

## طبقه‌بندی مارن‌های همدان و ارتباط گروه‌های مارنی منطقه با نوع و شدت فرسایش

منوچهر امیری<sup>۱\*</sup>، حمیدرضا پیروان<sup>۲</sup> و احمد احمدی خلجی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> مربی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی همدان، <sup>۲</sup> دانشیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری و <sup>۳</sup> استادیار، دانشکده علوم پایه، دانشگاه لرستان

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۰/۰۷

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۵/۱۶

### چکیده

از آنجایی 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 می‌نمایند و هزینه‌های پالایش آب شرب و پیش پالایی آب تغذیه مصنوعی را به شدت افزایش می‌دهند. لذا بررسی آن‌ها از ابعاد مختلف برای کارشناسان و محققان حائز اهمیت می‌باشد. در این پژوهش سعی شد تا متغیرهای موثر در طبقه‌بندی مارن‌های استان همدان شناسایی و مدل‌هایی جهت طبقه‌بندی آن‌ها ارائه شود و رابطه بین گروه‌های مارنی با نوع و شدت فرسایش مورد بررسی قرار گیرد. به همین منظور از ۴۱ نقطه نمونه‌گیری به عمل آمد و جهت تعیین مقادیر متغیرهای فیزیکی-شیمیایی به آزمایشگاه ارسال شدند. همچنین، مشخصات محل نمونه‌برداری‌ها همچون شیب، موقعیت جغرافیایی، امتیاز عوامل هفت گانه عامل سطحی خاک و... برداشت شد و در مجاورت نقاط ذکر شده، آزمایش باران مصنوعی به وسیله دستگاه باران‌ساز کامفورست انجام و نمونه‌های رسوب-رواناب اخذ و در آزمایشگاه با استفاده از روش‌های ساده مقدار رواناب و رسوب آن‌ها اندازه‌گیری شد. علاوه بر این، جهت شناسایی نوع کانی‌های موجود در مارن‌های منطقه و تشخیص سن آن‌ها، تعداد هفت نمونه از مارن‌ها به وسیله اشعه ایکس آنالیز و تعداد هشت مقطع نازک از مارن‌ها و سنگ‌های همراه یعنی آهک‌ها و ماسه‌سنگ‌ها تهیه و به وسیله میکروسکوپ پلاریزان مطالعه شد. سپس داده‌های غیرنرمال به وسیله لگاریتم‌گیری نرمال شد و آنگاه کلیه داده‌ها به وسیله آنالیزهای خوشه‌ای و تمیزی و مدل اسکالوگرام مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که مارن‌های منطقه به تفکیک متغیرهای شیمیایی، فیزیکی و ترکیب آن‌ها به ترتیب به چهار ( $S_1$ ،  $S_2$ ،  $S_3$  و  $S_4$ )، پنج ( $P_1$ ،  $P_2$ ،  $P_3$  و  $P_4$ ) و شش ( $T_1$ ،  $T_2$ ،  $T_3$ ،  $T_4$ ،  $T_5$  و  $T_6$ ) گروه تقسیم می‌شوند. توابع خطی فیشر که از این طبقه‌بندی‌ها به دست آمده است، گروه‌های مارنی را به ترتیب با دقت‌هایی معادل ۹۶/۵، ۸۳/۹ و ۹۶/۹ درصد درست پیش‌بینی می‌نمایند که متغیرهای شیمیایی برای طبقه‌بندی مناسب‌تر می‌باشند. این پژوهش نشان می‌دهد که مارن‌های با حد روانی بالا و حاوی مقدار کمی از مواد خنثی‌شونده دارای قابلیت فرسایش‌پذیری بیشتری هستند.

**واژه‌های کلیدی:** توابع فیشر، رس، طبقه‌بندی سنگ‌ها، کربنات کلسیم، لیتولوژی‌های حساس، مدل اسکالوگرام

## مقدمه

طبق تعریف مارن به مخلوطی از کانی‌های رسی و کربنات کلسیم اطلاق می‌شود که میزان کربنات آن بین ۳۵ تا ۶۵ درصد در تغییر است (Pyrowan و Asadi, ۲۰۰۵). در مارن‌ها کانی‌های کلسیت و رس به‌عنوان کانی اصلی وجود دارند و ممکن است، سایر کانی‌ها از جمله کواتز، آلبیت، میکا، کانی‌های ایتزینگیت و تومازیت، دولومیت، الکالی فلدسپات، کلریت، کلینوکلر، ژپیس، آنهیدریت، هالیت، سیلویت و ... نیز مشاهده شود. کانی‌های رسی بر حسب شرایط و محیط تشکیل انواع مختلفی را مانند ایلیت، کائولینت، مونت‌موریلونیت، پالی گورسکیت، اسمکتایت و غیره شامل می‌شود. اندازه ذرات و کانی‌های موجود در مارن‌ها در حد رس، سیلت، ماسه و حتی گاه در اندازه شن می‌باشد، به این ترتیب مارن‌ها بر حسب بافت و درصد ذرات تشکیل دهنده، درصد رس، نوع رس، درصد کربنات کلسیم و نوع اکسیدها (اکسیدهای آهن، آلومینیوم و...) تشکیل گروه‌های مارنی متفاوتی می‌دهند که خواص شیمیایی، فیزیکی، مکانیکی و فرسایشی آن‌ها متفاوت می‌باشد.

به‌طور کلی مارن‌ها نسبت به فرسایش بسیار حساس بوده و موجب کاهش عمر مفید سدها، بالا بردن هزینه تصفیه آب شرب برای ترسیب کلونیدهای رسی، سبب ته‌نشینی کلونیدهای رسی بر سطح خاک و کاهش چشمگیر نفوذپذیری در عرصه‌های پخش سیلاب و افزایش هزینه‌های پیش‌پالایی می‌شوند. در ایران مارن‌ها در عرصه‌های مختلف و به‌خصوص در نواحی جنوبی و در تشکیلات مختلفی و به‌خصوص در تشکیلات قم و کرتاسه مشاهده می‌شود. رسوباتی که از این نهشته‌ها تولید می‌شوند، برای سدهای سفید رود، پانزده خرداد، سد ساوه و... به یک معضل تبدیل شده است. بنابراین مطالعه و بررسی مارن‌ها از جنبه‌ها و ابعاد مختلف جهت برنامه‌ریزی برای کنترل و کاهش فرسایش و یا پیش‌بینی‌های لازم برای اجرای پروژه‌های عمرانی، لازم و ضروری است (Ghadimi Arous Mahalah, ۱۹۹۹).

بررسی‌ها نشان می‌دهد که محققین مختلف بصورت هر چند پراکنده، رابطه بین عوامل فیزیکی- شیمیایی در مارن‌ها را با طبقه‌بندی، شدت و میزان

فرسایش‌پذیری و اشکال فرسایشی مورد توجه قرار داده و اظهار نموده‌اند که برخی از عوامل شیمیایی تاثیر قابل ملاحظه‌ای بر شدت و نوع فرسایش ایفا می‌نمایند. نسبت جذب سدیم (SAR) مهمترین عاملی است که با نوع مارن و نوع فرسایش رابطه موثری نشان می‌دهد (Ghadimi Arous Mahalah و همکاران، ۱۹۹۹).

تحقیقات انجام شده به کمک آزمایشات ترمودینامیک نشان می‌دهد که مارن‌ها با تغییرات pH و حضور آب و سولفات‌هایی چون گچ، کانی‌های آبدار و متورمی همانند ایتزینگیت<sup>۱</sup> و تومازیت<sup>۲</sup> تولید می‌نمایند که بر میزان پایداری مارن‌ها تاثیر بسزایی دارد. Rienks و همکاران (۱۹۹۹) با مطالعه رسوبات در مناطق با فرسایش خندقی در مارن‌های آفریقای جنوبی دریافتند که بیشترین خندق‌ها در مارن‌هایی دیده می‌شود که سدیم قابل تبادل (ESP) و نسبت جذب سدیم (SAR) بالایی دارا می‌باشند. یعنی در رسوباتی که خاصیت پخش‌شوندگی آن‌ها بیشتر بوده، خندق‌ها با تراکم بیشتر مشاهده می‌شود. Bouma (۱۹۹۸) با بررسی بدلندهای منطقه Petter در اسپانیا اظهار نمود که پارامترهای EC و SAR ارتباط زیادی با فرسایش‌پذیری و تولید بدلندها نشان می‌دهند و کربنات کلسیم در مارن‌های سفید رنگ منطقه سبب پایدار شدن این نوع مارن‌ها نسبت به انواع خاکستری و قهوه‌ای شده است.

به‌طور کلی، بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد که اولاً وجود ترکیباتی چون مواد آلی، آهک و اکسیدهای آهن و آلومینیوم به‌عنوان سیمان، باعث پایداری مارن‌ها و یون‌های سدیم با پخش کردن ذرات رس موجب ناپایداری و افزایش شدت فرسایش در آن‌ها می‌شود (Greenland و Payne, ۱۹۷۵, Heed, ۱۹۷۱, Roth و همکاران, ۱۹۸۴). برخی از متغیرهای فیزیکی نیز در تشکیل اشکال و شدت فرسایش نقش موثری ایفا می‌کنند. Salmasi و Pyrowan (۲۰۱۲) با بررسی مارن‌های حوضه تلخه‌رود اظهار نمودند که درصد ماسه یکی از عوامل موثر و معنی‌دار در تشکیل نوع فرسایش می‌باشد. Alirezaei و همکاران (۲۰۱۱)

<sup>1</sup> Ettringite

<sup>2</sup> Thaumsite

با میزان فرسایش و نوع فرسایش مورد بررسی قرار گرفته است (Amiri و همکاران، ۲۰۰۹، Amiri و همکاران، ۲۰۱۱، Pyrowan و Amiri، ۲۰۱۲). در این پژوهش سعی شد تا طبقه‌بندی مارن‌ها و ارتباط بین طبقات مارنی با برخی عوامل به‌عنوان شاخصی از شدت و نوع فرسایش مورد بررسی قرار گیرد.

### مواد و روش‌ها

مارن‌های همدان در سه منطقه در شمال استان واقع شده و شرایط آب‌وهوایی سرد نیمه‌خشک بر آن‌ها حاکم است. در شکل ۱ موقعیت آن‌ها ارائه شده است.

### نمونه‌برداری صحرائی و تحلیل آزمایشگاهی:

جهت شناخت وضعیت مینرالوژی و تعیین سن مارن‌های منطقه تعداد هفت نمونه از مارن‌ها به روش دیفرکتومتری اشعه ایکس و پنج نمونه از مارن‌های نیمه‌سخت و سه نمونه از سنگ‌های آهکی و ماسه‌سنگی همراه، به روش تهیه مقاطع نازک مورد مطالعه قرار گرفت.

