

# بررسی عوامل مؤثر بر فرسایش آبی در رسوبات مارنی سازندهای میشان و آغاچاری

## در باختر بندرعباس

سیمین مکی<sup>۱</sup>، پیمان رضائی<sup>۲\*</sup>، حمیدرضا پیروان<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس

<sup>۲</sup> گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس

<sup>۳</sup> سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری کشور، تهران

### چکیده

شناخت شاخص‌های مؤثر بر فرسایش‌پذیری مارن‌ها و طبقه‌بندی آن‌ها، در اصلاح و بهسازی فیزیکی، شیمیایی و مکانیکی خاک مارنی و کاهش فرسایش و رسوب‌زایی اهمیت فراوان دارد. هدف از این تحقیق، مطالعه‌ی عوامل مؤثر بر فرسایش آبی اراضی مارنی دو سازند میشان و آغاچاری در باختر بندرعباس است. برای این منظور، ابتدا با توجه به نقشه‌های سنگ‌شناسی و شیب عمومی و شناسایی شکل غالب فرسایش در پیمایش‌های صحرایی، نقاط نمونه‌برداری تعیین شدند. بر این اساس در ۶ ایستگاه، ۱۸ آزمایش باران‌ساز نوع کامفورست در شدت ۶/۷۴ میلی‌متر در دقیقه بارش بر روی محل‌های نمونه‌برداری با در نظر گرفتن حداقل ۳ تکرار در دو واحد مارنی میشان و آغاچاری در باختر بندرعباس در شیب‌های ۱۰ و ۲۰ درجه در نوع فرسایش سطحی و کمتر از ۵ درجه برای شکل فرسایش خندقی، انجام شد و نهایتاً ۱۸ نمونه‌ی رواناب و رسوب برداشت گردید. از محل پلات آزمایش بارانساز در ۶ ایستگاه، نیز ۶ نمونه‌ی خاک سطحی جهت آنالیزهای فیزیکی و شیمیایی برداشت شد. مشخصات رسوب‌شناسی نمونه‌ها شامل اندازه‌ی دانه‌ها، به همراه مقادیر میانگین، انحراف معیار، چولگی (کج شدگی) و کشیدگی نمونه‌های رسوب به روش ترسیمی (هندسی) با استفاده از نرم‌افزار گرادا پستات تعیین شد. خصوصیات شیمیایی شامل پارامترهای هدایت الکتریکی (EC)، درجه‌ی اسیدیته (pH)، ماده‌ی آلی (OC)، کاتیون‌ها و آنیون‌های محلول، نسبت جذب سدیم (SAR)، آهک، گچ و ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) است. حدود آتربرج ۶ نمونه از خاک‌های مارنی هم اندازه‌گیری شد. پس از انجام آزمایشات مشخص شد در دو سازند میشان و آغاچاری، مقدار گل در فرسایش سطحی نسبت به فرسایش خندقی بسیار بیشتر است. از فرسایش سطحی به خندقی و تونلی شدت فرسایش و میزان تولید رسوب بالاتر می‌رود. در فرسایش سطحی، مارن میشان نسبت به مارن آغاچاری دارای رس و سیلت بیشتری می‌باشد و لذا مقاومت بیشتری در برابر فرسایش و انتقال رسوب نشان می‌دهد. در اراضی این منطقه، فرسایش‌پذیری ذاتی در مارن‌های سازند میشان و آغاچاری به ترتیب ۲/۷۶ و ۵/۲۷ برابر حد مجاز فرسایش در حال وقوع است. در این تحقیق برای اولین بار شاخص نسبت مقدار ماسه به مجموع سیلت و رس به عنوان معیار شاخص فیزیکی برای تفکیک دو شکل فرسایش سطحی و خندقی از یکدیگر ارائه شد. مارن‌های با فرسایش خندقی نسبت به انواع با فرسایش سطحی، دارای مقادیر بالای این شاخص هستند. در ضمن بررسی استعداد روانگرایی نمونه‌ها مشخص کرد که در نمونه‌های با استعداد روانگرایی، شکل فرسایش خندقی توسعه دارد.

تاریخچه مقاله:

دریافت:

۹۴/۱۰/۱۶

اصلاح:

۹۵/۰۵/۰۶

پذیرش:

۹۵/۰۷/۰۲

واژگان کلیدی:

فرسایش‌پذیری

متغیرهای فیزیکی-

شیمیایی

شبیه‌ساز باران

ویژگی‌های

مهندسی

فرسایش خندقی

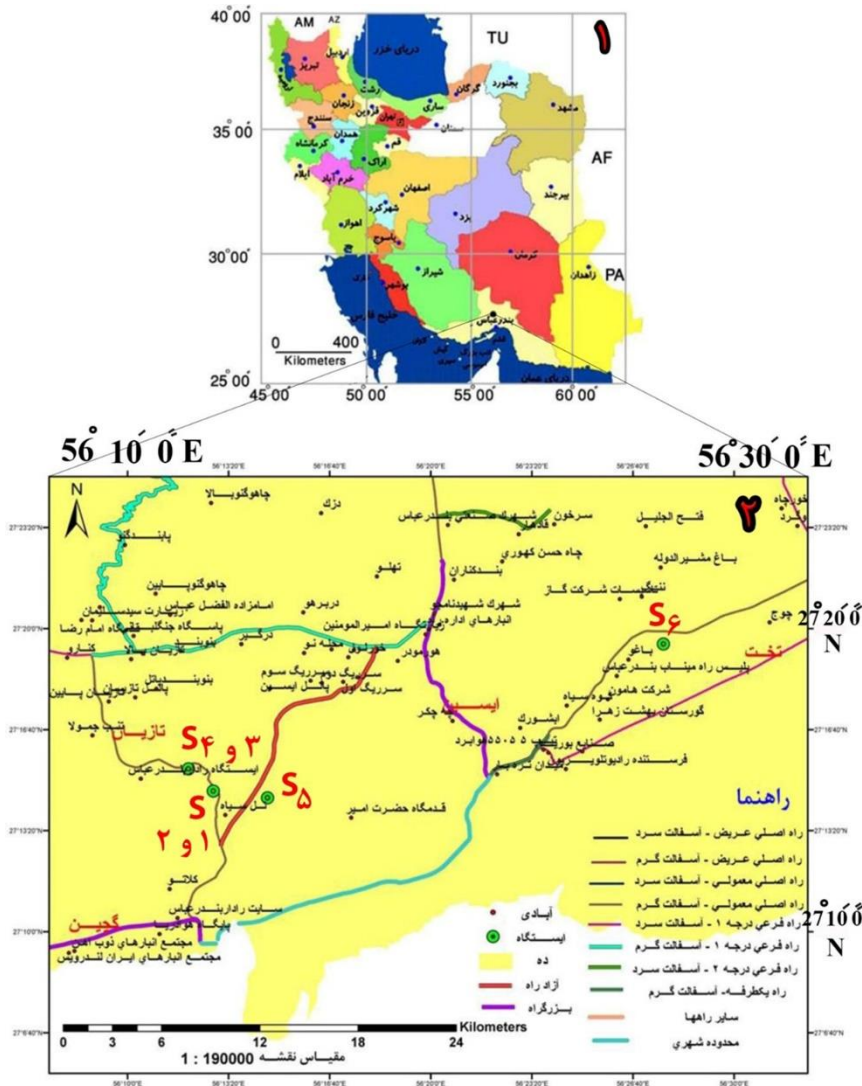
۱- مقدمه

\* نویسنده مسئول رایانامه: [peiman\\_rezaie@yahoo.com](mailto:peiman_rezaie@yahoo.com)

شناخت شاخص‌های مؤثر بر فرسایش‌پذیری مارن‌ها و طبقه‌بندی آن‌ها، در اصلاح و بهسازی فیزیکی، شیمیایی و مکانیکی خاک مارنی و کاهش فرسایش و رسوب‌زایی اهمیت فراوان دارد. در ناحیه بندرعباس سازندهای مارنی دارای گسترش زیادی هستند و همه ساله در اثر وقوع بارش‌های با شدت بالا خسارات سیل و فرسایش زیادی به منطقه وارد می‌کنند. شاخص‌های کیفیت خاک ناپایدار از قبیل قدرت اسیدی و درجه‌ی شوری به شدت تحت تأثیر ویژگی‌های ناحیه مانند مدل رقومی ارتفاع (DEM)، شیب و شاخص توپوگرافی ترکیبی، قرار می‌گیرند (۴). هنگامی که مارن‌ها تحت تأثیر فرسایش آبی قرار می‌گیرند، اشکال متفاوتی را ایجاد می‌کنند. مارن‌ها براساس نوع و میزان ترکیبات اقلیمی و توپوگرافی دارای اشکال مختلف فرسایش می‌باشند. مقدار کانی‌های موجود در مارن‌ها ارتباط مستقیمی با نوع فرسایش دارد، به عنوان مثال هرچه میزان  $\text{Ca}^{2+}$ ،  $\text{HCO}_3^-$ ،  $\text{Na}^+$  و  $\text{Cl}^-$  و گچ در مارن‌ها افزوده می‌شود شدت فرسایش بالا رفته و اشکال فرسایش شیاری، هزاردره‌ای (در شیب‌های تند) و خندقی (در شیب‌های کم) گسترش می‌یابند. سدیم زیاد، شوری، کلر، pH، منیزیم زیاد و مقادیر زیاد نسبت اسمکتایت به کائولینیت از مهم‌ترین علل فرسایش‌پذیری مارن‌ها می‌باشند (۱۷). خامه‌چیان (۱۰) بیان می‌کند با افزایش درصد کربنات در سنگ‌های مارنی رسی، ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی آن‌ها بهبود می‌یابد. قدیمی عروس محله و امین‌سبحانی (۹) با بررسی خصوصیات فیزیکوشیمیایی مارن‌ها و اشکال فرسایش ایجاد شده، دریافتند که فرسایش ورقه‌ای در مارن‌های غیر پخش‌شونده و فرسایش شیاری و خندقی در انواع پخش‌شونده شایع است. سدیم بالا، SAR زیاد، شوری، کلر، pH و Mg از مهم‌ترین علل فرسایش‌پذیری مارن‌ها ذکر شده است. پیروان و اسدی (۱۸) با تحقیق خود بر روی اراضی مارنی استان تهران مشخص کرده‌اند که با افزایش میزان املاح نمکی واحدهای مارنی، میزان حساسیت به فرسایش و تولید رسوب اراضی مارنی افزایش می‌یابد و مارن‌های آهکی نوع دریایی نسبت به نوع قاره‌ای مقاومت بالاتری دارا هستند. میسر و هارمون (۱۳) فرسایش‌پذیری ۱۵ نوع خاک لخت میسی-سی پی و سه نوع خاک آیوا را مورد بررسی قرار دادند و نتیجه گرفتند که مقدار فرسایش‌پذیری با درصد رس، میزان کلسیم قابل تبادل و مواد آلی بطور منفی رابطه دارد. ویپی (۲۵) مقدار فرسایش‌پذیری ۱۳۶ نمونه خاک واقع در شمال غنا را مورد مطالعه قرار داد و نتیجه گرفت که نوع خاک و خصوصیات آن روی فرسایش‌پذیری مؤثر است. او عامل اختلاف در میزان فرسایش‌پذیری این خاک‌ها را مقدار شن عنوان کرد. میزان فرسایش در واقع توسط تغییر پوشش گیاهی تحت تأثیر قرار گرفته است. شبیه-سازهای باران، ابزارهایی پژوهشی برای به‌کارگیری آب، مشابه با باران‌های سیل‌آسای طبیعی‌اند که مجموعه‌ای از داده‌های قابل تکرار را سریعاً در آزمایشگاه و در عملیات صحرائی فراهم می‌کنند (۷ و ۳). لیو و همکاران (۱۱)، در حوضه‌ی آبخیز Napahai فلات تبت، پنج نوع پوشش گیاهی را برای مشاهده‌ی رواناب سطحی و رسوب‌زایی مورد بررسی قرار دادند. انواع پوشش گیاهی مورد بررسی شامل زمین خشک، پلات یک سال روییده، پلات سه سال روییده، علفزار و جنگل کاج بود. آن‌ها اثرات این پوشش‌های گیاهی را روی فرسایش خاک، تجزیه و تحلیل کردند. نتایج نشان داد که رواناب سطحی و رسوب‌دهی با افزایش پوشش گیاهی، کاهش یافته است. ترتیب حجم رواناب تولید شده عبارت بود از (۱) زمین خشک (۲) پلات سه سال روییده (۳) جنگل کاج (۴) پلات یک سال روییده و (۵) علفزار. در حالیکه حجم رسوب‌دهی به ترتیب (۱) زمین خشک (۲) پلات یک سال روییده (۳) پلات سه سال روییده (۴) جنگل کاج و (۵) علفزار بوده است. به علاوه، ماده‌ی آلی خاک و پوشش گیاهی به طور تنگاتنگی با رواناب سطحی و هدررفت خاک در این منطقه ارتباط دارد. ریش مجدد علفزار هنگام تجدید بوم‌شناختی در مراحل ابتدایی، رواناب سطحی و رسوب‌دهی را در این حوزه جلوگیری و کنترل کرده است. این یک امتیاز طبیعی برای حفاظت از آب و خاک است. در این پژوهش سعی شده است تا میزان رسوب‌زایی و ویژگی‌های رسوب‌شناسی، شیمیایی و مکانیکی مارن‌های منطقه‌ی بندرعباس با توجه به شکل غالب فرسایش، مورد بررسی قرار گیرد تا بتوان از نتایج آن در برنامه‌ریزی عملیات کنترل فرسایش و رسوب‌زایی این نهشته‌های مارنی استفاده نمود.

