

Research Article

Agricultural Engineering, 47(2) (2024) 217-237

ISSN (E): 2588-526X

DOI: 10.22055/agen.2024.46346.1715

ISSN (P): 2588-5944

Evaluation of the dispersion criteria of loess soils in relation to climate and physicochemical characteristics (case study: Golestan province)

L. Piri Moghadam¹, F. Khormali^{2,*}, H. Rezaei³ and F. Kiani⁴

1. PhD Student., Dept. of Soil Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran
2. Professor., Dept. of Soil Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran
3. Assistant Professor., Dept. of Geology Science, Faculty of Sciences, Golestan University, Iran
4. Assistant Professor., Dept. of Soil Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran

Received: 8 April 2024

Accepted: 5 June 2024

*Corresponding Author: fkhormali@gmail.com

Abstract

Introduction: loess are a special type of silty soil with a porous structure and poor cohesion, and often contain silt with minor amounts of clay to fine sand. These characteristics make loess among the problematic soils in terms of engineering geology. Problematic soils are observed in different parts of the world including Australia, Brazil, New Zealand, the United States and many areas of Iran. Some fine-grained soils are structurally unstable, that is, they are easily dispersed and are highly erodible. Hence, presence of such soils in engineering and Agricultural projects can cause great damage and financial loss. One of the most important influencing factors in the vulnerability of loess soils is the dispersion phenomenon. Dispersion or colloidal erosion is a physical-chemical process that often occurs in fine-grained soils containing clay particles. In general, dispersion phenomena occur when the shear stress induced by the flow exceeds the friction among particles, causing surface abrasion. Erosion can extend itself along a drying crack, settlement, hydraulic fracture, or other high permeability channels in a soil mass. Dispersive loess soil easily and quickly separates and disperses from each other in water with low salt concentration without any special mechanical stimulation. Climate and physicochemical characteristics are two important factors in soil dispersive. which affect the degree of soil dispersive. Climate affects soil development by influencing physicochemical characteristics. On the other hand, soil texture, clay content, porosity and Bulk density, pH and solubility of salts in soil are closely related to dispersive. Although, extensive researches carried out to determine the dispersion potential of the soils, affecting factors on dispersion phenomenon and validation of the soil dispersion tests, no comprehensive studies have been performed on the effect of climatic characteristics loess soils in Golestan province. Therefore, the aim of this research is to investigate the effect of climate and physicochemical characteristics on soil dispersive.

Materials and Methods: This research was focused on loess soils of Golestan province. Seven pedons were selected, sampled and described in different parts of the province. Climatic data was prepared and physicochemical and dispersive analyzes were performed on soil samples. The values of pH, electrical conductivity, equivalent calcium carbonate, cation exchange capacity and bulk



density were measured. In order to study the degree of divergence, Sherrard's chemical test and pinhole test were performed.

Results and Discussion: By investigating the amount of rainfall in different regions of the province, it was found that the loess soils of Golestan province are not in the same climatic conditions. The results showed that the climatic and physicochemical characteristics of the soils in interaction with each other had a significant effect on the evolution of the soil and the reduction of divergence in the studied soils. The highest amount of precipitation was in Ramyan and Minodasht region and these two regions had greater depth of soil and heavier texture than other pedons. The results of the pinhole test show these soils with intermediate dispersion potential. While the results of the chemical test for most of the samples are non dispersive. According to the results obtained from the pinhole test, Minodasht and Sufian pedons with rainfall of 815.8 and 608.9 mm were completely non-divergent, and Hoten pedon with Aridic moisture regime and rainfall of 189.7 mm had the highest dispersion potential. In total, 30% of the horizons showed moderate dispersion. which were mostly in the Aridic moisture regime. The chemical test in this research also confirmed the presence of a small amount of sodium ion in the saturated soil extract, and only three horizons had the potential of chemical divergence based on the SAR level. From the results, it can be analyzed that the soil dispersion in this research is due to the physical nature of soil particles.

Conclusion: The review of climatic data and the results of physico-chemical tests showed the existence of direct coordination between the climatic and physico-chemical properties of the soil. So that with the increase of rainfall, the soil formation process increased. This means that in soils with xeric regime and high rainfall, the percentage of clay, organic matter, porosity and water retention in the soil has increased. As a result, the dispersion potential in these soils has decreased.

Keywords: *Precipitation, Dispersive soil, Pinhole test, Sherard test*

ارزیابی معیارهای واگرایی خاک‌های لسی در ارتباط با اقلیم و خصوصیات فیزیکوشیمیایی (مطالعه موردی: استان گلستان)

لیدا پیری مقدم^۱، فرهاد خرمالی^{۲*}، حامد رضایی^۳ و فرشاد کیانی^۴

- ۱- دانشجوی دکتری گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران
- ۲- استاد گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران
- ۳- دانشیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه گلستان، ایران
- ۴- دانشیار گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران

تاریخچه مقاله

دریافت: ۱۴۰۳/۰۱/۲۰

پذیرش نهایی: ۱۴۰۳/۰۳/۱۶

کلمات کلیدی:

نانو کربن دات آهن،

پوشش دهی نانو کربن دات،

سورگوم،

محلول پاشی

* عهده دار مکاتبات

Email: fkhormali@gmail.com

چکیده

خاک لسی واگرا خاکی است که بدون هیچگونه تحریک مکانیکی خاص، به آسانی و به سرعت در آب با غلظت کم نمک، از یکدیگر جدا و پراکنده می‌شود. اقلیم و خصوصیات فیزیکوشیمیایی دو عامل مهم در واگرایی خاک محسوب می‌شوند. از این رو هدف از این پژوهش بررسی تأثیر اقلیم و خصوصیات فیزیکوشیمیایی در میزان واگرایی خاک است. این پژوهش بر روی خاک‌های لسی استان گلستان انجام شد. تعداد ۷ خاک‌رخ در نقاط مختلف استان انتخاب، نمونه‌برداری و تشریح گردید. داده‌های اقلیمی تهیه و آنالیزهای فیزیکوشیمیایی و واگرایی بر روی نمونه‌های خاک انجام شد. بررسی داده‌ها، وجود هماهنگی مستقیم بین خصوصیات اقلیمی و فیزیکوشیمیایی خاک را نشان داد. به طوری که با افزایش بارندگی فرآیند خاک‌سازی افزایش یافت. طبق نتایج بیش‌ترین مقدار بارش در منطقه رامیان و مینودشت بود و این دو منطقه نسبت به سایر خاک‌رخ‌ها، عمق سولوم بیش‌تر و بافت سنگین‌تری داشتند. خاک‌رخ‌های مینودشت و صوفیان با مقدار بارندگی به ترتیب ۸۱۵/۸ و ۶۰۸/۹ میلی‌متر کاملاً غیرواگرا بودند و خاک‌رخ هوتن با رژیم رطوبتی اریدیک و بارندگی ۱۸۹/۷ میلی-متر بالاترین پتانسیل واگرایی را داشت. آزمایش شیمیایی شرارد در این پژوهش نیز حضور اندک یون سدیم موجود در عصاره اشباع خاک را تأیید نمود و تنها سه افق بر اساس میزان SAR دارای پتانسیل واگرایی شیمیایی بودند. از نتایج می‌توان چنین تحلیل کرد که واگرایی خاک در این پژوهش به دلیل ماهیت فیزیکی ذرات خاک رخ داده است.

مقدمه

لس‌ها نوع خاصی از خاک‌های سیلتی با ساختار متخلخل و چسبندگی ضعیف هستند. که عموماً یکنواخت، بدون چینه‌بندی، شکننده و بافت آن‌ها غالباً سیلتی با مقدار کم‌تری از رس تا ماسه دانه‌ریز هستند (۱۸). این ویژگی‌ها موجب می‌گردد که لس‌ها از نظر مهندسی زمین‌شناسی در زمره‌ی خاک‌های مسئله‌دار قرار بگیرند (۵). در واقع لس‌ها از رایج‌ترین نوع خاک‌های فروریزی^۱ بوده که مهندسان عمران و کشاورزی با آن‌ها مواجه می‌شوند. اما همین خاک‌ها به دلیل داشتن سیلت فراوان و تخلخل مناسب از نظر آب قابل استفاده و تهویه، از شرایط مطلوبی برای کشاورزی برخوردار هستند. همچنین خاک‌های لسی محیط مناسبی برای نفوذ ریشه داشته و عملیات خاک‌ورزی در آن‌ها به راحتی انجام می‌گیرد (۹). وجود کانی‌های میکایی در بخش سیلت و رس نیز پتاسیم کافی را در اختیار گیاهان قرار می‌دهند. در نتیجه از نظر کشاورزی خاک‌های لسی بسیار حائز اهمیت هستند (۲۱).

