



بررسی تاثیر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مارن‌ها بر میزان رسوبدهی با استفاده از مدل فیزیکی باران‌ساز

محمد حسن زاده نفوتی^۱، سادات فیض نیا^۲، حسن احمدی^۲، حمید رضا پیروان^۳، جعفر غیومیان^۳

پذیرش مقاله : ۸۶/۶/۴

دریافت مقاله : ۸۵/۱۱/۱

چکیده:

واحدهای مارنی بیشترین رسوبات را در بین واحدهای سنگ‌شناسی در حوضه‌های آبخیز تولید می‌نمایند. این خاصیت مارن‌ها در کاهش عمر مفید سدها، خسارات به تاسیسات برق‌آبی، سیل‌گیری، رسوبگذاری کانال‌های آبرسانی، مرگ و میر آبزیان و... نقش بسزایی دارند. از این رو شناخت ویژگی‌های مؤثر در فرسایش‌پذیری مارن‌ها و طبقه‌بندی آنها می‌تواند در الویت‌بندی آنها برای اقدامات و اتخاذ روش اصلاحی کمک شایانی نماید. در این تحقیق، برای مقایسه واحدهای مارنی حوضه آبخیز ایوانکی از نظر فرسایش‌پذیری و تولید رسوب، از یک باران‌ساز قابل حمل در صحرا استفاده گردید. مقادیر رواناب و رسوب هر یک از واحدهای مارنی (در ۳ تکرار) اندازه‌گیری شد. سپس با استفاده از روش آماری به کمک رگرسیون خطی چند متغیره، بین ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی مارن‌ها (متغیرهای مستقل) و میزان رسوبدهی آنها (متغیر وابسته) رابطه برقرار شد. در این ارتباط، ویژگی‌هایی مانند SAR, EC, K به ترتیب ۸۹، ۳/۵ و ۱/۵ درصد تغییرات رسوب تولید شده را در واحدهای مختلف مارنی توجیه نمودند. آنالیز تجزیه واریانس داده‌های رسوب، مارن‌ها را به چهار گروه A (شامل واحدهای OLs)، B (شامل واحد M₃)، C (شامل واحدهای M₂, M₁) و D (شامل واحدهای O-M, OLg) تقسیم نمود که میزان فرسایش‌پذیری و تولید رسوب به ترتیب از گروه A تا D کاهش می‌یابد. سپس ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی این چهار گروه، مورد تجزیه واریانس قرار گرفته و ویژگی‌های SAR, EC, K, Na, Cl در این چهار گروه در سطح ۰/۰۵، ۰/۰۱ و ۰/۰۰۱ دارای اختلاف معنی‌داری هستند. مقادیر متوسط تولید رسوب واحدهای مختلف مارنی از طریق باران‌ساز نشان داد که واحدهای مارنی تبخیری نئوژن (M₁ و M₂ و M₃) نسبت به مارن‌های دریایی سازند قم و مارن‌های کرانه‌ای سازند کند، ۲۷ تا بیش از ۱۰۰ برابر توان تولید رسوب دارند.

کلید واژه‌ها: رسوبدهی، مارن، باران‌ساز، طبقه‌بندی، حوضه آبخیز ایوانکی

۱- دانشجوی دکتری آبخیزداری دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، mhasanzadeh@yahoo.com

۲- دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران

۳- پژوهشکده تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری کشور

مقدمه

نهشته‌های مارنی به دلیل ماهیت ساختمانی، نظیر وجود ذرات تخریبی (سیلت بالا و رس کم) و مواد شیمیایی (کربنات کلسیم، ژپس، انیدریت و نمک) نسبت به سایر نهشته‌ها از فرسایش پذیری بالاتری برخوردارند. در حوضه‌هایی که دارای واحدهای مارنی هستند، قسمت عمده‌ای از رسوبات از این واحدها تولید می‌شود، از این رو نقش مهمی در کاهش عمر مفید سدها دارند. به عنوان مثال می‌توان به سد سفیدرود، سد ساوه، سد پانزده خرداد و... اشاره نمود. با توجه به پتانسیل بالای وقوع انواع رخساره‌های فرسایشی اعم از سطحی، شیبی، آبراهه‌ای، خندقی و تونلی و رسوبزایی بالا، شناخت جامع مارن‌ها از دیدگاه کانی‌شناسی و شیمیایی که در نهایت منجر به شناسایی عوامل مؤثر بر فرسایش پذیری مارن‌ها می‌شود، امری لازم و ضروری است. با شناخت شاخص‌های مؤثر بر فرسایش پذیری مارن‌ها و طبقه‌بندی آنها می‌توان در الویت‌بندی واحدها جهت اصلاح و بهبود این اراضی به منظور کاهش فرسایش و تولید رسوب اقدام نمود.

مطالعات گذشته حاکی از رسوبدهی بالای واحدهای مارنی نسبت به سایر واحدهای سنگ‌شناسی می‌باشد. به عنوان مثال (قدیمی عروس محله و همکاران، ۱۳۷۸) رسوبزایی زون‌ها و دوران‌های زمین‌شناسی را در حوضه آبخیز دریاچه نمک مطالعه نموده و بیشترین رسوبات را به دوران ترشیری منتسب دانسته‌اند. در این دوران، بیشترین گسترش طبقات مارنی دیده می‌شود.

(حشمتی، ۱۳۷۵) سازندهای مارنی قصر شیرین و سومار را از نظر زمین‌شناسی و فرسایش مطالعه کرده و ارتباط بین شکل فرسایش با خصوصیات کانی‌شناسی مارن‌ها را ارائه نموده است. او نتیجه گرفت که نوع سازند (به خصوص درصد رس و املاح آن) بیشترین تأثیر را در ظهور انواع اشکال فرسایش داشته است.

(خامه‌چیان، ۱۳۶۹)، ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی سنگ‌های مارنی- رسی را مورد بررسی قرار داده است. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش درصد کربنات در سنگ‌های مارنی

رسی، ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی آنها بهبود می‌یابد. (قدیمی عروس محله و همکاران، ۱۳۷۸) در تحقیق دیگری با بررسی خصوصیات فیزیکوشیمیایی مارن‌ها و اشکال فرسایش ایجاد شده، دریافتند که فرسایش ورقه‌ای در مارن‌های غیر پخش شونده و فرسایش شیبی و خندقی در انواع پخش شونده شایع است.

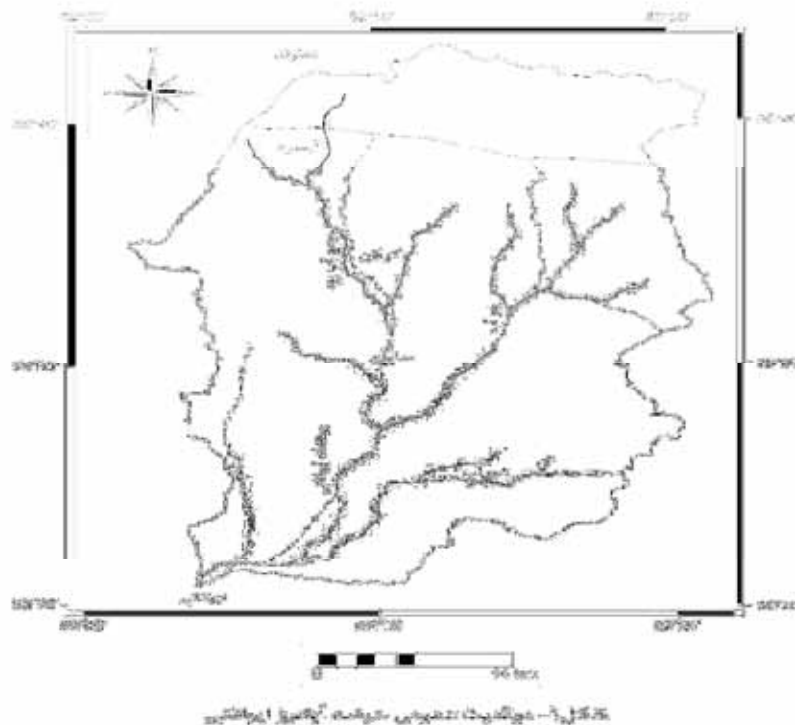
(Benito et al, 1993) فرسایش هزار دره‌ای را در مارن‌های با میزان مواد محلول زیاد، مقادیر SAR بالاتر از ۴۰ و میزان متوسط نمک گزارش کردند. (Clark & Hellen, 2005) بر روی بدلندهای پلیو- پلیوستوسن در باسیلیکاتای شمال ایتالیا مطالعه‌ای را به انجام رسانیده‌اند و مقدر فرسایش را در دامنه‌هایی با یال تیغه‌ای شکل (کالانچی) حدود ۱۰-۷ میلی‌متر در سال و اشکال گنبدی شکل (بیانکان) حدود ۱۹-۹ میلی‌متر در سال برآورد کرده‌اند.

