نشریه علمی-پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز
جلد ۱۲، شماره ۳، ۱۳۹۹، صفحات ۸۶۴-۸۷۴

Journal of Watershed Engineering and Management
Volume 12, Issue 3, 2020, Pages 864-874
DOI: 10.22092/ijwmse.2019.109371.1270

گزارش فنی

بررسی اشکال فرسایش و ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی آن‌ها در خاک‌های مارنی حوزه آبخیز زنجان‌رود

محمدرضا سوری[۱] و پرویز عبدی‌نژاد[۲*]

[۱] کارشناس ارشد بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان زنجان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، زنجان، ایران و [۲] استادیار بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان زنجان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، زنجان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۳/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۹/۱۰

چکیده

این پژوهش، به بررسی خصوصیات فیزیکوشیمیایی و اشکال فرسایش مارن‌های حوزه آبخیز زنجان‌رود می‌پردازد. برای این منظور، ابتدا نقشه پراکنش و سیمای فرسایش خاک‌های مارنی حوزه آبخیز زنجان‌رود تهیه و با تلفیق نقشه‌های مختلف، نقشه واحد کاری حوضه فراهم شد. با انتخاب مناطقی از واحدهای کاری اقدام به نمونه‌برداری از خاک و تحلیل آزمایشگاهی و انجام تجزیه و تحلیل آماری شد. بر اساس نتایج به‌دست آمده، خاک‌های مارنی منطقه ۲۰ درصد مساحت کل حوضه را تشکیل می‌دهند که شامل دو تیپ مارن پلیوسن (PLM) ۹۹/۷۵ درصد و تیپ مارن قرمز بالایی (Mur) ۰/۲۵ درصد است. در این حوضه، چهار رخساره فرسایشی (سطحی، شیاری، هزاردره و خندقی) وجود دارد که رخساره فرسایشی شیاری با ۶۱ درصد بیشترین سطح و گستردگی را دارد. از بین عناصر، عنصر گچ بالاترین مقدار در سطح و عناصر سدیم محلول و کلسیم و منیزیم نیز در عمق، تمرکز یافته‌اند. به‌طوری که در عمق خاک‌های مارنی بر میزان شوری، اسیدیته و درصد رس اضافه می‌شود که به‌دلیل آب‌شویی املاح و مواد ریزدانه به‌وسیله رواناب سطحی موجب انتقال آن‌ها از سطح به عمق شده است. تفاوت معنی‌داری در مقدار هدایت الکتریکی، رس، آهک و گچ در بین اشکال فرسایشی وجود دارد. ولی این تفاوت در مورد درصد مواد خنثی‌شونده و نسبت جذب سدیم مشاهده نشد. عدم اختلاف معنی‌دار بین بعضی از پارامترهای مورد بررسی در این پژوهش می‌تواند ناشی از ایجاد حالت تعادلی در بین ویژگی‌های خاک با هم و خنثی کردن اثر یکدیگر باشد. تفاوت در شکل فرسایشی خاک‌های مارنی ناشی از اختلاف در خصوصیات فیزیکوشیمیایی آن‌ها است.

واژه‌های کلیدی: تلفیق نقشه‌ها، حالت تعادلی، رخساره فرسایشی، رواناب، مارن پلیوسن

مقدمه

خاک یکی از مهمترین منابع طبیعی هر کشور است. امروزه فرسایش خاک خطری برای رفاه انسان و حتی برای حیات او به شمار می‌آید. در مناطقی که فرسایش کنترل نمی‌شود، خاک‌ها به تدریج فرسایش یافته، حاصلخیزی خود را از دست می‌دهند. فرسایش نه تنها سبب فقیرشدن خاک و متروک‌شدن مزارع می‌شود و از این راه خسارات زیاد و جبران ناپذیری به‌جا می‌گذارد، بلکه با رسوب مواد در آبراهه‌ها، مخازن، سدها، بنادر و کاهش ظرفیت آبگیری آن‌ها نیز

* مسئول مکاتبات: prz_abdi@yahoo.com

زیان‌های فراوانی را سبب می‌شود. بنابراین، نباید مسئله حفاظت و حراست خاک را کوچک و کم اهمیت شمرد. امروزه حفاظت خاک و مبارزه با فرسایش از ضروری‌ترین اقدامات هر کشور است. Hssanzadeh Nofouti(۲۰۰۶) اظهار می‌دارد که ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی سازندها مانند K، EC و SAR عامل اصلی در فرسایش‌پذیری مارن‌ها به شمار می‌روند. Feiznia و همکاران (۲۰۰۷) یکی دیگر از عوامل مؤثر در مقدار رسوب تولیدی و فرسایش واحدهای مارنی را بافت خاک این واحدها می‌دانند، چرا که هر دو جزء فرایند فرسایش (جداشدن و انتقال) را تحت تأثیر قرار می‌دهد. مطالعات Ramezanpoor و همکاران (۲۰۱۰) در جنوب استان گیلان تحت عنوان تأثیر خواص فیزیکی و کانی‌شناسی بر انواع فرسایش در مارن‌ها نشان داد که درصد شن، سیلت، رس، ماده آلی و ESP تأثیر معنی‌داری بر MWD دارند. Shaban و همکاران (۲۰۱۳) یک مطالعه موردی برای طبقه‌بندی جدید واحدهای مارنی حوضه طالقان تحت تأثیر رواناب با استفاده از دستگاه باران‌ساز مصنوعی انجام دادند. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که مارن‌های این حوضه از هشت زیر واحد مارن (خاک رس و سیلت) تشکیل شده است. Sokouti و Razzaghi (۲۰۱۵) در بررسی منشاء فرسایش‌پذیری و از دست دادن خاک، دریافتند که شدت فرسایش خاک‌های مارنی متوسط به بالا است و سازند مارن قرمز بالاترین نرخ فرسایش و الیگومیوسن و نئوژن در مرحله بعد قرار گرفتند. Abbasiو Abdi (۲۰۰۵)، با مطالعه و بررسی ۲۹ نمونه از مارن‌های محدوده قزل اوزن به این نتیجه رسیدند که هر چه میزان کلر، سدیم، بی‌کربنات، کلسیم و گچ در مارن‌ها افزوده می‌شود، شدت فرسایش بالا و اشکال فرسایش شیاری، هزاردره‌ای (در شیب‌های تند) و خندقی (در شیب‌های کم) گسترش می‌یابد. Kargar و همکاران (۲۰۱۴) در بررسی خصوصیات فیزیکوشیمیایی و مکانیکی در استعداد تخریب‌پذیری خاک‌های مارنی دریافتند که با توجه به نتایج به‌دست آمده از آزمایشات شیمیایی بر روی آهک با افزایش نسبت دولومیت به کلسیت در این تشکیلات زمین شناسی میزان ناپایداری رسوبات مارنی نیز افزایش خواهد یافت.

