

طبقه‌بندی و تعیین شاخص‌های فرسایش‌پذیری مارن‌های استان اصفهان

فرزاد حیدری^{۱*} و راضیه صبحی^۲

^۱ مربی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران و
^۲ دانشجوی دکتری مرتعداری، دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان و کارشناس، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۳/۱۷

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۷/۱۱

چکیده

سازندهای مارنی در حوزه‌های آبخیز، همواره از نظر تولید رسوب مشکل‌ساز هستند. هدف از این بررسی، طبقه‌بندی مارن‌های استان اصفهان بر اساس شاخص‌های فرسایش‌پذیری و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن‌ها می‌باشد. در این راستا، ابتدا واحدهای مارنی استان، شناسایی و میزان تولید رسوب آن‌ها با استفاده از دستگاه باران‌ساز، اندازه‌گیری شد. سپس بر اساس شکل فرسایش از آن‌ها نمونه‌برداری و تحلیل‌های فیزیکی و شیمیایی خاک بر روی نمونه‌ها انجام شد. برای دسته‌بندی واحدهای مارنی از روش آماری تحلیل خوشه‌ای استفاده شد. تحلیل‌ها با سه دسته اطلاعات شیمیایی، فیزیکی و مجموع اطلاعات فیزیکی و شیمیایی به همراه اطلاعات شیب و رسوب اندازه‌گیری شده در اثر بارش با شدت شش میلی‌متر در ساعت در هر مرحله از تحلیل انجام شد. نتایج نشان داد، موثرترین عوامل ایجاد تشابه در مارن‌ها، خصوصیات شیمیایی و اثرات اقلیمی می‌باشد. با توجه به اطلاعات حاصل از بررسی‌های انجام‌شده و نتایج به‌دست آمده، می‌توان اقلیم را به‌عنوان مؤثرترین عامل در به وجود آوردن اختلافات بین واحدهای مارنی در بخش‌های مختلف این استان معرفی نمود. چون علاوه بر اثرات مستقیمی که در ایجاد و تکامل مارن‌ها دارا می‌باشد، سایر پارامترها را نیز به‌صورت مستقیم و غیر مستقیم تحت تأثیر قرار می‌دهد و انتخاب هر کدام از این پارامترها به‌نحوی مرتبط با اقلیم است.

واژه‌های کلیدی: اثرات اقلیمی، تحلیل خوشه‌ای، تولید رسوب، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی، دستگاه باران‌ساز

مقدمه

خود نشان می‌دهند، به‌عنوان یکی از مسئله‌سازترین سنگ‌های رسوبی مورد توجه قرار گرفته‌اند. با توجه به گسترش سنگ‌های مارنی در ایران و گسترش روزافزون احداث سازه‌های گوناگون که به‌نحوی با سنگ‌های مارنی در ارتباط است، شناخت ویژگی‌های این سنگ‌ها و سازند اهمیت خاصی پیدا می‌کند (Feiznia, ۲۰۰۳; Mohamed, ۲۰۰۰).

تحقیقات انجام شده، نشان داده است که

مارن مخلوطی از ۳۵ تا ۶۵ درصد رس به‌همراه کانی‌های دیگری مانند کربنات کلسیم و یک یا چند ترکیب شیمیایی دیگر از جمله ژپس، انیدریت و نمک طعام گفته می‌شود که پس از فرایند سخت شدن و زایش سنگ، تبدیل به سنگ مارن می‌شود (Khamechian, ۱۹۹۰). سنگ‌های مارنی با توجه به شرایط تشکیل و رفتاری که به هنگام بهره‌برداری از

در ارتباط با پژوهش حاضر انجام گرفته است. از جمله Sokouti و Razagi (۲۰۱۵) در تحقیقی تحت عنوان فرسایش‌پذیری و از دست رفتن خاک‌ها با منشا مارنی، رابطه میان فرم و میزان فرسایش در مارن با خواص فرسایش‌پذیری آن‌ها را بررسی کرده و نشان دادند که میزان فرسایش می‌تواند متوسطی از کل باشد که در فرسایش خندقی بالاترین مقدار در تمام وسعت اراضی مارنی بود. همچنین، در کتابی که به‌وسیله USDA در سال ۲۰۱۲ منتشر شده، با استفاده از خواص معین ماده سنگ مانند خواص مربوط به خود سنگ و توده سنگ مربوط به توده سنگ در محل، از جمله ناپیوستگی آن اقدام به تعیین میزان مقاومت و پایداری آن کرده‌اند (USDA, ۲۰۱۲). Hassanzadeh Nafoti (۲۰۱۲) نشان داد که در طبقه‌بندی زمین، میزان فرسایش‌پذیری و رسوب نقش مهمی ایفا می‌کند و واحدهای مارنی تولید بیشتر رسوب در واحدهای زمین‌شناسی حوضه را داشته، طبقه‌بندی آن با توجه به خواص شیمیایی می‌تواند بسیار مفید در شناخت حساسیت اراضی به فرسایش و پردازش اولویت برای اقدامات اصلاحی باشد. Jung و همکاران (۲۰۰۹) در تحقیقی برای طبقه‌بندی مارن‌ها، از خصوصیات فیزیکی ساختاری آن‌ها استفاده کردند و در نهایت به این نتیجه رسیدند که می‌توان با ایجاد تغییراتی در مارن از آن به‌عنوان ماده‌ای در ساخت و ساز مهندسی استفاده کرد. در سال ۲۰۰۵ طی بررسی کمیته فنی بخش محیط زیست وزارت محیط زیست و فواید عامه طرحی تحت عنوان اقدام ملی برای دو منطقه باربودا و آنتیگوا تنظیم و طی این مطالعه مشخص شد، مارن‌ها لایه سطحی سنگ سیلت‌استون را تشکیل داده، نسبت به سایر لایه‌ها مقاومت کمتری نسبت به فرسایش دارند (United Nations Convention to Combat Desertification, ۲۰۰۵). در مطالعه انجام‌شده در داخل ایران به‌وسیله Hassanzadeh و همکاران (۲۰۱۲)، نشان داده شد که واحدهای مارنی، بیشترین رسوبات را در بین واحدهای سنگ‌شناسی در حوزه‌های آبخیز تولید می‌کنند. در این مطالعه، برای مقایسه واحدهای مارنی حوزه آبخیز ایوانکی از نظر فرسایش‌پذیری و تولید رسوب، از یک باران‌ساز قابل حمل در صحرا استفاده شد. نتایج

سنگ‌های غیر متصل و خصوصاً سازندهای مارنی‌گچی با وجود رخنمون کم، دارای تولید رسوب قابل توجه هستند. از طرفی، عواملی نظیر اقلیم، پوشش گیاهی و بارش نقش قابل توجهی در رسوب‌زایی آن دارد (Feiznia, ۲۰۰۳). در صورتی که عوامل مذکور به غیر از عامل لیتولوژی برای واحدهای همگن یکسان باشد، می‌توان نقش لیتولوژی خصوصاً انواع مارن را در ایجاد رسوب مشخص کرد.