یکی از مهم‌ترین فاکتورهای تأثیرگذار در آسیب‌پذیری خاک‌های لسی، پدیده واگرایی^۲ است. واگرایی یا فرسایش کلوییدی^۳، یک فرآیند فیزیکی-شیمیایی است که غالباً در خاک‌های ریزدانه حاوی ذرات رسی رخ می‌دهد (۱۳ و ۳۶). واگرایی فرآیندی است که طی آن خاک در اثر تماس با آب به صورت شناور در آن درآمده و توسط نیروی حاصل از جریان آب از محیط خارج می‌گردد. کانی رسی، شرایط آب منفذی^۴ و نوع آنیون‌های موجود در خاک نیز در پدیده واگرایی مؤثر می‌باشند (۱۶ و ۶). صادقی و همکاران^۵ (۲۰۲۰) با بررسی خاک لسی واگرا در شهرستان چابهار به این نتیجه رسیدند که کاهش غلظت شوری در آب منفذی این نوع از خاک‌ها می‌تواند پتانسیل واگرایی را به بیش از ۴ درصد افزایش دهد، زیرا ضخامت لایه دوگانه پخشیده افزایش می‌یابد (۳۲). شعبان‌زاده و عطرچیان (۲۰۲۱) با

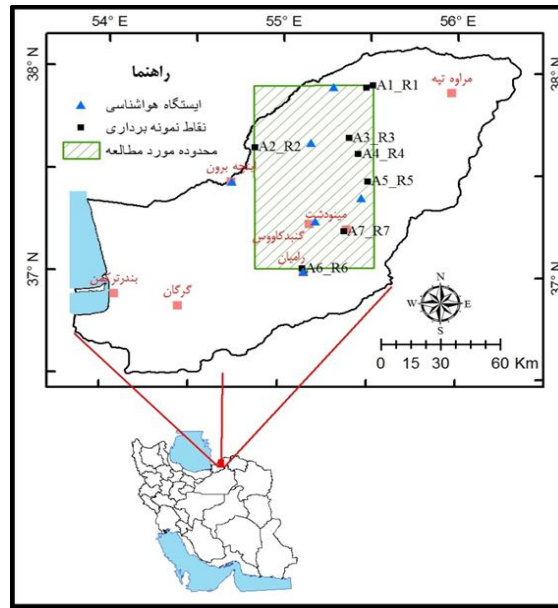
بررسی خاک‌های رسی واگرا در منطقه میرزاخانلو استان زنجان بیان داشتند که فرسایش بر اثر پدیده واگرایی ناشی از فرونی نیروهای دافعه بین ذرات بر نیروی جاذبه آن‌ها می‌باشد و مهم‌ترین عامل بیرونی موثر بر این پدیده، غلظت کاتیون-های تک ظرفیتی نظیر سدیم در آب منافذ است و انتقال ذرات در ماسه‌های ریزدانه بر اثر عدم چسبندگی و ریز بودن آن‌ها صورت می‌گیرد (۳۵). در زمینه واگرایی، مطالعات و تحقیقات بین‌المللی بسیاری بر روی خاک‌های مختلف انجام شده که بیش‌تر آن‌ها از دیدگاه زمین‌شناسی، عملیات عمرانی و.. می‌باشد. اکثر این مطالعات با هدف بررسی انواع روش-های به‌سازی خاک جهت بهبود خصوصیات خاک انجام شده‌اند (۱۵ و ۳۷ و ۲۳). لیکن از دیدگاه خاک‌شناسی به بررسی علل بروز این مشکل در خاک به‌ویژه در رسوبات لسی توجه اندکی شده است. اخیراً موارد زیادی در زمینه واگرایی در خاک‌های استان گلستان مشاهده گردیده است (۱۴) و از آن‌جا که مهم‌ترین بخش خاک‌های لسی کشور در این نواحی قرار دارد و همچنین از حیث کشاورزی و مهندسی این خاک‌ها حائز اهمیت هستند، از این رو اطلاع از چگونگی و مقدار هدررفت این خاک‌ها توسط پدیده واگرایی و بررسی عوامل تأثیرگذار بر این فرآیند از منظر خاک‌شناسی و اهتمام در جهت کنترل و کاهش فرسایش خاک‌های لسی کمک شایانی به مدیریت بهتر منابع خاک در استان خواهد نمود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

این پژوهش در محدوده میانی و شمالی استان گلستان در حد فاصل عرض جغرافیایی $01^{\circ} 37'$ تا $06^{\circ} 37'$ شمالی و طول جغرافیایی $49^{\circ} 54'$ تا $32^{\circ} 55'$ شرقی انجام گرفت (شکل ۱). نقاط مورد مطالعه، در امتداد گرادیان اقلیمی بین دو منطقه کم‌بارش (هوتن) با بارندگی سالانه کم‌تر از ۲۵۰ میلی‌متر و منطقه پر بارش (رامیان) با بارندگی سالانه بیش از ۷۵۰ میلی‌متر انتخاب شدند.

- 1- Dispersive Soil
- 2- Dispersion
- 3- Colloid's erosion
- 4- Pore waters
- 5- Sadeghi *et al.*



شکل (۱) موقعیت خاک‌رخ‌ها در منطقه مورد مطالعه.

Figure (1) Location of soil profiles in the study area.

مطالعات صحرائی و آزمایشگاهی

با توجه به اهداف پژوهش، تعداد ۷ خاک‌رخ در کاربری مرتعی حفر گردید و از راهنمای تشریح شوئبرگر (۲۰۱۲) برای تشریح و نمونه‌برداری خاک‌رخ‌ها استفاده شد (۳۴). نمونه‌های انتقال یافته به آزمایشگاه، هواخشک، کوبیده و از الک دو میلی‌متر عبور داده شدند. سپس بافت خاک به روش هیدرومتری، جرم مخصوص ظاهری به روش سیلندر استیل استاندارد (۱۹)، مقدار واکنش خاک با استفاده از دستگاه pH متر، هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک با استفاده از دستگاه هدایت‌سنج، کربنات کلسیم معادل به روش تیتراسیون برگشتی (۲۵)، ماده آلی به روش والکلی و بلاک (۱۱)، گنج به روش ترسیب با استون و ظرفیت تبادل کاتیونی به روش باور (۸) تعیین گردید. در ادامه آزمایش‌های واگرایی شامل آزمایش شیمیایی و آزمایش پین‌هول انجام شد.

جهت بررسی‌های اقلیمی منطقه مورد مطالعه از داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی، سینوپتیک، تبخیرسنجی و باران‌سنجی مرکز تحقیقات هواشناسی کاربردی استان گلستان که در محدوده منطقه مطالعاتی وجود دارند شامل ایستگاه‌های آق‌بند، داده‌آلوم، اینچه‌برون، رامیان، کلاله و مینودشت استفاده شده است. بر این اساس میانگین دمای سالانه در ایستگاه‌های مورد بررسی بین ۱۷/۱ تا ۱۸/۴ درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری شد که اختلاف چندانی با یکدیگر ندارند. در نتیجه تمامی خاک‌رخ‌ها دارای رژیم حرارتی ترمیک می‌باشند. میانگین بارندگی سالانه مناطق نیز بین ۱۸۹/۷ تا ۹۴۰/۷ میلی‌متر متغیر بوده و بر اساس نقشه رژیم‌های حرارتی و رطوبتی و مدل نیوهال و نرم‌افزار ¹ JNSM نسخه (۱.۶.۱) در اکثر خاک‌رخ‌ها رژیم رطوبتی زیریک گزارش شد (۲۶). که شرح دقیق این اطلاعات در جدول ۱ ارائه گردیده است.

جدول (۱) خصوصیات اقلیمی خاک‌رخ‌ها.

Table (1) Climatic properties of soil profiles.

خاک‌رخ	مختصات جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا	میانگین بارندگی سالانه	میانگین دما سالانه	رژیم حرارتی و رطوبتی خاک	
						Soil thermal-moisture regime
		X	Y			
صوفیان	366726	4147606	151	18.5	Thermic- Xeric	
Soofian	366113	4198716	106	18.4	Thermic- Aridic	
هوتن	357445	4171239	335	18.3	Thermic- Xeric	
Hootan	361999	4162610	362	18.3	Thermic- Xeric	
خالدنی	349395	4113876	126	18.3	Thermic- Xeric	
Khaled Nabi	333739	4100503	180	17.2	Thermic- Xeric	
یلی بدرق	310069	4166311	62	18.6	Thermic- Aridic	
Yeli Badragh						
مینودشت						
Minoodasht						
رامیان						
Ramian						
داشلی برون						
Dashli Borun						

$$(۳) TDS = Na^{+} + K^{+} + Ca^{2+} + Mg^{2+} \quad (۲)$$

$$PS = Na^{+} \div (TDS \times 100)$$

سپس با استفاده از نمودار تعیین واگرایی بر اساس معیار شرارد (شکل ۲) پتانسیل واگرایی خاک‌ها سنجیده می‌شود (۹).

آزمایش پین هول

آزمایش پین هول را معتبرترین آزمایش برای تعیین واگرایی فیزیکی خاک می‌دانند. در این آزمایش واگرایی خاک‌های ریزدانه مستقیماً با عبور جریان افقی آب مقطر با بار آبی عمودی برابر با ۵۰ میلی‌متر از مسیر سوراخ ایجاد شده به قطر یک میلی‌متر در نمونه شروع می‌شود و تحت این بار، کیفیت آب خارج شده از نمونه، مبنای تفکیک رس‌های واگرا از غیرواگرا قرار می‌گیرد (۳۱). نمونه خاک در استوانه‌ای به قطر دلخواه بر روی ماسه درشت-دانه و توری سیمی با چشمه‌های کوچک‌تر از ۲ میلی‌متر که قبلاً در سلول آزمایش قرار داده شده‌اند، متراکم می‌گردد. ارتفاع نمونه مورد آزمایش ۳۸ میلی‌متر می‌باشد.

