**محور مقاله: فرسایش آبی، سیلاب و حفاظت خاک و آب**

# تغییرات فرسایش پذیری خاک تحت تأثیر درجه شیب در طول دامنه

محمدجواد پژند[۱*]، حجت امامی[۲]

[۱] کارشناسی ارشد گروه علوم خاک دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

[۲] دانشیار گروه علوم خاک دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

## چکیده

موقعیت شیب در یک زمین‌نما از جمله ویژگی‌های مهم و اثرگذار بر تشکیل خاک و فرسایش‌پذیری آن است. آگاهی از چگونگی تغییرات ویژگی‌های خاک در قسمت‌های مختلف شیب ما را در استفاده بهینه از زمین‌های شیب‌دار یاری می‌دهد. بر این اساس، این پژوهش با هدف بررسی چگونگی تغییرات نمایه فرسایش‌پذیری خاک (K)، کربن آلی، کربنات‌کلسیم و درصد رس خاک در طول یک شیب (در جهت جنوبی) با کاربری مرتع، در تابستان ۱۳۹۲ طرح‌ریزی و اجرا شد. بر این اساس ابتدا پس از شناسایی یک سطح شیب‌دار با مواد مادری و پوشش گیاهی یکنواخت، از درجه‌های مختلف شیب شامل کمتر از ۵ درصد، ۵ تا ۱۵ درصد، ۱۵ تا ۳۰ درصد، ۳۰ تا ۵۰ درصد و بیشتر از ۵۰ درصد نمونه‌برداری شد. از هر قسمت ۳ نمونه از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر تهیه و جهت انجام آزمایشات فیزیکی و شیمیایی به آزمایشگاه منتقل گردید. بر اساس نتایج این پژوهش کمترین مقدار K در شیب کمتر از ۵ درصد (۰/۴۲ ton.ha/MJ.mm) و بیشترین مقدار آن در شیب بیشتر از ۵۰ درصد مشاهده شد (۰/۵۸ ton.ha/MJ.mm). دلیل این پدیده را می‌توان به کاهش درصد رس و کربن آلی نسبت داد. زیرا تغییرات کربن‌آلی در طول شیب به شکلی بود که با کاهش درصد شیب، مقدار آن افزایش یافت. به طوری که بیشترین مقدار آن در شیب کمتر از ۵ درصد (۱/۳۴ ٪) و کمترین مقدار آن در شیب بیشتر از ۵۰ درصد (۰/۱۲ ٪) مشاهده شد که علت آن می‌تواند از بین رفتن قسمت رویین خاک و کاهش مقدار کربن‌آلی خاک باشد.

