

بررسی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مارن‌های غرب آبخیز مهارلو و تأثیر آن‌ها بر فرسایش و حفاظت خاک

- حمید حسینی‌مردی^{۱*}، سید مسعود سلیمان‌پور^۲، مریم عنایتی^۳، ابوالحسن مقیمی^۴، حمیدرضا پیروان^۵
- ۱- استادیار بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران
- ۲- دانشیار بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران
- ۳- کارشناس ارشد بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران
- ۴- استادیار بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران
- ۵- دانشیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف

مارن‌ها سنگ‌هایی متخلخل (با تخلخل ۷۳ تا ۹۵٪) هستند. سازندهای مارنی رسوب‌زایی زیادی دارند و ویژگی‌های متفاوت فیزیکی و شیمیایی مارن‌ها، بر شدت و نوع فرسایش تأثیرگذارند. شکل و شدت فرسایش آبی به‌شدت تحت تأثیر تغییرات بافت خاک است. بر پایه نتایج پژوهش‌های پیشین، بیشترین همبستگی مارن‌ها با شدت فرسایش مربوط به عامل‌های فیزیکی و شیمیایی آنها (توزیع ذرات به‌ویژه ذرات شن) است. با افزایش اندازه ماسه در مقایسه با ذرات سیلت و رس، فرسایش آب‌کندی (خندقی) نیز افزایش خواهد یافت. شاخص نسبت رس در رخداد فرسایش آب‌کندی و شاخص حجم رواناب در رخداد فرسایش سطحی و شیاری مارن‌ها تعیین‌کننده هستند. از سوی دیگر، اندازه‌های سدیم، منیزیم، درصد کربن آلی، pH و SAR، در شکل‌های فرسایش سطحی، شیاری و هزارده‌ای مارن‌ها، تفاوت معنی‌دار وجود دارد.

نوع مقاله: پژوهشی

*مسئول مکاتبات: hhmarand@gmail.com

استناد: حسینی‌مردی، ح.، سلیمان‌پور، س. م.، مقیمی، ا.، پیروان، ح. ر. ۱۴۰۴. بررسی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مارن‌های غرب آبخیز مهارلو و تأثیر آنها بر فرسایش و حفاظت خاک. پژوهش‌های آبخیزداری. ۳۸(۴): ۸۸-۱۰۷.

شناسه دیجیتال: 10.22092/wmrj.2025.368766.1618

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۲/۲۹، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۱۲/۲۹، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۳/۳۱، تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۱۰/۱۱
پژوهش‌های آبخیزداری، سال ۱۴۰۴، دوره ۳۸، شماره ۴، شماره پیاپی ۱۴۹، زمستان ۱۴۰۴، صفحه‌های ۸۸ تا ۱۰۷.

نویسندگان

ناشر: مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس



خاک‌های مارنی موادی در حال تکامل هستند که با افزودنی‌هایی می‌توان ویژگی‌های ذاتی آن‌ها را بهبود بخشید و امکان استفاده از آن‌ها را فراهم آورد. استقرار پوشش گیاهی روی مارن‌ها نیز یک نکته مهم است و درصد رس و گچ موجود در مارن‌ها رابطه تنگاتنگی با استقرار گیاه روی خاک‌های مارنی دارد. از این‌رو، مارن‌ها مسائل و مشکلات با اهمیتی مرتبط با استفاده، تثبیت، ساخت‌وساز، فرسایش و رسوب‌زایی دارند. سازندهای مارنی در آبخیز مهارلو در استان فارس گسترش زیادی دارند و این موضوع نشان‌دهنده قابلیت زیاد آبخیز برای ایجاد فرسایش و تولید رسوب است و شناخت ویژگی مارن‌های آبخیز برای استفاده در برنامه‌های حفاظت خاک کاربرد دارد.

مواد و روش‌ها

آبخیزهای تنگ‌سرخ و بردکل با مساحت ۵۰۰ هکتار جزء آبخیز مهارلو و در غرب شیراز است. تقریباً تمام سطح این زیرآبخیزها را سازند زمین‌شناسی گچساران می‌پوشاند. با استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی، پستی‌بلندی، شیب و دیگر مستندات موجود و مشاهده شکل‌های فرسایشی در عرصه، در سه طبقه شیب (کمتر از ۵٪، ۵ تا ۱۰٪ و ۱۰ تا ۲۰٪)، ۱۱ نمونه خاک مارنی از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر برداشت شد. هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک (ECe)، اسیدیته گل اشباع خاک (pH)، اندازه کلسیم، منیزیم، سدیم، کربنات، کلر، بی‌کربنات، کربن آلی، ظرفیت تبادل کاتیونی، درصد گچ و اندازه کربنات کلسیم معادل اندازه‌گیری شدند. تجزیه خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک بر اساس روش مؤسسه تحقیقات خاک و آب انجام شد. اندازه ذرات خاک با روش هیدرومتری و بافت خاک بر اساس طبقه‌بندی وزارت کشاورزی آمریکا تعیین شد. بررسی‌های آماری داده‌ها و تعیین تأثیر متغیرها بر نوع فرسایش با استفاده از آزمون t با دو جمعیت مستقل انجام شد. افزون بر این، تجزیه و تحلیل پراکنش، تجزیه و تحلیل عامل‌های اصلی و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن (با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS) انجام شد.

نتایج و بحث

تفاوت اندازه کربنات کلسیم معادل در منطقه تنگ‌سرخ و بردکل در سطح یک درصد معنی‌دار شد و اندازه آن در تنگ‌سرخ به مراتب بیشتر از بردکل بود. تفاوت اندازه ماسه در سطح پنج درصد معنی‌دار شد که اندازه آن در بردکل بیش از تنگ‌سرخ بود. در مارن‌های دو زیرآبخیز نیز تفاوت اندازه اسیدیته در سطح یک درصد معنی‌دار شد و در تنگ‌سرخ بیش از بردکل بود. اندازه سولفات مارن‌های بردکل به مراتب بیش از تنگ‌سرخ بود و این تفاوت در سطح پنج درصد معنی‌دار شد. اندازه بی‌کربنات در مارن‌های بردکل بیش از تنگ‌سرخ بود و این تفاوت در سطح پنج درصد معنی‌دار شد. تفاوت اندازه‌های کربنات کلسیم معادل، گچ، اسیدیته و کلسیم مارن‌ها در شکل‌های فرسایشی گوناگون در سطح پنج و یک درصد معنی‌دار شد. میان دو منطقه در مارن‌های با فرسایش آب‌کندی (خندقی)، تفاوت اندازه ظرفیت تبادل یونی و اسیدیته، معنی‌دار شد. اندازه‌های اسیدیته، کربنات کلسیم معادل، یون سدیم و درصد رس در مارن‌های تنگ‌سرخ بیش از بردکل بود و در دیگر متغیرها اندازه‌ها در بردکل بیشتر بود. در دو واحد آب‌شناختی بررسی‌شده، بیشترین و کمترین اندازه کربن آلی به ترتیب در فرسایش شیاری و سطحی مشاهده شد. افزون بر این، بیشترین کمترین اندازه درصد رطوبت به ترتیب در فرسایش سطحی و شیاری مشاهده شد. اندازه بی‌کربنات نیز در فرسایش شیاری بیش از دیگر شکل‌های فرسایشی بود. تعیین اندازه عامل‌هایی مانند بی‌کربنات، کربنات کلسیم معادل، گچ، اسیدیته و یون کلسیم، درصد شن و مجموع سیلت و رس در بروز شکل‌های فرسایشی کمک‌کننده بودند. در مارن‌های منطقه، اندازه زیاد نسبت جذبی سدیم (SAR) می‌تواند موجب غلبه بیشتر فرسایش سطحی و شیاری در مقایسه با فرسایش آب‌کندی (خندقی) شود. در مارن‌های سازند گچساران، احتمالاً شوری تحت تأثیر افزایش اندازه گچ بود و از نقش آن در تشدید فرسایش کاسته شد. وجود کربنات کلسیم بیشتر در مارن‌های آبخیز تنگ‌سرخ سبب پایداری بیشتر آنها شد که دلیل آن مهار بیشتر اثر شوری و سدیم بود. درصد جذب آب مارن‌های تنگ‌سرخ در مقایسه با مارن‌های بردکل بیشتر بود. از این‌رو، قابلیت حرکات فرسایشی از نوع توده‌ای نیز در مارن‌های تنگ‌سرخ بیشتر بود.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

نتایج این پژوهش نشان داد به‌دلیل ویژگی‌های مارن‌ها در آبخیز مهارلو و نقش مؤثر آن‌ها بر فرسایش و رسوب، در پژوهش‌های محلی باید به آنها توجه ویژه داشت. در این آبخیز، برای مهار فرسایش و رسوب، شناسایی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مارن‌ها مانند یون‌های بی‌کربنات، کلسیم، سدیم، شوری، درصد شن و رس اهمیت دارند. در نتیجه، برای موفقیت بیشتر طرح‌های اجرایی در پژوهش‌های آبخیزداری، توجه به نقش ویژگی‌هایی مانند اندازه گچ در کاهش شوری و تأثیر اسیدیته بر نوع فرسایش‌ها نیز ضروری است. بر اساس نتایج این پژوهش، پیشنهاد می‌شود برای مدیریت رسوب‌گذاری در آبخیز مهارلو، از پوشش گیاهی و مالچ‌های زیست‌پذیر برای تثبیت خاک استفاده شود و سدهای رسوب‌گیر ساخته شود. همچنین، بهره‌گیری از فناوری‌های GIS و سنجش‌ازدور برای شناسایی مناطق بحرانی و تدوین برنامه‌های مدیریت منابع آب و خاک پیشنهاد می‌شود.

واژگان کلیدی

آبخیزداری، پوشش گیاهی و تثبیت خاک، رسوب‌زایی مارن‌ها، ظرفیت تبادل کاتیونی، فرسایش آب‌کندی

مقدمه

به‌طور کلی واژه مارن به خاک یا سنگی گفته می‌شود که ترکیبی از رس و کربنات کلسیم است و اندازه کربنات آن از ۳۵ تا ۶۵٪ متغیر است (پتی‌جان ۱۹۷۵، یانگ و همکاران ۲۰۰۷، العمودی ۲۰۱۰). در مارن‌ها شکل‌های گوناگونی از فرسایش مانند فرسایش سطحی^۱، شیری^۲، آب‌کندی (خندقی)^۳ و تونلی^۴ به وجود می‌آیند. شوری بسیاری از رودهای کشور و حتی سفره‌های آب زیرزمینی، ناشی از طبقه‌های مارنی حاوی لایه‌های گچ و نمک است. ویژگی‌های متفاوت فیزیکی، شیمیایی و زمین‌شیمیایی مارن‌ها، بر شدت و نوع فرسایش تأثیر دارند. رسوب‌زایی زیاد سازندهای مارنی معمولاً به‌دلیل وجود کانی غالب اسمکتیت^۵ است (حشمتی و همکاران ۲۰۲۴). از این‌رو، شناخت ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن‌ها به عملیات حفاظت از آن‌ها کمک می‌کند.