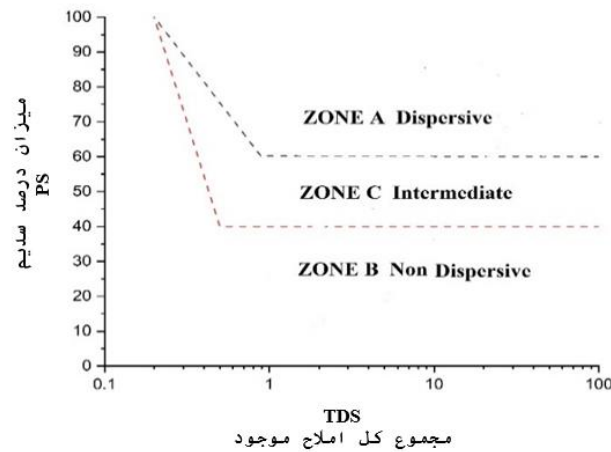
آزمایش شیمیایی واگرایی

آزمایش‌های شیمیایی شرارد بر اساس تاثیر یون سدیم به عنوان عامل اصلی در واگرایی خاک‌ها بنا نهاده شده است. در این روش برای آماده‌سازی، نمونه‌ها با رطوبت طبیعی تهیه شده و رطوبت آن‌ها با آب مقطر به حد روانی رسانده می‌شود (۳۶). خمیر حاصل، ۲۴ ساعت نگه‌داری شده تا بین نمک‌های موجود در آب منفذی و کاتیون‌های موجود در خاک تعادل برقرار شود. با ایجاد خلاء و استفاده از یک صافی حدود ۱۰ تا ۲۵ سانتی‌متر مکعب از آب منفذی خمیر حاصل (عصاره اشباع) برداشته می‌شود. در نهایت غلظت مهم‌ترین کاتیون‌های موجود در خاک شامل سدیم (Na^{+})، پتاسیم (K^{+})، کلسیم (Ca^{+2}) و منیزیم (Mg^{+2}) تعیین شده و بر اساس آن نسبت جذب سدیم (SAR)، مجموع کل املاح موجود (TDS) و میزان درصد سدیم (PS) با استفاده از رابطه‌های ۱، ۲ و ۳ تعیین می‌شود:

$$SAR = Na^{+} \div [0.5 \times (Ca^{2+} + Mg^{2+})]^{0.5} \quad (۱)$$

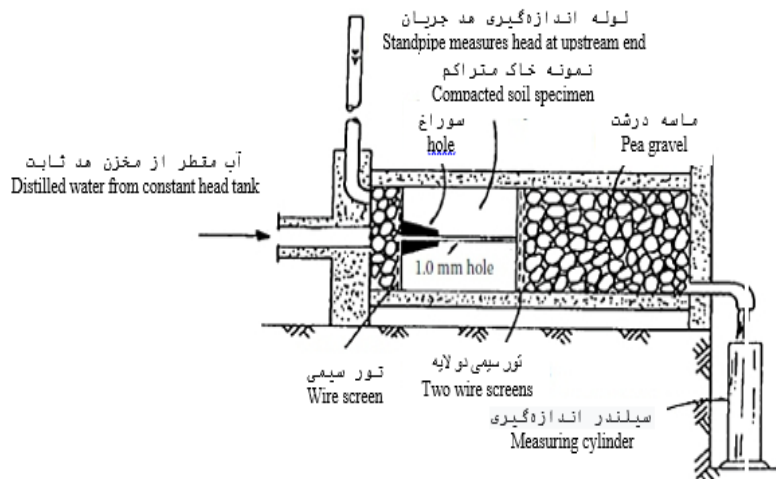
از سوراخ نمونه عبور می دهند. به صورت طبیعی در اثر حل شدن، ذرات نمونه تحت بار هیدرولیکی از میان رس های واگرا و غیرواگرای مختلف خارج می شوند.

به کمک سوزنی به قطر یک میلی متر سوراخی در امتداد محور طولی نمونه ایجاد می شود سپس دستگاه پین هول در وضعیتی قرار داده می شود که این سوراخ در راستای افق باشد (شکل ۳). در این حال آب مقطر را به ترتیب تحت بارهای آبی ۵۰، ۱۸۰ و ۳۸۰ میلی متر در مدت زمانی معین



شکل (۲) طبقه بندی واگرایی بر اساس میزان سدیم تبادلی (شرارد و همکاران، ۱۹۷۶).

Figure (2) Dispersive categories based on the amount of exchangeable sodium (Sherard et al, 1976).



شکل (۳) طرح شماتیک تجهیزات تست پین هول (شرارد و همکاران، ۱۹۷۶).

Figure (3) Schematic diagram of the Pinhole test equipment (Sherard et al, 1976).

عمدتاً افق‌های خاک‌رخ‌های مورد مطالعه دارای کلاس بافتی سیلتی لوم هستند.

تأثیر اقلیم بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک

مقایسه‌ی خاک‌ها در رژیم‌های مختلف رطوبتی نشان می‌دهد که با افزایش بارش، مقدار رس نیز افزایش یافته است. از طرفی عمق سولوم خاک (حد بالایی افق A تا حد بالایی افق C یا C_k در این مطالعه) نیز تحت تأثیر اقلیم بوده است. بیش‌ترین مقدار بارش در خاک‌رخ‌های مطالعاتی در منطقه رامیان و مینودشت بوده و این دو منطقه نسبت به سایر خاک‌رخ‌ها، عمق سولوم بیش‌تر و بافت سنگین‌تری دارند (لوم رسی سیلتی و سیلتی رسی) که شکل ۴ موقعیت قرارگیری بافت سولوم خاک‌ها در مثلث بافت خاک را به خوبی نشان می‌دهد که در بررسی رابطه میانگین درصد رس هر خاک‌رخ با میانگین بارندگی سالانه، رابطه مثبتی بین افزایش بارندگی و مقدار درصد رس موجود در خاک‌رخ ($R^2=0.68$) مشاهده می‌گردد (شکل ۵). با این تفاسیر کم-ترین میانگین درصد رس (۱۱/۳۳) مربوط به خاک‌رخ هوتن با میانگین بارندگی سالانه ۱۸۹/۷ و بیش‌ترین میانگین درصد رس (۲۶/۶۶) متعلق به خاک‌رخ مینودشت با میانگین بارندگی سالانه ۸۱۵/۸ می‌باشد. در مجموع با افزایش بارندگی فرآیند خاک‌سازی افزایش یافته و موجب تغییرات زیادی بر خصوصیات خاک می‌شود.

کربن آلی خاک نیز که نماینده ماده آلی خاک است تحت تأثیر شرایط اقلیمی قرار گرفت. میزان کربن آلی از سطح به عمق و همچنین با کاهش بارندگی و افزایش درجه حرارت کاهش شدیدی پیدا کرد. زیرا با افزایش دما، شرایط مناسب برای فعالیت میکروارگانیسم‌ها و در نتیجه سرعت تجزیه بقایای گیاهی تازه و هوموس موجود در خاک به وجود می‌آید که یک اثر بدیهی و منطقی است. کم‌ترین مقدار کربن آلی خاک مربوط به افق زیرسطحی خاک‌رخ-های هوتن و یلی‌بدراق و بیش‌ترین مقدار آن برابر با ۱/۶ درصد متعلق به افق سطحی خاک رخ رامیان می‌باشد.

نتایج آزمایش، بر اساس میزان حل‌شدگی خارج شده از نمونه و سرعت جاری شدن و اندازه نهایی سوراخ نمونه و بر اساس مشاهده‌های انجام گرفته، قابل بررسی و طبقه‌بندی است. در نهایت آبی که از داخل نمونه‌های خاک‌های واگرا خارج می‌شود کدر و دارای ذرات معلق کلئیدی است. اما در نمونه‌های غیرواگرا، آب مذکور، زلال و شفاف خواهد بود. مقایسه نتایج آزمایش‌های مختلفی که تاکنون برای شناسایی خاک‌های واگرا عرضه شده با آب‌شستگی‌های مشاهده شده در طبیعت نشان داده است که نتایج آزمایش پین‌هول در اکثر موارد با مشاهدات مذکور هماهنگ بوده است. این آزمایش به سه روش انجام می‌شود: روش A، روش B و روش C. در روش C که مبنای انجام آزمایش در این تحقیق نیز بوده، خاک‌ها از نظر واگرایی به ۶ گروه تقسیم می‌شوند (۳۶):

D_1 و D_2 : رس‌های واگرایی که تحت بار آبی ۵۰ میلی‌متر سریعاً وارفته و شکست پیدا می‌کنند.

ND_3 و ND_4 : رس‌های با واگرایی متوسط و کم که تحت بار آبی ۵۰ یا ۱۸۰ میلی‌متر به آهستگی فرسوده می‌شوند.

ND_1 و ND_2 : رس‌های غیرواگرا که تحت بار آبی ۳۸۰ یا ۱۰۲۰ میلی‌متر به صورت غیرکلئیدی و خیلی آهسته فرسوده می‌شوند.

