

## رابطه بین حدود آتربرگ و ضریب فرسایش بین شیاری در مناطق نیمه خشک استان آذربایجان شرقی

عباس احمدی<sup>۱\*</sup>، الهام طلایی<sup>۲</sup> و رضا سکوتی اسکویی<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۹۰/۱۲/۰۳ تاریخ پذیرش: ۹۲/۰۵/۰۶

<sup>۱</sup> استادیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

<sup>۲</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز

<sup>۳</sup> استادیار پژوهشی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان غربی

\* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: a\_ahmadi@tabrizu.ac.ir

### چکیده

حدود آتربرگ شاخص‌های رطوبتی از خاک می‌باشند که قوام خاک را در حالت‌های مختلف رطوبتی نشان می‌دهند. تحقیق حاضر برای بررسی رابطه فرسایش بین شیاری و حدود آتربرگ در برخی خاک‌های استان انجام شد. برای این منظور ۲۶ نمونه با تفرق بالای ویژگی‌های خاک از چهار منطقه استان آذربایجان شرقی جمع‌آوری و برخی ویژگی‌های آن‌ها از جمله توزیع اندازه ذرات رس و سیلت به روش هیدرومتری و توزیع اندازه ذرات بخش شن به روش الک کردن، و حدود آتربرگ با استفاده از روش استاندارد ASTM (حد روانی خاک به وسیله دستگاه کاساگراند و حد خمیرایی خاک توسط روش فیتیله نواری) تعیین گردید. ضریب فرسایش‌پذیری بین‌شیاری خاک با استفاده از دستگاه شبیه‌ساز باران که دارای فلوم شیب‌پذیر به ابعاد ۰/۵×۱/۰ متر بود در شیب ۹٪ و در سه شدت بارندگی مصنوعی ۲۰، ۳۷ و ۴۷ میلی‌متر بر ساعت تعیین گردید. نتایج نشان داد که اثر شدت‌های مختلف بارندگی بر ضریب فرسایش‌پذیری بین‌شیاری خاک معنی‌دار نبود ( $p > 0/05$ ). رابطه ضریب فرسایش‌پذیری بین شیاری ( $K_i$ ) با حدود آتربرگ و نیز سایر ویژگی‌های اندازه‌گیری شده خاک توسط نرم‌افزار STATISTICA و به روش رگرسیون گام به گام مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت و متغیرهای SAR، pH، مقدار مواد آلی و رس خاک در مجموع ۷۵٪ از تغییرات  $K_i$  را توجیه کردند. همچنین، با افزایش میزان مواد آلی و رس خاک حدود آتربرگ نیز افزایش یافت. به‌طور کلی نتایج نشان داد که حدود آتربرگ نمی‌تواند تخمینگر مناسبی برای برآورد ضریب فرسایش‌پذیری بین شیاری ( $K_i$ ) باشد.

واژه‌های کلیدی: تخمین فرسایش خاک، حد خمیرایی، حد روانی، شاخص خمیرایی

## Relation between Atterberg Limits and Interrill Erodibility of Semi-arid Area in East Azerbaijan Province

A Ahmadi<sup>1\*</sup>, E Talaie<sup>2</sup> and R Soukoti Oskoui<sup>3</sup>

Received: 22 February 2012 Accepted: 28 July 2013

<sup>1</sup>-Assist. Prof., of Soil Sci. Dept., Agric. Faculty, Univ. of Tabriz, Iran

<sup>2</sup>-M.Sc. Student of Islamic Azad Univ. Tabriz Branch, Iran

<sup>3</sup>-Assist. Prof., of Agric. and Natural Resources Research Center of West Azerbaijan. Iran

\* Corresponding Author Email: a\_ahmadi@tabrizu.ac.ir

### Abstract

Atterberg limits are indicators of soil moisture that show consistency of soil at various states. This study was conducted to investigate the relationship between interrill erodibility and soil Atterberg limits. For this reason 26 soil samples with contrasting properties were collected from four regions of East Azerbaijan province. The sand, silt and clay fractions were determined by the combined sieve- hydrometer method. Atterberg limits were determined according to the standard ASTM method (by Casagrande and hand rolling methods). A rainfall simulator with drainable tilting flume (1×0.5 m) at slope of 9% was employed and interrill erodibility coefficient of the soil ( $K_i$ ) was calculated at 20, 37, and 47 mm/h rainfall intensities. Results showed that the effect of rainfall intensity on soil interrill erodibility coefficient was insignificant ( $P>0.05$ ). Regression relations between  $K_i$  and Atterberg limits and other soil properties were developed by STATISTICA software.  $K_i$  was estimated using clay, soil organic matter (SOM), sodium adsorption ratio (SAR) and pH as predictors and this regression model could explain 75% of the variance in  $K_i$ . Results also showed that there was a direct positive relationship between Atterberg limits and SOM and clay content of the soil. According to the results, the Atterberg limits couldn't be a suitable predictor for estimating the interrill erodibility coefficient of the soils.

