Journal of Water and Soil
https://jsw.um.ac.ir

CC BY

Research Article
Vol. 37, No. 3, Jul.-Agu. 2023, p. 415-430

The Relationship between the Slope Hill and Bedrock with Some Soil Properties

M. Jafarian[1], A. Golkarian[2*], H. Emami[3]

Received: 20-10-2022
Revised: 24-01-2023
Accepted: 06-03-2023
Available Online: 06-03-2023

How to cite this article:
Jafarian, M., Gokarian, A., & Emami, H. (2023). The relationship between the slope hill and bedrock with some soil properties. *Journal of Water and Soil, 37*(3), 415-430. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jsw.2023.79280.1214

Introduction

Changes in soil properties depend on factors such as climate, topography, landscape features, altitude, parent material, and vegetation. The quantity and quality of soils obtained from different rocks (igneous, sedimentary and metamorphic rocks) depend on the minerals that make up the rock, as well as weather and other factors. Soil parent material is one of the primary and important issues in soil classification in terms of physical quality and also one of the most important effective factors in soil erodibility. The topographical factor of each region is one of the important and influential features on the soil quality of that region. The present research was conducted with the aim of understanding the spatial changes of soil properties in different slopes and different types of rocks.

Material and Methods

The studied area is located in Razavi Khorasan province in the cities of Mashhad, Chenaran, Sarakhs and Torbat-Haidarieh. The geographic location of the region ranges from 58 degrees and 52 minutes to 60 degrees and 40 minutes east longitude and 35 degrees and 38 minutes to 36 degrees and 25 minutes north latitude. This research was carried out on seven types of rocks: granite, Sarakhs paleogene limestone, Chenaran jurassic limestone, marl, shale, sandstone and ophiolite from relatively pure rocks of Razavi Khorasan province. In the present study, two factors of rock type and slope were investigated as effective factors of soil properties. Soil samples were taken from the surface layer (0-20 cm) and from three slope classes ie., less than 10%, 10-25% and more than 25%, as well as all soil samples from the southern slopes. Tree soil samples were taken from each slope and a total of 63 samples were taken and the samples were transfered to the laboratory for physical and chemical tests. In this study, the soil particle size distribution (texture) was measured by hydrometer method, organic carbon and calcium carbonate were determined by wet oxidation and titration with HCl 6 M, the mean weight diameter of soil aggregates and surface crust factor were calculated by related equations. To measure soil cohesion and penetration resistance were used pocket vane test and pocket penetrometer, respectively. Comparison of means was done through Duncan test in spss software.

Results and Discussion

The results showed that all the studied variables in different types of stones had a significant difference at the level of 1%. There was no significant difference in the variable of surface level in different slopes. Also, the variables of calcium carbonate percentage and saturated conductivity at 5% level had significant differences in different slopes. Other characteristics of soil, including percentage of organic matter, the mean weight diameter of soil aggregates, the number of drops impact, and soil cohesion and penetration resistance in different slopes had a significant difference at the level of 1%. Althoug the soil texture class was not significantly different in different slopes, the percentage changes of clay, silt and sand had a lot of difference along the slope. The highest and lowest parameters of organic matter percentage, Soil cohesion and penetration resistance were observed in granite and

1 and 2- Former M.Sc. Student and Associate Professor, Department of Range and Watershed Management, Faculty of Natural Resources and Environment, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran, respectively.
(*- Corresponding Athour Email: Golkarian@um.ac.ir)
3- Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
DOI: 10.22067/jsw.2023.79280.1214

shale, respectively. The highest percentage of calcium carbonate was observed in Chenaran limestone (40.41%) and the lowest in granite (14.72 %). The mean weight diameter of soil aggregates was the highest in ophiolite (1.005 mm) and the lowest in marl (0.403 mm). The mean weight diameter of soil aggregates in the medium slope was significantly higher than the other two slopes. The parameter of the number of drops impact was the highest in granite (47.14 number) and the lowest in marl (27.70 number). The highest value of saturated conductivity variable was observed in marl rock and the lowest value was observed in Chenaran limestone.

Conclusion

The results showed that all the investigated variables had significant differences in different types of stones. Also, some of the investigated variables such as percentage of organic matter, percentage of equivalent calcium carbonate and the mean weight diameter of soil aggregates had significant changes along the hillside. As a general conclusion, given that the physical and chemical properties of the soil are partly under the influence of the parent material and the slope, and also with the presence of good geological information in the country, it can be suggested to provide suitable management solutions to prevent soil erosion and degradation by comprehensive examination of soil properties under different slope and types of stones.

Keywords: Petrology, Slope hill, Soil properties

نشریه آب و خاک
https://jsw.um.ac.ir

مقاله پژوهشی

جلد ۳۷، شماره ۳، مرداد-شهریور ۱۴۰۲، ص۴۳۰-۴۱۵

رابطه بین شیب دامنه و سنگ بستر با برخی از ویژگی‌های خاک

مهدی جعفریان[۱]- علی گلکاریان[۲*]- حجت امامی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۷/۲۸
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۱۱/۰۴
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۱۵

چکیده

ماده مادری و توپوگرافی از ویژگی‌های مهم وتاثیرگذار بر کیفیت خاک در هر منطقه می‌باشند. خاک‌های حاصل از جنس سنگ‌های مختلف دارای خصوصیات مختلفی هستند که این تفاوت‌ها در کیفیت خاک و فرسایش‌پذیری آن تأثیر مستقیم دارد. هدف از این پژوهش بررسی رابطه بین درصد شیب و جنس سنگ با برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک از قبیل درصد ماده آلی، درصد کربنات کلسیم، بافت خاک، مقاومت فروروی خاک، چسبندگی خاک، هدایت اشباع، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها، تعداد موثر قطره و سله سطحی در هفت جنس سنگ (گرانیت، آهک پالئوژن، آهک ژوراسیک، افیولیت، شیل، مارن و ماسه سنگ) در استان خراسان رضوی می‌باشد. نمونه‌های خاک از عمق ۲۰-۰ سانتی‌متری و از سه کلاس شیب کمتر از ۱۰ درصد، ۲۵-۱۰ درصد و بیشتر از ۲۵ درصد با سه تکرار در هر شیب برداشت شد. نتایج نشان داد تمام متغیرهای مورد بررسی در جنس سنگ‌های مختلف دارای تفاوت معنی‌داری می‌باشند (p<۰/۰۰۱). تنها متغیر سله سطحی در شیب‌های مختلف دارای تفاوت معنی‌داری نمی‌باشد (sig=۰/۱۴۲،p<۰/۰۵). متغیرهای درصد کربنات کلسیم و هدایت اشباع در شیب‌های مختلف دارای تفاوت معنی‌داری می‌باشند (sig=۰/۰۰۹،p<۰/۰۵، sig=۰/۰۳۰). سایر خصوصیات خاک نیز شامل درصد ماده آلی، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها، تعداد موثر قطره، مقاومت نفوذ خاک و چسبندگی خاک در شیب‌های مختلف دارای تفاوت معنی‌داری در سطح یک درصد هستند (p<۰/۰۰۱). با توجه به اینکه کلاس بافت خاک در شیب‌های مختلف دارای تفاوت معنی‌داری نبود ولی درصد رس، سیلت و شن در طول شیب تغییرات زیادی داشت به‌طوری که با افزایش شیب درصد ذرات درشت‌تر افزایش یافته و از درصد ذرات ریز کاسته می‌شود. بیشترین و کمترین مقدار پارامترهای درصد ماده‌آلی، چسبندگی خاک و مقاومت نفوذ خاک به ترتیب در جنس سنگ گرانیت و شیل مشاهده شد. بیشترین درصد کربنات کلسیم در جنس سنگ آهک چناران (۴۰/۴۱ درصد) و کمترین مقدار آن در جنس سنگ گرانیت (۱۴/۷۲درصد) مشاهده شد. میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در جنس سنگ افیولیت دارای بیشترین مقدار (۱/۰۰۵میلی‌متر) و در جنس سنگ مارن دارای کمترین مقدار (۰/۴۰۳ میلی‌متر) بود. میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در شیب ۲۵-۱۰ درصد به طور معنی‌داری بیشتر از دو شیب دیگر بود. پارامتر تعداد موثر قطره در جنس سنگ گرانیت دارای بیشترین مقدار و در در جنس سنگ مارن دارای کمترین مقدار می‌باشد. مقدار بیشینه متغیر هدایت اشباع در جنس سنگ مارن و کمینه آن در جنس سنگ آهک چناران مشاهده شد. به‌طور کلی با توجه به تغییرات قابل ملاحظه ویژگی‌های خاک در طول شیب دامنه و جنس سنگ‌های مختلف انتظار می‌رود هدررفت خاک نیز دارای تفاوت مشخصی باشد و راهکارهای مقابله با آن باید اتخاذ شود.