**کلمات کلیدی**: درصد رس، درصد کربن‌آلی، درصد کربنات‌کلسیم، زمین‌های شیب‌دار

## مقدمه

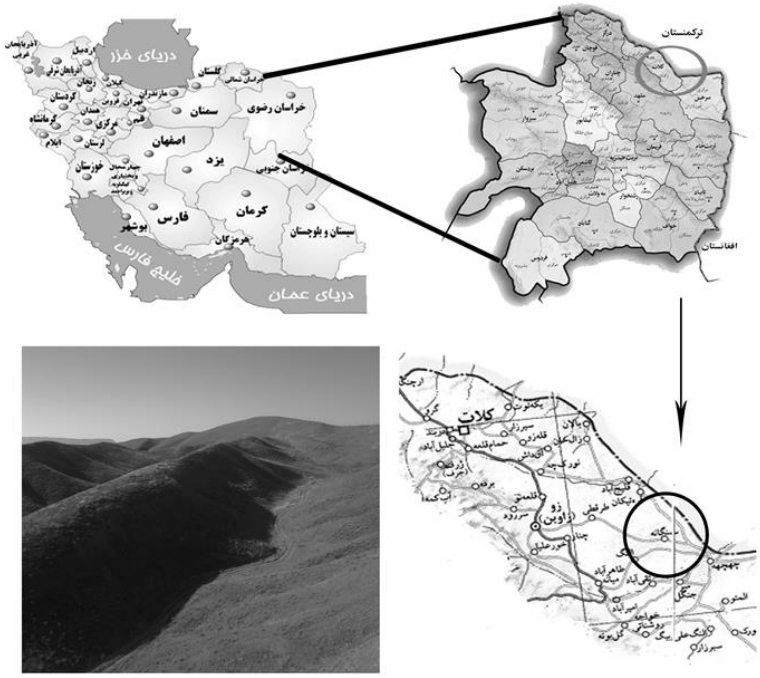
فرسایش‌پذیری خاک نشان‌دهنده مقاومت خاک در برابر جداشدن و انتقال ذرات است (رفاهی، ۱۳۹۳) که در پژوهش‌های مختلف اثر عواملی چون درصد رس خاک، درجه و جهت شیب، بر این ویژگی نشان داده شده است (Veihe 2002 ; Fox et al 2008). دلیل اینکه ذرات رس باوجود اندازه کوچک نسبت به فرسایش مقاوم هستند به خاصیت چسبندگی آنها مربوط می‌شود به طوری که عواملی مثل کمبود ماده‌آلی که موجب کاهش چسبندگی می‌شوند، مقاومت ذرات رس در برابر فرسایش را کاهش می‌دهند (رفاهی، ۱۳۹۳). برای برآورد فرسایش-پذیری خاک از روش‌ها و ویژگی‌های مختلفی استفاده شده است که یکی از این روش‌ها مربوط به نتایج پژوهش‌های ویشمایر و همکاران (۱۹۷۱) است که ۵ عامل درصد سیلت + شن خیلی ریز، درصد شن، درصد موادآلی و وضعیت ساختمان و نفوذپذیری خاک را به عنوان عواملی با بیشترین اثرگذاری بر فرسایش‌پذیری خاک معرفی کردند و برای ارتباط این عوامل با فرسایش‌پذیری خاک فرمولی ارایه کردند که به کمک آن می‌توان مقدار فرسایش‌پذیری خاک را اندازه‌گیری کرد (رفاهی، ۱۳۹۳). موقعیت شیب در یک زمین‌نما نیز از جمله ویژگی‌هایی است که می‌تواند به شکل مستقیم یا غیر مستقیم بر فرسایش‌پذیری خاک اثرگذار باشد. بسیاری از پژوهشگران در نتایج پژوهش‌های خود، اثر درجه شیب بر ویژگی‌های فیزیکی مختلف خاک از جمله درصد رس خاک که نقش مهمی در فرسایش‌پذیری خاک دارد، را نشان داده‌اند (یانگ جونگ و منیگان، ۲۰۰۸؛ سیدیا و همکاران، ۲۰۰۹؛ جزینی، ۲۰۰۷). همچنین درجه شیب با اثر بر روی حرکت رواناب، زهکشی و نگه‌داری آب در خاک، بسیاری از ویژگی‌های خاک در زمین‌های شیب‌دار را تغییر می‌دهد. یکی دیگر از عوامل اثرگذار بر فرسایش و هدررفت خاک، کربن آلی است. پژوهش‌های انجام شده در زمینه اثر ماده آلی بر مقدار فرسایش‌پذیری خاک، نشان داد ماده آلی با افزایش نفوذپذیری و ظرفیت نگه-داری آب، حجم رواناب و در پی آن مقدار فرسایش را کاهش می‌دهد (سیگریست و همکاران، ۱۹۹۸). مولینا و همکاران (۲۰۰۷) نیز نشان دادند درصد ماده آلی همبستگی معنی‌داری با ضریب رواناب دارد. همچنین ویشمایر و همکاران (۱۹۷۱) نشان دادند که موادآلی در دامنه بین صفر تا ۴ درصد اثر چشمگیری بر فرسایش‌پذیری خاک دارند. به همین دلیل در مناطق خشک و نیمه خشک که از نظر کربن آلی فقیر