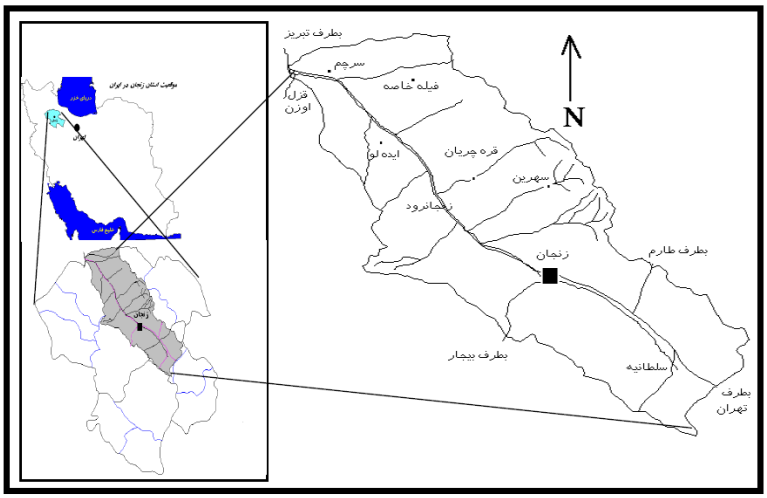
مواد و روش‌ها

منطقه مورد پژوهش: حوزه آبخیز زنجان‌رود از آبخیزهای بخش قزل اوزن علیا است. این حوضه به‌وسیله دو رشته‌کوه در شمال و جنوب محصور شده و در حد فاصل طول‌های جغرافیایی ˚۴۸ و ˚۴۹ درجه و عرض‌های جغرافیایی ˚۳۶ و ˚۳۷ درجه واقع شده است. بیشینه ارتفاع این حوضه از سطح دریا ۲۵۳۱، کمینه آن ۸۵۰ و متوسط ارتفاع ۱۶۹۰ متر است. شیب عمومی حوضه ۱۰ درصد، با جهت شرقی و غربی است که به‌دلیل گستره وسیع اراضی تپه‌ماهوری و کوهستانی جزء آبخیزهای کوهستانی و تپه‌ماهوری طبقه‌بندی شده است. مساحت حوزه آبخیز زنجان‌رود حدود ۴۶۶۶۰۰ هکتار است و شکل ۱، موقعیت منطقه مطالعاتی را در استان و ایران نشان می‌دهد. با توجه به وجود رشته‌کوه‌های موازی درحد شمالی و جنوبی، بیشتر مسیل‌ها، آبراهه‌ها و خندق‌ها در دو جهت شمال و جنوب و بالعکس واقع شده‌اند، به‌طوری که چنین شبکه آبراهه‌ای در قسمت جنوبی حوضه دارای شیب بیشتری نسبت به شبکه آبراهه‌ای موجود در قسمت شمالی آبخیز است که کلا به رودخانه زنجان‌رود که در بخش مرکزی قرار دارد، می‌پیوندد (Abdinezhad، ۲۰۰۹).

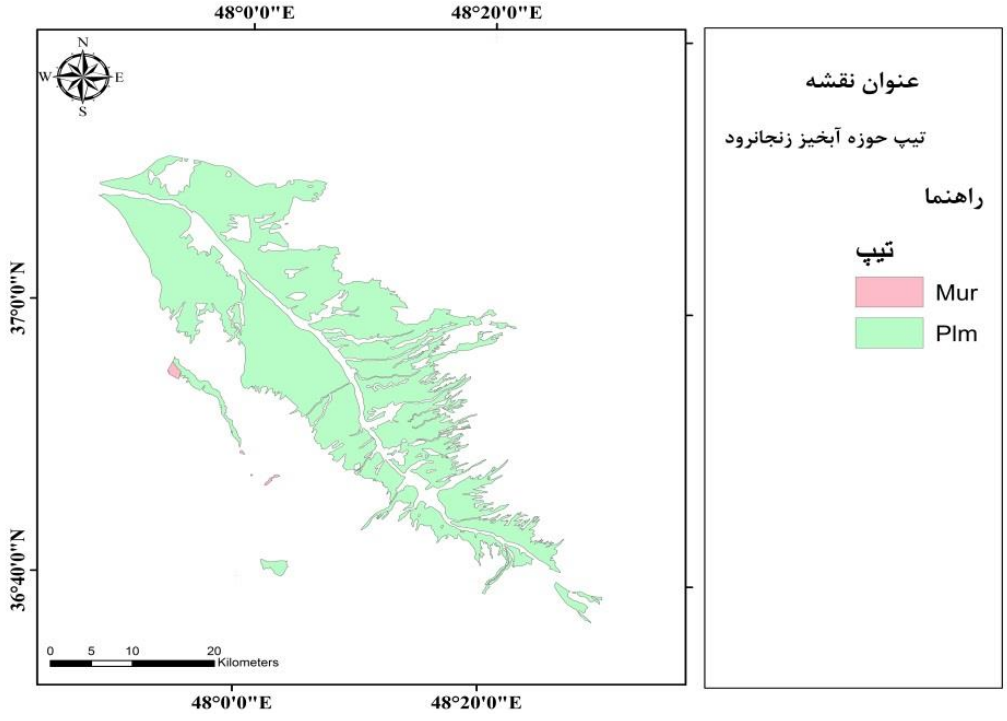
با توجه به روش پژوهش، باید زمینی انتخاب می‌شد که از نظر توپوگرافی، درصد شیب در جهات مختلف تا حد امکان مشابه باشد. برای همین منظور با توجه به وضعیت توپوگرافی و موقعیت مارنی حوزه آبخیز زنجان‌رود مناطقی که دارای وضعیت توپوگرافی و شیب مورد نظر پژوهش بودند با پیمایش صحرایی انتخاب شدند.

روش پژوهش: برای انجام این پژوهش، بعد از جمع‌آوری اطلاعات و داده‌ها اقدام به تهیه نقشه محدوده مارن‌های حوزه آبخیز زنجان‌رود از نقشه‌های زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ استان زنجان، تصاویر ماهواره‌ای (برای کنترل مرز سازندها و واحدهای مارنی) و با استفاده از بازدیدهای میدانی در محیط برنامه ArcGIS10 شد. بر اساس این نقشه، دو نوع تیپ مارن، مارن پلیوسن و مارن قرمز بالایی در حوزه

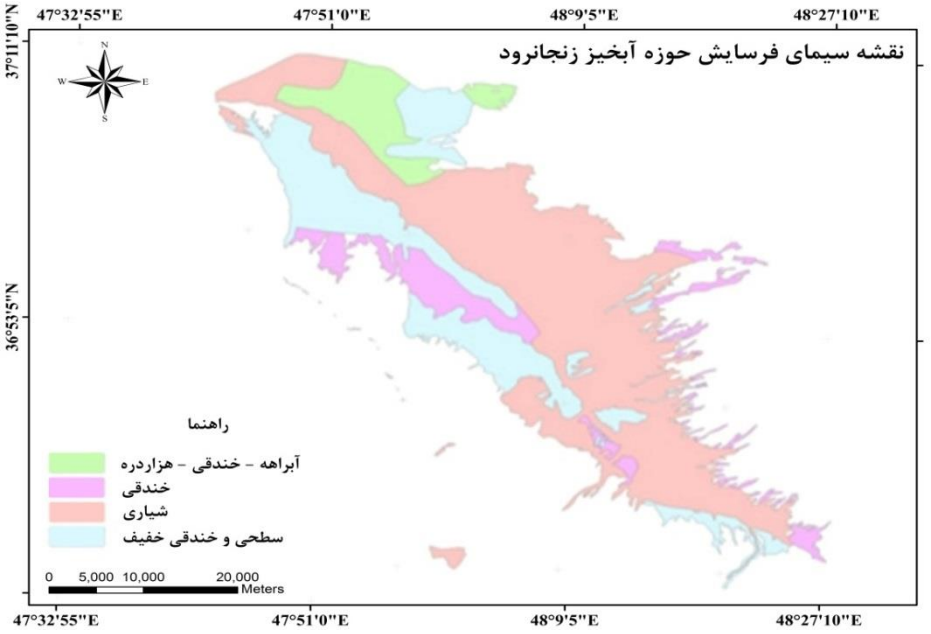
آبخیز زنجان‌رود وجود دارد (شکل ۲). سپس، در محیط همین برنامه، از روی نقشه توپوگرافی اقدام به تهیه نقشه شیب و جهت شیب شد. در ادامه، نقشه اقلیم این حوضه به روش دومارتن اصلاح شده تهیه شد. با بررسی نقشه محدوده مارن‌های حوضه و واحدهای سنگ‌شناسی و همچنین، بررسی و مطالعه نقشه‌های ژئومورفولوژی استان، با توجه به حوضه انتخابی یک واحد سنگ‌شناسی مشخص شد. با بررسی واحد سنگ‌شناسی، دوران سوم، نئوژن (میوسن) از نظر ژئومورفولوژی، دو تیپ ژئومورفولوژی و چهار نوع رخساره فرسایشی مشاهده شد (شکل ۳) که با تلفیق نقشه‌های موجود (شیب، ارتفاع، جهت شیب و فرسایش) در محیط GIS، حوضه کاری به ۲۷ واحد کاری تقسیم شد. در شکل ۴، نقشه واحدهای کاری حوزه آبخیز زنجان‌رود ارائه شده است. به‌منظور تعیین عوامل فیزیکوشیمیایی از قبیل گچ، آهک، شوری، بافت خاک، درصد اشباع، اقدام به نمونه‌برداری از واحدهای کاری شد.