واژه‌های کلیدی: جنس سنگ، شیب دامنه، ویژگی‌های خاک

۱ و ۲- به‌ترتیب دانشجوی سابق کارشناسی ارشد آبخیزداری و دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه فردوسی مشهد
(*- نویسنده مسئول: Email: Golkarian@um.ac.ir)
۳- استاد گروه خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

DOI: 10.22067/jsw.2023.79280.1214

مقدمه

تغییرات مکانی خصوصیات خاک تابع عواملی از قبیل اقلیم، توپوگرافی، خصوصیات زمین‌نما، ارتفاع، ماده مادری و پوشش گیاهی می‌باشد. کمیت و کیفیت خاک‌های حاصل از سنگ‌های مختلف (سنگ‌های آذرین، رسوبی و دگرگونی) به کانی‌های تشکیل‌دهنده سنگ و نیز آب و هوا و عوامل دیگری بستگی دارد. مواد مادری خاک یکی از مسائل اولیه و مهم در طبقه‌بندی خاک از نظر کیفیت فیزیکی و از مهمترین عوامل موثر در فرسایش‌پذیری خاک می‌باشد. عامل توپوگرافی هر منطقه، یکی از ویژگی‌های مهم و تاثیرگذار بر کیفیت خاک آن منطقه می‌باشد (Pajand *et al*., 2016). پستی و بلندی‌های محلی به طور قابل توجهی بر میزان هوازدگی سنگ‌ها و در نتیجه ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن تاثیرگذار است. نتایج پژوهش‌های زیادی تاثیر ماده مادری و توپوگرافی را در خصوصیات خاک تایید می‌کند. تازیکه و همکاران (Tazikeh *et al*., 2018) نشان دادند که ماده مادری یکی از عوامل مهم تشکیل دهنده نوع خاک با خصوصیات فیزیکی و شیمیایی متفاوت می‌باشد. نتایج پژوهش ملکی و همکاران (Maleki *et al*., 2013) نشان داد قسمت‌های پایین شیب دارای بیشترین مقدار رس، کربن آلی، پایداری خاکدانه‌ها و کمترین مقدار کربنات کلسیم معادل می‌باشند. بافت خاک اساسی‌ترین خصوصیت خاک است که منعکس کننده شماری از خصوصیات خاک نظیر نفوذپذیری، ظرفیت تبادل کاتیونی، ظرفیت نگهداشت آب و ماده آلی می‌باشد. وانگ و همکاران (Wang *et al*., 2018) در پژوهش خود بیان کردند بافت خاک به طور غیرمستقیم با تعدیل ویژگی‌های خاک بر نفوذپذیری خاک تأثیر می‌گذارد. با از بین رفتن ساختار خاک و از هم گسیختگی خاک، ماده آلی به طور قابل توجهی کاهش می‌یابد که اهمیت بافت خاک را در حفظ ماده آلی نشان می‌دهد (Lupi *et al*., 2021). اطمینان و همکاران (Etminan *et al*., 2011) تفاوت خصوصیات فیزیکی و شیمیایی در سازندهای مختلف را مورد بررسی قرار دادند و نتایج آنها نشان داد که میانگین وزنی قطر خاکدانه در سازند لار از سایر سازندها بیشتر است و نتایج آنها تفاوت معنی‌دار خصوصیات فیزیکی خاک در سازندهای مختلف را تایید می‌کند. بنا بر آنچه گفته شد، بررسی اثر درصد شیب و نوع ماده مادری، می‌تواند پژوهشگران را در ارائه برنامه‌های مدیریتی و راهبردی راهنمایی نمایند. از این رو پژوهش حاضر با هدف درک چگونگی تغییرات مکانی خصوصیات خاک در شیب‌های مختلف و جنس سنگ‌های متفاوت انجام شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه در استان خراسان رضوی در شهرستان‌های مشهد، چناران، سرخس و تربت‌حیدریه واقع شده‌است. محدوده موقعیت جغرافیایی منطقه از ۵۸ درجه و ۵۲ دقیقه تا ۶۰ درجه و ۴۰ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۳۸ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۲۵ دقیقه عرض شمالی می‌باشد (شکل ۱).

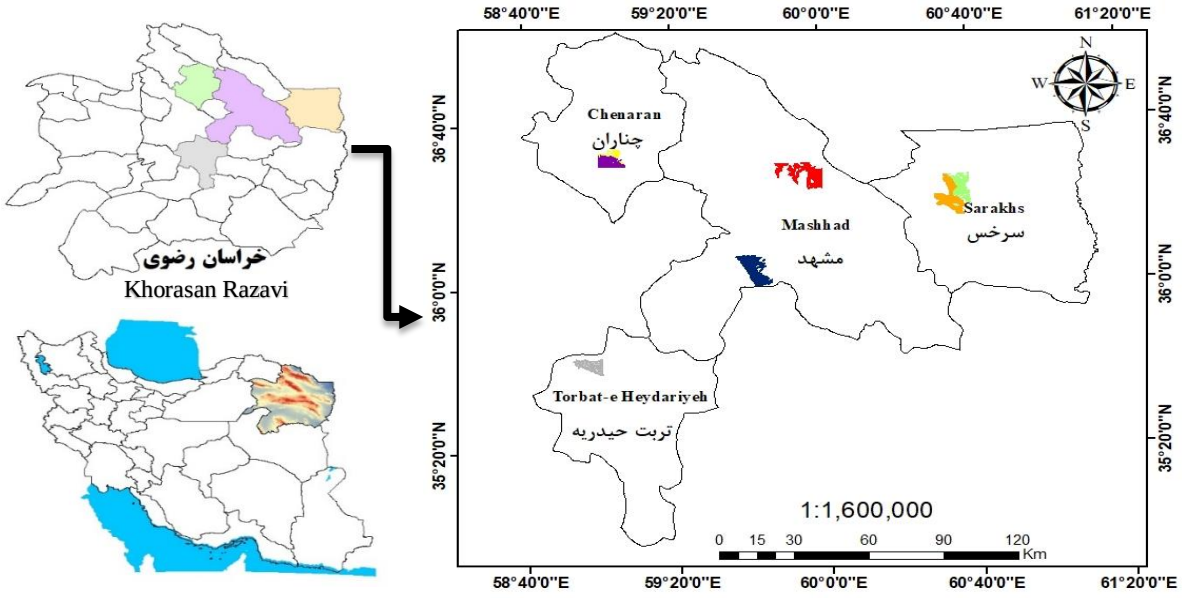
این پژوهش در هفت جنس سنگ گرانیت، آهک پالئوژن سرخس، آهک ژوراسیک چناران، مارن، شیل، ماسه سنگ و افیولیت از جنس سنگ‌های نسبتا خالص استان خراسان رضوی انجام شد. در مطالعه حاضر دو عامل جنس سنگ و شیب به‌عنوان عوامل موثر خصوصیات خاک مورد بررسی قرار گرفت. نمونه‌های خاک از لایه سطحی (۲۰-۰ سانتی‌متری) و بر اساس طبقه بندی تانگ (Tang, 2004) از سه کلاس شیب کمتر از ۱۰درصد، ۲۵-۱۰ درصد و بیشتر از ۲۵ درصد و از دامنه‌های جنوبی برداشت شد.

از هر شیب ۳ نمونه خاک و در مجموع ۶۳ نمونه برداشت شد و نمونه‌ها برای انجام آزمایشات فیزیکی و شیمیایی به آزمایشگاه منتقل شد. در این پژوهش از روش هیدرومتر برای اندازه‌گیری بافت خاک استفاده شد (Bouyoucos, 1962). میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها از روش الک تر بر اساس روش کمپر و روزنا (Kemper and Rosenau., 1986) با استفاده از الک‌های ۴، ۲، ۱، ۰/۵، ۰/۲۵۰، ۰/۱۲۵ و ۰/۰۶۳ میلی‌متر با استفاده از معادله (۱) به‌دست آمد.

$$MWD = \sum_{i=1}^{n}(X_i W_i) \qquad (۱)$$

که در آن X_i میانگین قطر خاکدانه‌های باقی مانده روی هر الک (میانگین قطر منافذ دو الک متوالی) و W_i نسبت وزن خاکدانه‌های روی هر الک به وزن کل خاکدانه‌های بکاربرده شده در اول آزمایش (۵۰۰ گرم) پس از کسر ذرات شن و سنگریزه می‌باشد. برای به‌دست آوردن پارامتر تعداد موثر قطره[1] تعداد ۶۰ خاکدانه بین الک ۴/۸ و ۴ میلی‌متر را روی الک ۲ میلی‌متر قرار داده و تعداد قطره لازم برای (۵۰ قطره در دقیقه، قطر ۵ میلی‌متر و از ارتفاع ۱متر) از بین بردن کامل خاکدانه‌ها به‌عنوان تعداد موثر قطره در نظر گرفته شد (Lui *et al*, 2003). برای به‌دست آوردن پارامتر چسبندگی خاک[2] و مقاومت نفوذ خاک[3] به‌ترتیب از دستگاه‌های پره‌ای جیبی[4] و نفوذسنج جیبی[5] استفاده شد (Lui *et al*, 2003). این کار در منطقه برداشت و در زمین‌هایی با ابعاد ۱×۱ متر که تا ظاهر شدن جریان آب بوسیله آب‌پاش باغبانی مرطوب می‌شود، انجام شد. اندازه‌گیری ماده آلی به روش اکسیداسیون تر و در مجاورت دی کرومات پتاسیم انجام شد (Black and Walkley, 1986).

1- Number Drop Impact
2- Soil Cohesion
3- Penetration Resistance
4- Pocket Vane Tester
5- Pocket Penetrometer



شکل ۱- موقعیت مناطق مورد مطالعه در استان خراسان رضوی

province Figure 1- The location of the studied areas in KhorasanRazavi

کربنات کلسیم معادل خاک به روش خنثی‌کردن کربنات‌های خاک با اسیدکلریدریک و تیتراسیون برگشتی اسید اضافی با سدیم هیدروکسید یا سود (NAOH) به‌دست آمد (Leoppert *et al.*, 1994). در این تحقیق برای اندازه‌گیری پارامتر هدایت اشباع از روش تک استوانه که در منطقه برداشت صورت می‌گیرد، استفاده شد (Haverkamp *et al.*, 1994). برای بدست آوردن پارامتر سله سطحی از معادله (۲) استفاده شد (Fryrear *et al.*, 2000).

$$SCF = \frac{1}{1+0.0066\times clay+0.21\times som} \quad (۲)$$

در این معادله SCF سله سطحی به میلی‌متر، clay درصد رس و SOM درصد ماده آلی خاک می‌باشد.