* ایمیل نویسنده مسئول: m.j.pazhand@gmail.com

هستند، خاک‌ها دارای خاک‌دانه‌های به نسبت ضعیف‌تر و ناپایدارتری هستند و خاک فرسایش‌پذیری بیشتری دارد (خزایی و همکاران، ۱۳۸۷). این پدیده به‌ویژه در مراتع و زمین‌های کشاورزی مناطق خشک و نیمه خشک اثر بسیار زیادی در ازبین رفتن این زمین‌ها و ایجاد بیابان دارند. بنا به آنچه گفته شد و با توجه به اهمیت و نقش درجه شیب در فرسایش‌پذیری خاک، این پژوهش با هدف درک نوع اثر درجه شیب بر فرسایش‌پذیری خاک و بررسی چگونگی تغییرات فرسایش‌پذیری (K)، کربن آلی، درصد رس و کربنات کلسیم خاک در طول یک شیب با کاربری مرتع و در جهت جنوبی، طرح ریزی و اجرا شد.

## مواد و روش‌ها

این پژوهش در پایگاه پژوهشی حفاظت خاک سنگانه در ۱۲۰ کیلومتری شمال شرقی مشهد، در تابستان ۱۳۹۲ انجام شد. این منطقه در ارتفاع ۷۰۰ متری از سطح دریا واقع شده است و دارای طول جغرافیایی "۳۰ و ´۱۵ و °۶۰ و عرض جغرافیایی "۱ و ´۴۱ و °۳۶ می‌باشد. میانگین دمای سالانه منطقه ۱۵ درجه سانتی‌گراد بوده و متوسط بارندگی آن ۲۵۷ میلی‌متر در سال است. پوشش گیاهی غالب در آن «درمنه» *(Artemisia sieberi)* و کاربری غالب آن مرتع است. اقلیم منطقه نیمه خشک و خاک منطقه در رده انتی‌سول و اریدی‌سول قرار دارد (صادقی و همکاران، ۱۳۸۷). برای انجام نمونه‌برداری یک توپوسکوئنس با طول شیب، ماده مادری و پوشش گیاهی یکنواخت انتخاب گردید.




شکل۱- سیمای محل انجام پژوهش

سپس از درجه‌های مختلف شیب شامل کمتر از ۵ درصد، ۵ تا ۱۵ درصد، ۱۵ تا ۳۰ درصد، ۳۰ تا ۵۰ درصد و بیشتر از ۵۰ درصد نمونه‌برداری شد. از هر قسمت ۳ نمونه از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر و در مجموع ۱۵ نمونه تهیه و جهت انجام آزمایشات فیزیکی و شیمیایی به آزمایشگاه منتقل گردید. در آزمایشگاه پس از هوا خشک شدن خاک‌ها و عبور از الک ۲ میلی‌متری، بافت خاک به روش هیدومتری (بویوکس، ۱۹۶۲) و درصد کربن آلی (%OC) نمونه‌های خاک با روش هضم تر اندازه‌گیری شد (والکلی و بلک، ۱۹۳۴). درصد کربنات‌کلسیم معادل نیز به روش خنثی سازی با اسید اندازه‌گیری و به کمک رابطه‌ی زیر درصد آن محاسبه شد (پیچ و همکاران، ۱۹۸۲).

نمایه فرسایش‌پذیری خاک (K) با استفاده از رابطه ویشمایر و همکاران (۱۹۷۱) اندازه‌گیری شد:

$$100K = 2.1M^{1.14} \times 10^{-4} \times (12 - \%OM) + 3.25(S - 2) + 2.5(P - 3)$$