نتایج پژوهش‌های پیشین بیانگر آن است که عامل‌های فیزیکی و شیمیایی مارن‌ها، مانند توزیع ذرات به‌ویژه ذرات شن آنها بیشترین همبستگی را با شدت

فرسایش دارند (اتایب و همکاران ۲۰۲۳). در دیگر پژوهش‌ها نیز، درصد سدیم تبدلی (ESP) و نسبت جذبی سدیم (SAR) زیاد و EC دلیل پخشیدگی خاک گزارش شده است و پژوهشگران شکل‌های فرسایش سطحی، شیری، توسعه آب‌کنند (خندقی) و تشکیل هزاردره در مارن‌ها را ناشی از آن می‌دانند (کنی و همکاران ۱۹۸۴، گوتی‌ریز و بنی‌تو ۱۹۹۳، احمدی ۱۹۹۹، رینکس و همکاران ۲۰۰۰). در پژوهش‌های پرشماری تفاوت اندازه‌های سدیم، منیزیم، درصد کربن آلی، pH و SAR در شکل‌های فرسایش سطحی، شیری و هزاردره‌ای معنی‌دار شده است (حشمتی و همکاران ۲۰۱۱، سعیدیان و همکاران ۲۰۱۴، سلماسی و احمدی ۲۰۱۲، سلماسی و پیروان ۲۰۱۱). تأثیرگذاری کانی‌های رسی بر اندازه مقاومت توده خاک و تأثیرگذاری درصد کربنات کلسیم و نوع کانی رسی بر پایداری بیشتر مارن‌های سفید در مقایسه با مارن‌های خاکستری و قهوه‌ای از دیگر نتایج بررسی رفتارهای فرسایشی مارن‌ها است. در میان شکل‌های گوناگون فرسایش مارن‌ها بیشترین pH، در فرسایش توده‌ای و بیشترین اندازه گچ و درصد شن در فرسایش آب‌کندی (خندقی) و کمترین آن‌ها در فرسایش هزاردره (بدلند^۶) مشاهده شد (نعمتی

1- Sheet Erosion

2- Rill Erosion

3- Gully Erosion

4- Tunell Erosion

5- Smectite

6- Badland

۱۹۹۳، خلیلی ۲۰۱۲، بوما و امسون ۲۰۰۰، طالبی و همکاران ۲۰۱۳). در آبخیزهای کوچک سرشت سنگ های مارنی و خاک های رسی با توسعه فرسایش و تولید رسوب ارتباط تنگاتنگی دارند (فیض نیا ۱۹۹۵، رینک و همکاران ۲۰۰۰، حسن زاده و همکاران ۲۰۰۶). آزمایش های شیمیایی خاک های مارنی نشان داده است که ارتباطی میان درصد کربنات کلسیم و محتوای آلی خاک وجود ندارد. با افزایش محتوای آلی خاک، حد مایع^۷ (LL) و انعطاف پذیری خاک افزایش می یابد. با افزایش محتوای CaCO_3 خاک، LL خاک کاهش می یابد و خاک کمتر پلاستیک می شود. ویژگی خاک های مارنی به محتوای آلی و محتوای CaCO_3 بستگی دارد. از این رو، خاک باید از دیدگاه محتوای آلی و محتوای کربنات کلسیم طبقه بندی شود (چولمین، ۲۰۱۱، رینی و همکاران ۲۰۲۳). در ایندیانا آمریکا طبقه بندی خاک های مارنی در قالب طرح پژوهشی راه سازی و حمل و نقل انجام شد و مارن ها در چهار طبقه شناسایی شدند (الهوایک و همکاران ۲۰۱۲). الف) خاک با مارن جزئی (کربنات کلسیم بیشتر از ۱٪ و کمتر از ۹٪)، ب) خاک با کمی مارن (کربنات کلسیم بیشتر از ۱۰٪ و کمتر از ۱۷٪)، ج) خاک با مقداری مارن (کربنات کلسیم بیشتر از ۱۸٪ و کمتر از ۲۶٪)، د) خاک مارنی (کربنات کلسیم بیشتر از ۲۶٪ و کمتر از ۴۰٪)، ه) مارن (کربنات کلسیم بیشتر از ۴۰٪). تنوع ویژگی های مهندسی خاک مارنی، نشان دهنده مشکل آن ها در تثبیت است و به این دلیل برای پایداری آن ها روش های گوناگونی به کار گرفته شده است. در این راستا، می توان به روش استفاده از پوزولان های طبیعی^۸ برای تثبیت مارن ها اشاره کرد که بیشتر اهداف و دیدگاه های تثبیت و ایجاد سازه روی مارن ها را دنبال می کند. خاک مارن، باعث کاهش انبساط و شکل پذیری آن و در نتیجه آمادگی آن برای ساخت و ساز می شود (العمودی و همکاران ۲۰۱۰، بهادری و هاشمی نژاد، ۲۰۱۹). بیشترین کانی های رسی مارن های منطقه پارس جنوبی ایران

مربوط به گروه اسمکتیت یا ایلیت با فعالیت تورم کم تا متوسط است. مارن های منطقه نامبرده به عنوان آهک آرژیلی، مارن آهکی و مارن (بر اساس محتوای کربنات) طبقه بندی شده اند و به طور کلی دو طبقه به عنوان مارن آهکی و مارن سنگ معرفی شده اند. افزون بر این، افزایش کربنات سبب کاهش قابلیت ویرانی و افزایش سنجه های چگالی و مقاومت مارن شده است؛ که بر پایه نتایج برخی پژوهش ها، این موضوع قابل قبول است (آذرافزائی ۲۰۱۹). نتایج تجزیه و تحلیل کانی شناسی مارن ها بیانگر آن است که مارن ها حاوی اندازه های کمتری (۲۶٪) مواد معدنی رسی (ایلیت، اسمکتیت و کائولینیت)، هستند در حالی که کانی های غیر رسی (کوارتز، کلسیت و دولومیت) تا ۷۳٪ محتوای آن ها را تشکیل می دهند (مسرار و همکاران ۲۰۲۰). رسوبات تبخیری در فاصله های کوتاه بسیار متغیر بوده و به شدت بر کیفیت خاک تأثیر گذارند و باعث ایجاد خاک های گوناگون می شوند. مشاهده نیم رخ های خاک توسعه یافته و مراحل هوازگی پیشرفته، فقط زمانی امکان پذیر است که رس های دریایی، ماده اصلی باشند. سنگ آهک و رسوبات گچی، تشکیل خاک و تبدیل مواد معدنی را به شدت محدود می کنند (اگلی و همکاران ۲۰۲۰). مارن ها سنگ هایی متخلخل هستند که تخلخل آنها از ۴۰ تا ۷۳٪ متغیر است (کوی و همکاران ۲۰۲۱). نتایج بررسی اثر ویژگی های فیزیکی و شیمیایی رسوبات مارن بر فرسایش در لانتشور پاکدشت نشان داد که اندازه Na^+ ، SO_4^{2-} و سیلت در زمین مارن افزایش یافته و درصد رس کاهش یافته است (رضایی ۲۰۱۵ و ۲۰۱۶). شکل و شدت فرسایش آبی به شدت تحت تأثیر تغییرات بافت خاک است. با افزایش اندازه ماسه در مقایسه با ذرات ریزتر سیلت و رس، فرسایش آبکندی (خندقی) بیشتر ایجاد می شود (پارسادوست و همکاران ۲۰۲۲). در رخداد فرسایش آبکندی، شاخص نسبت رس و در رخداد فرسایش سطحی و شیاری مارن ها شاخص حجم رواناب تعیین کننده هستند (سکوتی و همکاران ۲۰۱۴). شناسایی مارن ها اغلب بر اساس تجزیه و تحلیل توزیع اندازه ذرات، pH، ظرفیت

7- Liquid Limit

8- Natural Pozzolans

تبادل کاتیونی (CEC)، کربنات و اندازه کربن آلی است. مارن‌ها به دلیل آسیب‌پذیری در برابر تغییرات رطوبت، تورم، انقباض، ویژگی‌های سازه‌ای همراه با جذب آب فراوان و ظرفیت باربری کم و همچنین به دلایل اقتصادی، بوم‌سازگان و فنی، نیاز به مواد اصلاح‌کننده و تثبیت‌کننده (سنگ‌دانه‌های بتن بازیافتی، پوزلاند و غیره) دارند (آل‌خفاجی و آل‌بسام و پرن ۲۰۱۰، قابزلو ۲۰۰۱). خاک‌های مارنی موادی در حال تکامل هستند که با افزودنی‌هایی می‌توان ویژگی‌های ذاتی آن‌ها (اندازه چسبندگی، زاویه اصطکاک و ظرفیت باربری و همچنین اندازه بهینه آهک در آن‌ها) را بهبود بخشید و امکان استفاده از آن‌ها را فراهم آورد (اتایب و همکاران ۲۰۲۳). تغییر pH خاک بر رفتار مهندسی مارن، تأثیرگذار بوده و با تغییرات pH اولیه، ریخت‌شناسی و طبقه‌بندی مارن نیز تغییر می‌کند. با کاهش pH اولیه و با حذف کربنات از ساختار خاک مارنی (در pH برابر چهار)، حد مایع و حد پلاستیک به ترتیب ۱۹ و ۸ واحد افزایش یافت. ضریب نفوذپذیری و مقاومت فشاری غیر محبوس نیز کاهش یافت (امیری و صالحیان ۲۰۲۲). در زمین‌های مارنی شمال شرق چین، رشد و پیشرفت فرسایش آب‌کندی (خندقی) ۰/۲۵ تا ۰/۱۵ متر در سال و تراکم آب‌کند (خندقی) در هر کیلومتر مربع، ۰/۱۲ تا ۰/۲۳ کیلومتر گزارش شده است (ون و همکاران ۲۰۲۱). استقرار پوشش گیاهی روی مارن‌ها نیز یک موضوع مهم است و درصد رس و گچ موجود در مارن‌ها رابطه تنگاتنگی با استقرار گیاه روی خاک‌های مارنی دارد (یوسفی و پیروان ۲۰۲۲). بررسی نتایج پژوهش‌های پیشین بیانگر آن است که مشکلات مارن‌ها در تثبیت، ساخت‌وساز، فرسایش و رسوب‌زایی اهمیت زیادی دارند. در طبقه‌بندی‌های ارائه شده که بیشتر مرتبط با ویژگی‌های زمین‌سازه‌ای است کمتر به ویژگی‌های بوم‌سازگان، فرسایش و رسوب مارن‌ها به دلیل ماهیت متغیر و پیچیده آن‌ها، چالش‌های نمونه‌گیری و تجزیه و تحلیل‌های آزمایشگاهی توجه شده است. درحالی‌که نتایج پژوهش‌ها بر نقش ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مارن‌ها در به وجود