آنالیز آماری داده‌ها

آنالیز آماری تیمارها شامل نرمال بودن داده‌ها بوسیله آزمون کلوموگروف_اسمیرنوف، تجزیه واریانس به‌وسیله آزمون تجزیه واریانس با طرح کاملا تصادفی و مقایسه میانگین تیمارها به‌وسیله آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) و همبستگی بین متغیرها از طریق آزمون همبستگی پیرسون در نرم‌افزار IMB SPSS انجام شد.

نتایج و بحث

در جدول ۱ ویژگی‌های متغیرهای مورد بررسی شامل دامنه تغییرات، بیشترین و کمترین مقدار متغیر، میانگین و میانگین خطا، انحراف معیار، واریانس، چولگی ، کشیدگی و ضریب تغییرات، و در جدول ۲ نتایج حاصل از تجزیه واریانس متغیرهای مورد بررسی در شیب و جنس سنگ های مختلف برای ۶۳ نمونه آمده است.

اثر درصد شیب و جنس سنگ بر توزیع اندازه ذرات

متغیرهای درصد سیلت، رس و شن در جنس سنگ‌های مختلف دارای تفاوت معنی‌داری می‌باشند (P<۰/۰۰۱). اگرچه این متغیرها در شیب‌های مختلف دارای تفاوت معناداری نبودند ولی به طور کلی با افزایش شیب از درصد رس خاک کاسته شده و به درصد شن افزوده می‌شود که دلیل آن‌را می‌توان تأثیر رواناب و ششستشوی بیشتر خاک در شیب‌های بالا و همچنین تاثیر هوازدگی در ارتفاعات بیشتر بیان کرد. همچنین اثر متقابل جنس سنگ و شیب در سطح یک درصد بر متغیرهای درصد شن، سیلت و رس تاثیرگذار است. بیشترین و کمترین درصد رس موجود در نمونه‌های خاک به ترتیب در جنس سنگ شیل با میانگین ۳۶ درصد و گرانیت با میانگین ۱۷ درصد مشاهده شد (شکل ۲).

درصد شن به ترتیب در جنس سنگ‌های ماسه سنگ، افیولیت، آهک پالئوژن سرخس، گرانیت، آهک ژوراسیک چناران، مارن و شیل کاهش می‌یابد به طوری که بیشترین مقدار آن برای ماسه سنگ با میانگین ۶۳ درصد و کمترین میزان آن برای جنس سنگ شیل با میزان ۳۰ درصد می‌باشد. ماسه سنگ سنگی مقاوم به هوازدگی می‌باشد به همین دلیل میزان شن در آن بیشتر از سایر جنس سنگ‌ها است و درمقابل، شیل در مقابل هوازدگی، مقاومت کمی از خود نشان می‌دهد

و دارای درصد شن پایینی می‌باشد (شکل ۳). درصد سیلت به‌ترتیب در جنس سنگ‌های ماسه سنگ، افیولیت، آهک ژوراسیک چناران، گرانیت، شیل، آهک پالئوژن سرخس و مارن روند افزایشی دارد.

بیشترین درصد سیلت در جنس سنگ مارن با میزان ۴۴ درصد و کمترین مقدار آن در جنس سنگ ماسه سنگ با مقدار ۱۸ درصد مشاهده شد. به‌طور کلی ثابت شده‌است که با افزایش میزان سیلت در خاک میزان فرسایش‌پذیری نیز افزایش خواهد یافت (شکل ۴). طبیعی است جنس سنگ‌های مختلف به دلایل متعدد مانند مقاومت متفاوت آنها در مقابل هوازدگی، ساختار اولیه سنگ، سن تشکیلات زمین‌شناسی، نوع اقلیم و ... بافت خاک متفاوتی داشته باشند. نتایج پژوهش زارع و همکاران (Zare *et al.*, 2019) در جنس سنگ‌های مختلف در استان خراسان رضوی نشان داد که کلاس بافت خاک در سطح ۱ درصد در تمام جنس سنگ‌ها با یکدیگر دارای اختلاف معنی‌داری می‌باشند که با نتایج پژوهش حاضر هم‌خوانی دارد.

درصد ماده آلی در جنس سنگ‌ها و شیب‌های مختلف دارای تفاوت معنی‌داری می‌باشد (P<۰/۰۰۱). همچنین اثر متقابل جنس سنگ و شیب بر متغیر ماده آلی در سطح یک درصد معنی‌دار است. بیشترین درصد ماده آلی در بین جنس سنگ‌های مختلف مربوط به جنس سنگ گرانیت می‌باشد (شکل ۵). در بین سه کلاس شیب مورد نظر نیز در شیب متوسط (۲۵-۱۰درصد) بیشترین درصد ماده آلی مشاهده شده‌است. در جنس سنگ گرانیت نیز بر خلاف سایر جنس سنگ‌ها بیشترین درصد ماده آلی در کلاس شیب زیاد می‌باشد، در حالی که در سایر جنس سنگ‌ها بیشترین درصد ماده آلی در شیب متوسط مشاهده شد. کمترین میزان درصد ماده آلی نیز با میانگین ۱/۳۰ درصد در جنس سنگ شیل مشاهده شد و درمیان سه کلاس شیب نیز دو کلاس شیب کم و زیاد تقریبا دارای درصد ماده آلی یکسان می‌باشند و شیب متوسط با میزان ۱/۹۶ درصد دارای مقدار ماده آلی بیشتری از دو شیب دیگر است (شکل ۵).

اثر درصد شیب و جنس سنگ بر ماده آلی

جدول ۱- مقادیر کمینه، بیشینه، میانگین، ضریب تغییرات، انحراف معیار و واریانس خصوصیات اندازه‌گیری شده

Table 1-The minimum, maximum, mean, Coefficient of variation, standard deviation and variance values of the measured characteristics

متغیر Parameter	ضریب تغییرات Coefficient of variation	واریانس Variance	انحراف معیار Std. Deviation	میانگین Mean	کمترین Minimum	بیشترین Maximum
Clay (%) درصد رس	36.4	81.59	9.03	22.17	11.00	50.00
Silt (%) درصد سیلت	39.5	159.41	12.62	32.14	2.00	56.00
Sand (%) درصد شن	33.2	223/76	14/95	44/68	15/00	77/00
MWD (mm) میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها	33.3	0.05	0.23	0.69	0.31	1.21
NDI(number) تعداد موثر قطره	20.33	65.15	8.07	39.29	22.00	57.66
SCF (mm) سله سطحی	51.6	12.36	3.55	5.74	2.77	17.71
PR (Kpa) مقاومت فروروی خاک	47.2	2711.94	52.07	110.74	27.93	229.07
COH (Kpa) چسبندگی خاک	58.2	17.75	4.21	6.87	1.23	20.34
Ks (cm/hr) هدایت اشباع	38.4	0.006	0.75	12.18	5.22	21.84
$CaCo_3$ (%) درصد کربنات کلسیم معادل	40.5	116.70	10.80	25.76	1.80	48.41
OM (%) درصد ماده آلی	28.0	0.21	0.46	1.72	0.67	2.68

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) برای متغیرهای مورد بررسی

Table 2- ANOVA (mean square) for the investigated variables

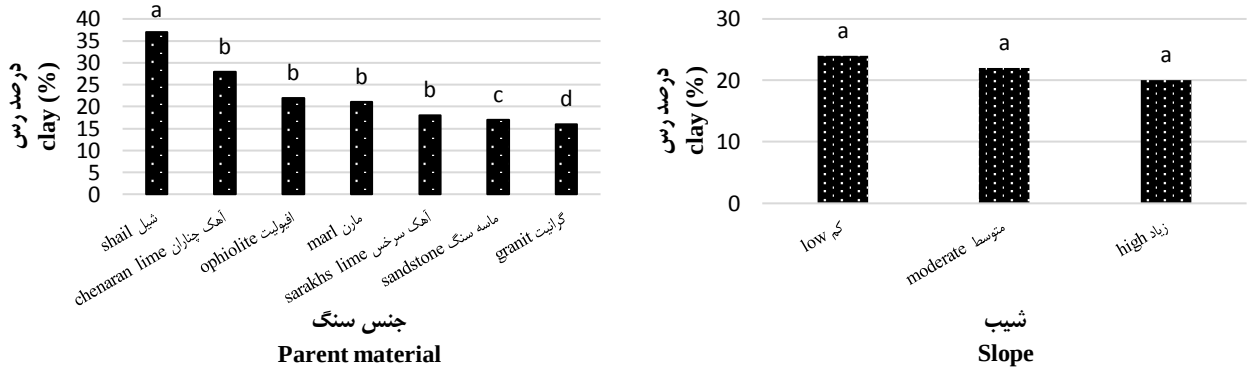
متغیر Parameter	معنی‌داری Sig.	میانگین مربعات Mean Square	درجه آزادی Df	ورودی Source
Clay (%) درصد رس	0.000	388.045	6	جنس سنگ (Parent material)
	0396	29.046	2	شیب (Slope)
	0.011	80.151	12	اثر متقابل (Interaction)
Silt (%) درصد سیلت	0.000	553.212	6	جنس سنگ (Parent material)
	0.216	105.33	2	شیب (Slope)
	0.000	297.259	12	اثر متقابل (Interaction)
Sand (%) درصد شن	0.000	1136.720	6	جنس سنگ (Parent material)
	0.030	210.540	2	شیب (Slope)
	0.000	355.799	12	اثر متقابل (Interaction)
MWD (mm) میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها	0.000	0.375	6	جنس سنگ (Parent material)
	0.000	0.279	2	شیب (Slope)
	0.000	0.026	12	اثر متقابل (Interaction)
NDI (number) تعداد موثر قطره	0.000	380.193	6	جنس سنگ (Parent material)
	0.000	322.885	2	شیب (Slope)
	0.000	29.770	12	اثر متقابل (Interaction)
SCF (mm) سله سطحی	0.000	48.835	6	جنس سنگ (Parent material)
	0.142	10.586	2	شیب (Slope)
	0.003	16.312	12	اثر متقابل (Interaction)
PR (Kpa) مقاومت فروروی خاک	0.000	18729.029	6	جنس سنگ (Parent material)
	0.001	3895633	2	شیب (Slope)
	0.000	2362.159	12	اثر متقابل (Interaction)
COH (Kpa) چسبندگی خاک	0.000	128.826	6	جنس سنگ (Parent material)
	0.000	110.130	2	شیب (Slope)
	0.002	5.220	12	اثر متقابل (Interaction)
Ks (cm/hr) هدایت اشباع	0.000	0.032	6	جنس سنگ (Parent material)
	0.030	0.008	2	شیب (Slope)
	0.038	0.004	12	اثر متقابل(Interaction)
$CaCo_3$ (%) درصد کربنات کلسیم معادل	0.000	996.760	6	جنس سنگ(Parent material)
	0.009	64.039	2	شیب (Slope)
	0.000	51.016	12	اثر متقابل (Interaction)
OM (%) درصد مادآلی	0.000	1.079	6	جنس سنگ (Parent material)
	0.000	0.889	2	شیب (Slope)
	0.000	0.176	12	اثر متقابل (Interaction)