در این رابطه M حاصل‌ضرب (درصد رس (ذرات کوچکتر از ۰/۰۰۲ میلیمتر) - ۱۰۰) در (درصد سیلت (۰/۰۵ – ۰/۰۰۲ میلیمتر) + درصد شن ریز (۰/۱ – ۰/۰۵ میلیمتر)، M درصد ماده آلی (درصد کربن‌آلی × ۱/۷۲ = درصد ماده‌آلی)، S کلاس ساختمانی خاک‌دانه‌ها و P کلاس نفوذپذیری خاک می‌باشد. همه این عوامل در لایه سطحی خاک (۲۰ – ۱۵ سانتیمتر) اندازه گیری شد ولی در اندازه گیری کلاس نفوذپذیری خاک تمام پروفیل خاک در نظر گرفته شد. لازم به ذکر است که این رابطه فقط تا مقدار ۷۰ درصد سیلت قابل استفاده است و برای مقادیر بیشتر قابل استفاده نیست.

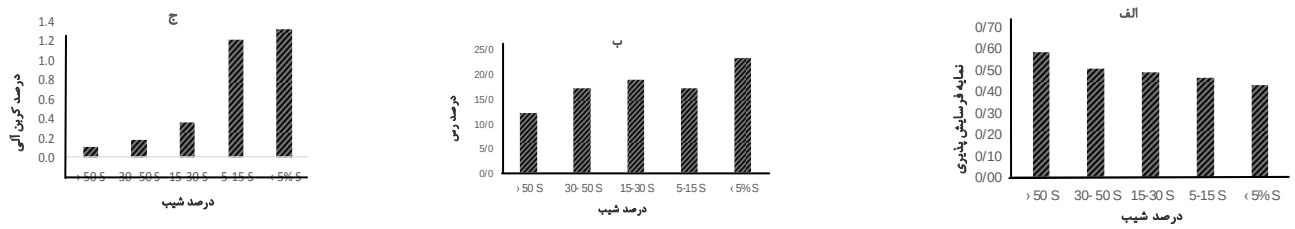
## نتایج و بحث

بر اساس نتایج بدست آمده، کمترین مقدار K در شیب کمتر از ۵ درصد (۰/۴۲ ton.ha/MJ.mm) و بیشترین مقدار آن در شیب بیشتر از ۵۰ درصد (۰/۵۸ ton.ha/MJ.mm) مشاهده شد. دلیل این پدیده را می‌توان به کاهش درصد رس و کربن آلی به عنوان عوامل مهم و اثرگذار در فرسایش‌پذیری خاک نسبت داد. چرا که با افزایش شیب شدت عوامل فرسایش‌دهنده بیشتر می‌شود و در پی آن درصد رس و کربن‌آلی که نقش مهمی در پایداری خاکدانه‌ها و فرسایش‌پذیری خاک دارند، کاهش می‌یابند. در تشکیل خاکدانه‌های پایدار رس و موادآلی به عنوان مواد سیمانی و پایدارکننده، نقش مهمی ایفا می‌کنند. این نتایج مشابه نتایج عجمی و همکاران (۱۳۹۱) است. از طرفی کاهش این عوامل موجب کاهش ظرفیت جذب آب در خاک می‌شود که در نهایت موجب افزایش حجم روانآب و تشدید فرسایش می‌گردد. بنابراین کنترل این دو ویژگی با حفظ و تقویت پوشش گیاهی می‌تواند اثر مطلوبی بر کاهش فرسایش‌پذیری خاک داشته باشد.

جدول ۱- حداقل، حداکثر و میانگین ویژگی‌های اندازه گیری شده

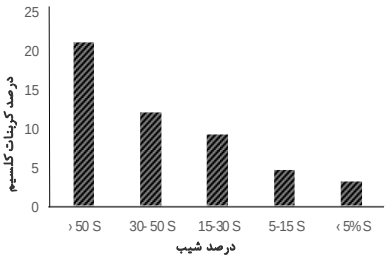
| عنوان | واحد | میانگین | حداقل | حداکثر | ضریب تغییرات |
|---|---|---|---|---|---|
| K | (ton.ha/MJ.mm) | ۰/۵ | ۰/۴۲ | ۰/۵۸ | ۹/۱۷ |
| Clay | % | ۱۷/۷ | ۱۲/۲ | ۲۳/۳ | ۱۶/۹۸ |
| $CaCO_3$ | % | ۱۰/۴۰ | ۳/۲۵ | ۲۱/۲۵ | ۵۳/۹۴ |
| OC | % | ۰/۶۳ | ۰/۱۲ | ۱/۳۴ | ۶۹/۷۸ |

