دلیل تعداد زیاد عوامل تنها رگرسیون نه عامل ارائه شده و از درج سایر جداول اجتناب شده است)

تابعیت برای برآورد رسوب‌زایی استخراج می‌شود که در جدول ۹، درج شده است. با هدف تعیین بهترین معادله در بین معادلات تابعیت و با این نگرش که با انجام کمترین میزان آزمایشات، با کمترین هزینه و در زمانی کوتاه بتوان شاخص‌های مربوط به رسوب‌زایی سازندهای مارنی را تعیین کرد، با دقت بیشتر در مقادیر R^2 نتایج جالب توجهی حاصل می‌شود.

پس از بررسی نوع و میزان همبستگی عامل رسوب‌زایی، به‌عنوان عامل وابسته با ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی مارن‌ها و به‌عنوان عوامل مستقل و معرفی مهمترین عوامل تاثیرگذار بر شاخص‌های فرسایش بر اساس جدول ۸ که شامل پتاسیم قابل جذب، سدیم تبادلی، آهک کل، و درصد رس است، با استفاده از رویه رگرسیون با ورود مرحله‌ای عوامل مستقل موثر بر این شاخص‌ها طی چند گام، معادلات

جدول ۹- معادلات تابعیت برای برآورد رسوب‌زایی (Y1) در مارن‌ها

گام	معادله	جزء R2	مدل R2	C (p)	F Value	Pr > F	متغیر اضافه شده
۱	$Y1=103/100/118 \times y^{10}$	۰/۵۵۵۹	۰/۵۵۵۹	۳۹/۶۹۵۹	۵۷/۵۷**	<۰/۰۰۰۱	X1۰
۲	$Y1=88/06-0/15 \times y^{10} + 55/59 \times y^{23}$	۰/۱۲۹۹	۰/۶۸۵۸	۱۷/۲۱۸۹	۱۸/۶۰**	<۰/۰۰۰۱	X2۳
۳	$Y1=115/89-0/14 \times y^{10} - 0/57 \times y^{14} + 49/86 \times y^{23}$	۰/۰۴۱۹	۰/۷۲۷۶	۱۱/۳۲۷۰	۶/۷۷**	۰/۰۱۲۶	X1۴
۴	$Y1=128/52-0/49 \times y^{10} - 0/11 \times y^{10} - 0/58 \times y^{14} + 11/54 \times y^{23}$	۰/۰۱۸۸	۰/۷۴۶۵	۹/۷۷۹۰	۳/۱۹**	۰/۰۸۱۰	X۶
۵	$Y1=115/100-0/65 \times y^{10} - 0/07 \times y^{10} + 1/46 \times y^{12} - 0/68 \times y^{14} + 63/57 \times y^{23}$	۰/۰۲۸۰	۰/۷۷۴۵	۶/۴۹۹۹	۵/۲۲*	۰/۰۲۷۵	X1۳
۶	$Y1=-32/40 \times 95/06 \times y^{10} - 0/5 \times y^{10} - 0/08 \times y^{10} + 1/92 \times y^{13} - 0/73 \times y^{14} + 59/92 \times y^{23}$	۰/۰۲۳۸	۰/۷۹۸۳	۴/۰۱۱۴	۴/۸۴ ^{ns}	۰/۰۳۳۵	X۵

دقت تحقیق به مقدار هزینه‌های موجود بستگی دارد، به‌طوری‌که اگر درصد رس به معادله اضافه شود، مقدار دقت ۰/۰۲ درصد اضافه شده (گام ۵)، به ۷۴ درصد خواهد رسید. اگر در این معادله وزن مخصوص ظاهری نیز اضافه شود، یعنی تا گام ۶ جلو رفته شود، در این صورت دقت به ۷۹ درصد خواهد رسید. بنابراین، منطقی نیست که هزینه‌ها فقط برای بالا بردن دو درصد دقت در پیش‌بینی افزایش یابند.