(Imeson, 1982) با مطالعه بر روی توسعه خندق‌های ایجاد شده در خاک‌های مارنی شمال مراکش دریافتند که درصد سدیم تبدالی (ESP) و نسبت جذب سدیم (SAR) بالا که عامل تورم و پخشیدگی خاک هستند، در توسعه خندق‌ها و تشکیل هزار دره‌ها مؤثراند. برای اندازه‌گیری فرسایش پذیری از بارانسازهای مصنوعی استفاده می‌شود که خصوصیات فیزیکی باران را می‌توان به طور دلخواه در آنها اعمال کرد. سرعت، کارآیی و امکان تکرارپذیری از دیگر مزایای استفاده از بارانسازهای مصنوعی است. در طی نیم قرن گذشته محققان، روش‌ها و دستگاه‌های زیادی را برای شبیه‌سازی باران استفاده کرده‌اند. به طور کلی این بارانسازها را می‌توان به دو دسته تقسیم نمود. بارانسازهایی که قطرات در انتهای لوله یا قطره چکان‌ها تشکیل و با سرعت اولیه صفر رها می‌شوند و بارانسازهایی که قطرات از نازل‌های تحت فشار و با سرعت قابل توجهی خارج می‌گردند. از بارانسازهای نوع اول می‌توان به بارانسازهایی که توسط (ارشام، ۱۳۷۵) و (رئیسیان، ۱۳۷۶) استفاده شده است، اشاره نمود که از قطره چکان برای تولید قطرات باران استفاده شده است. در باران ساز طراحی شده توسط (رئیسیان، ۱۳۷۶)، قطره چکان‌ها به فاصله ۵ سانتی‌متر از هم بر روی لوله‌های پلی‌اتیلنی نصب شده و

بارانساز مصنوعی از نوع اول اشاره شده در بالا، میزان رسوبدهی هر یک از واحدهای مارنی اندازه گیری شده و براساس میزان رسوبدهی، واحدهای مارنی طبقه بندی شدند. سپس بین میزان رسوبدهی هر یک از واحدها و خصوصیات فیزیکی - شیمیایی آنها ارتباط برقرار شده است.

موقعیت کلی منطقه

حوضه آبخیز ایوانکی یکی از زیرحوضه های دشت کویر می باشد. این حوضه در شمال - شمال شرق شهر ایوانکی در طول جغرافیایی $52^{\circ} 21'$ تا $52^{\circ} 01'$ شرقی و عرض جغرافیایی $20^{\circ} 20'$ تا $35^{\circ} 43'$ شمالی واقع شده است (شکل ۱).



حوضه رودشور قرار دارد. متوسط بارندگی آن $304/7$ میلی متر است. میانگین دمای حداقل، متوسط و حداکثر سالانه آن نیز به ترتیب $7/4-$ ، $18/6$ و $43/5$ درجه سانتی گراد می باشد. رودخانه های این حوضه به صورت دو سری شاخه اصلی از

لوله های پلی اتیلنی نیز به موازات هم و به فاصله 10 سانتی متر روی صفحه بارانساز نصب و به مخزن آب متصل شده اند. (Meyer & Harmon, 1984)، بارانساز قابل حملی که قابلیت ایجاد شدت های متفاوتی را در صحرا دارد، مورد استفاده قرار دادند که علاوه بر دامنه وسیع شدت های بارندگی، قطر قطرات و سرعت برخورد با زمین را نزدیک به باران طبیعی شبیه سازی می نمود.

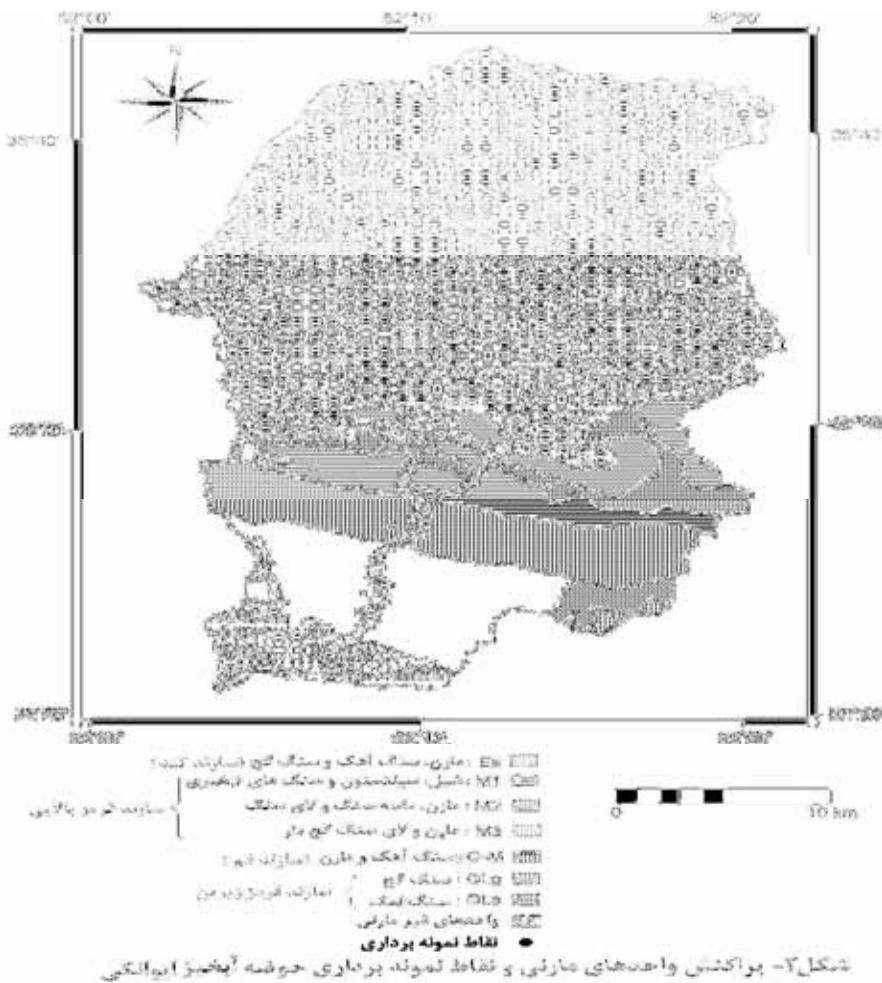
(Cerde et al, 1997) نیز بارانساز صحرایی قابل حملی را که تنها از یک نازل و پمپ دستی استفاده می کند طراحی و به کار بردند اما سرعت برخورد قطرات کمتر از سرعت نهایی بوده و انرژی باران تولید شده به وسیله این بارانساز کمتر از انرژی جنبشی باران طبیعی است. در مطالعات گذشته عمدتاً سعی شده مارن ها را از نظر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی از هم تفکیک نمایند؛ اما در تحقیق حاضر به کمک یک دستگاه

مساحت آن 843 کیلومتر مربع می باشد. شهرهای آبسرد و سربندان و روستاهای مقانک، ویرانه، کیلان و ساران در این حوضه واقع شده اند. در شرق آن حوضه حبله رود، در غرب، حوضه لثیان، در شمال حوضه فولادچشمه و در جنوب آن

مواد و روش‌ها

علت انتخاب حوضه ایوانکی جهت مطالعه، تنوع بسیار خوب انواع سازندهای مارنی (سازند کُند، سازند قرمز زیرین، سازند قم و سازند قرمز بالایی) در این حوضه است که همگی این واحدها در قسمت پایین دست حوضه قرار دارند (شکل شماره ۲).