مارن‌های ایران بر اساس دارا بودن مواد قابل انحلال آهک، نمک طعام، گچ و انیدریت به دو دسته مارن‌های تبخیری و مارن‌های غیر تبخیری تقسیم می‌شوند. از نظر سنی نیز به دو دسته مارن‌های قبل از ترشیاری و مارن‌های ترشیاری تقسیم می‌شوند. عمده مارن‌های تبخیری متعلق به ترشیاری و عمده مارن‌های غیر تبخیری متعلق به قبل از ترشیاری است (Feiznia و همکاران، ۲۰۰۵).

استان اصفهان در مرکز ایران و در وضعیتی قرار گرفته که از نظر ساختار زمین‌شناسی موقعیت خاصی داشته است. به‌گونه‌ای که بخشی از هر سه زون مهم زمین‌شناسی و زمین‌ساخت ایران یعنی زون سندج-سیرجان و ارومیه-دختر از منطقه کاشان و گلپایگان تا مرداب گاوخونی، زون زاگرس چین‌خورده در جنوب و جنوب غرب استان از منطقه فریدون‌شهر تا سمیرم و زون ایران مرکزی در شمال شرق استان (منطقه خور و بیابانک) را در گستره خود جای داده است.

نقش سازندهای سست دوران سوم به‌ویژه مارن‌ها در تولید رسوب در مناطق مختلف جغرافیایی و اقلیمی به اثبات رسیده است. اما تأثیر تفاوت‌های جغرافیایی و اقلیمی بر فرایند تولید رسوب و عوامل موثر بر تولید رسوب سازندهای مارنی به‌خوبی تفکیک نشده‌اند. لذا، مطالعه پراکنش این سازندها و پتانسیل رسوب‌دهی آن‌ها هدف و ضرورت این تحقیق را در بر می‌گیرند. همچنین، استان اصفهان دارای رخنمون‌های مارنی بسیاری مربوط به دوران دوم و سوم زمین‌شناسی در شرق، شمال و جنوب است که شناسایی و طبقه‌بندی آن‌ها از نظر فیزیکی و شیمیایی و همچنین، تعیین شاخص‌های فرسایش‌پذیری آن‌ها در هدایت، کنترل و مدیریت کردن رسوب در حوزه‌های آبخیز، نقش به‌سزایی دارد. مطالعاتی در سطح داخلی و بین‌الملل

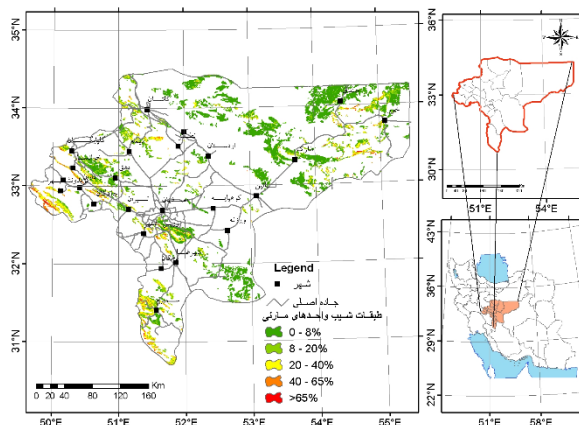
خندقی و فرسایش آبراهه‌ای (با شیب پنج درصد) واگرایی متوسط نشان می‌دهد. طبق آزمایش پین‌هول انجام‌شده در فرسایش آبراهه‌ای و فرسایش خندقی واگرایی متوسط از خود نشان دادند.

با توجه به نتایج حاصل از مطالعات ارائه شده، ضرورت شناسایی سازنده‌های مارنی که نقش به‌سزایی در تولید رسوب حوزه‌های آبخیز در ایران و جهان دارند، بیش از پیش مشخص می‌شود. در این راستا، شناسایی پارامترهایی که بر فرسایش این سازند حساس تأثیرگذار است، از اولویت‌های مطالعه محسوب می‌شود. با این وجود، نقش سازنده‌های مارنی در مناطق مختلف به لحاظ تولید رسوب متفاوت است. شرایط جغرافیایی، اقلیمی و توپوگرافی منطقه بر میزان حساسیت به فرسایش تأثیرگذار است. به همین دلیل، محققان مختلف، ارتباط بین عوامل مختلف و تولید رسوب و همچنین، فرسایش‌پذیری سازنده‌های مارنی را در شرایط جغرافیایی و توپوگرافی مختلف بررسی کرده‌اند.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد پژوهش: استان اصفهان با مساحت حدود ۱۰/۵ میلیون هکتار، معادل ۶/۵ درصد از وسعت کشور را به خود اختصاص داده، بین مختصات جغرافیایی $37^{\circ} 37'$ تا $49^{\circ} 29'$ طول شرقی و 30° تا $34^{\circ} 30'$ عرض شمالی از نصف‌النهار گرینویچ قرار گرفته است (شکل ۱).

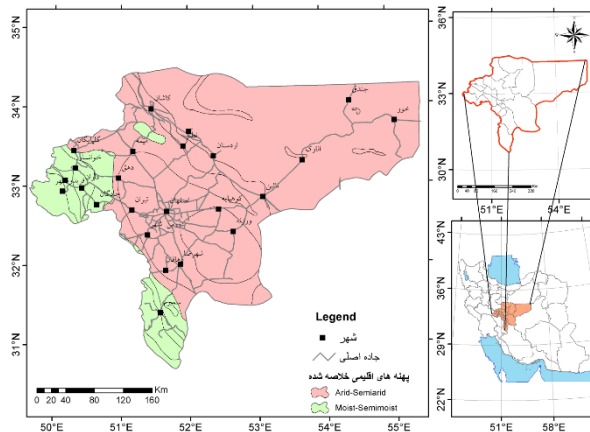
رگرسیون خطی چند متغیره بین ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی مارن‌ها (متغیرهای مستقل) و میزان رسوبدهی آن‌ها (متغیر وابسته) نشان داد که ویژگی‌هایی مانند EC، SAR و K به ترتیب پنج، ۳/۸۹ و ۱/۵ درصد تغییرات رسوب تولید شده را در واحدهای مختلف مارنی توجیه کردند. همچنین، مقادیر متوسط تولید رسوب واحدهای مختلف مارنی از طریق باران‌ساز نشان داد که واحدهای مارنی تبخیری (M1، M2 و M3) نسبت به مارن‌های دریایی سازند قم و مارن‌های کرانه‌ای سازند کند، ۲۷ تا بیش از ۱۰۰ برابر توان تولید رسوب دارند (Hassanzade و همکاران، ۲۰۰۸). Ghasemi Dehnavi و همکاران (۲۰۱۵) طی تحقیقی با بررسی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی مارن‌های نفوذ بر اشکال و شدت فرسایش در منطقه ورامین جنوب شرق استان تهران با انجام آزمایش‌هایی نظیر دانه‌بندی، حدود آتربرگ، تحلیل‌های شیمیایی نظیر کاتیون‌ها و آنیون‌ها، نسبت جذب سدیم (SAR) هدایت الکتریکی (Ec) کل مواد محلول جامد (TDS) و هیدرومتری دوگانه و پین‌هول و با مقایسه شاخص خمیری در بین اشکال مختلف فرسایش مشخص کردند که شاخص خمیری فرسایش سطحی نسبت به سایر اشکال فرسایش، اختلاف زیادی ندارد. مقدار ظرفیت تبادل کاتیونی در فرسایش آبراهه‌ای و خندقی بیشتر از بقیه واحدهای سازند قرمز بالایی است. نتایج حاصل از آزمون‌های هیدرومتری دوگانه نشان‌دهنده عدم واگرایی می‌باشد ولی نمونه‌های دست‌نخورده برداشت شده از فرسایش



