



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources



Soil Science Society of Iran

(OPEN ACCESS)

Investigating different laboratory methods in detecting the dispersion of loess soils in Golestan province

Lida Piri Moghadam^{*1}, Farhad Khormali², Farshad Kiani³, Hamed Rezaei⁴

1. Corresponding Author, Ph.D. Student of Soil Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: piri_lida@yahoo.com
2. Professor, Dept. of Soil Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: fkhormali@gmail.com
3. Associate Prof., Dept. of Soil Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: kiani@gau.ac.ir
4. Associate Prof., Dept. of Geology Science, Faculty of Sciences, Golestan University, Gorgan, Iran. E-mail: h.rezaei@gu.ac.ir

Article Info	ABSTRACT
Article type: Full Length Research Paper	Background and Objectives: Loess soils are a special type of silty soils with a porous structure and weak adhesion. In case of improper management, loess soils are the most sensitive soils to erosion and are easily washed away by heavy rains. One of the most important influencing factors in the vulnerability of loess soils is the phenomenon of dispersion. During this the soil floats in it as a result of contact with water and is removed from the environment by the force of the water flow. Many studies have been conducted by researchers to investigate dispersive soils. Providing a suitable improvement method for them requires the correct determination and diagnosis of the degree of divergence in the studied area. The complete identification of dispersive soil also depends on a detailed test. As a result, various methods have been presented to identify soil dispersion. The most significant of which are the pinhole, chemical, crumb and double hydrometry methods. So far, there is no consensus regarding prioritizing the use of dispersion tests. Considering the importance of the issue of divergence on the quality of soil and agricultural products, in this research we try to investigate the accuracy of different tests in detecting soil dispersion.
Article history: Received: 04.30.2024 Revised: 06.09.2024 Accepted: 06.09.2024	
Keywords: Dispersion soil, Double hydrometric test, Pinhole test, Sherard test	
	Materials and Methods: This research was focused on the loess soils of Golestan province. Seven pedons were selected, sampled and described in different parts of the province. Physicochemical properties of soil such as texture, density, pH, solutes in soil, etc. important measurements and tests to determine soil dispersion potential such as pinhole, chemical, crumb and double hydrometry tests were performed based on ASTM standards. Finally, the validation of the tests was done based on the comparison of their results with each other.
	Results: The results show that the percentage of organic carbon and soil porosity decreased from the surface (horizon A) to the depth of the soil (horizon B and C), while the bulk density increased. Therefore, the change in soil properties from surface horizons to depth has caused a change in the degree of dispersion of these horizons. On the other hand, high amounts of exchangeable sodium in some soils caused chemical dispersion, which

indicates the role of sodium in increasing the thickness of the double layer of clay soil surfaces. However, the results of this research indicate that there is no severe dispersion of loess soils in Golestan province. On the other hand, the dispersion tests performed on these soils show that the dispersion phenomenon caused by the presence of sodium does not play a role in the erosion of these soils, and the dispersion of these soils is a physical phenomenon caused by the silty texture in the study area.

Conclusion: The results of the studies indicate that almost all the tests can detect the dispersion of the soil, the only difference is in expressing the intensity of the dispersion and the accuracy of the test. In determining the dispersion potential of soils, the pinhole test better models the actual state of water seepage in the cracks in the soil structure. So, in any case, the results of this test can represent the potential of real soil dispersion in the region. In determining the dispersion potential of soils, the crumb test in loess soils showed the dispersion potential to be lower than the actual state, and the double hydrometric method had the most correlation with the results of the pinhole test.

Cite this article: Piri Moghadam, Lida, Khormali, Farhad, Kiani, Farshad, Rezaei, Hamed. 2025. Investigating different laboratory methods in detecting the dispersion of loess soils in Golestan province. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 15 (1), 55-78.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/ejsms.2025.22397.2144

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources



بررسی روش‌های مختلف آزمایشگاهی در تشخیص واگرایی خاک‌های لسی استان گلستان

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

۱. نویسنده مسئول، دانشجوی دکتری علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: piri_lida@yahoo.com

۲. استاد گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: fkhormali@gmail.com

۳. دانشیار گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: kiani@gau.ac.ir

۴. دانشیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه گلستان، گرگان، ایران. رایانامه: h.rezaei@gu.ac.ir

