

بررسی تأثیر ویژگی‌های فیزیکی نهشته‌های مارنی حوضه سرخه سمنان

بر ایجاد اشکال مختلف فرسایش

مجید پورکرمان^{*}، امیرحسین چرخایی^۱، فرج الله فیاضی^۲، حمیدرضا پیروان^۳، علی اصغر هاشمی^۴

پذیرش مقاله: ۹۰/۹/۲

دریافت مقاله: ۹۰/۲/۷

چکیده

یکی از بزرگترین مشکلات پروژه تغذیه مصنوعی سرخه در استان سمنان، وارد شدن میزان رسوب به صورت دائم به داخل حوضچه‌های آن است. این رسوبات حاصل فرسایش مارن‌های اطراف است که دارای ارتباط هیدروگرافی نزدیک با این سازه هستند؛ لذا هدف این مطالعه بررسی تأثیر ویژگی‌های فیزیکی و مهندسی نهشته‌های مارنی حوضه سرخه در به وجود آمدن اشکال مختلف فرسایشی است. متغیر اصلی اندازه دانه‌ها بوده و متغیرهای وابسته شامل جورشدگی، چگالی و شاخص فرسایش پذیری است. کاهش جورشدگی و افزایش چگالی باعث افزایش مقاومت و کاهش فرسایش پذیری شده و از طرف دیگر افزایش شاخص فرسایش پذیری باعث کاهش مقاومت مکانیکی و افزایش فرسایش شده است. از جمله عوامل اصلی مؤثر در این فرآیند ماسه متوسط، سیلت متوسط و رس است. ماسه متوسط و سیلت متوسط باعث افزایش جورشدگی، افزایش شاخص فرسایش پذیری و در نهایت کاهش چگالی شده‌اند. این ذرات در اشکال فرسایش آبراهه‌ای (R) بیشترین فراوانی را از خود نشان داده‌اند. از طرف دیگر با افزایش رس، عکس پدیده‌ی فوق مشاهده می‌شود. بیشترین فراوانی این متغیر در فرسایش سطحی کم تا متوسط (S) و در فرسایش سطحی شدید (H-S) مشاهده شده است. نتایج به دست آمده با استفاده از آنالیز عاملی به روش (Principal Axis Factoring) مورد تحلیل واقع شد و ارتباط متغیرهای اصلی و وابسته مورد تأیید قرار گرفت. با این روش، متغیرهای کنترل کننده و تشدید کننده فرسایش کاملاً جدا از یکدیگر قرار گرفته‌اند و با نتایج به دست آمده کاملاً همخوانی دارد.

کلید واژه‌ها: فرسایش، مارن، شاخص فرسایش پذیری، حوضه آبخیز سرخه، PASW

۱. کارشناسی ارشد رسوب‌شناسی و سنگ رسوبی از دانشگاه تربیت معلم تهران Pourkerman@yahoo.com

۲. دانشیار پژوهشکده تحقیقات حفاظت خاک

۳. دانشیار دانشگاه تربیت معلم تهران

۴. استادیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

۵. مربی پژوهشی مرکز تحقیقات منابع طبیعی استان سمنان

* مسئول مکاتبات

۱. مقدمه

فرسایش خاک از جمله نگرانی‌های عمده‌ی زیست محیطی انسان در قرن حاضر است. بر اساس برآوردهای انجام شده بر اثر فرسایش خاک، سالیانه چندین میلیون هکتار از اراضی کشاورزی جهان به کام نابودی کشیده می‌شود. میزان فرسایش در مناطق نیمه‌خشک، مدیترانه‌ای و گرمسیری بیشتر از مناطق دیگر است (Morgan, 2005). با توجه به اینکه ایران در منطقه گرم و خشک قرار دارد، نهمین کشور در جنوب آسیا است که زمین‌های طبیعی و کشاورزی آن تحت تأثیر فرسایش زیاد قرار دارد (Vahabi and Nikkami, 2008). نرخ سالیانه‌ی فرسایش خاک در کشورهای در حال توسعه‌ی آسیا، آفریقا و آمریکای جنوبی ۴۰-۳۰ تن در سال گزارش شده است (Pimentel et al., 1995).

مارن‌ها، تشکیلات رسوبی ناپایدار شامل مواد شیمیایی و ذرات تخریبی هستند (Benito et al., 1991). رسوب دهی این لیتولوژی اثرات نامطلوبی بر روی زمین‌های کشاورزی ایجاد می‌کند، بدین صورت که در محل اولیه باعث شسته شدن خاک، شکسته شدن ساختار خاک، کاهش مواد غذایی و آلی و در خارج محل، باعث رسوب‌دهی در مناطق پایین دست آبراه‌ها و انتقال رسوب از یک بخش به بخش دیگر می‌شود (Ekwue and Harrilal, 2010). خواص فیزیکی خاک تعیین کننده فرآیندهای فرسایش خاک است (Lujan, 2003).

بافت خاک از مهم‌ترین عوامل مؤثر در فرسایش‌پذیری خاک است. تحقیقات نشان داده است که خاک‌های با بافت ریز دارای چسبندگی زیادتر (با درصد کمی از سیلت) هستند و جدا شدن ذرات آنها مشکل است اما رسوب آنها به راحتی منتقل می‌شود، در مقابل ذرات خاک‌های درشت بافت، سریع‌تر و راحت‌تر جدا می‌شوند اما رسوبات درشت در انتقال مشکل داشته و رسوبات کمتری نسبت به خاک‌های ریزبافت ایجاد می‌کنند. بین مقدار سیلت یک خاک ریزدانه و فرسایش‌پذیری آن ارتباط نزدیکی وجود دارد به طوری که هرچه مقدار سیلت خاک بیشتر باشد فرسایش‌پذیری آن افزایش می‌یابد، زیرا سیلت چسبندگی ندارد. تغییرات جزئی درصد سیلت خاک غالباً با تغییر قابل توجهی در مقدار فرسایش‌پذیری خاک

همراه است. خاک‌هایی که دارای ۴۰ تا ۶۰ درصد سیلت هستند فرسایش‌پذیرترین نوع خاک‌ها به شمار می‌آیند (Maquaire et al., 2003).

