تاریخ چاپ: تابستان ۱۳۹۱

ارتباط بین نوع فرسایش و ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی در مارن‌های استان همدان

*منوچهر امیری: مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان
حمید رضا پیروان: پژوهشکده حفاظت خاك و آبخیزداری کشور

چکیده

از آن‌جا که مارن‌ها نسبت به فرسایش بسیار حساس بوده و سالیانه هزارن تن رسوب ریزدانه و رس را راهی مخازن سدها و محل پخش سیلاب در ایستگاه‌های تغذیه مصنوعی می‌کنند و هزینه‌های پالایش آب شرب و پیش پالایی آب تغذیه مصنوعی را به‌شدت افزایش می‌دهد، بررسی مارن‌ها از ابعاد مختلف برای کارشناسان و محققان حائز اهمیت است. در این تحقیق سعی شده است تا متغیرهای مؤثر در نوع فرسایش برای مارن‌های استان همدان شناسایی و معرفی گردد. به‌همین منظور از محل انواع فرسایش در ۴۱ نقطه، تعداد ۴۹ نمونه اخذ و برای تعیین مقدار متغیرهای فیزیکو-شیمیایی به آزمایشگاه ارسال شد. همچنین مشخصات محل نمونه‌برداری‌ها همچون شیب، موقعیت جغرافیایی و هفت پارامتر سطحی خاك برداشت شد. در ۴۱ نقطهٔ فوق‌الذکر، آزمایش باران مصنوعی با دستگاه باران‌ساز کامفورست انجام و ۴۱ نمونه رسوب-رواناب اخذ و در آزمایشگاه با استفاده از روش‌های ساده، مقدار رواناب و رسوب آن‌ها اندازه‌گیری شد. علاوه بر این، تعداد هفت نمونه از مارن‌ها با اشعه ایکس آنالیز و تعداد هشت مقطع نازک از مارن‌ها و سنگ‌های همراه تهیه و با میکروسکوپ پلاریزان بررسی شد. سپس داده‌های غیرنرمال با لگاریتم‌گیری نرمال گردید و همهٔ داده‌ها با آنالیز واریانس و آنالیز تمیزی به دو روش پلکانی و همه‌گانی بررسی شد. ارزیابی ارتباط متغیرهای اندازه‌گیری شده و اشکال فرسایش نشان داد که اسیدیته (pH) تنها متغیر معنی‌دار و تا حدی مؤثر در شناسایی نوع فرسایش درمنطقه است. حساسیت توابع فیشر در پیش‌بینی نوع فرسایش به‌کمك دخالت همگانی متغیرهای شیمیایی، فیزیکی و فیزیکو- شیمیایی به‌ترتیب معادل با ۷۵/۶، ۸۲/۹ و ۷۸ درصد است و نشان می‌دهد که مجموعهٔ متغیرهای فیزیکی بهتر از مجموعهٔ متغیرهای شیمیایی و فیزیکو- شیمیایی نوع فرسایش را پیش‌بینی می‌کند. در نهایت به‌کمك این آنالیزها برای پیش‌بینی نوع فرسایش در مارن‌های همدان توابع خطی فیشر تعیین و ارائه شد.

مقدمه

مارن به مخلوطی از رس و کربنات کلسیم اطلاق می‌شود که میزان کربنات کلسیم آن بین ۳۵ تا ۶۵ درصد در تغییراست [۲]. در مارن‌ها، کانی‌های کلسیت و رس به‌عنوان جزاصلی وجود دارند و ممکن است سایر کانی‌ها

واژه‌های کلیدی: مارن، نوع فرسایش، باران‌ساز، همدان
دریافت ۸۸/۹/۱۸ پذیرش۹۰/٤/۲۵

*نویسنده مسئول Manucher.amiri@gmail.com

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]

از جمله کوارتز، آلبیت، میکا، ایترینگیت و تومازیت، دولومیت، آلکالی فلدسپات، کلریت، کلینوکلر، ژیپس، انیدریت، هالیت و سیلویت نیز مشاهده شود [۹]. به‌طور کلی مارن‌ها از دو جنبه مورد توجه قرار می‌گیرند نخست این‌که مارن‌ها دارای مواد اولیه تولید سیمان (کلسیم، سیلیس و آلومینیم) هستند که موضوع بحث این تحقیق نمی‌باشد. دومین اهمیت مارن‌ها مسئله فرسایش پذیری آن‌هاست که نسبت به فرسایش بسیار حساس است و سالیانه هزاران تن رسوب را راهی مخازن سدها و عرصه‌های پخش سیلاب می‌کنند و موجب کاهش عمر مفید سدها و بالا بردن هزینه تصفیه آب برای ترسیب کلوئیدهای رسی می‌گردد و از طرف دیگر با ته‌نشینی کلوئیدهای رسی بر سطح خاک و کاهش چشمگیر نفوذپذیری در عرصه‌های پخش سیلاب، هزینه‌های پیش پالایی را به‌طور چشمگیری افزایش می‌دهد. امروزه در ایران رسوباتی که از این نهشته‌ها تولید می‌شود برای سدهایی چون سفید رود و سدساوه به یک معضل تبدیل شده‌است. محققان معتقدند با شناسایی عوامل شیمیایی و فیزیکی مؤثر بر نوع و شدت فرسایش می‌توان برای کاهش اثر آن‌ها و در نتیجه کاهش شدت فرسایش، به روش‌های فیزیکی و شیمیایی اقدامات مؤثری را به‌عمل آورد[۸].

هرکدام از عوامل فیزیکی و شیمیایی بامکانیسم خاصی برمیزان و شکل فرسایش اثر می‌گذارند.عوامل شیمیایی با تلاشی ساختمان درونی کانی‌ها و تأثیر بر روی میزان پایداری آن‌ها، سبب تغیر میزان فرسایش می‌گردند. بررسی‌ها نشان می‌دهد که حلالیت یون‌ها و به طبع آن پایداری کانی‌ها و به‌خصوص کانی‌های سیلیکاته تحت تأثیر اسیدیته خاك است و در مارن‌ها که محل تشکیل خاك‌های شور و سدیمی هستند، اسیدیته در حدود ۸/۵ و یا قدری بالاتر است. این میزان اسیدیته باعث می‌شود تا عناصری مانند سیلیسیم، آلومینیوم و آهن موجود در ساختمان کانی‌ها، انحلال یابد و به‌دنبال آن ساختمان کانی متلاشی گردد [۱۸]. در غلظتی معین از املاح خاك، کلوئیدهای خاك شروع به انعقاد می‌کنند که به غلظت بحرانی انعقاد مشهور است. به‌عبارت دیگر در غلظت‌های کم‌تر از حد بحرانی، خاك‌دانه‌ها پخشیده و درغلظت‌های بیش‌تر از حد بحرانی انعقاد صورت می‌گیرد. افزایش pH باعث افزایش مقدار غلظت بحرانی انعقاد شده و خاك‌دانه‌سازی صورت نمی‌گیرد چون باعث متلاشی شدن کانی‌ها و آزادسازی کاتیون‌ها می‌شود [۱۶]. تحقیقات انجام شده به‌کمک آزمایش‌های ترمودینامیک نشان می‌دهد که مارن‌ها با تغییرات pH و حضور آب و سولفات‌هایی مانند گچ و انیدریت، کانی‌های آب‌دار و متورمی همانند ایترینگیت[۱] و تومازیت[۲] تولید می‌کنند که می‌تواند باعث کاهش پایداری خاك و منجر به ایجاد بدلندهای ناپایدار گردد [۱۲]. مواد آلی با رس‌ها کمپلکس تشکیل داده و خاك‌دانه‌ها را در برابرسدیم وpH زیاد، محافظت می‌کند. در مارن‌ها که مقدار املاح نمکی زیاد است شرایط رشد گیاه فراهم نبوده و خاك دارای فقر ماده آلی است که به طبع آن خاك‌دانه‌سازی و ساختمان‌سازی صورت نمی‌گیرد و ذرات به‌صورت منفرد و بدون ساختمان به‌وجود می‌آید و در نتیجه این گونه خاك‌ها مستعد هرگونه فرسایش می‌گردند [۱۶]. به‌طورکلی، بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد که اولاً وجود ترکیباتی مانند موادآلی، آهك و اکسیدهای آهن و آلومینیوم به‌عنوان سیمان باعث پایداری

۱. Ettringite ۲. Thaumasite

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]

مارن‌ها و یون‌های سدیم با پخش کردن ذرات رس موجب ناپایداری و افزایش شدت فرسایش در آن‌ها می‌گردد [۲۰]، [۱۴] [۱۳]. ثانیاً میانگین مقادیر پارامترهای نسبت جذب سدیم، سدیم قابل تبادل (E.S.P.)، هدایت الکتریکی، pH, Ca^{2+}, HCO_3^-, Na^+,Cl و کربن آلی در فرسایش‌های ورقه‌ای، شیاری و هزار دره‌ای دارای اختلاف معنی‌داری است و نشان می‌دهد که این ویژگی‌ها نقش مهمی در تشکیل نوع فرسایش ایفا می‌کنند که نقش متغیر نسبت جذب سدیم مهم‌تر است و شاخص مهمی برای طبقه‌بندی اشکال مختلف فرسایش تلقی می‌گردد، به‌طوری‌که با افزایش مقدار این پارامتر، شکل فرسایش از ورقه‌ای به هزاردره‌ای تغییر می‌یابد [۳]، [۶]، [۸]. بررسی مناطق خندقی در مارن‌های آفریقای جنوبی و بدلندهای منطقه پتر[1] در اسپانیا و سایر مناطق، موضوع فوق را تأیید کرده و نشان می‌دهد که بیش‌ترین تراکم گالی‌ها در مارن‌هایی دیده می‌شود که نسبت جذب سدیم بالایی دارند [۱۲]، [۱۱] ، [۱۹]. در بررسی رابطهٔ بین نوع و مقدار فرسایش با متغیرهای فیزیکی و شیمیایی، محققان به پارامتر تلفات نسبی خاك که با دستگاه باران‌ساز اندازه‌گیری و برآورد می‌شود توجه ویژه‌ای داشته و نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که میزان ضریب فرسایش‌پذیری به‌دست آمده توسط باران‌سازهای استاندارد با مقادیر K به‌دست آمده از کرت‌های استاندارد صحرایی همبسته و دارای رابطه معنی‌داری است [۱۰]. در اغلب پروژه‌های حفاظت خاک، به تعداد زیادی تکرار آزمایش‌های باران مصنوعی به تعداد زیاد نیاز است و بنا بر این تحت این شرایط، کاربر به یک شبیه‌سازی نیاز دارد که به‌راحتی و آسان حمل شود (کامفورست ۱۹۸۷). دستگاه باران‌سازی که مشخصات آن توسط کامفورست (۱۹۸۷) ارائه و بیان گردیده‌است دستگاهی کوچك وسبك است که در این پژوهش استفاده شده است.