شکل ۱- نقشه شیب پهنه‌های مارنی در استان اصفهان

کرتاسه فوقانی K2، مارن‌های پالئوسن و انوسن E1، مارن‌های قرمز زیرین OL، مارن سازند قم OMq، مارن قرمز بالایی و میوسن MU و مارن‌های تفکیک نشده پلیوسن PL هستند. سپس نقشه شیب بر اساس نقشه DEM منتج از تصاویر رادار با دقت ۸۵ متر، تهیه شد (شکل ۲) و نقشه اقلیم مناطق مارنی استان بر اساس روش دومارتن گسترده شد، که دارای هفت طبقه فراخشک، خشک، نیمه‌خشک، کمی نیمه‌خشک، خشک تا نیمه‌خشک، نیمه مرطوب و مرطوب می‌باشد، تهیه شد (JAMAB Company, ۱۹۹۶). به‌منظور مشخص کردن همگن‌ترین واحدهای کاری، از هم‌پوشانی نقشه اقلیم بر آخرین نقشه به‌دست آمده (پوشش نقشه مناطق مارنی و نقشه شیب)، چگونگی پراکنش و میزان واحدهای مارنی در پهنه‌های اقلیمی مختلف بررسی شد.

تهیه نقشه واحدهای مارنی: برای تهیه نقشه واحدهای مارنی، ابتدا در ۱۶ برگه ۱:۲۵۰۰۰۰ نقشه‌های زمین‌شناسی شامل برگه‌های جندق، کوه گوگرد، آران، قم، خور، انارک، کاشان، گلپایگان، دره انجیر، نائین، اصفهان، شهرکرد، آباد، بروجن، بهبهان و ۱:۱۰۰۰۰۰ ایزدخواست که تمام سطح استان اصفهان را در بر می‌گیرند، این واحدها شناسایی و با توجه به این که واحدهای مارنی در برگه‌های مختلف با نام‌های متفاوت معرفی شده‌اند، واحدهای هم‌نام و هم‌جنس (سازندهای مشابه) در هم ادغام شدند. بر اساس نقشه‌های به‌دست آمده، ۸۱ واحد سنگی مارنی غیر هم‌نام شناسایی و بر اساس ویژگی‌های لیتولوژی و بررسی صحرایی، در هم ادغام شدند و تعداد واحدهای سنگی، به هفت زیر واحد تقبیل یافت. در سطح استان اصفهان واحدهای مارنی ادغام شده، شامل مارن‌های قبل از کرتاسه و کرتاسه زیرین KC1، مارن‌های



شکل ۲- نقشه اقلیم به روش دومارتن در استان اصفهان

مشخص شد.

نمونه‌برداری: با استفاده از اطلاعات ارائه شده در بالا و با توجه به شرایط موجود از بین مکان‌هایی که بیشترین خصوصیات مشترک را دارا بودند، پنج منطقه انتخاب و نمونه‌برداری‌ها در آن مکان‌ها انجام شد. این مناطق عبارتند از روستای خفر شهرستان سمیرم، شهرستان کاشان و روستای بازیاب از توابع شهرستان خور و بیابانک و محل‌های نمونه‌برداری در سه منطقه به شرح زیر است.

در روستای خفر شهرستان سمیرم، الف- بر روی

بر اساس بازدیدهای میدانی، سه تیپ فرسایشی سطحی، شیاری و خندقی در بعضی از پهنه‌های مارنی مناسب برای نمونه‌برداری تشخیص داده شد. پس از بازدید و بررسی نهایی، به‌منظور تهیه واحدهای کاری همگن، با هم‌پوشانی نقشه‌های واحدهای مارنی (هفت رده)، شیب (پنج رده) و اقلیم (دو رده) در محیط GIS با استفاده از نرم‌افزار ILWIS 3.3 و اعمال فیلترهای ادغام‌کننده^۱ و ادغام واحدهای کوچک‌تر در واحدهای بزرگ‌تر، همگن‌ترین مکان‌ها برای نمونه‌برداری

^۱Generalization

رخنمون‌های مارنی، فرسایش خندقی و در روستای بازیاب از توابع شهرستان خور و بیابانک، الف- بر روی رخنمون‌های مارنی، فرسایش شیاری، ب- بر روی رخنمون‌های مارنی، فرسایش خندقی نزدیک هدکت، ج- بر روی رخنمون‌های مارنی، فرسایش خندقی، پای دامنه (جدول ۲).

رخنمون‌های مارنی، حاشیه باغ سیب و گندم دیم، فرسایش شیاری، ب- بر روی رخنمون‌های مارنی، حاشیه باغ سیب در امتداد شیارها، فرسایش خندقی، ج- بر روی رخنمون‌های مارنی، حاشیه جاده اصلی، فرسایش سطحی، در شهرستان کاشان، الف- بر روی رخنمون‌های مارنی، فرسایش سطحی، ب- بر روی رخنمون‌های مارنی، فرسایش شیاری، ج- بر روی

جدول ۲- مشخصات و مکان‌های نمونه‌برداری

کد	نام محل نمونه‌برداری	مختصات	نام واحد لیتولوژی	درصد شیب	شکل فرسایش غالب
۱	B24 بازیاب	E= 54° 45' 45.8" N=33° 28' 02.9"	سازند بازیاب	۱۵	خندقی
۲	B23 بازیاب- پای دامنه	E= 54° 43' 45.4" N=33° 28' 02"	سازند بازیاب	۱۳	خندقی
۳	BZ1 بازیاب ۱- نمونه شماره ۱	E= 54° 42' 50.6" N=33° 27' 48.1"	سازند بازیاب	۲۰	سطحی
۴	BZ2 بازیاب ۲	E= 54° 42' 49.6" N=33° 27' 47.27"	سازند بازیاب	۱۷	شیاری
۵	کاشان	E=51° 16' 4.7" N=34° 19' 42.9"	سازند قم	۲۴	سطحی
۶	نرسیده به روستای خفر حاشیه جاده اصلی	E= 51° 30' 15.5" N=31° 00' 43.6"	سازند گورپی	۲۵	سطحی
۷	نرسیده به روستای خفر حاشیه جاده اصلی	E= 51° 30' 15.5" N=31° 00' 43.6"	سازند گورپی	۲۳	سطحی
۸	کاشان	E= 51° 16' 1.2" N=34° 19' 46.26"	سازند قرمز زیرین	۲۰	خندقی
۹	سمیرم-خفر	E= 51° 31' 49.8" N=31° 02' 5.5"	سازند گورپی	۱۸	خندقی
۱۰	سمیرم-خفر حاشیه باغ سیب و مزرعه دیم گندم	E= 51° 31' 50.5" N=31° 02' 5.6"	سازند گورپی	۲۲	شیاری
۱۱	کاشان	E=51° 16' 1.7" N=34° 14' 43.4"	سازند قم	۲۷	شیاری

- روش نمونه‌برداری از فرسایش شیاری^۲: در این فرسایش با توجه به شیب عمومی دامنه از نقطه شروع تشکیل شیار تنها یک نمونه به عمق حدود ۳۰ سانتی‌متر تهیه شد (شکل ۳).