بررسی دقیق‌تر عوامل اثرگذار بر فرسایش‌پذیری خاک، نیز نشان داد که با افزایش درصد شیب، درصد رس کاهش یافت. به طوری که کمترین مقدار آن در شیب بیشتر از ۵۰ درصد (۱۲/۲ درصد) و بیشترین مقدار آن در شیب کمتر از ۵ درصد (۲۳/۳ درصد) مشاهده شد. حضور مقدار بیشتر رس در قسمت‌های پایین شیب نسبت به قسمت‌های بالایی شیب، از یک سو به دلیل انتقال ذرات ریزتر از قسمت‌های بالاتر به بخش-های پایینی شیب و از سوی دیگر به دلیل کاهش سرعت روانآب در قسمت‌های پایینی نسبت به قسمت‌های بالایی شیب و کاهش انتقال ذرات در این قسمت است. بنابراین با افزایش شیب و کاهش مقدار رس خاک انتظار می‌رود فرسایش‌پذیری خاک افزایش یابد. روند تغییرات کربن آلی در طول شیب نیز مشابه درصد رس بود و کمترین و بیشترین مقدار آن به ترتیب در شیب بیشتر از ۵۰ درصد (۰/۱۲ درصد) و شیب کمتر از ۵ درصد (۱/۳۴ درصد) مشاهده شد. این نتایج با نتایج پژوهش‌های تامسون و کولا (۲۰۰۵) مشابه است. نحوه تغییرات کربن‌آلی از دو جهت قابل توجیه است. یکی اینکه بخشی از کربن‌آلی با انتقال لایه سطحی خاک از بخش‌های بالایی شیب به قسمت‌های پایینی منتقل می‌شود و دیگر آنکه فرسایش‌پذیر بودن خاک در قسمت‌های بالایی شیب موجب از بین رفتن بیشتر خاک در این قسمت و در پی آن کاهش پوشش گیاهی در این ناحیه می‌گردد که در نهایت موجب کاهش ماده‌آلی در این قسمت شده است. البته تابش بیشتر نور خورشید به دامنه‌های جنوبی و تبخیر بیشتر رطوبت خاک در دامنه جنوبی شیب هم در کاهش پوشش گیاهی و ماده‌آلی اثرگذار است.




شکل ۱. تغییرات نمایه فرسایش‌پذیری (الف)، درصد رس (ب) و درصد کربن آلی (ج) در طول شیب

تغییرات کربنات کلسیم نیز در طول شیب برآورد شد که بر اساس نتایج با کاهش درصد شیب مقدار کربنات‌کلسیم کاهش یافت. به طوری که کمترین مقدار آن در شیب کمتر از ۵ درصد و بیشترین مقدار آن در شیب بیشتر از ۵۰ درصد مشاهده شد. این نتایج نیز بیان‌گر وجود فرسایش بیشتر در قسمت‌های بالایی شیب نسبت به قسمت‌های پایین شیب است که باعث ظاهر شدن خاک زیرین در سطح شده است که با توجه به آهکی بودن ماده مادری، موجب افزایش مقدار کربنات کلسیم در قسمت‌های بالایی شیب که فرسایش‌پذیری بیشتری نسبت به قسمت‌های پایینی دارند، شده است. از طرفی آبشویی کربنات‌ها در قسمت‌های پایین شیب به دلیل نفوذ بیشتر رواناب در این قسمت، بر بیشتر شدن اختلاف مقدار کربنات‌ها بین قسمت‌های بالا و پایین شیب، کمک می‌کند. (هانا و همکاران، ۱۹۸۲؛ رضایی و ارزانی، ۲۰۰۶).