در این پژوهش، رابطهٔ بین شکل‌های مارن‌های منطقه با ویژگی‌های فیزیکو- شیمیایی آن‌ها به‌صورت آماری و کمی بررسی شده است تا مشخص شود که آیا متغیرهای خاصی در تشکیل نوع فرسایش، نقش اصلی را ایفا می‌کنند و یا این‌که همه متغیرها همراه با هم، به‌صورت مجموعه‌ای در تشکیل نوع فرسایش دخالت می‌کنند تا شاید با شناسایی نوع متغیر یا متغیرهای مؤثر، بتوان راه‌های پایدارسازی مارن‌های منطقه و مارن‌های مشابه آن‌ها را به‌کمك روش‌های شیمیایی و فیزیکی مشخص و پیشنهاد کرد.

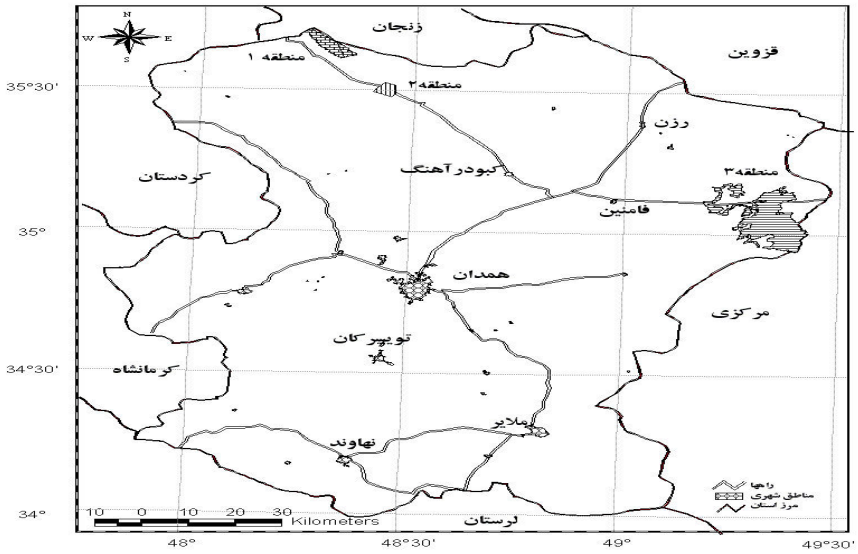
موقعیت جغرافیایی منطقه

محدوده‌های مارن‌دار استان همدان در سه منطقهٔ ایستی‌بلاغ (در محدودهٔ "۱۰-۱۴'-۴۸° تا "۴۵-۲۱'- °۴۸ طول شرقی و"۴۰-۳۶'-۳۵° تا"۴۵-۴۲'-۳۵° عرض شمالی) به‌عنوان منطقهٔ ۱، شیرین‌سو (محدودهٔ "۴۵-۲۴'- °۴۸ تا "۵۰-۲۶'-۴۸° طول شرقی و "۱۲-۲۹'-۳۵° تا "۰۳-۳۱'-۳۵°عرض شمالی) به‌عنوان منطقهٔ ۲وتجرك- فامنین (محدودهٔ "۱۵-۱۱'- °۴۹ تا "۵۵-۲۵'- °۴۹ طول شرقی و "۰۴-۳۸'- °۳۴ تا "۵۰-۱۰'- °۳۵ عرض شمالی) به‌عنوان منطقهٔ ۳ مشاهده می‌شوند. تشکیلات مارنی استان همدان در نقشه‌های ۲۵۰۰۰۰ :۱ به‌نام ورقه‌های

۱. Petter

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]

D_5 و D_6 با رخسارهٔ مارن، ماسه‌سنگ و آهک و درجنوب شرقی نقشهٔ زمین‌شناسی رزن با مقیاس۱۰۰۰۰۰ :۱ به‌صورت مارن‌های خاکستری تا سبز زیتونی با میان لایه‌های ستبر آهک تعریف شده و بر اساس وضعیت لیتولوژی و میکروفسیل‌های موجود، سن آن‌ها الیگومیوسن پسین تا میوسن بالایی و جز تشکیلا قم محسوب می‌شوند. بر این مارن‌ها، شرایط آب و هوایی سرد و نیمه‌خشك حاکم است. درشکل۱ موقعیت آن‌ها ارائه شده است.



شکل۱. نقشهٔ موقعیت جغرافیایی مناطق مارنی بررسی شده

مواد و روش‌ها

الف. نمونه‌گیری‌های صحرایی

در این پروژه ابتدا برای شناخت وضعیت مینرالوژی مارن‌ها، تعداد هفت نمونه به‌روش دیفرکتومتری اشعهٔ ایکس و برای تأیید یا رد سن آن‌ها پنج نمونه از مارن‌های نیمه‌سخت و سه نمونه از سنگ‌های آهکی و ماسه‌سنگی همراه، به‌روش تهیهٔ مقاطع نازك بررسی شد. سپس از خاك‌های مارنی در محل انواع فرسایش۴۹ نمونه (۲۴ نمونه از دیوارهٔ۱۶خندق، ۸ نمونه از فرسایش‌های شیاری و۱۷ نمونه از فرسایش‌های ورقه‌ای) هر کدام به وزن حدود ۲/۵ تا ۳ کیلوگرم انتخاب شد. در فرسایش ورقه‌ای، نمونه‌ها از شیب عمومی دامنه‌ها و از نقطهٔ وسط شیب و با حفر چاله‌ای به عمق و قطر حدود ۲۰سانتی‌متر و در فرسایش شیاری، نمونه‌ها از نقطهٔ شروع تشکیل شیار جوان‌تر و فعال‌تر از چاله‌ای به‌عمق و قطر۳۰ سانتی‌متر اخذ گردید. در فرسایش‌های خندقی نمونه‌ها از جوان‌ترین و فعال‌ترین خندق و از قسمت دیوار هدکت و با ایجاد شیاری به عمق حدود ۵ سانتی‌متر، عرض حدود ۵ سانتی‌متر و به‌طول معادل با عمق خندق و از هر لایه یک نمونه برداشت گردید. یعنی در برخی از خندق‌ها به‌دلیل وجود لایه‌های مختلف چندین نمونه اخذ و پس از اندازه‌گیری پارامترهای شیمیایی و فیزیکی، با روش میانگین وزنی برای هر خندق یك نمونهٔ وزنی در نظر گرفته شد، به‌طوری‌که تعداد داده‌های هر متغیر در

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]

فرسایش خندقی به ۱۶ و تعداد کل نمونه‌ها و یا تعداد داده‌های هر متغیر در انواع فرسایش به ۴۱ مورد و معادل تعداد کل آزمایش‌های باران‌ساز رسید. علاوه بر این، امتیاز فاکتورهای هفت‌گانه عامل سطحی خاک طبق جدول B.L.M [۴]، شیب محل نمونه‌برداری‌ها و موقعیت جغرافیایی آن‌ها یاداشت گردید. همزمان با نمونه‌برداری، با دستگاه باران‌ساز مصنوعی (شکل۲) در۴۱ نقطهٔ مذکور آزمایش باران مصنوعی در مجاورت نقاط نمونه‌برداری (در خندق‌ها درمجاورت هدکت) انجام و ٤١ نمونهٔ رواناب و رسوب تهیه و در آزمایشگاه مقدار وزن رسوب (تلفات خاك)، وزن رواناب و وزن آب نفوذ یافته در مارن‌های منطقه، محاسبه و تعیین گردید. برای رسیدن به نتایج مطلوب‌تر، آزمایش‌ها در پلات‌های بایر و در شرایط نزدیک به ظرفیت مزرعه‌ای انجام شد. از آن‌جا که شرایط آب و هوایی و ارتفاعی استان همدان و فصل انجام عملیات صحرایی و در نتیجه فشار هوا، متفاوت از شرایط آزمون اولیه دستگاه است، با کمك کرونومتر و به ازای درجه‌های مختلف استوانهٔ مدرج، دستگاه باران‌ساز به دو روش بررسی و واسنجی شد و از داده‌های به‌دست آمده و رسم نمودارهای خطی، لگاریتمی، چندجمله‌ای وغیره مقدار مناسب خط نشانه معادل۱/۷۱ درجه روی استوانه مدرج به‌دست آمد و از این عدد برای انجام آزمایش‌ها در صحرا استفاده شد.