کوه زرین سرچشمه می‌گیرند. سرشاخه دو آب، که از کنار روستاهای سربندان و مقانک می‌گذرد و سرشاخه جمع‌آب رود، که در کنار آبسرد، کیلان و ساران جریان دارد. این دو سرشاخه در نزدیکی روستای ویرانه به هم رسیده و رودخانه ایوانکی را تشکیل می‌دهند. در نزدیکی روستای کرک شاخه فرعی دیگری به نام رودخانه شورآب به آن می‌پیوندد. طول رودخانه اصلی، ۵۴/۳ کیلومتر می‌باشد.



می‌باشد (شکل ۳). سازند قم (O-Mq) شامل آهک توده‌ای و ضخیم، مارن سیلتی، آهک تخریبی و مارن، ژئیس سفید رنگ، مارن سبز زیتونی و آهک کرم است. سازند قرمز بالایی از سه واحد مارنی تشکیل شده است. واحد M_1 از مارن‌های الوان تشکیل شده است که در تناوب با لایه‌های کم گچ، شیل و ماسه سنگ می‌باشد و با رنگ‌های متنوعی (قرمز، سبز متمایل

سازند کُند (EK) در قاعده از کنگلومرا و ماسه سنگ خاکستری تا سبز رنگ به طور متناوب تشکیل شده، بر روی آن ژئیس قرار گرفته و سرانجام در رأس به آهک و مارن ختم می‌شود. سن این سازند ائوسن فوقانی است (درویش‌زاده، ۱۳۷۰). سازند قرمز زیرین شامل واحد OLG، متشکل از ژئیس و انیدریت و واحد OLS، متشکل از مارن زرشکی رنگ و نمک

تشکیل قطره آویزان است. جنس تشتک از نوع Plexiglass با ضخامت ۸ میلی متر در بدنه و کف می باشد. فاصله روزنه ها در امتداد طول و عرض بارانساز ۸ میلی متر است. بنابراین مجموع کل روزنه ها ۱۶۹ عدد می باشد و ارتفاع دیواره تشتک ۲۰ سانتی متر و قطر روزنه ها ۰/۶۶ میلی متر است. با توجه به اینکه ضخامت کف تشتک ۸ میلی متر است، لذا می توان بارانساز را از نوع لوله های باریک در نظر گرفت، به طوری که قطر لوله ۰/۶۶ میلی متر و طول آن ۸ میلی متر است. عوامل مؤثر بر شدت باران تولید شده به ارتفاع آب یا فشار آب روی روزنه ها، قطر مفید روزنه ها و قطر نخ های نایلونی بستگی دارد.



شکل ۴- نمایی از واحد M_1 با رنگهای متنوع

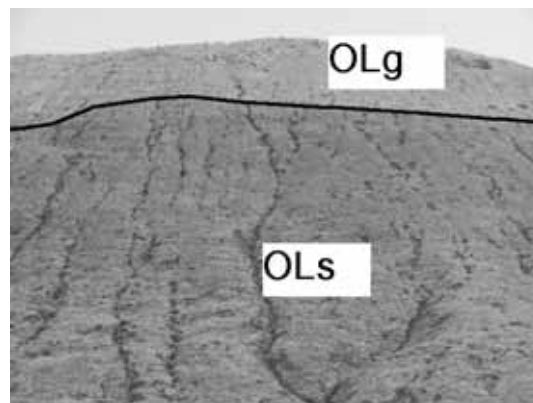
در این مطالعه از نخ های نایلونی به قطر ۰/۴ میلی متر استفاده شده که رابطه بین عمق آب در تشتک بارانساز و شدت باران تولید شده مطابق رابطه ۱ است.

$$Y = 16/12 \ln(X) + 14/69 \quad r = 0/998 \quad (1) \text{ (رابطه ۱)}$$

که در آن Y شدت باران تولید شده بر حسب میلی متر در ساعت و X عمق آب در داخل تشتک بر حسب سانتی متر است. برای ثابت نگه داشتن عمق آب تشتک از دو پمپ کوچک که با ولتاژ ۱۲ ولت کار می کنند، استفاده شده است.

بارانساز ساخته شده بر روی چهارپایه فلزی در ارتفاع ۱۸۰ سانتی متر از سطح زمین قرار می گیرد. پایه های بارانساز برای شیب های مختلف قابل تنظیم می باشند. برای تنظیم و ثابت نگه داشتن عمق آب در تشتک، از یک دستگاه الکترونیکی

به کرم، سبز زیتونی) که دارد (شکل ۴)، از واحد M_2 متمایز می شود. واحد M_2 عمدتاً ماسه سنگ حفره دار و لایه های نازک شیل به همراه مارن تشکیل شده است. ضخامت و توالی طبقات ماسه سنگ نسبت به واحد M_3 و M_1 بسیار بیشتر است و در بعضی مناطق ضخامت آن به ۱۰ متر می رسد. واحد M_3 عمدتاً از مارن با میان لایه های کم ماسه سنگی و کنگلومرایی تشکیل شده است. رنگ آن کرم تا قهوه ای روشن است. لایه های ماسه سنگی دارای تناوب و ضخامت کمتر (۲-۱ متر) و سیمان سست تر نسبت به دو واحد دیگر است، به همین دلیل بیشتر در معرض فرسایش قرار گرفته و تپه ماهورهای فرسوده را بوجود آورده است. به دلیل وجود املاح فراوان، واحدهای مارنی دارای پوشش گیاهی تنک و در مواردی فاقد پوشش گیاهی می باشد. وضعیت اخیر را می توان در واحد OLS که دارای نمک فراوان است، مشاهده نمود. اما در واحدهای دیگر که دارای میان لایه های رسوبی (شامل ماسه سنگ، شیل، ژیس و...) می باشد، خاک های کم عمقی تشکیل گردیده که بستر نسبتاً مناسبی برای رویش گونه های شورپسند فراهم می نماید. گونه های گیاهی عمدتاً از نوع *Salsola rali*, *Peganum* و *harmala*, *Cousinia Sp*, *Alhagi persarum* و *Capparis spinosa* می باشد

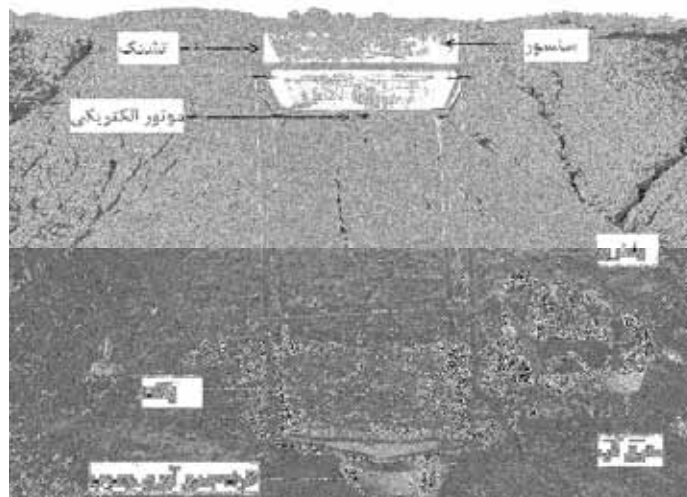


شکل ۳- نمایی از واحد Ols در پایین و OLg در بالا

برای اندازه گیری رواناب و رسوب از یک دستگاه بارانساز مصنوعی قابل حمل در صحرا استفاده شد که از یک تشتک به ابعاد ۱×۱ متر تشکیل شده است (شکل ۵). در کف آن سوراخ هایی وجود دارد که از آن نخ های نایلونی جهت

یک نقطه ثابت روی زمین ریخته نشوند بلکه بتوانند کل سطح زمین را خیس نمایند، از یک دستگاه موتور الکتریکی برای حرکت دادن افقی تشتک بارانساز استفاده شده است.