نتایج و بحث

ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها

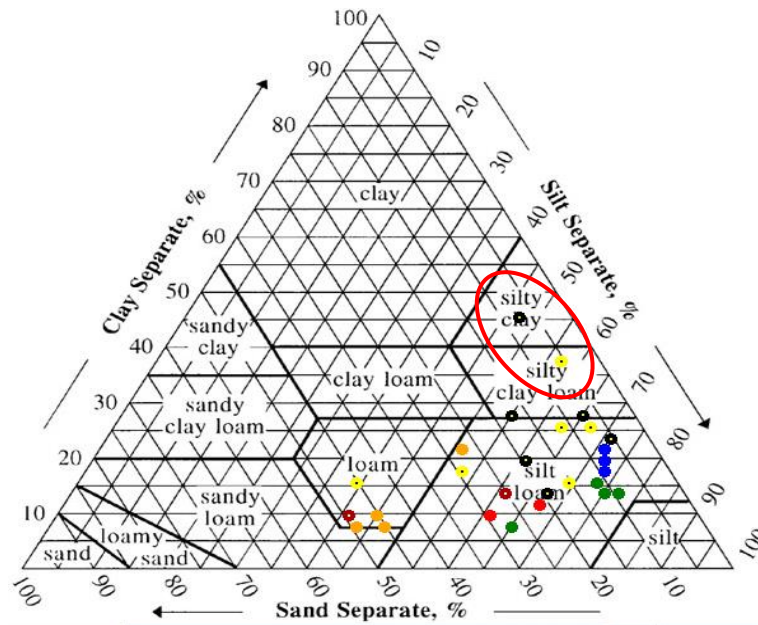
جدول ۲ ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌رخ‌ها را نشان می‌دهد. از آنجا که منشأ مواد مادری خاک‌رخ‌های مطالعاتی حاضر، لس و لس آبرفتی است بنابراین بیش‌ترین ذرات خاک در اندازه سیلت می‌باشد. بعد از ذرات سیلت، ذرات رس بیش‌ترین مقدار را دارد که در برخی افق‌ها به دلیل آبخوبی رس از بالا به پایین، تشکیل افق B_t قابل مشاهده است. در اغلب خاک‌رخ‌ها به‌ویژه در افق C خاک‌رخ، با افزایش عمق بر میزان شن خاک افزوده شده است که دلیل آن می‌تواند هوادیدگی کم‌تر ذرات خاک باشد. بدین ترتیب

جدول (۲) برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌رخ‌ها.

Table (2) Selected physical and chemical properties of the soil profiles.

افق	عمق	شن	سیلت	رس	بافت	کربن آلی	واکنش خاک	شوری	ظرفیت تبادل کاتیونی	کربنات کلسیم معادل	جرم مخصوص ظاهری	افق
Horizon	Depth (cm)	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	Texture	OC	pH	EC (dSm ⁻¹)	CEC (cmol _c kg ⁻¹)	CCE (%)	BD	Horizon
خاک‌رخ صوفیان (P1)												
	0-30	26	60	14	Si-L	0.8	7.75	1.73	13.64	21.3	1.44	A
	30-50	26	60	14	Si-L	0.5	7.75	1.45	11.69	17.5	1.43	B _k
	50-110	50	40	10	L	0.3	7.72	1.23	9.26	2.5	1.52	C
خاک‌رخ هوتن (P2)												
	0-23	22	66	12	Si-L	0.5	7.88	1.41	12.18	25	1.44	A
	23-53	22	66	12	Si-L	0.2	7.89	1.8	9.26	25.8	1.44	B _C
	53-105	30	60	10	Si-L	0.2	8.11	8.35	8.28	21.5	1.49	C _v
خاک‌رخ خلدنی (P3)												
	0-25	12	74	14	Si-L	1.4	7.85	1.95	17.05	21.3	1.4	A
	25-50	10	72	18	Si-L	0.5	7.84	1.8	9.74	19.5	1.36	B _w
	50-80	9	71	20	Si-L	0.3	7.58	1.5	8.5	23	1.36	B _C
	80-120	8	70	22	Si-L	0.2	7.87	1.11	8.77	27.8	1.35	C
خاک‌رخ پلی‌بدرق (P4)												
	0-20	12	74	14	Si-L	.9	7.75	0.82	14.13	20.5	1.41	A
	20-36	12	72	16	Si-L	0.3	7.77	0.77	11.69	23.3	1.4	B _k
	36-80	10	76	14	Si-L	0.2	7.76	0.75	9.74	25	1.4	C
	80-100	28	64	8	Si-L	0.2	8	3.25	8.77	20	1.5	B _{cy}
خاک‌رخ مینودشت (P5)												
	0-28	6	70	24	Si-L	0.8	7.78	1.11	13.64	7.3	1.32	A
	28-65	8	64	28	Si-C-L	0.6	7.75	0.85	12.18	5	1.3	AB
	65-95	8	46	46	Si-C	0.6	7.78	1.68	11.69	24.3	1.22	B _t
	95-115	18	54	28	Si-C-L	0.5	7.79	2.01	10.23	31.8	1.32	B _{K1}
	115-165	20	60	20	Si-L	0.4	7.79	1.15	9.74	27	1.35	B _{K2}
	165-200	20	66	14	Si-L	0.4	7.94	1.14	9.26	5	1.4	C
خاک‌رخ رامیان (P6)												
	0-20	12	62	26	Si-L	1.6	7.75	1.01	19	0.5	1.3	A
	20-42	30	52	18	Si-L	0.7	7.7	0.63	16.08	2.5	1.14	B/A
	42-67	6	56	38	Si-C-L	0.8	7.7	0.82	16.56	6.5	1.27	B _t
	67-125	46	38	16	L	0.5	7.71	0.8	13.64	7.5	1.45	B _w
	125-160	16	68	16	Si-L	0.4	7.74	2.01	11.49	27.5	1.4	B _k
	160-200	8	66	26	Si-L	0.4	7.7	1.25	11.21	5.5	1.32	C _k
خاک‌رخ داشلی‌برون (P7)												
	0-22	46	44	10	L	0.5	7.74	1.58	13.64	22.5	1.52	A
	22-46	50	42	8	L	0.4	7.72	1.2	11.69	20.8	1.53	C
	46-64	28	50	22	Si-L	0.3	7.71	1.8	11.21	23.3	1.38	2B _k
	64-100	46	46	8	L	0.3	7.7	1.72	9.46	22.5	1.52	C _v

پیری مقدم و همکاران: ارزیابی معیارهای واگرایی خاک‌های لسی در...

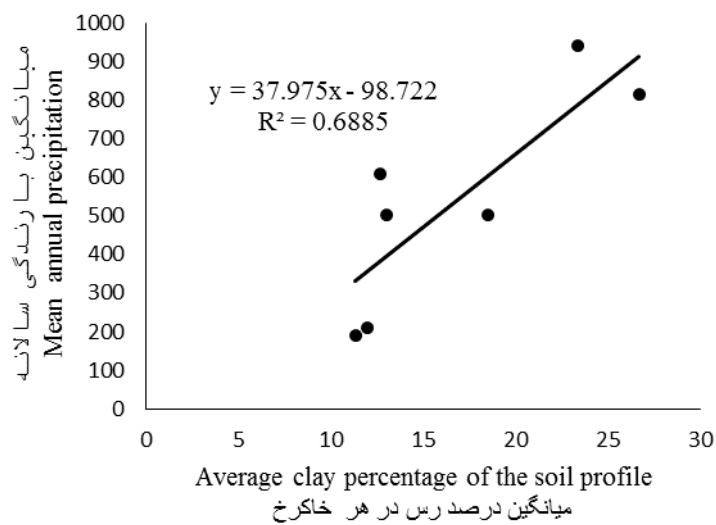


شکل (۴) تعیین بافت خاک در خاک‌رخ‌های مورد مطالعه.

قرمز: هوتن، آبی: خالدنابی، سبز: بلی بدراق، سیاه: مینودشت، زرد: رامیان و نارنجی: داشلی‌برون.

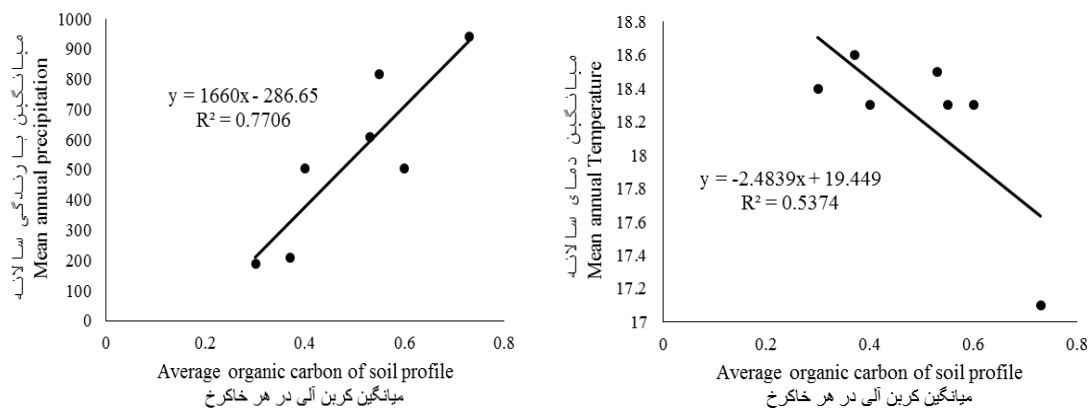
Figure (4) Determination of soil texture in the studied soil profiles.

Red: Hooten, blue: Khaled Nabi, green: Yeli Badragh, black: Minudasht, yellow: Ramian and orange: Dashli Borun.



شکل (۵) تاثیر میانگین بارندگی سالانه بر میانگین رس موجود در هر خاک‌رخ.

Figure (5) Effect of mean annual precipitation on the Average clay of the soil profiles.



شکل (۶) تاثیر میانگین دما و بارندگی سالانه بر میانگین کربن آلی در هر خاک رخ.

Figure (6) Effect of mean annual temperature and precipitation on the Average Organic carbon of the soil proiles.