چکیده	اطلاعات مقاله
نوع مقاله: سابقه و هدف: لس‌ها نوع خاصی از خاک‌های سیلتی با ساختار متخلخل و چسبندگی ضعیف هستند. خاک‌های لسی در صورت مدیریت نامناسب، حساس‌ترین خاک‌ها به فرسایش می‌باشند و به راحتی توسط باران‌های تند شسته می‌شوند. یکی از مهم‌ترین فاکتورهای تأثیرگذار در آسیب‌پذیری خاک‌های لسی، پدیده واگرایی است که طی آن خاک در اثر تماس با آب به‌صورت شناور در آن درآمده و توسط نیروی حاصل از جریان آب از محیط خارج می‌گردد. مطالعات زیادی در راستای بهبود خاک‌های واگرا توسط پژوهش‌گران انجام شده است که ارائه روش بهسازی مناسب برای این خاک‌ها، مستلزم تعیین و تشخیص درست درجه واگرایی در منطقه مورد مطالعه است. شناسایی کامل خاک واگرا نیز منوط به انجام یک آزمایش دقیق می‌باشد. در نتیجه روش‌های مختلفی برای شناسایی واگرایی خاک ارائه شده‌اند که شاخص‌ترین آن‌ها روش پین‌هول، شیمیایی، کرامب و هیدرومتری دوگانه می‌باشند. تاکنون اتفاق نظر کلی و جامعی در خصوص اولویت‌بندی استفاده از آزمایش‌های واگرایی وجود ندارد. با توجه به اهمیت موضوع واگرایی بر کیفیت خاک و محصولات کشاورزی در این پژوهش می‌کوشیم تا میزان دقت آزمایش‌های مختلف در تشخیص واگرایی خاک را مورد بررسی قرار دهیم.	تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۱۱ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۳/۰۳/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۳/۲۰
واژه‌های کلیدی: آزمایش پین‌هول، آزمایش شرارد، آزمایش هیدرومتری دوگانه، واگرایی خاک	
مواد و روش‌ها: این پژوهش بر روی خاک‌های لسی استان گلستان انجام شد. تعداد هفت خاک‌رخ از نقاط مختلف استان انتخاب، نمونه‌برداری و تشریح گردید. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مانند بافت، چگالی ظاهری، واکنش خاک، املاح موجود در خاک و... اندازه‌گیری و آزمایش‌های مهم تعیین پتانسیل واگرایی خاک مانند آزمایش پین‌هول، شیمیایی، کرامب و هیدرومتری دوگانه براساس استانداردهای ASTM انجام شد. در نهایت صحت‌سنجی آزمایش‌ها براساس مقایسه نتایج آن‌ها با یکدیگر انجام پذیرفت.	

یافته‌ها: نتایج بیانگر آن بود که درصد کرین آلی و تخلخل خاک از سطح (افق A) به عمق خاک (افق‌های B و C) کاهش یافته، در مقابل میزان چگالی ظاهری افزایش نشان داد. از این رو تغییر در ویژگی‌های خاک از افق‌های سطحی به عمقی موجب تغییر در میزان واگرایی این خاک‌ها گردیده است. از سوی دیگر، مقادیر بالای سدیم تبدلی در برخی از افق‌ها موجب واگرایی شیمیایی گردید که نشان‌دهنده نقش سدیم در افزایش ضخامت لایه دوگانه سطوح رسی خاک است. با این حال، نتایج پژوهش حاضر بیانگر عدم واگرایی شدید خاک‌های لسی استان گلستان می‌باشد. از طرفی، آزمایش‌های واگرایی انجام شده بر روی این خاک‌ها نشان می‌دهد که پدیده واگرایی ناشی از حضور سدیم، در فرسایش این خاک‌ها نقشی ندارد و واگرایی این خاک‌ها اساساً یک پدیده فیزیکی است که ناشی از بافت سیلتی و دانه‌بندی لس‌های منطقه مورد مطالعه می‌باشد.

نتیجه‌گیری: نتایج مطالعات بیانگر آن است که تقریباً تمامی آزمایش‌ها، توانایی تشخیص واگرایی خاک را دارند؛ تنها تفاوت در بیان شدت واگرایی و در واقع دقت آزمایش است. در تعیین پتانسیل واگرایی خاک‌ها، آزمایش پین‌هول، حالت واقعی تراوش آب در شکاف‌های موجود در ساختار خاک را بهتر مدل می‌کند. بنابراین در همه حال، نتایج حاصل از این آزمایش می‌تواند نماینده پتانسیل واگرایی واقعی خاک منطقه باشد. از طرفی، آزمایش کرامب در خاک‌های لسی، پتانسیل واگرایی را کم‌تر از حالت واقعی نشان داد و روش هیدرومتری دوگانه، بیش‌ترین تطابق را با نتایج آزمایش پین‌هول داشت.