در رابطه‌های جهانی فرسایش خاک، فرسایش‌پذیری خاک از روی بافت، ساختمان، مقدار ماده آلی و نفوذپذیری خاک، تنها بر اساس بخشی از ویژگی‌های ذاتی خاک که عمدتاً فیزیکی هستند، استوار است (واعظی، ۱۳۸۴). فرسایش‌پذیری خاک تابعی از توانایی متراکم شدن و پیوستگی خاک است که نتیجه‌ی تأثیر خصوصیات مختلف خاک بوده و هرچه تراکم و پیوستگی بیشتر باشد فرسایش کمتر می‌شود (Duiker et al., 2001; Descroix et al., 2001; Idowu, 2003).

نتایج حاصل از تحقیقات قدوسی و داوری (۱۳۸۴) نشان داد که تجزیه و تحلیل همبستگی بین درصد رس، سیلت و شن، درصد اشباع خاک، هدایت الکتریکی و درصد گچ موجود در خاک، دارای رابطه معنی‌دار در سطح ۵٪ با اشکال فرسایش است. این تحقیق بیانگر این است که شکل گیری و ایجاد انواع فرسایش تابعی از بافت خاک در افق‌های مختلف است.

پیروان و حسن‌زاده (۱۳۸۶)، نقش عوامل فیزیکوشیمیایی مؤثر بر اشکال فرسایش در پهنه‌های مارنی را بررسی نمودند. نتایج حاصل از آن نشان داد که علاوه بر مشخصه‌های شیمیایی، تمامی خصوصیات فیزیکی در به وجود آمدن انواع مختلف فرسایش، اختلاف معنی‌داری دارند. نتیجه حاکی از این است که پارامترهای مذکور در بروز و تشدید انواع فرسایش در مارن‌های مختلف منطقه مؤثر هستند. Ward and Bolton (1991) مشاهده کردند که تغییرات بین مقدار رواناب و رسوب‌دهی خاک وابسته به رطوبت اولیه خاک، مواد ارگانیکی و درصد رس است.

هدف از این مطالعه، شناسایی تأثیر متغیرهای اصلی (بافت در اشکال مختلف فرسایشی) و متغیرهای وابسته (جورشدگی، چگالی، شاخص فرسایش‌پذیری) بر روی شدت فرسایش، در سه گروه فرسایش کم تا متوسط (S)، سطحی شدید (H-S) و آبراه‌ای (R) با استفاده از پارامترهای آماری و به‌دست آوردن فرمول پیشگوکننده برای حدود روانی و خمیری خاک با

۲-۲. روش نمونه برداری

تعداد ۲۳ نمونه از اشکال فرسایشی غالب از واحدهای مارنی تعیین شده (S, H-S, R) برداشت گردید (شکل ۲). برای انتخاب واحدهای مارنی جهت مطالعه از تصاویر ماهواره‌ای Landsat ETM+7 با تاریخ برداشت ۲۰ جولای سال ۲۰۰۰ استفاده شد. با توجه به قدرت پایین و به روز نبودن این تصاویر، با استفاده از داده‌های کمکی در محیط ArcMap با روش IHS تصاویر مورد مطالعه تا ۲۳ آگوست ۲۰۱۰ به منظور مطالعه دقیق اشکال فرسایش، به روز رسانی شد و قدرت تفکیک مفید این تصاویر تا مقیاس ۱:۱۰۰۰۰ بهبود یافت (پور کرمان و همکاران ۱۳۹۰). با استفاده از این تصاویر، مقاومت واحدهای مارنی بر اساس اشکال فرسایشی تعیین شد. با استفاده از اکستنشن ArcHydro و DEM، شبکه‌ی آبراهه‌ای حوضه سرخه در نرم‌افزار ArcMap رسم گردید و ارتباط هیدروگرافی واحدهای مارنی با پروژه تغذیه مصنوعی سرخه مشخص شد. بنابراین واحدهای E2sm، m و Eog که بیشترین حساسیت را در برابر فرسایش نشان داده‌اند و دارای نزدیک‌ترین ارتباط هیدروگرافی با پروژه تغذیه مصنوعی سرخه هستند، برای این مطالعه انتخاب شده‌اند.

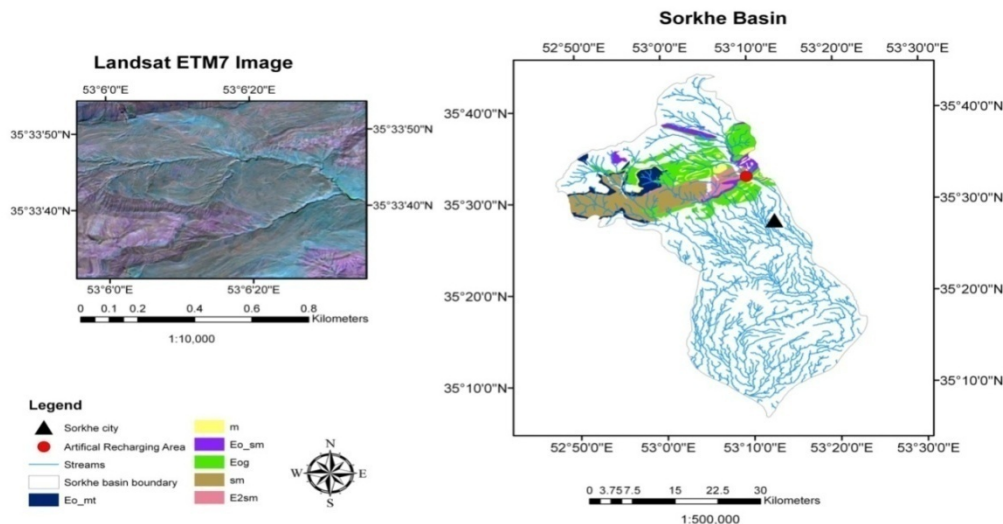
استفاده از متغیرهای اصلی تأثیرگذار در نهشته‌های مارنی حوضه سرخه است.