آمدن شکل‌های فرسایشی و شدت و ضعف فرسایش و رسوب‌زایی آن‌ها تأکید دارد. ازاین‌رو، بر اساس این ویژگی‌ها می‌توان آن‌ها را طبقه‌بندی کرد و برای مهار و پیشگیری فرسایش و رسوب برنامه ریزی کرد. سازندهای مارنی در آبخیز مهارلو در استان فارس گسترش نسبتاً زیادی دارند و بیش از ۱۱٪ از سطح آبخیز را سازندهای واجد سنگ‌های مارنی تشکیل می‌دهند (پاک‌پور و همکاران ۲۰۰۸). این موضوع نشان‌دهنده قابلیت زیاد آبخیز برای ایجاد فرسایش و تولید رسوب است. در مناطقی با سازندهای مارنی، اندازه‌های فرسایش تا ۳۵۰۰ تن در کیلومتر مربع در سال نیز گزارش شده است (ساریخانی و محمودزاده ۲۰۲۱). ازاین‌رو، این پژوهش با هدف شناخت ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مارن‌های این آبخیز رسوب‌زا انجام شد. افزون بر این، این رسوب‌زایی بر پرشدن دریاچه مهارلو به‌عنوان آبگیر پایانی آبخیز نامبرده و اهمیت این موضوع در برنامه‌های پژوهشی گسترده‌تر و مدیریت اجرایی حفاظت خاک آبخیز، تحلیل شد.

مواد و روش‌ها

موقعیت جغرافیایی منطقه پژوهش شده

واحدهای آب‌شناختی تنگ‌سرخ با مساحت ۲۲۵ هکتار و بردکل با مساحت ۲۷۵ هکتار در غرب شیراز و غرب آبخیز دریاچه مهارلو می‌باشند (شکل ۱).

ویژگی‌های اقلیمی

در آبخیز مهارلو میانگین بارندگی (آمار ۵۰ ساله ایستگاه هواشناسی همدید شیراز)، بر اساس منحنی‌های هم‌تراز بارش، حدود ۴۴۸ میلی‌متر و میانگین دمای سالانه آن برابر ۱۸/۱۶°C است (ایستگاه هواشناسی همدید شیراز). بیشترین اندازه رطوبت نسبی ۶۵/۶۰٪ (دی‌ماه) و کمترین آن ۲۴/۰۱٪ (تیرماه) و بیشترین تبخیر برابر ۴۰۵/۹ میلی‌متر (تیرماه) و کمترین آن برابر ۲۹/۱ میلی‌متر (دی‌ماه) است. تعداد روزهای یخبندان نیز ۴۲ روز است (آمار ایستگاه همدید شیراز). بر اساس روش پهنه‌بندی اقلیمی با استفاده از روش‌های آماری تعیین

عامل‌های اصلی (PCA) و تحلیل انجام‌شده خوشه‌ای پایگانی برای تفکیک مکانی نواحی اقلیمی، اقلیم منطقه معتدل است (خسروشاهی و همکاران ۲۰۲۱).

زمین‌شناسی منطقه

منطقه پژوهشی در ناحیه ساختمانی زاگرس، از نواحی‌های زمین‌ساختی فعال ایران بود. زیرآبخیزهای بررسی‌شده شامل سازند زمین‌شناسی گچساران مربوط به دوران سوم زمین‌شناسی بود. این سازند روی سازند آسماری که جوان‌تر از آن است، بود. سازند گچساران سازندی تبخیری و در منطقه بررسی‌شده سنگ‌شناسی آن شامل لایه‌های نازک شیل با خردشدگی فراوان، شیل ماسه‌ای نازک، مارن قهوه‌ای رنگ و مارن خاکستری بود. ریخت آن در عرصه، تپه‌ماهوری و همراه با واریزه و خاک نسبتاً زیاد بود. تبغه‌های شیلی و شیل ماسه‌ای در آن مقاوم‌تر و به‌شکل رگه‌های سنگی نمایان بود. در سطح این سازند بجای انیدریت بیشتر ژئیس که نمونه بدون آب آن است، مشاهده شد. به‌دلیل پایداری کم و فرسایش‌پذیری زیاد سنگ‌های ریزدانه رسی، سیلتی و گچی این سازند، زمین‌ریخت‌شناسی آن ملایم و اغلب با دامنه‌های منظم است. فرسایش اصلی در این منطقه از نوع آبی بود و از دیدگاه زمین‌شناسی نیز می‌توان این شکل‌های فرسایشی را منطبق با ویژگی‌های سنگ‌شناسی، چینه‌شناسی و ساختمان زمین‌شناسی واحدها بررسی کرد. شکل‌های فرسایشی در سازند گچساران فرسایش شیاری، میان‌شیاری و گاهی تونلی و آب‌بندی (خندقی) بودند.

ویژگی‌های خاک منطقه

واحد زمین‌های غالب در محدوده بررسی‌شده شامل گیتاشناسی تپه و رخساره زمین‌ریخت‌شناسی دامنه پوشیده، با شیب منظم بود که به‌شکل مرتع و چراگاه فصلی از آن استفاده می‌شود. خاک بیشتر منطقه کم‌ژرفا بافت خاک سطحی سیلتی لوم و قابلیت نفوذ متوسط بود. به‌دلیل لایه سخت سنگی در کمتر از یک متر نفوذپذیری عمقی بسیار کم بود. اسیدیته (pH) خاک ۷/۴۷، بدون محدودیت قلیائیت یا مسمومیت سدیمی بود. هدایت الکتریکی

عصاره اشباع خاک 0.74 dS/m بود. با توجه به وضعیت نفوذپذیری خاک سطحی و لایه‌های زیرین، خاک در گروه آب‌شناختی D بود. ضریب فرسایش‌پذیری خاک سطحی بر اساس روش ویشمایر در معادله جهانی فرسایش (k) 0.49 محاسبه شد. در این محدوده، وضعیت رطوبتی xeric و وضعیت حرارتی ترمیک بود. گیاهانی که در سطح منطقه (نه ضرورتاً بر سطح مارن‌ها) مشاهده شدند شامل گون^۹، گرامینه^{۱۰}، کاهوی وحشی^{۱۱}، کلاه میرحسن^{۱۲}، بومادران^{۱۳}، خار زرد^{۱۴}، خارشتر^{۱۵}، کنگر^{۱۶}، کهورک^{۱۷}، آویشن^{۱۸}، گوش‌بره^{۱۹} و در ارتفاعات درختچه و درختان، کیکم^{۲۰}، ارژن^{۲۱}، خوشک^{۲۲} و بادام‌کوهی^{۲۳} بودند.

نمونه‌برداری و آزمایش‌ها

با استفاده از نقشه زمین‌شناسی (گسترش مارن‌ها)، نقشه شیب و بازدیدهای میدانی در سه طبقه شیب (کمتر از ۵٪، ۱۰-۵٪ و ۲۰-۱۰٪) که یک یا چند نوع از سه شکل فرسایشی (سطحی، شیاری و آب‌بندی) متداول در مارن‌ها وجود داشت، نمونه‌برداری از مارن به‌شکل نظام‌مند (انتخاب محل نمونه با توجه به حضور یکی از شکل‌های فرسایشی مد نظر) انجام شد (شکل ۱). در هرکدام از آبخیزها، ۱۱ نمونه خاک از سطح مارن‌ها برداشت شد و به آزمایشگاه فرسایش و رسوب مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی منابع طبیعی منتقل شد. ژرفای نمونه‌ها، متناسب با شکل فرسایش بود. در فرسایش سطحی نمونه خاک از ژرفای ۱۵-۰، در فرسایش شیاری از ژرفای ۳۰-۰ و در فرسایش