مجهز به سنسور حساس استفاده شد، بطوریکه بلافاصله پس از پائین افتادن سطح آب در تشتک، ارتباط دو قطب سنسور قطع و پمپ به طور خودکار روشن می‌شود و آب را از مخزن آب به تشتک منتقل می‌نماید. برای اینکه قطرات همواره در



شکل ۵- دستگاه بارانساز در هنگام اندازه گیری رسوب در واحد M_3

سانتی‌متر و در فرسایش شیاری از عمق ۳۰-۰ و در فرسایش آبراه‌ای از عمق ۳۰-۰ و در صورت عمیق بودن خاک یک نمونه از عمق پایین‌تر برداشت گردید. در مجموع ۵۶ نمونه از ۷ واحد مارنی تهیه شد که خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آنها نظیر هدایت الکتریکی (EC)، اسیدیته (pH) گل اشباع، بی‌کربنات، کلر، سولفات، یون‌های کلسیم، منیزیم، سدیم محلول، پتاسیم، ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC)، درصد آهک فعال (TNV)، درصد اشباع (SP)، سولفات کلسیم، نسبت جذب سدیم (SAR)، درصد ماده آلی، رس، سیلت و شن، وزن مخصوص ظاهری و نسبت پراکنش در آزمایشگاه تعیین گردید. پس از بررسی داده‌ها و پالایش آنها، به منظور بررسی رابطه بین میزان رسوبدهی به عنوان متغیر وابسته و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی به عنوان متغیرهای مستقل از آنالیز رگرسیون چند متغیره استفاده شد. برای طبقه‌بندی واحدهای مارنی از نظر رسوبدهی نیز از آنالیز تجزیه واریانس استفاده گردید.

مکان‌های مناسب برای اندازه‌گیری رسوب با بازدیدهای صحرائی تعیین شد. این مکان‌ها دارای شیب ۳۰ درصد، فرسایش از نوع شیاری و فاقد پوشش گیاهی هستند. در این مطالعه بارش به شدت ۲۰ میلی‌متر در ساعت به مدت نیم ساعت با سه تکرار برای هر واحد مارنی ایجاد شد. بنابراین در کل، ۲۱ نمونه رسوب برای ۷ واحد مارنی بدست آمد. نمونه‌های رواناب و رسوب جمع‌آوری شده سپس به آزمایشگاه منتقل و پس از جدا کردن آب، رسوبات باقیمانده در دستگاه خشک‌کن به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد نگهداری و پس از خشک شدن توزین شد. بدین ترتیب مقدار رسوب برای هر آزمایش تعیین گردید. نمونه‌برداری از مکان‌هایی که در آنها بارانساز استفاده شده بود برای فرسایش شیاری و از مکان‌های با فرسایش سطحی و آبراهه-ای کاملاً مشخص، از قسمت میانی دامنه انجام شد. بدین ترتیب برای هر واحد سنگ‌شناسی حداقل سه نمونه از فرسایش شیاری و دو نمونه از فرسایش سطحی و آبراهه‌ای برداشت شد. در فرسایش سطحی، نمونه از عمق ۱۰-۰

نتایج و بحث

نمونه های نقاطی که آزمایشات اندازه گیری رواناب و رسوب در آنها انجام شده، به عنوان متغیر مستقل و مقدار رسوب به عنوان متغیر وابسته در محیط نرم افزار SPSS برای تهیه مدل وارد شد.

جدول شماره ۱، مقادیر رسوب تولیدی در سه تکرار در هر یک از واحدهای مارنی و جدول شماره ۲ مقادیر حداقل، متوسط و حداکثر هر یک از ویژگی های فیزیکوشیمیایی در مارن های مختلف را نشان می دهد. ویژگی های فیزیکوشیمیایی

جدول ۱- مقادیر تولید رسوب در واحدهای مارنی

شماره نمونه	نام واحد زمین شناسی	تکرار	مقدار رسوب (گرم/متر مربع)
۱	Ek (سازند کند)	۱	۱/۱۵
۲		۲	۱/۵۳
۳		۳	۱/۵۸
۴	M ₃ (بخش رویی سازند قرمز بالایی)	۱	۱۱۷/۱۴
۵		۲	۱۴۵/۰۰
۶		۳	۱۷۴/۹۰
۷	M ₂ (بخش میانی سازند قرمز بالایی)	۱	۵۷/۲۹
۸		۲	۶۸/۰۱
۹		۳	۸۷/۲۰
۱۰	M ₁ (بخش زیرین سازند قرمز بالایی)	۱	۵۵/۰۱
۱۱		۲	۴۹/۵۰
۱۲		۳	۴۱/۴۸
۱۳	Olg (بخش گچی سازند قرمز زیرین)	۱	۲/۶۰
۱۴		۲	۳/۲۲
۱۵		۳	۴/۵۷
۱۶	Ols (بخش نمکدار سازند قرمز زیرین)	۱	۱۸۴/۵۷
۱۷		۲	۱۹۲/۹۴
۱۸		۳	۱۹۳/۱۹
۱۹	O-M (سازند قم)	۱	۱/۷۵
۲۰		۲	۲/۲۴
۲۱		۳	۲/۳۶

به دلیل همراستایی که Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ و Cl^- با SAR ایجاد می نمایند (مقدار SAR مستقیماً از Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ محاسبه می شود و Cl^- به عنوان یک عنصر همراه Na^+ با ترکیب NaCl دارای تغییرات مشابه آن در نمونه ها می باشد) در تعیین مدل دخالت داده نشدند و به جای آنها پارامتر SAR که اهمیت بیشتری نسبت به تک تک آنها دارد و برآیندی از آنها است در تجزیه رگرسیون منظور گردید. نتایج رگرسیون به روش گام به گام در جدول شماره ۳ آمده است.

همراستایی (Multicolinearity)، مسئله مهمی در تجزیه رگرسیون چند متغیره است که باید مد نظر قرار گیرد. در صورتی که یک یا چند متغیر مستقل، شدیداً به هم وابستگی داشته باشند موجب همراستایی شده و نتایج خوبی از تجزیه رگرسیون حاصل نخواهد شد. این مسئله را می توان با پارامتر VIF (Variance Inflation Factor) که در SPSS قابل محاسبه است، کنترل نمود. مقدار این پارامتر برای هر یک از متغیرهای مستقل باید کمتر از ۱۰ باشد (Montgomery et al, 2001).