از ۴۱ نقطه فرسایشی (۱۶ مورد از نوع خندقی، هشت مورد شیاری و ۱۷ مورد ورقه‌ای) در سه منطقه مارنی، حدود ۴۱ نمونه و هر کدام به وزن حدود ۱/۵ تا دو کیلوگرم اخذ و به آزمایشگاه‌های دانشگاه بوعلی‌سینا، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی همدان و پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری ارسال و در آزمایشگاه مقدار متغیرهای مختلف تعیین و سپس مقدار اندیس خمیری، اکتیویته، اکتیویته اصلاح شده و ... نیز محاسبه شد. همچنین، همزمان با نمونه‌برداری، آزمایش باران مصنوعی به‌وسیله بارانساز Kamphorst (۱۹۸۷) در ۴۱ نقطه مذکور انجام و به همین تعداد نمونه‌های رواناب و رسوب تهیه و در آزمایشگاه مقدار وزن رسوب (تلفات خاک)، وزن رواناب و وزن آب نفوذ یافته در مارن‌های منطقه، محاسبه و تعیین شد.

علاوه بر این، امتیازات هفت عامل سطحی یعنی حرکت توده خاک، پوشش لاشبرگ، پوشش سنگی سطح زمین، قطعات سنگی تحکیم یافته، شیارهای سطحی، فرم آبراهه‌ها و توسعه فرسایش خندقی به روش جدول B.L.M در محل نمونه‌ها برداشت و

با بررسی مورفوکلیماتیک خندق‌های استان همدان دریافتند که بیشترین خندق‌های استان در اقلیم نیمه‌خشک سرد و در مارن‌ها به‌وجود آمده که در دامنه‌ها به شکل V و در دشت‌ها و مناطق کم شیب به شکل U می‌باشند (Mohamed، ۲۰۰۰). Khamehcian (۱۹۹۰) با انجام آزمایشاتی چون حدود اثربرگ، درصد رطوبت و غیره بر روی نمونه‌هایی از مارن‌های مونت‌موریلونیت‌دار، نتیجه‌گیری نموده که با افزایش مقدار کربنات کلسیم میزان حساسیت مارن در برابر آب کاهش و ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی آن‌ها از نظر مهندسی بهبود می‌یابد.

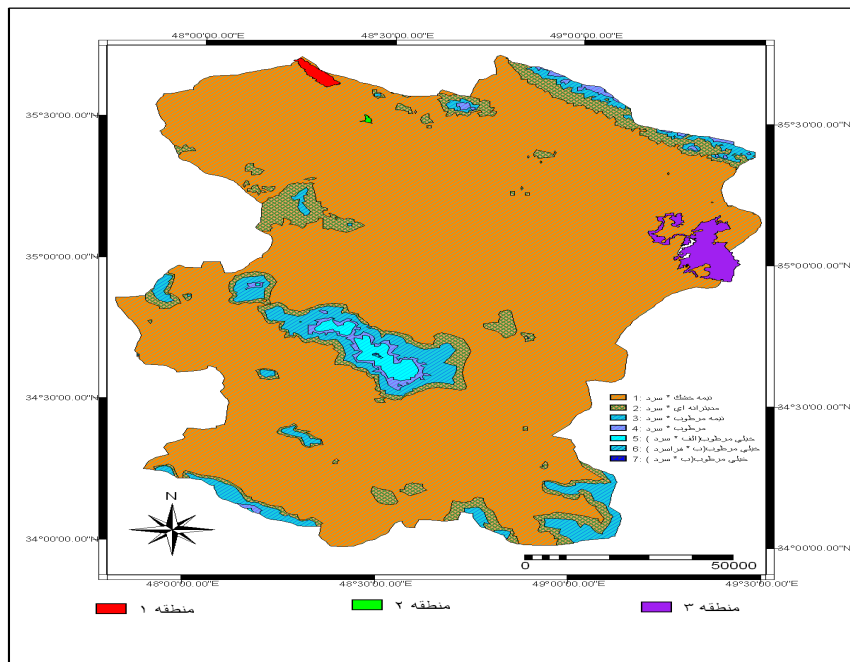
در خصوص طبقه‌بندی مارن‌ها و ارتباط طبقات مارنی با متغیرهای فیزیکی و شیمیایی پژوهش‌های اندکی انجام پذیرفته است. Ghadimi Arous و Mahalah (۱۹۹۶b) با تهیه ۶۰ نمونه و تعیین مقدار ۱۶ متغیر فیزیکی-شیمیایی، مارن‌های منطقه تفرش را به پنج گروه مارنی طبقه‌بندی نموده و اظهار داشته که از بین کلیه متغیرها، فقط متغیرهای شیمیایی هستند که در طبقه‌بندی مارن‌ها از نظر تولید رسوب دارای کاربرد و اهمیت می‌باشد و مهمترین آن‌ها سدیم است. Hamidzadeh (۲۰۰۲) نتایج فوق را بر روی مارن‌های تفرش عیناً تکرار و تایید نموده است.

تشکیلات مارنی استان همدان در نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰۰ کبودرهنگ به‌نام شیت D<sub>5</sub> و همدان به‌نام D<sub>6</sub> با رخساره مارن، ماسه‌سنگ و آهک و در جنوب شرقی نقشه زمین‌شناسی رزن با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ به‌صورت مارن‌های خاکستری تا سبز زیتونی و گاه قرمز رنگ با میان لایه‌های ستبر سنگ آهک تعریف شده و بر اساس ماکروفسیل‌ها و میکروفسیل‌های موجود در آن‌ها، سن الیگومیوسن پسین تا میوسن بالایی برای آن‌ها در نظر گرفته شده است.

Amiri و Charkhabi (۲۰۰۲) با بررسی منشاء کلوئیدهای رسی ایستگاه پخش سیلاب کبودرهنگ ضمن اشاره به وجود این مارن‌ها در منطقه، اظهار داشته که این مارن‌ها با داشتن کلریت فراوان به رنگ مایل به سبز در آمده و به‌صورت هم شیب در زیر لایه آهک مسیو قم واقع شده است. تاکنون مارن‌های همدان از نظر ارتباط بین متغیرهای فیزیکی-شیمیایی

فیزیکی و شیمیایی اندازه‌گیری و محاسبه شده در این پژوهش در جدول ۱ ارائه شده است.

یادداشت شد. به دلیل حجم زیاد از ارائه مقادیر متغیرها خوداری شده و تنها لیست کلیه متغیرهای



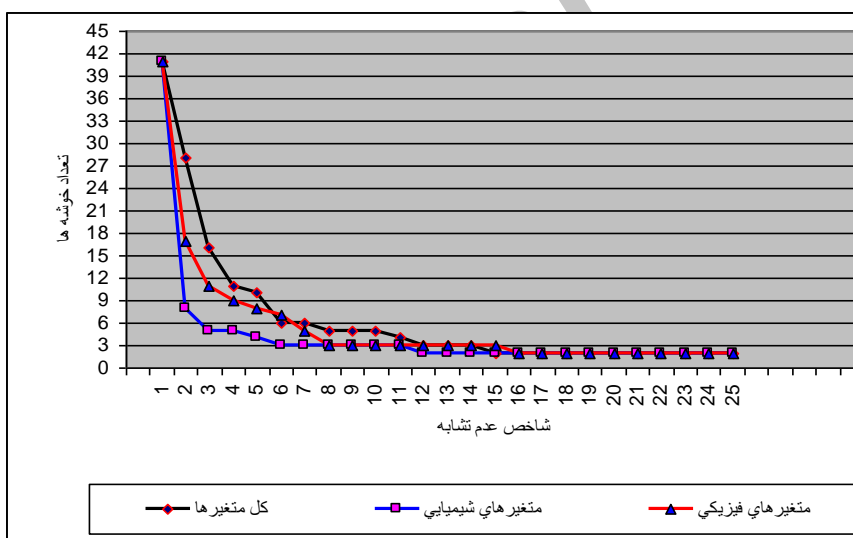
شکل ۱- موقعیت مارن‌های استان همدان (مناطق یک، دو و سه)

**جدول ۱- انواع متغیرهای مورد استفاده در تحلیل‌های آماری (وزن تلفات خاک=W)**

متغیرهایی که به‌طور طبیعی نرمال بوده‌اند	متغیرهایی که با لگاریتم‌گیری نرمال شده‌اند	نام متغیر
درصد مواد خنثی شونده	لگاریتم یون کلسیم	لگاریتم نسبت جذب سدیم
ظرفیت تبادل کاتیونی	لگاریتم یون سدیم	لگاریتم مجموع آنیون‌ها
اسیدیته	لگاریتم یون منیزیم	لگاریتم یون کلر
-	لگاریتم هدایت الکتریکی	لگاریتم یون بی‌کربنات
-	لگاریتم مقدار ژپس	لگاریتم طبیعی یون سولفات
-	لگاریتم درصد کربن آلی	لگاریتم مجموع کاتیون‌ها
وزن مخصوص واقعی	لگاریتم وزن آب نفوذ یافته	لگاریتم عامل سطحی خاک
حد روانی	نسبت لگاریتم وزن تلفات خاک به وزن تلفات خاک (LogW/W)	لگاریتم عامل حرکات توده‌ای خاک
حد خمیری	-	لگاریتم عامل فرسایش خندقی
درصد رس	-	لگاریتم عامل فرسایش شیبی
درصد سیلت	-	لگاریتم عامل قطعات سنگ تحکیم یافته
عامل فرم آبراهه	-	لگاریتم عامل پوشش خرده سنگی
نشانه خمیری	-	لگاریتم عامل پوشش لاشبرگ
فعالیت (پتانسیل تورم)	-	لگاریتم درصد شیب توپوگرافی
فعالیت اصلاح شده	-	لگاریتم درصد ماسه
طبقه بافت (پنج نوع بافت با سطوح عددی)	-	لگاریتم وزن رواناب
نسبت رس (نسبت مجموع ماسه و سیلت به رس)	-	-

به ازای مقادیر مختلف شاخص عدم تشابه تعیین و سپس به کمک داده‌های به‌دست آمده، نمودارهای تعداد گروه‌های مارنی به ازای شاخص عدم تشابه ترسیم شد که در شکل ۲ این نمودارها ارائه شده‌اند. بررسی دقیق این نمودارها نشان می‌دهد که در نمودار کل متغیرها، نقطه‌ای که در آن تعداد خوشه‌ها برابر با شش می‌باشد، اولین نقطه‌ای است که منحنی تقریباً از حالت افقی خارج شده و با افزایش چشمگیر شاخص عدم تشابه، در تعداد خوشه‌ها تنها تغییرات جزئی به‌وجود می‌آید. این نقطه به‌عنوان نقطه‌ای مناسب برای تشخیص تعداد مناسب گروه‌های مارنی جهت طبقه‌بندی محسوب می‌شود و به کمک آن می‌توان خط اپتیمم را تشخیص و آن را بر روی دندروگرام مشخص نمود. برای متغیرهای شیمیایی نقطه مناسب محلی است که تعداد خوشه‌ها یا طبقات مارنی برابر با چهار و برای متغیرهای فیزیکی برابر با پنج می‌باشد.