۱-۲- منطقه مورد مطالعه

منطقه‌ی مورد مطالعه در باختر شهر بندرعباس و با مختصات جغرافیایی ۵۶ درجه و ۱۲ دقیقه تا ۵۶ درجه و ۲۷ دقیقه طول خاوری و ۲۷ درجه و ۱۴ دقیقه تا ۲۷ درجه و ۱۹ دقیقه عرض شمالی قرار گرفته است (شکل ۱). از ویژگی‌های اقلیمی این گستره می‌توان به میانگین بارندگی سالانه ۲۱۳/۲ میلی‌متر، متوسط دمای سالیانه ۲۶/۶ درجه‌ی سانتیگراد و میانگین رطوبت نسبی سالیانه ۶۷/۱٪ اشاره کرد.

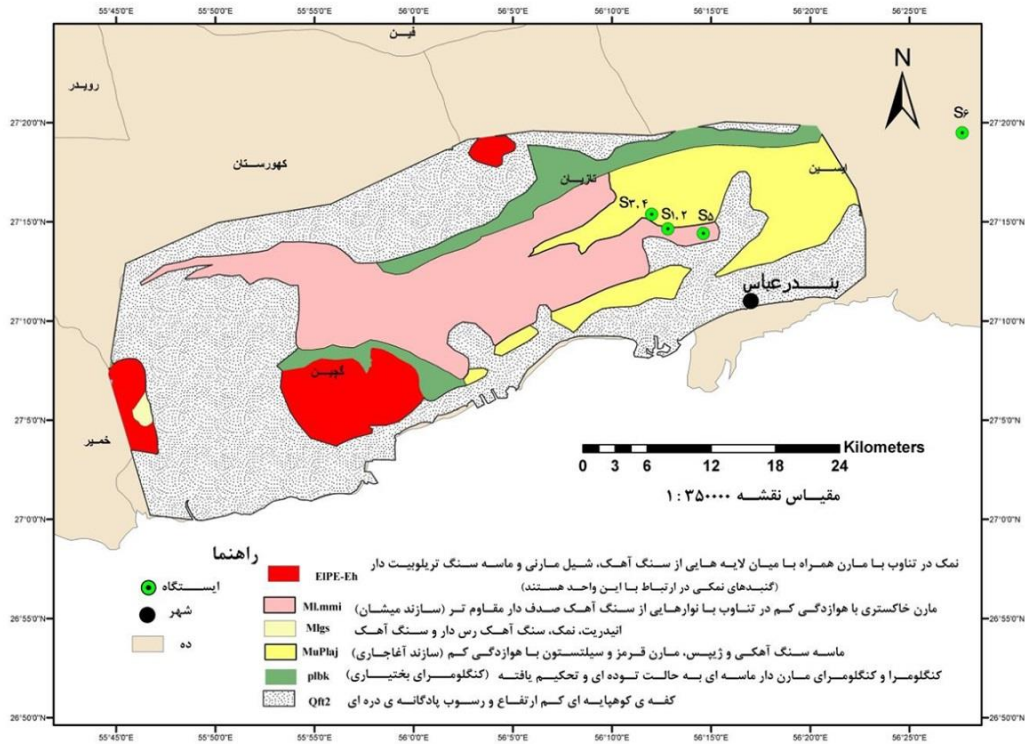


شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

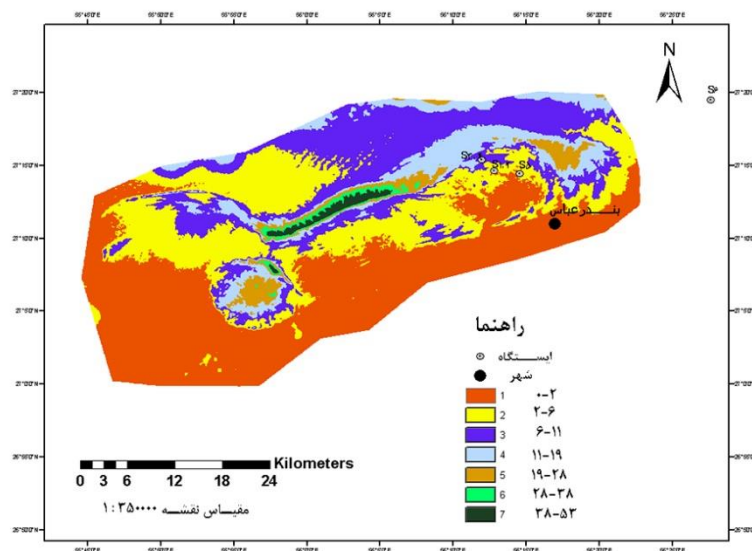
مواد و روش تحقیق

مواد مورد استفاده

نقشه‌های پایه رقومی زمین‌شناسی از نقشه زمین‌شناسی به مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ ورقه بندرعباس (شکل ۲) و نقشه شیب منطقه نیز با رقومی کردن خطوط توپوگرافی و تهیه DEM رقومی شدند. در سیستم GIS، در ۷ کلاس ۰-۲، ۲-۶، ۶-۱۱، ۱۱-۱۹، ۱۹-۲۸، ۲۸-۳۸، ۳۸-۵۳ درجه، دستجات شیب تهیه گردید (شکل ۳).



شکل ۲: نقشه ی توزیع واحدهای سنگی و موقعیت نقاط نمونه برداری



شکل ۳: نقشه ی خروجی شیب منطقه ی بندرعباس (به درجه)

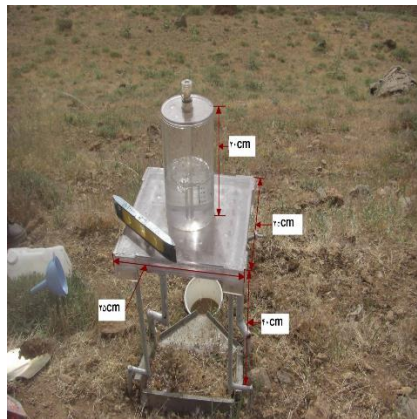
برای تعیین مشخصات رسوب شناسی نمونه ها از نرم افزار گرادىستات<sup>۱</sup> استفاده شد و اندازه ی دانه ها به همراه مقادیر میانگین، انحراف معیار، چولگی (کج شدگی) و کشیدگی نمونه های رسوب به روش ترسیمی (هندسی) در این نرم افزار تعیین شد. جهت بررسی و برآورد فرسایش پذیری واحدهای مارنی منطقه از دستگاه شبیه ساز باران نوع کامفورست موجود در پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری کشور استفاده شد. این باران ساز در هر دو شرایط آزمایشگاهی و صحرایی برای مطالعات فرسایش خاک قابل

1- Gradistat

استفاده است. سطح بارش آن  $25 \times 25$  سانتی‌متری است که قابل استقرار در شیب‌های مختلف است. قسمت‌های مختلف این دستگاه در شکل ۴ نشان داده شده است.

جدول ۴: مشخصات شبیه ساز باران  $25 \times 25$  سانتی‌متری مورد استفاده

ارتفاع سقوط قطرات در بالای شیب	۳۷۵ میلی‌متر
متوسط قطر قطرات	۵/۶ میلی‌متر
انرژی جنبشی باران	۳۵/۴ ژول بر میلی‌متر
سطح کرت آزمایشی	۰/۰۶۲۵ مترمربع
جرم قطره	۰/۱۰۶ گرم
تعداد لوله‌های موئینه	۴۹
شدت بارندگی	۶/۷۴ میلی‌متر در دقیقه
مدت زمان بارش	حدود ۴ دقیقه



شکل ۴- مشخصات باران‌ساز ( $25 \times 25$  سانتی‌متری) قابل حمل مورد استفاده

#### روش تحقیق

- ۱- بازدیدهای میدانی جهت شناسایی پهنه‌های گسترش مارن‌های سازند آجاجاری و میشان در منطقه و تعیین مخاطرات فرسایش سطحی، شیاری و خندقی در آن‌ها
  - ۲- انتخاب نقاط مناسب برای استقرار دستگاه شبیه‌ساز باران و انجام نمونه‌برداری از تلفیق نتایج نقشه‌های رقومی شده سنگ‌شناسی (شکل ۲)، شیب عمومی (شکل ۳) و اشکال فرسایش غالب دامنه‌های مارنی شناسایی شده در بازدیدهای میدانی شش ایستگاه جهت انجام آزمایش‌ها انتخاب گردید.
  - ۳- استقرار دستگاه شبیه‌ساز باران در ۶ ایستگاه و نمونه‌برداری از واحدهای مارنی در دامنه‌های با شکل فرسایش سطحی در دو شیب ۱۰ و ۲۰ درجه. لازم به ذکر است که اشکال فرسایش خندقی در شیب‌های بسیار کم تشکیل می‌شود و در هر دو سازند نیز این شکل فرسایش نیز تحت آزمایش بارانساز قرار گرفت.
- حداقل شدت بارش تولیدشده در دستگاه یادشده به میزان  $6/74$  میلی‌متر در دقیقه برای آزمایش‌ها بکارگرفته شد و به این ترتیب ۱۸ نمونه رواناب و ۱۸ نمونه رسوب در ۶ ایستگاه با ۳ تکرار، توسط ظرف‌های مخصوص، جمع‌آوری و برای اندازه‌گیری آنالیزهای فیزیکی- شیمیایی به آزمایشگاه منتقل گردید. در این تحقیق، جهت انجام تجزیه و تحلیل‌های آماری در هر واحد

مارنی، شبیه‌سازی باران با سه تکرار انجام شد. سه نمونه‌ی اول مربوط به مارن سازند میشان با فرسایش سطحی و شیب ۱۰ درجه (S1)، سه نمونه‌ی دوم مربوط به مارن سازند میشان با فرسایش سطحی و شیب ۲۰ درجه (S2)، سه نمونه‌ی سوم مربوط به سازند آجاجاری با فرسایش سطحی و شیب ۱۰ درجه (S3)، سه نمونه‌ی چهارم مربوط به سازند آجاجاری با فرسایش سطحی و شیب ۲۰ درجه (S4)، سه نمونه‌ی پنجم مربوط به سازند میشان با فرسایش خندقی (S5) و در نهایت سه نمونه‌ی ششم مربوط به سازند آجاجاری با فرسایش خندقی (S6) می‌باشد.