شکل ۲. تصویر دستگاه باران‌ساز کوچک و اجزای تشکیل دهندهٔ آن

ب. آنالیزآزمایشگاهی

نمونه‌های اخذ شده به آزمایشگاه‌های دانشگاه بوعلی‌سینا (برای تهیه مقاطع نازك)، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی همدان (برای تعیین مقدار متغیرهای شیمیایی) و پژوهشکده حفاظت خاك و آبخیزداری کشور (برای تعیین مقدار متغیرهای فیزیکی) ارسال شد، مقدار متغیرهای شیمیایی و فیزیکی مورد نظر تعیین گردید و سپس مقادیر نسبت رس (حاصل تقسیم مجموع درصدهای سیلت و ماسه بر درصد رس)، شاخص خمیری، اکتیویته (نسبت شاخص‌خمیری به درصد ذرات‌رس) و اکتیویتهٔ اصلاح شده با استفاده از روش‌های معمول در منابع [۷] محاسبه گردید. چنان‌که قبلاً بیان شد، تعداد ٤١ نمونه آب و رسوب از آزمایش‌ها باران مصنوعی اخذ و به آزمایشگاه حمل گردید. در آزمایشگاه این نمونه‌ها به مدت حدود یک ماه بدون حرکت باقی گذاشته شدند. طی

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]

این مدت همهٔ مواد کلوئیدی معلق موجود در نمونه‌ها رسوب نمود و محتویات نمونه‌ها به دو قسمت زلال فوقانی (روناب) و تیرهٔ تحتانی (رسوب) جدا گردید. وزن نمونه‌ها با ترازوی دقیق با دقت ۰/۰۱ گرم اندازه‌گیری گردید، آنگاه به آرامی آب نمونه‌ها خالی شد. این عمل طوری انجام گردید که هیچ ذره‌ای از رسوب موجود در ته ظرف خارج نشود. سپس ظرف حاوی رسوب و مقدار اندک آب موجود در آن، در داخل آون تحت حرارت ۸۰ درجه به‌مدت ٤٨ ساعت قرار گرفت که پس از خشک شدن، وزن رسوب خشک شده به‌همراه ظرف اندازه‌گیری گردید و سپس رسوب موجود در ظروف تخلیه و ظروف شسته و خشک شدند و وزن آن‌ها اندازه‌گیری گردید. در نهایت وزن ظروف خالی، وزن رسوب، وزن روناب، و وزن آب نفوذ یافته با توجه به روابط ذیل تعیین شد:

وزن ظرف- وزن رسوب خشک شده با ظرف = وزن تلفات خاک = وزن رسوب(خشک)

وزن رسوب خشک شده با ظرف - وزن کل نمونه = وزن روناب

وزن روناب - وزن آب تخلیه شده از آب پاش بارانساز = وزن آب نفوذ یافته در خاک

ج- تجزیه و تحلیل

ابتدا همهٔ داده‌ها با استفاده از دستورالعمل آنالیز اکتشافی و به‌کمک آماره‌های کولموگروف-اسمیرنوف، شاپیرو-ویلک [۲] بررسی شد و متغیرهای غیرنرمال شناسایی و با لگاریتم‌گیری نرمال گردیدند و مقادیر پرت آن‌ها کنار گذاشته شد و در نهایت داده‌های ۲۳ متغیر فیزیکی (جدول۱) و۱٦ متغیر شیمیایی (جدول۲) برای بررسی‌های آماری آماده گردید. لازم به توضیح است که تعاریف متغیرهای فیزیکی در منابع [طاحونی،۱۳۷۱ و رفاهی ۱۳۸۷] ارائه شده و برای دخالت متغیر بافت در آنالیز آماری، انواع بافت را در پنج دسته قرارداده و به‌عنوان متغیرهای مجازی و هر کدام با دو سطح صفر و یك استفاده شدند. برای شناسایی متغیرهایی که در تفکیک شکل فرسایش و پیش‌بینی تعلق اعضا به اشکال فرسایش مؤثرند، آزمون‌های مقاوم و تحلیل واریانس [۲]، [٥] و آنالیز تفکیکی(تمیزی) انجام گردید. در آزمون تحلیل واریانس در مواردی که بین مقادیر میانگین متغیرها تفاوت معنی‌داری مشاهده گردید، آنالیز مقایسه دوگانه پست هاک نیز انجام گرفت. آنالیز تفکیکی به دو روش پلکانی و همگانی (دخالت همه متغیرها) یک بار برای متغیرهای شیمیایی، بار دوم برای متغیرهای فیزیکی و بار سوم برای تمام متغیرهای فیزیکو- شیمیایی انجام گردید. در شکل ۳ مراحل انجام این پژوهش ارائه گردیده است.

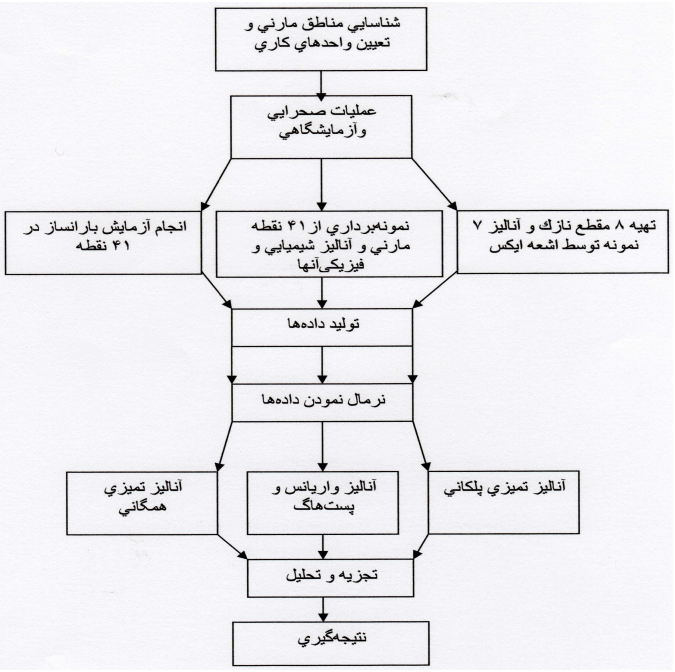
جدول۱. متغیرهای فیزیکی استفاده شده در آنالیزهای آماری

متغییرهایی که به صورت طبیعی نرمال بوده‌اند		متغییرهایی که با لگاریتم‌گیری نرمال گردیده‌اند	
نام متغیر	نام متغیر	نام متغیر	نام متغیر
فاکتور فرم آبراهه	وزن مخصوص حقیقی	عامل سطحی خاك	فاکتور پوشش لاشبرگ
نشانه خمیری	حد روانی	فاکتور حرکات توده‌ای خاك	درصد شیب توپوگرافی
فعالیت(پتانسیل تورم)	حد خمیری	فاکتور توسعه فرسایش خندقی	درصد ماسه
فعالیت اصلاح شده	درصد رس	فاکتور فرسایش شیاری	وزن روناب
نسبت‌رس	درصد سیلت	فاکتور قطعات سنگ تحکیم یافته	وزن آب نفوذ یافته
-	بافت	فاکتور پوشش خرده سنگی	نسبت لگاریتم وزن رسوب به وزن رسوب

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]

جدول۲. متغیرهای شیمیایی استفاده شده در آنالیزهای آماری

متغییرهایی که به صورت طبیعی نرمال بوده‌اند	متغییرهایی که با لگاریتم‌گیری نرمال شده‌اند		
نام متغیر	نام متغیر	نام متغیر	نام متغیر
درصد کربن آلی	یون منیزیم	یون سولفات	نسبت جذب سدیم
درصد مواد خنثی شونده	هدایت الکتریکی	مجموع کاتیون‌ها	مجموع آنیون‌ها
ظرفیت تبادل کاتیونی	مقدار ژیپس	یون کلسیم	یون کلر
اسیدیته	درصد کربن آلی	یون سدیم	یون بی کربنات



شکل۳. مراحل انجام پژوهش

نتایج و بحث

در بررسی‌های صحرایی، مارن‌های منطقه اغلب به‌صورت تپه ماهورهایی با توپوگرافی ملایم و به‌رنگ سبز زیتونی و گاهی اوقات با رنگ خاکستری و یا روشن با لکه‌های سفید رنگ مشاهده می‌شوند. همراه مارن‌های منطقه، میان لایه‌های نازکی از ماسه‌سنگ و سیلتستون با ضخامت کم‌تر از یک متر و لایه‌های ضخیم آهکی در برخی از نقاط مشاهده می‌شود. لکه‌های آهکی در مقاطع میکروسکوپی، حاوی خرده‌های بیوکلاستیکی مانند جلبک‌های لیتوتامینیوم و لیتوفیلوم، بریوزوآ، قطعات اکینودرم و فورامینیفرهایی چون نومولیتس و آلوئولینا هستند. مارن‌ها در مقاطع میکروسکوپی با دو بخش تیره رسی و شفاف کربناتی مشاهده می‌شوند که کربنات کلسیم در برخی از نقاط تبلور ثانویه پیدا کرده و به‌صورت اسپارایت در آمده است. همچنین آثاری از هیدرواکسیدهای آهن در بخش‌هایی از این مقاطع مشاهده می‌شود. در بررسی مارن‌های منطقه با اشعهٔ ایکس کانی‌های کوارتز، کلسیت، آلبیت، آلکالی فلدسپات، رس‌های چند لایه‌ای، میکا، ایلیت، کانی‌های حجیم، مونت

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]

موریلونیت، کلینوکلر، دولومیت و ژیپس مشاهده می‌شود (جدول۳). مارن‌های منطقه در برخی از نقاط حساسیت شدیدی نسبت به فرسایش نشان داده و آثار هر سه نوع فرسایش ورقه‌ای، شیاری و خندقی بر روی آن‌ها به‌وجود آمده است. فرسایش شیاری بیش‌تر در شیب‌های نسبتاً تند دیده می‌شود، در صورتی‌که بیش‌تر خندق‌ها در مناطق با شیب کم‌تر متمرکز گردیده‌اند. فرسایش ورقه‌ای نیز در اغلب شیب‌ها مشاهده می‌شوند درشکل ۴ تصاویر فرسایش سه‌گانهٔ فوق‌الذکر بر روی مارن‌های منطقه ارائه شده‌است.