همانطور که گفته شد جنس سنگ گرانیت و شیل به‌ترتیب دارای بیشترین و کمترین مقدار درصد ماده‌آلی بودند که این نتایج از تغییرات پوشش گیاهی موجود بر روی خاک‌های تشکیل یافته از این جنس سنگ‌ها منشا می‌گیرد، به‌طوری که هر چه پوشش گیاهی بیشتر باشد درصد ماده‌آلی نیز افزایش می‌یابد و با توجه به نامناسب بودن خاک‌های حاصل از جنس سنگ شیل، طبیعی است درصد ماده آلی در آنها پایین خواهد بود. شاید یکی از دلایل کمبود میزان ماده آلی در جنس سنگ های مارن، شیل و افیولیت میزان کم پوشش گیاهی و لاشبرگ بر روی این جنس سنگ ها در منطقه مورد مطالعه باشد که به تبع آن سبب کاهش میزان ماده آلی خاک در طولانی مدت می‌شود. وودز و همکاران (Woods *et al.*, 1988) با بررسی درصد ماده آلی در سه کلاس شیب مختلف به این نتیجه رسیدند که درصد ماده آلی در شیب‌های مختلف

دارای تغییرات قابل توجهی می‌باشد، که با نتایج تحقیق حاضر هم‌خوانی دارد. بنابرآنچه گفته شد می‌توان نتیجه گرفت که در قسمت‌های بالای شیب به‌دلیل فرسایش بیشتر و شرایط ناپایدارتر، مقدار ماده آلی کمتری نسبت به موقعیت‌های پایین شیب دارد. نتایج این پژوهش درمورد ماده آلی با نتایج بوراکا و همکاران (Buraka *et al*., 2022) همخوانی دارد.

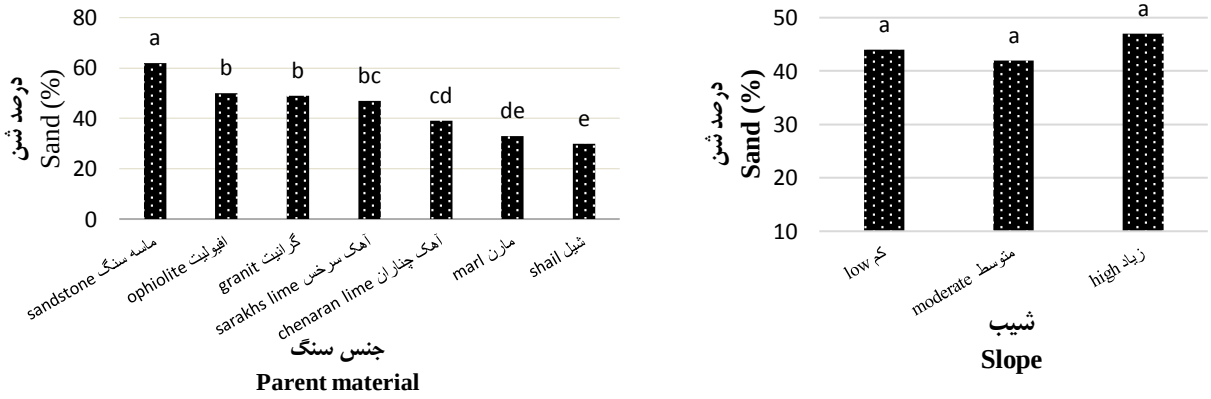
اثر درصد شیب و جنس سنگ بر کربنات کلسیم معادل

درصد کربنات کلسیم معادل در شیب‌ها و جنس‌های مختلف در سطح ۱ درصد دارای اختلاف معنی‌داری می‌باشد (P<۰/۰۰۱). همچنین اثر متقابل جنس سنگ و شیب نیز در سطح ۱ درصد بر درصد کربنات کلسیم معادل تاثیرگذار است (p<۰/۰۱). بیشترین مقدار کربنات کلسیم معادل در جنس سنگ آهک چناران (۴۰/۴۱ درصد) و کمترین میزان آن در جنس سنگ گرانیت (۱۴/۷۲ درصد) می‌باشد. همچنین بیشترین میزان کربنات کلسیم معادل در کلاس شیب زیاد (۲۷/۰۲ درصد) مشاهده شد و کمترین مقدار آن در شیب کم (۲۳/۴۵ درصد) می‌باشد (شکل ۶). با توجه به وجود تشکلات آهکی و غیر آهکی انتظار می‌رود درصد کربنات کلسیم معادل در جنس سنگ‌های مختلف دارای تفاوت مشخصی باشند. کوالسکا و همکاران (Kowalska *et al*., 2019) تفاوت درصد کربنات کلسیم معادل را در چهار نوع کاربری اراضی مختلف تایید کردند. همانطور که گفته شد با افزایش درصد شیب، درصد کربنات کلسیم معادل نیز افزایش می‌یابد که شاید دلیل این امر پوشش گیاهی ضعیف، رواناب و فرسایش بیشتر موجود در قسمت‌های بالایی شیب باشد که باعث ظاهر شدن آهک در سطح خاک می‌شود.



شکل ۲- تغییرات درصد رس در شیب‌ها و جنس سنگ‌های مختلف (حروف یکسان فاقد معنی‌داری در سطح ۵ درصد)

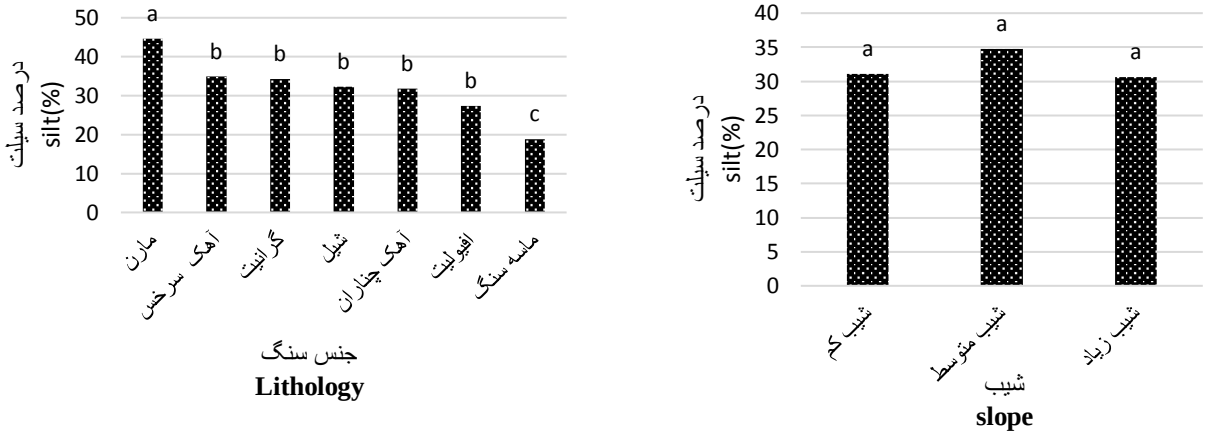
Figure 2- Variation of clay percent in different slopes and types of stones (same letters was not significant at P < 0.05)



شکل ۳- تغییرات درصد شن در شیب‌ها و جنس سنگ‌های مختلف (حروف یکسان فاقد معنی‌داری در سطح ۵ درصد)

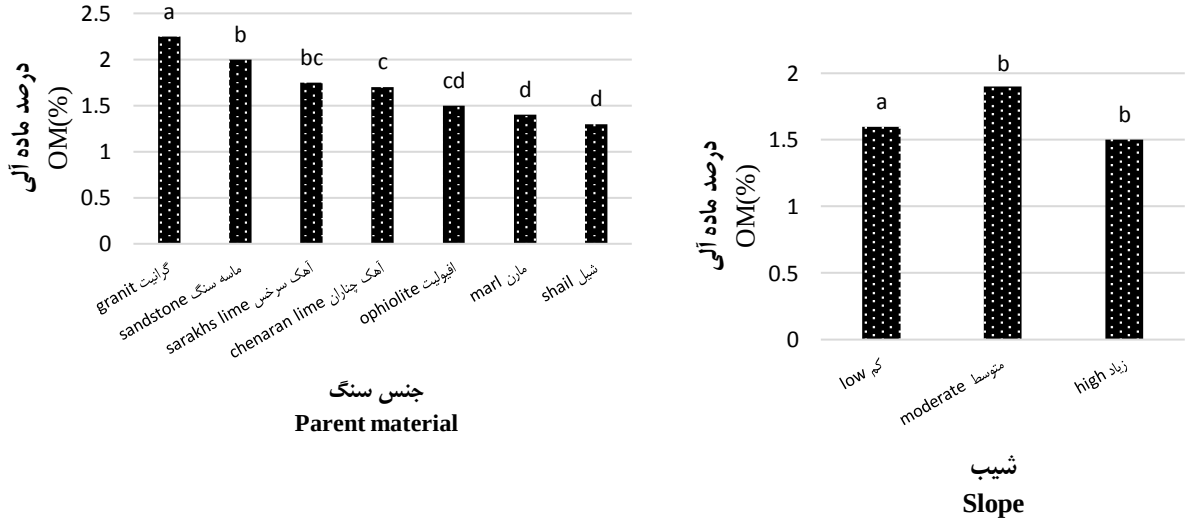
Figure 3- Variation of sand percent in different slopes and types of stones (same letters was not significant at P < 0.05)