استناد: پیری مقدم، لیدا، خرمالی، فرهاد، کیانی، فرشاد، رضایی، حامد (۱۴۰۴). بررسی روش‌های مختلف آزمایشگاهی در تشخیص واگرایی

خاک‌های لسی استان گلستان. نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار، ۱۵ (۱)، ۷۸-۵۵.

DOI: 10.22069/ejsms.2025.22397.2144



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مقدمه

لس‌ها یکی از مهم‌ترین واحدهای رسوبی-بادررفتی قلمداد می‌شوند و به لحاظ ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی، قابلیت رسوب‌زدایی و فرسایش‌پذیری زیادی دارند (۱). این نهشته‌ها از نظر زمین‌شناسی و مهندسی در زمره خاک‌های مسئله‌دار قرار می‌گیرند (۲). یکی از مسائلی که جزو مخاطرات جدی در فعالیت‌های کشاورزی و عمرانی در خاک‌های لسی به حساب می‌آید پدیده واگرایی^۱ است (۳). واگرایی تابعی از هندسه قرارگیری ذرات و شرایط توزیع نیروهای داخلی مابین آن‌ها است. در افق‌های واگرا، غلبه نیروی دافعه الکتریکی بر نیروی جاذبه و اندروالسی تحت شرایط اشباع باعث شده برآیند نیروهای خالص بین ذرات از نوع دافعه باشد. در واقع، واگرایی یا فرسایش کلوییدی، یک فرآیند فیزیکی-شیمیایی است که غالباً در خاک‌های ریزدانه حاوی ذرات رسی رخ می‌دهد (۹ و ۲). خاک لس در صورت واگرایی بدون هیچ‌گونه تحریک مکانیکی به آسانی و به سرعت در آب با غلظت نمک کم از یکدیگر جدا و پراکنده می‌شود (۳). برخلاف ماهیت خاک لس که بسیار حاصلخیز می‌باشد، خاک‌های لسی واگرا نفوذپذیری کمی در حالت اشباع داشته اما هنگام خشک شدن به واسطه شکاف‌های ایجاد شده در آن‌ها موجب افزایش قابل‌توجهی در نفوذپذیری می‌شوند و به همین دلیل در صورت واگرایی در کارهای کشاورزی، خاک‌های حاصلخیزی به‌شمار نمی‌روند (۵ و ۴). اهمیت مطالعه پدیده واگرایی در خاک‌های لسی از آن‌جا مشخص خواهد شد که (۱) مساحت معادل ۹ درصد از سطح خشکی‌های زمین را خاک‌های لسی و شبه لسی پوشانده است که در ایران این خاک‌ها را می‌توان در فلات لسی نواحی تپه‌ای شمال ایران، به‌ویژه در استان گلستان یافت (۶)؛ (۲) پدیده واگرایی در نقاط مختلف جهان از جمله استرالیا، برزیل،

نیوزیلند، ایالات متحده (۷) و نیز در بسیاری مناطق ایران هم‌چون خوزستان، اصفهان، اردبیل، فارس (۸)، سیستان و بلوچستان، قزوین، کرمان، همدان، سمنان و مرکزی (۹) مشاهده شده است. مطالعات زیادی در راستای بهسازی خاک‌های واگرا توسط پژوهش‌گران انجام شده است (۱۰)؛ اما نکته دارای اهمیتی که لازم است مورد توجه ویژه قرار گیرد آن است که ارائه روش بهسازی مناسب برای خاک‌های واگرا، مستلزم تعیین و تشخیص درست درجه واگرایی در منطقه مورد مطالعه است. محقق شدن این موضوع، مستلزم اعتبارسنجی در نتایج آزمایش‌های متداول واگرایی می‌باشد. رایج‌ترین آزمایش‌هایی که برای تعیین پتانسیل واگرایی خاک‌ها مورد استفاده قرار گرفته است شامل آزمایش پین‌هول^۲، هیدرومتری دوگانه^۳، کرامب^۴ و آزمایش‌های شیمیایی شرارد^۵ می‌باشند. براساس پژوهش‌های پیشین، آزمایش پین‌هول، قابل‌اعتمادترین آزمایش تعیین واگرایی است (۱). در پژوهش حاضر نیز نتایج آزمایش پین‌هول، مبنای اصلی تعیین درجه واگرایی خاک قرار گرفت. مطالعات بسیاری در خصوص بررسی پتانسیل واگرایی خاک‌ها و عوامل مؤثر بر واگرایی انجام شده‌اند (۲ و ۳). مرور مطالعات انجام شده بیانگر آن است که پژوهش‌گران برای تشخیص واگرایی خاک به‌صورت سلیقه‌ای یا براساس امکانات موجود از یکی از روش‌های متداول شناسایی خاک‌های واگرا بهره می‌برند و تاکنون مطالعه جامعی به‌صورت خاص در زمینه میزان قابل اعتماد بودن نتایج آزمایش‌های واگرایی در خاک‌های لسی انجام نشده است. با توجه به اهمیت خاک‌های لسی، در پژوهش حاضر به صحت‌سنجی نتایج آزمایش‌های متداول واگرایی در این خاک‌ها پرداخته شده است.