طی پژوهشی به این نتیجه دست یافتند که تغییر اقلیم با تغییر در الگوی دما و بارش می‌تواند بر پدیده آبشویی اثر بگذارد، به عبارتی افزایش همزمان دما و رطوبت سبب شستشوی ذرات رس و نشست آن‌ها در پروفیل‌های عمیق‌تر خاک می‌شود که به موجب آن لایه‌های عمیق‌تر خاک دارای جرم مخصوص ظاهری بیش‌تری می‌شوند (۲۲). از طرفی وجود مقدار شن بیش‌تر و رس کم‌تر با افزایش میزان تراکم و در نتیجه کاهش حجم منافذ بین ذرات خاک، موجب افزایش جرم مخصوص ظاهری خاک می‌شود (۲۹). به عبارتی با افزایش درصد ماده آلی و همچنین افزایش نسبی درصد رس، میزان تخلخل کل افزایش و در پی آن جرم مخصوص ظاهری کاهش یافت (شکل ۷) که با نتایج عظیم‌زاده و نجفی (۲۰۱۷) مطابقت دارد (۳).

نتایج آزمایش شیمیایی واگرایی

بر اساس معیار شرارد که مقبول‌ترین معیار برای ارزیابی واگرایی در آزمایش‌های شیمیایی می‌باشد، این آزمایش بر روی تمامی نمونه‌های خاک به منظور بررسی میزان پتانسیل واگرایی خاک انجام گرفت و نتایج آن در جدول ۳ گزارش شده است و در شکل ۸ نیز نتایج آزمایش شیمیایی انجام شده روی نمونه‌ها ارائه گردیده است.

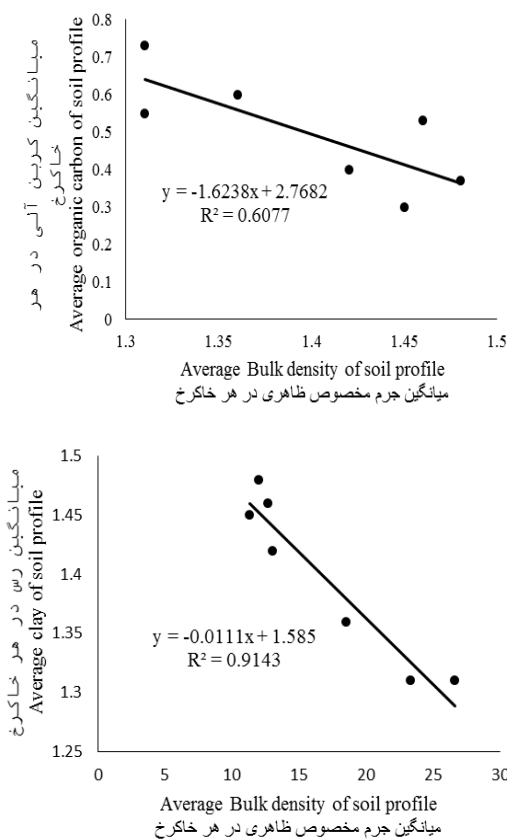
با توجه به نتایج، مشاهده شد که حدود ۱۰ درصد از نمونه‌ها (P23, P44, P56) در رده خاک‌هایی با پتانسیل واگرایی متوسط قرار داشتند که دلیل آن را می‌توان به میزان بالای

در بررسی رابطه کربن آلی با فاکتورهای اقلیمی، رابطه مثبتی بین افزایش بارندگی ($R^2=0.77$)، کاهش دما ($R^2=0.53$) با میزان ذخیره کربن آلی خاک وجود داشت (شکل ۶) که با نتایج سبطی و همکاران^۱ (۲۰۲۳) و باقری‌فام و همکاران^۲ (۲۰۲۲) مطابقت دارد (۳۳ و ۴). همچنین در این راستا آلوآرز و الوادو (۱۹۹۸) نشان دادند که میزان کربن خاک، رابطه مستقیمی با نسبت بارندگی به دما دارد. دای و هوانگ (۲۰۰۹) نیز در مقیاس کل کشور چین، رابطه مثبتی بین میزان کربن آلی خاک با نسبت بارندگی به تبخیر و تعرق مشاهده کردند. هارمس و همکاران^۳ (۲۰۰۲) مشاهده کردند که میزان ذخیره کربن در منطقه با بارندگی ۶۰۰ تا ۷۰۰ میلی‌متر، تقریباً دو برابر مناطق با ۴۰۰ تا ۵۰۰ میلی‌متر بارندگی است (۲، ۱۰ و ۱۷).

از مطالعه جرم مخصوص ظاهری هر خاک رخ مشخص شد که در سطح خاک‌رخ‌ها، به دلیل بالا بودن مقدار مواد آلی، جرم مخصوص ظاهری کاهش یافته است و در واقع هر چه به عمق خاک‌رخ نزدیک‌تر می‌شویم، با کاهش مواد آلی، جرم مخصوص ظاهری افزایش می‌یابد (۱۲). به طوری که بیش‌ترین مقدار جرم مخصوص ظاهری در افق C (با کم‌ترین میزان مواد آلی) مشاهده گردید. زیرا مواد آلی به عنوان یک عامل مهم در هم‌آوری ذرات خاک، بهبود ساختمان و ایجاد تخلخل محسوب می‌شود. محمدزاده و عظیم‌زاده (۲۰۲۳) نیز

1- Sebti *et al.*
2- Bagherifam *et al.*
3- Harms *et al.*

کاهش ضخامت لایه دوگانه می‌شود (۲۴). نتایج اسیدیته در پژوهش حاضر نیز نشان داد در سه نمونه سی واگرا مقدار pH به سمت قلیایی و بیش‌تر از سایر نمونه‌هاست که همین عامل به پراکنده شدن ذرات خاک و انتقال به وسیله جریان آب منجر شده است که با نتایج مروج و همکاران^۳ (۲۰۱۸)، پادیاب^۴ (۲۰۱۸) و بشارتی و همکاران^۵ (۱۳۹۷) مطابقت دارد (۲۴ و ۲۸ و ۷).



شکل (۷) تاثیر میانگین درصد رس و کربن آلی بر میانگین جرم مخصوص ظاهری در هر خاکرخ.

Figure (7) Effect of The average percentage of clay and Organic carbon on the average Bulk density of the soil profiles.

درصد سدیم (شکل ۹) به کل املاح موجود در خاک و به تبع آن افزایش ضخامت لایه دوگانه نسبت داد. به طور کلی افزایش ضخامت لایه دوگانه موجب تغییر فاصله ما بین سطوح رسی، تغییر میزان اندرکنش بین ذرات رسی و در نهایت تغییر در رفتار مهندسی خاک می‌شود (۳۰). مقادیر بالای سدیم تبدلی در نمونه‌های مذکور منجر شده است تا در تناوب‌های خیس و خشک انبساط و انقباض خاک تشدید یابد و نفوذپذیری را در حالت خیس کاهش دهد. یون سدیم قابل تعویض موجب پراکنده شدن خاک شده است. در واقع به دلیل افزایش یون سدیم، ضخامت لایه دوگانه افزایش یافته در نتیجه پیوند بین ذرات در آن خاک‌ها ضعیف‌تر است که در آن‌ها ذرات رسی به صورت مستقل و پراکنده از یکدیگر عمل می‌کنند.

از طرفی با توجه به لزوم تعادل بارها در طبیعت، میزان کاتیون‌های تبدلی برای خنثی کردن بارهای الکتریکی منفی ذرات رسی، به شدت حائز اهمیت است. پیرو مطالعات پیشین بر این باوریم که افزایش غلظت کلسیم و منیزیم ممکن است باعث تجمع کلوئیدهای خاک، بهبود ساختار خاک، افزایش نفوذپذیری خاک و مقاومت بیش‌تر خاک در برابر فرسایش شود. در نمونه‌های واگرا، غلظت کاتیون‌های دو ظرفیتی (کلسیم، منیزیم) نسبت به سایر نمونه‌ها در سیال منفذی کم‌تر بوده که این امر موجب کاهش جایگزینی کاتیون‌ها در لایه دوگانه شده و به دنبال آن ظرفیت تبادل کاتیون کاهش یافته است. که این امر موجب افزایش واگرایی در خاک شده است که با نتایج زارع و همکاران^۱ (۲۰۲۰) مطابقت دارد (۳۹). عامل مهم دیگر میزان اسیدیته خاک است. مارچاک و همکاران^۲ (۲۰۱۳) در پژوهشی بیان داشتند که بار منفی خالص رس‌ها به عنوان عامل اصلی در افزایش واگرایی بوده و pH با تغییر در بار منفی خالص بر پراکندگی ذرات رسی تاثیرگذار خواهد بود (۲۰). در واقع کاهش pH و افزایش H+ در سیال منفذی موجب افزایش بار مثبت در گوشه‌های پولک‌های رسی و

3- Moravej *et al.*

4- Padyab

5- Besharti *et al.*

1- Zare *et al.*

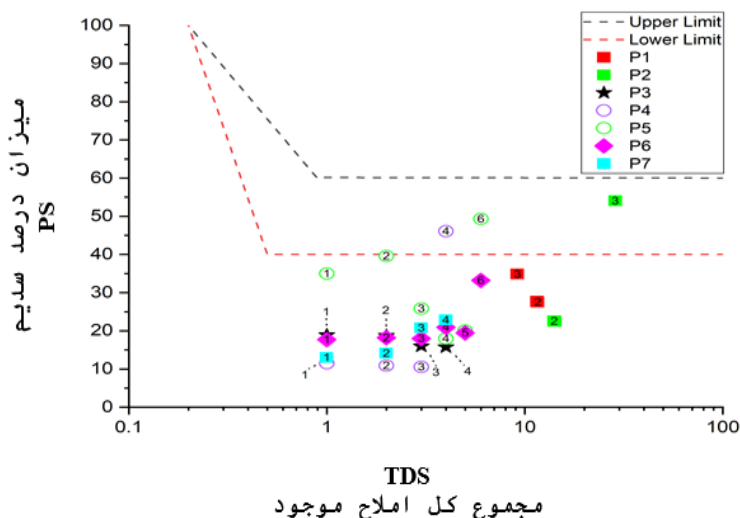
2- Marchuk *et al.*

جدول (۳) نتایج آزمایش شیمیایی خاک‌رخ‌ها.