۲. مواد و روش‌ها

۱-۲. منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز سرخه، در شمال غرب شهرستان سمنان در طول جغرافیایی ۴۸° ۵۲' تا ۴۰° ۵۳' شرقی و عرض جغرافیایی ۳۵° ۳۵' تا ۳۵° ۴۶' شمالی واقع شده است (شکل ۱).

مساحت حوضه ۲۵۰۲۲۸ هکتار است و متوسط بارندگی آن ۱۸۰ میلی‌متر در سال است. شارژ آب‌های سطحی در این حوضه از مناطق مرتفع که لیتولوژی مارنی دارند، صورت گرفته و میزان زیادی رسوب به پروژه تغذیه مصنوعی سرخه واقع در حوضه سرخه وارد می‌کنند. منطقه دارای آب و هوای سرد و خشک است و بارندگی، به صورت ناگهانی و با شدت بالا در مدت زمان کم صورت می‌گیرد. مارن‌های این منطقه عمدتاً از مارن با میان‌لایه‌هایی از ماسه‌سنگ (E2sm)، مارن با میان‌لایه‌هایی از گچ (Eog)، مارن‌های گچ‌دار (m)، مارن بالا‌لایه‌های نازکی از ماسه‌سنگ‌های درشت دانه (Eo_ms)، مارن‌های ماسه‌ای (sm) تشکیل شده‌اند. طبقه‌بندی فوق بر اساس نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ استان سمنان صورت گرفته است (سازمان زمین‌شناسی ۱۳۷۳).



شکل ۱. تصویر A شمالی کلی از حوضه مورد مطالعه باموقعیت مارن‌ها و B تصویر بروز رسانی شده ماهواره لندست در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰



شکل ۲. نمایشی از اشکال مختلف فرسایشی مورد مطالعه. A سطحی کم تا متوسط، B سطحی شدید و C آبراهه‌ای

۳-۲. آنالیزهای فیزیکی خاک

درصد اندازه دانه‌ها با استفاده از غربال‌گری و الک تر و درصد رس‌ها با استفاده از هیدرو متری محاسبه گردید. مبنای نام‌گذاری، بر اساس مقیاس اندازه استاندارد رسوبات تخریبی در رسوب‌شناسی ارائه شده توسط Friedman and Sanders (1978) است. شاخص فرسایش‌پذیری (Erosion Index) (Morgan, 1995) با استفاده از رابطه ۱ برای هر یک از نمونه‌های طبقه‌بندی شده (بر اساس اشکال فرسایش) تعیین شد. وزن مخصوص (D) نمونه در هر یک از گروه‌های فرسایش با استفاده از پیکنومتر تعیین و در نهایت با استفاده از انحراف معیار ترسیمی جامع که توسط Folk (1974) ارائه شده (رابطه ۲) جورشدگی گروه‌های مختلف فرسایش با استفاده از نمودارهای توزیع ذرات محاسبه شد.

$$EI = \frac{\%Sand + \%Silt}{\%Clay} \quad (1)$$

$$\sigma I = \frac{0.84 - 0.16}{4} + \frac{0.95 - 0.05}{6.6} \quad (2)$$

در پایان با استفاده از حدود آتبرگ مقاومت خاک در برابر پراکندگی تعیین و متغیرهای اصلی تأثیرگذار روی کاهش و یا افزایش پراکندگی خاک با استفاده از ماتریس‌های همبستگی و جداول میانگین در محیط PASW مشخص شد. برای به‌دست آوردن ارتباط بین متغیرها به منظور تایید نتایج به‌دست آمده از آنالیز عاملی به روش Principal Axis Factoring استفاده گردید.

۳. نتایج و بحث

۳-۱. ویژگی‌های فیزیکی و بافتی مارن‌های مورد مطالعه

جدول ۱ نشان‌دهنده میانگین EI، های σI و D محاسبه شده در اشکال مختلف فرسایش است. همان‌طور که در این جدول

مشاهده می‌شود، حساسیت خاک دارای رابطه مستقیمی با EI است. بدین صورت که در فرسایش S کمترین میزان و در فرسایش آبراهه‌ای بیشترین مقدار را نشان می‌دهد. بیشترین نرخ چگالی (D) مربوط به فرسایش S و سپس S-H و در نهایت کمترین چگالی مربوط به R است. با افزایش σI جورشدگی بدتر (افزایش اختلاف قطر ذرات) می‌شود. همان‌طور که مشاهده می‌شود در تمامی اشکال فرسایشی، جورشدگی بر اساس تقسیم بندی Folk (1974) بین خیلی بد تا بینهایت بد است (جدول ۲). با افزایش σI از شدت فرسایش کاسته شده است (جدول ۱).