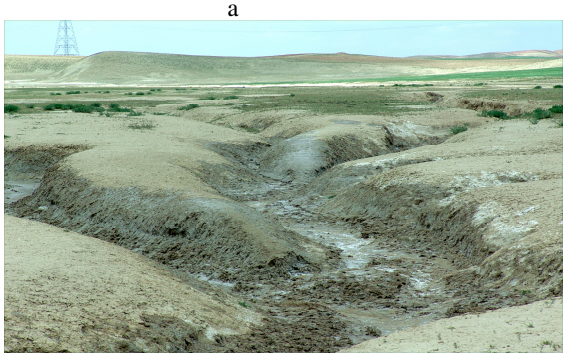
جدول۳. کانی‌های موجود در مارن‌های منطقه بر اساس آنالیز هفت نمونه با اشعهٔ ایکس

نمونه	کانی سیلیس	کانی کربناتی	کانی‌های رسی و ورقه‌ای	کانی‌های فلدسپاتی	کانی‌های حجیم	سایر کانی‌ها
AF_{1-3}	کوارتز	کلسیت و دولومیت (اندک)	ایلیت و میکا Mixed layer clay	آلبیت آلکالی فلدسپات	دارد	کلینوکلر
AF_{1-8}	کوارتز	کلسیت و دولومیت (اندک)	میکا-ایلیت Mixed layer clays	آلبیت آلکالی فلدسپات	دارد	کلینوکلر
AF_{1-12}	کوارتز	کلسیت و دولومیت	میکا-ایلیت	آلبیت آلکالی فلدسپات	دارد	کلینوکلر
AF_{2-2}	کوارتز	کلسیت و دولومیت	میکا-ایلیت	آلبیت آلکالی فلدسپات	دارد	کلینوکلر
AF_{3-1}	کوارتز	کلسیت و دولومیت	میکا- ایلیت Mixed layer clays	آلبیت آلکالی فلدسپات	دارد	کلینوکلر
AF_{3-8}	کوارتز	کلسیت و دولومیت	میکا- ایلیت	آلبیت آلکالی فلدسپات	دارد	کلینوکلر
AF_{3-9}	کوارتز	کلسیت و دولومیت	مونت موریلونیت میکا- ایلیت Mixed layer clays	آلبیت آلکالی فلدسپات	ندارد	کلینوکلر



a b

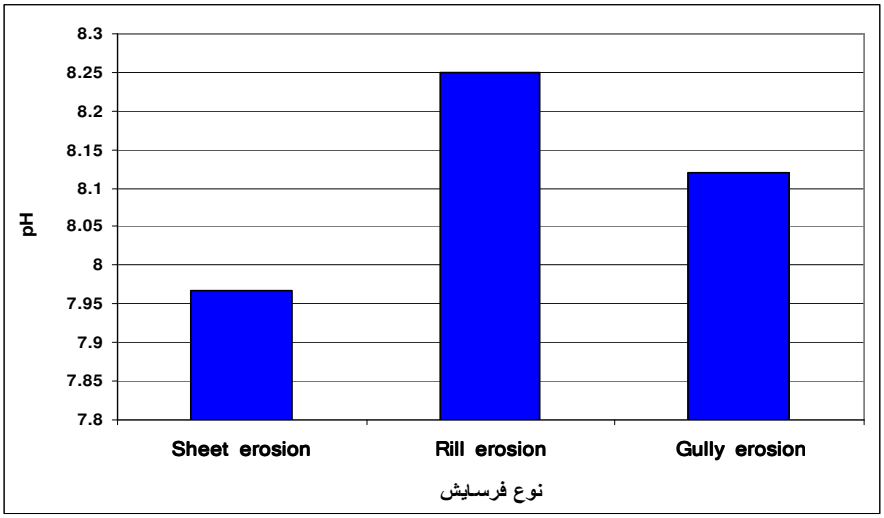
c



شکل۴. تصاویر انواع فرسایش بر روی مارن‌های منطقه (a: شیاری، b: ورقه‌ای، c: خندقی)

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]

بررسی داده‌های حاصل از این پژوهش با آنالیز واریانس که نتایج آن در جدول ۴ ارائه شده است، نشان می‌دهد که از بین تمامی متغیرها، تنها میانگین pH برای سه نوع فرسایش تفاوت معنی‌داری را نشان می‌دهد و مقایسهٔ میانگین دوبه‌دوی آن‌ها با آزمون پست‌هاگ نشان می‌دهد که تفاوت معنی‌دار تنها بین فرسایش ورقه‌ای و فرسایش شیاری وجود دارد و همهٔ روش‌های پست‌هاگ این تفاوت را تأیید می‌کنند. اگر چه تفاوت معنی‌داری در میانگین وزن مخصوص حقیقی در سه نوع شکل فرسایش ذکر شده با آزمون مقاوم [۲]، تشخیص داده می‌شود، با آزمون پست هاگ، تفاوت معنی‌دار در میانگین این پارامتر، فقط با روش LSD تأیید می‌گردد و در سایر روش‌های پست‌هاگ ملاحظه نمی‌شود. بنا بر این به نظر می‌رسد تنها متغیری که با نوع فرسایش ارتباط مؤثری دارد، همان متغیر pH است. در شکل ۵ نمودار میانگین این متغیر در سه تیپ فرسایشی منطقه ارائه گردیده است.



شکل۵. میانگین اسیدیته خاک‌های مارنی منطقه در سه شکل فرسایش ورقه‌ای، شیاری و خندقی

مشاهدات یا رکوردهای اندازه‌گیری شده، در سه گروه فرسایشی ورقه‌ای، شیاری و خندقی (۱۷ مورد در نوع ورقه‌ای، ۸ مورد در نوع شیاری و ۱۶ مورد در نوع خندقی) به‌عنوان نتیجهٔ آنالیزی خوشه‌ای دستی یا صحرایی قرار گرفتند و آنالیز تفکیکی به دو روش پلکانی و همگانی بر روی آن‌ها انجام گردید. در روش پلکانی برای متغیرهای شیمیایی، فیزیکی و متغیرهای فیزیکو- شیمیایی مشخص گردید که تنها متغیر pH می‌تواند به‌طور معنی‌دار در پیش‌بینی تعلق اعضا به نوع فرسایش مؤثر واقع شود و سایر متغیرهای نقش مؤثر و معنی‌داری ایفا نمی‌کنند. لذا اسیدیته تنها ویژگی خاك‌های مارنی منطقه است که می‌تواند تا حدودی در تفکیک و تمایز اشکال

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]

جدول۴. نتایج آزمون برابری متغیرهای فیزیکی وشیمیایی برای انواع فرسایش درمارن‌های منطقه