**تحلیل‌های آماری:** داده‌های حاصل از کلیه متغیرها فوق‌الذکر به‌وسیله روش‌های آماری (Zargar, ۲۰۰۵ و Afshani و همکاران، ۲۰۰۵) مورد بررسی قرار گرفتند و به کمک تست کولموگروف-اسمیرنوف متغیرهای غیرنرمال شناسایی و با لگاریتم‌گیری نرمال شدند (جدول ۱) و سپس به کمک داده‌های مذکور و با استفاده از متد تحلیل خوشه‌ای، مارن‌های منطقه طبقه‌بندی شدند. تحلیل خوشه‌ای یک‌بار بر روی کلیه متغیرهای فیزیکی و شیمیایی، بار دوم فقط بر روی متغیرهای شیمیایی و بار سوم فقط بر روی متغیرهای فیزیکی انجام شد. در این روش برای تعیین خط اپتیمم یعنی تعیین تعداد مناسب گروه‌های مارنی در هر بار از تحلیل، اقدام به تهیه نمودار شاخص عدم تشابه به ازای تعداد خوشه‌ها شد که برای ترسیم این نمودار ابتدا با حرکت یک خط در عرض صفحه بر روی دندروگرام مربوطه، تعداد خوشه‌ها (گروه‌های مارنی)



شکل ۲- دیاگرام‌های مربوط به شاخص عدم تشابه به ازای تعداد خوشه‌ها (گروه مارنی) در مارن‌های استان همدان

متغیرهای موثر در طبقه‌بندی، به کمک آن‌ها توابعی تحت عنوان توابع فشار به‌دست آمده است که با استفاده از آن‌ها و با مشخص شدن مقادیر متغیرهای موثر برای هر نمونه‌ای که از منطقه اخذ شود، می‌توان نوع طبقه مارنی را برای آن نمونه تشخیص داد. همچنین، با استفاده از مدل اسکالوگرام (Gooman, ۱۹۵۹, Green, ۱۹۵۶) و به کمک عوامل موثر در طبقه‌بندی، ویژگی‌های گروه‌های مارنی منطقه

جهت بررسی میزان دقت طبقه‌بندی فوق‌الذکر، تشخیص نوع متغیرهای موثر در طبقه‌بندی و شناسایی دقت پیش‌بینی تعلق مشاهدات به هر یک از گروه‌های مارنی، تحلیل تفکیکی پلکانی بر روی داده‌های انجام شد. این تحلیل یک بار برای کل متغیرهای فیزیکی و شیمیایی، بار دوم فقط برای متغیرهای شیمیایی و بار سوم فقط برای متغیرهای فیزیکی انجام گرفت. در این تحلیل پس از تشخیص

شناسایی شد. در این مدل، نخست میانگین مقدار هر یک از متغیرهای موثر برای مشاهدات هر گروه مارنی محاسبه و سپس میانگین و انحراف معیار این میانگین‌ها برآورد شد. سپس سه پارامتر به‌عنوان معیار و سنجش برای هر یک از متغیرهای موثر به شرح ذیل تعیین و معرفی شد  $(S_d/2)$  مساوی نصف انحراف معیار کل و  $\mu$  مساوی میانگین کل است). پارامتر مثبت: به مقادیری از میانگین‌ها در هر گروه مارنی اطلاق می‌شود که از مجموع میانگین کل و نصف انحراف معیار کل بیشتر باشد.  $\mu + (S_d/2) < X$  پارامتر منفی: به مقادیری از میانگین‌ها در هر گروه مارنی اطلاق می‌شود که از تفاضل میانگین کل و نصف انحراف معیار کل کمتر است.  $X < \mu - (S_d/2)$  پارامتر خنثی: به مقادیری از میانگین‌ها در هر گروه مارنی اطلاق می‌شود که مقدار آن بین دو حد مثبت و منفی قرار گرفته است.  $\mu - (S_d/2) < X < \mu + (S_d/2)$

مقدار میانگین هر متغیر در هر گروه مارنی با مقادیر پارامترهای سه‌گانه فوق‌الذکر مقایسه شد و سطوح مثبت، منفی و یا خنثی بودن آن‌ها مشخص شد. به کمک این سطوح و با داشتن مقادیر متغیرهای موثر در طبقه‌بندی، طبقه مارنی و خصوصیات شیمیایی یا فیزیکی هر نمونه‌ای که از منطقه اخذ شود، قابل شناسایی و تشخیص می‌باشد.

در پایان با توجه به تعداد انواع فرسایش موجود در هر طبقه مارنی که به‌وسیله نمونه‌های قرار گرفته در هر گروه مارنی (به کمک تحلیل خوشه‌ای) مشخص می‌شود، سهم هر یک از گروه‌های مارنی از هر نوع فرسایش و سهم انواع فرسایش در هر گروه مارنی محاسبه شد. برای تعیین سهم هر یک از گروه‌های مارنی از هر نوع فرسایش، تعداد هر نوع فرسایش در گروه مربوطه بر تعداد کل آن نوع فرسایش تقسیم و حاصل در عدد ۱۰۰ ضرب شد.

برای تعیین سهم قابل پیش‌بینی انواع فرسایش در هر گروه مارنی به‌دلیل عدم تساوی تعداد انواع فرسایش در کل منطقه، تعداد مشاهدات هر نوع فرسایش در هر گروه مارنی در عدد ۴۱ (تعداد کل مشاهدات انواع اشکال فرسایش) ضرب شده و حاصل آن بر حاصل ضرب تعداد کل مشاهدات نوع فرسایش مربوطه (هشت یا ۱۶ یا ۱۷) در عدد سه (تعداد انواع

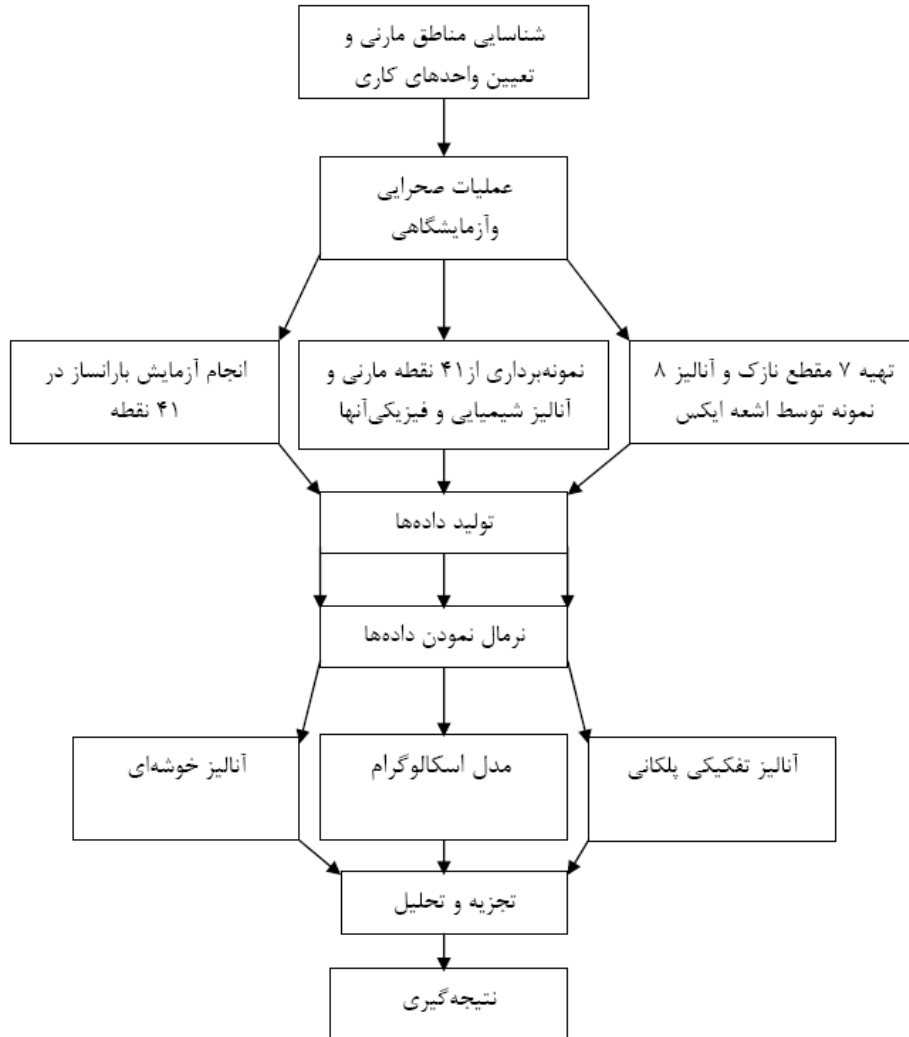
#### نتایج و بحث

**لیتولوژی مارن‌ها و سنگ‌های همراه:** در بررسی‌های صحرایی مارن‌های منطقه با مورفولوژی تپه ماهوری و توپوگرافی ملایم و به رنگ سبز زیتونی و گاهی اوقات با رنگ خاکستری و یا روشن با لکه‌های سفید رنگ دیده می‌شود و همراه آن‌ها میان لایه‌های نازکی از ماسه‌سنگ و سیلتستون با ضخامت کمتر از یک متر و لایه‌های ضخیم آهکی مشاهده می‌شود. لایه‌های ضخیم آهکی در اغلب نقاط با مرزی تند بر روی مارن‌ها قرار گرفته است. در مقاطع میکروسکوپی ماسه‌سنگ‌ها دارای خرده‌های چرتی، کانی‌های پلاژیوکلاز و کوارتز بوده و به‌عنوان لیت‌آرنایت فلدسپاتی از آن می‌توان نام برد. لکه‌های آهکی مسیو حاوی جلبک‌های لیتوتامینیوم و لیتوفیلوم و فورامینیفرهایی، چون نومولیتس و آلونولینا می‌باشد که سن این سنگ‌ها را الیگومیوسن معرفی می‌نماید. مارن‌ها در مقاطع میکروسکوپی با دو بخش تیره رسی و شفاف کربناتی با تبلور ثانویه و به‌صورت اسپارایت مشاهده می‌شود.