جدول ۲- مقادیر مینیوم، متوسط و ماکزیمم خصوصیات فیزیکوشیمیایی در واحدهای مختلف مارنی

متغیرها		واحد مارنی						
		EK	M ₃	M ₂	M ₁	OLg	OLs	O-M
EC (ms)	مینیمم	۰/۸۰	۹/۱۸	۴/۷۸	۳/۳۸	۲/۳۴	۳۸/۸	۱/۲۱
	متوسط	۴/۸۳	۵۰/۳۱	۲۴/۷	۲۲/۳۸	۶/۲۳	۱۰۷/۱۰	۳/۶۹
	ماکزیمم	۱۸/۹۰	۹۰/۲۰	۱۰۴/۲۰	۱۰۲/۳۰	۱۱/۳۰	۱۷۳/۴	۸/۷۹
pH	مینیمم	۷/۷۸	۷/۰۷	۸/۰۱	۷/۱۹	۸/۱۰	۷/۰۰	۸/۰۰
	متوسط	۸/۱۸	۸/۱۰	۸/۳۴	۸/۱۶	۸/۱۴	۷/۶۷	۸/۱۳
	ماکزیمم	۸/۴۹	۸/۶۷	۹/۰۹	۸/۶۲	۸/۱۹	۸/۳۷	۸/۳۶
HCO ₃ (میلی اکی والان گرم درلیتر)	مینیمم	۳/۰۰	۲/۰۰	۳/۰۰	۲/۰۰	۲/۰۰	۲/۰۰	۲/۰۰
	متوسط	۳/۷۵	۳/۱۰	۳/۷۳	۳/۴۶	۳/۰۰	۲/۸۰	۳/۹۱
	ماکزیمم	۴/۵۰	۴/۰۰	۵/۰۰	۶/۵۰	۴/۰۰	۴/۰۰	۵/۰۰
Cl (میلی اکی والان گرم درلیتر)	مینیمم	۲/۵۰	۵۷/۰۰	۱۱/۰۰	۹/۰۰	۳/۵۰	۴۷۲/۰۰	۵/۰۰
	متوسط	۳۶/۹۲	۶۵۵/۵۵	۲۸۶/۴۰	۲۵۵/۸۴	۳۳/۴۰	۱۶۸۶/۶۰	۱۸/۰۳
	ماکزیمم	۱۸۰/۰۰	۱۴۰۰/۰۰	۱۶۴۰/۰۰	۱۶۲۵/۰۰	۷۰/۰۰	۲۹۲۵/۰۰	۶۱/۰۰
SO ₄ (میلی اکی والان گرم درلیتر)	مینیمم	۲/۸۷	۱۱/۲۴	۱۴/۵۵	۳۵/۷۸	۲۸/۵۶	۱۶/۴۱	۸/۲۳
	متوسط	۴۰/۶۸	۸۶/۱۳	۶۸/۶۰	۸۳/۲۴	۳۶/۹۳	۱۱۳/۸۲	۲۸/۸۲
	ماکزیمم	۱۷۰/۷۵	۱۷۱/۵۴	۲۰۷/۰۹	۱۸۶/۲۹	۴۶/۸۸	۴۰۵/۵۲	۴۳/۰۶
Ca (میلی اکی والان گرم درلیتر)	مینیمم	۴/۰۰	۱۳/۶۰	۱۴/۴۰	۶/۴۰	۱۲/۴۰	۵۳/۶۰	۷/۲۰
	متوسط	۲۲/۸۷	۱۱۷/۸۸	۳۸/۰۷	۷۵/۹۳	۳۵/۹۲	۱۷۷/۴۰	۲۵/۲۰
	ماکزیمم	۵۸/۸۰	۵۸۰/۰۰	۱۱/۶۰	۵۰۰/۸۰	۶۶/۰۰	۴۶۸/۸۰	۳۸/۸۰
Mg (میلی اکی والان گرم درلیتر)	مینیمم	۰/۴۰	۴/۰۰	۲/۴۰	۴/۴۰	۴/۸۰	۱۱/۲۰	۲/۴۰
	متوسط	۴/۴۰	۲۷/۲۶	۱۳/۹۲	۲۳/۶۶	۸/۷۲	۲۴/۰۸	۵/۸۶
	ماکزیمم	۹/۲۰	۱۲۷/۰۰	۵۰/۰۰	۱۴۳/۲۰	۱۴/۸۰	۳۷/۲۰	۱۱/۲۰
Na (میلی اکی والان گرم درلیتر)	مینیمم	۰/۹۷	۵۰/۴۳	۱۶/۹۶	۱۷/۸۳	۳/۴۸	۳۱۳/۰۴	۴/۷۸
	متوسط	۵۳/۷۵	۵۹۷/۶۴	۳۰۵/۸۱	۲۴۱/۸۰	۲۸/۴۳	۱۶۰/۱/۶۰	۱۹/۴۹
	ماکزیمم	۲۸۷/۰۰	۱۳۰۴/۳۰	۱۴۹۵/۶۰	۱۰۷۳/۳۰	۶۰/۸۷	۲۸۲۶/۱۰	۵۸/۲۶
K (میلی اکی والان گرم درلیتر)	مینیمم	۰/۱۱	۰/۱۰	۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۱۵	۰/۲۷	۰/۱۳
	متوسط	۰/۳۲	۱/۹۹	۰/۹۲	۱/۱۵	۰/۲۴	۰/۳۸	۰/۲۶
	ماکزیمم	۰/۵۴	۷/۲۵	۵/۶۳	۷/۲۹	۰/۳۴	۰/۵۷	۰/۳۶
CEC (میلی اکی والان در ۱۰۰ گرم)	مینیمم	۱۳/۹۱	۱۴/۲۶	۱۱/۱۳	۱۲/۳۵	۸/۳۵	۱۲/۵۲	۱۰/۰۹
	متوسط	۱۵/۵۰	۱۷/۱۶	۱۶/۴۷	۱۷/۷۱	۱۴/۹۲	۱۵/۰۲	۱۶/۶۶
	ماکزیمم	۲۰/۸۷	۲۰/۳۵	۲۱/۹۲	۲۵/۴۰	۱۹/۳۰	۱۷/۳۹	۲۲/۶۱