- نمونه‌برداری از فرسایش خندقی^۳: در این نوع فرسایش، نمونه از قسمت پیشانی^۴ یعنی محل پسروی آبکند تهیه شد. چنانچه در این قسمت افق‌های

نمونه‌برداری در این طرح بستگی به مکان نمونه‌برداری داشت. بدین صورت که برای هر نوع فرسایش روشی تعریف تا نمونه‌برداری‌ها کاملاً یکسان باشد.

- نمونه‌برداری از فرسایش ورقه‌ای^۱ (سطحی): در این نوع فرسایش از عمق ۲۰ سانتی‌متری نمونه گرفته شد و محل نمونه از شیب عمومی دامنه و نقطه وسط شیب برداشت و پس از مخلوط کردن یک نمونه مخلوط به وزن یک تا دو کیلوگرم از آن تهیه شد.

^۲ Rill erosion

^۳ Gully erosion

^۴ Head cut

^۱ Sheet erosion

تغذیه در ارتفاع معین برای واسنجی قرار گرفت و با تغییر ارتفاع میزان بارش مورد نظر تنظیم شد. سپس اقدام به ایجاد بارش با شدت مشخص کرده، پس از ایجاد رواناب و پرشدن ظرف نمونه‌برداری، بارش متوقف شده و رسوبات باقی‌مانده از بارش با کمک یک قلم مو و استفاده از آب سطح بالایی ظرف نمونه‌برداری که رسوبات آن ته‌نشین شده، جمع‌آوری و به داخل ظرف هدایت شد.

نتایج و بحث

خصوصیات فیزیکی و شیمیایی نمونه‌ها: پس از برداشت نمونه‌ها و ارسال به آزمایشگاه پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، نتایج آزمایشگاهی مطابق جداول ۳ و ۴ می‌باشد. با توجه به اطلاعات حاصل از جداول ارائه شده، تغییرات پارامترهای شیمیایی اندازه‌گیری شده شامل شوری نمونه‌ها بین ۰/۴ تا ۲۰۴ زیمنس، اسیدیته بین ۷/۲۹ تا ۸/۴۳، یون کربنات بین صفر تا ۰/۵ میلی اکی‌والان در لیتر، یون بیکربنات از ۱/۵ تا ۳، یون کلر از ۲/۵ تا ۳۳۷۵، یون سولفات بین ۰/۱۵ تا ۵۸۷/۷، یون کلسیم بین ۲/۸ تا ۱۵۰/۴، یون منیریم از ۰/۲ تا ۵۷/۲، یون سدیم از ۱/۵ تا ۳۶۵۰ میلی اکی‌والان در لیتر، میزان TNV بین ۰/۲ تا ۷۰/۴ درصد، تغییرات کربن آلی بین ۰/۱۷۸ تا ۱/۳۵۴ درصد و در مورد سولفات کلسیم این مقدار بین ۰/۰۰۴ تا ۴/۲۶ درصد است.

تغییرات پارامترهای فیزیکی اندازه‌گیری شده عبارت از حد روانی بین ۱۶ تا ۳۴ درصد، حد خمیرایی بین ۱۵/۹۱ تا ۲۰/۶۷ درصد، وزن مخصوص ظاهری بین ۱/۵ تا ۲/۱۸ گرم بر سانتی‌متر مکعب، درصد شن، لای و رس به ترتیب ۲۸-۷/۴، ۵۹-۳۷ و ۴۵-۲۷ هستند.

با توجه به جداول ۳ و ۴، تغییرات پارامترهای اندازه‌گیری شده در تمام نمونه‌ها تقریباً دارای روند یکسانی می‌باشند. همچنین، وجود میزان بالای یون-های کلر و سدیم نشان‌دهنده وجود مقدار قابل توجهی NaCl در نمونه‌ها بوده که شوری اندازه‌گیری شده نیز مؤید این نظریه می‌باشد. همچنین، تغییرات pH تا حدودی تحت تأثیر این دو یون بوده، اما وجود یون بیکربنات و همچنین ماده آلی موجود در نمونه‌ها،

مشخصی مشاهده شد، با ذکر عمق برداشت، از هر افق یک نمونه تهیه و به آزمایشگاه ارسال شد. چنانچه از هر نوع فرسایش چند نمونه وجود داشت، نمونه‌برداری‌ها از فرسایش تیبیک انجام شد. به‌طور مثال در منطقه خور که چند آبکند در کنار هم وجود داشت، نمونه‌برداری از فعال‌ترین آبکند که دارای علائم فعالیت مانند وجود رسوب در طول کانال آبکند و پیشانی فعال و جوان‌تر بود، انجام شد (شکل ۴). حال چنانچه آبکندی وجود داشت که دارای چند افق مشخص بود، نمونه‌برداری‌ها از آن افق‌ها انجام و نتایج آزمایشات مطابق با رابطه (۱) وزنی شده است.

$$EC = \frac{(EC_1 \times h_1) + (EC_2 \times h_2) + (EC_3 \times h_3)}{H} \quad (1)$$

که در آن، $EC_{1,2,3}$ به ترتیب شوری افق‌ها، ۱، ۲ و ۳، h عمق افق‌های مربوطه و H عمق پروفیل خاک می‌باشد.



شکل ۳- نمونه‌برداری از فرسایش شیبی



شکل ۴- نمونه‌برداری از فرسایش آبکندی

نحوه اجرای آزمایش باران‌ساز در صحرا: در این مرحله، ابتدا آمار شدت‌های بارش در مناطق نمونه-برداری بررسی و از شدت بارش‌های شش و ۱۰ میلی‌متر در ساعت به‌علت بیشترین رخدادهای مناطق استفاده شد. بدین منظور، پس از نصب دستگاه، مخزن

عامل تعدیل کننده‌ای بر تأثیر یون‌های سدیم و کلر بر pH می‌باشند.