#### ۴- آزمایش‌ها

دانه‌بندی نمونه‌ها با استفاده از روش‌های استاندارد ASTM تعیین و عامل‌های آماری رسوب‌شناسی با استفاده از نرم‌افزار GRADISTAT محاسبه گردیده و منحنی‌های دانه‌بندی رسوبات ترسیم گردید. حدود آتربرگ ۶ نمونه از مارن‌های میشان و آجاجاری در دو شیب ۱۰ و ۲۰ درجه و فرسایش سطحی هم اندازه‌گیری شد. در این تحقیق برای توصیف مهندسی (خاصیت خمیری و دانه‌بندی نمونه‌ها) از سیستم طبقه‌بندی یونیفاید<sup>۱</sup> استفاده شده است (۱۲). پارامترهای لازم برای این طبقه‌بندی، آزمایش دانه‌بندی، حدهای آتربرگ و شاخص خمیری می‌باشد.

بررسی‌های شیمیایی نمونه‌ها شامل کاتیون‌ها، آنیون‌ها، EC، درصد سولفات، درصد گچ، درصد مواد آلی و ظرفیت تبادل کاتیونی است.

#### ۵- تجزیه و تحلیل نتایج

در این بخش نمونه‌های خاک سطح پلات‌های آزمایشی به لحاظ طبقه‌بندی رسوب در مثلث فولک بررسی شد. مقادیر رواناب و رسوب هر آزمایش شبیه‌ساز باران با شکل و نوع رسوب سطح پلات و مقادیر اندیس فرسایش  $\frac{\text{ماسه}}{\text{رس} + \text{سیلت}}$  مقایسه و تجزیه و تحلیل‌های لازم انجام شد. بر اساس حدود آتربرگ نمونه‌ها استعداد روانگرایی برای امکان توسعه فرسایش خندق بررسی شد و تاثیر متغیرهای مستقل شیمیایی بر میزان رسوب و مقدار حجم رواناب حاصل از بارش شبیه‌ساز باران به عنوان متغیر وابسته بر اساس روابط رگرسیون چندمتغیره بررسی تا میزان تاثیر هر عامل مستقل شناسایی شود.

#### ۳- یافته‌ها (نتایج)

یافته‌های این تحقیق در قالب پنج قسمت در ادامه شرح داده می‌شوند:

##### ۳-۱: مخاطره‌های طبیعی اراضی مارنی منطقه

مخاطره‌های طبیعی اراضی مارنی موجود در منطقه‌ی مورد مطالعه به صورت انواع فرسایش‌های آبی رخ می‌دهد که در زیر ابتدا به آثار تخریب و فرسایش‌های قابل رؤیت در منطقه پرداخته شده و سپس پارامترهای مؤثر به عنوان عوامل ذاتی مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد.

##### ۳-۱-۱: فرسایش ورقه‌ای یا صفحه‌ای (Surface erosion)

علایم فرسایش ورقه‌ای عبارتند از: (۱) تجمع خاک پای بوته‌ها یا کچلی مزرعه (۲) وجود لکه‌های سفید یا قهوه‌ای متمایل به قرمز در سطح خاک (۳) وجود سنگفرش بیابانی یا جلای بیابانی در سطح خاک (شکل ۵).

##### ۳-۱-۲: فرسایش شیبی یا پنجه‌ای (Rill erosion)

فرسایش شیاری به عوامل مختلفی بستگی دارد: تأثیر قطرات باران و پوسته‌ی سطحی خاک (۱۵)، شدت بارش (۲۱)، جهت شیب (۱۶)، پوشش گیاهی (۱۴)، سنگلاخی (۱) و گرادیان شیب (۲۱). علائم فرسایش شیاری وجود شیارهای موازی یا درهم در روی شیب‌ها است (شکل ۶).

### ۳-۱-۳: فرسایش خندقی (Gully erosion)

عوامل محیطی، شرایط اساسی گسترش آبکندها را کنترل می‌کنند که عمدتاً مرتبط با بارش، توپوگرافی، خاک، سنگ‌شناسی و کاربری اراضی‌اند. با توجه به تنوع و میزان تأثیر عوامل گوناگون، شکل‌گیری و گسترش فرسایش خندقی از نقطه‌ای به نقطه‌ی دیگر و نوع و میزان تأثیر آن، تغییر می‌کند (۲۲). عمق و مورفولوژی سطح مقطع آبکندها توسط فرسایش‌پذیری افق‌های خاک (۱۹) و خصوصیات زیرچینه‌های زمین‌شناختی (۶) تعیین می‌شوند. علاوه بر این، ویژگی‌های خاک بر جریان زیرسطحی و پدیده‌های لوله‌سان که در اثر ریزش سقف آن‌ها آبکندها ایجاد می‌شوند نیز تأثیر دارد (۲۰). چندین تحقیق، افزایش میزان فرسایش آبکندها را با تغییرات پوشش زمین (۱۹) و یا تشدید کشاورزی ثابت کرده‌اند (۲۴). در واقع فرسایش خندق به دو شکل صورت می‌گیرد: یا در سطح شکل می‌گیرند و یا پیامد فرسایش تونلی هستند که در باختر بندر عباس عمدتاً پیامد فرسایش تونلی‌اند (شکل ۷).

### ۳-۱-۴: خزش

باید توجه داشت که در خزش، دامنه از سازند منفصل و ریز دانه و قابل انتقال مانند ماسه و یا خاک تشکیل باشد. بنابراین سازندهای ریز دانه در آب و هوای خشک، بسیار مناسب جهت خزش می‌باشد (شکل ۸).

### ۳-۱-۵: ریزش

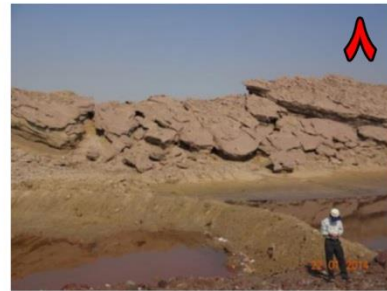
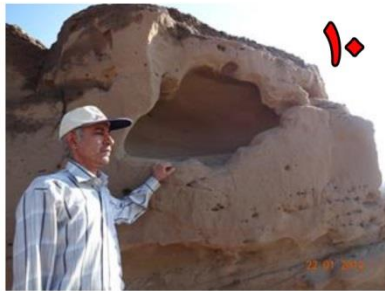
تخریب مکانیکی عامل اصلی ایجاد ریزش است که در شرایط آب و هوایی مختلف متفاوت می‌باشد ولی بطور کلی اگر طبقات سخت و نرم بطور متناوب قرار گرفته باشند در نتیجه‌ی از بین رفتن طبقه نرم قسمت زیرین طبقه سخت خالی شده و ریزش توده را فراهم می‌سازد (۲) (شکل ۹).

### ۳-۱-۶: فرسایش انحلالی یا شیمیایی (Dissolution Erosion)

در باختر بندر عباس در سطح ماسه‌سنگ‌های آجاجاری، فرسایش انحلالی به دلیل سیمان فراوان آهکی است (شکل ۱۰). حضور املاح نمکی نقش مؤثری در گسترش تافونی در ماسه‌سنگ‌های این واحد مارنی دارد (شکل ۱۱). سطح این سنگ‌ها در امتداد درز و شکاف و یا ناهمواری‌های اولیه، کاملاً خشن دیده می‌شود که به این شکل فرسایش اگزوکارست (کارست بیرونی) و در ژئومورفولوژی لاپییز گفته می‌شود (شکل ۱۲).

### ۳-۱-۷: فرسایش پاسنگی یا ستونی

گاهی در طبیعت اتفاق می‌افتد که تخته سنگی روی سطح زمین وجود دارد و وقتی این فرسایش اتفاق می‌افتد خاک‌های زیر تخته‌سنگ حفظ می‌شوند ولی خاک‌های بین تخته سنگها از بین می‌رود و یک حالت ستونی با فواصل مشخص روی سطح زمین می‌ماند. این فرسایش به ما نشان می‌دهد که چه عمقی از خاک دستخوش فرسایش شده و ما می‌توانیم به طور تقریبی ضخامت خاک فرسایش‌یافته را بدست آوریم (شکل ۱۳).



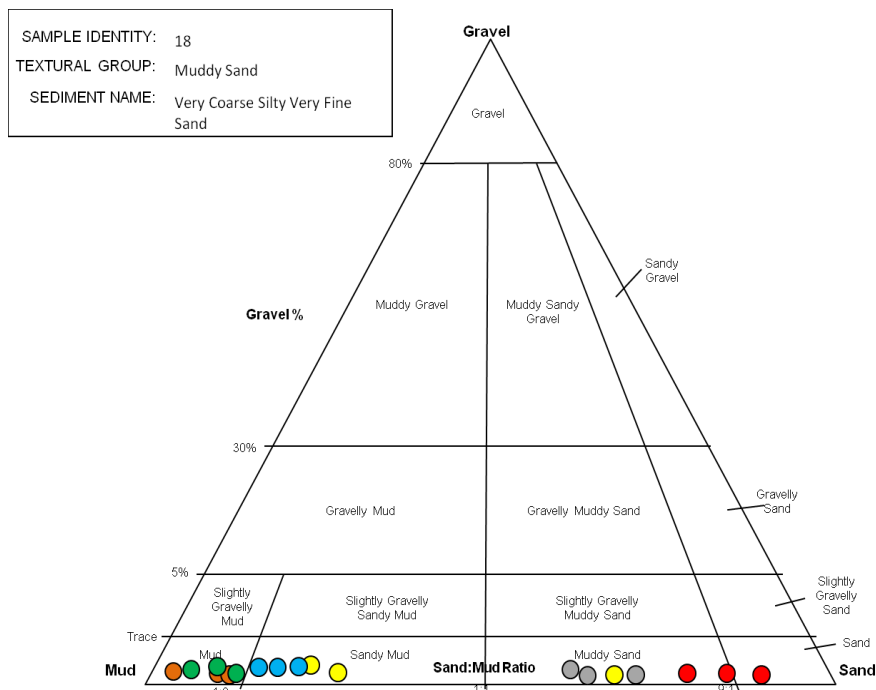
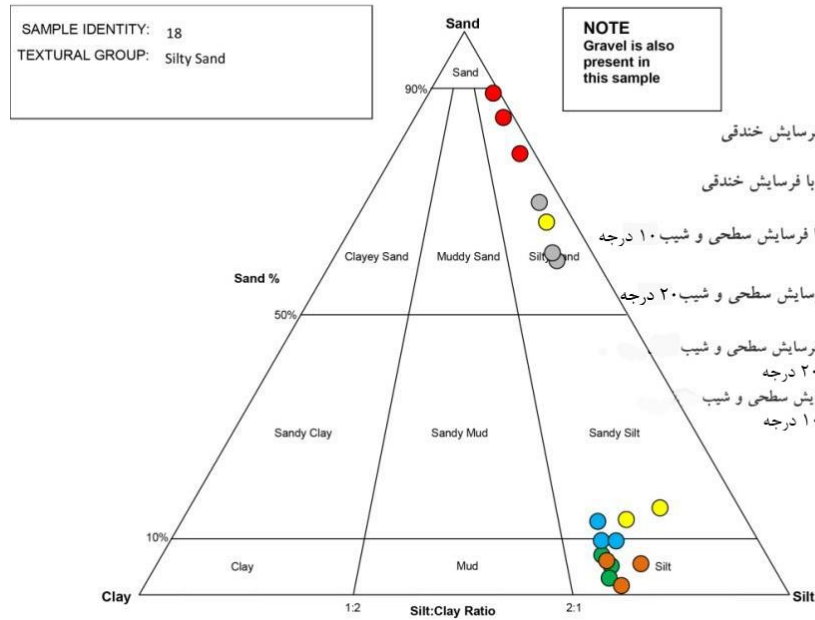
شکل ۵: نمایی از فرسایش ورقی در سازند آجاجاری در ایستگاه ششم (نگاه به سوی شمال باختر). شکل ۶: نمایی از فرسایش پنجه‌ای در مارن‌های میشان در ایستگاه اول (نگاه به سوی خاور) - در مسیر جاده‌ی شهرک مروارید. شکل ۷: نمایی از فرسایش خندقی در مارن میشان واقع در ایستگاه پنجم که پی‌آمد فرسایش تونلی می‌باشد (نگاه به سوی باختر). شکل ۸: پدیده‌ی خزش طبقات ماسه سنگ بر روی مارن‌های آجاجاری در یال جنوبی تاقدیس سورو (نگاه به سوی شمال). شکل ۹: نمایی از ریزش واریزه در مارن آجاجاری در نتیجه‌ی فرسایش مارن زیرین ماسه سنگ و ایجاد فرسایش تفریقی در یال شمالی تاقدیس سورو (نگاه به سوی شمال). شکل ۱۰: نمایی از فرسایش تافونی (انحلالی) در ماسه سنگ آجاجاری در ایستگاه ششم (نگاه به سوی جنوب). شکل ۱۱: حضور املاح نمکی مؤثر در گسترش تافونی ماسه سنگ‌های آجاجاری در ایستگاه ششم. شکل ۱۲: نمایی از کارست بیرونی (لاپیز) در ماسه سنگ‌های آجاجاری در ایستگاه ششم. شکل ۱۳: نمایی از ستون‌های فرسایشی در سازند میشان (نگاه به سوی شمال خاور)