همچنین به‌دلیل حجم بیشتر رواناب در قسمت‌های پایین دامنه و سرعت کمتر آن در شیب‌های پایین‌تر امکان شست‌وشوی کربنات‌کلسیم معادل از افق سطحی خاک بیشتر فراهم می‌شود. نتایج تحقیقات پژند و همکاران (Pajand *et al.*, 2016) در منطقه سنگانه با اقلیم نیمه خشک و خاک شیل با لایه های نازک سیلت استون نشان داد بیشترین درصد کربنات‌کلسیم در شیب بالاتر از ۵۰ درصد و کمترین مقدار آن در شیب کمتر از ۵ درصد مشاهده شد، که با نتایج این تحقیق کاملا هم‌خوانی دارد. در مورد جنس سنگ گرانیت نیز به دلیل عدم وجود تشکیلات آهکی همراه با این جنس سنگ، سبب کاهش قابل ملاحظه میزان کربنات کلسیم معادل درخاک‌های حاصل از این جنس سنگ شده است.



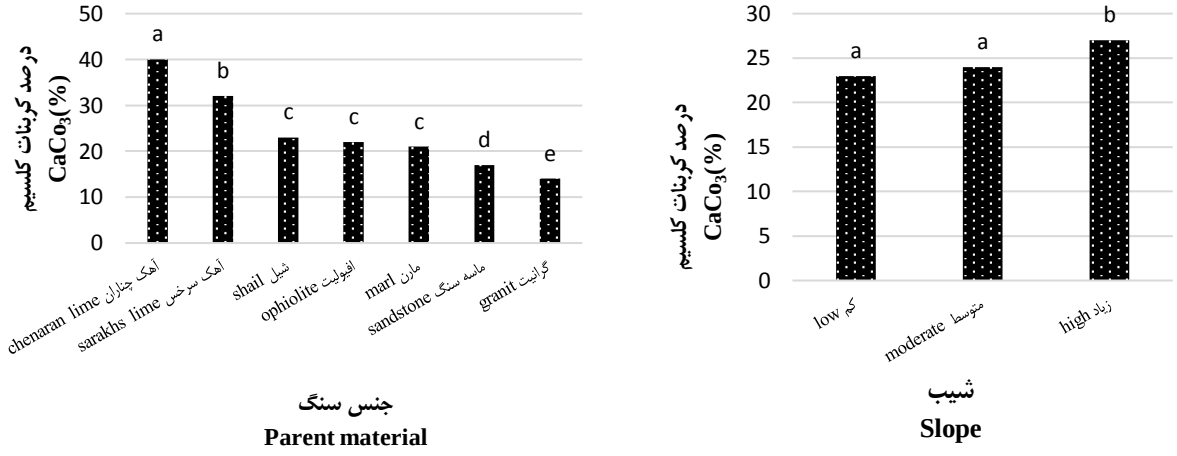
شکل ٤- تغییرات درصد سیلت در شیب‌ها و جنس سنگ‌های مختلف

Figure 4- Variation of silt percent in different slopes and types of stones (same letters was not significant at P < 0.05)



شکل ٥- تغییرات درصد ماده آلی در شیب‌ها و جنس سنگ‌های مختلف (حروف یکسان فاقد معنی‌داری در سطح ۵ درصد)

Figure 5 - Variation of organic matter percent in different slopes and types of stones (same letters was not significant at P < 0.05)



شکل ٦- تغییرات درصد کربنات کلسیم در شیب‌ها و جنس سنگ‌های مختلف (حروف یکسان فاقد معنی‌داری در سطح ۵ درصد)

Figure 6- Variation of calcium carbonate percent in different slopes and types of stones (same letters was not significant at P < 0.05)

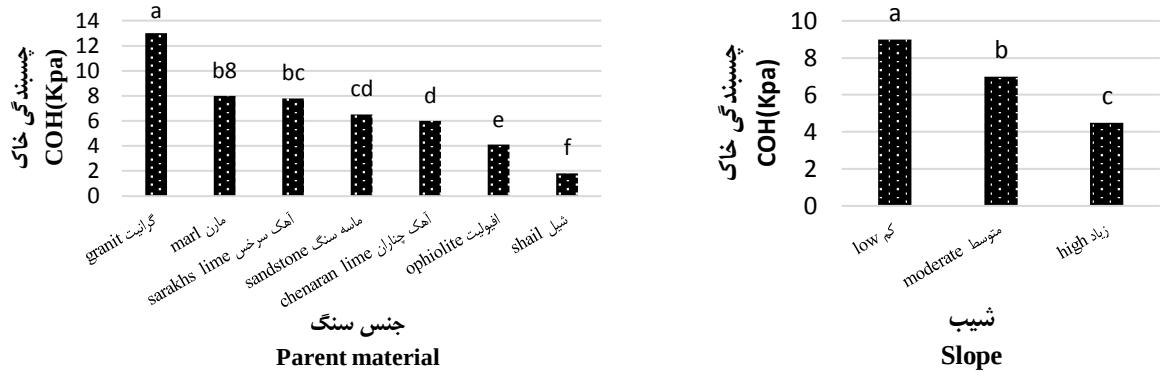
اثر درصد شیب و جنس سنگ بر چسبندگی خاک

بیشترین مقدار چسبندگی خاک به ترتیب در جنس سنگ‌های گرانیت، مارن، آهک سرخس، ماسه سنگ، آهک چناران، افیولیت و شیل مشاهده شد (شکل ۷). چسبندگی خاک یکی از ویژگی‌های ذاتی خاک می‌باشد که پارامتری از مقاومت برشی خاک است و به اصطکاک داخلی بین دانه‌های خاک بستگی ندارد. مقاومت برشی توده خاک، مقاومت داخلی واحد سطح آن خاک است که می‌تواند برای مقابله با گسیختگی یا لغزش در امتداد هر صفحه داخلی بروز دهد. بنابراین یکی از ویژگی‌های مهم خاک به‌ویژه در شیب دامنه چسبندگی خاک می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد چسبندگی خاک در جنس سنگ‌ها و شیب‌های مختلف دارای تفاوت معناداری می‌باشد ($p<۰/۰۰۱$)، به‌طوری که هرکدام از شیب‌ها با دو کلاس شیب دیگر دارای تفاوت معناداری از نظر این پارامتر می‌باشد. نتایج به‌دست آمده از متغیر چسبندگی خاک نشان داد، بیشترین مقدار چسبندگی خاک در جنس سنگ گرانیت مشاهده شد، که دلیل آن می‌تواند درصد بالای ماده‌آلی در این جنس سنگ باشد که باعث پیوستگی و انسجام توده خاک می‌شود. در مقابل جنس سنگ شیل که دارای کمترین مقدار ماده‌آلی است، کمترین مقدار چسبندگی خاک را دارد و درصورت وجود رطوبت کافی، می‌تواند مستعد فرسایش توده‌ای باشد. همچنین چسبندگی خاک می‌تواند ناشی از تفاوت نوع کانی‌های تشکیل دهنده رس‌ها باشد. نتایج تحقیقات وانگ و همکاران (Wang *et al.*, 2018) نشان داد که با افزایش درصد شیب، مقدار متغیر چسبندگی خاک کاهش می‌یابد، که این نتیجه‌گیری با نتایج تحقیق حاضر هم‌خوانی دارد.

اثر درصد شیب و جنس سنگ بر مقاومت فروروی خاک

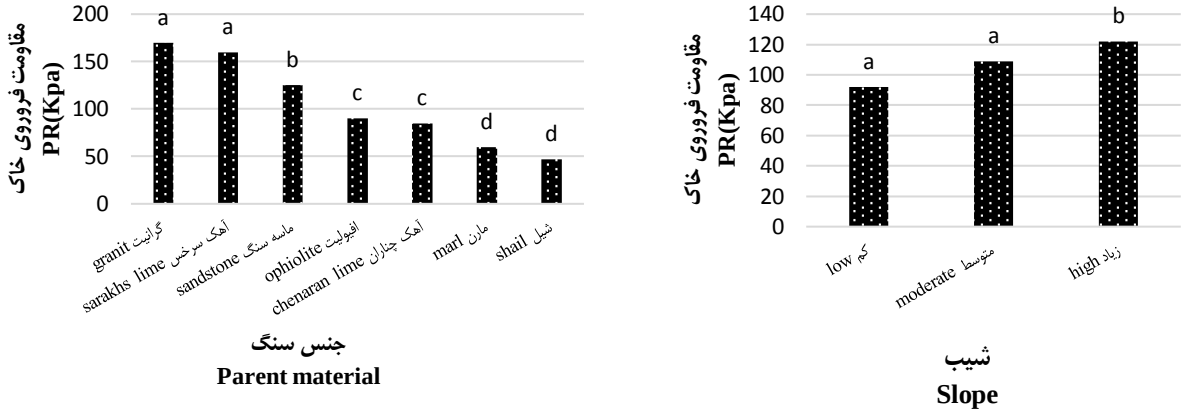
یکی از پارامترهایی که نشان‌دهنده مقاومت فشاری خاک می‌باشد، پارامتر مقاومت فروروی خاک است. مقاومت فشاری خاک عبارت است از ظرفیت تحمل خاک، در مقابل نیروهای فشاری محوری مستقیم و هنگامی که حد مقاومت فشاری خاک فرا می‌رسد، خاک متلاشی خواهد شد.