محاسبه پراکنش اندازه ذرات

اندازه‌گیری‌های انجام شده در فرسایش سطحی نشان می‌دهد که ذرات گراول، ماسه بسیار دانه درشت، سیلت متوسط و رس به ترتیب ۲۴/۷۷، ۱۰/۷۸، ۱۰/۳۲ و ۱۵/۳۵ درصد از فراوانی را به خود اختصاص داده‌اند. در فرسایش شیاری بیشترین ذرات تشکیل دهنده به رده‌های ماسه ریزدانه، سیلت درشت و سیلت متوسط با فراوانی ۲۳/۵۹، ۱۵/۷۷ و ۱۶/۰۵ اختصاص دارد و در نهایت در فرسایش سطحی شدید بیشترین ذرات تشکیل دهنده عبارت از ماسه ریزدانه، سیلت دانه درشت، سیلت متوسط و رس با فراوانی ۲۲/۴۳، ۱۱/۲۸، ۱۳/۹۱ و ۱۳/۵۹ هستند (جدول ۳). برای درک و تاثیر هر یک از عوامل فوق بر روی گسترش اشکال فرسایش به بررسی متغیرهای فوق پرداخته شده است.

جدول ۱. مشخصه‌های آماری متغیرهای جورشدگی، چگالی و شاخص فرسایش‌پذیری در سه گروه فرسایشی

	Erosion								
	S			H-S			R		
	Min	Mean	Max	Min	Mean	Max	Min	Mean	Max
EI	۱/۶۶	۴/۳۹	۹/۱۰	۳/۵۰	۶/۸۰	۱۰/۱۱	۴/۳۵	۱۰/۷۸	۱۷/۳۹
D	۲/۵۲	۲/۶۵	۲/۶۸	۲/۳۹	۲/۴۹	۲/۶۰	۲/۳۵	۲/۴۳	۲/۶۱
	۶/۳۶	۴/۶۴	۶/۰۳	۲/۹۶	۳/۷۱	۴/۴۶	۲/۷۶	۳/۱۰	۳/۵۳

جدول ۲. طبقه بندی جورشدگی Folk

انحراف معیار (σ)	<۰/۳۵	۰/۵-۰/۳۵	۰/۷۱-۰/۵	۱-۰/۷۱	۲-۱	۴-۲	>۴
جورشدگی	بسیار خوب	خوب	خوب متوسط	متوسط	بد	بسیار بد	بی نهایت بد

جدول ۳. میانگین اندازه دانه‌های رسوبات در اشکال مختلف فرسایش

	Erosion								
	Min	Mean	Max	Min	Mean	Max	Min	Mean	Max
Gravel	۶/۷۱	۲۴/۷۷	۴۴/۱۳	۱/۴۵	۹/۵۴	۱۷/۶۳	۰	۳/۵۳	۴/۱۴
V.C.Sand	۳/۸۷	۱۰/۷۸	۲۹/۸۸	۱/۱۴	۳/۲۶	۵/۰۴	۰	۲/۵۹	۶/۶۲
C.Sand	۱/۶۵	۴/۵۵	۸/۰۲	۱/۶۱	۲/۵۰	۳/۳۸	۰	۳/۳۷	۷/۰۰
M.Sand	۱/۲۸	۳/۷۷	۸/۱۲	۳/۸۳	۷/۱۵	۱۰/۴۷	۰	۸/۷۵	۱۴/۲۱
F.Sand	۰/۹۹	۴/۹۵	۱۷/۲۵	۷/۴۶	۲۲/۴۳	۳۷/۴۰	۰	۲۳/۵۹	۳۸/۹۱
V.F.Sand	۰/۴۶	۲/۷۶	۷/۶۲	۴/۱۷	۷/۴۷	۱۰/۷۷	۰	۷/۸۸	۱۱/۱۳
C.Silt	۳/۷۲	۷/۱۶	۱۴/۲۹	۷/۸۰	۱۱/۲۸	۱۴/۷۶	۵/۸۶	۱۵/۷۷	۳۸/۸۶
M.Silt	۶/۳۷	۱۰/۳۲	۲۰/۵۷	۱۳/۷۲	۱۳/۹۱	۱۴/۱۰	۱۲/۴۸	۱۶/۰۵	۲۹/۹۰
F.Silt	۲/۶۶	۶/۳۱	۱۱/۲۸	۳/۷۸	۴/۲۴	۴/۷۰	۲/۶۶	۵/۰۵	۸/۶۸
V.F.Silt	۲/۲۲	۶/۷۶	۱۴/۰۱	۲/۶۰	۴/۵۹	۶/۵۸	۲/۶۶	۳/۶۹	۴/۸۴
Clay	۶/۸۷	۱۵/۳۵	۲۸/۵۸	۸/۸۷	۱۳/۵۹	۱۸/۳۱	۳/۳۵	۹/۶۶	۱۸/۶۸

محتوای رس

میانگین رس در اشکال فرسایشی S, R, H-S به ترتیب برابر با ۱۵/۳۵، ۹/۶۶ و ۱۳/۲۲ درصد است (جدول ۳). این نسبت در فرسایش S و H-S نرخ بالاتری نسبت به فرسایش R دارد. همان‌طور که در جدول ۴ نشان داده شده است درصد کانی‌های رسی با اندیس‌های EI دارای همبستگی منفی و معنی‌دار است و همچنین با ضرایب σ و D دارای همبستگی معنی‌دار و مثبت است. بنابراین با افزایش نرخ کانی‌های رسی از شدت فرسایش کاسته شده است. (Wakindiki and Ben-hur (2002 معتقد هستند که افزایش ذرات رس پایداری و خاکدانه‌سازی را زیاد می‌کند. آن‌ها بیان داشتند که در خاک محتوای ۲۰٪ رس، ذرات