### ۳-۲: بررسی‌های رسوب‌شناسی

بعد از دانه‌بندی نمونه‌ها، وزن‌های به دست آمده به نرم‌افزار گرادایستات وارد شده و اندازه‌ی دانه‌ها به همراه مقادیر میانگین، انحراف معیار، چولگی (کج شدگی) و کشیدگی نمونه‌های رسوب به روش ترسیم (هندسی) محاسبه شد (جدول ۲) و منحنی-های دانه‌بندی رسوبات ترسیم گردید. محدوده‌ی اندازه‌ی دانه‌ها در کل نمونه‌ها شامل ۶۳/۵٪ در حد ماسه و ۳۶/۵٪ در حد گل می‌باشد با توجه به اندازه‌ی ذرات بدست آمده در آزمایش‌ها، می‌توان با استفاده از مثلث فولک (۸) نمونه‌ها را نام‌گذاری کرد. جدول ۱ نتایج دانه‌بندی و شکل ۱۴ موقعیت نمونه‌ها را در طبقه‌بندی فولک نشان می‌دهد. همانطور که ملاحظه می‌شود، مارن‌های با شکل فرسایش سطحی و خندقی در دو قطب جداگانه در طبقه‌بندی مثلث فولک خودنمایی می‌کنند. مارن‌های با فرسایش خندقی، بافت ماسه‌ای و مارن‌های با فرسایش سطحی، بافت سیلتی - رسی دارند، لذا در این تحقیق برای اولین بار برای تفکیک دو شکل فرسایش سطحی و خندقی از نسبت مقدار ماسه به مجموع سیلت و رس استفاده شد که نتایج آن در



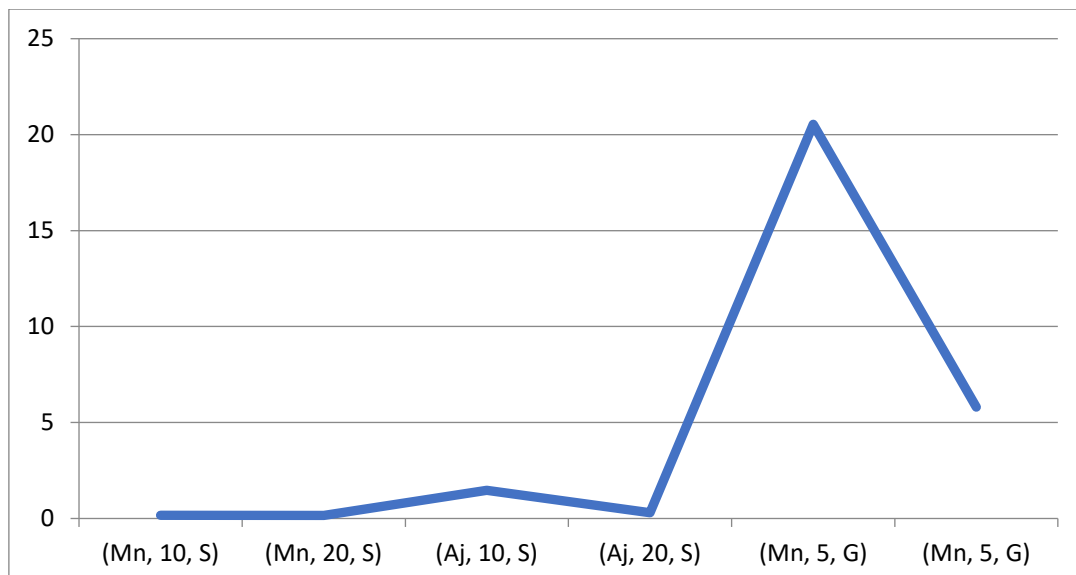
جدول ۱ دیده می‌شود. رقم‌های بالای این نسبت مربوط به فرسایش خندقی و رقم‌های پایین آن مربوط به فرسایش سطحی است. وجه تمایز بین دو شکل فرسایش و ارتباط آن با شاخص نسبت ماسه به مجموع سیلت و رس، به خوبی در شکل ۱۵ ارائه شده است.



شکل ۱۴: موقعیت نمونه‌ها در مثلث طبقه‌بندی رسوبات و سنگ‌های رسوبی، در بالا بر اساس اجزای ریزدانه و در پایین با در نظر گرفتن اجزای گراولی

جدول ۱: دانه‌بندی مارن‌های سازند میشان و آغاچاری

نام سازند	درجه‌ی شیب	شکل فرسایش	درصد سیلت	درصد رس	درصد ماسه	ماسه رس + سیلت
میشان	۱۰	سطحی	۱۳/۰۴	۲۵/۹	۸/۹	۰/۲
میشان	۱۰	سطحی	۱۳/۵۴	۲۵/۴	۶/۹	۰/۱۷
میشان	۱۰	سطحی	۱۳/۶	۲۶/۹	۴/۷	۰/۱۱
میشان	۲۰	سطحی	۱۴/۲	۲۵/۶	۳/۴	۰/۰۸۵
میشان	۲۰	سطحی	۱۴/۴	۲۰/۶	۷/۳	۰/۲
میشان	۲۰	سطحی	۱۳/۲۶	۲۵/۸	۷/۹	۰/۲۰۲
آغاچاری	۱۰	سطحی	۱۳/۹۶	۱۲/۸	۱۷/۴	۰/۶۵
آغاچاری	۱۰	سطحی	۵/۳۲	۴/۷	۶۸/۸	۶/۸
آغاچاری	۱۰	سطحی	۱۳/۱	۱۹	۱۵/۵	۰/۴۸
آغاچاری	۲۰	سطحی	۱۲/۷۴	۲۴/۹	۱۱/۴	۰/۳۰
آغاچاری	۲۰	سطحی	۱۲/۲۶	۲۳/۷	۱۴/۹	۰/۴۱
آغاچاری	۲۰	سطحی	۱۳/۲۲	۲۲/۵	۱۱/۳	۰/۳
میشان	<۵	خندقی	۳/۲۴	۲/۷	۸۱/۱	۱۳/۶۵
میشان	<۵	خندقی	۲/۰۸	۲	۸۷/۶	۲۱/۴۷
میشان	<۵	خندقی	۱/۳	۱/۴	۹۲	۳۴/۰۷۴
آغاچاری	<۵	خندقی	۶/۳	۶/۶	۶۱/۸	۴/۷۹
آغاچاری	<۵	خندقی	۴/۷۲	۴/۱	۷۲/۳	۸/۱۹
آغاچاری	<۵	خندقی	۶/۰۴	۶/۳	۶۳/۵	۵/۱



شکل ۱۵: نمودار شاخص نسبت مقدار ماسه به مجموع سیلت و رس در نمونه‌های مارن سازند آغاچاری (Aj) و میشان (Mn)، در محور افقی به ترتیب: نام سازند، درجه‌ی شیب دامنه و شکل فرسایش ارائه شده است (S: فرسایش سطحی، G: فرسایش خندقی)، محور قائم: میزان شاخص مربوطه

جدول ۲: توزیع ذرات، نام رسوب و پارامترهای آماری مارن‌های تحت بررسی

ایستگاه	کد نمونه	نوع توزیع	گروه بافتی	نام رسوب	میانگین	جورشدگی	کج‌شدگی	کشیدگی
S1	۱	Trimodal	Mud	Fine Silt	Fine Silt	Poorly Sorted	Coarse Skewed	Platykurtic
	۲	Trimodal	Mud	Coarse Silt	Fine Silt	Poorly Sorted	Symmetrical	Platykurtic
	۳	Trimodal	Mud	Fine Silt	Fine Silt	Poorly Sorted	Coarse Skewed	Platykurtic
S2	۴	Polymodal	Mud	Coarse Silt	Fine Silt	Poorly Sorted	Symmetrical	Platykurtic
	۵	Polymodal	Mud	Coarse Silt	Medium Silt	Very Poorly Sorted	Symmetrical	Platykurtic
	۶	Polymodal	Mud	Coarse Silt	Fine Silt	Very Poorly Sorted	Coarse Skewed	Platykurtic
S3	۷	Trimodal	Sandy Mud	Very Fine Sandy, Coarse Silt	Medium Silt	Very Poorly Sorted	Symmetrical	Platykurtic
	۸	Trimodal	Muddy Sand	Very Fine Sandy, Coarse Silt	Very Fine Sand	Very Poorly Sorted	Very Fine Skewed	Leptokurtic
	۹	Polymodal	Sandy Mud	Very Fine Sandy, Coarse Silt	Medium Silt	Very Poorly Sorted	Fine Skewed	Platykurtic
S4	۱۰	Polymodal	Sandy Mud	Very Fine Sand, Fine Silt	Fine Silt	Very Poorly Sorted	Coarse Skewed	Platykurtic
	۱۱	Polymodal	Sandy Mud	Very Fine Sand, Fine Silt	Medium Silt	Very Poorly Sorted	Coarse Skewed	Platykurtic
	۱۲	Polymodal	Sandy Mud	Very Fine Sand, Fine Silt	Fine Silt	Very Poorly Sorted	Coarse Skewed	Platykurtic
S5	۱۳	Bimodal	Muddy Sand	Very Coarse Silty, Fine Sand	Fine Sand	Poorly Sorted	Very Fine Skewed	Mesokurtic
	۱۴	Bimodal	Muddy Sand	Very Coarse Silty, Fine Sand	Fine Sand	Moderately Sorted	Fine Skewed	Very Leptokurtic
	۱۵	Bimodal	Sand	Moderately Sorted Fine Sand	Fine Sand	Moderately Sorted	Fine Skewed	Leptokurtic
S6	۱۶	Trimodal	Slightly Gravelly Muddy Sand	Slightly Very Fine Gravelly, Very Coarse	Very Fine Sand	Very Poorly Sorted	Very Fine Skewed	Leptokurtic

				Silty, Very Fine Sand			
Leptokurtic	Very Fine Skewed	Poorly Sorted	Very Fine Sand	Very Coarse Silty, Medium Sand	Muddy Sand	Bimodal	۱۷
Leptokurtic	Very Fine Skewed	Very Poorly Sorted	Very Fine Sand	Very Coarse Silty, Very Fine Sand	Muddy Sand	Trimodal	۱۸

## ۳-۳: ویژگی‌های شیمیایی

در شکل‌گیری هر یک از اشکال فرسایش یاد شده، عوامل ذاتی شیمیایی مارن‌ها اثر قابل توجهی دارند که در جدول ۳ به بیان نتایج حاصل از اندازه‌گیری آن‌ها پرداخته می‌شود.