جدول ۳- مشخصات شیمیایی مارن‌های استان اصفهان

کد نمونه	EC	pH	CO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	TNV	OC	CaSO ₄
-	ms	--	میلی‌اکی والان در لیتر									-	
											%	%	%
۱	۹۲/۱	۷/۸۳	۰	۲	۹۲۰	۴۵۶/۴	۴۰/۸	۵۷/۲	۱۲۷۰	۵	۰/۲	۰/۵۳۴	۱/۷۵
۲	۱۴۸	۸/۲	۰	۱/۵	۱۹۲۰	۵۸۷/۷	۸۸	۱۵	۲۴۰۰	۱۱	۱۷/۷۵	۰/۷۴۸	۱/۳۹
۳	۲۰۴	۷/۶۹	۰	۱/۵	۳۳۷۵	۱۳/۴	۱۰۷/۲	۱۰/۳	۳۲۵۰	۷	۰	۰/۶۹۵	۱/۳۵
۴	۱۲۲/۴	۷/۹۶	۰	۲/۲۵	۱۶۳۲/۵	۷۰/۱	۱۲۰	۱۲	۱۵۷۰	۶	۰/۲	۰/۵۳۴	۱/۸
۵	۱۰۱/۷	۸/۱۹	۰	۱/۷۵	۱۲۴۰	۱۲۵/۲	۹۵/۲	۳/۸	۱۲۷۰	۴	۷/۱۱	۰/۲۶۷	۱/۸۸
۶	۴/۴۴	۸/۴۳	۰/۵	۳	۳۶	۸۰/۹۴	۱۶/۶	۰/۲	۱۰۳/۵	۰/۱۵	۶۱/۸۵	۰/۲۶۷	۰/۰۵۲
۷	۰/۴	۸	۰/۵	۲/۲۵	۲/۵	۰/۱۵	۲/۸	۱	۱/۵	۰/۱	۶۶/۶۹	۰/۱۷۸	۰/۰۰۴
۸	۱۷۴	۷/۷۴	۰/۵	۱/۲۵	۲۴۳۷/۵	۲۱۶/۴	۱۲۳/۶	۹	۲۵۲۵	۴	۱۵/۰۵	۰/۷۶۶	۳/۴۴
۹	۲/۴۳	۸/۴	۰/۵	۲/۵	۲۵/۵	۴/۲۵	۶	۲	۲۴/۵	۰/۲۵	۷۰/۴	۰/۴۹۹	۰/۰۰۵
۱۰	۱۱/۶۲	۸/۳۵	۰/۵	۲	۱۱۸	۱/۶۲	۸/۶	۱/۲	۱۱۲	۰/۳۲	۵۹/۱۵	۰/۳۰۳	۰/۰۰۴
۱۱	۲۰۴	۷/۲۹	۰	۱/۵	۳۲۹۰	۵۱۷/۹	۱۵۰/۴	۱۲/۲	۳۶۵۰	۷	۱۲/۱۳	۱/۳۵۴	۴/۲۶

جدول ۴- مشخصات فیزیکی مارن‌های استان اصفهان

کد نمونه	حد روانی	حد خمیری	وزن مخصوص ظاهری	شن	لای	رس
	%	%	grcm ⁻³		%	
۱	۲۲	۲۰/۴۱	۲/۱۸	۱۷	۴۵/۶	۳۷/۴
۲	۲۵	۱۶/۱۹	۱/۶۱	۲۳	۴۰	۳۷
۳	۲۱	۱۵/۹۱	۱/۶۲	۱۹	۴۵/۸	۳۵/۲
۴	۲۳	۱۶/۳۶	۱/۶	۲۸	۴۱	۳۱
۵	۲۴	۱۶/۷۹	۱/۵	۲۷/۶	۳۹/۴	۳۳
۶	۱۶	۲۰/۶۷	۱/۹۳	۷/۴	۵۲/۶	۴۰
۷	۲۰	۱۹/۱۲	۱/۹۱	۱۴	۵۹	۲۷
۸	۳۴	۱۶/۶۱	۱/۶۲	۲۰	۳۷	۴۳
۹	۳۳	۱۷/۹	۱/۶۱	۱۳	۵۸	۲۹
۱۰	۲۳	۱۸/۰۳	۱/۵۹	۱۴	۵۳/۶	۳۲/۴
۱۱	۳۴	۱۶/۳۷	۱/۶۳	۱۳	۴۲	۴۵

مقایسه تأثیر افزوده شدن هر دسته از اطلاعات به تحلیل، اثر هر دسته اطلاعات به‌طور جداگانه بررسی شد.

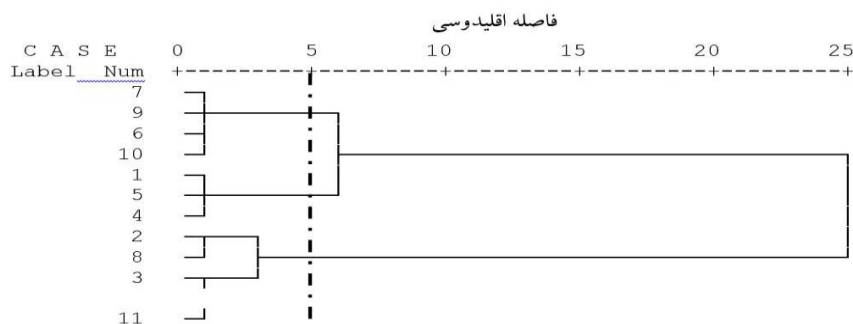
به‌منظور دسته‌بندی داده‌های شیمیایی، داده‌های تجزیه شیمیایی نمونه‌های ارسالی به آزمایشگاه به همراه میزان رسوب و شیب مناطق نمونه‌برداری به نرم‌افزار وارد شد و نتایج مطابق با شکل ۵ به‌دست آمد.

بارش و رسوب: پس از برداشت نمونه‌های لازم، ظروف نمونه‌برداری به آزمایشگاه انتقال یافت و بعد از خشک شدن آن میزان رسوبات آن توزین که اطلاعات حاصل در جدول ۵ ارائه شده است.

برای بررسی و تعیین شباهت‌ها و طبقه‌بندی مارن‌ها از تحلیل آماری دسته‌بندی با استفاده از روش تحلیل خوشه‌ای در محیط نرم‌افزارهای SPSS و SAS استفاده شد. برای مقایسه بهتر و دسته‌بندی دقیق‌تر، تحلیل با سه دسته اطلاعات انجام شد، تا علاوه بر

جدول ۵- اطلاعات حاصل از آزمایش‌های باران‌ساز

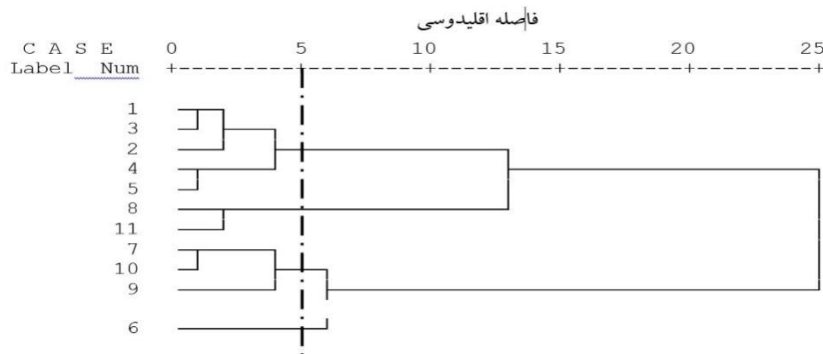
کد نمونه	شدت بارش mmmin ⁻¹	میزان فرسایش grL ⁻¹	شدت بارش mmmin ⁻¹	میزان فرسایش grL ⁻¹
۱	۶	۶۴/۷۳	۱۰	۱۱۳/۲۲
۲	۶	۶۷/۸۷	۱۰	۱۱۰/۵۷
۳	۶	۶۲/۵۳	۱۰	۱۰۴/۱۷
۴	۶	۶۵/۴۹	۱۰	۱۱۷/۸۵
۵	۶	۶۲/۰۶	۱۰	۱۰۳/۴۳
۶	۶	۶۳/۷۴	۱۰	۱۰۵/۴۵
۷	۶	۶۱/۶۱	۱۰	۱۰۰/۱۰
۸	۶	۷۰/۷۱	۱۰	۱۱۵/۲۵
۹	۶	۶۹/۴۶	۱۰	۱۰۹/۵۷
۱۰	۶	۶۳/۸۶	۱۰	۱۰۶/۸۶
۱۱	۶	۶۴/۲۲	۱۰	۱۱۶/۹۱



شکل ۵- تحلیل خوشه‌ای داده‌های شیمیایی

قبول را دارا می‌باشند. این دسته‌ها شامل دسته یکم، مناطق ۷، ۶، ۹ و ۱۰، دسته دوم، مناطق ۱، ۴ و ۵ و دسته سوم مناطق ۲، ۳، ۸ و ۱۱ می‌باشند. به‌منظور دسته‌بندی بر اساس داده‌های فیزیکی، فقط داده‌های تجزیه فیزیکی نمونه‌های ارسالی به آزمایشگاه به همراه میزان رسوب و شیب مناطق نمونه‌برداری به نرم‌افزار وارد و شکل ۶ به‌دست آمد.