شکل۲. تغییرات مقدار کربنات‌کلسیم در طول شیب

## نتیجه‌گیری

بر اساس یافته‌های این پژوهش، در طول یک شیب تغییرات پستی و بلندی اثرات زیادی بر ویژگی‌های مختلف خاک دارد که بیشتر این ویژگی‌ها مستقیم یا غیرمستقیم بر فرسایش‌پذیری خاک اثرگذار هستند. فرسایش خاک که در زمین‌های شیب‌دار شدت بیشتری پیدا می‌کند، با از بین بردن خاک رویین اثر چشمگیری بر ویژگی‌های مطلوب فیزیکی و شیمیایی خاک ازجمله کربن‌آلی و پوشش‌گیاهی می‌گذارد که در دراز مدت باعث افزایش بیابان‌زایی و از بین رفتن مراتع و زمین‌های کشاورزی می‌شود. به‌ویژه در منطقه مورد مطالعه که به دلیل کمبود بارندگی دارای پوشش‌گیاهی ضعیفی است. با توجه به نقش کربن آلی در فرسایش‌پذیری خاک و اثرپذیری آن از عوامل فرسایش‌دهنده، مدیریت کربن‌آلی خاک برای کاهش فرسایش‌پذیری و حفظ کیفیت خاک از اهمیت زیادی برخوردار است. همچنین با توجه به استفاده نامناسب از بیشتر مراتع کشور و تخریب سالانه‌ی بخش زیادی از مراتع به دلایلی چون چرای بیش از حد، توجه به حفظ پوشش گیاهی مناسب و همچنین توجه به ظرفیت مراتع برای استفاده بهینه از آنها برای حفظ سطح مطلوب کربن‌آلی خاک، امری ضروری به نظر می‌رسد و باید در برنامه‌های مدیریتی جایگاه ویژه‌ای داشته باشد. روشن است که حفظ کربن‌آلی و به طور کلی موادآلی خاک در زمین‌های کشاورزی نیز در کاهش فرسایش‌پذیری و حفظ باروری آنها نقش مهمی داشته و باید در برنامه‌های مدیریتی جایگاهی ویژه داشته باشد.

## منابع

خزایی ع.، مصدقی، م. ر. و محبوبی، ع. ا. ۱۳۸۷. تاثیر شرایط آزمایش، مقدار ماده آلی، رس و کربنات کلسیم خاک بر میانگین وزنی قطر و مقاومت کششی خاکدانه‌ها در برخی از خاک‌های استان همدان. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۲ (۴۴): ۱۳۴-۱۲۳.

رفاهی ح. ۱۳۹۳. فرسایش آبی و کنترل آن. چاپ هفتم انتشارات دانشگاه تهران، تهران. ۶۷۱

صادقی ح.، بشری سه‌قلعه م. و رنگ‌آور ع. ۱۳۸۷. مقایسه تغییرات رسوب با جهت دامنه و طول کرت در برآورد فرسایش خاک ناشی از رگبارها. مجله آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۲(۲): ۲۳۰-۲۳۹.

عجمی م.، خرمالی ف.، ایوبی ش. ۱۳۹۱. نقش تخریب جنگل ها و تغییر کاربری اراضی بر فرسایش‌پذیری خاک‌های لسی شرق استان گلستان. مجله پژوهش‌های آبخیزداری، ۳۶:۹۴-۴۴.

Bouyoucos, G.J. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soil. Agron. J., 54:464-465.

Ceddia, M.B., Vieira, S.R., Villela, L.O., Mota, L.S., Anjos, H.C., and Carvalho, F.D. 2009. Topography and spatial variability of soil physical properties. Scientia Agricola, 66:338-352.

Fox, D. M.; Maselli, F.; & P. Carrega, 2008. Using SPOT images and field sampling to map burn severity and vegetation factors affecting post forest fire erosion risk, Catena, 75, 326–335.