جدول ۳: داده‌های ویژگی‌های شیمیایی مارن‌های تحت بررسی

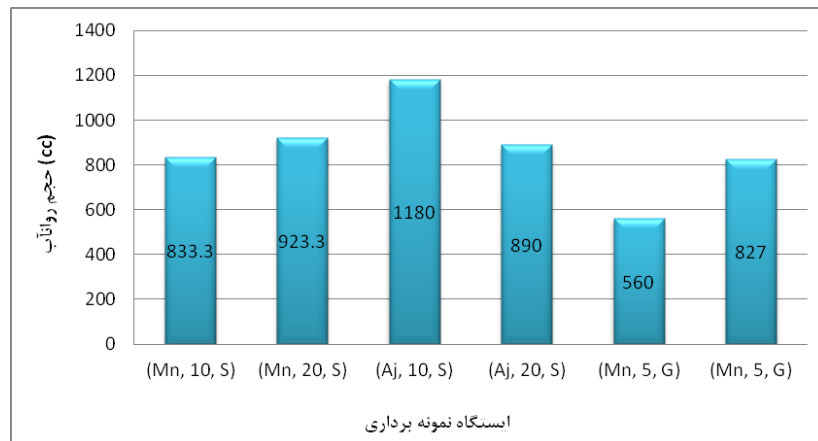
ایستگاه	کد نمونه	آهک (%)	EC (ms)	pH	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Mg <sup>++</sup>	Ca <sup>++</sup>	Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>--</sup>	SAR	گچ (%)	OC (%)	CEC (meq/100g)
S1	۱	۳۳/۸	۱۲۱	۷/۹۱	۴/۵	۱۱۸۰	۴۲	۱۵۸	۱۳۲۵	۲/۵	۵۴/۳	۸۳/۴	۰/۵۴	۱/۶۸	۱۴/۲
	۲	۳۴/۴	۱۴۲/۱	۸/۲	۶/۲۵	۱۴۷۵	۵۲	۱۶۰	۱۵۷۲/۵	۲/۲۵	۱۴۴/۲	۱۴۳/۵	۰/۵۳	۰/۷۶	۱۶
	۳	۳۷/۵	۱۰۷	۸/۱۹	۶	۱۱۳۰	۴۶	۱۴۴	۱۲۳۲/۵	۳/۵	۹۶/۶	۱۱۵/۹	۰/۶	۰/۶۱	۱۸/۴
S2	۴	۴۱/۳	۱۱۴/۳	۸/۱۵	۵	۱۱۷۸	۵۲	۱۱۶	۱۳۰۰	۳	۵۲/۱	۱۲۸/۵	۰/۱۳	۰/۷۱	۳۶/۲
	۵	۴۱/۷	۷۸/۷	۸/۳۸	۳/۵	۸۰۰	۱۲	۹۴	۸۵۶/۵	۲/۵	۵۸/۱	۱۰۹/۸	۰/۱۲	۰/۴۶	۱۸/۴
	۶	۴۱/۱	۱۵۱/۸	۸/۰۱	۶	۱۴۸۹	۵۴	۱۳۲	۱۶۷۵	۲/۵	۱۰/۱	۱۵۴/۴	۰/۱	۰/۵۸	۱۴/۶
S3	۷	۳۴	۳۵/۹	۸/۸۱	۳	۳۵۲/۲	۲۶	۵۴	۳۷۰	۳	۶۴/۸	۵۵/۶	۱/۰۲	۰/۴۴	۱۷/۴
	۸	۳۶/۲	۱/۷۵	۸/۷۷	۰/۳۹	۸/۷	۰/۸	۹/۶	۱۰/۵	۳	۶/۱۱	۳/۸	۰/۰۰۸	۰/۲۹	۱۹/۸
	۹	۳۵/۷	۶۸/۶	۸/۱۸	۳/۵	۹۰۸	۴۲	۱۲۸	۷۴۲/۵	۲	۳۴۵	۹۸/۴	۱/۲۵	۰/۳۱	۱۴/۶
S4	۱۰	۳۵/۱	۴۲/۲	۸/۳۲	۲/۲۵	۴۰۵	۳۶	۶۴	۴۲۲/۵	۳/۵	۸۶/۲	۵۷/۲	۰/۷۵	۰/۳۶	۱۸/۰۸
	۱۱	۳۵/۱	۶۸	۸/۰۴	۳	۷۹۰	۲۶	۱۴۸	۷۲۵	۲/۵	۲۴۸	۸۴/۶	۰/۹۹	۰/۴۱	۱۸/۴
	۱۲	۳۵/۷	۶۲/۵	۸/۲۴	۳/۵	۷۳۰/۴	۷	۱۰۶	۶۴۷/۵	۲/۵	۱۹۲/۶	۹۷/۱	۱/۰۹	۰/۳۹	۱۵/۴
S5	۱۳	۴۲/۶	۱/۸۸	۸/۶۴	۰/۵۶	۱۰/۴۳	۱/۶	۶/۸	۱۱	۳/۵	۴/۹۱	۲	۱/۰۱۹	۰/۱۶	۲۰/۲
	۱۴	۴۱	۴/۸۵	۸/۶۶	۱	۳۳/۶۱	۴	۱۰	۳۷/۵	۴	۷/۱۸	۱۲/۷	۰/۰۰۶	۰/۲۱	۸
	۱۵	۳۹/۹	۱/۷۶	۸/۷۷	۱	۹/۱	۳/۲	۷/۲	۱۲/۵	۴/۵	۳/۸	۳/۹	۰/۰۱	۰/۲۴	۸
S6	۱۶	۳۸/۲	۸۶/۶	۸/۰۹	۳/۷۵	۹۰۴	۳۴	۱۲۰	۹۷۵	۲/۵	۸۹/۹	۱۰۳	۰/۰۲۴	۰/۲۸	۹/۱۳
	۱۷	۳۶/۹	۲۳/۵	۸/۵۲	۱/۵	۲۳۵	۲۴	۳۸	۲۶۷/۵	۳/۵	۳۰/۴	۴۲	۰/۰۰۸	۰/۱۶	۱۰/۸
	۱۸	۳۷/۹	۸/۶	۸/۶۶	۱	۵۷/۳۹	۶	۲۸	۴۴	۳/۵	۴۵/۳	۱۳/۹	۰/۱	۰/۱۶	۸/۳۴

## ۳-۴: بررسی میزان رسوب‌زایی مارن‌های مورد مطالعه با استفاده از دستگاه شبیه‌ساز باران

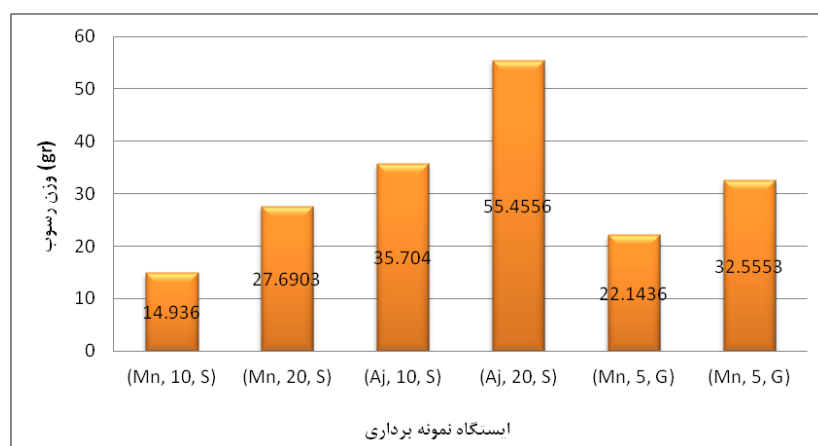
در این تحقیق، برای اندازه‌گیری رواناب و رسوب از دستگاه شبیه‌ساز باران قابل حمل صحرایی استفاده شده است. مشخصات شبیه‌ساز باران مورد نظر در جدول ۴ آمده است. در این تحقیق با توجه به محدودیت زمانی از شدت بارندگی ۶/۷۴ میلی‌متر در دقیقه استفاده شده است. در جدول ۵، میزان رواناب و حجم رسوب اندازه‌گیری شده، نشان داده شده است. برای اندازه‌گیری ضریب رواناب، حجم رواناب جمع‌آوری شده به حجم اولیه‌ی آب باریده شده تقسیم گردید (۲۳). مارن‌های میشان و آجاجاری در باختر بندرعباس، از نظر میزان تولید حجم رواناب در شیب‌های متفاوت و در فرسایش‌های نوع سطحی و خندقی، اختلاف مشخصی دارند. با توجه به نمودار شکل ۱۵، مارن آجاجاری در فرسایش سطحی با شیب ۱۰ درجه دارای بیشترین میزان حجم رواناب و سازند میشان با فرسایش خندقی دارای کمترین حجم رواناب است. با توجه به نمودار شکل ۱۶، مارن آجاجاری در فرسایش سطحی با شیب ۲۰ درجه دارای بیشترین میزان تولید رسوب و سازند میشان در فرسایش سطحی با شیب ۱۰ درجه کمترین میزان تولید رسوب است. برای اندازه‌گیری ضریب رواناب، حجم رواناب جمع‌آوری شده به حجم اولیه‌ی آب باریده شده تقسیم گردید. با توجه به نمودار شکل ۱۷، مارن آجاجاری در فرسایش سطحی با شیب ۱۰ درجه دارای بیشترین میزان ضریب رواناب و مارن میشان با فرسایش خندقی دارای کمترین میزان ضریب رواناب است.