نتیجه‌گیری

بر اساس مقایسه میزان کمی رسوب‌زایی و نسبت رسوب به رواناب، سازند رازک با میانگین ۹۶/۳۴ گرم بر متر مربع در رتبه اول و سپس، سازندهای پابده، هرمز، میشان و گورپی به‌ترتیب با ۹۴/۴۱، ۸۷/۱، ۷۶/۱۷ و ۳۳ گرم بر متر مربع در رتبه‌های بعدی تولید رسوب قرار می‌گیرند. نتایج معادلات مربوط به محاسبه رسوب‌زایی با استفاده از رویه رگرسیون حاکی از تاثیر چهار عامل پتاسیم قابل جذب، سدیم تبادلی، آهک

نتایج محاسبات رگرسیون حاکی از تاثیر چهار عامل پتاسیم قابل جذب، سدیم تبادلی، آهک کل، و درصد رس است که به‌ترتیب بیشترین تغییرات رسوب را در واحدهای مارنی نشان می‌دهند که رابطه ریاضی آن‌ها به شرح زیر به‌دست آمده است.

(سدیم تبادلی $\times 54/11$) + (آهک کل $\times 0/58$) - (پتاسیم قابل جذب $\times 0/11$) - (درصد رس $\times 0/49$) - $128/52 =$ میزان رسوب

با توجه به جدول ۹، مناسب‌ترین معادله برای پیش‌بینی میزان رسوب‌زایی خاک معادله (۴) با استفاده از چهار عامل ذکر شده است. به‌طوری‌که در این جدول مشاهده می‌شود، با واردکردن پتاسیم قابل جذب (گام ۱) در معادله (۱) مقدار R2 به ۵۵ درصد خواهد رسید. بعد از آن با واردکردن سدیم تبادلی (گام ۲) مقدار دقت مطالعه به میزان ۰/۱۲ درصد افزایش یافته، در این صورت مقدار R2 به ۶۸ درصد رسیده، با واردکردن آهک کل (گام ۳) مقدار دقت ۰/۰۴ اضافه شده، به ۷۲ درصد می‌رسد. بالا بردن

پارامترهای موثر بر رسوب گذاری در این تحقیق درصد سدیم تبادلی (ESP) خاک است که با روند تولید رسوب یک همبستگی متوسط، مثبت معنی دار را نشان می دهد. نتایج مطالعات و آزمایشات کانی شناسی به وسیله پراش اشعه ایکس (XRD) نشانگر آن است که غلبه کانی مونت موریلونیت در پیکره سازندهای مارنی تا حدود زیادی مانع رسوب زایی بوده، به گونه ای که سازند گورپی که دارای بیشترین گسترش در استان چهارمحال و بختیاری است، در رده آخر از دیدگاه تولید رسوب قرار می گیرد. این در حالی است که غلبه کانی کائولینیت و به ویژه همراهی آن با ایلات می تواند یکی از عوامل مهم ذاتی فرسایش پذیری و رسوب زایی سازندهای رسی و مارنی باشد و از این رو است که سازند رازک در رتبه اول رسوب زایی قرار گرفته، پس از آن سازند پابده که کائولینیت به عنوان جزء اصلی همراه با مقادیر کمتر کائولینیت در رده دوم رسوب زایی قرار گرفته است.

سپاسگزاری

در انجام این تحقیق، لازم می داند از رئیس، اعضای هیات علمی و کارشناسان بخش تحقیقات آبخیزداری مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان چهارمحال و بختیاری به ویژه آقایان مهندس محمد نکویی مهر، دکتر حیدر غفاری و سرکار خانم مهندس زهرا الیاسی که در تمام مراحل صحرائی، دفتری، تجزیه و تحلیل و حروف چینی همکاری داشته اند، تشکر و قدردانی کند.

کل و درصد رس است که به ترتیب بیشترین تغییرات رسوب را در واحدهای مارنی نشان می دهد.