**Keywords:** Liquid limit, Plasticity index, Plasticity limit, Soil erosion estimation

### مقدمه

مختلف دنیا می‌باشد و حدود ۱۰۹۳ میلیون هکتار از اراضی جهان در اثر فرسایش آبی تخریب شده است. فرسایش خاک در آغاز منجر به تشکیل شیار و در ادامه باعث ایجاد خندق خواهد شد که این عمل منجر به شستشوی خاک سطحی، مواد آلی و در نهایت کاهش حاصلخیزی خاک خواهد شد (هائِن و همکاران ۲۰۰۸،

فرسایش خاک و پیامدهای ناشی از آن امروزه یکی از مهمترین مشکلات زیست محیطی به شمار می‌رود (اکو و همکاران ۲۰۰۹) به طوری که سوبرامانیام و چیناپا (۲۰۰۲) معتقدند که فرسایش آبی، یکی از مهمترین عوامل موثر در تخریب اراضی در مناطق

در خاک‌هایی که منشاء آتشفشانی دارند و یا خاک‌هایی که دارای مواد آلی زیاد هستند در این خاک‌ها حد روانی بالاتر از ۱۰۰ درصد نیز گزارش شده است. وی همچنین بیان نمود که خمیرایی خصوصیتی از خاک است که به توده خاک اجازه می‌دهد سریعاً تغییر شکل یابد، بدون آنکه از هم گسیخته شده یا حجم آن تغییر نماید. بعلاوه این تغییر شکل حالت الاستیک یا ارتجاعی هم نخواهد داشت. این ویژگی بیشتر مختص رس‌ها به ویژه رس‌های مونت موریلونایت می‌باشد.

حاجاجی، (۲۰۱۰) گزارش نموده است که عوامل زیادی بر رفتار خمیرایی رس‌ها اثر می‌گذارد و برخی از این عوامل عبارتند از: ترکیب کانی‌شناسی ذرات خاک، توزیع اندازه ذرات، نوع واکنش‌های بین رس‌ها و آب و نمک‌های حل شده محلول در آن، و مواد سیمانی کننده خاک‌دانه‌ها. احمدی و همکاران (۲۰۱۲) بیان کرده‌اند که میزان رس و مواد آلی به عنوان دو عامل مهم سیمانی کننده خاک‌دانه‌ها در مناطق نیمه خشک، نقش بسزایی در میزان حدود آتربرگ دارا می‌باشند و با استفاده از دو ویژگی فوق می‌توان حدود آتربرگ را برآورد نمود.

رحیمی (۱۳۸۴) گزارش کرده است که خمیرایی خاک در اثر وجود ذرات بسیار نازک پولکی شکل که دارای بار الکتریکی هستند، حاصل می‌شود. برطبق این نظریه ذره آب که خود یک الکترولیت دو قطبی است از طرف قطب مثبت خود جذب سطح خاکی که دارای بار منفی است شده و به این ترتیب یک لایه آب در اطراف ذره خاک تشکیل می‌گردد. حاجاجی (۲۰۱۰) بیان کرده است که بیشترین حد خمیرایی را خاک‌هایی دارند که کانی غالب آن‌ها اسمکتایت باشد.

شاخص خمیرایی ارتباط پیچیده‌ای با استحکام و رفتار خاک‌ها در مقابل عوامل مختلف فرساینده دارد. شرارد (۱۹۵۳) اظهار کرده است که شاخص خمیرایی ارتباط نزدیکی با استحکام خاک ندارد و سدهای خاکی که مصالح آن‌ها شاخص خمیرایی کمتر از ۵۰٪ دارند، مستعد تخریب هستند. اما رینکز و همکاران (۲۰۰۰) اظهار کرده‌اند که خاک‌هایی که شاخص خمیرایی بالایی دارند، بافت آن‌ها بیشتر از نوع رسی و رس غالب آن‌ها از نوع رس اسمکتایت می‌باشد. در این خاک‌ها سرعت

کلارستاقی (۲۰۰۹). فرسایش بین شیاری نمونه‌ای از فرسایش خاک می‌باشد، که فرسایش سطح زمین، مابین شیاریها را شامل می‌شود و در واقع نوعی از فرسایش ورقه‌ای می‌باشد (رفاهی ۱۳۸۸).

فرسایش بین شیاری حرکت لایه‌ای، خاک است که اکثراً در مناطق نسبتاً کوچک و همچنین در مناطق نسبتاً وسیع در بین شیاریها رخ می‌دهد و عامل اصلی ایجاد آن برخورد قطرات باران است. سپس ذرات جدا شده توسط قطرات باران به وسیله رواناب انتقال می‌یابند. توانایی حمل ذرات در فرسایش بین شیاری اندک است زیرا سرعت جریان کم می‌باشد (یانگ و ویرسما ۱۹۷۳).

شدت ریزش باران، پستی و بلندی و ویژگی‌های خاک از مهمترین عوامل کنترل کننده فرسایش پذیری بین شیاری هستند (مک کول و رنارد ۱۹۹۰). ویشمایر و اسمیت (۱۹۷۸) عواملی که بر روی این فرآیند یعنی فرسایش بین شیاری مؤثر هستند را شدت بارش و انرژی جنبشی باران، سرعت نفوذ آبشویی و شرایط سطحی خاک مثل رطوبت خاک، زبری پوشش گیاهی و میزان شیب خاک معرفی نمودند.

از خصوصیات رطوبتی خاک که با استحکام و مقاومت خاک در مقابل فرسایش ارتباط دارد، حدود آتربرگ خاک می‌باشد (برزگر ۱۳۸۳). حد خمیرایی، حد روانی و شاخص خمیرایی می‌تواند پایداری خاک‌دانه‌ها را در برابر پراکنش و نیز مقاومت خاک در برابر جریان یافتن را نشان دهد (رمضانپور ۲۰۱۰). برزگر (۱۳۸۳) به نقل از جفرسون و روگرز (۱۹۹۸) حدود آتربرگ را به عنوان شاخصی مناسب برای نشان دادن تغییر رفتار خاک‌ها بیان نمود. حدود آتربرگ کاربرد زیادی در برآورد شاخص‌های مهندسی، نظیر مقاومت برشی، تراکم پذیری، آماس پذیری و سطح ویژه دارد. مهمترین شاخص‌های این حدود شامل حد روانی، حد خمیرایی و شاخص خمیرایی می‌باشد.