جدول ۵: نتایج خام شبیه‌ساز باران در منطقه‌ی مورد مطالعه

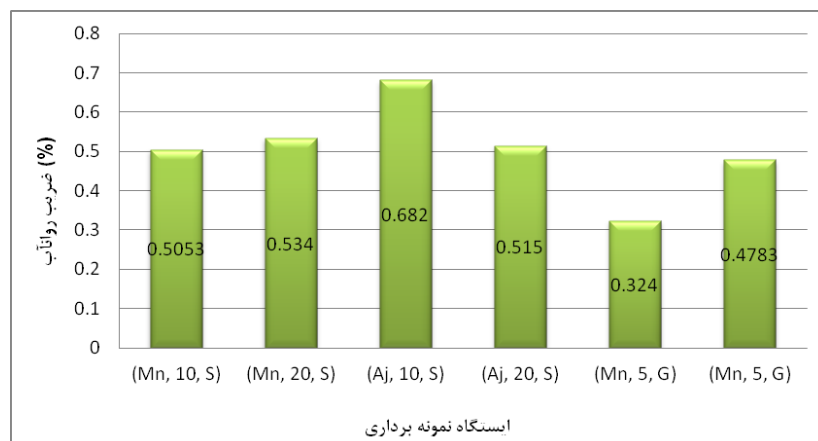
ایستگاه	نام واحد	نوع فرسایش	تکرار	مختصات جغرافیایی		درجه‌ی شیب	زمان بارش (min)	حجم (cc)	وزن رسوب (gr)	ضریب رواناب (%)
				Y	X					
S1	میشان	سطحی	۱	۲۷° ۱۴' ۳۹/۴"	۵۶° ۱۲' ۵۰/۱"	۱۰	۴'۱۱۳۶	۱۰۳۰	۱۸/۵۴	۰/۵۹
			۲	۲۷° ۱۴' ۴۰/۱"	۵۶° ۱۲' ۵۰/۲"	۱۰	۴'۱۰۲۵	۹۹۰	۱۴/۸۶	۰/۵۷
			۳	۲۷° ۱۴' ۴۰/۵"	۵۶° ۱۲' ۵۰/۵"	۱۰	۴'۱۰۲۲	۶۰۰	۱۱/۳۹	۰/۳۴
S2	میشان	سطحی	۱	۲۷° ۱۴' ۴۱/۱"	۵۶° ۱۲' ۵۲/۴"	۲۰	۴'۱۱۴۶	۱۰۴۰	۴۸/۶۸	۰/۶۰
			۲	۲۷° ۱۴' ۴۱/۲"	۵۶° ۱۲' ۵۲/۶"	۲۰	۴'۱۱۰۴	۶۳۰	۱۰/۴۸	۰/۳۶
			۳	۲۷° ۱۴' ۴۱/۴"	۵۶° ۱۲' ۵۲/۸"	۲۰	۴'۱۰۷۶	۱۱۰۰	۲۳/۸۹	۰/۶۳
S3	آجاجاری	سطحی	۱	۲۷° ۱۵' ۱۵/۴"	۵۶° ۱۲' ۰۶/۴"	۱۰	۳'۱۹۵۷	۱۲۰۰	۶۹/۴۱	۰/۶۹
			۲	۲۷° ۱۵' ۱۵/۳"	۵۶° ۱۲' ۰۶/۶"	۱۰	۴'۱۵۲۱	۱۳۳۰	۱۳/۱۵	۰/۷۷
			۳	۲۷° ۱۵' ۱۵/۴"	۵۶° ۱۲' ۰۴/۴"	۱۰	۴'۱۰۹۵	۱۰۱۰	۲۴/۵۳	۰/۵۸
S4	آجاجاری	سطحی	۱	۲۷° ۱۵' ۱۵/۴"	۵۶° ۱۲' ۰۴/۱"	۲۰	۳'۱۷۶۳	۹۰۰	۴۴/۸۱	۰/۵۲
			۲	۲۷° ۱۵' ۱۵/۲"	۵۶° ۱۲' ۰۳/۸"	۲۰	۳'۱۸۷۶	۱۰۷۰	۶۵/۳۹	۰/۶۱
			۳	۲۷° ۱۵' ۱۵/۳"	۵۶° ۱۲' ۰۳/۸"	۲۰	۳'۱۶۶۷	۷۰۰	۵۶/۱۶	۰/۴۰
S5	میشان	خندقی	۱	۲۷° ۱۴' ۲۵/۹"	۵۶° ۱۴' ۳۶/۰"	---	۴'۱۲۶۲	۴۱۰	۱۹/۸۵	۰/۲۳
			۲	۲۷° ۱۴' ۲۵/۸"	۵۶° ۱۴' ۳۶/۰"	---	۴'۱۶۶۶	۴۲۰	۱۷/۲۵	۰/۲۴
			۳	۲۷° ۱۴' ۲۵/۶"	۵۶° ۱۴' ۳۵/۹"	---	۴'۱۰۸۳	۸۵۰	۲۹/۳۲	۰/۴۹
S6	آجاجاری	خندقی	۱	۲۷° ۱۹' ۳۶/۸"	۵۶° ۲۷' ۴۱/۸"	---	۳'۱۸۶۵	۸۰۰	۵۲/۴	۰/۴۶
			۲	۲۷° ۱۹' ۳۶/۹"	۵۶° ۲۷' ۴۱/۸"	---	۳'۱۷۶۱	۹۵۰	۲۳/۳۴	۰/۵۵
			۳	۲۷° ۱۹' ۳۷"	۵۶° ۲۷' ۴۱/۶"	---	۴'۱۵۸	۷۳۰	۲۱/۸۶	۰/۴۲



شکل ۱۵: مقایسه‌ی میانگین حجم رواناب در ایستگاه‌های نمونه برداری از سازندهای میشان و آغاچاری



شکل ۱۶: مقایسه‌ی میانگین وزن رسوب تولید شده در ایستگاه‌های نمونه برداری از سازندهای میشان و آغاچاری



شکل ۱۷: مقایسه‌ی میانگین ضریب رواناب در ایستگاه‌های نمونه برداری از سازندهای میشان و آغاچاری

### ۳-۵: بررسی ویژگی‌های مهندسی مارن‌های مورد مطالعه

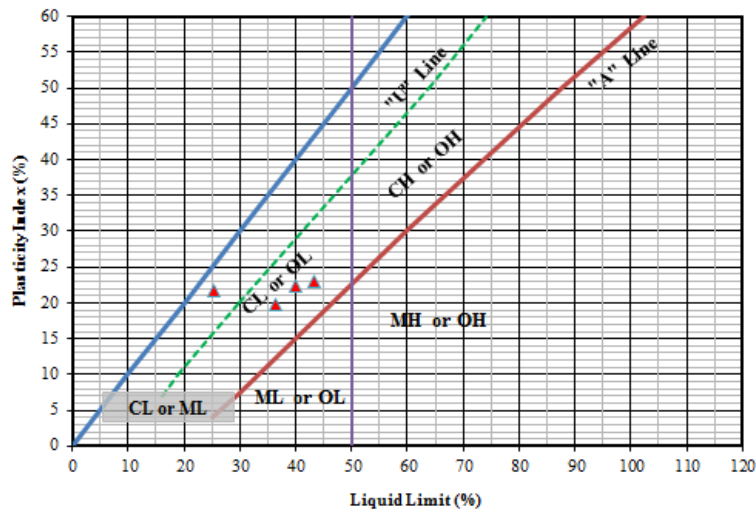
جهت طبقه‌بندی مهندسی نمونه‌ها از نمودار کاساگراند استفاده شد که نتایج آن در شکل ۱۸ ملاحظه می‌شود. بر اساس جدول ۶، نمونه‌های رسوبی دارای حداقل حد روانی ۲۵/۲ و حداکثر ۴۳/۱۱ درصد، حداقل حد خمیری ۱۹/۱۷ و حداکثر ۲۳/۰۸ و حداقل شاخص خمیری ۳/۵۸ و حداکثر ۲۰/۰۳ می‌باشند. در بررسی‌های انجام شده بر روی نهشته‌های ریزدانه توسط محققان مختلف مشخص شده است که شاخص‌های حد روانی و خمیری در پایداری این نهشته‌ها به خصوص نحوه‌ی عملکرد آن‌ها در حضور رطوبت و آب تأثیرگذار هستند (۵). مارن سازند آغاچاری با فرسایش سطحی و شیب ۱۰ درجه (S3) نسبت به واحدهای

دیگر دارای حد روانی بیشتر است، این بدان معنی است که عکس‌العمل واحد لیتولوژی ذکر شده نسبت به بقیه در مقابل افزایش رطوبت و میزان آب به خصوص در زمان بارندگی با تأخیر زمانی مواجه است، زیرا توانایی جذب آب بیشتری را در خود تا مرحله‌ی روان شدن و ایجاد سیلان توده‌ای دارد. مقایسه‌ی حد خمیری این واحدهای سنگی بیانگر این موضوع است که نمونه‌ی مربوط به مارن سازند میشان با فرسایش سطحی و شیب ۱۰ درجه (S1) با درصد جذب آب کمتری به حالت خمیری درآمده و به صورت حرکات توده‌ای در دامنه‌های شیب‌دار، فرسایش می‌یابد.

جدول ۶: میانگین خصوصیات مهندسی نمونه‌های برداشتی از مارن‌های سازند میشان و آغاچاری

نام ایستگاه	سازند	شکل فرسایش	شیب به درجه	حد خمیری PL (%)	حد روانی LL (%)	شاخص خمیری PI (%)	بافت خاک براساس طبقه‌بندی یونیفاید
S1	میشان	سطحی	۱۰	۱۹/۷۱	۳۶/۱۷	۱۶/۴۶	CL
S2	میشان	سطحی	۲۰	۲۱/۶۲	۲۵/۲	۳/۵۸	ML
S3	آغاچاری	سطحی	۱۰	۲۳/۰۸	۴۳/۱۱	۲۰/۰۳	CL
S4	آغاچاری	سطحی	۲۰	۲۲/۳۳	۳۹/۸۱	۱۷/۴۸	CL
S5	میشان	خندقی	۵	N.D	N.D	N.D	S
S6	میشان	خندقی	۵	N.D	N.D	N.D	S

N.D: قابل اندازه‌گیری نیست.



شکل ۱۸: موقعیت نمونه‌ها در نمودار کاساگراند برای طبقه‌بندی مهندسی

بر اساس شاخص خمیری که حاصل تفریق مقدار حد خمیری از حد روانی است، مارن میشان با فرسایش سطحی و شیب ۲۰ درجه (S2) دارای خاصیت پلاستیسیته‌ی پایین و بقیه نمونه‌ها در حد متوسط هستند (جدول ۷). استعداد روانگرایی نمونه‌ها با توجه به نتایج تحقیقات تجربی نشان می‌دهد که قابلیت روانگرایی سیلت‌ها ارتباط مستقیمی با نشان خمیری (PI) آن‌ها دارد. برای  $PI < 2\%$  قابلیت روانگرایی سیلت با افزایش شاخص خمیری (PI) کاهش می‌یابد (جدول ۸). نتایج حدود آتربرگ نمونه‌ها با حدود استاندارد طبقه‌بندی روانگرایی مقایسه و نتایج آن در جدول ۹ ارائه شده است.