شکل ۱- موقعیت منطقه مطالعاتی در استان و ایران



شکل ۲- نقشه تیپ مارن‌های حوزه آبخیز زنجان‌رود



شکل ۳- مشخصات نوع فرسایش مارن‌های حوزه آبخیز زنجان‌رود

نتایج و بحث

واحدهای مارنی حوزه آبخیز زنجان‌رود: با توجه به نقشه واحدهای مارنی منطقه مورد مطالعه از کل مساحت حوضه بالغ بر ۴۶۶۶۰۰ هکتار، مساحت حدود ۹۷۲۵۶/۵ هکتار که معادل ۲۰ درصد مساحت کل حوضه از مارن تشکیل شده و ۹۹/۷۵ درصد از کل سطح مارن‌های حوضه معادل ۹۷۰۵۳ هکتار متعلق به تیپ مارن پلیوسن (Plm) و ۰/۲۵ درصد آن معادل ۲۰۳ هکتار، متعلق به تیپ مارن قرمز بالایی (Mur) است.

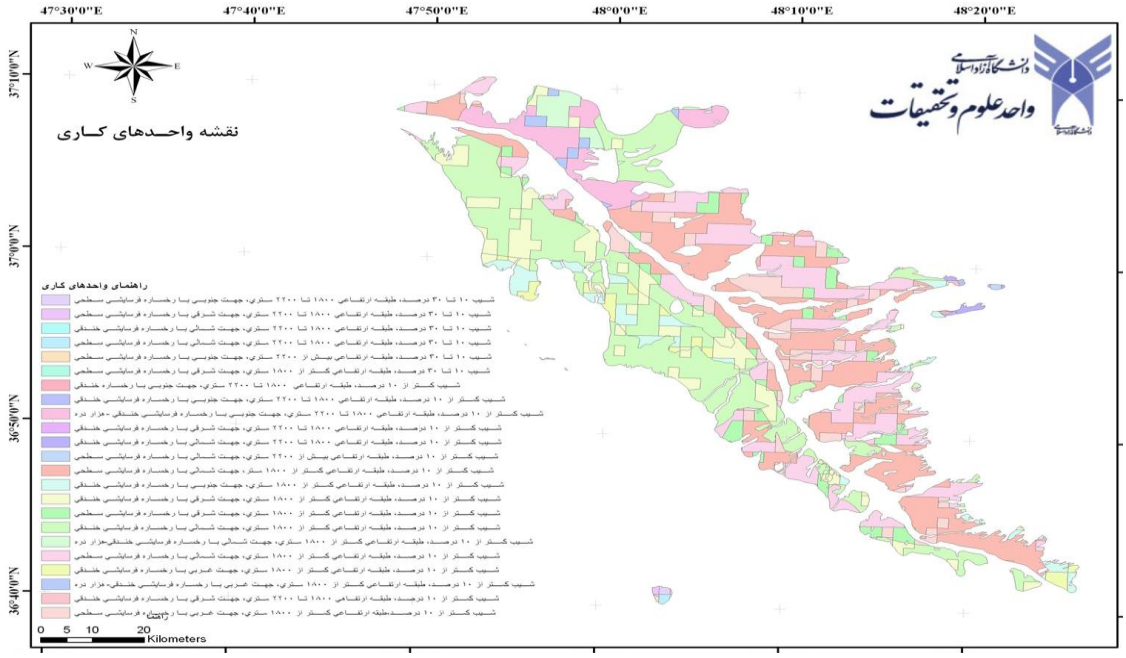
مارن پلیوسن (Plm): که به‌صورت رخنمون‌هائی از مارن و کنگلومرا به‌صورت تپه‌های به هم چسبیده کم ارتفاع با سطوح فرسایشی صاف گسترش دارد که از دو بخش میانی شامل مارن، سیلت، کمی به رنگ‌های قرمز، زرد، صورتی و قهوه‌ای (Plm) و حاشیه‌ای شامل کنگلومرا، ماسه سنگ و مارن (Plc) تشکیل شده‌اند.

واحدهای مارنی قرمز بالایی (Mur): واحد M1 از مارن‌های الوان تشکیل شده است که در تناوب با لایه‌های کم گچ، شیل و ماسه‌سنگ می‌باشد و با رنگ‌های متنوعی (قرمز، سبز متمایل به کرم، سبز زیتونی) که دارد، از واحد M2 متمایز می‌شود. واحد M2 عمدتا ماسه‌سنگ حفره‌دار و لایه‌های نازک شیل به همراه مارن تشکیل شده است. ضخامت و توالی طبقات ماسه‌سنگ نسبت به واحد M3 و M1 بسیار بیشتر است و در بعضی مناطق ضخامت آن به ۱۰ متر می‌رسد. واحد M3 عمدتا از مارن با لایه‌های کم ماسه‌سنگی و کنگلومرائی تشکیل شده است. رنگ آن کرم تا قهوه‌ای روشن است. واحد مارنی قرمز زیرین در استان زنجان متشکل از کنگلومرا، مارن و مارن‌های ماسه‌ای قرمز رنگ با میان لایه‌هایی از ماسه‌سنگ‌های سبز تا خاکستری با ضخامت ۵۰ تا ۳۰۰ متر است.

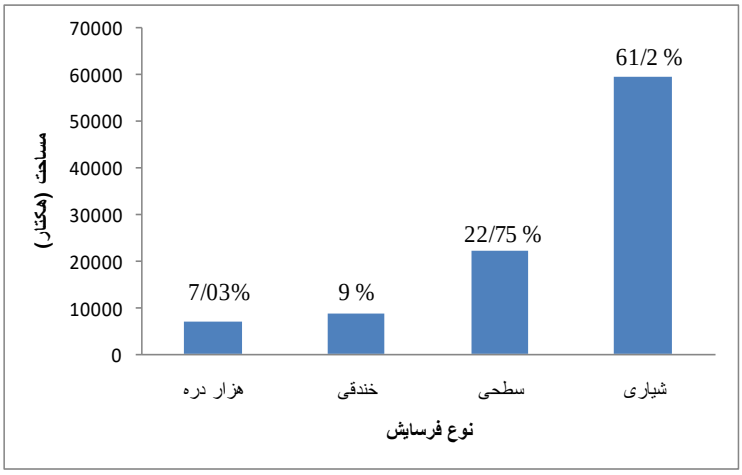
در حوضه زنجان‌رود چهار رخساره فرسایشی سطحی، شیاری، هزاردره و خندقی وجود دارد که بر اساس شکل ۵ در بین این چهار رخساره فرسایشی، رخساره فرسایشی شیاری با ۶۱ درصد بیشترین سطح و گستردگی را دارد.