حد روانی به نوع و میزان رس خاک نیز بستگی دارد، به طوری که رحیمی (۱۳۸۴) اظهار کرده است که حد روانی در خاک‌های رسی غیر آلی به ندرت ممکن است از ۱۰۰ درصد بیشتر باشد و این در حالی است که

برای تعیین ویژگی‌های خاک مقداری از خاک (حدود ۲ کیلوگرم) به آزمایشگاه منتقل شده و اندازه‌گیری خصوصیات فیزیکی شامل تعیین بافت به روش هیدرومتر (گی و اور ۲۰۱۲)، تعیین درصد رطوبت اشباع (تاپ و فرر ۲۰۰۲) انجام گرفت. اندازه‌گیری خصوصیات شیمیایی شامل، اندازه‌گیری درصد گچ به روش (نلسون ۱۹۸۲)، درصد کربنات کلسیم (نلسون ۱۹۸۲)، قابلیت هدایت الکتریکی عصاره‌ی اشباع (جکسون ۱۹۵۸)، میزان ماده آلی (نلسون و سامرز ۱۹۸۲)، ظرفیت تبادل کاتیونی به روش استات سدیم در  $pH=8.5$  (باور و همکاران ۱۹۵۲) صورت پذیرفت.

برای تعیین حد روانی خاک قسمتی از خاک از الک  $0.425$  میلی‌متری گذرانده شد سپس خاک رد شده با مقداری آب مخلوط شده تا آنکه خمیر نرم و یکنواختی حاصل شود. بعد از ۲۴ ساعت مقداری از این خمیر در داخل کاسه برنجی دستگاه کاساگراند قرار داده شده و بعد از انجام آزمایش وبه روش سه نقطه‌ای رطوبت حالت حد روانی برای هر خاک تعیین گردید (بی‌نام<sup>۱</sup> ۲۰۱۰).

برای تعیین حد خمیریایی خاک ۲۰ گرم خاک را از الک  $0.425$  میلی‌متری عبور داده و به آن مقداری آب مقطر اضافه گردید تا به حالت خمیر در آید. سپس یک نمونه ۸ گرمی از خاک را برداشته و به کمک دست فیتیله‌ای به قطر ۳ میلی‌متر درست گردید. رطوبت فیتیله با ورز دادن آن به حدی کاهش داده شد که فیتیله شروع به خود خرد شدن کرد در این حالت قسمتی از فیتیله را برداشته و بعد از آون خشک کردن درصد جرمی رطوبت حالت حد خمیریایی محاسبه گردید (بی‌نام ۲۰۱۰) و در نهایت شاخص خمیریایی خاک نیز از تفاضل حد روانی از حد خمیریایی خاک محاسبه شد.

نمونه‌های خاک هوا خشک عبور داده شده از الک  $4/75$  میلی‌متر در سینی شیب‌پذیر دستگاه شبیه‌ساز باران که دارای پلاتی به ابعاد  $0.5 \times 1$  متر ریخته شده و از زیر به صورت تدریجی اشباع گردید. پس از ۲۴ ساعت سینی برای شیب ۹ درصد تنظیم باران‌هایی با شدت بارندگی

نفوذ کاهش می‌یابد و بنابراین هدر رفت خاک در آن‌ها بیشتر اتفاق می‌افتد. جندقی و همکاران (۱۳۸۲) اظهار داشته‌اند که خاک‌هایی که ذرات آن‌ها، دارای زاویه اصطکاک داخلی زیاد و نیروی چسبندگی کمی هستند این گونه خاک‌ها دارای شاخص خمیریایی اندکی بوده و در مناطق شیب‌دار ناپایدار بوده و بر اثر تاثیر عوامل محرک گسیختگی دامنه و زمین لغزه زودتر ایجاد می‌گردد.

با توجه به مطالب بالا، تحقیق حاضر به منظور بررسی رابطه فرسایش‌پذیری بین شیباری با حدود آتربرگ و سایر ویژگی‌های خاک صورت پذیرفت.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

استان آذربایجان شرقی با مساحت ۴۵۴۹۱ کیلومترمربع در شمال غرب ایران مابین عرض جغرافیایی  $26^{\circ} 39' - 45^{\circ} 36'$  و طول جغرافیایی  $48^{\circ} 22' - 05^{\circ} 45'$  قرار دارد. این استان دارای آب و هوای سرد کوهستانی بوده و کل محدوده استان را کوه‌ها و ارتفاعات تشکیل داده‌اند. این استان محل اتصال دو رشته کوه مهم و اصلی کوه‌های ایران، یعنی البرز و زاگرس است و بلندترین نقطه آن، قله کوه سهند است. طبق آمار ۴۳ ساله در نقاط مختلف استان میانگین بارندگی سالانه از ۲۵۴ تا ۴۵۲ میلی‌متر و میانگین دما از  $7/6$  تا  $12/7$  درجه سلسیوس متغیر است.

### مطالعات صحرائی و آزمایشگاهی

به منظور انجام تحقیق ابتدا با بررسی نقشه خاک استان، مناطقی را که دارای اطلاعاتی کافی راجع به ویژگی‌های خاک استان آذربایجان شرقی بود انتخاب گردید و از این مناطق ۲۶ نمونه خاک که دارای کلاس‌های بافت متفاوت بوده و یا دارای ویژگی بارز دیگر از جمله مقدار مواد آلی، آهک، گچ یا شوری متفاوت بود انتخاب و از افق سطحی A و یا عمق شخم، نمونه‌برداری گردید. نمونه‌های خاک به آزمایشگاه انتقال یافت و بعد از هوا خشک کردن از الک  $4/75$  میلی‌متر عبور داده و برای آزمایش‌های شبیه‌سازی باران و اندازه‌گیری سایر ویژگی‌های خاک نگهداری شد.