Table (3) The results of Chemical test of the soil profiles.

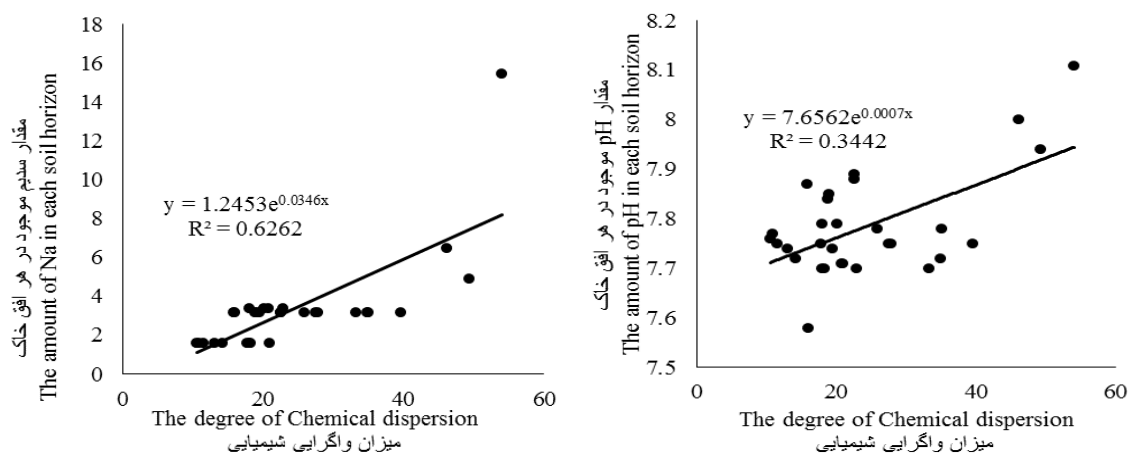
واگرایی	میزان درصد سدیم	کل املاح موجود	نسبت جذب سدیم	پتاسیم	منیزیم	کلسیم	سدیم	شماره نمونه	افق
Dispersion	PS (%)	TDS	SAR (%)	K ⁺ (meq.L ⁻¹)	Mg ²⁺ (meq.L ⁻¹)	Ca ²⁺ (meq.L ⁻¹)	Na ⁺ (meq.L ⁻¹)	Sample Number	Horizon
خاک‌رخ صوفیان (P1)									
Non Dispersive	27.72	11.54	1.68	1.14	2.9	4.3	3.2	P11	A
Non Dispersive	27.49	11.64	1.65	0.94	3.4	4.1	3.2	P12	B _k
Non Dispersive	34.82	9.19	1.92	0.49	3.4	2.1	3.2	P13	C
خاک‌رخ هوتن (P2)									
Non Dispersive	22.47	14.24	1.41	0.64	5.2	5.2	3.2	P21	A
Non Dispersive	22.55	14.19	1.39	0.49	5.1	5.4	3.2	P22	B _C
Intermediate	54	28.7	6.12	0.4	7.3	5.5	15.5	P23	C _v
خاک‌رخ خالدهنی (P3)									
Non Dispersive	18.90	16.93	1.28	1.23	4.5	8	3.2	P31	A
Non Dispersive	18.72	17.09	1.24	0.59	5.1	8.2	3.2	P32	B _w
Non Dispersive	16	18.5	1.18	0.5	4.8	1.2	3.2	P33	B _C
Non Dispersive	15.77	20.29	1.11	0.49	4.3	12.3	3.2	P34	C
خاک‌رخ بلی‌بدرق (P4)									
Non Dispersive	11.51	13.89	0.67	1.09	4.5	6.7	1.6	P41	A
Non Dispersive	10.89	14.69	0.64	0.59	4.7	7.8	1.6	P42	B _k
Non Dispersive	10.56	15.14	0.62	0.54	4.9	8.1	1.6	P43	C
Intermediate	46.09	14.1	3.42	0.4	1.2	6	6.5	P44	B _{cy}
خاک‌رخ مینودشت (P5)									
Non Dispersive	35.01	9.14	2.02	0.94	2.5	2.5	3.2	P51	A
Non Dispersive	39.55	8.09	2.20	0.69	2	2.2	3.2	P52	AB
Non Dispersive	25.82	12.39	1.55	0.69	4.3	4.2	3.2	P53	B _t
Non Dispersive	17.92	18.94	1.24	0.64	5.6	9.3	3.4	P54	B _{K1}
Non Dispersive	20.07	16.94	1.33	0.54	4.5	8.5	3.4	P55	B _{K2}
Intermediate	49.29	9.94	3.26	0.54	1.3	3.2	4.9	P56	C
خاک‌رخ رامیان (P6)									
Non Dispersive	17.71	9.03	0.90	1.23	2.9	3.3	1.6	P61	A
Non Dispersive	18.20	8.79	0.92	1.19	2.6	3.4	1.6	P62	BA/AB
Non Dispersive	17.99	8.89	0.91	1.19	2.6	3.5	1.6	P63	B _t
Non Dispersive	20.94	7.64	1.01	1.04	2.8	2.2	1.6	P64	B _w
Non Dispersive	19.46	16.44	1.26	0.54	5.1	7.6	3.2	P65	B _k
Non Dispersive	33.19	9.64	1.86	0.54	2.4	3.5	3.2	P66	C _k
خاک‌رخ داشلی‌برون (P7)									
Non Dispersive	13.01	12.29	0.71	0.79	5.4	4.5	1.6	P71	A
Non Dispersive	14.10	11.34	0.74	0.54	4.7	4.5	1.6	P72	C
Non Dispersive	20.74	16.39	1.36	0.49	5.4	7.1	3.4	P73	2B _k
Non Dispersive	22.83	14.89	1.44	0.49	4.7	6.3	3.4	P74	C _v

پیری مقدم و همکاران: ارزیابی معیارهای واگرایی خاک‌های لسی در...



شکل (۸) نتایج آزمایش شیمیایی روی گراف شرارد.

Figure (8) The results of the chemical test on the Sherard graph.



شکل (۹) تاثیر میزان سدیم و pH بر واگرایی شیمیایی خاک.

Figure (9) The effect of Na⁺ content and pH on soil chemical dispersion.

گرفت. تیرگی آب خروجی به صورت کدر و تیره (*), کدر تا نسبتاً کدر (**), نسبتاً کدر تا شفاف (***) و کاملاً شفاف (****) ثبت گردید.

آزمایش پین هول به دلیل این که تاثیر جریان آب در طول یک شکاف یا ترک را مدل سازی می کند، نتایج آن بهترین انطباق را با عملکرد فرسایش خاک‌ها در طبیعت دارد (۱). شکل ۱۰ نمودار میزان واگرایی در هر خاک رخ براساس آزمایش پین هول را نشان می دهد.

نتایج آزمایش پین هول

آزمایش پین هول جهت تعیین پتانسیل واگرایی فیزیکی، برای تمامی نمونه‌ها انجام شد و مشاهدات حاصل از میزان و کیفیت آب خروجی بر مبنای روش C ثبت گردید. در ابتدا وزن خاک مورد استفاده در آزمایش با توجه به دانسیته طبیعی خاک در هر نمونه مشخص شد. نمونه‌ی آماده شده به صورت افقی درون دستگاه پین هول قرار داده شد و هنگامی که نمونه کاملاً اشباع گردید، مطابق با جدول ۴، ثبت دبی و زمان در هدهای مختلف ۵۰، ۱۸۰ و ۳۸۰ میلی متر صورت

نتایج به دست آمده از آزمایش پین هول در جدول ۴، حاصل تفسیر نمودارهای استاندارد پین هول در شکل ۱۰ می-باشد که هر نمودار متعلق به یک خاک رخ بوده و بر اساس دبی به دست آمده به هنگام فروپاشی خاک برای افق‌های مختلف در هر خاک رخ رسم شده است. این داده‌ها بر مبنای هد و زمان ثبت شده در هنگام آزمایش، در نمودار قرار داده می‌شوند و در نهایت بر اساس نقاط مشخص شده در نمودار مقدار واگرایی سنجیده می‌شود. با توجه به این نتایج به استثنای نمونه P23 تقریباً تمام نمونه‌ها یا غیر واگرا بوده یا از نظر فیزیکی در رده خاک‌هایی با پتانسیل واگرایی متوسط قرار دارند. بررسی نتایج آنالیز درصد ذرات خاک نشان داد که به طور کلی خاک‌های لسی مورد مطالعه از درصد سیلت بالایی برخوردار هستند به گونه‌ای که در ۷۰ درصد نمونه‌ها، مقدار سیلت بالای ۶۰ درصد مشاهده شده است. از آن‌جا که مقدار سیلت عامل مهمی در فرسایش پذیری خاک محسوب می‌شود هنگامی که مقدار سیلت در خاک بالا باشد به محض دریافت رطوبت به راحتی تخریب و فرسایش می‌یابد. از طرفی درصد کم‌تر رس نسبت به سیلت موجب فقدان پدیده سیمانی شدن، کاهش پایداری خاکدانه‌ها و سست بودن ساختمان خاک می‌شود (۳۸). که تمامی این خصوصیات در جدول فیزیکوشیمیایی قابل ملاحظه است که با نتایج ژانگ و همکاران^۱ (۲۰۲۰) مطابقت دارد (۴۰). نقش مقدار شن در ایجاد و گسترش واگرایی غیر قابل انکار است. از طرفی ذرات شن به علت چسبندگی کم‌تر در مقابل بارندگی، مقاومت زیادی در برابر فرسایش ندارند. این عمل به واگرایی خاک منجر می‌شود و شن در مجاورت با آب انسجام خود را از دست می‌دهد و امکان توسعه واگرایی فراهم می‌شود. با توجه به نتایج به دست آمده، در تمامی این خاک‌رخ‌ها به طور تقریبی ۸۰ درصد شن و سیلت می‌باشند. این نتایج با نتایج بهرامی و همکاران^۲ (۲۰۱۴) و اوچلی و همکاران^۳ (۲۰۲۱) همخوانی دارد (۵ و ۲۷).