خصوصیات فیزیکی و شیمیایی اشکال فرسایشی خاک‌های مارنی منطقه مورد مطالعه: نتایج حاصل از بررسی نمونه‌های خاک گرفته‌شده از خاک‌های مارنی حوزه آبخیز زنجان‌رود نشان می‌دهد که بیشترین درصد مقادیر شن، سیلت و رس به‌ترتیب مربوط به اشکال فرسایشی هزاردره، خندقی و سطحی و کمترین درصد آن‌ها به‌ترتیب مربوط به اشکال فرسایش شیاری، سطحی و هزاردره است. همچنین، با توجه به نتایج به‌دست آمده مقدار گچ موجود در اشکال مختلف فرسایش در مارن‌های منطقه مورد مطالعه بین ۱۱/۲۳ تا ۲۱۴/۰۸ میلی‌اکی‌والان درصد گرم خاک، که نتایج نشان داد متوسط مقادیر رس در

فرسایش‌های سطحی، شیاری، هزاردره و خندقی به‌ترتیب ۳۷، ۳۷، ۲۵ و ۳۴ درصد است. وجود اختلاف معنی‌داری در میزان رس بین فرسایش هزاردره با انواع دیگر فرسایش، حاکی از آن است که وجود رس در بافت خاک‌ها می‌تواند نقش مهمی در انسجام و مقاومت خاک‌ها ایفا کند.



شکل ۴- نقشه واحدهای کاری حوزه آبخیز زنجان‌رود



شکل ۵- نمودار مساحت فرسایش غالب حوضه

با دقت در جداول ۱ و ۲ نیز مشاهده می‌شود که در دو نوع فرسایش خندقی و هزاردره میانگین درصد رس در عمق سطحی و زیرسطحی و همچنین، در دو شیب کم و متوسط بیشتر از ۴۰ درصد تجاوز نکرده است. لذا، به‌دلیل نقش مهم رس در شکل‌گیری انواع مختلف فرسایش، خاک‌های با مقادیر رس کمتر از ۱۰ درصد دارای ساختمان ناپایدار بوده، به‌دلیل چسبندگی پایین در مقابل انرژی جنبشی باران و حرکت رواناب مقاومت پایینی داشته، مستعد فرسایش می‌شوند. علاوه بر آن ناپایداری ساختمان خاک منجر به کاهش نفوذپذیری، شسته‌شدن خاک سطحی، افزایش رواناب و فرسایش خاک می‌شود. متوسط مقادیر سیلت در فرسایش‌های سطحی، شیاری، هزاردره و خندقی به‌ترتیب ۳۵/۵۰، ۴۲/۵۰، ۳۱/۵۰ و ۴۷ درصد می‌باشد که بیشترین

مقدار آن در تیپ فرسایش خندقی مشاهده می‌شود. ریزدانه بودن ذرات سیلت و عدم چسبندگی بالا سبب می‌شود که وجود مقادیر بالای آن در بافت خاک، ناپایداری و ریزش خاک و بروز فرسایش خندقی را سبب شود. علاوه بر آن متوسط مقادیر شن در فرسایش‌های سطحی، شیاری، هزاردره و خندقی به‌ترتیب ۲۷/۵۰، ۲۰/۵۰، ۴۳/۵۰ و ۱۹ درصد است. افزایش اندازه ذرات خاک مقدار پایداری آن را در مقابل فرسایش بادی افزایش می‌دهد. همچنین، متوسط مقادیر گچ اندازه‌گیری شده در فرسایش‌های سطحی، شیاری، هزاردره و خندقی به‌ترتیب ۲۶/۹، ۷۶/۳۹، ۱۰۱/۵۲ و ۳۸/۱۷ می‌باشد که حاکی از دامنه وسیعی از پراکندگی این متغیر در اشکال مختلف فرسایش است که بیشترین مقادیر گچ نیز در تیپ فرسایش هزاردره مشاهده شده است و اثر فرایند انحلال را در شکل‌گیری این تیپ فرسایشی تایید می‌کند.

جدول ۱- میانگین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی مارن‌ها در اشکال مختلف فرسایشی و در دو عمق و شیب نمونه‌برداری

خصوصیات فیزیکی و شیمیایی نمونه‌های خاک	شیب	نوع فرسایش و عمق نمونه‌برداری (سانتی‌متر)							
		سطحی		شیاری		هزاردره		خندقی	
		۰-۳۰	۳۰-۶۰	۰-۳۰	۳۰-۶۰	۰-۳۰	۳۰-۶۰	۰-۳۰	۳۰-۶۰
درصد اشباع (درصد)	<۱۰	۵۶	۵۵	۸۵	۸۷	۶۵	۵۷	۷۸	۷۶
	۱۰-۳۰	۷۹	۸۲	۷۸	۹۲	۷۴	۵۷	-	-
هدایت الکتریکی $\times 10^{3}$ (dsm^{-1})	<۱۰	۶/۹۱	۹/۶۵	۴۴/۱۰	۵۰/۵۰	۲/۹۶	۳/۰۳	۱۸/۱۱	۲۳/۳۰
	۱۰-۳۰	۴/۰۵	۵/۹۰	۱۲/۳۹	۳۳/۹۰	۱۰/۸۵	۱۶/۲۰	-	-
واکنش گل اشباع	<۱۰	۷/۶۵	۷/۶۵	۷/۳۷	۷/۳۸	۷/۶۴	۷/۴۸	۷/۸۷	۷/۵۸
	۱۰-۳۰	۷/۵۶	۷/۶۲	۷/۹۶	۸/۲۲	۸/۱۵	۸/۱۵	-	-
درصد مواد خنثی شونده	<۱۰	۲۵/۷	۲۶/۷	۱۹/۵	۱۹/۸	۱۷/۶	۲۱/۴	۲۳/۵	۲۱/۲
	۱۰-۳۰	۱۹/۷	۲۰/۲	۱۹/۱	۲۱/۲	۲۰/۶	۲۲/۶	-	-
کلسیم و منیزیم محلول ($meql^{-1}$)	<۱۰	۳۶/۰	۴۴/۰	۲۴۰/۰	۲۷۲/۰	۲۵/۳	۲۸/۰	۸۶/۰	۱۳۰/۰
	۱۰-۳۰	۳۱/۰	۳۷/۰	۵۵/۰	۱۱۲/۰	۳۴/۰	۵۷/۰	-	-
سدیم محلول ($meql^{-1}$)	<۱۰	۳۲/۷	۵۱/۷	۲۰۸/۴	۲۲۹/۶	۳/۷	۱/۶	۹۳/۴	۱۰۱/۳
	۱۰-۳۰	۹/۲	۲۲/۴	۶۸/۴	۲۲۶/۴	۷۳/۹	۱۰۲/۶	-	-
نسبت جذب سدیم	<۱۰	۷/۷	۱۱/۰	۱۹/۰	۱۹/۷	۱/۰	۰/۴	۱۴/۲	۱۲/۶
	۱۰-۳۰	۲/۳	۵/۲	۱۳/۰	۳۰/۲	۱۷/۹	۱۹/۲	-	-
گچ $meq(100gr)^{-1}$	<۱۰	۳۶/۵۸	۱۱/۲۳	۵۸/۲۷	۴۴/۴۷	۲۱۴/۰۸	۱۴۹/۳۳	۴۱/۷۰	۳۴/۶۴
	۱۰-۳۰	۱۳/۰۹	۴۶/۸۲	۱۱۶/۰۹	۸۶/۷۲	۲۸/۲۲	۱۴/۴۶	-	-
شن (درصد)	<۱۰	۲۸	۳۴	۲۰	۱۸	۵۶	۴۶	۱۸	۲۰
	۱۰-۳۰	۲۰	۲۸	۲۸	۱۶	۳۲	۴۰	-	-
سیلت (درصد)	<۱۰	۴۸	۴۲	۳۸	۴۲	۲۸	۳۸	۵۰	۴۴
	۱۰-۳۰	۲۴	۲۸	۴۸	۴۲	۳۰	۳۰	-	-
رس (درصد)	<۱۰	۲۴	۲۴	۴۲	۴۰	۱۶	۱۶	۳۲	۳۶
	۱۰-۳۰	۵۶	۴۴	۲۴	۴۲	۳۸	۳۰	-	-