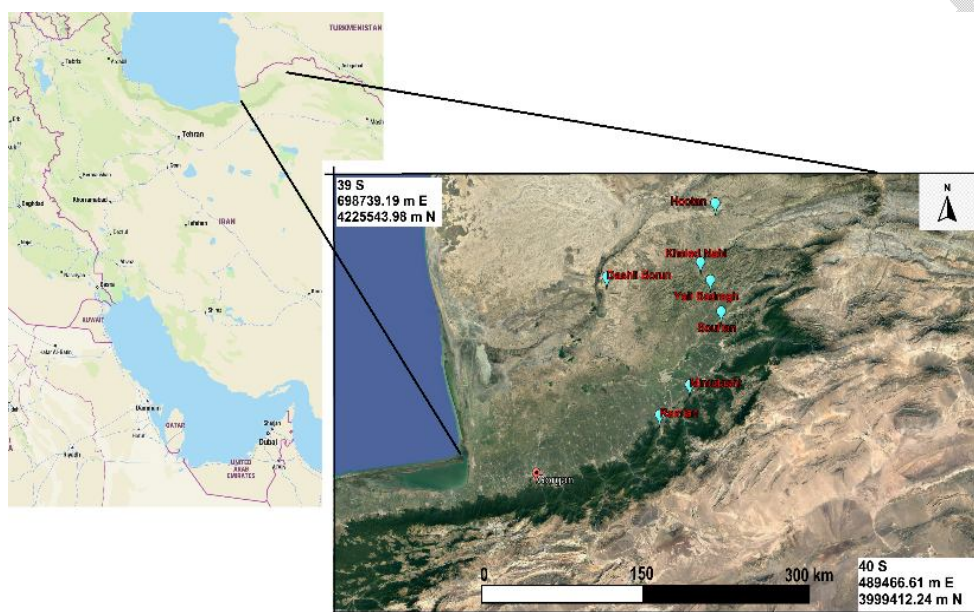
- 2- Pinhole test
- 3- Double Hydrometric test
- 4- Crumb test
- 5- Sherard Chemical test

- 1- Dispersion

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه: با توجه به هدف پژوهش، تعداد هفت خاک‌رخ در کاربری مرتع از نقاط مختلف استان گلستان حفر و با استفاده از راهنمای تشریح خاک‌رخ شوئنبرگر و همکاران (۲۰۱۲) نمونه‌برداری و تشریح شدند (۱۲). مناطق مورد مطالعه در حد فاصل عرض جغرافیایی $37^{\circ} 01'$ تا $37^{\circ} 56'$ شمالی و طول

جغرافیایی $54^{\circ} 49'$ تا $55^{\circ} 32'$ شرقی قرار داشتند (شکل ۱). لازم به ذکر است که نمونه‌های مورد آزمایش بر اساس ضخامت استاندارد مطالعات خاک‌شناسی، از سطح تا عمق دو متری از تمام افق‌های خاک‌رخ‌های مورد مطالعه برداشت شد.



شکل ۱- موقعیت خاک‌رخ‌ها در منطقه مورد مطالعه.

Figure 1. Location of the pedons in the study area.