متغیرهای فیزیکی وشیمیایی	ضریب تغییرات			انحراف معیار			میانگین			آماره لون (همگنی واریانس)	آماره F (ANOVA)	آزمون مقاوم	
	ورقه‌ای	شیاری	خندقی	ورقه‌ای	شیاری	خندقی	ورقه‌ای	شیاری	خندقی			Brown - Forsythe	Welch
درصد مواد خنثی شونده	۰/۲۵	۰/۲	۰/۱۸	۸/۲	۵/۸	۶/۲	۳۳/۴۵	۲۹/۷۶	۳۴/۰۴	۰/۳۶۰	۰/۳۵۶	۰/۳۲	۰/۲۶
اسیدیته	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۲	۰/۳	۰/۲	۷/۹۷	۸/۲۵	۸/۱۲	۰/۴۲	۰/۰۲	۰/۰۴	۰/۰۵
ظرفیت تبادل کاتیونی	۰/۱۷	۰/۲۸	۰/۲۱	۵/۳	۸/۴	۶/۸	۳۲/۱۸	۳۰/۲۳	۳۲/۱۵	۰/۳۲	۰/۷۶	۰/۷۹	۰/۸۳
درصد رس	۰/۲۳	۰/۱۵	۰/۲۴	۹/۷	۷/۱	۹/۸	۴۱/۳۵	۴۷/۷۵	۴۰/۶۲	۰/۳۹	۰/۱۹	۰/۱۶	۰/۱۱
درصد سیلت	۰/۱۲	۰/۱	۰/۱۷	۵/۵	۴/۸	۸/۱	۴۶/۵۹	۴۹/۲۵	۴۹/۰۴	۰/۱۹	۰/۴۹	۰/۴۵	۰/۴۲
وزن مخصوص	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۴	۰/۰۱	۰/۰۴	۲/۵۸	۲/۶۱	۲/۶۱	/۰۴	۰/۰۶	۰/۰۳	۰/۰۲
حد روانی	۰/۱۵	۰/۱۸	۰/۲	۴/۷	۶/۰۳	۶/۷	۳۱/۱۸	۳۳/۴۷	۳۳/۰۷	۰/۵۴	۰/۵۴	۰/۵۶	۰/۵۲
حد خمیری	۰/۱۳	۰/۱	۰/۱۱	۲/۴	۱/۸	۲/۰۳	۱۸/۷۶	۲۰/۰۵	۱۸/۵۷	۰/۷۴	۰/۲۷	۰/۲۴	۰/۲۰
فاکتور فرم آبراهه	۰/۵۳	۰/۴۵	۰/۷۸	۳/۷	۳/۱	۶/۰	۷/۰۰	۶/۸۶	۷/۶۹	۰/۲۹	۰/۷۹	۰/۷۸	۰/۷۸
نشانه خمیری	۰/۳۱	۰/۳۹	۰/۳۸	۳/۸	۵/۳	۵/۵	۱۲/۴۲	۱۳/۴۳	۱۴/۵۰	۰/۳۳	۰/۴۷	۰/۵۰	۰/۴۴
فعالیت(پتانسیل تورم)	۰/۲۳	۰/۳۹	۰/۳۴	۰/۰۷	۰/۱۱	۰/۱۲	۰/۳۰	۰/۲۸	۰/۳۵	۰/۱۵	۰/۱۶	۰/۲۰	۰/۲۷
فعالیت اصلاح شده	۰/۲۳	۰/۴۱	۰/۳۵	۰/۰۹	۰/۱۴	۰/۱۶	۰/۳۹	۰/۳۴	۰/۴۶	۰/۱۶	۰/۱۰	۰/۱۳	۰/۲۰
نسبت رس	۰/۱۷	۰/۱۴	۰/۱۶	۰/۳۸	۰/۲۹	۰/۳۷	۲/۲۱	۲/۰۷	۲/۲۸	۰/۱۷	۰/۴۰	۰/۳۷	۰/۳۳
لگاریتم وزن رواناب	۰/۰۲	۰/۰۸	۰/۰۲	۰/۰۷	۰/۰۹	۰/۰۵	۳/۰۹	۱/۱۰	۳/۱۰	۰/۵۸	۰/۸۵	۰/۸۸	۰/۹۰
لگاریتم وزن آب نفوذ یافته	۰/۰۶	۰/۰۸	۰/۰۵	۰/۱۵	۰/۲۰	۰/۱۳	۲/۶۵	۲/۵۸	۲/۶۴	۰/۴۶	۰/۵۴	۰/۶	۰/۶۸
لگاریتم نسبت جذب سدیم	۵/۲۹	۱/۴۹	۱/۲۴	۰/۷۴	۰/۷۳	۰/۸۷	۰/۱۴	۰/۴۹	۰/۷۰	۰/۴۲	۰/۱۴	۰/۱۴	۰/۱۷
لگاریتم مجموع آنیون‌ها	۰/۴۹	۰/۵۱	۰/۴۹	۰/۵۷	۰/۶۹	۰/۸۰	۱/۲۰	۱/۳۵	۱/۶۳	۰/۲۴	۰/۲۲	۰/۲۳	۰/۲۶
لگاریتم یون کلر	۰/۷۹	۰/۷۷	۰/۸۲	۰/۵۸	۰/۷۲	۰/۹۱	۰/۷۳	۰/۹۳	۱/۱۱	۰/۱۴	۰/۳۶	۰/۳۶	۰/۳۸
لگاریتم یون بی‌کربنات	۰/۴۲	۰/۳۶	۰/۳۱	۰/۲۵	۰/۲۰	۰/۲۲	۰/۵۹	۰/۵۵	۰/۷۱	۰/۸	۰/۱۹	۰/۱۷	۰/۱۸
لگاریتم مجموع کاتیون‌ها	۰/۴۹	۰/۵۳	۰/۴۹	۰/۵۸	۰/۷۱	۰/۸۰	۱/۱۹	۱/۳۳	۱/۶۲	۰/۲۹	۰/۲۲	۰/۲۳	۰/۲۵
لگاریتم یون سدیم	۱/۸	۱/۰۶	۰/۹۷	۰/۸۸	۰/۹۱	۱/۱۱	۰/۴۹	۰/۸۶	۱/۱۵	۰/۳۲	۰/۱۷	۰/۱۶	۰/۱۹
لگاریتم یون کلسیم	۰/۴۹	۰/۵۷	۰/۴۷	۰/۴۴	۰/۴۸	۰/۴۹	۰/۹۰	۰/۸۴	۱/۰۵	۰/۶۴	۰/۵۰	۰/۵۱	۰/۵۴
لگاریتم درصد کربن آلی	-۰/۷۲	-۰/۴۶	-۰/۴۴	۰/۳۱	۰/۳۰	۰/۲۲	-۰/۴۳	-۰/۶۵	-۰/۵۰	۰/۱۶	۰/۲۰	۰/۲۱	۰/۲۸
لگاریتم هدایت الکتریکی	۴/۵۴	۲/۴۱	۱/۶۱	۰/۵۹	۰/۷۰	۰/۸۲	۰/۱۳	۰/۲۹	۰/۵۱	۰/۲۳	۰/۳۲	۰/۳۳	۰/۳۵
لگاریتم مقدار ژیپس	-۱۹/۲۵	-۱/۶۳	-۸/۲	۰/۷۷	۰/۲۶	۰/۴۱	-۰/۰۴	-۰/۱۶	-۰/۰۵	۰/۱۷	۰/۸۸	۰/۸۴	۰/۶۹
لگاریتم فاکتور قطعات تحکیم یافته	۰/۶۵	۰/۹۵	۰/۷۵	۰/۳۳	۰/۳۵	۰/۳۹	۰/۵۱	۰/۳۷	۰/۵۲	۰/۴۳	۰/۶۲	۰/۶۲	۰/۶۲
لگاریتم فاکتور پوشش خرده سنگی	۰/۴	۰/۸	۰/۵۳	۰/۳۲	۰/۴۴	۰/۴۰	۰/۷۲	۰/۵۵	۰/۷۶	۰/۶۰	۰/۴۳	۰/۴۷	۰/۵۴
لگاریتم فاکتور پوشش لاشبرگ	۰/۱۳	۰/۱۷	۰/۱۵	۰/۱۱	۰/۱۶	۰/۱۳	۰/۸۸	۰/۹۶	۰/۸۸	۰/۶	۰/۳۹	۰/۴۵	۰/۵۳
لگاریتم فاکتور حرکات توده‌ای‌خاك	۰/۳۱	۰/۲۴	۰/۲۱	۰/۲۸	۰/۲۲	۰/۲۰	۰/۹۰	۰/۹۲	۰/۹۴	۰/۹۹	۰/۹۱	۰/۹۰	۰/۹۱
لگاریتم درصد شیب توپوگرافی	۰/۶۷	۰/۴۴	۰/۵۶	۰/۵۸	۰/۵۰	۰/۴۹	۰/۸۶	۱/۱۳	۰/۸۸	۰/۶۹	۰/۴۸	۰/۴۷	۰/۴۷
لگاریتم وزن رسوب به وزن‌رسوب	۰/۴	۰/۵	۰/۰۶	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۵۰	۰/۸۲	۰/۶۸	۰/۶۶	۰/۶۴
بافت	۰/۳۸	۰/۰۸	۰/۳	۱/۴۰	۰/۳۵	۱/۱۸	۳/۷۱	۴/۱۳	۳/۹۴	۰/۰۲	۰/۶۹	۰/۶۱	۰/۴۹
لگاریتم یون منیزیم	۲/۵۸	۱/۵۲	۰/۹۴	۰/۶۲	۰/۶۷	۰/۷۶	۰/۲۴	۰/۴۴	۰/۸۱	۰/۷۵	۰/۰۹	۰/۰۸	۰/۱۱
لگاریتم طبیعی سولفات	۱/۴۶	۰/۵۵	۰/۷۹	۲/۲۲	۱/۷۰	۲/۳۳	۱/۵۲	۳/۱۱	۲/۹۶	۰/۳۸	۰/۱۹	۰/۱۶	۰/۲۱
لگاریتم درصد ماسه	۰/۲۸	۰/۲۵	۰/۴۷	۰/۳۰	۰/۱۹	۰/۴۷	۱/۰۶	۰/۷۵	۰/۹۹	۰/۲۷	۰/۲۶	۰/۱۹	۰/۰۸

فرسایش نقش مؤثر و معنی‌دار ایفا کند و این همان نتیجه‌ای است که قبلاً با آنالیز واریانس (ANOVA) حاصل گردید. بنا بر این در مدل پلکانی تنها یک معادلهٔ تفکیکی- کانونیک وجود دارد که می‌تواند در تفکیک اشکال فرسایش نقش داشته باشد. در جدول ۵ مشخصات این تابع به‌همراه ضرایب توابع پیش‌بینی کنندهٔ فیشر برای متغیر مذکور ارائه گردیده است. مقادیر مرکزیت گروه‌های فرسایشی در این جدول نشان می‌دهد که تفاوت چشمگیری بین مرکزیت مشاهدات ورقه‌ای و شیاری وجود دارد، یعنی این دو گروه به‌راحتی از هم تفکیک

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]

می‌شوند، ولی تفاوت بین مرکزیت مشاهدات ورقه‌ای و شیاری با خندقی چندان زیاد نیست و این دو گروه، به‌خوبی از هم تفکیک نمی‌گردند و این همان نتیجه‌ای است که قبلاً با تقابل دوبدوی گروه‌های فرسایشی به‌روش آزمون پست‌هاگ به‌دست آمد. مقدار ارزش ویژهٔ تابع تفکیکی فوق‌الذکر، اندک و حدود ۰/۲۲۵ است و نشان می‌دهد که هر چند میانگین متغیرpH به‌طور معنی‌داری در سه گروه فرسایشی متفاوت است ولی به‌دلیل آن‌که این تفاوت فقط بین فرسایش شیاری و ورقه‌ای وجود دارد لذا در سایر مقایسه‌ها معنی‌دار نیست. نتایج حساسیت مدل پلکانی در تفکیک اشکال فرسایشی در جدول ۶ ارائه شده است. بر اساس داده‌های این جدول، میزان حساسیت توابع فیشر در پیش‌بینی تعلق اعضا به سطوح فرسایشی حدود ۵۳/۷ درصد و دقت صحت پیش‌بینی آن برابر با ۰/۲۵ است که دقت مناسبی تلقی نمی‌شود.

در روش همگانی با توجه به این‌که متغیر اسمی دارای سه سطح است، حداکثر دو تابع کانونیک معنی‌دار برای جدایش اشکال فرسایش وجود دارد. مشخصات این دو تابع برای همهٔ متغیرهای فیزیکو- شیمیایی درجدول ۷ ارائه شده است. بررسی این جدول نشان می‌دهد که تابع کانونیک۱ به‌راحتی مشاهدات شیاری را از سایر گروه‌ها به‌خصوص از گروه ورقه‌ای، متمایز می‌کند. تابع ۲ نیز مشاهدات خندقی را از سایر گروه‌ها به‌خصوص گروه شیاری تفکیک می‌کند. در شکل ۶ وضعیت تفکیکی گروه‌های فرسایشی با این دو تابع تفکیک‌کننده، نشان داده شده است. در جدول ۸ ضرایب توابع فیشر برای اشکال فرسایشی بر مبنای متغیرهای فیزیکو- شیمیایی ارائه شده است که با این توابع و اندازه‌گیری متغیرهای فیزیکو- شیمایی ذکر شده در جدول مذکور، می‌توان نوع فرسایش را برای هر مشاهده پیش‌بینی کرد. بررسی میزان حساسیت مدل همگانی با استفاده از همهٔ متغیرهای فیزیکو- شیمایی در جدول ۶، نشان می‌دهد که مدل دارای حساسیتی برابر با ۷۸ درصد و دقتی معادل با ۶۵ درصد است.