برای به‌دست آوردن اثر هر یک از پارامترها در نمودارها، بر اساس تحلیل تجزیه واریانس بین گروه‌های و آزمون scree plot از فاصله اقلیدوسی پنج درصد استفاده شد و از این نقطه، خطی عمود بر خطوط آن ترسیم شد. بر اساس این خط می‌توان، مارن‌ها را به سه دسته (محل تلاقی خط ترسیم‌شده با خطوط نمودار) تقسیم کرد که بیشترین تفاوت قابل

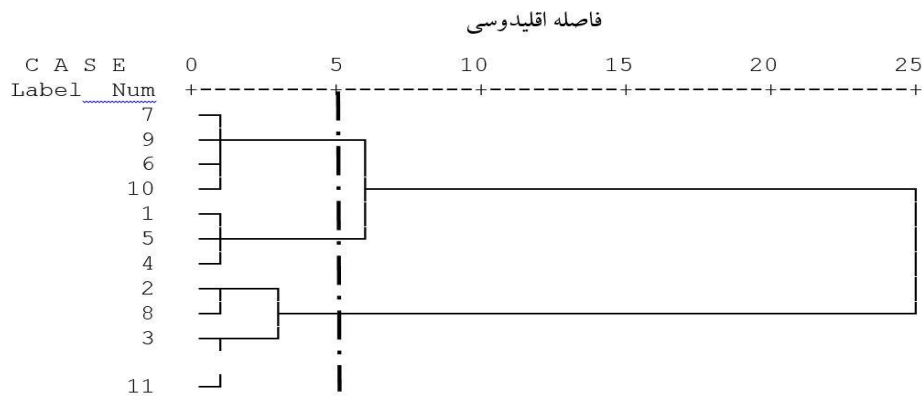


شکل ۶- تحلیل خوشه‌ای داده‌های فیزیکی

بر اساس فاصله اقلیدوسی، پنج درصد مارن‌ها بر اساس خصوصیات فیزیکی به چهار دسته (محل تلاقی خط ترسیم شده با خطوط نمودار) تقسیم شده که بیشترین تفاوت قابل قبول را دارا می‌باشند. این دسته‌ها شامل دسته یکم مناطق ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵، دسته دوم ۸ و ۱۱ و دسته سوم ۶، ۷، ۹ و ۱۰ می‌باشند. بر این اساس، بیشترین تشابه به ترتیب بین نمونه‌های مربوط به مناطق ۱ و ۳، مناطق ۴ و ۵ و مناطق ۷ و ۱۰ می‌باشد. برای دسته‌بندی تمام داده‌های آزمایشگاهی، تمام داده‌های آزمایشگاهی شامل اطلاعات تجزیه‌های فیزیکی و شیمیایی به‌همراه میزان رسوب و شیب مناطق نمونه‌برداری به نرم‌افزار وارد و

شکل ۷ به دست آمد.

بر اساس فاصله اقلیدوسی، پنج درصد مناطق به سه دسته با بیشترین تفاوت قابل قبول تقسیم‌بندی شده که دسته‌بندی آن به‌طور کامل مانند دسته‌بندی بر اساس داده‌های شیمیایی مارن‌ها می‌باشد. برای بررسی دقیق‌تر در محیط نرم‌افزار آماری SAS اقدام به مقایسه دسته‌های به‌دست آمده شد. با این فرض که نمونه‌هایی که در یک دسته قرار دارند و از لحاظ بسیاری صفات شبیه هم هستند، به‌عنوان تکرار و دسته‌ها به‌عنوان تیمار در نظر گرفته شدند. تحلیل انجام شده مشخص کرد که دسته‌ها بر اساس چه صفاتی تفکیک شده‌اند (جدول ۶).



شکل ۷- تحلیل خوشه‌ای تمام داده‌های آزمایشگاهی تمام اطلاعات

نتیجه‌گیری

با توجه به اطلاعات جمع‌آوری شده و مشخصات شیمیایی مارن‌ها می‌توان به این نتیجه رسید که مارن‌های دسته اول (۷، ۹، ۶، ۱۰) عموماً دارای کمترین میزان املاح و به طبع آن کمترین مقدار EC می‌باشند. همچنین، وجود بیشترین مقادیر کربنات و بی‌کربنات، بالا بودن pH و همچنین تفاوت آشکار مقادیر یون‌های سولفات و کلسیم در دسته ۱۰ و عدم تشابه منطقه‌ای (اقلیمی) با سایر دسته‌ها حاکی از آن است که بیشترین عامل ایجاد کننده تشابه شوری و اسیدیته در این حالت است. در این راستا، Benito و همکاران (۱۹۹۳) سدیم را به‌عنوان عامل شیمیایی مؤثر در تولید اشکال فرسایشی مارن‌های اسپانیا معرفی کرده‌اند. Bouma و همکاران (۱۹۹۸) با بررسی سه نوع مارن سفید، خاکستری و قهوه‌ای در منطقه‌ای

این جدول مشخص کننده میزان تشابه و مقدار هر یک از صفات بین نمونه‌های موجود در دسته‌ها می‌باشد. به‌طور مثال نمونه‌های موجود در دسته ۳ بیشترین EC (۱۸۹) و نمونه‌های موجود در دسته ۴ کمترین EC (۴/۷۲) را دارا هستند. جدول ۷، مشخص کننده بیشترین و کمترین تشابه هر یک از صفات بین دسته‌ها می‌باشد.

با توجه به اطلاعات حاصل از تحلیل‌های انجام شده، دسته ۳ بیشترین تشابه (هشت مورد) و کمترین تفاوت (چهار مورد) را دارا بوده، در مورد سایر دسته‌ها عبارت از دسته ۱، تشابه (دو مورد) و تفاوت (سه مورد)، دسته ۲، تشابه (چهار مورد) و تفاوت (سه مورد) و دسته ۴، تشابه (شش مورد) و تفاوت (۱۱ مورد) است.

مطالعه در این تحقیق، نتایج به‌دست آمده منطقی به نظر می‌رسد. Shaw و Rabenhors (۱۹۹۷) در منطقه مریند آمریکا، مارن‌های منطقه را بر اساس خصوصیات شیمیایی و فیزیکی طبقه‌بندی کرده، نشان دادند که مقادیر pH و کربنات کلسیم در این مناطق بالا بوده، می‌تواند به‌عنوان شاخصی برای طبقه‌بندی به‌کار رود.