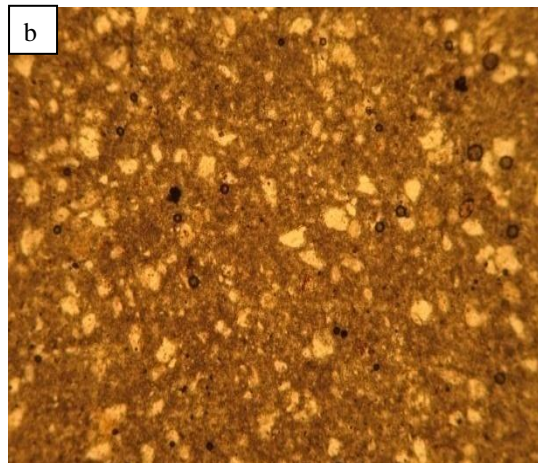
در شکل ۴ تصاویری از مارن‌ها و آهک‌های همراه در منطقه ارائه شده است. در مطالعه هفت نمونه از مارن‌های منطقه به‌وسیله اشعه ایکس، کانی‌های کوارتز، کلسیت، آلپیت، آلکالی فلدسپات، رس‌های چند لایه‌ای، میکا، ایلیت، کانی‌های حجیم

منطقه تلقی شود. در برخی از نقاط آثار هر سه نوع فرسایش ورقه‌ای، شیاری و خندقی بر روی مارن‌های منطقه مشاهده می‌شود.

مونت‌موریلونیت، کلینوکلر، دولومیت و ژپس گزارش شده است. کانی‌های کلینوکلر، کلریت، ژپس و رس می‌تواند از جمله عوامل تعیین کننده رنگ مارن‌های



شکل ۳- مراحل انجام پژوهش



شکل ۴- تصاویر مارن‌ها، (a) تصویر صحرایی شامل مارن در زیر و آهک در رو، (b) تصویر میکروسکوپی مارن، بزرگی ۴۰ برابر و بدون آنالیز

**برداشت‌های صحرائی شاخص‌های شدت**

**فرسایش:** در جدول ۲ نتایج برداشت‌های امتیازدهی عوامل جدول B.L.M و تلفات خاک حاصل از آزمایش بارانساز به همراه انواع بافت گزارش شده از آزمایش دانه‌بندی مارن‌ها ارائه شده است. همان‌طوری که از جدول مشاهده می‌شود، تفاوت زیادی بین مقادیر تلفات خاک (از زیر ۱۰ گرم تا بالای ۲۰۰ گرم) حاصل از آزمایشات بارانساز مشاهده می‌شود. این تفاوت در تحلیل تفکیکی بر روی داده‌ها معنی‌دار تشخیص داده شده و عوامل تلفات خاک به شکل نرمال شده آن (نسبت لگاریتم وزن تلفات خاک به وزن تلفات خاک) به‌عنوان یکی از متغیرهای موثر در طبقه‌بندی مارن‌های منطقه مورد شناسایی قرار گرفت. در این جدول بین مجموع امتیازات پارامترهای B.L.M تفاوت چندانی مشاهده نمی‌شود و در بررسی داده‌ها به‌وسیله تحلیل تفکیکی هیچ یک از عوامل جدول B.L.M در لیست متغیرهای موثر در طبقه‌بندی مارن‌های منطقه قرار نگرفته است.

**طبقه‌بندی مارن‌های منطقه:** همان‌طوری که بیان شد، تحلیل خوشه‌ای بر روی داده‌ها یک بار با کلیه متغیرهای فیزیکی و شیمیایی، بار دوم فقط با متغیرهای شیمیایی و بار سوم فقط با متغیرهای فیزیکی انجام شد. دندروگرام‌های طبقه‌بندی مربوط به این تحلیل در شکل‌های ۵، ۶ و ۷ ارائه شده است. با توجه به این شکل‌ها، مارن‌های منطقه به کمک متغیرهای شیمیایی به چهار گروه ( $S_1$ ،  $S_2$ ،  $S_3$  و  $S_4$ ) طبقه‌بندی می‌شوند و مشاهداتی که در هر طبقه قرار می‌گیرد، حدود ۸۰ درصد خصوصیات شیمیایی آن‌ها شبیه به هم است.

به کمک متغیرهای فیزیکی مارن‌های منطقه به پنج گروه ( $P_1$ ،  $P_2$ ،  $P_3$ ،  $P_4$  و  $P_5$ ) طبقه‌بندی می‌شود و مشاهدات هر طبقه حدود ۶۸ درصد از خصوصیات و ویژگی‌های فیزیکی همسان را دارا می‌باشد. همچنین، بر مبنای همه متغیرهای فیزیکی-شیمیایی به‌صورت توأم، مارن‌های منطقه به شش گروه ( $T_1$ ،  $T_2$ ،  $T_3$ ،  $T_4$ ،  $T_5$  و  $T_6$ ) طبقه‌بندی می‌شود که مشاهدات هر طبقه از نظر خصوصیات شیمیایی و فیزیکی حدود ۷۳ درصد

به هم شبیه می‌باشد.

**ارزیابی دقت طبقه‌بندی:** در تحلیل تفکیکی پلکانی بر روی کلیه متغیرهای فیزیکی و شیمیایی مشخص شد که تنها شش متغیر نسبت رس، درصد مواد خنثی شونده، ظرفیت تبادل یونی، درصد رس، کلاس بافتی و حد روانی در طبقه‌بندی مارن‌های منطقه موثر می‌باشد و برای هر طبقه مارنی یک تابع (تابع فیشر) به‌دست می‌آید که ضرایب این توابع در جدول ۳ ارائه شده است.

اگر یک نمونه مارنی تجزیه شود و مقادیر شش متغیر فوق مشخص و در توابع قرار گیرند، برای هر تابع یک عدد به‌دست می‌آید که در مقایسه با مقادیر سایر توابع می‌تواند میزان احتمال تعلق آن مشاهده را به گروه مربوطه نشان دهد. معمولاً هر مشاهده متعلق به گروهی می‌باشد که تابع متعلق به آن گروه نسبت به سایر گروه‌ها بیشترین مقدار احتمال (بیشترین عدد) را کسب می‌نماید.

تحلیل تفکیکی پلکانی بروی متغیرهای شیمیایی نشان می‌دهد که در طبقه‌بندی مارن‌های منطقه فقط سه متغیر درصد مواد خنثی شونده، ظرفیت تبادل یونی و لگاریتم مقدار کلر موثر می‌باشد که ضرایب توابع فیشر مربوط به آن‌ها در جدول ۴ ارائه شده است. تحلیل تفکیکی پلکانی بر روی متغیرهای فیزیکی نشان می‌دهد که در طبقه‌بندی مارن‌های منطقه فقط شش متغیر درصد رس، درصد سیلت، حد روانی، اکتیویته، نسبت رس و نسبت لگاریتم وزن تلفات خاک به وزن تلفات خاک موثر می‌باشد که ضرایب توابع فیشر مربوط به آن‌ها در جدول ۵ ارائه شده است. در جدول ۶ نتایج حساسیت توابع فیشر برای پیش‌بینی تعلق مشاهدات به گروه‌های مارنی ارائه شده است.

داده‌های این جدول نشان می‌دهد که به کمک شش متغیر فیزیکو-شیمیایی و توابع فیشر از ۴۱ مشاهده اندازه‌گیری شده، فقط یک مورد به درستی پیش‌بینی نشده است. به بیان دیگر حدود ۹۷/۶ درصد مشاهدات به‌طور صحیح در گروه مارنی مربوطه قرار می‌گیرد.



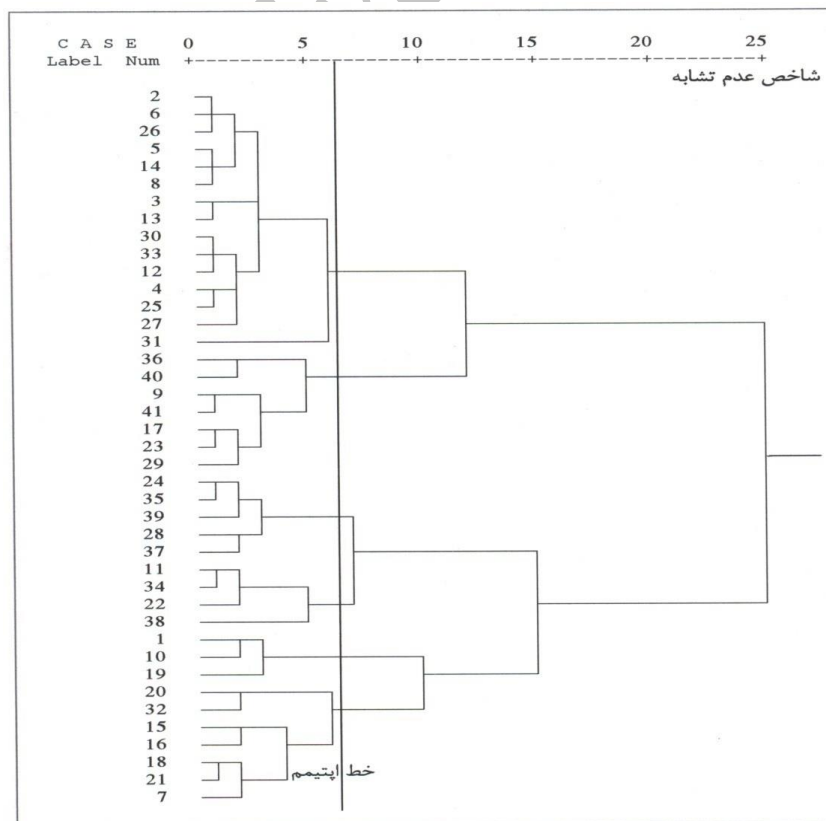
جدول ۲- نتایج حاصل از امتیازدهی به عوامل جدول B.L.M، تلفات خاک از طریق بارانساز و بافت نمونه‌ها (Si=سیلت، L=لوم و C=رس)