ادامه جدول ۲-

متغیرها		واحد مارنی	EK	M ₃	M ₂	M ₁	OLg	OLs	O-M
TNV (%)	مینیم	۲۰/۵۵	۱۴/۲۷	۱۷/۳۰	۱۷/۵۳	۱۵/۲۰	۱۵/۶۷	۱۱/۹۵	
	متوسط	۲۴/۲۷	۲۲/۶۶	۲۴/۳۵	۲۵/۳۶	۲۰/۵۵	۲۱/۵۷	۲۱/۰۵	
	ماکزیمم	۳۰/۷۸	۲۶/۳۶	۲۸/۲۲	۳۳/۳۴	۲۵/۲۰	۲۵/۶۷	۲۸/۴۶	
(SP) درصد اشباع	مینیم	۲۳/۶۶	۳۳/۵۳	۲۲/۲۹	۳۲/۳۸	۲۶/۲۱	۳۸/۲۱	۲۸/۴۳	
	متوسط	۳۳/۳۱	۴۶/۰۷	۳۳/۲۱	۴۰/۷۳	۴۰/۶۲	۴۴/۱۴	۴۱/۴۷	
	ماکزیمم	۴۱/۱۹	۶۲/۱۵	۴۰/۴۱	۵۳/۱۲	۵۳/۰۷	۵۱/۸۲	۶۲/۸۹	
CaSO ₄ (%)	مینیم	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۰۶	۰/۰۷	۰/۰۴	۰/۶۹	۰/۰۹	
	متوسط	۰/۹۱	۲/۲۸	۲/۲۷	۳/۴۳	۳/۹۰	۳/۵۸	۲/۱۵	
	ماکزیمم	۴/۱۶	۵/۸۵	۴/۶۴	۴/۹۹	۵/۱۶	۵/۹۸	۴۶/۶۴	
SAR	مینیم	۰/۲۳	۹/۲۷	۳/۷۴	۴/۴۲	۰/۸۹	۳۳/۲۲	۱/۷۸	
	متوسط	۱۰/۳۴	۸۶/۲۰	۵۲/۴۰	۳۱/۷۰	۶/۰۱	۱۷۳/۳۹	۴/۵۹	
	ماکزیمم	۴۹/۲۲	۱۷۸/۸۲	۱۶۶/۳۸	۹۱/۹۷	۱۱/۲۶	۳۰۵/۸۰	۱۲/۴۲	
OM (%)	مینیم	۰/۱۵	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۸	۰/۰۳	
	متوسط	۰/۳۱	۰/۱۷	۰/۱۲	۰/۱۵	۰/۰۷	۰/۴۷	۰/۴۷	
	ماکزیمم	۰/۴۹	۰/۳۳	۰/۲۴	۰/۳۸	۰/۱۲	۱/۱۴	۱/۳۶	
Clay (%)	مینیم	۱۰/۰۰	۱۱/۰۰	۱۱/۰۰	۸/۰۰	۹/۰۰	۱۰/۰۰	۹/۰۰	
	متوسط	۲۷/۵۰	۳۰/۲۰	۳۰/۰۰	۲۸/۵۴	۳۱/۰۰	۲۵/۶۰	۲۹/۶۷	
	ماکزیمم	۴۵/۰۰	۴۹/۰۰	۴۷/۰۰	۴۳/۰۰	۴۷/۰۰	۴۲/۰۰	۵۳/۰۰	
Silt (%)	مینیم	۱۷/۰۰	۲۲/۰۰	۲۹/۰۰	۳۳/۰۰	۲۲/۰۰	۴۴/۰۰	۳۷/۰۰	
	متوسط	۴۲/۱۷	۴۹/۹۰	۴۶/۰۰	۵۶/۰۸	۴۳/۶۰	۵۳/۰۰	۴۹/۵۰	
	ماکزیمم	۶۰/۰۰	۶۹/۰۰	۶۹/۰۰	۸۶/۰۰	۵۷/۰۰	۶۳/۰۰	۵۷/۰۰	
Sand (%)	مینیم	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۲/۰۰	۰/۰۰	۴/۰۰	۳/۰۰	
	متوسط	۳۰/۳۳	۱۹/۹۰	۲۴/۰۰	۱۵/۳۸	۲۵/۴۰	۲۱/۴۰	۲۰/۳۳	
	ماکزیمم	۵۸/۰۰	۶۷/۰۰	۶۰/۰۰	۴۳/۰۰	۶۹/۰۰	۴۶/۰۰	۳۶/۰۰	
وزن مخصوص ظاهری (سانتی متر مکعب در گرم)	مینیم	۱/۴۴	۱/۱۱	۱/۲۹	۱/۲۸	۱/۲۶	۱/۳۴	۱/۰۴	
	متوسط	۱/۷۳	۱/۵۴	۱/۶۱	۱/۵۸	۱/۵۶	۱/۵۶	۱/۴۸	
	ماکزیمم	۱/۹۷	۱/۹۰	۱/۸۷	۱/۸۷	۱/۷۵	۱/۸۹	۱/۷۵	
نسبت پراکنش	مینیم	۰/۰۹	۰/۰۵	۰/۰۷	۰/۰۴	۰/۰۶	۰/۰۴	۰/۰۷	
	متوسط	۰/۴۰	۰/۳۰	۰/۴۰	۰/۲۴	۰/۳۳	۰/۱۹	۰/۳۷	
	ماکزیمم	۰/۸۱	۰/۷۶	۰/۶۰	۰/۵۵	۰/۷۹	۰/۲۶	۰/۶۴	

جدول ۳- نتایج رگرسیون مرحله‌ای رسوب به عنوان متغییر وابسته و خصوصیات فیزیکوشیمیایی به عنوان متغیرهای مستقل

متغیر اضافه شده به مدل	پارامترهای مدل	جزء R^2	مدل R^2	F
SAR	۰/۳۷۴	۰/۸۹۸	۰/۸۹۸	۱۶۷/۰۸**
EC	۰/۶۷۶	۰/۰۳۵	۰/۹۳۳	۱۲۶/۲۳**
K	۹/۰۸۹	۰/۰۱۵	۰/۹۴۸	۱۰۲/۷۱**
عرض از مبدأ	۴/۶۲۵	—	—	—

** معنی داری در سطح احتمال ۱ درصد

چنانچه در جدول مشاهده می‌شود، پارامترهای SAR, EC, و K به ترتیب بیشترین تغییرات رسوب را در واحدهای مارنی با ضریب همبستگی ۰/۹۴۸ توجیه می‌کنند. رابطه مقدار رسوب تولید شده با این پارامترها بصورت رابطه ۲ است:

$$Y = 4/625 + 0/37 SAR + 0/68 EC + 9/089 K \quad (\text{رابطه ۲})$$

که در این معادله Y مقدار رسوب تولید شده بر حسب گرم، SAR نسبت جذب سدیم، EC میزان شوری (املاح) و K مقدار پتاسیم می‌باشد. پارامترهایی که وارد مدل شده‌اند هر کدام به نوعی در پراکنده شدن ذرات خاک و پخشیدگی آن مؤثرند. هر چه مقدار SAR افزایش یابد نشانه آن است که نسبت سدیم (کاتیون یک ظرفیتی) به کلسیم و منیزیم (کاتیون‌های دو ظرفیتی) افزایش یافته است. از آنجا که کاتیون‌های یک ظرفیتی خصوصاً سدیم تأثیر بیشتری در پخشیدگی خاکدانه‌ها و آماس خاک دارند (احمدی، ۱۳۷۸)، افزایش آنها مقدار نفوذ را کاهش و میزان رسوبدهی را افزایش می‌دهند. افزایش EC نیز موجب تشکیل بلور و سست شدن خاکدانه‌ها و پراکنده شدن آنها می‌گردد. اثر پتاسیم نیز مشابه سدیم بوده ولی با شدت کمتری می‌باشد. چنانچه مطالعات (Auerswald et al, 1996) نیز مؤید این مسئله است. آنها مشاهده کردند که افزودن کود پتاسیم‌دار به خاک موجب پراکنش خاک و فرسایش‌پذیری بیشتر آنها می‌شود. پراکنندگی ذرات خاک و آماس هر دو موجب وضعیت نامناسب فیزیکی خاک (بسته شدن خلل و فرج خاک و کاهش نفوذپذیری) شده و میزان فرسایش‌پذیری و تولید رسوب را افزایش می‌دهد.

پس از انجام رگرسیون، میزان رسوبدهی هر یک از واحدهای مارنی به کمک نرم افزار آماری SAS مورد تجزیه واریانس با رویه ANOVA (چون تعداد تکرارها در هر واحد مارنی برابر بود) قرار گرفت. اختلاف گروه‌ها در سطوح احتمال ۱ و ۵ درصد معنی‌دار بود. واحدهای مارنی به روش مقایسه میانگین‌های دانکن به چهار گروه عمده از نظر توان رسوبزایی (فرسایش‌پذیری ذاتی) تقسیم شد (جدول شماره ۴).

در گروه اول واحد OLS قرار دارد که یک مارن تبخیری است و از نمک‌های اشباع با مقدار بسیار بالایی برخوردار است. SAR و EC بالا از مشخصات عمده این مارن است. در گروه دوم واحد M3 قرار دارد که یک مارنی تبخیری است و از املاح بالا برخوردار است. گروه سوم شامل واحد M1 و M2 می‌باشد که از مارن‌های تبخیری محسوب می‌شوند و نسبت به واحد M3 از املاح کمتری برخوردارند. گروه چهارم نیز از واحدهای Ek, O-M, Olg تشکیل شده است. واحدهای O-M EK از مارن‌های دریایی با املاح کمتر محسوب می‌شوند. واحد Olg اگر چه یک مارن تبخیری است ولی به دلیل میزان EC و SAR کم و مقدار گچ بالاتر نسبت به واحدهای Ols, M1, M2, M3 در گروه چهارم قرار گرفت.

در ادامه به منظور درک این مسئله که آیا ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی این چهار گروه اختلاف معنی‌داری نسبت به هم دارند یا خیر؟، ویژگی‌های نمونه‌های برداشت شده از این چهار گروه مورد تجزیه واریانس به رویه glm و مقایسه میانگین‌ها به روش دانکن قرار گرفت که نتایج آن در جدول شماره ۵ آمده است.