از اسپانیا دریافتند که اولاً فرسایش‌پذیری مارن‌ها در بدلندها با EC و SAR ارتباط بالایی نشان می‌دهد و ثانیاً حضور کربنات کلسیم در مارن‌های سفید نسبت به مارن‌های خاکستری و قهوه‌ای سبب پایداری بیشتر شده است و ثالثاً نوع و درصد کانی رسی نقش اساسی در فرسایش‌پذیری دارد. با توجه به شرایط متفاوت اقلیمی در مناطق تحقیقی اشاره شده با مناطق مورد

جدول ۶- جدول میزان همبستگی صفات در تحلیل خوشه‌ای

میانگین در صفات						واحد	صفات
IV	III	II	I	خطا	تیمار		
۴/۷۲ ^c	۱۸۹ ^a	۹۲/۱ ^b	۱۴۴/۰۳ ^{ab}	۹۱۳/۳۴	۱۹۵۲/۵۴ ^{**}	ms	EC
۸/۲۹۵ ^a	۷/۵۱۵ ^b	۷/۸۳ ^{ab}	۸/۰۱ ^{ab}	۰/۰۶	۰/۲۸ ^{**}	--	pH
۰/۵ ^a	۰/۲۵ ^{ab}	۰/۰/۰ ^b	۰/۰/۰ ^b	۰/۰۱۸	۰/۱۹ ^{**}	meqL ⁻¹	CO ₃
۲/۴۳۷۵ ^a	۱/۳۷۵ ^b	۲/۰۰ ^{ab}	۱/۷۵ ^{ab}	۰/۱۴	۰/۵۹ [*]	meqL ⁻¹	HCO ₃ ⁻
۴۵/۵ ^c	۲۸۶۳/۸ ^a	۹۲۰ ^{bc}	۲۰۴۱/۹ ^{ab}	۴۲۴۸۰۵/۸۳	۴۴۹۵۸۱۹/۵۸ ^{**}	meqL ⁻¹	Cl ⁻
۲۱/۷ ^a	۳۶۷/۲ ^a	۴۵۶/۴ ^a	۱۹۱/۱ ^a	۳۶۸۱۸/۴۷	۸۲۴۲۹/۰۲	meqL ⁻¹	SO ₄ ⁻
۸/۵ ^d	۱۳۷ ^a	۴۰/۸ ^c	۱۰۲/۶ ^b	۱۵۰/۷۶	۹۷۳۳/۳۶ ^{**}	meqL ⁻¹	Ca ⁺⁺
۱/۱ ^c	۱۰/۶ ^b	۵۷/۲ ^a	۱۰/۲۷۵ ^b	۱۰/۵۷	۸۴۲/۷۱ ^{**}	meqL ⁻¹	Mg ⁺⁺
۶۰/۴ ^c	۳۰۸۷/۵ ^a	۱۲۷۰ ^{bc}	۲۱۲۲/۵ ^{ab}	۴۳۱۷۶۶/۵۳	۴۹۷۴۶۰۱/۴۱ ^{**}	meqL ⁻¹	Na ⁺
۰/۲۰۵ ^b	۵/۵ ^a	۵/۰۰ ^{ab}	۷/۰۰ ^a	۴/۳۶	۳۳/۰۲ ^{**}	meqL ⁻¹	K ⁺
۶۴/۵۲۳ ^a	۱۳/۵۹ ^b	۰/۲ ^b	۶/۲۶۵ ^b	۴۱/۱۷	۲۸۰۴/۲۶ ^{**}	%	TNV
۰/۳۱۱۸ ^b	۱/۰۶ ^a	۰/۵۳۴ ^{ab}	۰/۵۶۱ ^{ab}	۰/۰۵	۰/۲۵ ^{**}	%	OC
۰/۰۱۶۳ ^c	۳/۸۵۹ ^a	۱/۷۵ ^b	۱/۶۰۵ ^b	۰/۰۸	۶/۶۴ ^{**}	%	CaSO ₄
۲۳ ^a	۳۴ ^a	۲۲ ^a	۲۳/۲۵ ^a	۲۳/۸۲	۶۶/۴۲	%	حد روانی
۱۸/۹۳ ^a	۱۶/۴۹ ^b	۲۰/۴۱ ^a	۱۶/۳۱۲۵ ^b	۰/۷۷	۸/۰۰ ^{**}	%	حد خمیری
۱/۷۶ ^b	۱/۶۲۵ ^b	۲/۱۸ ^a	۱/۵۸۳ ^b	۰/۰۱	۰/۱۰ ^{**}	grcm ⁻³	وزن مخصوص ظاهری
۱۲/۱ ^b	۱۶/۵ ^{ab}	۱۷ ^{ab}	۲۴/۴ ^a	۱۵/۵۶	۱۰۲/۷۴ ^{**}	%	شن
۵۵/۸ ^a	۳۹/۵ ^b	۴۵/۶ ^b	۴۱/۵۵ ^b	۹/۷۲	۱۸۰/۷۴ ^{**}	%	لای
۳۲/۱ ^b	۴۴ ^a	۳۷/۴ ^{ab}	۳۴/۰۵ ^{ab}	۱۷/۲۲	۶۷/۵	%	رس
۲۴/۴۰ ^a	۹/۹۶ ^b	۵/۸۵ ^b	۶/۱۱ ^b	۲۷/۴۸	۲۶۱/۵۸ ^{**}	%	شیب

(۲۰۰۳) نیز تأثیر اقلیم و تغییر کاربری و جهات مختلف شیب را عامل تفاوت میزان رسوبدهی در مارن‌های مناطق مختلف می‌دانند. Mohamed (۲۰۰۰) در بررسی عوامل موثر بر پایداری مارن به نقش کانی‌ها و عناصر شیمیایی آن‌ها اشاره می‌کند. وی مقدار رس، آهک، حضور سولفات‌ها و یون آهن را در پایداری مارن با استفاده از روش اشعه ایکس موثر دانست. درباره رسوبدهی مارن‌ها مطالعات زیادی

در مرحله آزمون بررسی عوامل فیزیکی، مشخص شد که نزدیک بودن مقادیر پارامترهای فیزیکی مارن‌ها، عامل اصلی در ایجاد تشابه بوده، این عوامل بر میزان فرسایش تأثیرگذار هستند. همچنین، با کاهش تشابه بین مارن‌ها اختلاف بین میزان فرسایش بیشتر می‌شود. بدین ترتیب با کمی تغییر در خصوصیات فیزیکی، امکان تغییر در طبقه‌بندی مارن‌ها به‌وجود خواهد آمد. Mathys و همکاران

آن‌هاست و نقش شیب دامنه‌ها و شدت رواناب در تولید رسوب از عرصه‌های مارنی چشم‌گیر و قابل توجه است. لذا، عامل اصلی در بروز این تغییرات می‌تواند موثرترین عامل بر این مکانیزم باشد و در این راستا تأثیر پدیده اقلیم قابل توجه است، زیرا اقلیم می‌تواند به نحو مستقیم و غیرمستقیم بر کلیه پارامترهای اندازه‌گیری شده تأثیرگذار باشد.