در جدول ۹ مشخصات توابع تفکیکی مدل همگانی برای متغیرهای شیمیایی ارائه شده است. مقادیر مرکزیت توابع نشان می‌دهد که گروه‌های فرسایشی به‌خوبی با این توابع ازهم تفکیک می‌شود. شکل ۷ نتیجهٔ این تفکیک برای سه شکل فرسایش ورقه‌ای، شیاری و خندقی را نشان می‌دهد. در جدول ۱۰ ضرایب توابع فیشر برای پیش‌بینی تعلق اعضا به اشکال فرسایشی ارائه شده است که با داشتن مشخصات شیمیایی یک نمونه مارن از منطقه می‌توان نوع فرسایش آن را پیش‌بینی نمود. نتایج حساسیت مدل همگانی برای متغیرهای شیمیایی با استفاده از توابع فیشر در جدول۶ ارائه شده است. داده‌های این جدول نشان می‌دهد که از ۴۱ مشاهده، حدود ۳۱ مورد یعنی ۷۵/۶ درصد از مشاهدات به‌طور صحیح پیش‌بینی می‌گردد و دقت درستی این مدل معادل با ۶۱/۲ درصد است. در جدول ۱۱ مشخصات توابع تفکیکی مدل همگانی برای متغیرهای فیزیکی ارائه گردیده است. مقادیر مرکزیت این توابع نشان می‌دهد که گروه فرسایشی شیاری به‌راحتی با تابع ۱ از سایر گروه‌ها تفکیک می‌گردد و با تابع ۲ نیز گروه‌های فرسایشی خندقی و ورقه‌ای از هم متمایز می‌گردد بنا بر این با متغیرهای فیزیکی

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]

به‌راحتی می‌توان انواع فرسایش را از هم تفکیک کرد. در شکل ۸ نتیجهٔ این تفکیک به‌کمک متغیرهای فیزیکی ارائه شده است. در جدول ۱۲ ضرایب توابع فیشر برای پیش‌بینی تعلق مشاهدات به اشکال فرسایشی ارائه شده است، که نتایج حساسیت آن‌ها در پیش‌گویی شکل فرسایش برای یک نمونه در جدول ۶ ارائه شده است. داده‌های این جدول نشان می‌دهد که از هر ۴۱ مشاهده، حدود ۳۴ مورد آن یعنی ۸۲/۹ درصد به‌درستی پیش‌بینی می‌گردد و حدود ۷ مورد یعنی۱۷/۱ درصد از مشاهدات به‌درستی پیش‌بینی نمی‌گردد. دقت صحت مدل همگانی برای متغیرهای فیزیکی معادل ۷۳/۷ درصد است که نسبتاً قابل قبول تلقی می‌گردد.

جدول۵. مشخصات تابع تفکیکی و ضرایب توابع فیشر برای گروه‌های فرسایشی بر مبنای متغیر pH

مشخصات تابع تفکیکی کانونیک						ضرایب توابع خطی فیشر برای سه نوع فرسایش		مرکزیت گروه‌ها در تابع تفکیکی	نوع فرسایش
همبستگی کانونی	درصد واریانس	ارزش ویژه	همبستگی با متغیر	تابع استاندارد	تابع غیر استاندارد	ثابت تابع	ضریب متغیر pH		
۰/۴۲۸	۱۰۰	۰/۲۲۵	۱	F= pH	F= 4.266pH-34.478	-۵۷۸/۵۴۳	۱۴۵/۰۱۳	-۰/۴۸۸	ورقه ای
						-۶۲۰/۸۶۸	۱۵۰/۱۴۰	۰/۷۱۴	شیاری
						-۶۰۰/۹۰۳	۱۴۷/۷۸۵	۰/۱۶۲	خندقی

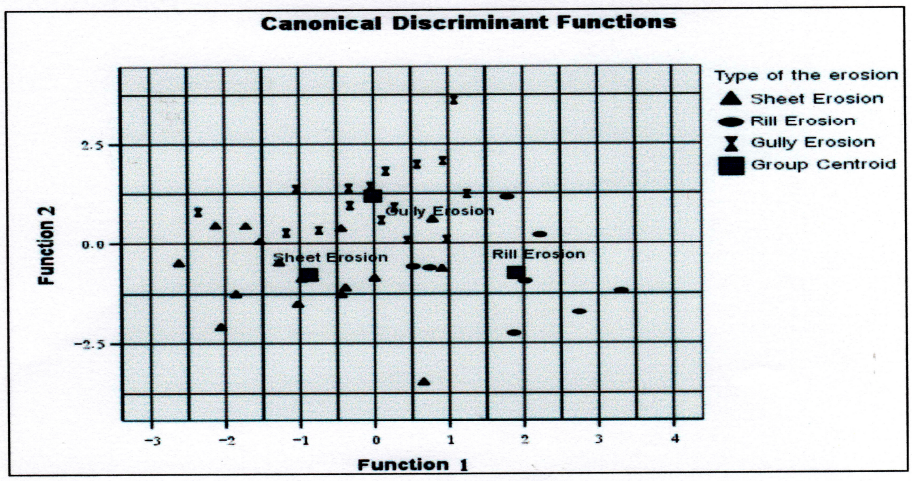
جدول۶. حساسیت آنالیز تفکیکی به‌دو روش پلکانی و همگانی برای پیش‌بینی تعلق مشاهدات به گروه‌های فرسایشی

نتایج آنالیز تمیزی بر اساس ورود همهٔ متغیرهای مستقل (همگانی)			نتایج حاصل از آنالیز تمیزی بر اساس روش پلکانی			نتایج دسته‌بندی انواع فرسایش بر اساس مشاهدات صحرایی			
درصد حساسیت درپیش‌بینی صحیح	تعداد مشاهدات درست پیش‌بینی نشده	تعداد مشاهدات درست پیش‌بینی شده	درصد حساسیت درپیش‌بینی صحیح	تعداد مشاهدات درست پیش‌بینی نشده	تعداد مشاهدات درست پیش‌بینی شده	احتمال اولیه	تعداد مشاهدات	نوع فرسایش	
۸۲/۴	۳	۱۴	۵۸/۸	۷	۱۰	۰/۴۱۵	۱۷	ورقه‌ای	متغیرهای فیزیکی و شیمیایی به‌صورت توأم
۶۲/۵	۳	۵	۳۷/۵	۵	۳	۰/۱۹۵	۸	شیاری	
۸۱/۳	۳	۱۳	۵۶/۳	۷	۹	۰/۳۹۰	۱۶	خندقی	
۷۸	۹	۳۲	۵۳/۷	۱۹	۲۲	۱/۰۰۰	۴۱	کل	
≈ ۰/۶۵			≈ ۰/۲۵۰			-		دقت کاپا	
۷۰/۶	۵	۱۲	۵۸/۸	۷	۱۰	۰/۴۱۵	۱۷	ورقه‌ای	فقط متغیرهای شیمیایی
۶۲/۵	۳	۵	۳۷/۸	۵	۳	۰/۱۹۵	۸	شیاری	
۸۷/۵	۲	۱۴	۵۶/۳	۷	۹	۰/۳۹۰	۱۶	خندقی	
۷۵/۶	۱۰	۳۱	۵۳/۷	۱۹	۲۲	۱/۰	۴۱	کل	
≈۰/۶۱۲			≈ ۰/۲۵۰			-		دقت کاپا	
۷۶/۵	۴	۱۳	هیچ‌یك ازمتغیرهای فیزیکی دارای اختلاف معنی‌داری در سه نوع فرسایش نبوده است.			۰/۴۱۵	۱۷	ورقه‌ای	فقط متغیرهای فیزیکی
۱۰۰	۰	۸				۰/۱۹۵	۸	شیاری	
۸۱/۳	۳	۱۳				۰/۳۹۰	۱۶	خندقی	
۸۲/۹	۷	۳۴				۱/۰۰	۴۱	کل	
≈ ۰/۷۳۷			سطح احتمال			-		دقت کاپا	

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]

جدول۷. مشخصات دو تابع تفکیک کننده بر مبنای متغیرهای فیزیکو- شیمیایی برای سه شکل فرسایشی

مقادیر پارامترهای ارزش تفکیکی توابع					مرکزیت گروه‌های فرسایشی در تابع ۲	مرکزیت گروه‌های فرسایشی در تابع ۱	نوع فرسایش
ضریب دقت اتا	همبستگی کانونی	درصد واریانس	ارزش ویژه	نوع تابع			
۰/۵۲۶	۰/۷۲۵	۵۳/۲	۱/۱۰۸	تابع ۱	-۰/۷	-۰/۸۸	ورقه ای
					-۰/۷۴	۱/۹۰۱	شیاری
۰/۴۹۴	۰/۷۰۳	۴۶/۸	۰/۹۷۶	تابع ۲	۱/۱۸۹	-۰/۰۱۵	خندقی



شکل۶. دیاگرم توابع تفکیکی- کانونی برای انوع فرسایش بر مبنای به‌کارگیری کل متغیرهای فیزیکو- شیمیایی

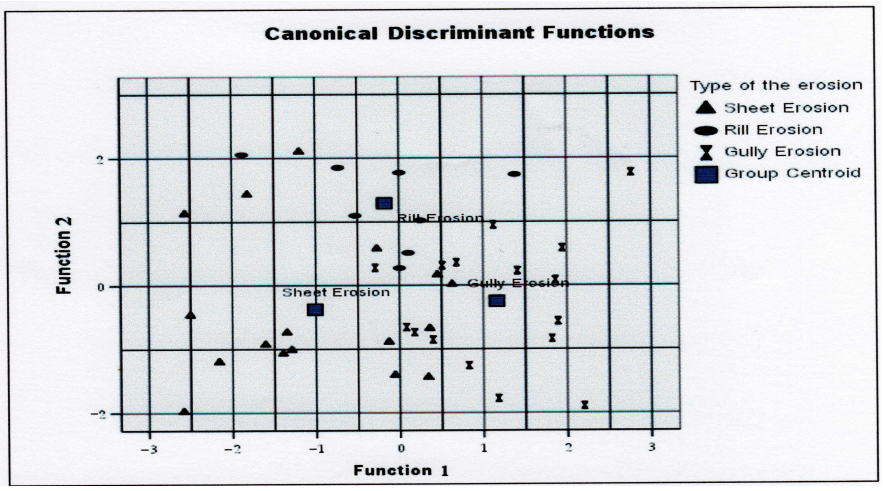
جدول۸. ضرایب متغیرهای فیزیکو- شیمیایی درتوابع فیشر برای پیش‌بینی تعلق مشاهدات به اشکال فرسایشی