دوگانه براساس [ASTM D 4221] و شیمیایی براساس [ASTM D 6572] انجام شد (۱۳، ۱۴ و ۱۵). آزمایش شیمیایی واگرایی: آزمایش‌های شیمیایی شرارد بر اساس تأثیر 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 (۵). 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 سانتی‌مترمکعب

مطالعات آزمایشگاهی: در بخش مطالعات آزمایشگاهی ابتدا خصوصیتی همچون بافت به روش هیدرومتری، چگالی ظاهری به روش سیلندر فلزی، اسیدیته با استفاده از دستگاه pH متر، هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک با استفاده از دستگاه هدایت‌سنج، کربنات کلسیم معادل به روش تیتراسیون برگشتی، ماده آلی به روش والکلی و بلاک، گچ به روش ترسیب با استون و ظرفیت تبادل کاتیونی به روش باور اندازه‌گیری شد. سپس آزمایش‌های مهم تعیین پتانسیل واگرایی خاک شامل آزمایش پین‌هول بر اساس [ASTM D 4647]، کرامب براساس [ASTM D 6572]، هیدرومتری

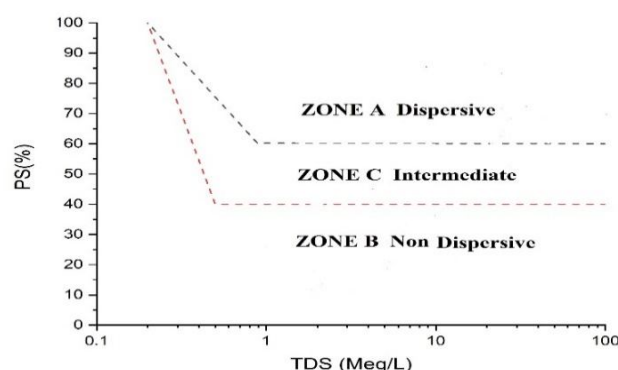
$$SAR = Na^+ \div [0.5 \times (Ca^{2+} + Mg^{2+})]^{1.5}$$

$$TDS = Na^+ + K^+ + Ca^{2+} + Mg^{2+}$$

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

سپس با استفاده از نمودار تعیین واگرایی بر اساس معیار شرارد (شکل ۲) پتانسیل واگرایی خاک‌ها سنجیده می‌شود (۶).

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 زیر تعیین می‌شود:



شکل ۲- طبقه‌بندی واگرایی براساس میزان سدیم تبدلی (شرارد و همکاران، ۱۹۷۶).

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

بودن و دارا بودن رده‌بندی گسترده‌تر روش C، از این روش در تعیین پتانسیل واگرایی استفاده شد. ارزیابی پتانسیل واگرایی به روش C مستلزم بررسی تیرگی آب خروجی و نرخ جریان عبوری از نمونه‌هاست که بر این اساس خاک‌ها به سه گروه واگرا (D_1, D_2)، واگرایی کم تا متوسط (ND_3, ND_4) و غیرواگرا (ND_1, ND_2) تقسیم می‌شوند (۱۱).

آزمایش کرامپ: به‌علت سهولت اجرا، پژوهش‌گران در بسیاری از پروژه‌ها از این روش بهره می‌برند. در این آزمایش که به آزمایش امرسون^۱ نیز معروف است، کلوخه کوچک طبیعی از خاک به قطر ۱۵ میلی‌متر را در داخل ظرفی به محتوای ۲۵۰ میلی‌لیتر آب مقطر قرار می‌دهند. این آزمایش در سه بازه زمانی دو دقیقه، یک ساعت و شش ساعت در دمای ۲۳ درجه

آزمایش پین‌هول: آزمایش پین‌هول را معتبرترین آزمایش برای تعیین پتانسیل واگرایی خاک می‌دانند (۵). برای انجام آزمایش پین‌هول، نمونه‌ها براساس چگالی و درصد رطوبت طبیعی مورد آزمایش قرار گرفتند. در این آزمایش، طول نمونه آزمایش ۳۸ میلی‌متر بوده و به کمک سوزنی به قطر ۱ میلی‌متر که از هادی سوزن عبور می‌کند سوراخی در امتداد طولی نمونه ایجاد می‌شود. سپس دستگاه پین‌هول در وضعیتی قرار گرفته که این سوراخ افقی باشد. در این وضعیت، آب مقطر تحت بارهای آبی ۵۰، ۱۸۰ و ۳۸۰ میلی‌متر به‌ترتیب در مدت زمان معین از سوراخ نمونه عبور داده می‌شود. این عمل برای شبیه‌سازی شرایط سازه خاکی در اثر وجود یک شکاف در آن است. آزمایش پین‌هول به سه روش A، B و C انجام می‌شود. در پژوهش حاضر با توجه به پراکندگی

1- Emerson test

سلسیوس آزمایشگاه انجام می‌شود. در صورت واگرا بودن خاک، جدایی ذرات رس از کلوخه خاک باعث تولید یک محلول کلوئیدی در اطراف نمونه خاک می‌شود. میزان واگرایی خاک بر اساس شدت کلوئیدی بودن محلول حاصل، در چهار سطح غیرواگرا، واگرایی با درجه خفیف، متوسط و شدید تقسیم می‌گردد (۱۶).