<sup>1</sup> Anonymous

هر یک از نمونه های خاک، نتایج حاصل با استفاده از نرم افزار STATISTICA ابتدا نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف اسمیرنوف بررسی و تفاوت بین ضرایب فرسایش پذیری بین شیاری خاک در شدت‌های مختلف بارندگی با استفاده از آزمون T-استیودنت مورد مقایسه آماری قرار گرفت. در نهایت رابطه بین ضریب فرسایش پذیری و سایر ویژگی‌های خاک با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون و روش رگرسیون گام به گام مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت. دقت معادله رگرسیونی ارایه شده برای برآورد ضریب فرسایش‌پذیری بین شیاری از روی سایر خصوصیات خاک با استفاده از معیارهای ضریب تبیین  $(R^2)$ ، ضریب تبیین تصحیح شده  $(R^2_{adj})$ ، میانگین مطلق خطا<sup>۱</sup> (MAE) و میانگین اریبی خطا<sup>۲</sup> (MBE) ارزیابی گردید (تانی و همکاران ۲۰۰۸).

## نتایج و بحث

### ویژگی‌های خاک‌های مورد مطالعه

محدوده میانگین، انحراف معیار و ضریب تغییرات ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در جدول ۱ آمده است. خاک‌های مورد استفاده از لحاظ بافت، میزان ماده آلی و نیز سایر ویژگی‌ها دارای ضریب تغییرات بالایی بودند، به طوری که به عنوان نمونه ضریب تغییرات در پارامترهای EC، SAR، OM به ترتیب برابر ۱۰۲/۹۵، ۱۲۵/۲۳، ۷۰/۷۹٪ بود. این موضوع نشان دهنده تنوع زیاد ویژگی‌های اندازه‌گیری شده در خاک‌های مورد مطالعه می‌باشد. شکل ۱ نیز که توزیع کلاس بافت خاک‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد، نیز موید همین مسئله است.

جدول ۲ میانگین مقادیر ضریب فرسایش‌پذیری بین شیاری اندازه‌گیری شده خاک‌ها در شدت‌های بارندگی ۲۰، ۳۷ و ۴۷ میلی‌متر بر ساعت را نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که مقادیر اندازه‌گیری شده در شدت‌های مختلف تفاوت معنی‌داری با هم ندارند. این

۲۰، ۳۷ و ۴۷ میلی‌متر بر ساعت به مدت ۹۰ دقیقه بر نمونه‌های خاک اعمال شد. با توجه به انتخاب ۲۶ نوع خاک و ۳ شدت بارندگی در مجموع ۷۸ بار شبیه‌سازی باران صورت گرفت.

جهت تعیین شدت تولید رواناب و فرسایش بین شیاری خاک رواناب حاصل از بارندگی در فواصل زمانی مختلف و به طور پیوسته (حدود یک دقیقه در شروع تولید رواناب تا ۱۵ دقیقه در انتهای آزمایش) پشت سر هم در ظروفی به طور جداگانه جمع‌آوری شد. غلظت رسوب در رواناب با جدا کردن مواد جامد از آن و خشک کردن آن در دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس در مدت ۲۴ ساعت تعیین گردید.

شدت فرسایش بین شیاری ( $D_i$ ) از تقسیم نمودن جرم مواد جامد بر جای مانده از هر حجم رواناب بر فاصله زمانی جمع‌آوری نمونه و بر واحد سطح سینی محاسبه گردید. شدت تولید رواناب ( $\sigma_{ir}$ ) از تقسیم کردن حجم رواناب جمع‌آوری شده بر مدت زمان جمع‌آوری نمونه و سطح مقطع سینی تعیین گردید. بدین ترتیب داده‌های مورد نیاز برای محاسبه ضریب فرسایش پذیری بین به عنوان تابعی از زمان در طول مدت بارش به دست آمد و ضریب فرسایش پذیری بین شیاری  $K_i$  بر حسب  $kg.s/m^4$  از رابطه زیر محاسبه شد:

$$K_i = \frac{D_i}{I_e \sigma_{ir} S_f} \quad [1]$$

در این معادله  $D_i$ ، شدت فرسایش بین شیاری بر حسب  $kg/m^2.s$ ،  $\sigma_{ir}$ ، شدت تولید رواناب بر حسب  $m/s$  در حالت پایدار تولید رسوب  $I_e$ ، شدت بارندگی بر حسب  $m/s$  و  $S_f$  ضریب بدون بعد شیب می‌باشد.

$$S_f = 1.05 - 0.85 \exp^{-4 \sin(\theta)} \quad [2]$$

که در آن  $\theta$  زاویه شیب می‌باشد.

### تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

بعد از به دست آوردن رطوبت حد روانی، حد خمیرایی، شاخص خمیرایی و سایر ویژگی‌های خاک و همچنین اندازه‌گیری ضریب فرسایش پذیری بین شیاری

<sup>1</sup> Mean absolute error

<sup>2</sup> Mean bias error

مسئله موید آن است که ضرایب اندازه‌گیری شده تحت تاثیر شدت بارندگی قرار نمی‌گیرند.

جدول ۱ - محدوده، میانگین، انحراف معیار و ضریب تغییرات ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک.