نتایج همبستگی بین بافت خاک و تولید رسوب حاکی از همبستگی مثبت و خوب و معنی دار (در سطح احتمال یک درصد) میزان سیلت با رسوب زایی و همبستگی منفی و معنی دار مقدار رس (در سطح احتمال یک درصد) با رسوب زایی و عدم همبستگی ماسه با رسوب زایی است. با توجه به این که ماسه اسکلت اصلی خاک های مارنی را تشکیل می دهد، نقشی کمتر از اجزای ریزدانه به ویژه رس بازی می کند. از سوی دیگر، جزء رسی به دلیل نوع کانی های تشکیل دهنده که بر اساس نتایج آزمایش پراش اشعه ایکس (XRD) انجام شده در این تحقیق، غالباً ایلاتی و مونت موریلونیتی هستند، به سبب اتساع پذیری نقشی به مراتب مهمتر از اجزاء درشت تر دارند. به دلیل این که تمام عوامل شیمیایی مستقل تاثیرگذار به صورت مقایسه ای و نسبت به یکدیگر سنجیده شده اند، به طور طبیعی اثر برخی عوامل در مقایسه با برخی دیگر به طور معنی داری کمتر بوده که در رویه های آماری به عنوان عامل بی اثر تلقی می شوند.

یکی از عوامل تاثیرگذار بر روند تولید رسوب در این تحقیق مقدار آهک فعال خاک است. نتایج نشان دهنده یک همبستگی مثبت و معنی دار در سطح احتمال پنج درصد بین این پارامتر و تولید رسوب می باشد. نتایج تحقیقات نشان دهنده همبستگی قوی معنی دار مثبت بین سدیم تبادلی خاک (در سطح احتمال یک درصد) و مقدار رسوب و غیر معنی دار بودن آن با کاتیون سدیم می باشد. یکی دیگر از

منابع مورد استفاده

1. Abbasi, N., A. Abdi, A. Rezaei and Y. Ghadimi. 2005. Geological classification of marls erosion in the lower Ghezal Ozan Basin in Zanjan Province. Research Final Report, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, 120 pages (in Persian).
2. Ahmadi, H. 1995. Applied geomorphology. Tehran University Press, 308 pages (in Persian).
3. Bamiki, R.E., M. Séranne, El H. Chellai, G. Merzeraud, M. Marzoqi and M. Melinte-obrinescu. 2020. Unraveling the accumulation and differentiation processes. *Sedimentary Geology*, 403: 55-71.
4. Benito, G., M. Gutierrez and C. Sancho. 1991. Erosion pattern in rill and interrill areas in badland zones of the middle Ebro Basin (NE-Spain). *Soil Erosion Studies in Spain*, 2: 41-54.
5. Benito, S., M. Gutierrez and C. Zaragoza. 1993. The influence of physico-chemical properties on erosion process in badland areas, Ebro Basin, NE Spain. *Journal of Zeit Fur Geom*, 37(2): 199-214.
6. Bouma, A. 1998. Investigation of relationships between measured field indicators and erosion processes on badland surface at Petrer, Spain. *Journal of Soil Science Society of America*, 25: 105-109.