آزمایش هیدرومتری دوگانه (مضاعف): در این آزمایش برای بیان واگرایی خاک، سرعت ته‌نشینی ذرات خاک در آب اندازه‌گیری می‌شود. در آزمایش هیدرومتری دوگانه روی نمونه تمامی افق‌ها دو بار آزمایش هیدرومتری انجام می‌شود. بدین صورت که در مرحله اول، آزمایش هیدرومتری معمولی روی ۵۰ گرم خاک خشک براساس [ASTM D 422-63] انجام شد که در آن ماده پراکنده‌ساز هگزاتافسفات سدیم با غلظت ۴ درصد و نیز همزن مکانیکی برای جداسازی دانه‌ها مورد استفاده قرار گرفت (۱۷). در مرحله دوم، آزمایش هیدرومتری روی ۲۵ گرم خاک خشک بر اساس [ASTM D 4221] انجام شد (۱۲). لازم به ذکر است در مرحله دوم (به‌منظور تعیین میزان پتانسیل طبیعی واگرایی خاک) آزمایش هیدرومتری بدون ماده پراکنده‌ساز (هگزاتافسفات سدیم) و نیز بدون استفاده از همزن مکانیکی انجام گرفت که با توجه به حساسیت رس‌ها به درصد رطوبت، آزمایش

هیدرومتری دوگانه روی نمونه با رطوبت طبیعی انجام شد. جرم نمونه مرطوب معادل ۲۵ گرم خاک خشک (M_s) با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد:

$$M = (1 + \omega) M_s \quad M_s = 25g$$

که M جرم خاک مرطوب معادل ۲۵ گرم خاک خشک است.

خاک‌های مورد استفاده در آزمایش‌های هیدرومتری دوگانه، در نمونه بدون ماده پراکنده‌ساز بر اساس استاندارد ASTM، حداقل دو تا چهار ساعت در آب مقطر غرقاب شدند. سپس توسط پمپ خلاء، حباب‌های هوای آن‌ها خارج گردید و پس از آن، نمونه‌ها مانند آزمایش هیدرومتری معمولی مورد آزمایش قرار گرفتند. درصد واگرایی نمونه‌ها (DP) براساس رابطه زیر محاسبه شد.

$$DP = F_{(0.005)2} / F_{(0.005)1} \times 100$$

که $F_{(0.005)1}$ نسبت درصد عبوری از قطر ۰/۰۰۵ میلی‌متر در آزمایش هیدرومتری معمولی و $F_{(0.005)2}$ درصد عبوری قطر ۰/۰۰۵ میلی‌متر در آزمایش هیدرومتری دوگانه (بدون ماده پراکنده‌ساز) است. سپس بر اساس معیار شرارد و همکاران (جدول ۱)، میزان پتانسیل واگرایی خاک تعیین شد (۵).

جدول ۱- میزان پتانسیل واگرایی خاک بر اساس معیار شرارد (۵).

Table 1. The amount of soil dispersion potential based on Sherrard standard.

درصد واگرایی Dispersion Percentage	پتانسیل واگرایی خاک Soil Dispersion Potential
≤ 15	غیرواگرا Non-Dispersive
15-35	متوسط Intermediate
≥ 35	واگرا Dispersive

نتایج و بحث

نتایج آزمایشگاهی: در بخش تجزیه و تحلیل نتایج ابتدا خصوصیات عمومی خاک‌رخ‌ها مورد بررسی قرار گرفت. سپس هر کدام از آزمایش‌های واگرایی به‌صورت مجزا بررسی و پتانسیل واگرایی آن‌ها براساس معیارهای موجود تعیین شد. لازم به ذکر است که تعیین درجه نهایی پتانسیل واگرایی در متون مهندسی و تمام مطالعات قبلی، به‌صورت کیفی می‌باشد. در آزمایش‌های پین‌هول، هیدرومتری دوگانه و آزمایش‌های شیمیایی در ابتدا نتایج به‌صورت کمی هستند، در نهایت با توجه به محدوده پارامترهای به‌دست آمده، پتانسیل واگرایی به‌صورت کیفی تعیین می‌شود. نتایج آزمایش پین‌هول مبنای اصلی تعیین درجه واگرایی است. نکته مهمی که در این پژوهش برجسته شده و نقطه قوت مقاله حاضر محسوب می‌شود و در مطالعات قبلی به آن پرداخته نشده، این است که علاوه بر صحت‌سنجی نتایج آزمایش‌های واگرایی در خاک‌های لسی با توجه به آزمایش معتبر پین‌هول، مطالعه افق‌های مشخصه هر خاک‌رخ بر نتایج آزمایش‌های واگرایی انجام شد. در واقع، پتانسیل واگرایی فقط به‌صورت سطحی در خاک‌ها مورد بررسی قرار نگرفته است.