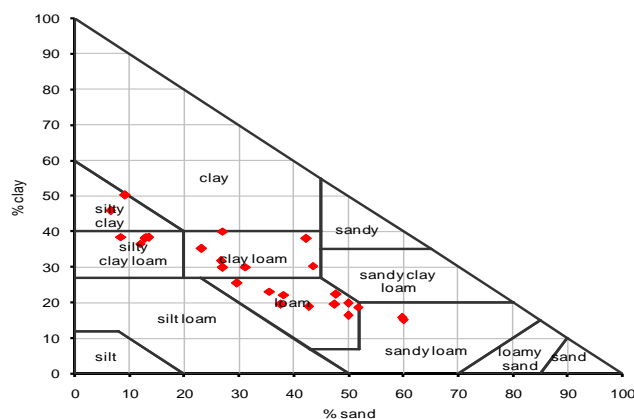
ویژگی خاک	واحد	تعداد نمونه	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار	ضریب تغییرات (%)
pH	-	۲۶	۷/۱۷	۸/۱۹	۷/۸۱	۰/۲۳	۲/۹۶
SP	(%)	۲۶	۲۴/۴۸	۶۹/۰۸	۴۳/۸۶	۱۳/۲۸	۳۰/۲۹
EC	dS/m	۲۶	۰/۴۱	۸/۵۶	۲/۰۹	۲/۱۷	۱۰۳/۹۵
SAR	(mmol/L) <sup>0.5</sup>	۲۶	۰/۳۱	۳۴/۷۲	۶/۲۹	۷/۸۸	۱۲۵/۲۳
CEC	(cmol <sub>e</sub> /kg)	۲۶	۶/۸	۴۹/۴	۲۴/۵۸	۱۰/۰۳	۴۰/۸۱
گچ	(%)	۲۶	۰	۰/۶۱	۰/۲۱	۰/۱۲	۵۸/۱۱
کربنات کلسیم معادل	(%)	۲۶	۳/۷	۲۶/۳	۱۷/۹۳	۶/۴۵	۳۵/۹۵
مواد آلی	(%)	۲۶	۰/۱۲	۴/۳۲	۱/۷۸	۱/۲۶	۷۰/۷۹
رس	(%)	۲۶	۱۵/۲	۵۰/۲	۲۹/۲	۱۰/۰	۳۴/۴
سیلت	(%)	۲۶	۱۹/۷	۵۳/۰	۳۸/۳	۹/۱	۲۳/۸
شن	(%)	۲۶	۶/۵	۶۰/۰	۳۲/۵	۱۶/۶	۵۰/۹
شن خیلی ریز	(%)	۲۶	۰/۰	۲۰/۲	۹/۵	۵/۰	۵۲/۸
سیلت + شن خیلی ریز	(%)	۲۶	۲۹/۹	۵۸/۹	۴۷/۷	۸/۹	۱۸/۷
حد روانی	(%)	۲۶	۱۸/۱۲	۴۶/۹۱	۳۴/۷۳	۸/۳۲	۲۳/۹۵
حد خمیریایی	(%)	۲۶	۹/۴	۳۹/۲۵	۲۱/۷۹	۶/۵۱	۲۹/۸۵
شاخص خمیریایی	(%)	۲۶	۰/۵۸	۲۲/۷۸	۱۲/۹۴	۵/۰۹	۳۹/۳۳

CEC: ظرفیت تبادل کاتیونی

SAR: نسبت جذب سدیم

EC: قابلیت هدایت الکتریکی ویژه عصاره گل اشباع

SP: درصد رطوبت اشباع



شکل ۱ - پراکنش خاک‌های مورد استفاده در مثلث بافت خاک USDA.

جدول ۲- حداقل، حداکثر، میانگین، انحراف استاندارد ضریب فرسایش پذیری بین شیاری (K<sub>i</sub>) در سه شدت بارش.

انحراف استاندارد (kg.s/m <sup>4</sup> )	فرسایش پذیری بین شیاری (K <sub>i</sub> ) × ۱۰ <sup>۵</sup> (kg.s/m <sup>4</sup> )			شدت بارندگی (mm/h)
	میانگین	حداکثر	حداقل	
۷۲۴۳۵۹	۱۵/۸ <sup>a</sup>	۳۰/۲	۵/۲	۲۰
۶۸۸۷۰۵	۱۴/۸ <sup>a</sup>	۳۵/۱	۱/۶	۳۷
۶۶۸۸۸۰	۱۵/۵ <sup>a</sup>	۳۸/۴۴	۳/۲	۴۷

### رابطه بین ویژگی‌های مورد مطالعه

همبستگی بین متغیرهای مورد مطالعه در جدول ۳ نشان داده شده است، همانطور که مشاهده می‌شود حد روانی با حد خمیرایی و شاخص خمیرایی خاک همبستگی معنی‌داری در سطح احتمال ۹۹٪ دارا می‌باشد. نتایج تحقیقات همت و همکاران (۲۰۱۰)، بلانکو-سانکیو و همکاران (۲۰۰۶) و فارر و کولمان (۱۹۶۷) نیز نشان داده است که بین حد روانی و حد خمیرایی همبستگی وجود دارد. اسمیت و همکاران (۱۹۸۵) اظهار کرده‌اند که مواد آلی سبب افزایش هر دو شاخص حد روانی و حد خمیرایی می‌شود. افزایش مواد آلی خاک سبب کاهش فشردگی خاک و سبب جذب آب بسیار زیاد توسط هوموس خاک خواهد شد. آنان نیز وجود همبستگی بین حد روانی و حد خمیرایی را گزارش کرده‌اند.

نتایج هم‌چنین نشان دهنده آن است که بین حد خمیرایی و شاخص پلاستیکی رابطه معنی‌داری وجود ندارد. این مسئله احتمالاً به دلیل وجود خطای زیاد در اندازه‌گیری شاخص خمیرایی خاک می‌باشد (اسمیت و همکاران ۱۹۸۵، فارر و کولمن ۱۹۶۷).

حد روانی با میزان رطوبت اشباع، ظرفیت تبادل کاتیونی، مواد آلی و رس در سطح احتمال ۹۹٪ رابطه مستقیم و با شن خیلی ریز رابطه عکس نشان داد. این مسئله نشان دهنده آن است که با افزایش میزان رس و مواد آلی خاک قدرت جذب آب توسط خاک افزایش یافته و در میزان رطوبت بالاتری خاک از هم گسیخته شده و روان می‌گردد (دی‌جونگ و همکاران ۱۹۹۰). رابطه مستقیم حد روانی با SP به دلیل این مسئله است که این

عامل خود تحت تاثیر میزان مواد آلی و رس خاک قرار دارد. رابطه منفی حد روانی با میزان شن خیلی ریز نیز به خاطر این است که با افزایش شن خیلی ریز در خاک میزان رس کاهش می‌یابد.