نتایج تجزیه واریانس مقاومت فروروی خاک نشان داد این پارامتر در جنس سنگ‌ها و شیب‌های مختلف دارای تفاوت معنی‌داری در سطح یک درصد است ($p<۰/۰۰۱$). بیشترین مقاومت فروروی در خاک متعلق به جنس سنگ گرانیت با میزان ۱۶۸/۱۲ کیلوپاسکال و کمترین مقدار آن متعلق به جنس سنگ شیل با میزان ۴۹/۰۲ کیلوپاسکال می‌باشد. همچنین بیشترین مقدار مقاومت فروروی خاک در بین سه کلاس شیب مربوط به کلاس شیب بالا و کمترین آن نیز مربوط به کلاس شیب پایین می‌باشد (شکل ۸). نتایج حاصل از اندازه‌گیری مقاومت فروروی خاک در جنس سنگ‌های مختلف با متغیر چسبندگی خاک مطابقت دارد، درحالی که در شیب‌های مختلف این دو متغیر کاملا نتایجی عکس همدیگر نشان دادند؛ به طوری که متغیر مقاومت نفوذ خاک با افزایش درصد شیب افزایش می‌یابد که دلیل آن می‌تواند تفاوت در توزیع اندازه ذرات و کاهش عمق خاک با افزایش شیب باشد. نتایج به‌دست آمده، با نتایج چن و همکاران (Chen *et al.*, 2022) که بیان کردند با افزایش درصد شیب میزان مقاومت فروروی خاک افزایش می‌یابد، هم‌خوانی دارد.



شکل ۷- تغییرات چسبندگی خاک در شیب‌ها و جنس سنگ‌های مختلف (حروف یکسان فاقد معنی‌داری در سطح ۵ درصد)

Figure 7- Variation of Cohesion in different slopes and types of stones (same letters was not significant at P < 0.05)



شکل ۸- تغییرات مقاومت فروروی خاک در شیب‌ها و جنس سنگ‌های مختلف (حروف یکسان فاقد معنی‌داری در سطح ۵ درصد)

Figure 8- Variation of penetration resistance in different slopes and types of stones (same letters was not significant at P < 0.05)

اثر درصد شیب و جنس سنگ بر هدایت هیدرولیکی اشباع

هدایت هیدرولیکی اشباع توانایی انتقال آب در خاک در حالت اشباع است و یکی از مهمترین ویژگی‌های فیزیکی خاک می‌باشد که در تعیین سرعت نفوذ، مقدار نفوذ عمقی و دیگر فرآیندهای هیدرولوژیکی موثر است و به عوامل مختلفی مانند: بافت خاک و درجه نفوذپذیری آن، درصد رطوبت اولیه خاک، خصوصیات شیمیایی سیال عبوری، درجه اشباع و نسبت تخلخل بستگی دارد. نتایج حاصل از اندازه‌گیری این متغیر نشان داد که جنس سنگ‌های مختلف از نظر هدایت اشباع با یکدیگر تفاوت معنی‌داری دارند (p<۰/۰۰۱). همچنین متغیر هدایت هیدرولیکی اشباع در شیب‌های مختلف دارای تفاوت معنی‌داری می‌باشد (P<۰/۰۵). بیشترین مقدار هدایت هیدروایکی اشباع در جنس سنگ مارن با میزان ۱۵/۸۳ سانتی‌متر در ساعت و کمترین مقدار آن در جنس سنگ آهک چناران با مقدار ۶/۹۰ سانتی‌متر در ساعت می‌باشد (شکل ۹).

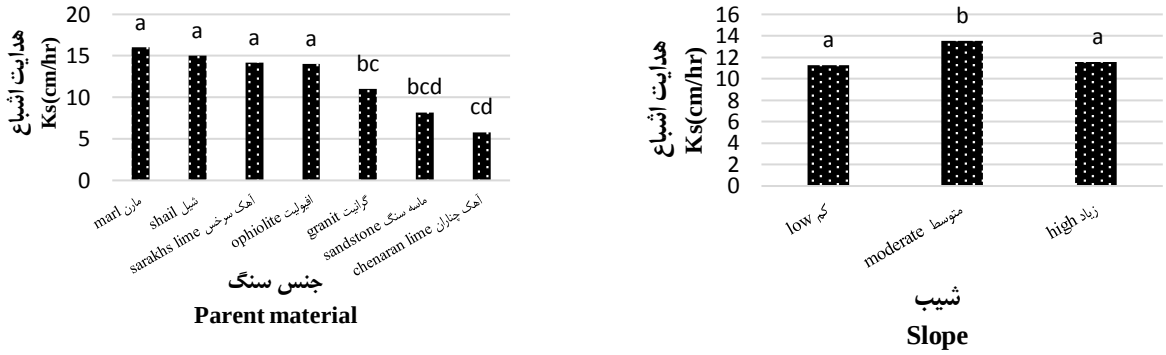
همچنین از بین سه کلاس شیب، شیب متوسط دارای بالاترین مقدار هدایت اشباع می‌باشد. سعدی‌پور و همکاران (Saadipoor *et al.*, 2017) در پژوهشی در منطقه خنج استان فارس به بررسی مهمترین عوامل موثر بر هدایت هیدرولیکی اشباع پرداختند و نتایج آنها نشان داد پارامترهای درصد شن، درصد رس، درصد کربنات کلسیم، درصد گچ و درصد ماده‌آلی بیشترین تاثیر را بر هدایت اشباع خاک دارد. با توجه به تفاوت پارامترهای ذکر شده در تمام جنس سنگ‌های مورد مطالعه انتظار می‌رود، متغیر هدایت اشباع نیز از نظر عامل سنگ‌شناسی دارای تفاوت معنی‌داری باشد. در مورد اثر شیب بر میزان متغیر هدایت اشباع ذکر این نکته ضروری است که نحوه آرایش ذرات خاک در اراضی شیبدار متفاوت از حالت افقی است و در واقع با افزایش شیب تا حدودی نظم قرار گرفتن ذرات بیشتر می‌شود، اما در شیب‌های بالاتر به علت عدم پایداری ذرات خاک از یک طرف و از طرف دیگر بدلیل کاهش

عمق خاک، هدایت اشباع کاهش می‌یابد. رئوف و همکاران (Raoof et al., 2010) کاهش هدایت هیدرولیکی اشباع را با افزایش درصد شیب تایید کردند.

اثر درصد شیب و جنس سنگ بر سله سطحی

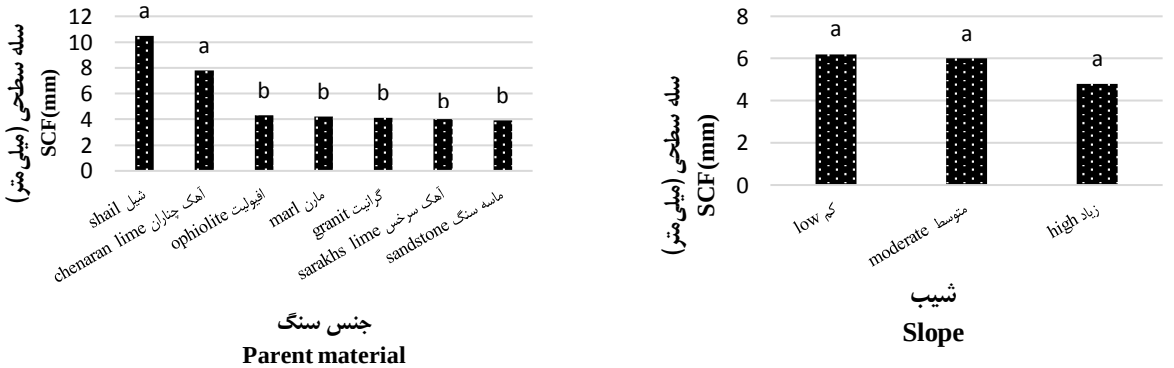
عواملی که در تشکیل سله سطحی موثر می‌باشند شامل درصد رس موجود در خاک، ظرفیت نگهداری آب در خاک، چگالی ظاهری خاک، ماده آلی، ظرفیت تبادل کاتیونی و سطح ویژه ذرات است (Ramazani et al., 2018). از بین هفت جنس سنگ مورد مطالعه جنس سنگ شیل سرخس با میزان ۱۰/۸۰۷میلی‌متر دارای بیشترین میزان سله سطحی می‌باشد در حالی که ماسه سنگ چناران با میزان ۳/۹۸۵ میلی‌متر دارای کمترین مقدار سله سطحی می‌باشد. از بین سه کلاس شیب نیز در شیب کم بیشترین مقدار سله سطحی مشاهده شده‌است (شکل ۱۰). عامل جنس مانند سایر پارامترها بر متغیر سله سطحی در سطح ۱ درصد موثر بوده است و در جنس سنگ‌های مختلف دارای تفاوت معنی‌داری می‌باشد. همانطور که گفته شد عوامل متعددی بر ایجاد سله در سطح خاک موثر است که از مهمترین این عوامل درصد رس، ماده‌آلی، کربنات کلسیم معادل موجود در خاک می‌باشد. با مقایسه نتایج حاصل از اندازه‌گیری درصد رس با ضخامت سله‌سطحی به خوبی مشخص می‌شود که بین این دو پارامتر در جنس سنگ‌های مختلف هماهنگی خوبی وجود دارد.