9- *Astragalus spp.*

10- *Poaceae*

11- *Lactuca serriola*

12- *Echinops ritro*

13- *Achillea millefolium*

14- *Salsola kali*

15- *Alhagi maurorum*

16- *Cynara cardunculus*

17- *Tamarix spp.*

18- *Thymus vulgaris*

19- *Prunus spinosa*

20- *Acantholimon spp.*

21- *Amygdalus orientalis*

22- *Hymenocallis spp.*

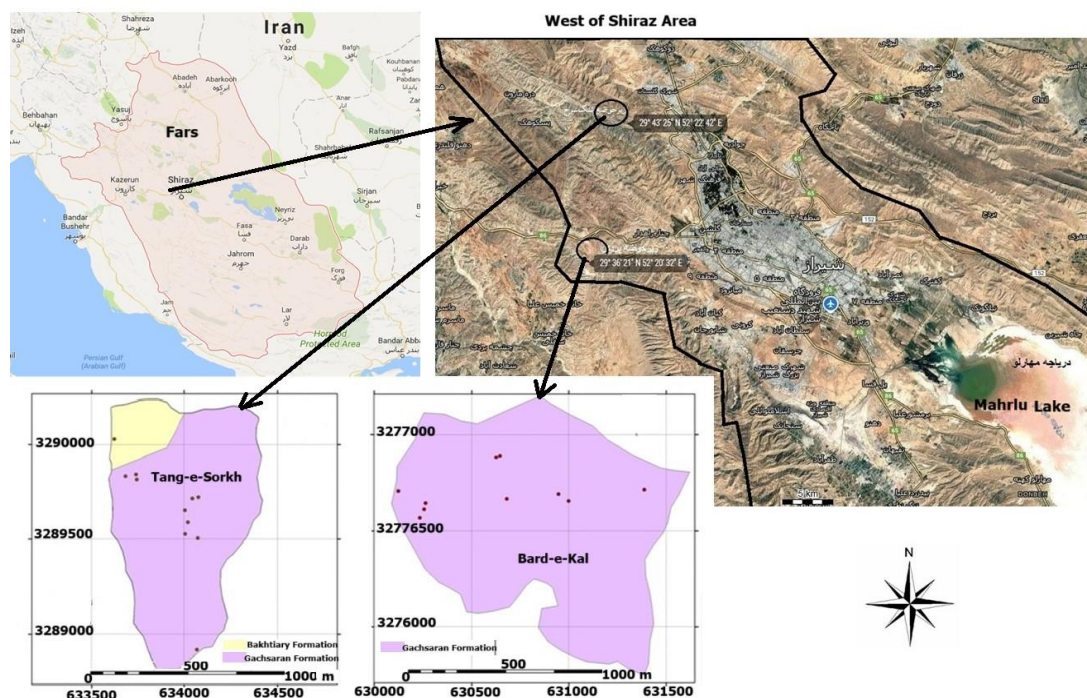
23- *Prunus amygdalus*

تعیین شد (آلیسون و مودیس ۱۹۶۵). روش‌های به‌کار برده‌شده برای اندازه‌گیری ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک بر اساس روش مؤسسه تحقیقات خاک و آب بود (احیائی و بهبهانی‌زاده ۱۹۹۷). تعیین اندازه ذرات خاک با روش هیدرومتری انجام شد. سپس، با استفاده از مثلث بافت خاک بر اساس طبقه‌بندی وزارت کشاورزی آمریکا نوع بافت تعیین شد (یواس دی آ ۲۰۲۰). جرم‌مخصوص ظاهری، جرم‌مخصوص حقیقی، تخلخل و درصد جذب آب، در آزمایشگاه مکانیک خاک اندازه‌گیری شدند. برای بررسی و تجزیه و تحلیل‌های آماری عامل‌های فیزیکی و شیمیایی نمونه‌ها از نرم‌افزار آماری (SPSS) استفاده شد. همچنین، از روش‌های آزمون t ، تجزیه و تحلیل پراکنش، آزمون دانکن و تجزیه و تحلیل عامل‌های اصلی نیز استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج در جدول‌های ۱، ۲ و ۳ ارائه‌شده است.

آبکندی (خندقی) از ژرفای ۳۰-۶۰ و یا بیشتر (با توجه به ژرفای آبکند) و از دیواره آبکند (خندق) نمونه برداشت شد (ویشمایر ۱۹۷۸، علوی و شریفی ۲۰۱۸). هدایت الکتریکی عصاۃ اشباع خاک (ECe) و اسیدیته گل اشباع خاک (pH)، بعد از گذشت یک شبانه‌روز از تهیه گل اشباع، با دستگاه هدایت‌سنج و اسیدیته‌سنج الکتریکی اندازه‌گیری شدند. اندازه کلسیم، منیزیم، کلر و بی‌کربنات با روش کمپلکسومتری با انجام تیتراسیون، اندازه‌گیری شدند (فائو ۲۰۲۰). اندازه سدیم با استفاده از روش نورسنجی و با دستگاه فلیم‌فتومتر، اندازه‌گیری شد. اندازه کربنات با توجه به اینکه pH آن کمتر از ۸/۳ بود، صفر در نظر گرفته شد (اسکوگ و همکاران ۱۹۹۰). ظرفیت تبادل کاتیونی خاک (CEC) با جانشین کردن تمام کاتیون‌های قابل‌تبادل با یون سدیم و عصاۃ‌گیری با استات سدیم (pH=۸/۲) تعیین شد. اندازه کربن آلی با روش اکسیداسیون گرم تعیین شد (فائو ۲۰۲۰). گچ خاک نیز با استفاده از روش استون اندازه‌گیری شد. اندازه کربنات کلسیم معادل نیز با روش آلیسون و مودیس



شکل ۱- موقعیت واحدهای آب‌شناختی بررسی‌شده، سازند زمین‌شناسی و نقاط نمونه‌برداری.

Figure 1 - The location of the study area, Geological Formation and sampling points of two hydrogeological units.

جدول ۱ - مقایسه میانگین ماسه، سیلت و رس مارن آبخیز تنگ‌سرخ (T) و بردکل (B) با استفاده از آزمون t.

Table 1 - Comparison of the Mean Sand, Silt, and Clay Content in the Marls of Tang-e-Sorkh (T) and Bard-e-Kal (B) Watersheds Using the T-Test.

Variable	Sub-basin	Mean	Standard Deviation	Standard Error	Significance
Sand	T	20.15	8.86	2.67	0.06 *
	B	28.20	9.22	2.92	
Silt	T	44.16	4.67	1.41	0.41
	B	41.24	10.48	3.32	
Clay	T	35.69	6.48	1.95	0.13
	B	30.56	8.39	2.65	

جدول ۲ - مقایسه میانگین آنیون و کاتیون‌های خاک مارنی آبخیز تنگ‌سرخ (T) و بردکل (B) با آزمون t.

Table 2 - Comparison of the Mean Anions and Cations in the Marly Soil of Tang-e-Sorkh (T) and Bard-e-Kal (B) Watersheds Using the T-Test.

Variable	Sub-basin	Mean	Standard Deviation	Standard Error	Significance
Na ⁺	T	0.76	0.10	0.03	0.297
	B	4.96	13.02	3.93	
Mg ²⁺	T	2.30	2.74	0.83	0.083
	B	7.05	8.16	2.46	
Ca ²⁺	T	7.58	11.06	3.34	0.102
	B	16.08	12.19	3.68	
Sum.Cations	T	10.64	13.17	3.97	0.08
	B	28.09	28.45	8.58	
SO ₄ ²⁻	T	5.74	11.64	3.51	0.044 *
	B	21.33	21	6.33	
CL ⁻	T	1.09	0.48	0.15	0.196
	B	4.64	8.78	2.65	
HCO ₃ ⁻	T	1.51	0.36	0.11	0.044 *
	B	2.15	0.91	0.28	
Sum.Anions	T	10.57	12.80	3.86	0.075
	B	28.11	28.15	8.49	

جدول ۳ - مقایسه میانگین کربن آلی، گچ، رطوبت، کربنات کلسیم معادل، ظرفیت تبادل کاتیونی، شوری و اسیدیته

خاک مارنی آبخیز تنگ‌سرخ (T) و بردکل (B) با استفاده از آزمون t.

Table 3 - Comparison of the Mean Organic Carbon, Gypsum, Moisture, Equivalent Calcium Carbonate, Cation Exchange Capacity, Salinity, and Soil pH in the Marly Soil of Tang-e-Sorkh (T) and Bard-e-Kal (B) Watersheds Using the T-Test.

Variable	Sub-basin	Mean	Standard Deviation	Standard Error	Significance
OC	T	0.12	0.05	0.02	0.008
	B	0.24	0.21	0.06	
T.N.V	T	43.64	5.12	1.54	0.00 **
	B	31.17	11.40	3.44	
Gypsum	T	5.00	9.69	2.92	0.15
	B	11.92	11.80	3.56	
C.E.C	T	12.83	2.06	0.62	0.21
	B	14.04	2.29	0.69	
SP	T	50.91	4.74	1.43	0.15
	B	47.51	5.88	1.77	
EC	T	0.88	0.92	0.28	0.08
	B	2.17	2.14	0.64	
pH	T	8.13	0.25	0.07	0.00 **
	B	7.72	0.20	0.06	

شکل‌های فرسایشی

تفاوت اندازه‌های کربنات کلسیم معادل، گچ، اسیدیت و کلسیم مارن‌ها در شکل‌های فرسایشی مختلف در سطح پنج و یک درصد معنی‌دار شد. اندازه کربنات کلسیم معادل و اسیدیت در فرسایش سطحی کمتر از دیگر شکل‌های فرسایشی بود. اندازه گچ و اندازه یون کلسیم در فرسایش سطحی بیش از دیگر شکل‌های فرسایشی بود (جدول ۴ و ۵). به‌منظور تعیین تفاوت اندازه متغیرها و شکل‌های فرسایش در دو منطقه، آزمون t با دو جهت مستقل مقایسه انجام شد. نتایج به این شرح بود.

الف) فرسایش شیباری

در مارن‌های واجد فرسایش شیباری دو زیرآبخیز، تفاوت اندازه کربن آلی در سطح یک درصد معنی‌دار شد. اندازه آن در زیرآبخیز بردکل بیش از تنگ‌سرخ

بود (جدول ۳). تفاوت اندازه بی‌کربنات مارن‌ها نیز در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). اندازه‌های کربنات کلسیم معادل، ظرفیت تبادل یونی، اندازه رس، اسیدیت، درصد رطوبت، نسبت جذب سدیم و یون سدیم در تنگ‌سرخ بیش از بردکل بود ولی در دیگر متغیرها شرایط عکس بود (جدول‌های ۱، ۲ و ۳).

ب) فرسایش آب‌کندی (خندقی)

در مارن‌های با فرسایش آب‌کندی (خندقی)، تفاوت اندازه ظرفیت تبادل یونی و اسیدیت در دو زیرآبخیز معنی‌دار شد (جدول ۳). در زمین‌های با این نوع فرسایش، اندازه‌های اسیدیت، کربنات کلسیم معادل، یون سدیم و اندازه رس در مارن‌های تنگ‌سرخ بیشتر بود و در دیگر متغیرها این اندازه‌ها در بردکل بیشتر بود (جدول‌های ۱، ۴ و ۵).

جدول ۴- مقایسه میانگین متغیرها (عامل‌های شیمیایی مارن‌ها) در شکل‌های فرسایشی زمین مارنی محدوده بررسی‌شده.

Table 4 - Comparison of the Mean Variables (Chemical Factors of Marls) in the Erosional Landforms of the Studied Marly Areas.

TR	OC	T.N.V	CaSo ₄	C.E.C	Sand	Silt	Clay
Rill Erosion	0.21	39.43	7.93	12.90	22.40	44.11	33.49
Gully Erosion	0.17	39.63	4.16	13.68	22.64	42.73	34.62
Surface Erosion	0.07	23.97	23.12	14.47	32.73	38.87	28.40

جدول ۵- مقایسه میانگین متغیرهای فیزیکی و شیمیایی مارن‌ها در شکل‌های فرسایشی زمین‌های مارنی بررسی‌شده.

Table 5 - Comparison of the Mean Physicochemical Variables of Marls in the Erosional Landforms of the Studied Marly Areas.

TR	SAR	SP	pH	EC	Sum.Cations	Na ⁺	Mg ⁺²	Ca ⁺²	Sum.Anions	SO ₄ ⁻²	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻
Rill Erosion	0.49	47.27	7.98	1.03	12.71	0.75	2.33	9.63	12.68	9.40	1.26	2.04
Gully Erosion	1.47	50.23	7.97	1.72	21.38	5.77	5.72	9.89	21.37	12.24	4.66	1.71
Surface Erosion	0.28	52.66	7.59	2.58	35.50	1.17	9.33	25	35.47	31.17	2.83	1.47

تجزیه و تحلیل عامل‌های اصلی در ایجاد شکل‌های فرسایشی

برای تعیین مؤثرترین متغیرها در شکل‌های گوناگون فرسایشی از تحلیل عاملی استفاده شد. نتایج آن به این شرح است.