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 می‌باشند و در گروه لس‌های سیلتی قرار می‌گیرند. بعد از ذرات سیلت، ذرات رس بیش‌ترین مقدار را دارند که در

برخی افق‌ها به‌دلیل آب‌شستگی رس از بالا به پایین، شاهد تشکیل افق Bt هستیم. در اغلب خاک‌رخ‌ها، به‌ویژه در افق C، با افزایش عمق بر میزان شن خاک افزوده شده است که دلیل آن می‌تواند هوادیدگی کم‌تر ذرات خاک باشد. بدین ترتیب عمدتاً افق‌های خاک‌رخ‌های مورد مطالعه دارای کلاس بافتی لوم سیلتی هستند. خاک‌های لسی مورد مطالعه بر اساس طبقه‌بندی یونیفاید در گروه CL قرار گرفتند و از نظر خصوصیات خمیری، لس‌های این مناطق جزو لس‌هایی با خاصیت خمیری کم می‌باشند.

آزمایش کرامپ: این آزمایش نشان‌دهنده تمایل بالقوه خاک در فرسایش‌پذیری می‌باشد (۱۸). اما از آن‌جا که عوامل مختلفی بر رفتار پراکندگی ذرات خاک تأثیر می‌گذراند، بنابراین ممکن است با هر بار انجام آزمایش نتایج متناقضی حاصل شود (۱۹). آفریانی و پردانا در سال (۲۰۲۲) با بررسی میزان واگرایی خاک مورد استفاده یک سد در اندونزی بیان داشتند از آن‌جا که آزمایش کرامپ در زمان محدودی انجام می‌شود، ممکن است برخی از خاک‌ها پس از یک یا چند ساعت واکنش نشان ندهند؛ اما اگر برای مدت طولانی‌تر در این وضعیت بمانند، واکنش‌های مهمی را ایجاد کنند (۲۰). در نتیجه برای اطمینان از نتایج حاصل، این آزمایش در بازه زمانی مختلف انجام شد و نتایج آن مطابق با استاندارد [ASTM-D6572] در جدول ۳ گزارش گردیده است. به‌دلیل زیاد بودن تعداد نمونه‌ها تنها تصویر نمونه‌های خاک‌رخ P2 که دارای درجات واگرایی مختلف هستند در شکل ۳ ارائه شده است.

جدول ۲- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها.

Table 2. Selected physical and chemical properties of the pedons.