به‌وسیله Benito و همکاران (۱۹۹۱) در اسپانیا و Engeland (۱۹۷۱) در جنوب داکوتای آمریکا و Bufalo و همکاران (۱۹۹۲) در فرانسه و Sirventij و همکاران (۱۹۹۶) در اسپانیا صورت گرفته است که نتایج حاصل از بررسی‌های انجام شده به‌وسیله محققان یاد شده نشانگر حساسیت بسیار شدید مارن-ها به فرسایش و تغییر و تحول اشکال فرسایشی در

جدول ۷- تشابه بین دسته‌های تحلیل خوشه‌ای

میزان تشابه بین گروه‌ها		واحد	صفات
کمترین	بیشترین		
دسته ۴	دسته ۳	ms	EC
دسته ۳	دسته ۴	--	pH
دسته ۱ و ۲	دسته ۴	meq ^l ⁻¹	CO ₃ ⁻
دسته ۳	دسته ۴	meq ^l ⁻¹	HCO ₃ ⁻
دسته ۴	دسته ۳	meq ^l ⁻¹	Cl ⁻
دسته ۴	دسته ۲	meq ^l ⁻¹	SO ₄ ⁻
دسته ۴	دسته ۳	meq ^l ⁻¹	Ca ⁺⁺
دسته ۴	دسته ۲	meq ^l ⁻¹	Mg ⁺⁺
دسته ۴	دسته ۳	meq ^l ⁻¹	Na ⁺
دسته ۴	دسته ۱	meq ^l ⁻¹	K ⁺
دسته ۲	دسته ۴	%	TNV
دسته ۴	دسته ۳	%	OC
دسته ۴	دسته ۳	%	CaSO ₄
دسته ۲	دسته ۳	%	حد روانی
دسته ۱	دسته ۲	%	حد خمیری
دسته ۱	دسته ۲	gcm ⁻³	وزن مخصوص ظاهری
دسته ۴	دسته ۱	%	شن
دسته ۳	دسته ۴	%	لای
دسته ۴	دسته ۳	%	رس
دسته ۳	دسته ۴	%	شیب

مختلف این استان معرفی کرد. این پارامتر بدین علت برگزیده شد که علاوه بر اثرات مستقیمی که در ایجاد و تکامل مارن‌ها دارا است، بر سایر پارامترها نیز تأثیر مستقیم و غیرمستقیم داشته است. در حقیقت کنترل‌کننده بسیاری از این پارامترها بوده و انتخاب هر کدام از این پارامترها به نحوی مرتبط با اقلیم است. Faulkner و همکاران (۲۰۰۳) در بررسی نقش و عامل موثر بر توسعه خندق‌ها در نواحی مارنی جنوب

بررسی تشابه‌ها نشان می‌دهد که عوامل اصلی که بیشترین تشابه را در مارن‌ها ایجاد می‌کنند، خصوصیات شیمیایی و به همراه آن اثرات اقلیمی آن‌ها می‌باشند و خصوصیات فیزیکی مارن‌ها در این راستا تأثیر کمتری را دارا است. با توجه به اطلاعات حاصل از بررسی‌های انجام‌شده و نتایج به‌دست آمده، می‌توان اقلیم را به‌عنوان مؤثرترین عامل در به‌وجود آوردن اختلافات بین واحدهای مارنی در بخش‌های

اسپانیا، نشان دادند که توسعه خندق‌ها تحت تأثیر به‌ویژه تغییرات SAR و pH قرار دارد. تغییر اقلیم و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مارن‌ها و

منابع مورد استفاده

1. Benito, S., M. Gutierrez and C. Sanch. 1991. Erosion patterns in rill and interrill areas in badland zones of the middle Ebro Basin (NE, Spain), in: Soil erosion studies in Spain. Geoforma Ediciones Publisher, 41-54.
2. Bouma, Z. 1998. Investigation of relationships between measured field indicators and erosion processes on badland surface at Petrer, Spain. *Catena*, 40(2): 147-171.
3. Bufalo, M. and D. Nahon. 1992. Erosional processes on Mediterranean badlands: a new erosivity index for predicting sediment yield from gully erosion. *Geoderma*, 52: 133-147.
4. Engeland, G.B. 1971. Runoff processes and slope development in badlands national monument. *Journal of Hydrology*, 18: 55-79.
5. Faulkner, H., R. Alexander and B.R. Wilson. 2003. Changes to the dispersive characteristics of soils along an evolutionary slope sequence in the Vera badlands, south-east Spain: implications for site stabilization. *Catena*, 50: 243-254.
6. Feiznia, S. 1995. Resistance of rocks to erosion in different climate of Iran. *Iranian Journal of Natural Resources*, 47: 95-116 (in Persian).
7. Feiznia, S., J. Ghayoomian and M. Khaje. 2005. The effect of physical, chemical and weather in loess soil erosion sediment production, case study in Golestan. *Pajouhesh and Sazandegi*, 66: 14-26 (in Persian).
8. Ghasemi-dehnavi, A., R. Sarikhani, H.R. Payrovan, Z. Shoaii and M. Khaledi. 2015. Investigation of chemical and physical properties of neogen marls effects on the forms and intensity of erosion in Varamin area, south-west of Tehran Province. *Journal of Applied Sedimentology*, 3(6): 57-69 (in Persian).
9. Hassanzade, M., S. Feiznia, H. Ahmadi, H.R. Peyrovan and J. Ghayoomian. 2008. Effect of physical and chemical characteristics of marls on the amount of sediment using physical model of rainfall simulator. *Geological Engineering*, 1: 35-48 (in Persian).
10. Hassanzadeh Nafooti, M. 2012. Marl land classification using Principal Components Analysis (PCA) for the sustainable development of natural resources. *International Conference on Environment Science and Engineering. IPCBEE Vol. 32 (2012)*, IACSIT Press, Singapore, 5 pages.
11. JAMAB Company. 1996. Climatology maps of extensively Domartenn in case study regions (in Persian).
12. Jung, C., S. Jung, A. Bobet and N.Z. Siddiki. 2009. Classification of marl soils. TRB Subject Code: 61-6 Soil Classification, Publication No. FHWA/IN/JTRP-2009/20, SPR-3227, Final Report.
13. Khamechian, M. 1990. Evaluation of physical and mechanical properties marls stones-clay. MSc Thesis, Tarbiat Modarres University, Tehran, 126 pages (in Persian).
14. Mathys, N., S. Brochot, M. Meunier and D. Richard. 2003. Erosion quantification in the small marly experimental catchments of Draix (Alpes de Haute Province, France), calibration of the ETC rainfall-runoff-erosion model. *Catena*, 50: 527-548.
15. Mohamed, A.M.O. 2000. The role of clay minerals in marly soils on its stability. *Engineering Geology*, 57: 193-203.
16. Shaw, J.N. and M.C. Rabenhorst. 1997. The geomorphology, characteristics and origin of the freshwater marl sediments in the Great Limestone Valley, Maryland, USA. *Catena*, 30: 41-59.
17. Sirventij, D.G., M.S. Guticres and G. Benito. 1996. Erosion in badland areas recorded by collectors, erosion pins and profilometer techniques (Ebro Basin, NW Spain). *Geomorphology*, 503 pages.
18. Sokouti, R. and S. Razagi. 2015. Erodibility and loss of marly drived soils. *Eurasian Journal of Soil Science*, 4: 279-286.
19. United Nations Convention to Combat Desertification. 2005. Draft national action plan for Antigua and Barbuda, 61 pages.
20. USDA. 2012. United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service, Part 631, Geology National Engineering Handbook. Engineering Classification of Rock Materials, 210-VI-NEH, Amend, 55 pages.