جدول ۴- مقایسه میانگین های رسوب واحدهای مارنی به روش دانکن

گروه	مقدار متوسط رسوب (گرم)	نام واحد مارنی	فرسایش پذیری نسبی
A	۱۹۰/۲۳	Ols	بسیار زیاد
B	۱۴۵/۶۸	M ₃	زیاد
C	۷۰/۸۳ ۴۸/۶۶	M ₂ M ₁	متوسط
D	۳/۴۶ ۲/۱۲ ۱/۴۲	Olg O-M EK	کم

جدول ۵- مقایسه میانگین ها به روش دانکن برای چهار گروه مارن طبقه بندی شده

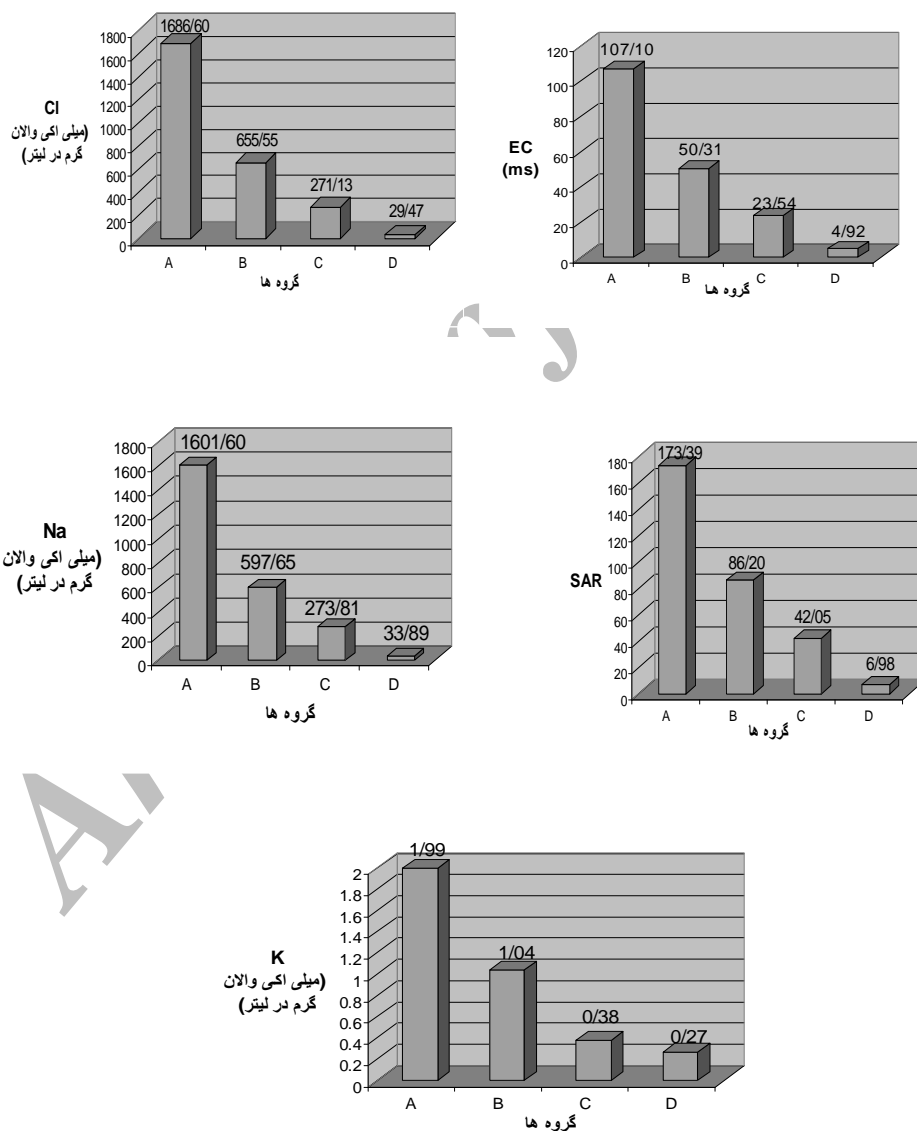
پارامترها	Cv	Pr>F	مقادیر میانگین گروه ها			
			A مارن با فرسایش پذیری بسیار زیاد (Ols)	B مارن با فرسایش پذیری زیاد (M ₃)	C مارن با فرسایش - پذیری متوسط (M ₁ , M ₂)	D مارن با فرسایش پذیری کم (EK, O-M, Olg)
EC	۴/۴۹	***	۱۰۷/۱۰ ^a	۵۰/۳۱ ^b	۵۴/۲۳ ^c	۹۲/۴۰ ^d
PH	۰/۹۸	*	۸/۲۵ ^a	۸/۱۵ ^a	۸/۱۰ ^a	۷/۶۷ ^b
HCO ₃ ⁻	۱۲/۱۷	—	۳/۵۹ ^a	۳/۵۵ ^a	۳/۱۰ ^a	۲/۸۰ ^a
Cl ⁻	۳/۵۱	***	۱۶۸۶/۶۰ ^a	۶۵۵/۵۵ ^b	۲۷۱/۱۳ ^c	۲۹/۴۷ ^d
SO ₄ ⁻	۱۱/۸۵	**	۱۱۳/۸۰ ^a	۸۶/۱۳ ^{ab}	۷۵/۹۲ ^{ab}	۳۵/۴۸ ^c
Ca ⁺⁺	۲۳/۳۹	*	۱۷۷/۰۴ ^a	۱۱۷/۸۸ ^{ab}	۵۷/۰۱ ^{bc}	۲۸/۰۰ ^c
Mg ⁺⁺	۲۸/۲۸	—	۲۴/۰۸ ^a	۲۷/۲۶ ^a	۱۸/۷۹ ^{ab}	۶/۳۲ ^b
Na ⁺⁺	۷/۳۴	***	۱۶۰/۱۶ ^a	۵۹۷/۶۵ ^b	۲۷۳/۸۰ ^c	۳۳/۸۹ ^d
K ⁺	۱۲/۹۵	**	۱/۹۹ ^a	۱/۰۴ ^b	۰/۳۸ ^c	۰/۲۷ ^c
CEC	۵/۴۵	—	۱۵/۰۲ ^a	۱۷/۱۶ ^a	۱۷/۰۹ ^a	۱۵/۶۹ ^a
TNV	۷/۴۳	—	۲۱/۵۷ ^a	۲۲/۶۷ ^a	۲۴/۸۶ ^a	۲۱/۹۶ ^a
(SP) درصد اشباع	۱۱/۹۷	—	۴۴/۱۴ ^a	۴۶/۰۷ ^a	۳۶/۹۷ ^a	۳۸/۴۷ ^a
CaSO ₄	۳۹/۹۷	—	۳/۵۸ ^a	۲/۲۸ ^a	۲/۸۵ ^a	۲/۰۵ ^a
SAR	۱۶/۸۹	***	۱۷۳/۳۹ ^a	۸۶/۲۰ ^b	۴۲/۰۵ ^c	۶/۹۸ ^d
OM	۶۴/۹۵	—	۰/۱۶ ^a	۰/۱۳ ^a	۰/۲۸ ^a	۰/۴۷ ^a
Clay	۵/۳۹	—	۲۵/۶ ^a	۳۰/۲۰ ^a	۲۹/۲۶ ^a	۲۹/۳۸ ^a
Silt	۱۰/۶۸	—	۵۳/۰۰ ^a	۴۹/۹۰ ^a	۵۱/۰۴ ^a	۴۵/۰۹ ^a
Sand	۲۴/۰۶	—	۲۱/۴۰ - ۱-۱ ^a	۱۹/۹۰ ^a	۱۹/۶۹ ^a	۲۵/۳۶ ^a
وزن مخصوص ظاهری	۶/۵۹	—	۱/۵۶ ^a	۱/۵۴ ^a	۱/۹۹ ^a	۱/۵۹ ^a
نسبت پراکنش	۲۲/۲۲	—	۰/۱۹ ^a	۰/۲۹ ^a	۰/۳۲ ^a	۰/۳۷ ^a

***, **, * به ترتیب در سطح احتمال ۰/۰۰۱، ۰/۰۱، ۰/۰۵ معنی دار است.

گروه هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند فاقد اختلاف معنی دار می باشند.