تحلیل آماری خصوصیات فیزیکو شیمیایی اشکال فرسایشی خاک‌های مارنی حوزه آبخیز زنجان‌رود: تحلیل آماری نشان داد که اختلاف معنی‌دار در متغیرهای هدایت الکتریکی، pH و درصد اشباع فرسایش شیاری و هزاردره وجود دارد. تفاوت معنی‌دار در سطح یک درصد هدایت الکتریکی در بین فرسایش شیاری و هزاردره، pH در سطح پنج درصد در بین فرسایش سطحی و شیاری، شیاری و خندقی و همچنین، تفاوت معنی‌دار در سطح یک درصد بین دو فرسایش سطحی و خندقی وجود دارد. در پژوهش حاضر، بیشترین مقدار pH مربوط به نمونه زیرسطحی در شیب ۱۰ تا ۳۰ درصد و در تیپ فرسایش شیاری و کمترین مقدار آن در نمونه سطحی در شیب زیر ۱۰ درصد در همان تیپ فرسایشی بوده است. با توجه به

جدول ۳، اختلاف معنی‌داری بین درصد مواد خنثی‌شونده و نسبت جذب سدیم در تیپ‌های مختلف فرسایش وجود ندارد. عدم اختلاف معنی‌دار بین بعضی از پارامترهای مورد بررسی در این پژوهش می‌تواند ناشی از ایجاد حالت تعادلی در بین ویژگی‌های خاک با هم و خنثی‌کردن اثر یکدیگر باشد. مقدار گچ در دو تیپ فرسایش سطحی با شیاری و شیاری با هزاردره در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌دار داشته، در تیپ فرسایش سطحی و خندقی در سطح یک درصد اختلاف معنی‌دار وجود دارد.

جدول۲- نتایج حاصل از تحلیل توصیفی نمونه‌های مارن در اشکال فرسایش سطحی، شیاری، هزاردره و خندقی

نوع فرسایش		درصد اشباع (درصد)	هدایت الکتریکی×10^{-3} (dsm^{-1})	واکنش گل اشباع	درصد مواد خنثی شونده	کلسیم و منیزیم محلول ($meql^{-1}$)	سدیم محلول ($meql^{-1}$)	نسبت جذب سدیم	گچ $meq(100gr)^{-1}$	شن (درصد)	سیلت (درصد)	رس (درصد)
سطحی	میانگین	۶۸/۱۰	۶/۶۳	۷/۶۲	۲۳/۰۵	۳۷	۲۸/۹۸	۶/۵۶	۲۶/۹۲	۲۷/۵	۳۵/۵	۳۷
	تعداد	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴
	انحراف از استاندارد	۱۴/۴۷	۲/۳۴	۰/۰۴	۳/۶۱	۵/۳۵	۱۷/۹۱	۳/۶۹	۱۷/۵۷	۵/۷۴	۱۱/۳۶	۱۵/۷۹
	حداقل	۵۴/۹۸	۴/۰۵	۷/۵۶	۱۹/۶۸	۳۱	۹/۲۱	۲/۳۳	۱۱/۲۳	۲۰	۲۴	۲۴
	حداکثر	۸۲/۰۸	۹/۶۵	۷/۶۵	۲۶/۶۶	۴۴	۵۱/۶۵	۱۱/۰۱	۴۶/۸۱	۳۴	۴۸	۵۶
	دامنه	۲۷/۱۰	۵/۶۰	۰/۰۹	۶/۹۷	۲۸/۶۷	۴۲/۴۴	۸/۶۷	۳۵/۵۸	۱۴	۲۴	۳۲
	واریانس	۲۰۹/۴۹	۵/۴۶	۰/۰۰۲	۱۳/۰۶	۱/۵	۳۲۰/۸۸	۱۳/۶۰	۳۰۸/۸۸	۳۳	۱۲۹	۲۴۹/۳۳
	کشیدگی	۵/۷۵-	۰/۷۸	۱/۵۰	۵/۵۱-	۰/۵۱	۰/۰۶۵	-۰/۶۲۱	-۴/۳۲	۱/۶۵	-۴/۱۲	-۳/۳۲
	چولگی	۰/۰۳	۰/۵۳	۱/۴۱-	۰/۰۵	۰/۵۸	۰/۴۳	۰/۱۵	۰/۲۸	-۰/۵۱	۰/۱۳	۰/۴۷
شیاری	میانگین	۸۵/۵۶	۳۵/۲۲	۷/۷۳	۱۹/۹۰	۱۶۹/۷۵	۱۸۳/۱۶۲	۲۰/۴۹	۷۶/۳۸	۲۰/۵۰	۴۲/۵۰	۳۷
	تعداد	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴
	انحراف از استاندارد	۵/۷۹	۱۶/۶۸	۰/۴۲	۰/۹۳	۱۰۳/۱	۷۷/۱	۷/۲	۳۱/۷	۵/۳	۴/۱	۸/۷
	حداقل	۷۷/۸۸	۱۲/۳۹	۷/۳۷	۱۹/۱۰	۵۵	۶۸/۴	۱۳	۴۴/۴۷	۱۶	۳۸	۲۴
	حداکثر	۹۱/۸۵	۵۰/۵۰	۸/۲۲	۲۱/۲۴	۲۷۲	۲۲۹	۳۰/۲	۱۱۶/۱	۲۸	۴۸	۴۲
	دامنه	۱۳/۹۶	۳۸/۱۱	۰/۸۵	۲/۱۴	۲۱۷	۱۶۱/۲	۱۷/۲۱	۷۱/۶۱	۱۲	۱۰	۱۸
	واریانس	۳۳/۶۲	۲۷۸/۴	۰/۱۸	۰/۸۶	۱۰۶۳۰/۹	۵۹۴۴/۷	۵۱/۱۹	۱۰۰۹/۹۰	۲۷/۶۶	۱۷	۷۶
	کشیدگی	۱/۳۹	۰/۷۹	-۴/۲۲	۲/۶	-۴/۱	۳/۶۸	۱/۹۴	-۱/۶۰	۲/۲۳	۱/۷۸	۳/۷
	چولگی	-۰/۶۹	-۱/۰۹	۰/۳۱	۱/۴	-۰/۱۷	-۱/۹۱	۰/۹۲	۰/۵۲	۱/۴۴	۰/۷۱	-۱/۹
هزاردره	میانگین	۶۳/۴	۸/۲۶	۷/۸۵	۲۰/۵۵	۳۶/۰۷	۲۵/۴۲	۹/۶۴	۱۰۱/۵	۴۳/۵	۳۱/۵	۲۵
	تعداد	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴
	انحراف از استاندارد	۸/۰۲	۶/۴۶	۰/۳۵	۲/۱۳	۱۴/۴۱	۵۰/۷۷	۱۰/۳	۹۶/۴۵	۱۰/۱۱	۴/۴۳	۱۰/۸۹
	حداقل	۵۷/۱۴	۲/۹۶	۷/۴۸	۱۷/۵۸	۲۵/۳	۱/۶۴	۰/۴۳	۱۴/۴۵	۳۲	۲۸	۱۶
	حداکثر	۷۴/۰۴	۱۶/۲۰	۸/۱۵	۲۲/۶۱	۵۷	۱۰۲/۵	۱۹/۲۱	۲۱۴/۰۸	۵۶	۳۸	۳۸
	دامنه	۱۶/۸۹	۱۳/۲۴	۰/۶۷	۵/۰۲	۳۱/۷	۱۰۰/۹	۱۸/۷۷	۱۹۹/۶۲	۲۴	۱۰	۲۲
	واریانس	۶۴/۴	۴۱/۷۳	۰/۱۲	۴/۷۴	۲۰۷/۸	۲۵۷۸/۲	۱۰۶/۲۹	۹۳۰۳/۱۴	۱۰۲/۳	۱۹/۶	۱۱۸/۶
	کشیدگی	-۰/۸۸	-۲/۸۶	-۴/۹۶	۱/۷۶	۲/۶۶	-۴/۴۵	-۵/۹۰	-۳/۷۹	-۰/۱۰	۳/۲۶	-۳/۴۸
	چولگی	۰/۹۳	۰/۵۵	-۰/۱۸	-۱/۱۴	۱/۶۴	۰/۲۷	۰/۰۱	۰/۳۶	۰/۲۶	۱/۷۲	۰/۴۵
خندقی	میانگین	۷۷/۲۵	۲۰/۷۰	۷/۷۲	۲۲/۳۵	۱۰۸	۹۷/۳	۱۳/۳۹	۳۸/۱۷	۱۹	۴۷	۳۴
	تعداد	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲
	انحراف از استاندارد	۱/۲۳	۳/۶۷	۰/۲۱	۱/۵۷	۳۱/۱	۵/۵۸	۱/۱۸	۴/۹۹	۱/۴۱	۴/۲۴	۲/۸۲
	حداقل	۷۶/۳۸	۱۸/۱۱	۷/۵۸	۲۱/۲۳	۸۶	۹۳/۳۵	۱۲/۵۵	۳۴/۶۳	۱۸	۴۴	۳۲
	حداکثر	۷۸/۱۲	۲۳/۳۰	۷/۸۷	۲۳/۴۷	۱۳۰	۱۰۱/۲۵	۱۴/۲۳	۴۱/۷۰	۲۰	۵۰	۳۶
	دامنه	۱/۷۴	۵/۱۹	۰/۲۹	۲/۲۳	۴۴	۷/۹۰	۱/۶۷	۷/۰۶	۲	۶	۴
	واریانس	۱/۵۱	۱۳/۴۶	۰/۰۴	۲/۴۹	۹۶۸	۳۱/۲۰	۱/۴۰	۲۴/۹۴	۲	۱۸	۸