الف) فرسایش شیاری

بر اساس نتایج این پژوهش اندازه‌های ویژه چهار مؤلفه اول، بیش از یک بود که باید در نظر گرفته شوند. با انجام چرخش پراکنش مشخص شد که اندازه‌های یون سدیم، هدایت الکتریکی، ظرفیت تبادل یونی و اندازه کربن آلی بیشترین ضریب و مؤثرترین متغیرها در فرسایش شیاری بودند (جدول‌های ۴ و ۵).

ب) فرسایش آب‌کندی (خندقی)

بر اساس نتایج این پژوهش اندازه‌های ویژه سه مؤلفه اول بیش از یک به دست آمد که باید در نظر گرفته شده و نشان‌دهنده مؤثر بودن اندازه‌های کربن آلی، گچ، یون سدیم و یون کلر بودند (جدول‌های ۴ و ۵).

ج) فرسایش سطحی

در منطقه پژوهشی دو مؤلفه در نظر گرفته می‌شود که با توجه به ضریب‌های اندازه‌های گچ، رس، کاتیون کلسیم و آنیون سولفات مؤثرترین متغیرها در این شکل فرسایشی هستند (جدول‌های ۱، ۴ و ۵).

نتایج این پژوهش بیانگر تأثیر زیاد اندازه کربنات کلسیم معادل در خاک‌های مارنی بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن بود. همبستگی مثبت و معنی‌دار میان درصد رس و کربنات کلسیم معادل در دیگر پژوهش‌ها نیز گزارش شده است (اسمیت و همکاران ۲۰۲۰). وجود کربنات در خاک مارنی موجب همآوری رس در افق‌های فوقانی، افزایش اندازه دانه‌ها و کاهش جابجایی آن‌ها می‌شود (جونز و براون ۲۰۱۸). نتایج تجزیه پراکنش نشان داد که تفاوت اندازه‌های بی‌کربنات در سه شکل فرسایشی معنی‌داری بود و در فرسایش سطحی و شیاری بیشتر از فرسایش آب‌کندی بود. این یافته با نتایج پژوهش رحیمی و همکاران (۲۰۱۷) هم‌راستا است. نتایج این پژوهش با یافته‌های عبدی‌نژاد و فیض‌نیا (۲۰۲۱)،

موسوی و همکاران (۲۰۲۱)، سوری و عبدی‌نژاد (۲۰۲۰) مبنی بر اینکه غلظت بی‌کربنات در نمونه‌های سطحی در مقایسه با نمونه‌های عمقی بیشتر است هماهنگی دارد. نتایج مقایسه متغیرها در شکل‌های فرسایشی نشان داد تفاوت اندازه‌های کربنات کلسیم معادل، گچ، pH و یون کلسیم در سطح یک و پنج درصد معنی‌دار بود و در فرسایش سطحی، اندازه کربنات کلسیم معادل و pH کمتر و اندازه یون کلسیم و گچ بیشتر از دیگر شکل‌های فرسایشی بود. این یافته‌ها با نتایج پژوهش زارعی و همکاران (۲۰۱۹) هماهنگی دارد. نتایج تحلیل عاملی نشان داد که در فرسایش شیاری، هدایت الکتریکی، سدیم، کربن آلی و ظرفیت تبادل یونی مهم‌ترین متغیرها بودند. درحالی‌که در فرسایش آب‌کندی، سدیم، کلر، کربن آلی و گچ تأثیرگذارند. مهم‌ترین متغیرها در فرسایش سطحی، کلسیم، سولفات، گچ و رس بودند. این یافته‌ها با نتایج پژوهش علیزاده و کریمی (۲۰۲۱) هم‌راستا است.

با وجود شرایط زمین‌شناسی مشابه، تفاوت زیادی در مارن‌های منطقه از دیدگاه ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مشاهده شد. نسبت جذبی سدیم (SAR) زیاد در مارن‌ها باعث افزایش فرسایش سطحی و شیاری می‌شود. اسیدیته نیز نقش مهمی در مهار فرسایش دارد. به‌طوری‌که مارن‌های قلیایی فرسایش‌پذیرترند. نتایج پژوهش حسینی و همکاران (۲۰۲۰) نشان داد که افزایش pH منجر به افزایش فرسایش شد و با کاهش آن می‌توان فرسایش را کاهش داد. یکی از روش‌های کاهش pH خاک و کاهش فرسایش، استفاده از مواد اصلاح‌کننده مانند گوگرد است. گوگرد باعث pH خاک شده و شرایط بهتری برای جلوگیری از فرسایش فراهم می‌آورد (نوروزی و همکاران ۲۰۱۸). همچنین، نتایج این پژوهش بیانگر رابطه مثبت شوری با افزایش ژرفا بود. هرچند تغییرات شوری نسبت به عمق به عامل‌های گوناگونی از جمله ویژگی‌های فیزیکی محلی خاک و ویژگی‌های اقلیمی بستگی دارد ولی معمولاً با افزایش

ژرفا، شوری افزایش می‌یابد. این یافته با نتایج پژوهش جعفری و همکاران (۲۰۲۵) هماهنگی دارد.

کربنات کلسیم معادل تأثیر مهمی بر پایداری مارن‌ها دارد و می‌تواند اثر شوری و سدیم را مهار کند. نتایج این پژوهش نشان داد در شرایطی که کربنات کلسیم معادل بیش از ۴۰٪ باشد، شدت و نوع فرسایش مهار می‌شود. در مارن‌های ماسه‌ای و بافت لومی، فرسایش کمتر و اغلب از نوع شیاری است (قربانی و احمدی ۲۰۱۶، سلماسی و پیروان ۲۰۱۱).

شوری، گچ، کربنات کلسیم معادل، اسیدیته، سولفات، نسبت جذبی سدیم و بافت، عامل‌های مؤثر در طبقه‌بندی مارن‌ها هستند. همچنین، هدایت الکتریکی متغیر مهمی در تفکیک مارن‌ها به‌شمار می‌آید. تفاوت در نتایج پژوهش‌های انجام‌شده در مورد مارن‌ها را می‌توان به تفاوت در سازندهای زمین‌شناسی مارنی نیز مربوط دانست (رحمانی و همکاران ۲۰۱۵، رضایی ۲۰۱۶، پورحیدری و همکاران ۲۰۲۰).

ویژگی‌های خاکی و حساسیت به فرسایش در دو زیرآبخیز بررسی شده

نتایج مقایسه ویژگی‌های خاک در دو زیرآبخیز تنگ‌سرخ و بردکل نشان داد تفاوت این دو منطقه از دیدگاه کیفیت خاک و حساسیت به فرسایش قابل توجه است. یکی از نکات برجسته این مقایسه، تفاوت در ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و اندازه حساسیت آن‌ها به فرسایش بود. در زیرآبخیز بردکل، اندازه کربن آلی برابر با ۲۴/۰ درصد و ظرفیت تبادل کاتیونی برابر با ۱۴/۰۴ cmol/kg تعیین شد. در زیرآبخیز تنگ‌سرخ اندازه کربن آلی ۱۲/۰ درصد و ظرفیت تبادل کاتیونی ۱۲/۸۳ cmol/kg تعیین شد که در مقایسه با بردکل، کمتر بود (جدول ۳). این تفاوت بیانگر حاصلخیزی بیشتر و ظرفیت نگهداری مواد مغذی در خاک بردکل است. از سوی دیگر، حساسیت به فرسایش در خاک تنگ‌سرخ به دلیل اندازه رس بیشتر، مواد آلی کمتر و سدیم قابل تبادل بیشتر، در مقایسه با بردکل بیشتر بود.

عامل دیگر در تفاوت فرسایش این دو زیرآبخیز، نقش یون‌ها در فرآیند فرسایش خاک بود (جدول ۲). در

زیرآبخیز تنگ‌سرخ، غلظت بیشتر یون سدیم (Na^+) و اندازه بیشتر هدایت الکتریکی (EC) موجب پراکندگی بیشتر ذرات رس و کاهش چسبندگی خاک شد. در نتیجه فرسایش شیاری در این زیرآبخیز در مقایسه با بردکل، بیشتر بود. این موضوع با نتایج پژوهش پیشین مبنی بر اینکه خاک‌های با سدیم زیاد و اندازه ESP بیشتر، حساسیت بیشتری به فرسایش دارند، همخوانی دارد (ابوکریم ۲۰۱۸). از سوی دیگر، در زیرآبخیز بردکل، نقش مواد محلول مانند گچ (CaSO_4) و کربنات کلسیم (CaCO_3) در فرسایش بیشتر مشاهده شد. وجود این مواد سبب تغییرات ساختاری در خاک می‌شود و برخی از انواع فرسایش، مانند فرسایش آبکندی را تشدید می‌کند. پژوهش‌های مشابه در مناطق نیمه‌خشک ایران و دیگر نقاط دنیا نشان داده‌اند که گچ و کربنات کلسیم زیاد می‌تواند تأثیر زیادی بر ساختار خاک و افزایش فرسایش داشته باشد (جعفری و همکاران ۲۰۲۰، لاماس و براوو ۲۰۱۳). نتایج این پژوهش با یافته‌های دیگر پژوهشگران در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران هماهنگی دارد. در این راستا، نتایج پژوهش ابوکریم (۲۰۱۸) نشان داد که خاک‌های با رس بالاتر و SAR بیشتر، کاهش نفوذپذیری بیشتری دارند و بنابراین می‌توانند حساسیت بیشتری به فرآیندهای مرتبط با فرسایش خاک نشان دهند. همچنین، مناطق با اندازه‌های زیاد گچ و کربنات کلسیم، همانند آنچه در این پژوهش در بردکل مشاهده شد، تحت تأثیر تغییرات شیمیایی خاک بوده و فرسایش بیشتری دارند (جعفری و همکاران ۲۰۲۰). با این حال، نتایج برخی دیگر از پژوهش‌ها بیانگر آن است که کاهش اندازه کربن آلی همیشه به‌طور مستقیم منجر به افزایش فرسایش نمی‌شود و دیگر عامل‌ها مانند پوشش گیاهی و شدت بارندگی نیز نقش مهمی در این فرآیند دارند (مرادی و همکاران ۲۰۱۶). مقایسه این دو زیرآبخیز که فاصله کمی (کمتر از ۵۰ کیلومتر) از یکدیگر داشتند، مشخص کرد که در بررسی آبخیزهای مارنی بهتر است به پژوهش‌های محلی بیشتر توجه شود و با دقت بیشتری نتایج را به دیگر مناطق تعمیم داد. این

یکنواخت، باعث کاهش حدود ۱/۳ میلی متر از ژرفای دریاچه در یک رخداد منفرد خواهد شد. ادامه این فرآیند در بلندمدت، منجر به کاهش ظرفیت تالاب در تعدیل سیلاب ها، افزایش خطر خشکی، تغییرات زیست محیطی گسترده و تأثیر منفی بر تنوع زیستی منطقه خواهد شد. از این رو، اجرای اقدامات حفاظتی و مدیریتی ضروری است. از جمله راه کارهای پیشنهادی می توان به استفاده از پوشش گیاهی و مالچ های زیست پذیر برای تثبیت خاک در مناطق مارنی، ساخت سازه های مهار فرسایش و سدهای رسوب گیر در مسیرهای سیلابی، به کارگیری GIS و سنجش از دور برای شناسایی مناطق بحرانی و تدوین برنامه های جامع مدیریت آبخیز، اشاره کرد. بدون مداخله مدیریتی، این روند می تواند در آینده ای نه چندان دور تهدیدی جدی برای دریاچه مهارلو و بوم سازگان منطقه باشد. از این رو، برنامه ریزی جامع و اجرای اقدامات مهارکننده، ضروری و فوری است.