جدول ۷: حدود پلاستیسیته

وضعیت نمونه‌های تحت بررسی		طبقه‌بندی استاندارد	
وضعیت نمونه‌ها	میزان شاخص خمیری	خاصیت خمیری	شاخص خمیری
	-----	غیر پلاستیک	۳-۰
مارن میشان فرسایش سطحی و شیب ۲۰ درجه (S2)	۳/۵۸	کمی پلاستیک	۱۵-۳
به ترتیب مارن میشان با فرسایش سطحی شیب ۱۰ درجه، مارن آجاجاری با شیب ۱۰ و ۲۰ درجه و فرسایش سطحی	سه نمونه به ترتیب ۱۶/۴۶، ۲۰/۰۳ و ۱۷/۴۸	پلاستیسیته‌ی متوسط	۳۰-۱۵
-----	-----	پلاستیسیته‌ی زیاد	>۳۰

جدول ۸: حدود استاندارد برای طبقه‌بندی استعداد روانگرایی نمونه‌ها

LL > ۳۲	LL < ۳۲
به بررسی‌های بیشتر نیاز است	مستعد روانگرایی
مستعد روانگرایی نیست	به بررسی‌های بیشتر نیاز است

جدول ۹: حدود آتربریگ و استعداد روانگرایی نمونه‌ها

نام ایستگاه	سازند	شکل فرسایش	شیب به درجه	حد روانی	حد خمیری	شاخص خمیری	روانگرایی
S1	میشان	سطحی	۱۰	۱۹/۷۱	۳۶/۱۷	۱۶/۴۶	غیر روانگرا
S2	میشان	سطحی	۲۰	۲۱/۶۲	۲۵/۲	۳/۵۸	به بررسی‌های بیشتر نیاز است
S3	آجاجاری	سطحی	۱۰	۲۳/۰۸	۴۳/۱۱	۲۰/۰۳	غیر روانگرا
S4	آجاجاری	سطحی	۲۰	۲۲/۳۳	۳۹/۸۱	۱۷/۴۸	غیر روانگرا
S5	میشان	خندقی	۵	N.D	N.D	N.D	روانگرا
S6	میشان	خندقی	۵	N.D	N.D	N.D	روانگرا

#### ۴- بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به یافته‌های این تحقیق، در مارن‌های هر دو سازند میشان و آجاجاری، مقدار جزء گل در فرسایش سطحی نسبت به فرسایش خندقی بسیار بیشتر است. مارن میشان با فرسایش سطحی نسبت به مارن آجاجاری با فرسایش سطحی دارای رس و سیلت بیشتر می‌باشد. از فرسایش سطحی به خندقی و تونلی، شدت فرسایش و میزان تولید رسوب بالاتر می‌رود. با نگاه به تغییرات بافتی (شکل ۱۴، مثلث فولک) به راحتی می‌توان دریافت که در شکل فرسایش خندقی در مارن‌های هر دو سازند میشان و آجاجاری، میزان ماسه نسبت به مجموع سیلت و رس به شدت افزایش یافته به نحوی که بافت نمونه از نوع ماسه سیلتی (Silty Sand) تا ماسه (Sand) تغییر می‌کند در حالیکه در شکل فرسایش سطحی در مارن هر دو سازند یادشده، میزان ماسه کاهش شدید یافته و بافت رسوب از نوع سیلت ماسه‌ای (Sandy Silt) تا سیلت (Silt) تغییر می‌کند. با افزایش میزان ماسه نسبت به اجزاء ریزدانه‌تر سیلت و رس، واگرایی خاک افزایش یافته و لذا امکان توسعه‌ی فرسایش تونلی و خندقی فراهم می‌شود. افزایش اجزاء ریزدانه‌تر سیلت و رس سبب افزایش چسبندگی خاک مارنی شده و لذا با افزایش مقاومت در مقابل کنش آب، فرسایش سطحی در این اراضی غالب می‌شود. موقعیت نمونه‌ها در این مثلث‌ها نشان می‌دهد که به طور عمده از نوع سیلت، ماسه‌ی سیلتی و تعدادی سیلت ماسه‌ای می‌باشند، بنابراین با توجه به کم بودن جزء رسی در این نمونه‌ها از یک سو و فراوانی املاح گچ و نمک از سوی دیگر، بکار بردن اصطلاح سیلت‌سنگ و گل‌سنگ‌های گچی - نمکی برای آن‌ها مناسب‌تر از واژه‌ی مرسوم مارن است، زیرا طبق تعریف پتی جان مارن به رسوبات مخلوط تخریبی - شیمیایی با نسبت ۳۵ تا ۶۵٪ مخلوط دو جزء



رس و آهک گفته می‌شود. بر اساس نتایج حاصله به خوبی نقش تغییرات بافتی در شکل و شدت فرسایش آبی، قابل درک است. در سازند میشان نمونه‌های برداشتی در فرسایش سطحی دارای بافت گلی و کشیدگی پلیتی کورتیک<sup>۱</sup> است ولی در فرسایش خندقی دارای بافت ماسه‌ی گلی و ماسه‌ای و کشیدگی مزوکورتیک<sup>۲</sup> تا بسیار لپتوکورتیک می‌باشد. در سازند آغاچاری رسوبات برداشتی در فرسایش سطحی عمدتاً دارای بافت گل ماسه‌ای و کشیدگی پلیتی کورتیک است در حالیکه در فرسایش خندقی عمدتاً دارای بافت ماسه‌ی گلی و کشیدگی لپتوکورتیک<sup>۳</sup> است. با توجه به داده‌های حاصل، نوع خاک در اشکال فرسایش خندقی، روانگرا و در اشکال فرسایش سطحی، غیر روانگرا است. به بیان دیگر فرسایش خندقی در خاک‌های حساس به فرسایش آبی رخ می‌دهد. بافت ماسه‌ای این نوع مارن‌ها مؤید همین موضوع است. با مجاورت با آب، خاک انسجام خود را از دست داده و با پراکنش شدید ذرات مستعد فرسایش عمیق خندقی می‌شوند. با نگاهی به نتایج جدول ۱ در می‌یابیم که شاخص نسبت ماسه به مجموع سیلت و رس در نمونه‌های خندقی بالاست. به بیان دیگر نوع بافت ماسه‌ای در شکل‌گیری فرسایش خندقی نقش مهمی ایفاء نموده است. همانطور که گفته شد این شاخص برای اولین بار در این تحقیق به عنوان معیار تمایز دو شکل فرسایش سطحی و خندقی از یکدیگر معرفی و کارایی خوبی نشان داده است. در حالت‌های مختلف، فرسایش مجاز متفاوت است که به این قرار می‌باشد: ۱- در حالت اول: هر ۳۰۰ سال ۲۵ میلی‌متر خاک معادل فرسایش مجاز ۱/۲۵ تن در هکتار در سال (اراضی دیم) ۲- در حالت دوم: هر ۱۰۰ سال ۲۵ میلی‌متر خاک معادل فرسایش مجاز ۴ تن در هکتار در سال (اراضی شخم‌خورده) ۳- در حالت سوم: هر ۳۰ سال ۲۵ میلی‌متر خاک معادل فرسایش مجاز ۱۲/۵ تن در هکتار در سال (اراضی شخم‌خورده با عملیات خاک‌ورزی). براساس نتایج شبیه‌ساز باران، میزان اعداد حاصله مقدار هدررفت خاک و فرسایش‌پذیری ذاتی مارن‌های منطقه را بر حسب تن در هکتار، در یک تک واقعه‌ی بارش، نشان می‌دهد (جدول ۱۰). با توجه به این که در اراضی تحت بررسی عملیات کشت و زرع انجام نمی‌شود و جزء مناطق مرتعی هستند لذا حالت اول در فرسایش مجاز این اراضی حاکم است. با توجه به اینکه میانگین فرسایش‌پذیری ذاتی در مارن‌های سازند میشان در منطقه‌ی مورد مطالعه ۳/۴۵۳ و در مارن‌های سازند آغاچاری ۶/۵۹۴ می‌باشد، لذا در اراضی این منطقه فرسایش در مارن‌های میشان و آغاچاری به ترتیب ۲/۷۶ و ۵/۲۷ برابر حد مجاز فرسایش در حال وقوع است.

جدول ۱۰: فرسایش‌پذیری ذاتی مارن‌ها در منطقه‌ی مورد مطالعه

نام ایستگاه	فرسایش‌پذیری ذاتی مارن‌ها (تن در هکتار)
S1 (مارن سازند میشان با فرسایش سطحی و شیب ۱۰ درجه)	۱/۲-۸۲/۹۶
S2 (مارن سازند میشان با فرسایش سطحی و شیب ۲۰ درجه)	۱/۷-۶۷/۷۹
S3 (مارن سازند آغاچاری با فرسایش سطحی و شیب ۱۰ درجه)	۲/۱۱-۱/۱
S4 (مارن سازند آغاچاری با فرسایش سطحی و شیب ۲۰ درجه)	۷/۱۰-۱۷/۴۶
S5 (مارن سازند میشان با فرسایش خندقی)	۲/۴-۷۶/۶۹
S6 (مارن سازند آغاچاری با فرسایش خندقی)	۳/۸-۴۹/۳۹

با توجه به ویژگی‌های شیمیایی نمونه‌ها، نسبت کاتیون‌های یک ظرفیتی به دو ظرفیتی در مارن سازند میشان با فرسایش سطحی و شیب ۲۰ درجه (S2) نسبت به بقیه بیشتر بوده، که دلالت بر حساسیت بیشتر به فرسایش این واحد می‌باشد (جدول ۱۱).

- 1 - Playtikurtic
- 2- Mesokurtic
- 3- Leptokurtic

جدول ۱۱: مقایسه‌ی مجموع و نسبت مجموع کاتیون‌های دو ظرفیتی و یک‌ظرفیتی در منطقه‌ی مورد مطالعه

ایستگاه	$Ca^{2+} + Mg^{2+}$	$Na^+ + K^+$	$\frac{Na^+ + K^+}{Ca^{2+} + Mg^{2+}}$
S1	۲۰۰/۴	۱۲۶۷/۱۸	۶/۳۲۳
S2	۱۵۳/۳۳	۱۱۶۰/۴۹	۷/۵۶
S3	۸۶/۷۹	۴۲۵/۲۵	۴/۸۹۹
S4	۱۲۹	۶۴۴/۷۱	۴/۹۹
S5	۱۰/۹۳	۱۸/۵۶۳	۱/۶۹
S6	۸۳/۳۳	۴۰۰/۸۷	۴/۸۱

مقادیر SAR و مقدار یون‌های سدیم، پتاسیم و کلر در مارن سازند میشان با فرسایش سطحی (S1 و S2) نسبت به دیگر واحدها بالاتر بوده و در نتیجه این واحد مستعد هرگونه فرسایش است. براساس نتایج بدست آمده از آزمایش EC، شوری ایستگاه‌ها مشخص شد (جدول ۱۲). در مجموع در منطقه‌ی مورد مطالعه مقدار شوری (EC)، در سازند میشان بیشتر از سازند آجاجاری و در سازند میشان در فرسایش سطحی بیشتر از خندقی است.

جدول ۱۲: طبقه‌بندی میزان شوری مارن‌ها در ایستگاه‌های نمونه برداری از سازندهای میشان و آجاجاری

کلاس	EC ( $\mu\text{moh/cm}$ )	توصیف خاک	وضعیت مارن‌های منطقه
۰	۰-۲	غیر شور	-
۱	۲-۴	شوری بسیار کم	S5
۲	۴-۸	شوری کم	-
۳	۸-۱۶	شوری متوسط	-
۴	<۱۶	شوری زیاد	S6, S4, S3, S2, S1

درصد گچ منطقه‌ی مورد مطالعه، در سازند آجاجاری بیشتر از سازند میشان و در فرسایش سطحی بیشتر از خندقی است. در هر دو سازند میشان و آجاجاری، مقدار میانگین pH در فرسایش خندقی بیشتر از فرسایش سطحی است و بیشترین مقدار CEC در هر دو سازند، مربوط به فرسایش صفحه‌ای است. اما پس از انجام آزمون ANOVA مشخص شد از بین پارامترهای فیزیکی فقط درصد سیلت و ماسه در هر مقدار رسوب تولیدی توسط شبیه‌ساز باران، تفاوت معنادار دارند. از بین پارامترهای شیمیایی فقط CEC در هر مقدار رسوب تولیدی تفاوت معنادار دارد. همچنین در فرسایش‌های سطحی و خندقی بین مقادیر pH، EC،  $HCO_3^-$ ،  $Cl^-$ ،  $Mg^{++}$ ،  $Na^+$ ،  $K^+$ ، OC، Gypsum، CEC، SAR، حجم روان‌آب، شیب، سیلت، رس و ماسه در فرسایش‌های سطحی و خندقی اختلاف معنادار وجود دارد.