فرسایش خندقی	فرسایش شیاری	فرسایش ورقه‌ای	نوع متغیر	فرسایش خندقی	فرسایش شیاری	فرسایش ورقه‌ای	نوع متغیر
۲۱۷۲۹/۷۵۸	۲۱۷۱۲/۲۹۲	۲۱۷۴۵/۸۴۱	لگاریتم وزن رواناب	۱۶/۳۸۴	۱۶/۲۲۶	۱۶/۰۲۶	درصد مواد خنثی شونده
۸۳۳۰/۶۲۱	۸۳۱۸/۱۳۴	۸۳۳۹/۱۶۴	لگاریتم وزن آب نفوذ یافته	۶۲۳/۳۳۸	۶۳۲/۷۸۲	۶۲۱/۷۶۲	اسیدیته
-۴۹۳/۹۵۳	-۴۹۶/۶۶۸	-۴۹۵/۹۶۸	لگاریتم نسبت جذب سدیم	۳۳/۸۶۳	۳۳/۹۳۱	۳۳/۵۹۰	ظرفیت تبادل کاتیونی
۲۴۲۷/۳۵۵	۲۴۴۹/۱۱۱	۲۴۳۰/۳۸۱	لگاریتم مجموع آنیون‌ها	۳۳/۷۸۹	۳۶/۱۹۳	۳۶/۲۰۷	درصد رس
۲۰۱/۳۲۲	۲۰۸/۴۸۸	۲۰۶/۶۶۰	لگاریتم مقدار یون کلر	۱۳/۵۴۹	۱۳/۵۸۲	۱۳/۲۹۳	درصد سیلت
۲۰۱/۳۲۲	۲۰۸/۴۸۸	۳۴۶/۰۰۲	لگاریتم مقدار یون بی کربنات	۴۶۲۰/۱۱۱	۴۵۹۴/۴۹۹	۴۵۵۱/۹۸۶	وزن مخصوص واقعی
-۲۶۶۳/۹۴۶	-۲۶۹۴/۵۶۴	-۲۶۷۰/۸۱۰	لگاریتم مجموع کاتیون‌ها	۲۰/۶۴۰	۱۸/۱۶۳	۱۷/۸۰۷	حد روانی
۳۱۱/۶۳۲	۳۱۳/۸۰۴	۳۱۲/۰۳۰	لگاریتم مقدار یون سدیم	-۱/۷۲۲	۱/۴۵۲	۱/۱۴۰	حد خمیری
۱۵۶/۱۹۳	۱۶۳/۵۴۷	۱۵۷/۵۷۹	لگاریتم مقدار یون کلسیم	۴۷/۹۵۳	۴۷/۷۸۳	۴۷/۴۰۵	فاکتور فرم آبراهه
۲۲۲/۹۸۹	۲۲۲/۸۳۱	۲۲۳/۸۰۴	لگاریتمفاکتور حرکات توده‌ای خاک	-۲۵۷۱۲/۱۹۴	-۲۵۴۴۷/۰۷۲	-۲۵۵۰۲/۲۸۶	فعالیت
۲۹۸۵/۷۴۵	۳۰۳۹/۸۲۱	۲۹۶۶/۶۰۲	لگاریتم وزن رسوب به وزن رسوب	۱۷۰۱۱/۹۴۷	۱۶۸۶۳/۶۶۴	۱۶۹۲۹/۸۴۱	فعالیت اصلاح شده
-۵۵۶۵۳/۹۲۵ = ضریب ثابت خندقی			-۵۵۶۰۴/۹۰۸ = ضریب ثابت شیاری			-۵۵۵۱۹/۷۷۹ = ضریب ثابت ورقه ای	

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]

جدول۹. مشخصات دو تابع تفکیک‌کننده بر مبنای متغیرهای شیمیایی برای سه شکل فرسایشی

مقادیر پارامترهای ارزش تفکیکی توابع					مرکزیت گروه‌های فرسایشی در تابع ۲	مرکزیت گروه‌های فرسایشی در تابع ۱	نوع فرسایش
ضریب دقت اتا	همبستگی کانونی	درصد واریانس	ارزش ویژه	نوع تابع			
۰/۵۰۷	۰/۷۱۲	۷۰/۱	۱/۰۲۸	تابع ۱	-۰/۳۷۳	-۱/۰۰۹	ورقه‌ای
					۱/۲۹	-۰/۱۷۳	شیاری
۰/۳۰۵	۰/۵۵۲	۲۹/۹	۰/۴۳۹	تابع ۲	۰/۲۴۹	۱/۱۵۹	خندقی



شکل۷. دیاگرام توابع تفکیکی- کانونی برای انواع فرسایش بر مبنای بکارگیری متغیرهای شیمیایی

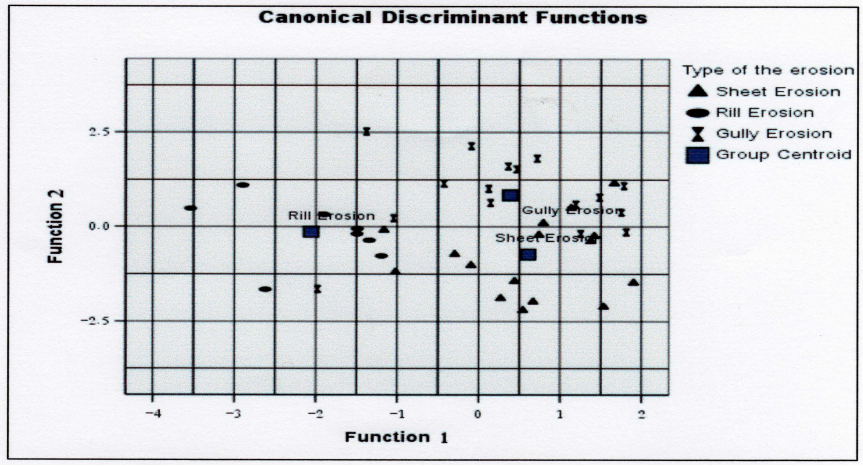
جدول۱۰. ضرایب متغیرهای شیمیایی در توابع فیشر برای پیش‌بینی تعلق مشاهدات به اشکال فرسایشی

نوع متغیر	نوع فرسایش			نوع متغیر	نوع فرسایش		
	ورقه‌ای	شیاری	خندقی		ورقه ای	شیاری	خندقی
درصد مواد خنثی شونده	۲/۲۱۷	۲/۲۱۴	۲/۴۰۸	لگاریتم مجموع کاتیون‌ها	-۳۷۳/۳۹۷	-۳۹۹/۰۴۹	-۳۵۲/۶۹۴
اسیدیته	۳۴۰/۳۹۸	۳۴۸/۲۵۲	۳۲۴/۱۳۱	لگاریتم مقدار سدیم	۹۵/۷۱۶	۱۰۰/۹۴	۱۰۲/۳۰۲
ظرفیت تبادل یونی	-۴/۷۹۹	۴/۷۹۰	۴/۸۸۵	لگاریتم مقدار کلسیم	۲۴۸/۵۵۲	۲۵۱/۷۴۷	۲۴۸/۴۵۱
لگاریتم	-۵۸/۴۹۹	-۶۱/۷۷۹	-۵۹/۹۵۰	لگاریتم درصد کربن آلی	-۴۱/۸۰۷	-۴۳/۵۱۲	-۴۶/۰۲۴
لگاریتم مجموع آنیون‌ها	۴۱۲/۹۷۷	۴۳۹/۳۱۲	۴۱۸/۹۶۳	لگاریتم مقدار گچ	-۶۵/۹۳۶	-۶۸/۶۶۷	-۶۹/۹۴۹
لگاریتم مقدار کلر	-۳۸/۰۸۶	-۴۰/۷۴۹	-۴۵/۷۷۴	لگاریتم هدایت الکتریکی	-۱۷۷/۰۷۷	-۱۷۷/۸۱۶	-۱۹۹/۵۲۰
لگاریتم بی‌کربنات	۸۳۰-۸۸	۸۶/۴۷۲	۸۹/۷۴۰	ضریب ثابت تابع	-۱۶۳۸/۹۵۷	-۱۷۰۷/۱۹	-۱۷۰۹/۱۹۵

جدول۱۱. مشخصات دو تابع تفکیک‌کننده بر مبنای متغیرهای فیزیکی برای سه شکل فرسایشی

مقادیر پارامترهای ارزش تفکیکی توابع					مرکزیت گروه‌های فرسایشی در تابع ۲	مرکزیت گروه‌های فرسایشی در تابع ۱	نوع فرسایش
ضریب دقت اتا	همبستگی کانونی	درصد واریانس	ارزش ویژه	نوع تابع			
۰/۵۲۹	۰/۷۲۷	۶۷/۴	۱/۱۲۰	تابع ۱	-۰/۷۲۹	۰/۶۰۶	ورقه ای
					-۰/۱۳۹	-۲/۰۵۹	شیاری
۰/۳۵۲	۰/۵۹۳	۳۲/۶	۰/۵۴۲	تابع ۲	۰/۸۴۴	۰/۳۸۶	خندقی

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]



شکل۸. دیاگرام توابع تفکیکی- کانونی برای انواع فرسایش بر مبنای به‌کارگیری متغیرهای فیزیکی

جدول۱۲. ضرایب متغیرهای فیزیکی در توابع فیشر برای پیش‌بینی تعلق مشاهدات به گروه‌های فرسایشی