تمامی عواملی که با حد روانی همبستگی نشان دادند به جزء میزان رس خاک با حد خمیرایی نیز رابطه معنی‌داری از خود نشان دادند. عدم وجود رابطه حد خمیرایی با میزان رس نشان‌دهنده آن است که احتمالاً اهمیت نوع رس بر ویژگی خمیرایی خاک بیشتر از میزان رس می‌باشد. دلیل دیگری که می‌تواند برای این مسئله وجود داشته باشد وجود خطای زیاد در اندازه‌گیری حد خمیرایی است (اسمیت و همکاران ۱۹۸۵). هم‌چنین نتایج (جدول ۳) نشان دهنده آن است که بین ضریب فرسایش پذیری بین شیاری و حدود آتربرج رابطه مشخصی وجود ندارد. دلیل این امر را می‌توان چنین توجیه نمود که اگر چه در خاک‌های با میزان رس و مواد آلی زیاد که مقاوم به فرسایش هستند، مقادیر حدود آتربرج زیاد می‌باشد (جندقی و همکاران ۱۳۸۲)، اما در خاک‌های دارای رس اسمکتایت زیاد که فرسایش‌پذیری بالایی دارند نیز مقادیر حدود آتربرج زیاد می‌باشد (رینکز و همکاران ۲۰۰۰). گروسسی (۱۳۹۰) در مطالعات خود به این نتیجه رسیده است که در اغلب خاک‌های منطقه آذربایجان نوع رس از نوع اسمکتایت بوده و بین این نوع رس و فرسایش‌پذیری بین شیاری خاک همبستگی منفی وجود دارد. یافته‌های این تحقیق نیز نشان دهنده وجود رابطه منفی بین فرسایش‌پذیری بین‌شیاری و مقدار رس

خاک می‌باشد، که با نتایج تحقیقات گروسی (۱۳۹۰) همخوانی دارد.

جدول ۳- همبستگی متغیرهای مورد مطالعه با حدود آتربگ و ضریب فرسایش‌پذیری بین شیاری ( $K_i$ ).

متغیر مورد مطالعه	حد روانی (%)	حد خمیرایی (%)	شاخص خمیرایی (%)	$K_i$ ( $\text{kg.s/m}^4$ )
pH	-	-۰/۳۰۹	-۰/۳۱۸	۰/۴۰۰*
SP	(%)	۰/۴۸۷*	۰/۷۲۶**	۰/۲۹۴
EC	dS/m	-۰/۰۳۷	۰/۳۱۱	۰/۵۱۸**
SAR	(mmol/Li) <sup>0.5</sup>	-۰/۰۰۲	۰/۳۵	۰/۶۳۱**
CEC	(cmol/kg)	۰/۵۷۷**	۰/۲۰۷	-۰/۱۹۱
گچ	(%)	-۰/۱۵۰	-۰/۳۶۸	-۰/۳۶۳
کربنات کلسیم معادل	(%)	-۰/۲۹۷	۰/۰۴۵	۰/۳۳۸
مواد آلی	(%)	۰/۵۳۰**	۰/۲۰۰	-۰/۴۰۶*
رس	(%)	۰/۶۶۷**	۰/۷۶۷**	۰/۵۱۷**
سیلت	(%)	-۰/۱۲۳	۰/۳۹۲*	۰/۳۰۰
شن	(%)	-۰/۴۸۴*	-۰/۶۸۱**	-۰/۴۷۹*
شن خیلی ریز	(%)	-۰/۴۷۸*	-۰/۴۴۵*	-۰/۰۸۲
سیلت + شن خیلی ریز	(%)	-۰/۲۱۵	-۰/۳۹۳*	۰/۲۶۱
حد روانی	(%)	۱	۰/۷۹۱**	۰/۰۶۲
حد خمیرایی	(%)	۱	۰/۰۱۵	-۰/۱۸
شاخص خمیرایی	(%)	۰/۶۲۳**	۰/۰۱۵	۰/۳۳۲

SP: درصد رطوبت اشباع EC: قابلیت هدایت الکتریکی ویژه عصاره گل اشباع SAR: نسبت جذب سدیم CEC: ظرفیت تبادل کاتیونی  
\* و \*\* همبستگی بین ویژگی‌های به ترتیب در سطح احتمال ۹۵ و ۹۹ درصد معنی‌دار می‌باشد.

(۱۹۷۵) اظهار داشته‌اند که با کاهش pH پایین میزان بارهای مثبت موضعی اکسیدهای آن و آلومینیوم و نیز آلفان‌ها افزایش یافته و در نتیجه نیروهای الکترواستاتیکی که سبب چسباندن ذرات خاک به هم‌دیگر می‌شوند افزایش می‌یابد و خاک‌دانه‌های پایدارتری تشکیل می‌شود.  
روابط رگرسیونی

رابطه رگرسیونی بین ضریب فرسایش‌پذیری و حدود آتربگ مورد بررسی قرار گرفت، اما هیچ کدام از این شاخص‌ها نتوانستند به عنوان تخمین‌گر مناسب برای برآورد  $K_i$  وارد معادله رگرسیونی شوند. در