یافته ها نشان داد که برای تحلیل دقیق تر فرآیندهای فرسایشی، به بررسی هم زمان متغیرهای مختلف محیطی و زمین شناسی نیاز است.

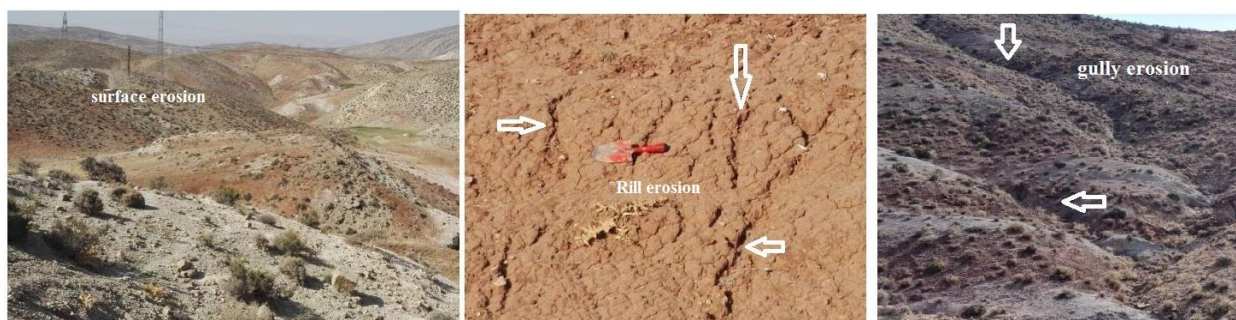
اهمیت رسوب زایی مارن های بررسی شده

دریاچه مهارلو به عنوان آبگیر پایانی آبخیز، به شدت تحت تأثیر رسوب گذاری مارن های موجود است. نرخ رسوب زایی این سازندها زیاد بوده و تا ۳۵۰۰ تن در کیلومتر مربع در سال برآورد شده است که باعث تسریع در پر شدن دریاچه و بروز مشکلات زیست محیطی می شود (ساریخانی و محمودزاده ۲۰۲۱). در این راستا، در یک بارش ۸۵ میلی متری که معمولاً در فصل زمستان در دو تا سه روز در آبخیز رخ می دهد، انتظار انتقال دو تا سه میلیون مترمکعب سیلاب و بیش از حدود ۴۰۰ هزار تن رسوب به دریاچه است. این اندازه، با توجه به ژرفای کم دریاچه (کمتر از ۲ متر حتی در زمان پرآبی)، تأثیر قابل توجهی بر بوم سازگان آن خواهد داشت. محاسبات نشان داد که این اندازه رسوب، در صورت توزیع



شکل ۳- شکل های فرسایش در مارن های آبخیز تنگ سرخ.

Figure 3- Erosional Forms in the Marls of the Tang-e-Sorkh Watershed.



شکل ۴- شکل‌های فرسایش در مارن‌های آبخیز بردکل.

Figure 4- Erosional Forms in the Marls of the Bard-e-Kal Watershed.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

مشاهده شد که دلیل آن را می‌توان اندازه‌ی زیاد سدیم و اسیدی‌تر شدن مارن‌های این آبخیز در مقایسه با آبخیز بردکل دانست. افزایش کربنات موجب هم‌آوری دانه‌ها و افزایش اندازه‌ی آن‌ها شده و نقش مهمی در کاهش حرکت و شدت فرسایش دارند. تفاوت اندازه‌های بی‌کربنات، کربن آلی، کربنات کلسیم معادل، گچ، اسیدیته و ظرفیت تبادل یونی در خاک‌های مارنی در سه شکل فرسایش سطحی، شیاری و آب‌کندی (خندقی) از نظر آماری معنی‌دار بود. از این‌رو، پیشنهاد می‌شود برای موفقیت بیشتر طرح‌های اجرایی، در شرح خدمات پژوهش‌های آبخیزهای مارنی زاگرس، شناخت و تجزیه و تحلیل ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مشخص‌شده در این پژوهش را می‌توان مطالبه کرد. رسوب‌گذاری شدید ناشی از مارن‌های آبخیز مهارلو سبب کاهش ژرفای دریاچه مهارلو، افزایش خطر خشکی و تغییرات زیست‌محیطی گسترده خواهد شد. از این‌رو، پیشنهاد می‌شود در اجرای اقدامات حفاظتی و مدیریتی برای حفظ پایداری بوم‌سازگان تالاب، از تثبیت خاک، ساخت سدهای رسوب‌گیر و فناوری‌های نوین، استفاده شود. همچنین، پیشنهاد می‌شود در مدیریت مؤثر رسوب‌گذاری آبخیز مهارلو، از پوشش گیاهی مناسب و مالچ‌های زیست‌پذیر برای تثبیت خاک در مناطق مارنی استفاده شود. در این راستا، ساخت سدهای رسوب‌گیر و سازه‌های مهار فرسایش در مسیرهای سیلابی برای کاهش رسوب واردشده به دریاچه، به‌کارگیری فناوری‌های GIS و سنجش‌ازدور برای

نتایج این پژوهش محلی در دو آبخیز کوچک از آبخیز مهارلو نشان داد که در زمینه ویژگی مارن‌ها و تعمیم نتایج به‌دست آمده به دیگر مناطق باید دقت کرد و بهتر است در بررسی‌های آبخیزداری به پژوهش‌های محلی توجه بیشتری شود. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مارن‌های آبخیز مهارلو و سنگ‌شناسی آبخیز، نقش مؤثری در دو پدیده فرسایش و رسوب و مهار آنها دارند. در برنامه‌های حفاظت خاک و مهار فرسایش در مارن‌های آبخیز مهارلو، تعیین اندازه‌های یون‌های بی‌کربنات، کلسیم، سدیم و تعیین کربنات کلسیم معادل، گچ، اسیدیته، شوری، درصد شن و مجموع سیلت و رس، مهم است. افزون بر این، برای تعیین اولویت طرح‌های اجرایی در ارتباط با مهار شکل‌های فرسایشی و در نتیجه تعیین اولویت‌های مکانی تولید رسوب آبخیز نیز این اندازه‌ها، مهم هستند. از سوی دیگر، کنش و واکنش‌های این عوامل‌ها نیز مهم هستند. در این راستا، به‌عنوان مثال شوری عامل مهمی در ایجاد شکل‌های فرسایشی مارن‌ها است. اما، در شرایطی که اندازه‌های قابل‌توجهی از گچ وجود داشته باشد اهمیت و تأثیر شوری کاهش می‌یابد. در آبخیز بررسی‌شده، به‌دلیل وجود مارن‌های سازند گچساران، و افزایش اندازه‌ی گچ، شدت فرسایش کمتر تحت تأثیر شوری بود. اندازه‌ی زیاد سدیم و اسیدی بودن مارن‌ها، نیز از دیگر ویژگی‌های شیمیایی بودند که تعیین‌کننده شکل‌های گوناگون فرسایشی بودند. مثلاً در آبخیز تنگ‌سرخ بیشتر شکل‌های فرسایش سطحی و شیاری در مقایسه با آب‌کندی (خندقی)

تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می دارند که هیچگونه تضاد منافی در خصوص نگارش و انتشار مطالب و نتایج این پژوهش ندارند.

دسترسی به داده ها

داده ها و نتایج استفاده شده در این پژوهش از طریق مکاتبه با نویسنده مسئول در اختیار قرار خواهد گرفت.

مشارکت نویسندگان

نویسنده اول: طراحی مفهومی، روش شناسی، نگارش پیش نویس اولیه
نویسنده دوم: گردآوری داده ها، تحلیل نتایج
نویسنده سوم: بازبینی و تحلیل نتایج آزمایشگاهی
نویسنده چهارم: تحلیل های آماری
نویسنده پنجم: نظارت

شناسایی مناطق بحرانی و تدوین برنامه های جامع مدیریت منابع آب و خاک، طراحی و اجرای برنامه های مدیریت جامع آبخیز، توصیه و پیشنهاد می شود. افزون بر این، ادامه پژوهش ها در زمینه ویژگی های فیزیکی و شیمیایی و آب شناختی مارن ها که می تواند به بهبود راهکارهای مدیریت رسوب گذاری و کاهش اثرات زیست محیطی آن کمک کند، توصیه می شود.

سپاس گذاری

این مقاله برپایه نتایج طرح پژوهشی با عنوان طبقه بندی و تعیین شاخص های استعداد فرسایش پذیری مارن ها در بخش غربی آبخیز مهارلو، تهیه شده است که با حمایت مالی اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان فارس انجام شد. این طرح در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس و پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری با کد ۴۵۰-۲۹-۰۰۶-۹۵۰۴۳۴ تصویب شده است. از همکاری های اداره کل، مرکز و پژوهشکده نامبرده صمیمانه قدردانی می شود.