جدول ۳- نتایج حاصل از بررسی اثر خصوصیات مختلف فیزیکی و شیمیایی بر انواع مختلف فرسایش

تیمار	هدایت الکتریکی	واکنش گل اشباع	درصد مواد خنثی شونده	نسبت جذب سدیم	گچ	درصد اشباع	شن	سیلت	رس
سطحی با شیاری	-۲/۲۴ ns	-۳/۳۹ *	-۰/۵۳ ns	۱/۶۹ ns	-۲/۵۷ *	-۳/۹ *	-۳/۴۶ *	-۲/۷۳ *	۱/۸ ns
سطحی با هزار دره	۰/۵۷ ns	-۰/۴۸ ns	-۱/۳۵ ns	۱/۲ ns	۰/۱۲ ns	-۰/۶۱ ns	-۰/۵۶ ns	-۱/۵۲ ns	-۲/۷۵ *
سطحی با خندقی	-۰/۸۳ ns	-۵/۹۵ **	-۱/۱۱ ns	۰/۲۶ ns	-۵/۰۵ **	۵ **	-۲/۴ ns	-۰/۸۴ ns	۱/۹۵ ns
شیاری با هزار دره	۴/۴۷ **	۴/۰۱ *	-۰/۴۵ ns	-۰/۵۶ ns	۲/۵۷*	۲/۹۸ *	۱/۷۳ ns	-۰/۴۹ ns	-۴/۰۳ **
شیاری با خندقی	۱/۹۳ ns	۱/۱۵ ns	۰/۰۲ ns	-۲/۴۹ ns	۰/۷۹ ns	۱/۴۸ ns	۱/۳۱ ns	۱/۶ ns	۰/۳۸ ns
هزار دره با خندقی	-۲/۲۵ ns	-۲/۴۴ ns	۰/۴۷ ns	-۱/۰۳ ns	-۴/۱۶ *	-۱/۳۶ ns	-۰/۴۹ ns	۰/۸۸ ns	۳/۲۲ *

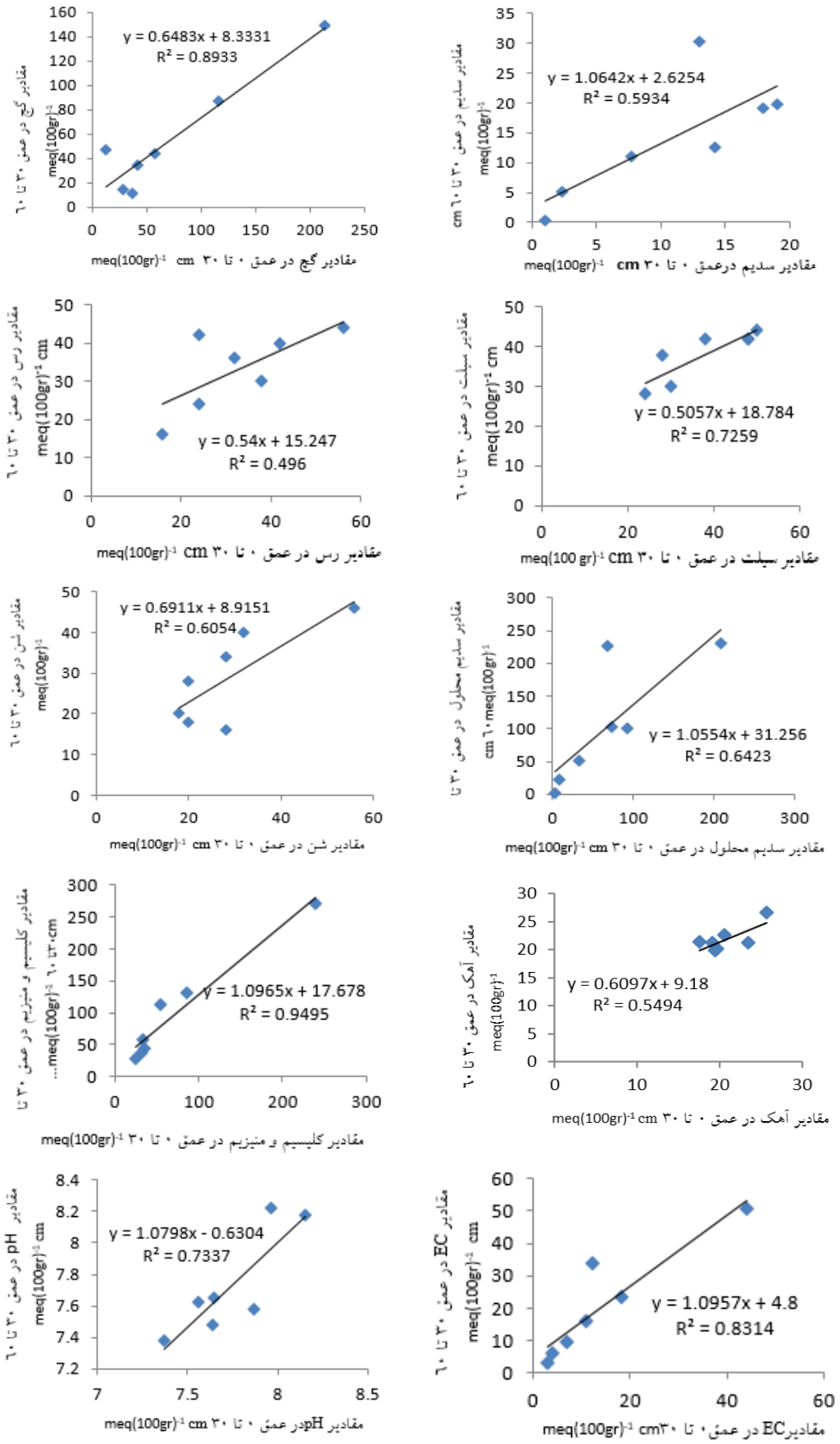
ns به معنی عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین پارامترهای مورد بررسی است و * وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ و ** وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۰/۰۱ را نشان می‌دهد.