شماره نمونه	نوع فرسایش	فرسایش خندقی	فرم آبراهه	شیارهای سطحی	قطعات تحکیم یافته	پوشش		حرکات توده خاک	مجموع امتیازات	تلفات خاک (gr)	کلاسه بافت خاک
						پوشش سنگی	پوشش لاشبرگ				
۱	خندقی	۱۲	۱۰	۱۱	۲	۱۰	۱۰	۱۲	۶۷	۱۸/۳۷	Si-C-L
۲	خندقی	۱۲	۷	۶	۷	۹	۶	۱۱	۵۸	۵۲/۴۲	Si-C
۳	شیاری	۱۰	۱۲	۴	۲	۴	۹	۸	۴۹	۱۶/۱۷	Si-C
۴	خندقی	۳	۳	۳	۵	۱۲	۱۰	۱۳	۴۹	۳۵/۵۲	Si-C
۵	ورقه‌ای	۳	۶	۱۲	۱۰	۱۳	۹	۱۲	۶۵	۷۶/۲۶	Si-C
۶	شیاری	۱۱	۸	۹	۶	۱۳	۷	۴	۵۸	۴۶/۱۴	Si-C
۷	خندقی	۶	۳	۴	۳	۱۰	۱۲	۱۳	۵۱	۱۱/۲	Si-C
۸	ورقه‌ای	۹	۱۳	۳	۳	۳	۶	۹	۴۶	۸۷/۱۶	Si-C
۹	خندقی	۲	۱۳	۵	۶	۹	۸	۱۳	۵۶	۲۸/۳۸	Si-C
۱۰	ورقه‌ای	۵	۱۰	۴	۲	۳	۶	۸	۳۸	۲۱/۰۲	C
۱۱	ورقه‌ای	۱۱	۱۰	۳	۳	۶	۱۱	۱۲	۵۶	۱۴/۹۶	Si-C-L
۱۲	خندقی	۱۲	۶	۴	۲	۳	۱۰	۵	۴۲	۳۷/۲۸	Si-C
۱۳	ورقه‌ای	۹	۱۱	۱۰	۲	۲	۷	۶	۴۷	۵۹/۷۴	Si-C
۱۴	شیاری	۸	۷	۱۲	۱۰	۱۲	۱۰	۴	۶۳	۶۰/۰۵	Si-C
۱۵	خندقی	۹	۹	۴	۸	۱۲	۷	۱۰	۵۹	۳۲/۲۷	C-L
۱۶	خندقی	۸	۷	۱۰	۱۳	۱۲	۸	۱۲	۷۰	۷۸/۲۴	C-L
۱۷	خندقی	۸	۷	۵	۵	۱۳	۶	۷	۵۱	۴۲/۴۶	Si-C-L
۱۸	ورقه‌ای	۲	۳	۳	۵	۱۱	۱۰	۱۲	۴۶	۳۳/۱۲	Si-C-L
۱۹	ورقه‌ای	۱	۲	۵	۷	۱۲	۱۱	۱۳	۵۱	۴۶/۴۹	C
۲۰	ورقه‌ای	۶	۷	۴	۷	۱۲	۶	۱۳	۶۰	۲۷/۹۵	L
۲۱	ورقه‌ای	۳	۶	۴	۲	۸	۶	۵	۳۴	۴۸/۴۷	Si-C-L
۲۲	ورقه‌ای	۸	۱۰	۸	۱۰	۱۲	۵	۴	۵۷	۱۱/۸۸	L
۲۳	ورقه‌ای	۱	۷	۳	۲	۲	۷	۱	۲۳	۲۴/۲۸	Si-C-L
۲۴	خندقی	۱۴	۷	۵	۲	۷	۴	۳	۴۲	۳۰/۸۳	Si-C
۲۵	شیاری	۲	۲	۱۲	۱	۷	۱۲	۱۳	۴۹	۲۵۲/۳۷	Si-C-L
۲۶	ورقه‌ای	۲	۴	۳	۱۰	۱۱	۷	۸	۴۵	۱۱۴/۲۳	Si-C
۲۷	ورقه‌ای	۲	۳	۳	۱	۳	۶	۱۰	۲۸	۲۴/۱۷	Si-C
۲۸	خندقی	۱۴	۱۰	۴	۱	۲	۷	۱۲	۵۰	۴۳/۲۶	Si-C-L
۲۹	ورقه‌ای	۳	۳	۳	۱	۲	۹	۸	۲۹	۲۲/۸۲	Si-C-L
۳۰	ورقه‌ای	۳	۲	۵	۲	۳	۸	۱۲	۳۵	۲۰۵/۸۶	Si-C
۳۱	خندقی	۹	۴	۸	۷	۱۳	۶	۷	۵۴	۲۰۶/۹۴	C
۳۲	خندقی	۱۲	۸	۸	۱۰	۸	۶	۵	۴۴	۸/۴۲	L
۳۳	شیاری	۳	۶	۹	۲	۳	۴	۷	۳۴	۳۷/۴۳	Si-C
۳۴	ورقه‌ای	۷	۱۰	۴	۲	۳	۷	۱۰	۴۳	۳۴/۴۶	Si-C-L
۳۵	خندقی	۱۴	۸	۷	۱	۲	۶	۵	۴۳	۲۸/۹۶	Si-C-L
۳۶	خندقی	۱۲	۸	۸	۱	۱	۱۰	۱۲	۵۲	۸۸/۶۸	Si-C
۳۷	شیاری	۳	۵	۸	۱	۱	۱۱	۱۳	۴۲	۳۱/۵	Si-C-L
۳۸	شیاری	۵	۵	۱۲	۲	۲	۱۲	۱۲	۵۱	۵۷/۹۸	Si-C
۳۹	ورقه‌ای	۴	۱۲	۸	۳	۸	۸	۱۲	۵۵	۲۶/۳۹	C-L
۴۰	شیاری	۱۲	۱۰	۱۰	۲	۱	۱۱	۱۱	۵۷	۳۰/۴۷	Si-C
۴۱	خندقی	۱۳	۱۳	۶	۱	۱	۱۲	۱۲	۵۸	۲۸/۴۳	Si-C-L

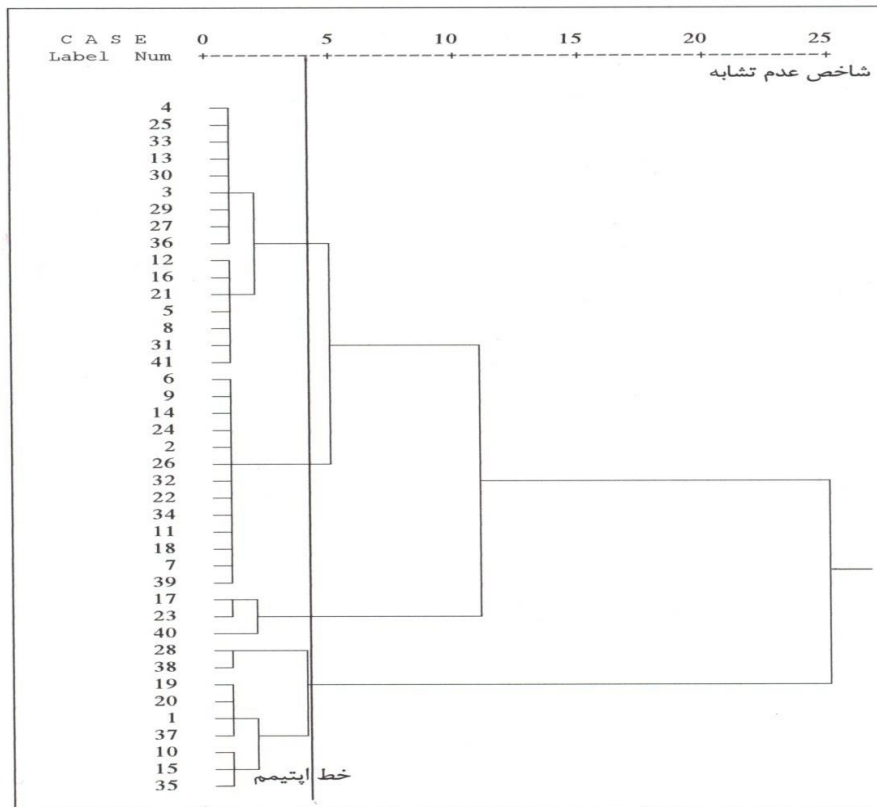
دقت این پیش‌بینی (ضریب کاپا) حدود ۹۶/۹ درصد می‌باشد. استفاده از متغیرهای شیمیایی تقریباً همان دقت استفاده از کل متغیرها شیمیایی و فیزیکی را دارد، یعنی از ۴۱ مورد مشاهده تنها یک مورد را به درستی پیش‌بینی نمی‌نماید و درصد پیش‌بینی صحیح آن حدود ۹۷/۶ است که البته دقت این پیش‌بینی اندکی کمتر و به حدود ۹۶/۵ درصد می‌رسد. در بهره‌گیری از شش متغیر فیزیکی موثر در پیش‌بینی، از ۴۱ مشاهده تنها ۳۶ مشاهده به درستی پیش‌بینی می‌شود که حساسیت آن ۸۷/۸ درصد و دقت آن برابر با ۸۳/۹ درصد است.

برای پاسخ به این سوال که با اندازه‌گیری مقدار متغیرهای موثر در طبقه‌بندی چگونه می‌توان گروه یا طبقه مارنی مربوط به هر مشاهده را شناسایی نمود. علاوه بر طریقه‌ای (توابع فیشر) که شرح آن ارائه شد، راه دیگری به نام مدل اسکالوگرام مورد استفاده قرار گرفت که نتایج حاصله در جداول ۷، ۸، ۹، ۱۰، ۱۱ و ۱۲ ارائه شده است. بررسی جدول ۱۰ مربوط به کل متغیرهای فیزیکی و شیمیایی نشان می‌دهد که دو گروه مارنی  $T_1$  و  $T_2$  دارای مقدار مواد خنثی شونده