سینگر و بیزونایس (Singer and Bissonnais., 1998) به بررسی مهمترین عوامل موثر بر سله سطحی پرداختند و بیان کردند ویژگی‌هایی از قبیل ناچیز بودن ماده‌آلی، ساختمان ضعیف و پایداری کم خاکدانه‌ها از عوامل موثر بر ایجاد سله در سطح خاک در این مناطق می‌باشد. از آنجایی که درصد رس در شیب‌های مختلف دارای تفاوت معناداری نمی‌باشد، می‌توان عدم معناداری سله سطحی در شیب‌های مختلف را به این موضوع نسبت داد.



شکل ۹- تغییرات هدایت اشباع در شیب‌ها و جنس سنگ‌های مختلف (حروف یکسان فاقد معنی‌داری در سطح ۵ درصد)

Figure 9- Variation of saturated conductivity in different slopes types of stones (same letters was not significant at P < 0.05)



شکل ۱۰- تغییرات سله سطحی در شیب‌ها و جنس سنگ‌های مختلف (حروف یکسان فاقد معنی‌داری در سطح ۵ درصد)

Figure 10- Variation of Surface crust factor **in different slopes types of stones (same letters was not significant at P < 0.05)**

اثر درصد شیب و جنس سنگ بر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها

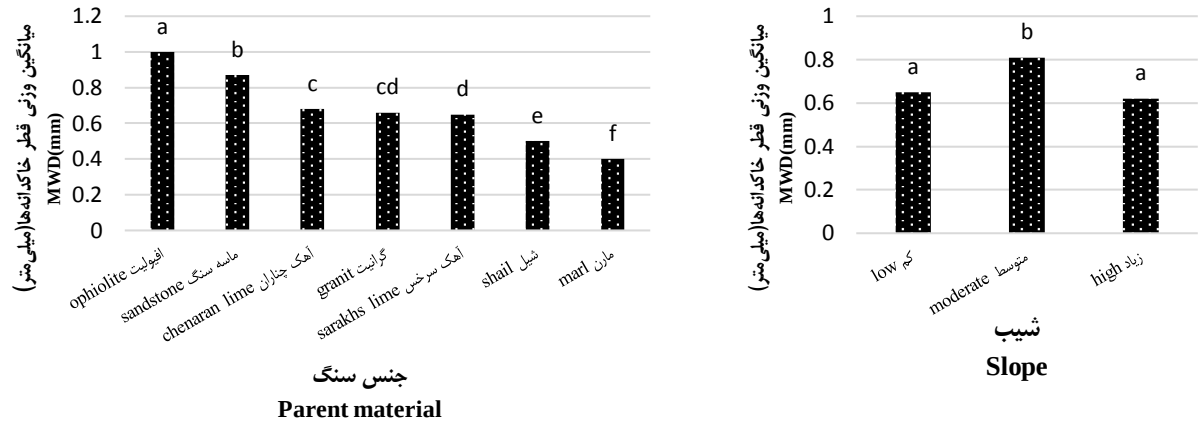
بیشترین مقدار میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در جنس افیولیت با مقدار ۱/۰۰۵ میلی‌متر و کمترین مقدار آن در جنس سنگ مارن با مقدار ۰/۴۰۳ میلی‌متر می‌باشد. همچنین شیب متوسط از بین سه کلاس شیب، دارای میزان میانگین وزنی قطر خاکدانه بیشتری از دو کلاس شیب دیگر است و در تمام جنس سنگ‌های مورد مطالعه میزان میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در شیب میانه از سایر شیب‌ها بیشتر بوده است (شکل ۱۱). تمام جنس سنگ‌ها از نظر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها با یکدیگر دارای تفاوت قابل ملاحظه‌ای می‌باشند به‌طوری که تقریبا هر جنس سنگ با سایر جنس سنگ‌ها از نظر این پارامتر دارای تفاوت معنی‌داری می‌باشد. پارامتر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها عامل مهمی از پایداری خاکدانه‌ها می‌باشد که به عواملی ازقبیل بافت خاک، درصد ماده آلی و درصد کربنات کلسیم بستگی دارد و از آنجا که هر کدام از این متغیرها در جنس سنگ‌های مختلف دارای اختلاف معنی‌داری می‌باشد، این پارامتر نیز در جنس سنگ‌های مختلف تفاوت معناداری دارد. ملائی و همکاران (Molaii *et al*., 2015) با بررسی عوامل موثر بر عامل میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها به این نتیجه رسیدند که درصد ماده‌آلی بیشترین تاثیر را بر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها دارد. این نتایج با نتایج بدست آمده از اندازه‌گیری ماده‌آلی در شیب‌های مختلف دقیقا همخوانی دارد. نتایج این تحقیق درباره تفاوت میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در جنس سنگ‌های مختلف با نتایج اطمینان و همکاران (Etminan *et al*., 2011) و درباره اندازه‌گیری میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در شیب‌های مختلف با تحقیقات وانگ و همکاران (Wang *et al*., 2023) همخوانی دارد.

اثر درصد شیب و جنس سنگ بر پارامتر تعداد موثر قطره

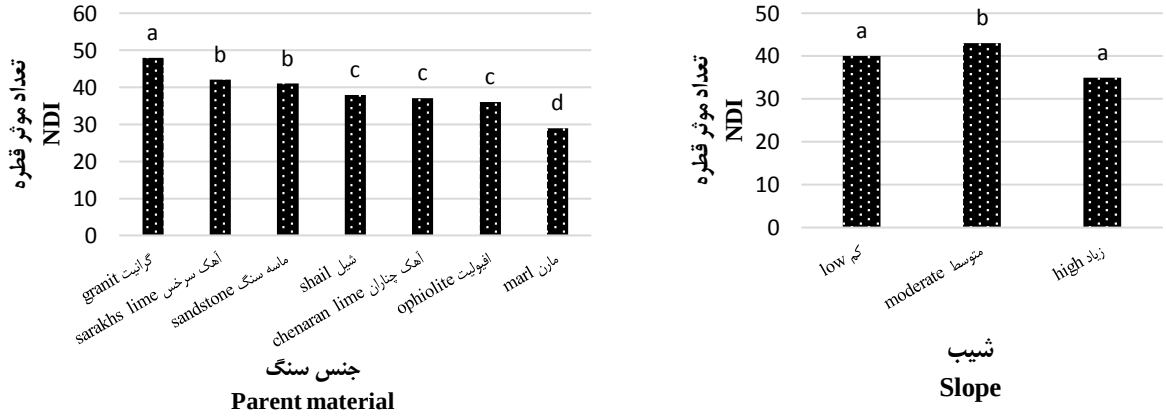
پارامتر دیگری که نشان‌دهنده پایداری خاکدانه‌ها خصوصا در برابر ضربه مستقیم قطره باران می‌باشد، توانایی مقاومت ذرات خاک در برابر باران است که به اختصار آن را NDI می‌نامند. ذرات خاک تحت شرایط مختلف مقاومت متفاوتی در برابر قطرات باران نشان می‌دهند این تفاوت می تواند با افزایش شیب، پوشش سطحی، ماده آلی، کربنات کلسیم معادل و ... قابل توجه باشد (Balyani *et al*., 2018) میانگین متغیر تعداد موثر قطره در جنس سنگ‌های مختلف دارای دامنه نسبتا زیادی می‌باشد، به‌طوری که جنس سنگ گرانیت با تعداد میانگین ۴۸/۱۴ قطره دارای بیشترین تعداد و جنس سنگ مارن با تعداد ۲۷/۷۰ قطره دارای کمترین مقدار می‌باشد (شکل ۱۲). اندازه گیری متغیر تعداد موثر قطره در شیب‌های مختلف نشان می‌دهد که میانگین تعداد موثر قطره نیز مانند متغیر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در شیب میانه از دو کلاس شیب دیگر بیشتر می‌باشد که این تفاوت در سطح ۱ درصد معنی‌دار می‌باشد ($p<۰/۰۰۱$). میزان تخریب خاکدانه‌ها در برابر قطرات باران به قطر قطره باران، رطوبت پیشین خاک و پارامترهای ذاتی خاک از قبیل درصد ماده‌آلی و نوع بافت خاک بستگی دارد. طبیعی است هر چه ماده‌آلی در خاکی بیشتر باشد، ذرات خاک با نیروی بیشتری به‌هم چسبیده خواهند بود و انرژی لازم برای تخریب خاکدانه‌ها و یا به عبارتی تعداد قطره لازم برای از هم پاشیدن خاکدانه‌ها بیشتر خواهد بود. همچنین بوسیت و همکاران (Bossuyt *et al*., 2001) عامل درصد رس و سیلت را با خاصیت ثبات‌دهندگی ذرات خاک به یکدیگر، عامل مهمی در پایداری خاکدانه‌ها در برابر قطره باران در نظر گرفتند. بنابراین می‌توان تفاوت معنی‌دار پارامتر تعداد موثر قطره را در جنس سنگ‌های مختلف به تفاوت در بافت خاک و درصد ماده‌آلی نسبت داد. تفاوت میانگین متغیر تعداد موثر قطره در شیب‌های متفاوت نیز از تفاوت میانگین پارامتر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها پیروی می‌کند.

نتیجه‌گیری

هدف از این پژوهش بررسی برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در جنس سنگ‌های مختلف در شیب‌های متفاوت بود. نتایج نشان داد برخی از این خصوصیات در طول دامنه دارای تغییرات قابل ملاحظه‌ای بودند. همچنین تمام پارامترهای مورد بررسی در جنس سنگ‌های مختلف دارای تفاوت معنی‌داری بودند. بر اساس نتایج به‌دست آمده درصد شن در طول دامنه دارای تغییرات قابل ملاحظه‌ای بود و با افزایش شیب بر میزان درصد شن افزوده می‌شود. به طور کلی تغییرات شیب نشان‌دهنده تغییرات بافت خاک نبود و پیشنهاد می‌شود برای بررسی بافت خاک در شیب‌های متفاوت، به‌طور گسترده‌تری مورد بررسی قرار گیرد. تغییرات میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در شیب‌های مختلف حساسیت این ویژگی مهم را به توپوگرافی تایید می‌کند؛ به طوری که با افزایش شیب پایداری خاکدانه‌ها کاهش می‌یابد و پیشنهاد می‌شود برنامه‌های مدیریتی برای حفاظت از خاک برای جلوگیری از فرسایش در مناطق شیب‌دار مورد تاکید بیشتر باشد.