با بررسی همبستگی بین عوامل فیزیکی و شیمیایی مشاهده شد که بین نسبت جذب سدیمی و هدایت الکتریکی در سطح یک درصد و نیز بین هدایت الکتریکی و درصد شن و درصد اشباع در سطح پنج درصد همبستگی وجود دارد. بین پارامترهای درصد مواد خنثی‌شونده و درصد اشباع، نسبت جذب سدیمی و درصد شن، مقدار گچ با درصد شن و رس، درصد اشباع با درصد شن و رس و در نهایت درصد شن و رس همبستگی معنی‌داری مشاهده شد.

با توجه به نمودارهای ارائه‌شده در شکل ۶، مشاهده می‌شود که بیشترین ضریب تعیین (R^2) مربوط به عامل کلسیم + منیزیم برابر با ۰/۹۴۹۵ و کمترین آن مربوط به درصد رس برابر با ۰/۴۹۶ است. به‌عبارت دیگر، از بین پارامترهای فیزیکی و شیمیایی بررسی‌شده در نمونه‌های خاک پارامتر کلسیم + منیزیم بیشترین همبستگی را با عامل عمق دارا بوده، در حالی‌که کمترین همبستگی با عمق مربوط به درصد رس است. یعنی بیشترین حرکت مربوط به حرکت عناصر محلول از سطح مارن به عمق آن است. به‌طوری که به تبع آن میزان شوری نیز دارای رابطه بسیار قوی با عمق دارد (R^2=۰/۸۳۱۴).

با بررسی اجمالی نتایج آزمایش خاک استنباط می‌شود که تغییر هدایت الکتریکی از ۲/۹۶ دسی-زیمنس تا ۵۰/۵۰ دسی‌زیمنس به معنی آن است که این رسوبات تشکیل دهنده خاک شیرین (کمتر از چهار دسی زیمنس بر متر) تا خاک شور شدید است. اما اسیدیته خاک ۷/۴۸ تا ۸/۲۲ است که بیانگر آن است که خاک به حد قلیا نمی‌رسد و این ویژگی به‌خاطر وجود آهک و گچ در خاک است. از نظر درصد رس نیز نمونه‌ها از ۵۶ درصد تا ۱۶ درصد تغییر می‌کند که این موضوع به معنی وجود رسوبات مارنی با بافت متوسط مایل به سبک تا بافت سنگین است.

همان‌طور که در نتایج ارائه شد، در واحدهای مارنی مشخص‌شده در حوضه مورد مطالعه زنجان‌رود چهار رخساره فرسایشی سطحی، شیاری، هزاردره و خندقی تشخیص داده شده است. Ismail Nejad و همکاران (۲۰۰۷) در پژوهش خود بیان داشتند که اشکال مختلف فرسایش یکی از خصوصیات بارز در عرصه‌های مارنی است که با مشاهدات صورت‌گرفته در منطقه مورد مطالعه مطابقت دارد. به‌دلیل نقش مهم رس در شکل‌گیری انواع مختلف فرسایش، خاک‌های با مقادیر رس کمتر از ده درصد دارای ساختمان ناپایدار بوده، به‌دلیل چسبندگی پایین در مقابل انرژی جنبشی باران و حرکت رواناب مقاومت پایینی داشته، مستعد فرسایش می‌شوند. علاوه بر آن، ناپایداری ساختمان خاک منجر به کاهش نفوذپذیری، شسته شدن خاک سطحی، افزایش رواناب و فرسایش خاک می‌شود. همچنین، با توجه به نتایج ارائه‌شده که بیشترین مقدار سیلت در تیپ فرسایش خندقی مشاهده می‌شود. ریزدانه بودن ذرات سیلت و عدم چسبندگی بالا سبب می‌شود که وجود مقادیر بالای آن در بافت خاک، ناپایداری و ریزش خاک و بروز فرسایش خندقی را سبب شود. به‌طور کلی، افزایش اندازه ذرات خاک مقدار پایداری آن را در مقابل انواع مختلف فرسایش آبی و بادی افزایش می‌دهد.



شکل ۶- بررسی رابطه بین مقادیر پارامترهای شیمیایی خاک‌های مارنی منطقه در دو عمق صفر تا ۳۰ و ۳۰ تا ۶۰ سانتی‌متری

همچنین، با دقت در نتایج ارائه‌شده مشاهده می‌شود که پارامترهای درصد اشباع، EC، pH، سدیم محلول، نسبت جذب سدیمی، گچ و سیلت از فرسایش سطحی به فرسایش شیاری افزایش می‌یابد. در حالی‌که مقدار کلسیم و منیزیم محلول، درصد مواد خنثی‌شونده و درصد شن از فرسایش سطحی به فرسایش شیاری کاهش می‌یابد. ولی در فرسایش هزاردره نسبت به فرسایش سطحی پارامترهای EC، pH و مقدار گچ افزایش چشم‌گیری داشته‌اند. حال آن‌که در فرسایش خندقی تمام پارامترها به جز درصد رس و شن نسبت به فرسایش سطحی از افزایش چشم‌گیری برخوردار هستند. بنابراین، نتیجه می‌شود، شکل‌گیری اشکال فرسایش علاوه بر عوامل بیرونی مانند بارش و رواناب و غیره تا حد زیادی به خصوصیات درونی خاک‌ها وابسته است. نتایج به‌دست آمده به‌وسیله Hamidzadeh (۲۰۰۲) بر روی مارن‌های تفرش تأییدی بر این مدعاست.

تحلیل آماری نشان داد که اختلاف معنی‌دار در متغیرهای هدایت الکتریکی، pH و درصد اشباع فرسایش شیاری و هزاردره وجود دارد. همچنین، تفاوت معناداری در سطح یک درصد هدایت الکتریکی در بین فرسایش شیاری و هزاردره مشاهده شد. pH در سطح پنج درصد در بین فرسایش سطحی و شیاری، شیاری و خندقی و همچنین، در سطح یک درصد بین دو فرسایش سطحی و خندقی تفاوت معناداری وجود دارد. بنابراین، نتیجه‌گیری می‌شود که pHیکی از پارامترهای موثر در شکل‌گیری انواع مختلف اشکال فرسایشی مورد توجه در این مطالعه است. تاثیر pH در پیدایش اشکال مختلف فرسایش در این پژوهش با نتایج کار Ghadimi و همکاران (۲۰۰۰) مطابقت دارد. Hasanzadeh Nafouti و همکاران (۲۰۰۶) با تجزیه و تحلیل رابطه خصوصیات فیزیکوشیمیایی مارن‌ها و اشکال فرسایش در حوضه ایوانکی به نتایج مشابه دست یافته و اظهار داشتند که پارامتر EC در شکل‌گیری انواع فرسایش موثرند. Salmasi و Ahmadi (۲۰۱۲) نیز در تحقیقات خود به نتایج مشابه دست یافته‌اند. همان‌طور که ذکر شد، اختلاف معناداری بین درصد مواد خنثی شونده و نسبت جذب سدیم در تیپ‌های مختلف فرسایش در پژوهش حاضر وجود ندارد. Amiri و همکاران (۲۰۰۷) در پژوهش خود بر روی مارن‌های استان همدان به نتایج مشابهی رسیدند. Nemati (۱۹۹۳) در بررسی فرسایش‌های خندقی در حوزه آبخیز گپ، بیان کرد که با افزایش درصد گچ در نمونه‌های خاک، شدت فرسایش خندقی افزایش داشته است که نتایج به‌دست آمده در پژوهش حاضر را تأیید می‌کند.