نتایج (جدول ۳) همچنین نشان داد که بین ضریب فرسایش‌پذیری بین شیاری و pH، SAR، EC و میزان رس خاک در سطح احتمال ۹۵٪ رابطه مستقیم معنی‌دار و با میزان مواد آلی و شن رابطه عکس وجود دارد. رابطه مستقیم EC و SAR نشان دهنده آن است که در خاک‌هایی که غلظت املاح و یون‌های سدیم زیاد است. تخریب خاک‌دانه‌ها و در نتیجه فرسایش خاک با شدت بیشتری اتفاق می‌افتد (سعیدی و عیسی ۲۰۰۸). وجود رابطه مثبت بین ضریب فرسایش‌پذیری بین شیاری و pH نیز به دلیل پایداری بیشتر خاک‌دانه‌ها در خاک‌های با pH پایین می‌باشد. اسیپینوزا و همکاران



عدم وجود رابطه مشخص بین ضریب فرسایش پذیری بین شیاری و حدود آتربرگ را چنین می‌توان توجیه نمود که گرچه با افزایش میزان رس خاک، شاخص‌های حدود آتربرگ و در نتیجه استحکام خاک افزایش می‌یابد، اما نقش نوع رس در تعیین پایداری خاک و نیز مقادیر حدود آتربرگ پر رنگ‌تر بوده و خاک‌هایی که رس آنها از نوع رس اسمکتیت می‌باشد گرچه در آنها مقادیر حدود آتربرگ زیاد می‌باشد، اما از فرسایش پذیری بالایی برخوردارند.

وجود رابطه مستقیم بین فرسایش پذیری بین شیاری و مقدار رس در خاک‌های مورد مطالعه احتمالاً با نوع کانی‌های رسی در ارتباط است.

علاوه بر شاخص‌های فوق شاخص  $C_{5-10}$  که همان تفاضل درصد رطوبت خاک در دو حالتی که شیاری ایجاد شده در روش کاساگرانده با پنج ضربه و ۱۰ ضربه به هم بیاید، توسط دپلوی و موچر (۱۹۸۱) برای ارزیابی حساسیت خاک در مقابل تشکیل سله و فرسایش توده‌ای ارائه شده است. پیشنهاد می‌شود رابطه فرسایش پذیری خاک با این شاخص نیز مورد ارزیابی قرار گیرد.

پیشنهاد می‌شود رابطه حدود آتربرگ با شدت فرسایش بین شیاری در سایر خاک‌های کشورمان و نیز رابطه این شاخص‌ها با سایر فرآیندهای فرسایشی مورد بررسی قرار گیرد.

نهایت رابطه رگرسیونی ضریب فرسایش پذیری بین شیاری و کل ویژگی‌های اندازه‌گیری شده خاک که در جدول ۱ نشان داده‌اند به کمک رگرسیون ریج تعیین گردید و در این رابطه متغیرهای مستقل pH، SAR، OM (%) و Clay (%) توانستند وارد معادله شوند (معادله ۳) و ۷۵٪ از تغییرات  $K_i$  را توجیه نمایند.

$$K_i = 243.09 (\text{Clay}) + 26454 (\text{SAR}) - 138191 \quad [3] \\ (OM) + 727167 (\text{pH}) - 4780797 \\ (R^2=0.75, R^2_{\text{adj}}=0.70, \text{MAE}=206732, \text{MBE}=0)$$

در معادله ۳ مقادیر پارامترهای آماری MAE و MBE نیز نشان داده شده است. در حالت ایده‌آل مقدار این دو پارامتر بایستی برابر صفر باشد. معیار MAE دقت مدل و مقدار متوسط خطا را نشان می‌دهد. مقادیر مثبت MBE نشان دهنده بیش برآوردی و مقادیر آن نشان دهنده کم برآوردی مدل می‌باشد. نتایج این تحقیق نشان دهنده آن است که مدل ارائه شده دارای بیش برآوردی و یا کم برآوردی نمی‌باشد.

در رابطه با Clay مقدار رس برحسب درصد، SAR نسبت جذب سدیمی، OM موادآلی بر حسب درصد و pH واکنش خاک می‌باشد. چنان که مشاهده می‌شود ضریب فرسایش پذیری رابطه مستقیم با موادآلی و رابطه عکس با مقدار رس، نسبت جذب سدیمی و pH خاک دارا بوده است.

### نتیجه‌گیری کلی

با افزایش موادآلی و میزان رس خاک حدود آتربرگ نیز افزایش یافت. این مسئله می‌تواند با جذب زیاد آب توسط عوامل فوق در ارتباط باشد.

### منابع مورد استفاده

- برزگر ع، ۱۳۸۳. مبانی فیزیک خاک. چاپ دوم، انتشارات دانشگاه شهید چمران.
- جندقی ن، نجفی نژاد ع، بیرویدیان ن، و اونق م، ۱۳۸۲. بررسی خصوصیات رسوب شناختی جریان مختلط در حوزه آبخیز زیارت گرگان. مجله علوم و فنون کشاورزی، جلد یازدهم، شماره ۱، صفحه‌های ۱۴۷ تا ۱۵۶.
- رحیمی ح، ۱۳۸۴. مکانیک خاک. چاپ اول، انتشارات دانش و فن.
- رفاهی ح ق، ۱۳۸۸. فرسایش آبی و کنترل آن. انتشارات دانشگاه تهران، چاپ ششم.

گروسی، ی، ۱۳۹۰. اثر کانی‌های رسی بر فرسایش‌پذیری خاک در دشت تبریز. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز.