فهرست منابع

- Abdinejad P, Feiznia S. 2021. Classification of marls of Zanjan province based on physicochemical characteristics and cluster analysis. *Earth Science Research*. 12(48):1-18. (In Persian).
- Ahmadi H. 1999. *Applied geomorphology, volume 1 (water erosion), second edition*, Tehran University Press. 688 p. (In Persian).
- Aboukarima, A. M. 2018. Effect of sodium adsorption ratio and electrical conductivity of applied water on infiltration in a sandy-loam soil. *Water SA*. 44(2): 250-258. <https://doi.org/10.4314/wsa.v44i1.12>
- Alamoudi OS, Khaqan K, Al-Kahtani NS. 2010. Stabilization of a Saudi calcareous marl soil, *Construction and Building Materials*. 24(10):1848-1854. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.04.019>
- Alavi F, Sharifi N. 2018. Water erosion management and determination of appropriate soil sampling depths in vulnerable areas. *Iranian Journal of Watershed Management*. 12(4): 45-55.
- Alison J, Modis J. 1965. Method for determining equivalent calcium carbonate in soils. *Soil Science*. 99(2): 107-112.
- Alizadeh A, Karami M. 2021. Soil Erosion and Sediment Transport in Marly Areas. *Journal of Soil Science*. 45(3): 67-80.
- Allison LE, Moodie CD. 1965. Carbonate in C.A. Black (ed). *Method of soil analysis, Part II*, Am Soc Agron, Madison, WI. pp. 1379-1396.
- Al-Khafaji TH, Al-Bassam SA. 2010. Stabilization of a Saudi calcareous marl soil. *Construction and Building Materials*. 24(10): 1848-1854. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.04.019>
- Amiri M, Salehian R. 2022. Microstructural evaluation of the effect of initial pH on geotechnical and geoenvironmental characteristics of Marl Soils. *Arabian Journal for Science and Engineering*. 47, 36(2): 71-80. (In Persian).
- Azarafzaei M, Ghazifard A, Asghari Kaljah E. 2019. Geotechnical characteristics and empirical geo-engineering relations of the South

- Pars Zone marls, Iran. *Geomechanics and Engineering*. 19(5): 393-405. (In Persian).
<https://doi.org/10.12989/gae.2019.19.5.393>
- Bahadori H, Hasheminezhad A. 2019. Experimental study on Marl soil stabilization using natural pozzolans. *Journal of Materials in Civil Engineering*. 31(2): 04018363.
- Bouma NA, Imeson AC. 2000. Investigation of relationships between measured field indicators and erosion processes on badland surfaces at petrer. Spain, *Catena*. 40: 147-171.
- Chulmin J. 2011. A simple method to identify Marls soils, TRB 2011 Annual Meeting. At: Washington DC, USA, pp. 76-84.
- Cui J, Yuan X, Wu S, Zhang R. 2021. Rock types and reservoir characteristics of shahejie formation Marl in Shulu Sag, Jizhong Depression, Bohai Bay Basin. *Journal of Earth Science*. 32: 986-997.
- Egli M, Plotze M, Tikhomirov D, Kraut T. 2020. Soil development on sediments and evaporites of the Messinian crisis, *Catena*. 187, 104368.
<https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.104368>
- Ehyaie M, Behbahanizadeh A. 1997. Description of soil chemical analysis methods (Vol. 2). Soil and Water Research Institute, 2(1024). (In Persian). SID.
<https://sid.ir/paper/423062/fa>
- Elhowayek A, Bobet A, Dawood S, Ferdon A, Santagata M, Siddiki NZ. 2012. Classification of organic soils and classification of marls: Training of INDOT personnel. Publication FHWA/IN/JTRP-2012/22. Joint Transportation Research Program, Purdue University, West Lafayette, Indiana, USA.
<https://doi.org/10.12882843149845703/>
- Ettayeb M, Chaouni A, Cherifi H. 2023. Reuse of Taza marl-limestone in Morocco for road construction. *Materials Today: Proceedings*. 72(7): 3420-3426.
- FAO. 2020. Standard operating procedure for soil calcium carbonate equivalent: Titrimetric method. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy. pp. 1-8.
- Feiznia S. 1995. Investigating the resistance of rocks in different climates of Iran. *Journal of Natural Resources*. 47(1): 95-116. (In Persian).
- Ghabezloo S. 2001. Improvement of mechanical properties of marl soil using pozzolans (Unpublished master's thesis). Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. 130 p.
- Ghorbani H, Ahmadi R. 2016. The role of carbonate minerals in soil stability. *Environmental Geoscience*, 32(2): 123-135.
- Gutierrez M, Benito G. 1993. The influence of physico-chemical properties on erosion processes in badland areas, Ebro Basin, NE-Spain. *Z. Geomorph. N.F.* 37(2):199-214.
- Hasanzadeh Nofouti M, Feiznia S, Ghayumian, J, Ahmadi H, Peyrovan HR. 2006. Investigating characteristics affecting the erodibility of marls, A case study of Eivanaki Watershed (Saltwater). Ph.D. Thesis, Islamic Azad University-Science and Research Branch. 128 p. (In Persian).
- Heshmati M, Arifin A, Shamshuddi J, Ghaituri M. 2011. Factors affecting landslides occurrence in agro-ecological zones in the Merek Catchment, Iran. *Journal of Arid Environments*. 75(11):1072-1082.
<https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2011.06.011>
- Heshmati M, Gheitury M, Chamah G. 2024. Erodibility and important plant species for its control on marl formations in Kermanshah Province. Management and Planning Organization of Kermanshah Province, Quarterly Journal of Progress and Development of Kermanshah Province. (3): 19-35. (In Persian).
- Hosseini F, Mahdavi M, Shayan A. 2020. pH and soil erosion susceptibility in arid regions. *Geoderma*. 357, 113974.
<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.113974>
- Jafari R, Amini S, Mohammadi K. 2020. The role of gypsum and calcium carbonate in soil erosion processes: A case study in semi-arid regions of Iran. *Geoderma*. 376: 114555.
<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114555>
- Jafari A, Sarmadian F, Rasaei Z. 2025. Uncertainty and spatial mapping of soil salinity and alkalinity using machine learning methods at three different management depths in the Abik Region. *Iranian Journal of Soil and Water Research*. Advance online publication.
<https://doi.org/10.22059/ijswr.2025.382783.669797>
- Jones D, Brown P. 2018. The effect of carbonates on clay aggregation. *Soil Processes and Land Degradation*, 22(4): 201-215.
<https://doi.org/10.1002/sld.1805>
- Kenny TC, Lau D, Ofoegbu GI. 1984. Permeability of compacted granular materials. *Canadian Geotechnical Journal*. 21(4): 726-729.
<https://doi.org/10.1139/t84-080>
- Khalili M. 2012. Investigating engineering geological characteristics of marl limestones of Abdraz Formation, Master's thesis, Faculty of Basic Sciences, Ferdowsi University of Mashhad. p.145.
- Khosrowshahi M, Ghahari GL, Seyed Akhlaghi J, Zandifar A, Hosseinimarandi H. 2021. Monitoring of climatic factors affecting the intensification of the phenomenon of dust and quicksand (wind erosion) in Iran, Iran's

Forests and Pastures Research Institute, (60892): 289 p.

Lamas F, Lamas-López F, Bravo R. 2014. Influence of carbonate content of marls used in dams: Geotechnical and statistical characterization. *Engineering Geology*. 177: 32–39.

<https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2014.05.007>

Mesrar L, Benamar A, Jabrane R. 2020. Study of Taza's Miocene marl applications in heavy clay industry. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*. 79(6): 3019–3032. <https://doi.org/10.1007/s10064-020-01732-y>

Moradi H, Sadoddin A, Zare M. 2016. The influence of organic matter on soil erosion susceptibility: A review. *Environmental Earth Sciences*. 75(5): 429-438.

<https://doi.org/10.1007/s10064-020-01732-y>

Musavi SR, Sarmadian F, Omid M, Bogart P. 2021. Modeling depth changes of soil equivalent calcium carbonate using machine learning algorithms in Qazvin Plain. *Journal of Water and Soil*. 35(5):719-734. (In Persian).

Neamati J. 1993. Investigating ditch erosion in the Gap watershed. Master's thesis in watershed management, Faculty of Natural Resources, University of Tehran. 143 p. (In Persian).

Norouzi S, Sohrabi A, Khavazi K, Matinfar HR. 2018. The effect of sulfur application on pH changes and phosphorus availability in wheat (*Triticum aestivum* L.) soil. *Soil Biology*. 6(1):29-41.

<https://doi.org/10.22092/sbj.2018.117145>

Parsadust F, Jaberalansa Z, Borhani, M. 2022. Investigating the vegetation characteristics of plant species that are compatible with protecting Marl Soil in Kashan, Desert Management. 5(9): 1072–1082. (In Persian).

Pettijohn FJ. 1975. *Sedimentary Rocks*. 3rd Edition, Harper and Row, New York. 628 p.

Pourheydari S, Ahmadi H, Moeini A, Jafari M, Feiznia S. 2020. Investigating the effect of Marl's physical and chemical properties on the amount and forms of erosion (Case study: Aoun Ibn Ali – Tabriz's Sorkhab), *Journal of Range and Watershed Management*. 73(3): 473-487. <https://sid.ir/paper/392645/en>

Rahimi M, Amini M, Vali M. 2017. The role of bicarbonate in soil erosion forms. *Iranian Journal of Soil Research*. 29(1): 45-58. <https://doi.org/10.22059/ijsr.2017.669797>

Rahmani A, Karami A, Ghorbani M. 2015. Geology and soil erosion variability in marly formations. *Journal of Environmental Management*. 150: 234-245.

<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.03.029>

Raini I, Hicham C, Elqandil M. 2023. Marl Soil improvement using recycled concrete aggregates from concrete pipes factory, *Journal of Ecological Engineering*. 24(10):13–29. <https://doi.org/10.2299899312911/169504>

Rezaie K. 2015. Classification and determination of erodibility indices of marls in the southeast of Pishva, Varamin using a rain simulator, *Geographical Studies of Dry Areas*, 7th period, 26th issue. pp. 38-53. (In Persian).

Rezaie K. 2016. Study of effects of physical and chemical properties of marls on erosion and sediment production of them using rainfall simulator in Lotshour-Pakdasht area. *Journal of Spatial Analysis Environmental Hazards*. 3(3): 21-40.

Rienks SM, Botha GA, Hughes JC. 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: 11- 31.

Salmasi R, Ahmadi A. 2012. The relationship between geological characteristics of marls and different forms of erosion in the Tarche River Watershed. *Geography and Environment*. 3: 11-23.

Salmasi R, Peyrowan H. 2011. Investigating the relationship between the physical and chemical characteristics of erosion-sensitive marl of the Talcheh River watershed with different forms of erosion. *Journal of Watershed Engineering and Management*. 4(3): 169-160.