رس به صورت یک نماینده سیمان‌شدگی عمل می‌کنند و پایداری اگرگات را در برابر افتادن باران افزایش می‌دهند. کانی‌های رسی به مانند سیمان غیر قابل انحلال عمل کرده و مانع از حرکت آسان ذرات منفصل می‌شود. این پدیده در کانی‌های رسی ۱:۱ (فاقد بار الکتریکی لایه‌ای مانند کائولینیت و سرپانتینیت) و کانی‌های رسی ۲:۱ که قابلیت انبساط بین لایه‌ای ندارند (فاقد بار الکتریکی لایه‌ای مانند پیروفیلیت و تالک و یا بار الکتریکی لایه‌ای بالایی دارند مانند ایلیت، میکا، مارگاریت و کلینتونیت)، بیشتر مشهود است، در مقابل در عدم حضور این کانی‌ها، ذرات منفصل به راحتی بر روی یکدیگر حرکت کرده و نرخ رسوبدهی زیادتر می‌شود. بنابراین با جذب سطحی

که باعث افزایش نفوذپذیری می‌شود. فراوانی این ذرات به صورت میانگین در اشکال S برابر است با ۱۷/۷۷ بیشترین و سپس در H-S با ۶/۴ و کمترین میزان مربوط به فرسایش R با ۳/۰۶ است. فراوانی این ذرات با EI دارای همبستگی معکوس و با σ_l و D رابطه مستقیم از خود نشان می‌دهد.

۲-۳. حدود آتربریگ

در خاک‌های ریزدانه و چسبنده درحالت کلی دو حالت حد روانی (LL) و حد خمیری (PL) وجود دارد که با بالا رفتن این حدود مقاومت خاک در برابر پراکنندگی بیشتر می‌شود. این شاخص میزان نیاز آب برای رسیدن رسوبات به حد روانی را اندازه‌گیری می‌کند همچنین این شاخص برای کانی‌های رسی قابل انبساط بسیار حائز اهمیت است. زیرا در کانی‌های رسی ۲:۱ که دارای بار لایه‌ای متوسط هستند در اثر جذب آب و تورم از نرخ نفوذپذیری کاسته و باعث افزایش رواناب و رسوبدهی بیشتر می‌شود. از سوی دیگر با افزایش میزان ذرات سیلت و ماسه ریز که فاقد چسبندگی و بار الکتریکی هستند حساسیت خاک بیشتر می‌شود.

حد روانی (LL)

بیشترین حد روانی مربوط به فرسایش سطحی کم تا متوسط با میانگین ۲۱/۲۰ سپس فرسایش سطحی شدید با ۱۴/۴ و در نهایت کمترین مقاومت مربوط به فرسایش آبراه‌ای با صفر می‌باشد (جدول ۵).

آب باعث افزایش چگالی می‌شوند. افزایش این ذرات باعث بیشتر شدن اختلاف اندازه ذرات و کاهش جورشدگی (افزایش σ_l) نیز می‌شود.

محتوای ماسه ریزدانه، سیلت درشت دانه و سیلت متوسط

بیشترین مقدار میانگین این ذرات برای فرسایش R برابر با ۵۵/۴۱ برای نوع H-S برابر با ۴۷/۶۲ و کمترین مقدار برای S برابر با ۲۲/۴۳ درصد از فراوانی اندازه ذرات است. این ذرات با اندیس EI دارای همبستگی مثبت و معنی‌دار هستند (جدول ۴) همچنین این ذرات به دلیل عدم توانایی جذب آب باعث کاهش D می‌شوند، علاوه بر آن به دلیل نزدیک بودن اندازه ذرات مقدار σ_l کاهش یافته و جورشدگی افزایش می‌یابد. (Lujan (2003) نشان داد که یک ارتباط منفی بین استحکام ساختار و ذرات سیلت و ماسه ریزدانه و ماسه خیلی ریزدانه وجود دارد که این نسبت به چسبندگی کم این ذرات باز می‌گردد. این ذرات منفصل به علت نداشتن چسبندگی، قابلیت حرکت آسان دارند و بنابراین با کمترین میزان رطوبت جابه‌جا می‌شوند، در نتیجه با بالا رفتن این ذرات، حساسیت واحدها در برابر فرسایش بیشتر می‌شود.

محتوای گراول و ماسه بسیار دانه درشت

ذرات گراول و ماسه بسیار درشت به دلیل داشتن اندازه بزرگ‌تر و وزن بیشتر نسبت به سایر رسوبات، در برابر فرسایش آبی مقاومت بیشتری دارند. این رسوبات باعث کاهش سرعت رواناب و در پی آن کاهش شدت فرسایش می‌شوند. از سوی دیگر در بین این ذرات فضاهای خالی زیادی وجود دارد

جدول ۴. رابطه همبستگی بین متغیرهای اصلی و متغیرهای وابسته محاسبه شده با استفاده از روش پیرسون

	EI		D		Pearson Correlation	Sig. (2-tailed)
	Pearson Correlation	Sig. (2-tailed)	Pearson Correlation	Sig. (2-tailed)		
Gravel+VCSand	** -۰/۵۶۲	۰/۰۰۵	** ۰/۷۰۱	.	** ۰/۷۸۷	.
FSand+CSilt+MSilt	** ۰/۶۷۰	.	** -۰/۷۷۲	.	** -۰/۸۸۶	.
Clay	** -۰/۸۳۸	.	* ۰/۵۲۰	۰/۰۱۱	** ۰/۶۶۳	۰/۰۰۱

** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

* Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

پراکندگی از متغیرهای اصلی که دارای بیشترین ضریب همبستگی با حدود آتبرگ هستند استفاده شد. از این رو با استفاده از رگرسیون خطی، فرمول پیشگو کننده حدود آتبرگ با استفاده از متغیرهای اصلی به دست آمد (جدول ۷). همان‌طور که در جدول مشاهده می‌شود متغیرهای مورد استفاده در سطح بالایی معنی‌دار هستند. در جدول ۸ ضریب همبستگی چندگانه (R) نشان‌دهنده ضریب همبستگی خطی بین مشاهده و میزان مدل پیشگوکننده برای عوامل وابسته است. هرچه میزان این عدد بالاتر باشد رابطه قوی‌تری وجود دارد. همان‌طور که مشاهده می‌شود این ضریب در سطح بالای ۰/۹۱۷ است که نشان‌دهنده دقت داده‌های انتخابی است. همان‌طور که در این جدول مشاهده می‌شود خطای تخمین‌زده شده تنها ۴/۱۶ درصد می‌باشد که از نظر آماری خطای قابل قبولی است.

حد خمیری (PL)

متوسط حد خمیری برای اشکال فرسایش S, R, H-S به ترتیب برابر با ۸/۰۹، ۴/۳۷، ۰ است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در فرسایش آبراهه‌ای این میزان به کمترین حد خود یعنی صفر رسیده است (جدول ۵). به هر حال، همان‌طور که در جدول ۶ مشاهده می‌شود، با افزایش σ_l (کاهش جورشدگی)، D (چگالی) و رس، مقاومت خاک در برابر پراکندگی افزایش پیدا می‌کند. همچنین با افزایش EI، F.Sand و M.Silt مقاومت خاک در برابر پراکندگی کاهش پیدا می‌کند؛ و در نهایت تغییرات C.Silt تأثیری بر روی حدود آتبرگ ندارد. با توجه به این موضوع که متغیرهای σ_l ، D و EI از نوع متغیرهای وابسته هستند، برای بدست آوردن فرمول‌های پیشگوکننده مقاومت خاک در برابر

جدول ۵. میانگین حدود آتبرگ در سه شکل فرسایشی مورد مطالعه

	Erosion								
	S			H-S			R		
	Min	Mean	Max	Min	Mean	Max	Min	Mean	Max
LL	۰	۲۱/۲۰	۳۰/۴۶	۰	۱۴/۴۰	۲۸/۸۰	۰	۰	۰
PL	۰	۱۳/۱۱	۲۱/۲۲	۰	۱۰/۰۳	۲۰/۰۶	۰	۰	۰

جدول ۶. بررسی رابطه همبستگی بین متغیرهای اصلی و متغیرهای وابسته با حدود آتبرگ

	LL		PL	
	Pearson Correlation	Sig. (2-tailed)	Pearson Correlation	Sig. (2-tailed)
F.Sand	** -۰/۷۱۵	۰	** -۰/۷۲۸	۰
C.Silt	-۰/۳۶۴	۰/۰۸۸	-۰/۳۸۷	۰/۰۶۸
M.Silt	* -۰/۴۶۱	۰/۰۲۷	** -۰/۶۲۴	۰/۰۰۱
Clay	* ۰/۵۱۶	۰/۰۱۲	** ۰/۶۶۸	۰/۰۰۱
D	** ۰/۷۵۱	۰	** ۰/۶۷۲	۰
EI	** -۰/۶۷۸	۰	** -۰/۷۳۰	۰
	** ۰/۷۴۲	۰	** ۰/۸۳۲	۰

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

* . Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

جدول ۷. متغیرهای استفاده شده برای به دست آوردن فرمول‌های پیشگو کننده با دقت بالا a

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
(Constant)	۱۳/۴۶۱	۳/۸۴۳		۳/۵۰۳	۰/۰۰۲
1 F.Sand	-۰/۲۳۸	۰/۰۹۳	-۰/۳۲۰	-۲/۵۷۰	۰/۰۱۹
M.Silt	-۰/۹۱۰	۰/۱۶۹	-۰/۵۱۴	-۵/۳۷۱	۰
Clay	۰/۷۱۰	۰/۱۹۹	۰/۴۳۰	۳/۵۷۳	۰/۰۰۲

a. Dependent Variable: PL

جدول ۸. بررسی کیفیت متغیرهای مورد استفاده در رگرسیون خطی b

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	^a ۰/۹۱۷	۰/۸۴۱	۰/۸۱۵	۴/۱۶

a. Predictors: (Constant), Clay, M.Silt, F.Sand

b. Dependent Variable: PL

Bartlett's و Measure of Sampling Adequacy(KMO)

Test of Sphericity مورد سنجش قرار می‌دهد (جدول ۹).

در آزمون KMO اگر عدد به دست آمده، ارزش پایین‌تر از ۵ درصد ($\text{Sig} < 0/05$) باشد، نتایج به دست آمده از آنالیز عاملی احتمالاً فاقد ارزش است و هرچه به ۱ نزدیک باشد متغیرهای استفاده شده دقیق‌تر می‌باشد (Kim and Mueller, 1978). و Bartlett's Test of Sphericity شامل آزمون فرضیه صفر با استفاده از ماتریس همبستگی است. ارزش کم (کوچک‌تر از ۵ درصد) نشان‌دهنده آن است که آنالیز موردی ممکن است برای داده‌ها مفید باشد. آزمون‌های فوق نشان‌دهنده آن هستند که متغیرهای مورد استفاده برای این آزمون بسیار دقیق می‌باشند (Norusis, 2004).

جدول ۱۰ نشان‌دهنده ضرایب هر یک از متغیرهای اصلی و وابسته در مشخصه انتخابی توسط مدل بعد از چرخش با استفاده از روش Varimax است.