- Ahmadi A, Talaie E and Soukoti R, 2012. Pedotransfer functions for estimating Atterberg limits in semi-arid areas. *International Journal of Agriculture: Research and Review* 2 (4): 491-495.
- Anonymous, 2010. Standard Test Method for Liquid Limit, Plastic Limit and Plasticity Index of Soils. Annual Book of ASTM Standards, Section 4, Vol: 04.08, Soil and Rock; Building Stones. American Society for Testing and Materials, Philadelphia, USA.
- Blanco-Canqui H, Lal R, Post WM, Izaurrealde RC and Shipitalo MJ, 2006. Organic carbon influences on soil particle density and rheological properties. *Soil Science Society American Journal* 70:1407– 1414.
- Bower CA, Reitemeier RF and Fireman M, 1952. Exchangeable cation analysis of saline and alkali soils. *Soil Science* 73: 251-26.
- De Jong ED, Acton DF and Stonehouse HB, 1990. Estimating the Atterberg limits of southern Saskatchewan soils from texture and carbon contents. *Canadian Journal of Soil Science* 70: 543-554.
- De Ploey J and Mticher HJ, 1981. A consistency index and rainwash mechanisms on Belgian Loamy Soils. *Earth Surface Processes and Landforms* 6: 319-330.
- Ekwue EI, Bharat C and Samaroo K, 2009. Effect of soil type, peat and farmyard manure addition, slope and their interactions on wash erosion by overland flow of some Trinidadian soils. *Biosystems Engineering* 102: 236-243.
- Espinoza W, Gast RG and Adams RS, 1975. Charge characteristics and nitrate retention by two Andepts from south-central Chile. *Soil Science Society American Journal* 39: 842–846.
- Farrar DM and Coleman JD, 1967. The correlation of surface area with other properties of nineteen British clay soils. *Journal of Soil Science* 18: 118–124.
- Gee GW, and Or D, 2002. Particle-size analysis. Pp. 255-293. In: Dane JH and Topp GC (eds). *Methods of Soil Analysis Part 4 Physical Methods*. Soil Science Society of American Inc.
- Haene K, Vermang J, Cornelis WM, Leroy BLM, Schiettecatte W, de Neve S, Gabriels D and Hofman G, 2008. Reduced tillage effects on physical properties of silt loam soils growing root crops. *Soil & Tillage Research* 99: 279– 290.
- Hajjaji W, Hachani M, Moussi B, Jeridi K, Medhioub M, Lopez F, Galindo A, Rocha Labrincha JA and Jamoussi F, 2010. Mineralogy and plasticity in clay sediments from north-east Tunisia. *Journal African Earth Sciences* 57: 41– 46.
- Hemmat A, Aghilinategh N, Rezainejad Y and Sadeghi B, 2010. Long-term impacts of municipal solid waste compost, sewage sludge and farmyard manure application on organic carbon, bulk density and consistency limits of a calcareous soil in central Iran. *Soil & Tillage Research* 108: 43-50.
- Jackson ML, 1958. *Soil Chemical Analysis*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ. 498S, DM 39.40.
- Jefferson I, Rogers CDF, 1998. Liquid limit and the temperature sensitivity of clays. *Engineering Geology* 49: 95-109.
- Kelarestaghi A, Ahmadi H, Esmali A, Jafari M and Ghodosi J, 2009. Comparison of runoff and sediment yield from different agricultural treatments 2(5): 41- 53.
- McCool DK and Renard KG, 1990. Water erosion and water quality. *Advances in Soil Science* 13: 175– 185.
- Nelson DW and Sommer LE, 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter. Pp. 539–579. In: Sparks DL, Page AL, Helmke PA, Loeppert RH, Soltanpour PN, Tabatabai MA, Johnston CT and Sumner ME (eds). *Methods of Soil Analysis: Part 3. Chemical and Microbiological Properties*. American Society Agronomy, Madison.
- Nelson RE, 1982. Carbonate and gypsum. Pp. 181-197. In: Page AL (ed). *Methods of Soil Analysis: Part 2, Agronomy Handbook No 9*, American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Madison, WI.
- Ramazanpour H, Esmailnejad L and Akbarzade A, 2010. Influence of soil physical and mineralogical properties on erosion variations in Marlylands of Southern Guilan Province, Iran. *International Journal of Physical Science* 5: 365-376.
- Rienks SM, Botha GA and Hughes JC, 2000. Some physical and chemical properties of sediments exposed in a gully (donga) in northern KwaZulu-Natal, South Africa and their relationship to the erodibility of the colluvial layers. *Catena* 39: 11-31.
- Saidi D, Daoud Y and Essa MA, 2008. Estimation and signification of cation exchange capacity of Cheliff saline soils (Algeria) for physical properties. *Assiut University Bulletin for Environmental Researches* 11: 71-86.
- Sherard JL, 1953. Influence of Soil Properties and Construction Methods on Performance of Homogeneous Earth Dams. Volume 645 of Technical memorandum, United State Department of Interior, Bureau of Reclamation, Design and Construction Division.
- Smith CW, Hadas A, Dan J and Koyumdjisky H, 1985. Shrinkage and Atterberg limits in relation to other properties of principal soil types in Israel. *Geoderma* 35: 47–65.
- Subramaniam N and Chinappa GP, 2002. Remote sensing and GIS techniques for land degradation assessment due to water erosion. Paper No.815, 17<sup>th</sup> World Congress of Soil Science. Thailand.

- Tanny J, Cohen S, Assouline S, Lange F, Grava A, Berger D, Teltch B, Parlange MB, 2008. Evaporation from a small water reservoir: direct measurements and estimates. *Journal of Hydrology* 351: 218-229.
- Topp G and Ferre PA, 2002. The soil solution phase. Pp: 417-608. In: Dane JH and Topp GC (eds). *Methods of Soil Analysis, Part 4: Physical Methods, Chapter 3*. Soil Science Society of America, Inc. Madison, WI.
- Whischmeier WH and Smith DD, 1978. *Predicting Rainfall Erosion Losses: A Guide to Conservation Planning*. USDA Agriculture Handbook, Vol. 537. US Department of Agriculture, Washington DC.
- Young RA and Wiersma JL, 1973. The role of rainfall impact in soil detachment and transport. *Water Resource Research* 9(6): 1629-1636.