اما معادله‌ی رگرسیون برای تعیین تأثیر عوامل شیمیایی بر روی وزن رسوب تولیدی، به این صورت خواهد بود:

$$\text{Sediment} = 386.564 + (1.367 \text{ EC}) - (29.822 \text{ pH}) + (2.78 \text{ HCO}_3^-) - (0.11 \text{ SO}_4^{--}) - (3.125 \text{ TNV}) - (30.072 \text{ OC}) + (19.151 \text{ Gypsum}) + (0.856 \text{ CEC}) + (0.194 \text{ SAR}) - (0.136 \text{ CL}^-)$$

نتایج آزمون رگرسیون چند متغیره نشان می‌دهد که بین عوامل شیمیایی و میزان رسوب به میزان ۶۹/۲ رابطه‌ی مثبت وجود دارد. معادله‌ی رگرسیون برای تعیین تأثیر عوامل شیمیایی بر روی حجم روان‌آب تولیدی نیز محاسبه گردید:

$$\text{Volume} = -1232.187 + (23.637 \text{ EC}) + (606.189 \text{ pH}) - (90.230 \text{ HCO}_3^-) - (0.66 \text{ SO}_4^{2-}) - (79.074 \text{ TNV}) \\ - (253.501 \text{ OC}) - (329.873 \text{ Gypsum}) + (17.11 \text{ CEC}) - (4.201 \text{ SAR}) - (1.392 \text{ CL}^-)$$

بین عوامل شیمیایی و حجم رواناب تولیدی نیز به میزان ۷۸ رابطه‌ی مثبت وجود دارد. پس از بین متغیرهای شیمیایی اندازه‌گیری شده، بیشترین تأثیر را در کاهش وزن رسوب تولیدی، مقدار کربن آلی و بیشترین تأثیر در کاهش حجم رواناب را ژئیس داشته است.

#### ۵: پیشنهادها

۱) محققان قبلی از نسبت رس جهت تمایز دو فرسایش سطحی و خندقی استفاده کرده‌اند ولی در این پژوهش نسبت رس برای این دو نوع فرسایش جواب نداد. با توجه به قرارگیری این دو فرسایش در دو قطب جداگانه در مثلث فولک بایستی توسط محققین مطالعات بیشتری انجام گیرد تا اندیس مناسب‌تری ساخته شود. اما اندیس پیشنهادی ما بدین صورت است:

( $\frac{\text{درصد ماسه}}{\text{درصد رس} + \text{درصد سیلت}}$ ). اما بایستی با تعداد نمونه‌های بیشتر و در تحقیقات تکمیلی صحت و کارایی این معیار محک زده شود.

۲) با توجه به این که باران‌ساز نوع کامفورت بکار رفته در این تحقیق، رگبارهای بسیار شدید را شبیه‌سازی می‌کند پیشنهاد می‌شود که از شبیه‌سازهای باران با ابعاد بزرگتر که می‌توانند باران طبیعی منطقه را شبیه‌سازی کنند در تحقیقات تکمیلی استفاده شود.

۳) با توجه به این که شبیه‌ساز باران در یک تک‌واقعه‌ی باران شبیه‌سازی شده میزان رواناب و رسوب را ارائه می‌نماید و رسوب حوضه‌ها به وقایع باران سالانه وابسته است، لذا احداث کرت‌های صحرایی جمع‌آوری رواناب و رسوب در صحرا و بر روی سازندهای حساس در تعیین میزان تولید رسوب مارن‌های این سازندها کمک شایان توجهی می‌نمایند.

#### ۶: سپاسگزاری

این تحقیق با امکانات پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری کشور و دانشگاه هرمزگان، گروه زمین‌شناسی انجام شده است که از ریاست این دو مجموعه تشکر و قدردانی می‌شود. همچنین از آقای امید بشردوست دانشجوی دکترای تخصصی رشته‌ی مدیریت صنعتی گرایش سیستم‌ها، جهت کمک در بخش آماری این تحقیق کمال تشکر را دارم.

#### ۷: مراجع

1. Abrahams, A. D., & Parsons, A. J. (1990). Determining the mean depth of overland flow in field studies of flow hydraulics. *Water Resources Research*, 26(3), 501-503.
2. Ahmadi, H. (2007). Applied Geomorphology (water erosion). Tehran University. (In Persian).
3. Aksoy, H., Unal, N. E., Cokgor, S., Gedikli, A., Yoon, J., Koca, K., & Eris, E. (2012). A rainfall simulator for laboratory-scale assessment of rainfall-runoff-sediment transport processes over a two-dimensional flume. *Catena*, 98, 63-72.
4. Bilgili, A. V. (2013). Spatial assessment of soil salinity in the Harran Plain using multiple kriging techniques. *Environmental monitoring and assessment*, 185(1), 777-795.
5. Bouma, N.A., & Imeson, A. C. (2000). Investigation of relationships between measured field indicators and erosion processes on badland surfaces at Petrer, Spain. *Catena*, 40(2), 147-171.
6. El Maaoui, M. A., Felfoul, M. S., Boussema, M. R., & Snane, M. H. (2012). Sediment yield from irregularly shaped gullies located on the Fortuna lithologic formation in semi-arid area of Tunisia. *Catena*, 93, 97-104.

7. Esteves, M., Faucher, X., Galle, S., & Vauclin, M. (2000). Overland flow and infiltration modelling for small plots during unsteady rain: numerical results versus observed values. *Journal of hydrology*, 228(3), 265-282.
8. Folk, R. L. (2000). Petrology of sedimentary rocks, Hemphill Publishing Company Austin, Texas 78703
9. Ghadimi Arosmahle, F., Aminsobhani, A. (1998). Sedimentary yielding zones and Geological times, study of salt lake watershed. Frist conference on geology and environment. Tarbiat Moalem University of Tehran. P. 945-957. (in Persian).
10. Khamechian, M. (1990). Study of physical and mechanical property of Marl-Clay rocks. engineering geology Ms.c thesis of Tabrbiat Modares university. (in Persian).
11. Luo, Z., Deng, L., & Yan, C. (2015). Soil erosion under different plant cover types and its influencing factors in Napahai Catchment, Shangri-La County, Yunnan Province, China. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 22(2), 135-141.
12. Memarian, H. (1995). Engineering geology and Geotectonic. Tehran University. (In Persian).
13. Meyer, L. D., & Harmon, W. C. (1984). Susceptibility of agricultural soils to inter-rill erosion. *Soil science society of America Journal*, 48(5), 1152-1157.
14. Moreno-de Las Heras, M., Merino-Martín, L., & Nicolau, J. M. (2009). Effect of vegetation cover on the hydrology of reclaimed mining soils under Mediterranean-Continental climate. *Catena*, 77(1), 39-47.
15. Morin, J., Benyamini, Y., & Michaeli, A. (1981). The effect of raindrop impact on the dynamics of soil surface crusting and water movement in the profile. *Journal of Hydrology*, 52(3), 321-335.
16. Nyssen, Jan, and Dominiék Vermeersch. "Slope aspect affects geomorphic dynamics of coal mining spoil heaps in Belgium." *Geomorphology* 123.1 (2010): 109-121.
17. Ouhadi, V. R., & Yong, R. N. (2003). The role of clay fractions of marl soils on their post stabilization failure. *Engineering geology*, 70(3), 365-375.
18. Peyrowan, H.R., and T. Asadi, (2005). A review on the role of phyco-chemical effective factors on erosion forms in marly area, 9th soil sciences Congress of Iran, Tehran Univ. (in Persian).
19. Poesen, J., Nachtergaele, J., Verstraeten, G., & Valentin, C. (2003). Gully erosion and environmental change: importance and research needs. *Catena*, 50(2), 91-133.
20. Pulice, I., Cappadonia, C., Scarciglia, F., Robustelli, G., Conoscenti, C., De Rose, R., & Agnesi, V. (2012). Geomorphological, chemical and physical study of "calanchi" landforms in NW Sicily (southern Italy). *Geomorphology*, 153, 219-231.
21. Römken, M. J., Helming, K., & Prasad, S. N. (2002). Soil erosion under different rainfall intensities, surface roughness, and soil water regimes. *Catena*, 46(2), 103-123.
22. Servati, M.R., Ghoddosi, J., Dadkhah, M. (2008). Factor effecting initiation and advancement of gully erosion in loesses. *Pejouhesh & Sazandegi*, 20-33. (in Persian).

23. Sheykh Rabiee, M. R., Feiznia, S., & Peyrowan, H. R. (2008). Study Runoff and Soil loss in Map Units of Hiv Watershed, Measurements and comparisons at the Rainfall Simulator Scale. (In Persian).
24. Valentin, C., Poesen, J., & Li, Y. (2005). Gully erosion: impacts, factors and control. *Catena*, 63(2), 132-153.
25. Veihe, A. (2002). The spatial variability of erodibility and its relation to soil types: a study from northern Ghana. *Geoderma*, 106(1), 101-120.

---

## Study of effective factors on water erosion in Marl deposits of Mishan and Aghajary formations in the west of Bandar Abbas

Makki, S.<sup>1</sup>, Rezaee, P.<sup>2\*</sup>, Peyrowan, H.R.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> M.Sc. student of Geology Department, Hormozgan University, Bandar Abbas

<sup>2</sup> Assistant Professor of Department, Hormozgan University, Bandar Abbas

<sup>3</sup> Associate professor of Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Soil Conservation and Watershed Management Institute, Iran

---

### Article History:

Received:

January 06, 2016

Revised:

July 27, 2016

Accepted:

September 23, 2016

---

### Keywords:

erodibility

physical-chemical

index

rainfall simulator

engineering

properties

gully erosion

---

### Abstract

Identifying indicators affecting the erosion of marls to improvement physical, chemical and mechanical properties of marl soils and reduce erosion and sediment yield is an important subject. Study of factors affecting amount of erosion and runoff of Mishan and Aghajari marl formations in the west of Bandar Abbas is the main aim of the research. For this purpose, sample points are located according to lithology and general slope maps and field surveying for dominant erosion shape. On the basis of above mentioned criteria, 6 stations are selected for Kamphorst rainfall tests. At any station run rainfall test with intensity 6/74 mm per minute rain with 3 replications in Mishan and Aghajari marl units in the west of Bandar Abbas at slopes 10 and 20 degree in surface erosion shape and less than 5 degree slope for gully erosion. Finally 18 samples of runoff and sediment load has collected. Topsoil of the rainfall plot in 6 stations were taken for physical and chemical analysis. Sedimentological characteristics of soil samples such as grain size, mean value, standard deviation, skewness and kurtosis determined using Gradistat software. Chemical properties include electrical conductivity (EC), degree of acidity (pH), organic matter (OC), cations and anions solution, sodium absorption ratio (SAR), lime, gypsum and exchange capacity cation (CEC). Also, atterberg limits of 6 soil samples was measured. The results showed that in both Mishan and Aghajari formations, the mud content of the samples in surface erosion is more than samples with gully erosion shape. In surface erosion shape, Mishan marl has silt and clay particles content more than Aghajari marl, therefore Mishan marl is more than resistance to erosion and produce less sediment than Aghajari marl. Based on rainfall tests in marl area, potential erosion of Mishan and Aghajari marls are 2/76 and 5/27 respectively compare to tolerance erosion rate. In this study, for the first time, the ratio of sand amount to sum of clay and silt content was presented as physical criteria to separate two surface and gully erosion forms from each other. Marls with gully erosion have "sand / clay + silt" criteria more than marls with surface erosion forms. Also liquefaction susceptibility of samples revealed gullying develop in more liquefied marls.

---

\* Corresponding Author Email: [peiman\\_rezaie@yahoo.com](mailto:peiman_rezaie@yahoo.com)