در شکل ۳ موقعیت هر یک از متغیرها با استفاده از جدول ۱۰ مشاهده می‌شود. در این شکل متغیرهای کنترل‌کننده و تشدیدکننده فرسایش کاملاً جدا از یکدیگر قرار گرفته‌اند. به عبارت دیگر متغیرهایی مانند EI، M.Silt و F.Sand که به عنوان متغیرهای تشدیدکننده فرسایش تعیین شده‌اند، دارای ضریب منفی و کاملاً جدا از متغیرهای کاهش‌دهنده فرسایش هستند.

مشابه همین روند نیز برای متغیر LL انجام شد و رابطه ۴ به دست آمد. با جایگزینی اعداد در رابطه زیر نتایج به دست آمده تا حدودی مشابه به موارد اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه برای متغیرهای PL و LL می‌باشد. بنابراین فرمول‌های به دست آمده دارای مقادیر قابل قبولی می‌باشد.

(۳)

$$PL = 13.461 - 0.238 F. Sand - 0.910 M. Silt + 0.710 Clay$$

(۴)

$$LL = 25.245 - 0.543 F. Sand - 0.750 M. Silt + 0.341 Clay$$

۴. آنالیز عاملی (Factor Analysis)

در روش Principal Axis Factoring استخراج داده‌ها با استفاده از ماتریس‌های همبستگی اصلی صورت می‌پذیرد. که در این روش با قرار دادن مربعات چندگانه ضرایب همبستگی به صورت قطری، تخمین اولیه و دقیقی از اشتراک داده‌ها در اختیار قرار می‌دهد. به بیان ساده‌تر این مدل روابط بین متغیرها را مورد آزمون قرار می‌دهد.

این روش در ابتدا میزان سازگاری متغیرهای استفاده شده در مدل را با استفاده از دو آزمون Kaiser-Meyer-Olkin

جدول ۹. آزمون KMO and Bartlett's

Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy (KMO)		۰/۷۴۸
Approx. Chi-Square		۱۵۶/۵۵
Bartlett's Test of Sphericity	df	۲۸
	Sig.	۰

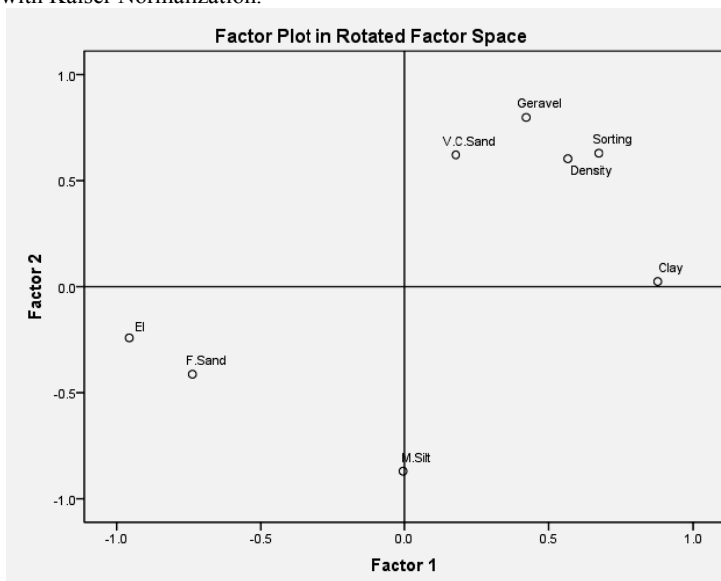
جدول ۱۰. ارتباط متغیرهای اصلی و وابسته با استخراج داده‌ها با روش Principal Axis Factoring و چرخش ماتریکس

داده‌ها با استفاده از روش Varimax

Factor	EI	Density	Sorting	Clay	M.Silt	F.Sand	V.C.Sand	Geravel
1	۰/۹۵۷-	۰/۵۶۶	۰/۶۷۴	۰/۸۷۸	-۰/۰۰۵	-۰/۷۳۵	۰/۱۷۹	۰/۴۲۲
2	۰/۲۴۱-	۰/۶۰۳	۰/۶۲۹	۰/۰۲۴	-۰/۸۷۰	-۰/۴۱۳	۰/۶۲۱	۰/۷۹۸

Extraction Method: Principal Axis Factoring.

Rotation Method: Varimax with Kaiser Normalization.



شکل ۳. ارتباط فاکتورهای اصلی و وابسته کنترل کننده و تشدید کننده فرسایش با یکدیگر با استفاده از روش Principal Axis

Factoring و چرخش به روش Varimax

۵. نتیجه‌گیری

عامل اول باعث کاهش فرسایش شده است. از طرف دیگر بالا بودن مجموع درصد گراول و ماسه بسیار درشت باعث افزایش نفوذپذیری و کاهش جورشدگی می‌شود. از عوامل مؤثر در افزایش فرسایش می‌توان به ماسه دانه‌ریز و سیلت متوسط اشاره کرد. فراوانی این ذرات در شکل فرسایش شیاری باعث کاهش مقاومت مکانیکی خاک، بهتر شدن جورشدگی و افزایش EI می‌شود. این ذرات از لحاظ بار الکتریکی خنثی بوده و به راحتی جابجا می‌شوند. بنابراین در این تحقیق اصلی‌ترین متغیرهای اصلی در افزایش فرسایش ماسه ریزدانه و سیلت متوسط تعیین شده و متناظر با آن رس به عنوان یکی از تأثیرگذارترین متغیرها در کاهش فرسایش تعیین شده است. در نهایت با استفاده از آنالیز عاملی با روش Principal Axis Factoring می‌توان ارتباط بین متغیرهای مورد مطالعه را با دقت بالایی شناسایی نمود.