نوع متغیر	نوع فرسایش			نوع متغیر	نوع فرسایش		
	ورقه ای	شیاری	خندقی		ورقه ای	شیاری	خندقی
درصد رس	۷۴/۰۸۱	۷۴/۰۱۳	۷۳/۸۰۸	لگاریتم‌امتیاز قطعات‌سنگی	۲۰۴/۴۰۷	۱۹۹/۳۹۸	۲۰۳/۸۱۷
درصد سلیت	۲۱/۵۱۲	۲۱/۶۶۲	۲۱/۶۹۲	لگاریتم‌امتیاز پوشش خرده سنگی	-۱۴۴/۶۹۷	-۱۴۳/۳۱۰	-۱۴۲/۳۴۴
وزن مخصوص واقعی	۴۰۵۵/۵۹۴	۴۰۹۴/۹۶۸	۴۰۸۹/۸۹۸	لگاریتم‌امتیاز پوشش‌لاشبرگ	-۱۱۰۱/۵۶۳	-۱۰۸۶/۴۴۸	-۱۱۰۲/۶۴۴
حد روانی	-۱۷۷/۵۶۹	-۱۷۷/۴۳۰	-۱۷۷/۰۰۲	لگاریتم امتیاز حرکت‌های‌توده‌ای	۴۳۵/۰۷۰	۴۲۴/۸۳۵	۴۳۴/۹۲۸
حد خمیری	۲۵۸/۴۲۸	۲۵۸/۹۷۲	۲۵۸/۱۹۷	لگاریتم درصد شیب	۳۸۶/۹۹۶	۳۹۲/۲۳۶	۳۸۸/۳۰۱
امتیاز آبراهه	۳۵/۳۱۴	۳۵/۵۶۰	۳۵/۵۷۴	نسبت لگاریتم وزن رسوب به وزن رسوب	۷۲۳/۸۶۲	۱۱۸۱۷/۲۵۳	۱۱۷۷۷/۱۳۰
اکتیویته	۳۰۷۱/۵۸۰	۳۱۲۱/۵۶۱	۳۱۷۰/۱۹۲	بافت C	۲۰۷/۹۹۱	۲۰۹/۲۹۸	۲۰۸/۸۷۰
اکتیویته اصلاح شده	۱۹۸۹/۶۲۷	۱۹۴۶/۷۴۳	۱۹۰۳/۳۰۲	بافت C.L	-۴۵/۵۸۷	-۴۱/۶۶۵	-۴۴/۰۵
لگاریتم وزن رواناب	۲۵۵۹۰/۶۱۵	۲۵۵۴۹/۲۲۸	۲۵۶۰۶/۲۴۱	بافت Si.c	-۲۶۰/۶۹۴	-۲۵۷/۸۹۰	-۲۵۹/۴۵۶
لگاریتم وزن نفوذ	۹۸۱۰/۶۴۶	۹۷۷۸/۱۲۳	۹۸۱۶/۸۸۵	**ضریب ثابت**	-۶۰۶۸۰/۶۱۰	-۶۰۴۳۷/۴۸۱	-۶۰۵۱۴/۳۷۸

نتیجه‌گیری

بررسی میزان املاح موجود در مناطق فرسایشی نشان می‌دهد که مقادیر سولفات، منیزیم و به‌خصوص مقدار سدیم و در نتیجه نسبت جذب سدیم و E_c در مناطق دارای فرسایش خطی (شیاری و خندقی) نسبت به مناطق دارای فرسایش سطحی بیش‌تر است. همین امر موجب افزایش pH در این مناطق و وجود تفاوت معنی‌دار بین مناطق فرسایشی گردیده است. این افزایش pH از سویی سبب انحلال یون‌های آلومینیم، سیلیس و آهن و در نتیجه

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]

انحلال کانی‌های فیلوسیلیکاته و از سوی دیگر سبب بالا رفتن حد بحرانی انعقاد خاك‌دانه‌ها شده و موجب بیش‌تر پخشیده شدن خاك‌دانه‌ها در مناطق خندقی و شیاری شده است. و در نتیجه اسیدیته به‌عنوان عاملی نسبتاً مؤثردر تعیین و تفکیك نوع فرسایش در منطقه ظاهر شده است. البته چنان‌که قبلاً بیان گردید این نقش زیاد قوی نیست و در نزدیکی مرز معنی‌داری واقع گردیده است. ارزیابی داده‌های فیزیکو- شیمیایی حاصل از مارن‌های همدان با آنالیز تمیزی به‌روش همگانی و معادلات تفکیکی به‌دست آمده از آن‌ها، نشان می‌دهد که شکل فرسایش در منطقه بیش‌تر تابع مجموعه‌ای از عوامل و تأثیر آن‌ها برهم است، به‌طوری‌که حساسیت توابع فیشر در پیش‌بینی نوع فرسایش که در این بررسی به‌دست آمده است برای متغیرهای شیمیایی، فیزیکی و فیزیکوشیمیایی به‌ترتیب معادل با ۷۵/۶، ۸۲/۹ و ۷۸ درصد است و نشان می‌دهد که اولاً نوع فرسایش تابع مجموعه‌ای از پارامترها است و ثانیاً مجموعهٔ متغیرهای فیزیکی بیشتر و بهتر از مجموعهٔ متغیرهای شیمیایی و فیزیکو- شیمیایی در تشکیل و پیش‌بینی نوع فرسایش مؤثرند که شاید دلیل آن این است که هر چند اثر تك تك متغیرها در میزان و نوع فرسایش کاملا معنی‌دار نیست ولی میزان آن‌ها به اندازه‌ای است که متوسط اثر بخشی آن‌ها بر نوع فرسایش بیش‌تراز متوسط اثر بخشی کل متغیرهای شیمیایی و بیش‌تر از متوسط کل متغیرهای فیزیکوشیمیایی است. در این بررسی توابعی به‌نام توابع فیشر برای انواع فرسایش در منطقه به‌دست آمده که به‌کمك آن‌ها می‌توان نوع فرسایش در مارن یك نقطه از منطقه را بدون مراجعه، با دقت قابل قبول شناسایی و یا پیش‌بینی کرد. فقط کافی است که با آزمایش مقادیر متغیرها مشخص گردد و در معادلات توابع فیشر قرار داده شود. تابعی که بزرگ‌ترین مقدار عددی از آن به‌دست می‌آید نشان دهندهٔ نوع فرسایش غالب و احتمالاً ایجاد شده در محیط است. به‌عنوان نتیجه‌ای نهایی می‌توان گفت که برای شناسایی عوامل مؤثر در تشکیل نوع فرسایش و ارزیابی حساسیت آن‌ها یا تنظیم معادلات پیش‌گو و کارآمد برای هر نوع مارن، باید مارن‌ها را در مناطق مختلف و گسترهٔ وسیعی با آنالیز تعداد زیادی نمونه بررسی کرد که روش بررسی به‌کار رفته در این تحقیق می‌تواند الگوی مناسبی برای این کار باشد.

منابع

۱. اسدیان، م. ص.، *کانی‌شناسی خاك‌های دشت اسدآباد*، مجموعه مقالات نهمین کنگره علوم خاك ایران، تهران، جلد دوم (۱۳۸۴).

۲. افشانی، ع. ر.، نوریان، م. و حسینی رامشه، ز.، *فرازی بر SPSS* ، انتشارات بیشه، (۱۳۸۴) ۳۳۰.

۳. پیروان، ح . و اسدی، ت.، *مروری برنقش عوامل فیزیکو- شیمیایی مؤثر بر اشکال فرسایش در پهنه‌های مارنی*، نهمین کنگره علوم خاك ایران، (۱۳۸۴) ۵۶۰ تا ۵۶۲.

۴. رفاهی، ح. ، *فرسایش آبی و کنترل آن*، انتشارات دانشگاه تهران، (۱۳۷۵) ۵۵۱.

۵. زرگر، م.، *راهنمای جامع $SPSS_{13}$ همراه با تمرین‌های علمی و کاربردی*، تهران، انتشارات بهینه، (۱۳۸۴) ۵۵۶.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]

۶. عباسی، ن و عبدی، پ.، *بررسی رابطه بین خصوصیات شیمیایی مارن‌ها با رفتارهای محیطی آن‌ها (مطالعه موردی حوزه قزل اوزن سفلی در منطقه طارم علیای استان زنجان)*، چهارمین همایش زمین شناسی و محیط زیست ایران، ۲-۳ اسفند ۱۳۸۴، تهران دانشگاه تربیت مدرس، ایران، (۱۳۸۴) ۹۰۴ تا۹۱۱.

۷. طاحونی، ش.، *اصول مهندسی ژئوتکنیك (جلد اول- مکانیك خاك)*، انتشارات مترجم، (۱۳۷۱) ۶۸۶.

۸. قدیمی‌عروس‌محله، ف.، *بررسی رابطه اشکال فرسایش با خصوصیات شیمیایی و فیزیکی مارن‌ها*، فصلنامه پژوهش و سازندگی شماره‌های ۴۲-۴۱-۴۰، (۱۳۷۷) ۹۵ تا ۹۹.

۹. قدیمی عروس محله، ف.، پورمتین، ا و قدوسی، ج.، *بررسی امکان طبقه بندی مارن‌ها بر اساس خصوصیات فیزیکو شیمیایی در منطقه تفرش*، فصلنامه پژوهش و سازندگی، شماره‌های۴۲-۴۱-۴۰، (۱۳۷۸) ۳۰تا ۳۵.

10. G. Bineto, G. Gutierrez, C. Sancho, "Erosion rates in Badland areas of the central Elbro Bassin (NE- Spain)", Catena, 19 (3-4) (1992) 269-286.

11. Z. Bouma, "Investigation of relationships between measured field indicators and erosion processes on badland surface at petrer", Spain, University of Amesterdam (1998).

12. N. A. Bouma, A. C. Imeson, "Investigation of relationships between measured field indicators and erosion processes on badland surfaces at patrer", Spain. Caten, 40 (2000) 147-171.

13. C. Fo. Castro, T. J. Logan, "Liming effects on the stability of some Brazilian oxisols", Soil Sci. Soc. Am. J. 55 (1991) 1407-1413.

14. G. J. Green land, D. payne, "Determination of the structural stability class of English and welsh soil using a water coherence test", J. Soil Sci. 46 (1975) 294-303.

15. B. H. Heed, "Characteristics and processes of soil piping in gullies Dep", Of Agric. forest serv, Paper, Rm. 68 (1971) 15.

16. A. C. Imeson, F. J. Kwaad, J. M. Wereraten, "The relationship of soil physical and chemical properties to the development of badland in Morocco", In: Bryan, R. & yair, A. Badland geomorphology and piping (1982) 47-70, Geobooks.

17. W. P. Miller, "Infiltration and soil loss of three gypsum-amended altisols under simulated rain fall", Soil Sci. Soc. AM.J. 51 (1987)1314-1320.

18. A. M. O. Mohamed, "The role of clay minerals in marly soils on its stability", Engineering Geology, 57 (2000) 193-203.

19. V. R. Ouhadi, R. N. Yong, "The role of clay fraction of marly soil on their post stabilization failure engineering geology (2003).

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]

20. S. M. Rienks, G. A. Botha, J. C. Hughes, "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 Layers, South Africa, Hughes University of Natal (1999).

21. C. B. Roth, T. W. Nelson, M. J. M. Romkens, "Prediction of sub soil erodibility using cemical mineralogical and physical parameters environmental protection Agency", Washing (1984).

22. J. B. Thornes," Erosional processes of running water and their spatial and temporal controls: A theoretical viewpoint", In: M.J. Kirkby and R. P. C. Morgan (Editors), SOIL EROSION, Wiley (1980)128-129.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]