شکل ۱۱- تغییرات میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در شیب‌ها و جنس سنگ‌های مختلف (حروف یکسان فاقد معنی‌داری در سطح ۵ درصد)
Figure 11- Variation of the mean weight diameter of soil aggregates in different slopes types of stones (same letters was not significant at P < 0.05)



شکل ۱۲- تغییرات تعداد موثر قطره در شیب‌ها و جنس سنگ‌های مختلف (حروف یکسان فاقد معنی‌داری در سطح ۵ درصد)
Figure 12- Variation of number drop impact of soil aggregates in different slopes types of stones (same letters was not significant at P < 0.05)

بررسی ماده آلی در طول دامنه نیز نشان‌دهنده تغییرات قابل ملاحظه این ویژگی در شیب دامنه بود؛ به‌طوری که با افزایش شیب میزان ماده آلی به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد و از آنجا که درصد ماده آلی در مناطق خشک و نیمه خشک پایین است، پیشنهاد می‌شود برای حفظ ماده آلی در قسمت‌های پایین شیب اقدامات لازم انجام شود. کمترین مقدار ماده آلی در جنس سنگ شیل مشاهده شد و پیشنهاد می‌شود برای مقابله با فرسایش خاک در این مناطق اقدامات مدیریتی لازم انجام شود. نتایج حاصل از اندازه‌گیری درصد کربنات کلسیم معادل در جنس سنگ‌های مختلف تفاوت قابل ملاحظه‌ای را نشان داد؛ همچنین عامل توپوگرافی تغییرات قابل ملاحظه‌ای از درصد کربنات کلسیم معادل را منعکس می‌کند. پیشنهاد می‌شود اثر درصد کربنات کلسیم بر روی سایر ویژگی‌های خاک در پژوهش‌های بعدی بیشتر مورد بررسی قرار گیرد. بعنوان یک نتیجه‌گیری کلی و با توجه به اینکه ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک تا حدودی تحت تاثیر ماده مادری و شیب قرار دارند و همچنین با وجود اطلاعات زمین‌شناسی خوب در کشور می‌توان با بررسی جامع ویژگی‌های خاک تحت شیب و ماده مادری متفاوت، راهکارهای مدیریتی مناسب برای جلوگیری از تخریب و فرسایش خاک ارائه کرد.

منابع

1. Baliani, A., Vaezi, A.R., & Emami, H. (2018). Variability of splash erosion from slope gradient and soil properties. *Iran-Watershed Management Science & Engineering*, *12*(41), 95-104. (In Persian with English Abstract)
2. Black, A.L., & Walkley, H. (1986). Bulk density. In: Editor Methods of soil analysis. Part 1: Physical and Mineralogical Method. Agronomy Monograph. *Soil Science Society of America Journal and American Society of Agronomy*, *9*(21), 374-380. https://doi.org/10.2136/sssabookser5.1.2ed.c18
3. Bossuyt, H., Denef, K., Six, J., Frey, S.D., Merckx, R., & Paustian, K. (2001). Influence of microbial populations and residue quality on aggregate stability. *Applied Soil Ecology*, *16*(3), 195-208. https://doi.org/10.1016/S0929-1393(00)00116-5
4. Bouyoucos, G.J. (1962). Hydrometer method improved for making particle size analyses of soils 1. *Agronomy Journal*, *54*(5), 464-465. https://doi.org/10.2134/agronj1962.00021962005400050028x
5. Buraka, T., Elias, E., & Lelago, A. (2022). Soil organic carbon and its' stock potential in different land-use types along slope position in Coka watershed, Southern Ethiopia. *Heliyon*, *8*(8). https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e10261
6. Chen, S., Zhang, G., Zhu, P., Wang, C., & Wan, Y. (2022). Impact of slope position on soil erodibility indicators in rolling hill regions of northeast China. *Catena*, *217*, 106475. https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106475
7. Etminan, S., Kianian, F., Khormali, F., & Habashi, H. (2011). Effect of soil properties with different parent materials on aggregate stability: in Shastkola watershed, Golestan province. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, *1*(2), 39-58. (In Persian)
8. Fryrear, D.W., Bilbro, J.D., Saleh, A., Schomberg, H., Stout, J.E., & Zobeck, T.M. (2000). RWEQ: Improved wind erosion technology. *Journal of Soil and Water Conservation*, *55*(2), 183-189.
9. Haverkamp, R., Ross, P.J., Smettem, K.R.J., & Parlange, J.Y. (1994). Three-dimensional analysis of infiltration from the disc infiltrometer: 2. physically based infiltration equation. *Water Resources Research*, *30*(11), 2931-2935. https://doi.org/10.1029/94WR01788
10. Kemper, W.D., & Rosenau, R.C. (1986). Aggregate stability and size distribution. *Methods of soil analysis: Part 1 Physical and Mineralogical Methods*, *5*, 425-442. https://doi.org/10.2136/sssabookser5.1.2ed.c17
11. Kowalska, J.B., Zaleski, T., Józefowska, A., & Mazurek, R. (2019). Soil formation on calcium carbonate-rich parent material in the outer Carpathian Mountains–A case study. *Catena*, *174*, 436-451. https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.11.025
12. Loeppert, R.H., Hallmark, C.T., & Koshy, M.M. (1984). Routine procedure for rapid determination of soil carbonates. *Soil Science Society of America Journal*, *48*(5), 1030-1033. https://doi.org/10.2136/sssaj1984.03615995004800050016x
13. Liu, G., Xu, M., & Ritsema, C. (2003). A study of soil surface characteristics in a small watershed in the hilly, gullied area on the Chinese Loess Plateau. *Catena*, *54*(1-2), 31-44. https://doi.org/10.1016/S0341-8162(03)00055-9
14. Lupi, A., Steinbach, H.S., Ciarlo, E., Romaniuk, R., Cosentino, V.R., Rimski-Korsakov, H., & Alvarez, C. R. (2021). Organic carbon stored in soils under different land uses and soil textures in southeast Argentinean Mesopotamia. *Geoderma Regional*, *27*, e00435. https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2021.e00435
15. Maleki, S., Khormali, F., Bodaghabadi, M.B., Mohammadi, J., Hoffmeister, D., & Kehl, M. (2020). Role of geomorphic surface on the above-ground biomass and soil organic carbon storage in a semi-arid region of Iranian loess plateau. *Quaternary International*, *552*, 111-121. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2018.11.001
16. Molaii, M., Bashari, H., & Basiri Mosadeghi, M.R. (2015). Evaluation of soil structure stability by sieve method in some pasture places of Isfahan province. *Journal of Agricultural Sciences and Techniques and Natural Resources, Water and Soil Sciences*, *18*(70). (In Persian)
17. Pajand, M.J., Emami, H., & Astaraei, A. (2016). Relationship between topography and some soil properties. *Water and Soil*, *29*(6), 1699-1710. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jsw.v29i6.44736
18. Ramazani, Z., Vaezi, A., Mohamadi, M.H., & Babayi, F. (2018). The combined effect of surface cell on hydraulic conductivity of soil saturation. *Iran Journal of Water and Soil Research*, *48*(3), 565-572. (In Persian with English abstract)
19. Raoof, M., Nazemi, A.H., Sadroddini, A., & Maroofi, S. (2010). Estimation of saturated and unsaturated hydraulic conductivity of sloping lands in permanent and non-permanent states. *Journal of Water and Soil Science*, *20*(4). (In Persian with English abstract)
20. Saadipoor, Ch., Roodpeyma, M., Karima, A., Davatgar, N., & Salehdin M.S. (2017). Evaluation of spatial variation of soil saturated hydraulic conductivity using spatial statistic (case study: Laghar plain). *Journal of Water and Soil Conservation*, *23*(6). (In Persian with English abstract)
21. Singer, M.J., & Bissonnais, Y.L. (1998). Importance of surface seal ingintherosion of some soil from a Mediterranean climate. *Geomorphology*, *24*(32), 79-85.
22. Tang, K.L. (2004). *Soil and water vonservation in China*. Science Press.
23. Tazikeh, H., Khormali, A., & Barani Motlagh, M. (2018). The change and evolution of the soils formed from

different sedimentary parent materials in Navadis Sheikh, Northeast of Bojnord. *Scientific Journal of Agriculture*, *40*(1). (In Persian with English abstract)

24. Walkley, A., & Black, I.A. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, *37*(1), 29-38.
25. Wang, H., Zhang, G.H., Li, N.N., Zhang, B.J., & Yang, H.Y. (2018). Soil erodibility influenced by natural restoration time of abandoned farmland on the Loess Plateau of China. *Geoderma*, *325*, 18-27. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.03.037
26. Wang, P., Su, X., Zhou, Z., Wang, N., & Zhu, B. (2023). Differential effects of soil texture and root traits on the spatial variability of soil infiltrability under natural revegetation in the Loess Plateau of China. *Catena*, *220*, 106693. https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106693
27. Woods, L.E., & Schuman, G.E. (1988). Cultivation and slope position effects on soil organic matter. *Soil Science Society of America Journal*, *52*(5), 1371-1376. https://doi.org/10.2136/sssaj1988.03615995005200050031x
28. Zare, M., Golkarian, A., & Emami, H. (2019). *Study the effect of rock and topography on soil moisture curve properties and soil structural stability indicators*. Thesis. Faculty of Natural Resources and Environment. Ferdowsi University of Mashhad. (In Persian with English abstract)