7. Bouma, N. and A. Imeson. 2000. Investigation of relationships between measured field indicators and erosion processes on badland surfaces at Peter, Spain. *Journal of Catena*, 40: 147-171.
8. Bufalo, M. and D. Nahon. 1992. Erosional process and Mediterranean badlands: a new erosivity index for predicting sediment yield from gully erosion. *Geoderma*, 52: 133-147.
9. Creda, A. 2002. The effect of season and parent material on water erosion on highly eroded soils in eastern Spain. *Journal of Arid Environments*, 52: 319-337.
10. Emami, N. 2013. Classification and determination of erosion indices of marls in Chaharmahal and Bakhtiari Province. Research Final Report, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, 161 pages (in Persian).
11. Engeland, G.B. 1971. Runoff processes and slope development in badlands national monument, south Dakota. *Journal of Hydrology*, 18: 55-79.
12. Esmailpour, A. 1996. Investigation of marls around Urmia Lake and determining their sensitivity to water erosion. Imam Khomeini Higher Education Center, 200 pages (in Persian).
13. Feiznia, S., F. Sharifi and M. Zare. 2003. Sensitivity of formations to erosion in Chandab Watershed and Varamin. *Journal of Research and Construction*, 61: 203 – 217 (in Persian).
14. Ghadimi Aroos Mahale, F. 1998. A study of the relationship between erosion forms and chemical and physical properties of marls. *Journal of Research and Construction*, 40: 95-99 (in Persian).
15. Ghadimi aroos mahale, F., F. Pourmetin and C. Qudusi. 1999. The effect of physical and chemical properties of marls on the formation of erosion forms. The First Iranian Conference on Engineering and Environmental Geology, Tehran, Tarbiat Moallem University, 919-929 (in Persian).
16. Gourfi, A., L. Daoudi and Z. Shi. 2018. The assessment of soil erosion risk, sediment yield and their controlling factors on a large scale: example of Morocco. *Journal of African Earth Sciences*, 147: 281-299.
17. Heede, B. 1971. Characteristics and processes of soil piping in gullies. Agriculture Forest Service Paper, 68: 1-15.
18. Heshmati, M. 1996. Physical-chemical properties, erosion and sediment production of Pabdeh, Gachsaran and Aghajari formations in Qasr Shirin area. MSc Thesis, 210 pages (in Persian).
19. Hussein, H., H. Kariem and A. Othman. 2007. Soil erodibility in northern Iraq using natural runoff plot data. *Journal of Soil and Tillage Research*, 94: 220-228.
20. Jantzi, H., F. Liébault and S. Klotz. 2017. Sediment residence time in alluvial storage of black marl badlands. *Catena*, 156: 82-91.
21. Khamseh Chian, M. 1990. Study of physical and mechanical properties of marly-clayey rocks. MSc Thesis, 250 pages (in Persian).
22. Mohamed, A. 2000. The role of clay minerals in marl soils on its stability. *Journal of Engineering Geology*, 57: 193-203.
23. Moosdorf, N., S. Cohen and Ch.V. Hagke. 2018. A global erodibility index to represent sediment production potential of different rock types. *Applied Geography*, 101: 36-44.
24. Ouhadi, V. and R. Young. 2003. The role of clay fraction of marly soils on their post stabilization failure. *Journal of Engineering Geology*, 14: 6-10.
25. Renard, K., G. Foster, G. Weesies and J. Porter. 1991. RUSLE, revised universal soil loss equation. *Journal of Soil and Water Conservation*, 46: 30-33.
26. Rienks, S.M., G.A. Botha and J.C. Hughes. 2000. Some physical and chemical properties of sediments exposed in gully (donga) in Northern Kwazulu-Natal, South Africa and their relationship to the erodibility of the colluvial layer. *Catena*, 39(1): 11-31.
27. Russell, D. and K. Kelts. 2003. Classification of lacustrine sediments based on sedimentary components. *Journal of Paleolimnology*, 29: 141-154.
28. Rey, F. and M. Buryilo. 2014. Can bioengineering structures made of willow cuttings trap sediment in eroded marly gullies in a Mediterranean mountainous climate? *Geomorphology*, 204: 564-572.
29. Schiettecatte, W., K. Jin, Y. Yuqing, M. Cornelis, J. Lu, H. Wu, K. Verbist, D. Cai, D. Gabriels and R. Hartmann. 2005. Influence of simulated rainfall on physical properties of a conventionally tilled loess soil. *Catena*, 64: 209-221.
30. Sirventij, D.G., M.S. Guticrres and G. Benito. 1997. Erosion in badland areas recorded by collectors erosion pins and profilometer techniques (Ebro Basin, Nw, Spain). *Geomorphology*, 18(2): 61-75.