چنانچه مشاهده می‌شود، EC با مقدار میانگین ۴/۹۲ از گروه D (مارن‌های با فرسایش پذیری کم) شامل واحدهای EK، O-M و Olg تا مقدار ۱۰۷/۱ در گروه A (مارن با فرسایش پذیری خیلی زیاد) شامل OLS زیاد می‌شود. مقادیر میانگین Cl^- ، Na^+ ، K^+ ، SAR، به ترتیب با مقدار ۲۹/۴۷، ۳۳/۸۹، ۰/۲۷، ۶/۹۸ از گروه D تا گروه A افزایش می‌یابد و به ترتیب به مقدار ۱۶۸۶، ۱۶۰۱/۶، ۱۶۹۹ و ۱۷۳/۳۹ می‌رسد.

با توجه به جدول شماره ۵ مشاهده می‌شود که از بین ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، تنها EC، SAR، Na^+ و Cl^- که در هر چهار گروه و مقادیر میانگین K^+ در سه گروه دارای اختلاف معنی‌داری هستند. این مشاهدات تأییدی است بر نتیجه تجزیه رگرسیون که در آن EC، SAR و K^+ به ترتیب ۱/۵ و ۳/۵ و ۸۹/۸ درصد تغییرات تولید رسوب را توجیه می‌نمایند. مقایسه مقادیر میانگین هر یک از ویژگی‌ها در گروه‌های مختلف چهارگانه در شکل ۶ نشان داده شده است.



شکل ۶- مقادیر میانگین K, SAR, Na, EC, Cl در گروه‌های مختلف مارن‌های منطقه

نتیجه گیری

افزایش آنها وضعیت فیزیکی و شیمیایی به دلیل پخشیدگی خاکدانه‌ها و کاهش نفوذپذیری، به سمت افزایش رواناب و رسوب سوق می‌یابد. نتایج نشان داد که خصوصیات فیزیکی و بافتی مارن‌های منطقه دارای اختلاف معنی‌داری نمی‌باشند و در فرسایش‌پذیری مارن‌های منطقه نقش مؤثری نداشته‌اند.

سپاسگزاری

این تحقیق از طریق طرح ملی طبقه‌بندی و تعیین شاخص‌های فرسایش‌پذیری مارن‌های کشور در پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری ایران انجام شده است. از کلیه پرسنل و کارشناسان این پژوهشکده که در انجام هر چه بهتر این تحقیق کمک‌های شایانی نمودند، تقدیر و تشکر می‌گردد.

بر اساس تجزیه واریانس میزان رسوب تولید شده در واحدهای مختلف، مارن‌های منطقه به چهار گروه عمده شامل گروه اول واحد Ols با فرسایش‌پذیری خیلی زیاد، گروه دوم واحد M_3 با فرسایش‌پذیری زیاد، گروه سوم واحدهای M_1 و M_2 با فرسایش‌پذیری متوسط و گروه چهارم واحدهای E_k ، O-M و Olg با فرسایش‌پذیری کم تقسیم می‌شوند. با توجه به نتایج تجزیه و تحلیل رگرسیون چند متغیره بین ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و مقدار رسوب تولید شده از واحدهای مختلف مارنی و تجزیه واریانس می‌توان گفت که عوامل مؤثر در فرسایش‌پذیری مارن‌های منطقه K^+ ، Na^+ ، Cl^- ، EC ، SAR و K^+ می‌باشند. همه این عوامل ویژگی‌های شیمیایی هستند که با

منابع

- احمدی، ح. (۱۳۷۸). ژئومورفولوژی کاربردی. جلد اول: فرسایش آبی. انتشارات دانشگاه تهران. ص ۶۱۰.
- ارشام، ع. (۱۳۷۵). رواناب و رسوب سازندهای زمین شناسی با استفاده از دستگاه باران ساز در حوزه آبخیز ابوالفارس رامهرمز، پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبخیز داری. دانشگاه تهران.
- رئیس‌یان، ر. (۱۳۷۶). بررسی تأثیر شدت بارندگی، شیب زمین، بافت خاک و پوشش گیاهی بر میزان نفوذ و رواناب در چند حوضه آبخیز در استان چهارمحال و بختیاری. پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان.
- حسن زاده نفوتی، م. (۱۳۸۵). بررسی ویژگی‌های مؤثر بر فرسایش‌پذیری مارن‌ها - مطالعه موردی حوزه آبخیز ایوانکی (آب شور). رساله دکتری رشته آبخیزداری. دانشگاه آزاد اسلامی - واحد علوم و تحقیقات.
- حشتمی، م. (۱۳۷۵). خصوصیات فیزیکی - شیمیایی، فرسایش‌پذیری و تولید رسوب سازندهای پاینده، گچساران و آغاچاری در منطقه قصر شیرین، نفت شهر. پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری. دانشگاه تهران.
- خامه‌چیان، م. (۱۳۶۹). بررسی ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی سنگ‌های مارنی - رسی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی مهندسی. دانشگاه تربیت مدرس.
- درویش زاده، ع. (۱۳۷۰). زمین شناسی ایران. انتشارات نشر دانش امروز. ص ۹۰۱.
- قدیمی عروس محله، ف.، امین سبجانی، ا.، (۱۳۷۸a). بررسی رسوبزایی زون‌ها و دوران‌های زمین شناسی حوضه آبریز دریاچه نمک، اولین کنفرانس زمین‌شناسی و محیط زیست ایران، دانشگاه تربیت معلم، صفحات ۹۴۵-۹۵۷
- قدیمی عروس محله، ف.، پورمتین‌ا. و قدوسی. ج. (۱۳۷۸ b). بررسی رابطه بین اشکال فرسایش با خصوصیات فیزیکی - شیمیایی مارن‌ها. مجله پژوهش و سازندگی. شماره ۴۰، ۴۲، بهار ۱۳۷۸. صفحات ۹۵-۹۹.
- Auerswald K., Kainz M., Angermuller S., Steindl H. (1996) Influence of exchangeable potassium on soil erodibility, Soil Use manag., Vol. 12 . pp 117-121.

- Benito S., Gutierrez M., Zaragoza Cs. (1993) The influence of physico- chemical properties on erosion process in badland areas, Ebro Basin, NE Spain, *Zeit Fur Geom. N.F.* 37 , 2. pp 199-214.
- Cerda A., Ibanez S., Calvo A. (1997) Design and operation of a small ad portable rainfall simulator for rugged terrain, *Soil Technol*, Vol. 11, pp. 163 - 170.
- Clark M., Hellen M.R. (2005) Process-form relationship in southern Italian badlands: Erosion rates and implications for landform evolution. *Earth Surface Processes and Landforms*. Vol . 31. Issue 1 . pp 15-28.
- Imeson A.C. (1982) The relationship of soil physical and chemical properties to the development of badlands in Morocco. *Badland geomorphology and piping*. Bryan & Yair (eds.), PP 47-57.
- Meyer L. D., W.C Harmon. (1984) Susceptibility of agricultural soil to interrill erosion. *Soil . Sci. Soc. Am . J.* Vol. 48 , PP 1152-1157.
- Montgomery. D. C., Pech E. A., Geoffrey G. (2001) *Introduction to linear regression analysis*. Third Edition. John Wiley & sons.

Archive of SID