Saidian H, Moradi H, Feiznia S, Bahramifar N. 2014. The role of the main directions of the range on some physical and chemical properties of the soil, case study: Gachsaran and Aghajari formations of Kooch Gach Watershed, Izeh City, *Watershed Management Research Journal*. 5(9):64-77. (In Persian).

Sarikhani S, Mahmoudzadeh A. 2021. Estimation of soil erosion and sediment yield in Iran using the EPM model and validation with observational data. *Soil Research Journal*. 35(4): 215-230.

https://srj.asnr.ias.ac.ir/article_140574.html

Smith J, Nguyen T, Roberts P. 2020. Relationship between clay content and carbonate equivalence in soils. *Soil Science Journal*. 89(1): 56-70.

<https://doi.org/10.1007/s00374-019-01338-2>

Sokouti oskuie R, Peyrowan HR, Nikami D, Mahdian MH. 2014. Investigation on erodibility and soil loss of Marly driven soils in west Azarbaijan Province, Iran. *Watershed Engineering and Management*. 7(4): 379-388. (In Persian).

Suri M, Abdinjad P. 2020. Investigating forms of erosion and their physicochemical characteristics in marl soils of Zanjanrud Watershed. Scientific-Research Journal of Watershed Engineering and Management. 21(3): 874-864.

Talebi A, Pirovan HR, Charkhabi A, Hashemi SA. 2013. Evaluating effective factors in erosion and sediment yield in Marl lithology by rain simulator: (Case study, Hablehroud Basin in Semnan Province). Journal of Sciences and Technology of Agriculture and Natural Resources. 16(62):13-23.

USDA. 2020. *Soil Survey Manual* (Handbook 18). U.S. Department of Agriculture, Washington, D.C., USA.

Wen Y, Kaselke T, Li H, Zepp H, Zhang B. 2021. A case-study on history and rates of gully erosion in Northeast China, Land Degredation and Development. 32(15): 4254-4266. <https://doi.org/10.1002/ldr.4031>

Wischmeier WH, Smith D. 1978. Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning (Agriculture Handbook No. 537). U.S. Department of Agriculture, Washington, D.C., USA. 58 p.

Yang RN, Ouhadi VR. 2007. Experimental Study on Instability of Bases on Natural and Lime/Cement-Stabilized Clayey Soils. Applied Clay Science. (35): 238-249. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2006.08.009>

Yousefi mobarhan E, Peyrowan, H. 2022. Investigating the sustainability and interactive effects of physical-chemical properties of erosion-sensitive Marl and rangeland vegetation in arid and semiarid Areas (Case study: Shahrood Town). Geography and Environmental Sustainability. (12): 57-74.

Zarei N, Nouri M, Alizadeh A. 2019. Calcium carbonate and soil erosion forms. Geotechnical Soil Research. 41(2): 89-102. <https://doi.org/10.1016/j.jgeoe.2019.02.003>



Investigation of the Physicochemical Properties of Marls in the Western Maharlu Watershed and Their Effects on Erosion and Soil Conservation

Hamid Hosseinimarandi ^{1*}, Seyed Masoud Soleimanpour ², Maryam Enayati ³

Abolhassan Moghimi ⁴, Hamid Reza Peyrowan ⁵

1- Assistant Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Shiraz, Iran

2- Associate Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Shiraz, Iran

3- M.Sc., Soil Conservation and Watershed Management Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Shiraz, Iran

4- Assistant Professor, Soil and Water Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Shiraz, Iran

5- Associate Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

Extended Abstract

Introduction and Goal

Marl are porous rocks (with a porosity of 73% to 95%). Marl formations are highly sedimentary, and the different physical and chemical properties of marls affect the intensity and type of erosion. The form and intensity of water erosion are strongly influenced by changes in soil texture. Based on the results of previous research, the greatest correlation between marls and erosion intensity is related to their physical and chemical factors (particle distribution, especially sand particles). As the size of sand increases compared to silt and clay particles, gully erosion will also increase. The clay ratio index is decisive in the occurrence of gully erosion and the runoff volume index is decisive in the occurrence of surface and gully erosion of marls. On the other hand, there are significant differences in the measurements of sodium, magnesium, organic carbon content, pH, and SAR in the surface erosion, rill, and badland forms of marls. Marl soils are evolving materials whose inherent properties can be enhanced with additives and their use can be made possible. The establishment of vegetation on marls is also an important point, and the percentage of clay and gypsum in marls is closely related to the establishment of plants on marl soils.

Article Type: Research Article

***Corresponding Authors' E-mail:** hhmarand@gmail.com

Citation: Hosseinimarandi, H., Soleimanpour, S. M., Enayati, M., Moghimi, A., Peyrowan, H. R. 2026. Investigation of the Physicochemical Properties of Marls in the Western Maharlu Watershed and Their Effects on Erosion and Soil Conservation. Watershed Management Research. 38(4): 88-107.

DOI :10.22092/wmrj.2025.368766.1618

Received: 02 March 2025, **Received in revised form:**19 March 2025, **Accepted:** 21 June 2025

Published online: 01 January 2026

Watershed Management Research, Vol.38, No.4, Ser. No: 149, Winter 2026, pp. 88-107.

Publisher: Fars Agricultural and Natural Resources and Education Center

©Author(s)



Thus, marls pose significant issues and problems related to use stabilization, construction, erosion, and sedimentation. Marl formations are widely distributed in the Maharlu watershed in Fars Province, indicating the watershed's high potential for erosion and sediment production, and understanding the characteristics of watershed marls is useful for use in soil conservation programs.

Materials and Methods

The Tang-e Sorkh and Bard-e-Kal watersheds, with an area of 500 hectares, are part of the Maharlu watershed and are located west of Shiraz. Almost the entire surface of these sub-watersheds is covered by the Gachsaran geological formation. Using geological map, topographic, slope and other available documentation, and observing erosional forms in the field, 11 marl soil samples were collected from a depth of 0–30 cm in three slope classes (less than 5%, 5 to 10%, and 10 to 20%). The electrical conductivity of the saturation soil extract (ECe), the acidity of the saturated soil mud (pH), the amount of calcium, magnesium, sodium, carbonate, chloride, bicarbonate, and organic carbon, cation exchange capacity, gypsum content, and the amount of equivalent calcium carbonate were measured. Analysis of physical and chemical properties of soil was performed based on the method of the Soil and Water Research Institute. Soil particle size was determined by hydrometer method, and soil texture was classified according to the USDA (United States Department of Agriculture classification) system. Statistical analysis of the data and determination of the effect of variables on the type of erosion were performed using the t-test with two independent populations. In addition, analysis of variance, principal factor analysis, and comparison of means were performed using Duncan's test (using SPSS statistical software).

Results and Discussion

The difference in the amount of equivalent calcium carbonate in the Tang-e Sorkh and Bard-e-Kal, regions was significant at the one percent level, and its amount in Tang-e Sorkh was much greater than in Bard-e-Kal. The difference in sand size was significant at the five percent level, with its size being greater in Bard-e-Kal than in Tang-e Sorkh. In the marls of the two sub-watersheds, the difference in acidity (pH) was significant at the one percent level, and it was higher in Tang-e Sorkh than in Bard-e-Kal. The sulfate content of Bard-e-Kal marls was much higher than in Tang-Sorkh, and this difference was significant at the five percent level. The amount of bicarbonate in the Bard-e-Kal marls was greater than in the Tang-e Sorkh, and this difference was significant at the five percent level. The different in the amount of equivalent calcium carbonate, gypsum, acidity, and calcium of marls in various erosional forms were significant at the five and one percent levels. Between the two regions in gully-eroded marls, the difference in ion exchange capacity and acidity was significant. The measurements of acidity, equivalent calcium carbonate, sodium ion, and clay percentage in Tang-Sorkh marls were higher than in Bard-e-Kal, and in other variables, the measurements were higher in Bard-e-Kal. In the two hydrological units studied, the highest and lowest organic carbon levels were observed in rill and surface erosion, respectively. In addition, the highest and lowest moisture content was observed in surface and rill erosion, respectively. The size of bicarbonate was also higher in rill erosion than other erosion forms. Determining the size of factors such as bicarbonate, equivalent calcium carbonate, gypsum, acidity and calcium ion, percentage of sand and total silt and clay were helpful in the occurrence of erosion forms. In the marls of the region, the high sodium absorption ratio (SAR) can lead to a greater dominance of surface and rill erosion compared to gully erosion. In the marls of the Gachsaran Formation, salinity was probably affected by the increase in gypsum size, and its role in intensifying erosion was reduced. The presence of more calcium carbonate in the Tang-e Sorkh watershed marls made them more stable, which was due to the greater inhibition of the effect of salinity and sodium. The percentage of water absorption of Tang-e Sorkh marls was higher compared to the Bard-e-Kal marls. Therefore, the ability of mass-type erosion movements was also higher in Tang-e Sorkh marls.

Conclusion and Suggestions

The results of this study showed that due to the characteristics of marls in the Maharlou watershed and their effective role on erosion and sedimentation special attention should be paid to them in local research. In this watershed, identifying the physical and chemical properties of marls, such as bicarbonate ions, calcium, sodium, salinity, and percentage of sand and clay, is important for controlling erosion and sediment deposition. As a result, for greater success of implementation plans in watershed management research, it is also necessary to pay attention to the role of characteristics such as chalk size in reducing salinity and the effect of acidity on the type of erosion. Based on the results of this study, it is suggested that for sedimentation management in the Maharlou watershed, vegetation cover and viable mulches should be used to stabilize the soil and sediment dams should be constructed. It is also suggested that GIS and remote sensing technologies be used to identify critical areas and develop water and soil resource management plans.

Keywords: Cation exchange capacity (CEC), gully erosion, marl sediment yield, vegetation cover and soil stabilization, watershed management

Article Type: Research Article

Acknowledgement

This paper is based on the results of the project ‘Classification and Determination of Erosion Susceptibility Indices of Marls in the Western Region of the Maharlou Watershed,’ which was funded by the General Directorate of Natural Resources and Watershed Management of Fars Province. This project was approved at the Agricultural and Natural Resources Research and Education Center of Fars and the Soil and Water Conservation Research Institute with code 950434-006-29-50-4. We sincerely appreciate the collaboration of the mentioned General Directorate, Center, and Research Institute.

Conflicts of interest

The authors of this article declare that there are no conflicts of interest regarding the writing and publication of the materials and findings of this research.

Data Availability Statement

The data and results used in this study are available from the corresponding author upon reasonable request.

Authors’ Contribution

Author 1: Conceptualization, methodology, writing original draft preparation

Author 2: Data collection, results analysis

Author 3: Review and analysis of laboratory results

Author 4: Statistical analyses

Author 5: Supervision