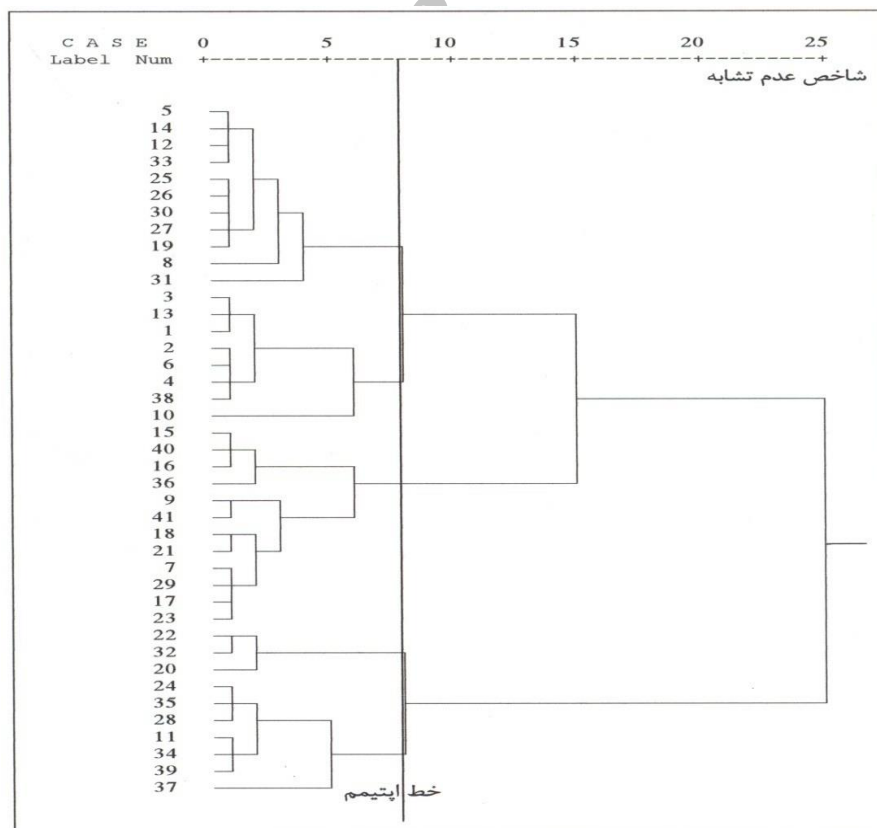
(آهک) کم و منفی است، در حالی که دو گروه  $T_3$  و  $T_4$  دارای مقدار متوسط و خنثی بوده و دو گروه  $T_5$  و  $T_6$  دارای مقادیر زیاد و مثبت می‌باشند. گروه مارنی  $T_6$  دارای مقادیر مثبت از نسبت رس و گروه مارنی  $T_5$  دارای مقدار منفی است. گروه مارنی  $T_3$  دارای نسبت رس با مقدار زیاد (مثبت) و درصد رس با مقدار کم (منفی) است. در صورتی که هر دوی این متغیرها در گروه مارنی  $T_4$  دارای مقدار متوسط (خنثی) می‌باشد. گروه مارنی  $T_1$  دارای نسبت رس کم (منفی) و درصد رس زیاد (مثبت) است، در حالی که هر دوی این متغیرها در  $T_2$  دارای مقدار متوسط (خنثی) می‌باشد. بنابراین به راحتی می‌توان به‌وسیله سه پارامتر درصد مواد خنثی شونده، نسبت رس و درصد رس، شش گروه مارنی را از هم متمایز و شناسایی نمود که البته سه پارامتر دیگر نیز برای بر طرف نمودن شک و تشخیص دقیق‌تر  $T_3$  و  $T_4$  از سایر گروه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. بنابراین با روشی مشابه و به کمک جداول ۱۱ و ۱۲ می‌توان خصوصیات هر نمونه مارنی را در منطقه شناسایی و گروه یا طبقه مارنی آن را مشخص نمود.



شکل ۵- دندروگرام مربوط به طبقه‌بندی مارن‌های استان همدان بر اساس کل متغیرها (فیزیکی و شیمیایی)



شکل ۶- دندروگرام مربوط به طبقه‌بندی مارن‌های استان همدان بر اساس متغیرهای شیمیایی



شکل ۷- دندروگرام مربوط به طبقه‌بندی مارن‌های استان همدان بر اساس متغیرهای فیزیکی

**جدول ۳- ضرایب متغیرهای فیزیکی-شیمیایی در توابع فیشر برای پیش‌بینی تعلق مشاهدات به گروه‌های (طبقات) مارنی**

ضرایب توابع خطی فیشر برای شش گروه مارنی						نوع متغیر
T <sub>6</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>1</sub>	
۹۰۷/۱۸۱	۸۱۹/۸۰۲	۹۱۱/۵۷۰	۹۹۰/۸۲۷	۸۷۶/۳۴۶	۸۷۹/۰۲۳	نسبت‌رس
۳/۷۱۵	۴/۱۲۹	۳/۳۰۵	۳/۱۷۴	۲/۵۳۲	۲/۷۶۱	درصد مواد خنثی شونده
-۰/۷۶۴	-۰/۶۷۱	-۱/۱۸۵	-۱/۶۲۷	-۰/۶۳۱	-۰/۸۲۴	ظرفیت تبادل یونی
۲۸/۷۷۰	۲۷/۲۳۱	۲۹/۱۵۷	۳۱/۵۸۵	۲۷/۹۸۴	۲۸/۹۶۵	درصد رس
۲۳۵/۶۱۴	۲۱۱/۸۶۴	۲۳۲/۷۰۱	۲۵۷/۱۹۱	۲۱۹/۸۸۵	۲۲۲/۳۲۶	کلاس بافت
-۳/۸۴۸	-۴/۶۲۲	-۳/۹۶۴	-۴/۴۹۴	-۳/۲۹۲	-۳/۹۹۲	حدروانی
-۱۶۳۶/۱۶۵	-۱۳۸۲/۹۲۰	-۱۶۲۸/۰۲۸	-۱۸۹۰/۴۱۷	-۱۵۱۵/۱۶۵	-۱۵۳۹/۹۴۸	ضرایب ثابت

**جدول ۴- ضرایب متغیرهای شیمیایی در توابع فیشر برای پیش‌بینی تعلق مشاهدات به گروه‌های (طبقات) مارنی**

ضرایب توابع خطی فیشر برای چهار گروه مارنی				نوع متغیر
S <sub>4</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>1</sub>	
۲/۵۸۶	-۰/۹۱۶	۱/۱۲۷	۰/۰۹۱	درصد مواد خنثی شونده
-۰/۷۶۳	۳/۱۴۸	۰/۶۵	۱/۹۱۲	ظرفیت تبادل یونی
۸/۵۹۷	۳/۱۶۸	۴/۶۷۵	۳/۳۴۱	لگاریتم کلر
-۵۰/۶۸۸	-۵۹/۴۶	-۳۰/۸۶۷	-۳۷/۷	ضرایب ثابت

**جدول ۵- ضرایب متغیرهای فیزیکی در توابع فیشر برای پیش‌بینی تعلق مشاهدات به گروه‌های (طبقات) مارنی**

ضرایب توابع خطی تفکیک فیشر برای پنج گروه مارنی					نوع متغیر
P <sub>5</sub>	P <sub>4</sub>	P <sub>3</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>1</sub>	
۲۶/۶۴۵	۲۶/۳۰۸	۲۵/۸۴۸	۲۶/۰۶۱	۲۶/۹۳۳	درصد رس
-۲۱/۴۷۷	-۲۳/۸۹۵	-۲۱/۱۰۳	-۲۰/۵۳۱	-۲۱/۱۷۰	درصد سیلت
۰/۱۵۵	۴/۰۱۱	۰/۹۵۸	۰/۱۳۴	-۰/۰۹۷	حد روانی
۲۶۴/۴۶۰	۱۳۹/۶۵۳	۲۵۱/۰۸۸	۲۴۰/۲۳۸	۲۵۰/۷۶۳	اکتیویته
۱۰۴۵/۷۴۳	۱۱۲۷/۹۱۱	۱۰۲۰/۴۳۵	۹۸۵/۴۴۴	۱۰۰۵/۰۴۸	نسبت رس
۱۱۳۹/۹۹۴	۱۴۶۴/۴۰۲	۱۱۷۹/۶۸۱	۱۰۵۴/۶۳۰	۹۸۶/۵۵۸	لگاریتم وزن تلفات خاک به وزن تلفات خاک
-۱۳۰۳/۸۵۸	-۱۴۸۷/۶۵۴	-۱۲۵۲/۶۷۷	-۱۱۷۷/۶۰۷	-۱۲۲۲/۹۳۶	ضرایب ثابت

**جدول ۶- حساسیت تحلیل تفکیکی به روش پلکانی برای پیش‌بینی تعلق مشاهدات به گروه‌های مارنی**

نوع متغیرهای مورد استفاده	عامل دقت یا پیش‌بینی	نتایج طبقه‌بندی (تحلیل خوشه‌ای)		نتایج حاصل از تحلیل تمیزی به روش پلکانی	
		تعداد مشاهدات	احتمال اولیه	تعداد درست پیش‌بینی شده	درصد پیش‌بینی صحیح
همه متغیرها	پیش‌بینی	۴۱	۱	۴۰	۹۷/۶
	دقت کاپا	-	-	≈۰/۹۶۹	
شیمیایی	پیش‌بینی	۴۱	۱	۴۰	۹۷/۶
	دقت کاپا	-	-	≈۰/۹۶۵	
فیزیکی	پیش‌بینی	۴۱	۱	۳۶	۸۷/۸
	دقت کاپا	-	-	≈۰/۸۳۹	

**جدول ۷-** میانگین، میانگین کل و انحراف معیار کل متغیرهای فیزیکی و شیمیایی موثر در پیش‌بینی گروه‌های مارنی

متغیرهای موثر	میانگین متغیرهای معنی‌دار در گروه‌های مارنی							در کل
	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	انحراف معیار	
درصد مواد خنثی شونده	۲۸/۷۱	۲۷/۲۳۳	۳۲/۲۳۶	۳۶/۱۱۳	۴۵/۰۶۷	۴۱/۳۳۳	۷/۰۷۳	۳۵/۱۱۵
ظرفیت تبادل یونی (cmolc.kg <sup>-1</sup> )	۳۲/۶۳۱	۳۷/۸۳۹	۲۲/۳۹۵	۲۶/۴۸۱	۲۸/۴۲۷	۳۵/۱۰۹	۵/۷۵۸	۳۰/۴۸۰
درصد رس	۳۹/۹۱۰	۳۳/۴۷۳	۳۶/۰۰	۴۴/۰۶۷	۳۲/۵۷۷	۷/۴۸۴	۳۹/۷۱۴	
حد روانی	۳۵/۴۸۷	۳۵/۵۳۹	۲۴/۷۸۲	۲۹/۴۵۵	۲۶/۹۹۸	۳۱/۸۷۹	۴/۴۲۷	۳۰/۶۹۰
نسبت رس	۱/۸۸۱	۲/۲۶۲	۲/۷۳۹	۲/۴۴۷	۱/۵۵۲	۲/۴۹۱	۰/۳۵۴	۲/۲۷۹
کلاس بافت	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۲۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۲۸۶	۰/۱۲۸	۰/۰۸۱

**جدول ۸-** میانگین، میانگین کل و انحراف معیار کل متغیرهای شیمیایی موثر در پیش‌بینی گروه‌های مارنی

متغیرهای موثر در پیش‌بینی	میانگین متغیرهای معنی‌دار در گروه‌های مارنی						در کل
	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	انحراف معیار	میانگین	
درصد مواد خنثی شونده	۲۹/۶۷۱۹	۳۳/۳۲۳۳	۲۴/۷۵۰	۴۱/۷۲۳	۷/۱۵۸۵	۳۲/۳۶۷۱	
ظرفیت تبادل یونی (cmolc.kg <sup>-1</sup> )	۳۵/۶۱۳۲	۲۹/۰۰۶۲	۴۱/۷۷۴۲	۲۵/۶۱۹۶	۷/۱۷۰۲	۳۳/۰۰۳۳	
لگاریتم کلر (meq.L <sup>-1</sup> )	۰/۸۴۶۶	۰/۶۱۴۴	۱/۶۴۶	۱/۱۹۶۴	۰/۴۴۹۱	۱/۰۷۵۹	