1- Zhung *et al.*

2- Bahrami *et al.*

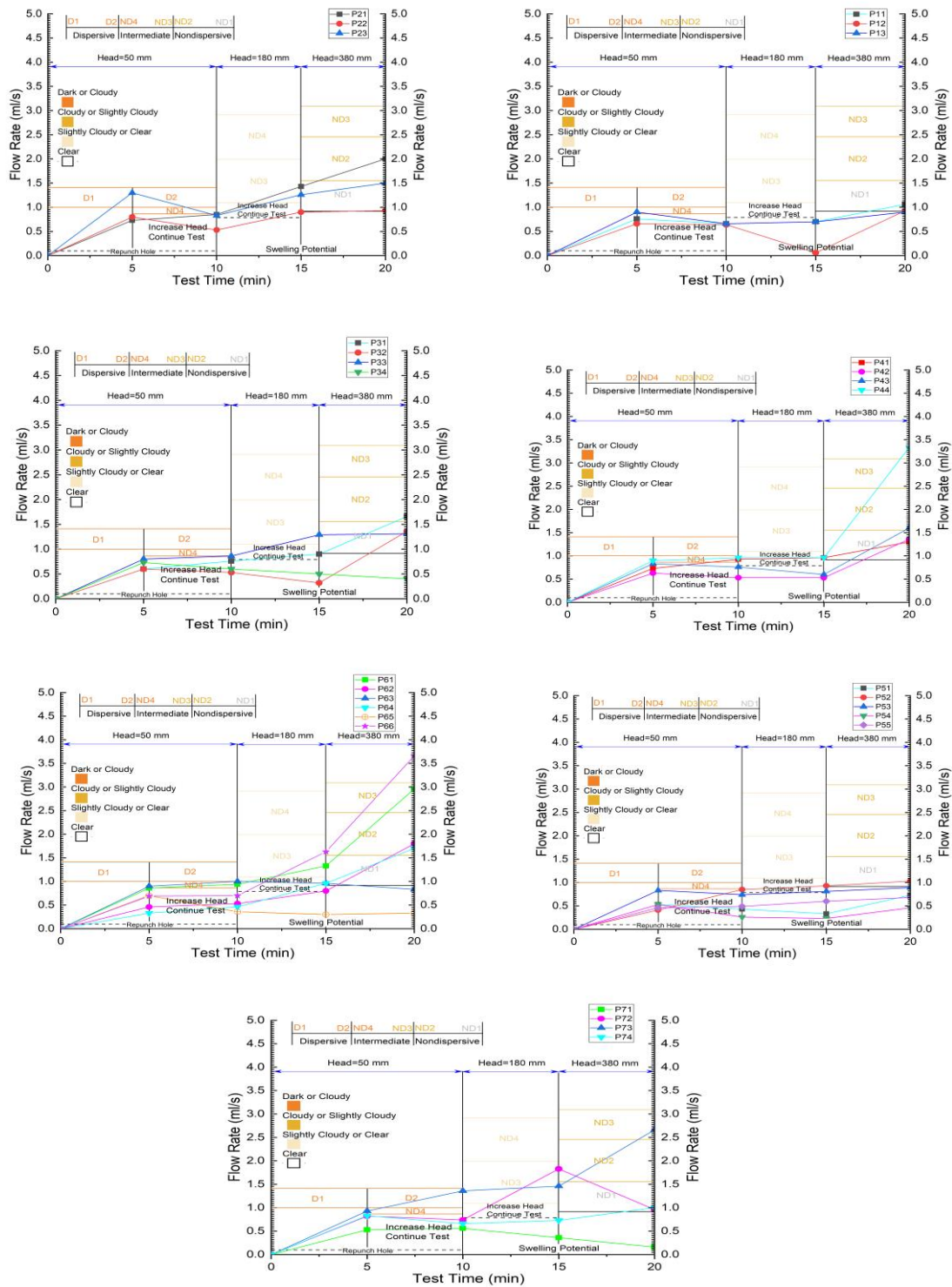
3- Ocheli *et al.*

پیری مقدم و همکاران: ارزیابی معیارهای واگرایی خاک‌های لسی در...

جدول (۴) نتایج آزمایش پین‌هول خاک‌رخ‌ها.

Table (4) The results of Pinhole test of the soil profiles.

واگرایی Dispersion	کیفیت آب خروجی Output water quality	دبی خروجی هدهای مختلف Output flow rate of different heads				شماره نمونه S. N.	افق Horizon	خاک‌رخ Soil profile
		380	180	50				
		5min	5min	10min	5min			
ND1	****	1.06	0.7	0.66	0.76	P11	A	
ND1	****	0.93	0.06	0.64	0.66	P12	B _k	صوفیان
ND4	**	0.9	0.7	0.66	0.9	P13	C	Soofian
ND3	***	2	1.43	0.85	0.73	P21	A	
ND1	****	0.93	0.9	0.53	0.8	P22	B _C	هو تن
D1	*	1.5	1.26	0.83	1.48	P23	C _v	Hootan
ND1	****	1.66	0.9	0.76	0.6	P31	A	
ND1	****	1.36	0.32	0.53	0.6	P32	B _w	خالدنبی
ND3	***	1.31	1.29	0.86	0.8	P33	B _C	Khaled Nabi
ND1	****	0.4	0.5	0.6	0.73	P34	C	
ND4	**	1.3	0.96	0.93	0.73	P41	A	
ND1	****	1.36	0.53	0.53	0.63	P42	B _k	یل‌بدرق
ND1	****	1.6	0.6	0.76	0.83	P43	C	Yeli Badragh
ND4	**	3.33	0.96	0.96	0.9	P44	B _{cy}	
ND1	****	0.73	0.33	0.43	0.53	P51	A	
ND1	****	1.03	0.93	0.85	0.41	P52	AB	
ND1	****	0.89	0.81	0.74	0.83	P53	B _t	مینودشت
ND1	****	0.46	0.23	0.26	0.53	P54	B _{K1}	Minoodasht
ND1	****	0.68	0.6	0.49	0.46	P55	B _{K2}	
ND1	****	0.71	0.76	0.35	0.2	P56	C	
ND4	**	2.96	1.33	0.94	0.86	P61	A	
ND1	****	1.8	0.8	0.53	0.46	P62	BA/AB	
ND4	**	0.83	0.96	1	0.9	P63	B _t	
ND1	****	1.7	0.96	0.46	0.33	P64	B _w	رامیان
ND1	****	0.33	0.3	0.366	0.7	P65	B _k	Ramian
ND3	***	3.66	1.63	0.7	0.69	P66	C _k	
ND1	****	0.16	0.36	0.56	0.53	P71	A	
ND3	***	0.96	1.83	0.74	0.82	P72	C	داشلی‌برون
ND4	**	2.66	1.46	1.36	0.93	P73	2B _k	Dashli Borun
ND1	****	1	0.73	0.66	0.83	P74	C _y	



سرعت جریان: Flow Rate، زمان آزمایش: Test Time
 شکل (۱۰) درجه واگرایی خاک‌رخ‌ها در آزمایش پین‌هول.
 Figure (10) The degree of dispersion soil in the pinhole test..

نتیجه‌گیری

مهم‌ترین نتایج پژوهش حاضر به شرح ذیل هستند:

نتایج نشان داد خصوصیات اقلیمی و فیزیکوشیمیایی خاک‌ها در برهمکنش با یکدیگر، تاثیر معنی‌داری بر تکامل خاک و کاهش واگرایی در خاک‌رخ‌های مطالعاتی داشته‌اند. بدین صورت که با افزایش میزان بارندگی، مقدار نسبی درصد رس و ماده آلی در خاک افزایش و به تبع آن ساختمان خاک بهبود یافته و در مقابل فرسایش مقاوم شده است. براساس ارزیابی شیمیایی صورت گرفته میزان pH اولیه و غلظت املاح سیال منفذی هر دو به دلیل تاثیر بر ساختار خاک و تغییر در نوع غلظت کاتیون‌های لایه دوگانه بر پارامترهای آب حفره‌ای (SAR, TDS, PS) و در نتیجه پتانسیل واگرایی

تاثیرگذار بوده‌اند. بر همین اساس نمونه‌های P23، P44 و P56 دارای پتانسیل واگرایی شیمیایی با شدت متوسط بودند. نتایج آزمایش پین‌هول، این خاک‌ها را با پتانسیل واگرایی متوسط نشان می‌دهد. در حالی که نتایج آزمایش شیمیایی برای اغلب نمونه‌ها، غیرواگرا است. در نتیجه می‌توان اذعان داشت که خاک‌های لسی مورد مطالعه دارای پتانسیل واگرایی فیزیکی با شدت متوسط هستند. تنها نمونه P23 کاملاً واگرا بود که از نظر ماهیت ذرات (میزان درصد سیلت و شن)، میزان املاح موجود در خاک (سدیم) و شرایط اقلیمی (رژیم رطوبتی اریدیک با میانگین بارندگی سالانه ۱۸۹/۷ میلی‌متر) مستعد واگرایی بود.