Hanna, A.Y., Harlan, P.W., and Lewis, D.T. 1982. Soil available water as influenced by landscape position and aspect. Agron J., 74: 999-1004.

Jazini, F. 2007. The role of topography on soil almond vegetative, quantitative and qualitative Characteristics in Saman region, Shahrekord. MSc thesis, Shahrekord University, Iran. (in Persian with English abstract).

Molina A., Govers G., Vanacker V., Poesen J., Zeelmaekers E. and Cisneros F. 2007. Runoff generation in a degraded Andean ecosystem: Interaction of vegetation cover and land use. Catena, 71: 357-370.

Page, A. L., Miller, R. H. and Keeney, D. R. 1982. Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties. American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Madison, WI. pp: 643-698

Rezaei, S. A., Arzani, H. and Tongway, D. J. 2006. Assessing rangeland capability in Iran using landscape function indices based on soil surface attributes. J. of Arid Environments, 65: 460-473.

Seibert, J., Stendahl, J., and Sorensen, R. 2007. Topographical influences on soil properties in boreal forests. Geoderma. 141: 139-148.

Siegrist, S., Schaub, D., Pfiffner, L. and Mader, P. 1998. Does organic agriculture reduce soil erodibility? The results of a long- term field study on loess in Switzerland. Agriculture, Ecosystems and Environment, 69: 253-264.

Thompson, J. A. and Kolka, R. K. 2005. Soil Carbon storage estimation in aforested watershed using quantitative soil- landscape modeling, Soil Sci. Soc.Am. J., 69: 1086-1093.

Veihe, A., 2002. The spatial variability of erodibility and its relation to soil types: a study from northern Ghana, Geoderma, 106, 101-120.

Walkley, A. and Black, I. A. 1934. An examination method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Science, 37: 29–38.

Wischmeier, W. H., Johnson, C. B. and Cross, B. V. 1971. Soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. journal Soil and Water Conservation Socitey, 26(5): 189-193.

16th Iranian Soil Science Congress

University of Zanjan, Iran, August 27-29, 2019

**Topic for submission: Water Erosion, Flood , Soil and Water Conservation**

# Investigate the alteration of soil erodibility, organic carbon, calcium carbonate and clay percentage along a hillslope

M., Pazhand[*1], H., Emami[2]

[1] M. Sc. Student, Soil Science Department, Faculty of Agriculture Ferdowsi University of Mashhad, Iran

[2] Associate Prof., Soil Science Department, Faculty of Agriculture Ferdowsi University of Mashhad, Iran

**Abstract**

Topography is one the important and effective properties in soil formation and its erosion. Knowledge of soil properties alteration across a slope helps us to use hillslope more efficiently. So, this research was performed to investigate the alteration of soil erodibility index (K), organic carbon, calcium carbonate and clay percentage in a toposequence of a grassland (south aspect) during summer 1392. For this purpose, a toposequence with similar slope length, parent material and covered crop was selected and soil samples were collected from slope of <5, 5-15, 15-30, 30-50 and >50%. 3 samples at each slope from the depth of 0 to 30 cm were collected and transferred to the laboratory for further physical and chemical experiments. Results showed that lowest and highest amount of K was at slope of <5% (0.42 ton.ha/MJ.mm) and >50% (0.58 ton.ha/MJ.mm), respectively. This could be due to the reduction of clay percentage and organic carbon. Since the alteration of organic carbon across a slope was in a way that this parameter increased by decreasing slope, the highest amount of organic carbon was at slope <5% (1.34%) but the lowest amount of calcium carbonate was at slope >50% (0.12%). this could be due to the erosion of upper layer of soil in sloping grounds and decreasing of organic carbon.

**Keywords**: Clay percentage, Organic carbon percentage, Calcium carbonate percentage, toposequene

[*] Corresponding author, Email: m.j.pazhand@gmail.com