**جدول ۹-** میانگین، میانگین کل و انحراف معیار کل متغیرهای فیزیکی موثر در پیش‌بینی گروه‌های مارنی

متغیرهای موثر	میانگین متغیرهای معنی‌دار در گروه‌های مارنی						در کل
	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>	P <sub>4</sub>	P <sub>5</sub>	انحراف معیار	
درصد رس	۵۲/۸۱۱۸	۴۷/۵۱۰۳	۳۸/۰۳۱۲	۲۵/۰۰	۳۴/۰۶۰۶	۱۰/۹۹۴۷	۳۹/۴۸۴۱
درصد سیلت	۴۳/۰۹۰۹	۴۶/۵۶۴۶	۵۰/۷۴۹۵	۴۳/۶۶۶۷	۵۵/۵۶۰۶	۵/۲۳۵۳	۴۷/۹۲۶۵
حد روانی	۳۶/۱۰۶۴	۳۱/۴۰۴۳	۳۴/۳۷۶۷	۲۶/۰۴۶۷	۲۵/۵۸۶۸	۴/۷۷۰۸	۳۰/۷۰۴۲
اکتیویته	۰/۳۰۷۶	۰/۲۵۸۰	۰/۴۰۷۱	۰/۲۰۷۴	۰/۲۶۹۶	۰/۰۷۴۶	۰/۲۸۹۹
نسبت رس	۱/۸۲۲۲	۱/۹۸۲۶	۲/۳۵۱۴	۲/۷۴۷۸	۲/۶۳۴۴	۰/۴۰۱۲	۲/۳۰۷۶۸
نسبت لگاریتم وزن تلفات خاک به وزن تلفات خاک	۰/۰۲۷۶	۰/۰۴۷۳	۰/۰۴۷۸	۰/۰۸۴۰	۰/۰۵۲۱	۰/۰۲۰۴	۰/۰۵۱۸

**جدول ۱۰-** مشخصات گروه‌های مارنی تشخیص داده شده به‌وسیله متغیرهای فیزیکی و شیمیایی موثر در پیش‌بینی

گروه مارنی	مشخصات														
	مثبت					خنثی					منفی				
	مواد خنثی	تبادل یونی	درصد رس	حد روانی	نسبت رس	مواد خنثی	تبادل یونی	درصد رس	حد روانی	نسبت رس	کلاس بافت	مواد خنثی	تبادل یونی	درصد رس	نسبت رس
T <sub>1</sub>	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
T <sub>2</sub>	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
T <sub>3</sub>	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
T <sub>4</sub>	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
T <sub>5</sub>	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
T <sub>6</sub>	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

جدول ۱۱- مشخصات گروه‌های مارنی تشخیص داده شده به‌وسیله متغیرهای شیمیایی موثر در پیش‌بینی

گروه مارنی	مثبت			خنثی			منفی		
	مواد خنثی	نبال‌پیتی	لگاریتم کلر	نبال‌پیتی	لگاریتم کلر	مواد خنثی	نبال‌پیتی	لگاریتم کلر	
S <sub>1</sub>	*			*				*	
S <sub>2</sub>						*	*	*	
S <sub>3</sub>		*	*			*			
S <sub>4</sub>					*		*	*	

جدول ۱۲- مشخصات گروه‌های مارنی تشخیص داده شده به‌وسیله متغیرهای فیزیکی موثر در پیش‌بینی

گروه مارنی	مثبت					خنثی					منفی		
	درصد رس	حد روانی	اکتیویته	درصد سیلت	نسبت رس	نسبت رس	نسبت رس	نسبت رس	نسبت رس	نسبت رس	نسبت رس	نسبت رس	نسبت رس
P <sub>1</sub>	*	*				*						*	*
P <sub>2</sub>					*	*	*	*	*	*	*	*	*
P <sub>3</sub>		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
P <sub>4</sub>			*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
P <sub>5</sub>			*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

میزان تلفات خاک اندازه‌گیری شده به‌وسیله دستگاه بارانساز تائید می‌شود. زیرا، همان‌طوری که در بخش‌های قبلی بیان شد، یکی از متغیرهای فیزیکی که در طبقه‌بندی گروه‌های مارنی موثر و معنی‌دار است، وزن تلفات خاک (به شکل عامل نسبت لگاریتم وزن تلفات خاک به وزن تلفات خاک) می‌باشد که خود معیاری از شدت نسبی فرسایش است.

سوال دیگر این است که آیا بین گروه مارنی و نوع فرسایش رابطه‌ای وجود دارد؟ برای جواب به این سوال، سهم درصدی هر نوع فرسایش در هر گروه مارنی محاسبه و نتایج آن در جدول ۱۴ تنظیم و ارائه شده است. بررسی این جدول نشان می‌دهد که در هر طبقه یا گروه مارنی تفاوت‌های چشمگیری بین درصد سهم هر یک از انواع فرسایش وجود دارد. مثلاً در T<sub>6</sub> که سهم فرسایش شیاری به صفر نزول یافته است، سهم فرسایشی خندقی به بیش از ۵۰ درصد می‌رسد و یا در T<sub>4</sub> که سهم فرسایش خندقی به صفر رسیده است. سهم فرسایش ورقه‌ای به بیش از ۵۸ درصد بالغ

### ارتباط گروه‌های مارنی با شدت و نوع فرسایش:

سوال این است که اگر مجموع درصد انواع فرسایش را برای هر گروه مارنی به‌عنوان عاملی از شدت فرسایش در نظر بگیریم، آیا بین گروه مارنی تشخیص داده شده در منطقه و شدت فرسایش ارتباطی وجود دارد و در کدام گروه مارنی شدت فرسایش بیشتر است؟ برای جواب به این سوال، سهم درصدی هر گروه مارنی از هر نوع فرسایش محاسبه و نتایج آن در جدول ۱۳ ارائه شده است. بررسی این جدول نشان می‌دهد که در گروه‌های مارنی مربوط به کل متغیرهای فیزیکی و شیمیایی، گروه مارنی T<sub>1</sub> بیشترین مشاهدات در انواع فرسایش‌ها را به‌خود اختصاص می‌دهد. در بین گروه‌های مارنی که بر مبنای متغیرهای شیمیایی تعیین شده‌اند، درصد مشاهدات انواع فرسایش در گروه مارنی S<sub>1</sub> بیشتر از سایر گروه‌ها است و در بین گروه‌های مارنی بر مبنای متغیرهای فیزیکی، درصد مشاهدات انواع فرسایش در P<sub>4</sub> کمتر از سایر گروه‌های مارنی است. بنابراین، بین گروه‌های مارنی و شدت فرسایش یک ارتباطی وجود دارد. این موضوع به‌وسیله

می‌شود. بنابراین نوع فرسایش غالب در هر گروه مارنی به نوع گروه مارنی آن ارتباط می‌یابد.

جدول ۱۳- سهم هر گروه مارنی از هر نوع فرسایش

درصد سهم هر یک از گروه‌های مارنی از هر نوع فرسایش			گروه مارنی	نوع متغیرهای تفکیک کننده گروه‌های مارنی
ورقه‌ای	شیری	خندقی		
۳۵/۳	۶۲/۵	۲۵	T <sub>1</sub>	کل متغیرهای فیزیکی و شیمیایی (شباهت مشاهدات در هر گروه ۷۳ درصد)
۱۱/۸	۱۲/۵	۲۵	T <sub>2</sub>	
۵/۹	۱۲/۵	۱۸/۸	T <sub>3</sub>	
۱۷/۶	۱۲/۵	۰	T <sub>4</sub>	
۱۱/۸	۰	۶/۲	T <sub>5</sub>	
۱۷/۶	۰	۲۵	T <sub>6</sub>	
۴۱/۲	۳۷/۵	۳۷/۵	S <sub>1</sub>	متغیرهای شیمیایی (شباهت مشاهدات در هر گروه ۸۰ درصد)
۳۵/۳	۲۵	۳۱/۳	S <sub>2</sub>	
۵/۶	۱۲/۵	۶/۲	S <sub>3</sub>	
۱۷/۶	۲۵	۲۵	S <sub>4</sub>	
۳۵/۳	۳۷/۵	۱۲/۵	P <sub>1</sub>	متغیرهای فیزیکی (شباهت مشاهدات در هر گروه ۶۸ درصد)
۱۱/۸	۳۷/۵	۱۸/۷۵	P <sub>2</sub>	
۲۳/۵	۱۲/۵	۴۳/۷۵	P <sub>3</sub>	
۱۱/۸	۰	۶/۲	P <sub>4</sub>	
۱۷/۶	۱۲/۵	۱۸/۸	P <sub>5</sub>	

جدول ۱۴- سهم هر یک از انواع فرسایش در هر یک از گروه‌های مارنی

درصد سهم انواع فرسایش در هر گروه مارنی			گروه مارنی	نوع متغیرهای تفکیک کننده گروه‌های مارنی
ورقه‌ای	شیری	خندقی		
۲۸/۷۶	۵۰/۹۵	۲۰/۲۹	T <sub>1</sub>	کل متغیرهای فیزیکی و شیمیایی (شباهت مشاهدات در هر گروه ۷۳ درصد)
۲۳/۹۶	۲۵/۴۵	۵۰/۵۹	T <sub>2</sub>	
۱۵/۷۸	۳۳/۷۳	۵۰/۴۹	T <sub>3</sub>	
۵۸/۵	۴۱/۵۰	۰	T <sub>4</sub>	
۶۵/۴۵	۰	۳۴/۵۵	T <sub>5</sub>	
۴۱/۵۰	۰	۵۸/۵۰	T <sub>6</sub>	
۳۵/۴۶	۳۲/۲۷	۳۲/۲۷	S <sub>1</sub>	متغیرهای شیمیایی (شباهت مشاهدات در هر گروه ۸۰ درصد)
۳۸/۵۳	۲۷/۳۴	۳۴/۱۳	S <sub>2</sub>	
۲۳/۸۱	۵۰/۸۹	۲۵/۳۰	S <sub>3</sub>	
۲۶/۱۱	۳۷/۰۵	۳۶/۸۴	S <sub>4</sub>	
۴۱/۳۶	۴۳/۹۷	۱۴/۶۷	P <sub>1</sub>	متغیرهای فیزیکی (شباهت مشاهدات در هر گروه ۶۸ درصد)
۱۷/۳۲	۵۵/۱۱	۲۷/۵۴	P <sub>2</sub>	
۲۹/۵۲	۱۵/۶۷	۵۴/۸۱	P <sub>3</sub>	
۵۵/۴۵	۰	۳۴/۵۵	P <sub>4</sub>	
۳۶/۰۸	۲۵/۶۰	۳۸/۳۲	P <sub>5</sub>	

## نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر نشان می‌دهد که به‌وسیله تحلیل خوشه‌ای می‌توان مارن‌های منطقه را گروه‌بندی نمود و متغیرهای شیمیایی برای طبقه‌بندی مارن‌های منطقه نسبت به متغیرهای فیزیکی و یا فیزیکی و شیمیایی (به‌صورت توأم) مناسب‌تر می‌باشد. زیرا، اولاً تعداد متغیرهای شیمیایی موثر در طبقه‌بندی اندک و شامل فقط سه متغیر درصد مواد خنثی شونده، لگاریتم کلر و عامل ظرفیت تبادل یونی است، در صورتی که در طبقه‌بندی مارن‌های منطقه به کمک متغیرهای فیزیکی و یا فیزیکی و شیمیایی، شش متغیر موثر بوده و ثانیاً حساسیت و دقت طبقه‌بندی شیمیایی بیش از طبقه‌بندی فیزیکی و هم‌تراز با طبقه‌بندی به‌وسیله متغیرهای فیزیکی و شیمیایی می‌باشد.

نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که مارن‌های با حد روانی بالا و مقادیر اندک مواد خنثی‌شونده (آهک) دارای قابلیت فرسایش‌پذیری بیشتری می‌باشند (گروه مارنی  $T_1$ ). بالا بودن حد روانی نشانه‌ای از بالا بودن مقدار ذرات رس است. Bouma و Imeson (۲۰۰۰) بیان می‌دارند که آماس‌پذیری (افزایش حجم کانی رسی در اثر جذب آب) کانی‌های رسی باعث کاهش نفوذپذیری و کاهش پایداری خاک می‌شود و این امر منجر به ایجاد بدلندهای ناپایدار می‌شود، این گفته صحت نتیجه فوق را تأیید می‌نماید.

همچنین، Roth و همکاران (۱۹۸۴) در پژوهش خود بیان نموده‌اند که آهک به‌عنوان یک سیمان باعث ایجاد ساختمان در خاک، افزایش نفوذپذیری، کاهش رواناب و در نتیجه کاهش فرسایش می‌شود که این

موضوع با یافته‌های تحقیق حاضر مطابقت می‌نماید. عدم تاثیر امتیازات هفت عامل سطحی (عوامل جدول B.L.M) در طبقه‌بندی مارن‌های منطقه شاید به‌دلیل کم دقتی در برداشت و نامناسب بودن امتیازات اختصاص داده شده به عوامل مذکور باشد و یا این که کاربرد و کارایی این عوامل در مارن‌ها با محدودیت‌هایی مواجه می‌شود و تصور می‌رود که در مارن‌ها به‌علت وجود مقادیر زیادی از کربنات کلسیم، بایستی در عوامل جدول B.L.M تصحیحاتی به عمل آید.

عامل تلفات خاک اندازه‌گیری شده به‌وسیله بارانساز که خود یک شاخص نسبی از شدت و میزان فرسایش می‌باشد، یک پارامتر موثر در طبقه‌بندی فیزیکی مارن‌ها منطقه تلقی می‌شود.

روش طبقه‌بندی و ارزیابی ارائه شده در این پژوهش، یک روش جالب و نو است که بر مبنای اصول آماری استوار می‌باشد و می‌تواند به‌عنوان یک الگو تلقی شود. لازم به ذکر است که متغیرهایی که در این پژوهش به‌عنوان متغیرهای موثر در طبقه‌بندی شناسایی شده‌اند، تنها بر اساس تعداد نمونه‌ها و اندازه‌گیری‌های این پژوهش (محدود به ۴۰ نمونه) به‌دست آمده و برای شناسایی متغیرهای موثر، مشترک، مناسب و عمومی و تعیین ضرایب توابعی (توابع فیشر) که بتواند برای همه مناطق مارنی جهان کاربرد داشته باشد، بایستی پژوهشی با همین روش برای گستره وسیعی از مارن‌های دنیا و با تعداد زیادی آزمایش انجام شود. در آن صورت می‌توان برای شناسایی مارن‌ها، معادلاتی با کاربرد جهانی تنظیم نمود.

## منابع مورد استفاده

1. Afshani, A.R., M. Noorian and Z. Hossen Ramsheh. 2005. Description of SPSS, 330 pages (in Persian).
2. Alirezaei, H., M. Soufi, A.A. Farhadi, M. Ahmadian, M. Amiri and H. Nazaripoya. 2011. Morpho-Climatic classification of gullies in Hamedan province. Final Report of Soil Conservation and Watershed Management Institute, 69 pages (in Persian).
3. Amiri, M. and A.H. Charkhabi. 2002. The survey of provenance of colloids (clays) and silts on spreading flood station in Kabudar-Ahang area by Rare Earth Element (R.E.E). Pajouhesh and Sazandegi, 55: 68-75 (in Persian).
4. Amiri, M., H. Nazaripoya and H.R. Payrowan. 2009. The evaluation of effective factors on erosion of Hamedan marls by rainfall simulator apparatus. Journal of Watershed Engineering and Management, 1(3): 179-188 (in Persian).



5. Amiri, M., H. Nazaripoya, H.R. Payrowan, H. Alirezai and M.M. Meyari. 2011. Classification and determination of erodibility indices of Hamedan province marls. Final Report of Soil Conservation and Watershed Management Institute, 128 pages (in Persian).
6. Amiri, M. and H.R. Payrowan. 2012. Relationship between erosional types and physico-chemical properties of Hamedan Marls. Quarterly Journal of Science, Tarbiat Moallem University, 10(2): 729-746 (in Persian).
7. Bouma, N.A and A.C. Imeson. 2000. Investigation of relationship between measured field indicators and erosion processes on badland surfaces at petrer, Spain. *Catena*, 40: 147-171.
8. Bouma, Z. 1998. Investigation of relationships between measured field indicators and erosional processes on badland surface at petrer, Spain, University of Amesterdam.
9. Ghadimi Arous Mahalah, F., A. Pourmatin and J. Ghodusi. 1999a. The effect of chemical and physical properties of Marls on forming of erosional forms. Iranian Engineering Geology and Environment Conference, 919-929.
10. Ghadimi Arous Mahalah, F., A. Pourmatin and J. Ghodusi. 1999b. Investigation on possibility of classification of marls by physico-chemical properties in Tafresh. *Pajouhesh and Sazandegi*, 34: 30-40 (in Persian).
11. Gooman, L. A. 1959. Simple statistical method for Scalogram analysis. *Psychometrika*, 24(1): 29-43.
12. Green, B.F. 1956. A method of Scalogram analysis using summary statistics. *Psychometrika*, 21(1): 79-88.
13. Greenland, G.J. and D. Payne. 1975. Determination of the structural stability class of english and welsh soil using a water coherence test. *Journal of Soil Science*, 46: 294-303.
14. Hamidzadeh, S. 2002. Marl soils and different types of erosion in Iran. 17th WCSS, 14-21 August 2002, Thailand, 2 paper No, sym. N. 37. P.N. 2235, 1-8.
15. Heed, B.H. 1971. Characteristics and processes of soil piping in gullies. *Department of African forest serv*, 68: 1-15.
16. Kamphorst, E. 1987. A small rainfall simulator for the determination of soil erodibility. *Journal of Agricultural Science*, 35: 407- 415.
17. Khamehcian, M. 1990. Investigation on physical and mechanical properties of clay- marly rocks. MSc Thesis, Tarbiat Modarres University, 125 pages (in Persian).
18. Mohamed, A.M.O. 2000. The role of clay minerals in marly soils on its stability. *Engineering Geology*, 57: 193-203.
19. Pyrowan, H.R. and T. Asadi. 2005. A review of role of physicochemical factos affecting erosion forms in the marls region. 9th Soil Science Congress of Iran, 28-31 August 2005, Tehran, Iran, 560-562 (in Persian).
20. Rienks. S.M., G.A. Botha and J.C. Hughes. 1999. 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.
21. Roth, C.B., D.W. Nelson and M.J.M Romkens. 1984. Prediction of subsoil erodibility using chemical, mineralogical and physical parameters. Project No. 15030 HIX, Research reporting series, environmental protection Agency, Washington, D. C. 20460.
22. Salmasi, R. and H.R. Pyrowan. 2012. Investigation of relationship between physico-chemical properties of erosional sensitive marl ( $M_2^{mg}$ ) with erosional types in Talkkeh-Rood watershed. *Journal of Engineering and Watershed Management*, 4(3): 160- 169 (in Persian).
23. Zargar, M. 2005. Comprehensive guide of SPSS<sub>13</sub> with scientific and practical exercises. 556 pages (in Persian).

## Classification of Hamadan marls and relationship between marls groups with types and intensity of erosion

Manouchehr Amiri<sup>\*1</sup>, Hamidreza Peyrowan<sup>2</sup> and Ahmad Ahmadi Khalaj<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Scientific Board, Agricultural and Natural Resources Research Center, Hmedan, Iran, <sup>2</sup> Associate Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Iran and <sup>3</sup> Assistants professor, Faculty of Science, Lurestan University, Iran

Received: 07 August 2014

Accepted: 28 December 2014

### Abstract

Since marls are highly sensitive to erosion and they annually sent thousands tons of fine grains sediments and clay to reservoirs of dam and artificial feeding stations and increase the cost of filtration of drinkable water and phytoremediation of artificial feeding water greatly, so the studies of different aspects of marls are important for experts and researchers. In this study we have tried to classifying them and recognizing effective variables of marls classification and examine the relationship between marls groups whit the types and erosional intensity of them. For this purpose, samples were taken from 41 points and they were sent to the laboratory to determine the values of the physical and chemical parameters. The characteristics of the location of the samples such as slope, geographical location and the privilege of seven parameters for soil surface factor and so on were noted. The test of artificial rain was done by kamphorst's rainfall simulator apparatus in the adjacent of mentioned points and samples were taken to measure the amount of runoff and sediment of them in the laboratory by simple methods. Furthermore, to identify the types of minerals presenting in the marls and diagnosis of their age, seven samples were analyzed by x-ray diffractometer and eight thin sections of marl and rocks collected along with them such as sandstone and limestones were provided and studied by polarizing microscope. Then, the abnormal data were normalized by logarithm and afterwards, all data were evaluated by cluster analysis, discriminant analysis and scalogram method. Results indicate that the marls are respectively divided into four (S1, S2, S3, S4), five (P1, P2, P3, P4, P5) and six (T1, T2, T3, T4, T5, T6) groups based on their chemical, physical variable and their combination. Fisher linear functions obtained from the classification predict the marl groups, respectively, with an accuracy of about 96.5, 83.9 and 96.9 percent in a correct way that the chemical variables are more appropriate for classification. This study shows that the marls containing a small amount of neutralizing material with high liquid limit are capable of higher erodibility.

**Keywords:** Calcium carbonate, Clay, Fisher's functions, Rock classification, Scalogram method, Sensitive lithologies

---

\* Corresponding author: amiran1342@gmail.com