References

1. Afriani, L., and Perdana, R. 2022. The Identification of the Existence of Dispersive Soil on the Soft Soil for Dam Filling Material. *Journal of Civil Engineering and Architecture*, 10(1): 388-394.
2. Alvarez, R., and Lavado, R.S. 1998. Climate, organic matter and clay content relationships in the Pampa and Chaco soils, Argentina. *Geoderma*, 83:127-141.
3. Azimzadeh, Y., and Najafi, N. 2017. Effects of Biochar on Soil Physical, Chemical, and Biological Properties. *Land Management Journal*, 4(2):161-173. (in Persian)
4. Bagherifam, S., Delavar, M A., Keshavarz, P., and Karami, P. 2022. Modeling the impact of climate change on soil organic carbon pools in the semi-arid climate of Mashhad using the RothC model. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 53 (10): 2349-2363. (In Persian)
5. Bahrami, K., Nikoodel, M.R., and Hafezi Moghadas, N. 2014. Investigating the engineering geological characteristics of loess soils north of Kalaleh in Golestan province with a Special attitude on erosion and erodibility. *Iranian Journal of Geology*, 8(29): 2-34. (In Persian)
6. Baik, M.H., and Lee, S.Y. 2010. Colloidal stability of bentonite clay considering surface charge properties as a function of PH and Ionic strength. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 16: 837-841.
7. Besharti, B., Abedini, M., and asaghari, S. 2018. Study and analysis of factors affecting the creation and development of gully erosion watershed of shoor chai. *Journal of Geographical Research*. 33(2): 206 -222. (in Persian)
8. Bower, C.A., Reitmeir, R.F., and Fireman, M. 1952. Exchangeable cation analysis of saline and alkali soils. *Journal of Soil Science*, 73: 251-261.
9. Catt, J.A. 2001. The Agricultural Importance of Loess. *Journal of Earth-Science Reviews*. 54: 213-229.
10. Dai, W., Y.and Huang., Y. 2006. Relation of soil organic matter concentration to climate and altitude in zonal soils of China. *Journal of Catena*, 65: 87- 94.
11. Duiker, S.W., Flanagan, D.C., and Lal, R. 2001. Erodibility and filtration characteristics of five major soils of southwest Spain. *Journal of Catena*, 45: 103-121.
12. Eftene, A., Ignat, P., Chiurciu, I.A., Manea, A., Raducu, D., and Dumitru, S. 2020. Soil Bulk Density as important management factor and ecosystem services well function. *Scientific Papers Series Management, Economic Engineering in Agriculture and Rural Development*, 20(4): 175-184.
13. Fernando, J. 2010. Effect of water quality on the dispersive characteristics of soils found in the Morwell area, Victoria, Australia. *Journal of Geotechnical and Geological Engineering*, 28(6): 835-850.
14. Ghandhari, S., Amini, A., Solgi, A., and Rezaei, H. 2021. Fractal Analysis of Post-Deposition Changes of the Golestan Province's Loess Texture. *Desert Ecosystem Engineering Journal*, 10(31): 43-58. (In Persian)
15. Gidday, B., and Mittal, S. 2020. Improving the characteristics of dispersive subgrade soils using lime. *Journal of Heliyon*, 6(2): 1-7.
16. Gooderzi, A.R., and Ohadi, V.R. 2018. The Effect of anion type on the Dispersion ability and engineering properties of Montmorillonite clay. *The 6th National Congress of Civil Engineering*, Semnan University.
17. Harms, B., Dalal, R., and Pointon., S. 2002. Paired sites sampling to estimate soil organic carbon changes following land clearing in Queensland. *Proceeding of 17th World Congress of Soil Science*, 14-21 August, Thailand, 1128-1129.
18. Jafari Ardakani, A., Bayat, R., Peyrowan, H.R., Shariat Jafari, M. and Charkhabi, A.H., 2009. Investigating the state of erosion and sedimentation in the loess deposits of Golestan province. *6th Engineering Geology Conference*, Tarbiat Modares University, 1161-1173. (In Persian)

19. Klute, A. 1986. *Methods of Soil Analysis. part 1(Physical and Mineralogical Methods)*. 2nd Edition, Agronomy Monograph 9, American Society of Agronomy—Soil Science Society of America, Madison, 363-382.
20. Marchuk, A., Rengasamy, P., and McNeill, A. 2013. Influence of organic matter, clay mineralogy, and pH on the effects of CROSS on soil structure is related to the zeta potential of the dispersed clay. *Journal of Soil Research*, 51(1): 34- 40.
21. Mengel, K., and Rahmatullah Dou, H. 1998. Release of Potassium from the Silt and Sand Fraction of Loess-derived Soil. *Journal of Soil Science*, 163: 805-813.
22. Mohammadzadeh, A., and Azimzadeh, Y. 2023. The Effect of Climate Change on the Physical and Chemical Properties of Arid and Semi-Arid Soils. *Journal of Water and Soil Resources Conservation*, 12(3): 139-152.
23. Mohanty, S., Roy, N., Singh, S.P., and Sihag, P. 2019. Effect of industrial by-products on the strength of stabilized dispersive soil. *International Journal of Geotechnical Engineering*, 15(4): 405-417.
24. Moravej, S., Habibagahi, G., Nikooee, E., and Niazi, A. 2018. Stabilization of dispersive soils by means of biological calcite precipitation. *Geoderma*, 315(1) 130-137.
25. Nelson, R.E. 1982. Carbonate and gypsum. *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties*. American Society of Agronomy/Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, USA, 181-197.
26. Newhall, F., and Berdanier, C.R. 1996. Calculation of soil moisture regimes from the climatic record. *Soil Survey Investigations Report No. 46*, National Soil Survey Center, Natural Resources Conservation Service, Lincoln, NE, 1-35.
27. Ocheli, A., Ogbe, O.B., and Aigbadon, G.O. 2021. Geology and geotechnical investigations of the Anambra Basin, Southeastern Nigeria: implication for gully erosion Hazards. *Environmental System Research*, 10(23): 1 -27.
28. Padyab, M. 2018. Simultaneous Impact of pH and Sodium Ion Concentration on the Dispersivity of Clayey Soils. Submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science in Highway and Transportation. (In Persian)
29. Pittman, R., and Hu, B. 2020. Estimation of Soil Bulk Density and carbon using Multi-Source remotely sensed DATA. *International Society for Photogrammetry and Remote Sensing*, 3: 541-548.
30. Premkumar, S., Piratheepan, J., and Rajeev, P. 2017. Effect of brown coal fly ash on dispersive clayey soils. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Ground Improvement*, 170(4): 231-244.
31. Roushangar, K., Alami, M. T., and Houshyar, Y. 2019. Experimental investigation of lime impact on self-healing and dispersion processes of clay soils (Case study: Gurdyan dam). *Amirkabir Journal of Civil Engineering*, 52(6): 1347-1360. (In Persian)
32. Sadeghi, H., Nasiri, H., Ali Panahi, P., and Sadeghi., M. 2020. Dispersivity, collapsibility and microstructure of a natural dispersive loess from Iran. *The 16th Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*.
33. Sebt, M., Khormali, F., Soltani, A., Eftekhari, K., Ghanghermeh, A., and dordipour, E. 2023. The effect of climate change on soil organic carbon storage using the Roth C model in the agricultural lands of Golestan province. *Agricultural Engineering*. 45(4): 339-355. (In Persian)
34. Schoeneberger, P.J., Wysocki, D.A., Benham, E.C., and Broderson, W.D. 2021. *Field book for describing and sampling soils*. Natural Resources Conservation Service, USDA, National Soil Survey Center, Lincoln, 2: 103-107.
35. Shabanzadeh, M., and Atrchian, M.R. 2021. Improving Behavioral properties of dispersive clay by Addition of Incinerated sewage sludge Ash and Hydrated Lime. *AUT Journal of Civil Engineering*, 5(1): 1-13.

36. Sherard, J.L., Dunnigan, L.P., and Decker, R.S. 1976. Pinhole Test for Identifying Dispersive Soils. *Geotechnical Eng. Journal of American Society of Civil Engineers*, 102(1): 69-85.
37. Vakili, A.H., Shojaei, I., Salimi, M., Selamat, M.R., and Farhadi, M.S. 2020. Contact erosional behavior of Foundation of pavement embankment constructed with nanosilica-treated dispersive soils. *Journal Soils and Foundations*, 60(1): 167-178.
38. Zamanzadeh, M., and Akbari, M. 2012. The effect of physical and chemical characteristics of soil on the formation and expansion of trench erosion (Case study: Fars, Kahor Lamard Plain region). *Quantitative Geomorphological Research*, 2(2): 135-156. (In Persian)
39. Zare, M., Soufi, M., Nejabat, M., and Pourghasemi, H.R. 2020. The topographic threshold of gully erosion contributing factors. *Journal of Natural Hazards*, 112(1): 2013-2035.
40. Zhung, S.Y., Zhuo, M.N., Xie, Z.Y., Yuan, Z.J., Wang, Y.T., Hung, B., liao, Y.S., Li, D.Q., and Wang, Y. 2020. Effects of near soil surface components on soil erosion on steep granite red soil colluvial deposits. *Geoderma*, 365(3): 75-94.