از جمله متغیرهای وابسته که باعث کاهش شدت رسوبدهی می‌شود می‌توان به D و σ_l اشاره کرد. با افزایش چگالی و کاهش جورشدگی (افزایش σ_l) از شدت فرسایش کاسته می‌شود. از متغیرهای اصلی کاهنده می‌توان به فراوانی گراول، ماسه بسیار دانه‌درشت و رس اشاره کرد. در این میان در خاک‌های ریزدانه که درصد گراول و ماسه بسیار دانه‌درشت کم است کانی‌های رسی باعث کاهش چشم‌گیر فرسایش شده‌اند. بالا بودن درصد رس در فرسایش سطحی شدید مانع از پیشرفت فرسایش و تبدیل آن به فرسایش شیاری می‌شوند، زیرا کانی‌های رسی دو عمل مهم در کم کردن فرسایش انجام می‌دهند. ۱- با جذب سطحی آب باعث افزایش چگالی و چسبندگی بیشتر می‌شوند و بدین صورت مانع از حرکت آزادانه ذرات دانه‌ریز خاک در حد سیلت می‌شوند. ۲- این ذرات مستقیماً باعث بد شدن جورشدگی شده که با توجه به

منابع

- پور کرمان، م. طالی، آ. چرخایی، ا. ح. پیروان، ح. ر. هاشمی، ع. ا. ۱۳۹۰. بارزسازی الگوهای فرسایشی با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای (مطالعه موردی مارن‌های حوضه سرخه). سنجش از دور و GIS ایران، در دست داوری.
- پیروان، ح. ر. حسن‌زاده نفوتی، م. ۱۳۸۶. نقش عوامل فیزیکوشیمیایی مؤثر بر اشکال فرسایش در پهنه‌های مارنی، پنجمین همایش ملی زمین‌شناسی مهندسی و محیط‌زیست ایران. پژوهشکده سوانح طبیعی تهران.
- سازمان زمین‌شناسی، ۱۳۷۳. نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ استان سمنان.
- قدوسی، ج. داوری، م. ۱۳۸۴. تأثیر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در رخداد فرسایش خندقی و مورفولوژی خندق‌ها، سومین همایش ملی فرسایش و رسوب. مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری کشور- تهران.
- واعظی، ع. ر. ۱۳۸۴. بررسی اثر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک بر فرسایش‌پذیری در خاک‌های کشاورزی. سومین همایش ملی فرسایش و رسوب. مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری کشور- تهران.
- Benito, G., Gutierrez M. and Sancho, C., 1991. Erosion pattern in rill and interrill areas in badland zones of the middle Ebro Basin (NE-Spain). *Soil Erosion Studies in Spain*, 41-54.
- Descroix, L., Viramontes, D., Vauclin, M., Gonzalez Barrios, J.L., Esteves, M., 2001. Influence of soil surface features and vegetation on runoff and erosion in the Western Sierra Madre (Durango, Northwest Mexico). *Catena* 43, 115-135.
- Duiker, S.W., Flanagan, D.C., Lal, R., 2001. Erodibility and infiltration characteristics of five major soils of southwest Spain. *Catena* 45: 103-121.
- Ekwue, E.I., Harrilal, A., (2010) Effect of soil type, peat, slope, compaction effort and their interactions on infiltration, runoff and raindrop erosion of some Trinidadian soils. *Biosystems Engineering*, 105: 112-118.
- Friedman, G.M., Sanders, J.E., 1978. *Principles of sedimentology*. John Wiley and Sons, Inc., New York.
- Folk, R.L., 1974, *Petrology of sedimentary Rock*. Hemphill Publishing Co., Austin, Texas, 182P.
- Idowu, O.J., 2003. Relationships between aggregate stability and selected soil properties in humid tropical environment. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 34: 695-708.
- Kim, J., and Mueller, C.W., 1978. *Factor Analysis: Statistical Methods and Practical Issues*. Beverly Hills and London, Sage Publications.
- Lujan, D. L., 2003. *Soil Physical Properties Affecting Soil Erosion in Tropical Soils*. Universidad Central de Venezuela, Maracay, Venezuela, Lecture given at the College on Soil Physics.
- Maquaire, O., Malet, J.P., Remaitre, A., Locat, J., Klotz, S., Guillon, J., 2003. Instability conditions of Marlyhillslopes: towards landsliding or gullyng? The case of the Barcelonnette Basin, South East France. *Engineering Geology*, 70: 109-130.
- Morgan, R.P.C., 1995. *Soil Erosion and Conservation*, 2nd ed. Longman Group, Essex, UK.
- Morgan, R.P.C., 2005. *Soil and water conservation*. Blackwell, 3rd edition.
- Norusis, M., 2004. *SPSS13.0 Statistical Procedures Companion*. Upper Saddle-River, N.J. Prentice Hall, Inc.
- Pimentel, D., Harvey, C., Resosudarmo, P., Sinclair, K., Kurz, D., Mcnair, M., Crist, S., Shpritz, L., Fitton, L., Saffouri, R., Blair, R., 1995. Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits. *Science*, 267: 117-1121.
- Vahabi, J., Nikkani, D., 2008. Assessing dominant factors affecting soil erosion using a portable rainfall simulator. *International Journal of Sediment Research*, 23: 376-386.
- Wakindiki, I.I.C., Ben-hur, M., 2002. Soil mineralogy and texture effects on crust micromorphology, infiltration and erosion. *Soil Science Society of America Journal*, 66: 597-605.
- Ward, T.J., Bolton, S.M., 1991. Hydrology parameters for selected in Arizona and New Mexico as determined by rainfall simulation. New Mexico Water Resources Research Institute, NMSU, Box 30001, MSC 3167, Las Cruces, NM 88003, Available in: <http://wrri.nmsu.edu/publish/order.html>.