نتیجه‌گیری

با توجه به نقشه واحدهای مارنی منطقه مورد مطالعه از کل مساحت حوضه بالغ بر ۴۶۶۶۰۰ هکتار، مساحت حدود ۹۷۲۵۶/۵ هکتار که معادل ۲۰ درصد مساحت کل حوضه از مارن تشکیل شده و ۹۹/۷۵ درصد از کل سطح مارن‌های حوضه معادل ۹۷۰۵۳ هکتار متعلق به تیپ مارن پلیوسن (Plm) و ۰/۲۵ درصد آن معادل ۲۰۳ هکتار، متعلق به تیپ مارن قرمز بالایی (Mur) است. در حوضه زنجان‌رود، چهار رخساره فرسایشی سطحی، شیاری، هزاردره و خندقی وجود دارد که در بین این چهار رخساره فرسایشی، رخساره فرسایشی شیاری با ۶۱ درصد بیشترین سطح و گستردگی را دارد. وجود اختلاف معنی‌داری در میزان رس بین فرسایش هزاردره با انواع دیگر فرسایش حاکی از آن است که وجود رس در بافت خاک‌ها می‌تواند نقش مهمی در انسجام و مقاومت خاک‌ها ایفا کند. به‌طوری که خاک‌های با مقادیر رس کمتر از ۱۰ درصد دارای ساختمان ناپایدار بوده، به‌دلیل چسبندگی پایین در مقابل انرژی جنبشی باران و حرکت رواناب مقاوت پایینی داشته، مستعد فرسایش می‌شوند. همچنین، وجود مقادیر بالای سیلت در بافت خاک، ناپایداری و ریزش خاک و بروز فرسایش خندقی را سبب می‌شود. بیشترین مقادیر گچ نیز در تیپ فرسایش هزاردره مشاهده شده است و اثر فرایند انحلال را در شکل‌گیری این تیپ فرسایشی تایید می‌کند. عدم اختلاف معنی‌دار بین بعضی از پارامترهای مورد بررسی در این پژوهش، می‌تواند ناشی از ایجاد حالت تعادلی در بین ویژگی‌های خاک با هم و خنثی کردن اثر یکدیگر باشد. با توجه به نتایج نمونه آزمایشگاهی با افزایش pH خاک، فرسایش در اراضی مارنی افزایش می‌یابد، لذا با اصلاح pH خاک

می‌توان گامی موثر در جهت کاهش فرسایش و اصلاح خاک در اراضی مارنی برداشت، درصد رس نمونه‌ها از سطح به عمق افزایش می‌یابد و هم‌زمان میزان EC از سطح تا عمق نیز افزایش می‌یابد. این موضوع به این معنی است که مارن پلیوسن که از نظر زمین‌شناسی به‌صورت یک واحد رسوبی دارای دامنه‌ای وسیعی از تغییرات املاح محلول و درصد رس را شامل می‌شود و از دید آبخیزداری و حفاظت خاک ضرورت انجام عملیات حفاظت خاک را نشان می‌دهد، از آنجائی‌که نقش اصلی فرسایش‌پذیری در واحدهای مارنی به‌صورت ذاتی و مربوط به خصوصیات فیزیکوشیمیایی آن‌ها است، گسترش و انجام تحقیقات بیشتر در این زمینه که منجر به ارائه راهکارهایی برای کنترل فرسایش و رسوب در این واحدها از طریق تغییر در خصوصیات فیزیکوشیمیایی باشد، ضروری به نظر می‌رسد.

منابع مورد استفاده

1. Abbasi, N. and P. Abdi. 2005. Investigation of relationship between chemical characteristics of marl and their environmental behavior, case study of low salmon trout in Tarom upper area of Zanjan Province. 4th Iranian Geological and Environmental Conference, Tarbiat Modares University, Tehran, 8 pages (in Persian).
2. Abdinejad, P., S. Fiznia, H.R. Pyrovan, F. Fayazi and A. Shabani. 2009. Study physical, chemical, mechanical and constructive erodibility marl formatons of Zanjan Province. Agriculture and Natural Resources Research Center, Zanjan Province, 257 pages (in Persian).
3. Amiri, M., H.R. Peyrovan, H. Alirezaei, P. Nazari and H.A. Mazaheri. 2007. Correlation between type of erosion and physico-chemical properties in Hamedan marl soils. 4th National Conference on Watershed Management Science and Engineering of Iran. March 2007, Karaj, 12 pages (in Persian).
4. Feiznia, S., M. Heshmati, H. Ahmadi and J. Ghoddousi. 2007. Study marl gully erosion Aghajari formation in Qasr-e Shirin. Journal of Construction Research, 74: 40-33 (in Persian).
5. Hamidzadeh, S. 2002. Marly soil and different types of erosion in Iran. 17th World Congress of Soil Science, 14-21 August, Thailand, 37(2235): 1-8.
7. Hassanzadeh Nofouti, M., S. Feiznia, S. Ghayumian, C. Ahmadi and H.R. Peyrovan. 2006. Investigating characteristics affecting the erodibility of marls, a case study of Eivanaki Watershed (Saltwater). PhD Thesis, Islamic Azad University-Science and Research Branch, 128 pages (in Persian).
8. Ismail Nejad, L., H. Ramzanpour, M. Shabanpour and R. Bakhshipour. 2007. Investigation of physical and chemical factors affecting the development and extent of gully and badland erosion in the marl lands of Guilan Province. Pages 1213 to 1215 Proceedings of the 10th Iranian Soil Science Congress, University of Tehran.
9. Kargar Khorami, R., M. Akhavan and H.R. Mehrnahad. 2014. Investigation of physical and chemical properties of marl Khan Zaniyan soil degradability in Fars Province. First National Conference on Sustainable Soil and Environmental Resources Management, Kerman, 5 pages (in Persian).
10. Nemati, C. 1993. Evaluation of gully erosion in Gap Watershed. MSc Thesis, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, 143 pages (in Persian).
11. Ramazanpour, H. and L. Esmaelnejad. 2010. Study of relationship between different type of erosion and soil properties of marls in Southern Guilan Province, Iran. University of Guilan, 175 pages (in Persian).
12. Salmasi, R. and A. Ahmadi. 2012. The relationship between soil characteristics of marls and different forms of erosion in Taghkeh River Watershed. Geography and Sustainability, 3: 11-23.
13. Shaban, M., S. Feiznia, H. Ahmadi and R. Peyrovan. 2013. Categorization of marl units rainfall simulator, a case study of Taleghan Watershed, Iran, study of physico-chemical characteristics and erosion shapes of Zanjanrood Basins. Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 7(1): 312-319.
14. Sokouti, R. and S. Razzaghi. 2015. Erodibility and loss of marly derived soils. Eurasian Journal of Soil Science, 4(4): 279-286.