افق	عمق	شن	سیلت	رس	بافت	کربن آلی	واکنش خاک	شوری	ظرفیت تبادل کاتیونی	گچ	کربنات کلسیم معادل	چگالی ظاهری
Horizon	Depth (cm)	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	Texture	OC (%)	pH	EC (dSm ⁻¹)	CEC (cmol _c kg ⁻¹)	Gyp (%)	CCE (%)	BD (gr.cm ⁻³)
خاک‌رخ صوفیان (P1): Calcixerepts												
A	0-30	26	60	14	SiL	0.8	7.75	1.73	13.64	0	21.3	1.44
B _k	30-50	26	60	14	SiL	0.5	7.75	1.45	11.69	0	17.5	1.43
C	50-110	50	40	10	L	0.3	7.72	1.23	9.26	0	2.5	1.52
خاک‌رخ هوتن (P2): Torriorthents												
A	0-23	22	66	12	SiL	0.5	7.88	1.41	12.18	2	25.0	1.44
B _C	23-53	22	66	12	SiL	0.2	7.89	1.80	9.26	3	25.8	1.44
C _y	53-105	30	60	10	SiL	0.2	8.11	8.35	8.28	3.5	21.5	1.49
خاک‌رخ خلدنی (P3): Haploxerepts												
A	0-25	12	74	14	SiL	1.4	7.85	1.95	17.05	0.2	21.3	1.40
B _w	25-50	10	72	18	SiL	0.5	7.84	1.80	9.74	0.1	19.5	1.36
B _C	50-80	9	71	20	SiL	0.3	7.58	1.50	8.50	0.1	23.0	1.36
C	80-120	8	70	22	SiL	0.2	7.87	1.11	8.77	0.2	27.8	1.35
خاک‌رخ یلی‌بدراق (P4): Calcixerept												
A	0-20	12	74	14	SiL	0.9	7.75	0.82	14.13	0.1	20.5	1.41
B _k	20-36	12	72	16	SiL	0.3	7.77	0.77	11.69	0.1	23.3	1.40
C	36-80	10	76	14	SiL	0.2	7.76	0.75	9.74	1.2	25.0	1.40
B _{ey}	80-100	28	64	8	SiL	0.2	8.00	3.25	8.77	3.5	20.0	1.50
خاک‌رخ مینودشت (P5): Argixerols												
A	0-28	6	70	24	SiL	0.8	7.78	1.11	13.64	0	7.3	1.32
AB	28-65	8	64	28	SiCL	0.6	7.75	0.85	12.18	0	5.0	1.30
B _t	65-95	8	46	46	SiC	0.6	7.78	1.68	11.69	0	24.3	1.22
B _{K1}	95-115	18	54	28	SiCL	0.5	7.79	2.01	10.23	0.1	31.8	1.32
B _{K2}	115-165	20	60	20	SiL	0.4	7.79	1.15	9.74	0	27.0	1.35
C	165-200	20	66	14	SiL	0.4	7.94	1.14	9.26	0	5.0	1.40
خاک‌رخ رامیان (P6): Argixerols												
A	0-20	12	62	26	SiL	1.6	7.75	1.01	19.00	0	0.5	1.30
B/A	20-42	30	52	18	SiL	0.7	7.70	0.63	16.08	0	2.5	1.14
B _t	42-67	6	56	38	SiCL	0.8	7.70	0.82	16.56	0	6.5	1.27
B _w	67-125	46	38	16	L	0.5	7.71	0.80	13.64	0	7.5	1.45
B _k	125-160	16	68	16	SiL	0.4	7.74	2.01	11.49	0	27.5	1.40
C _k	160-200	8	66	26	SiL	0.4	7.70	1.25	11.21	0	5.5	1.32
خاک‌رخ داشلی‌برون (P7): Haplocalcid												
A	0-22	46	44	10	L	0.5	7.74	1.58	13.64	0	22.5	1.52
C	22-46	50	42	8	L	0.4	7.72	1.20	11.69	0	20.8	1.53
2B _k	46-64	28	50	22	SiL	0.3	7.71	1.80	11.21	0.1	23.3	1.38
C _y	64-100	46	46	8	L	0.3	7.7	1.72	9.46	0.1	22.5	1.52

جدول ۳- نتایج آزمایش کرامب خاک‌رخ‌ها.

Table 3. The results of Crumb test of the pedons.

واگرایی	16 hr		1 hr		2 min		شماره نمونه	افق	خاک‌رخ
Dispersion	Degree	Temperature	Degree	Temperature	Degree	Temperature	S. N.	Horizon	Pedon
Non Dispersive	1	23	1	23	1	23	P11	A	صوفیان P1
Non Dispersive	1	23	1	23	1	23	P12	B _k	
Non Dispersive	1	23	1	23	1	23	P13	C	
Intermediate	3	23	3	23	3	23	P21	A	هوتن P2
Non Dispersive	1	23	1	23	1	23	P22	B _c	
Slightly Dispersive	2	23	2	23	2	23	P23	C _y	
Non Dispersive	1	23	1	23	1	23	P31	A	خالدنی P3
Non Dispersive	1	23	1	23	1	23	P32	B _w	
Slightly Dispersive	2	23	2	23	2	23	P33	B _c	
Non Dispersive	1	23	1	23	1	23	P34	C	
Non Dispersive	1	23	1	23	1	23	P41	A	یلی بدراف P4
Non Dispersive	1	23	1	23	1	23	P42	B _k	
Non Dispersive	1	23	1	23	1	23	P43	C	
Slightly Dispersive	2	23	2	23	2	23	P44	B _{cy}	
Non Dispersive	1	23	1	23	1	23	P51	A	مینودشت P5
Non Dispersive	1	23	1	23	1	23	P52	AB	
Non Dispersive	1	23	1	23	1	23	P53	B _t	
Non Dispersive	1	23	1	23	1	23	P54	B _{k1}	
Non Dispersive	1	23	1	23	1	23	P55	B _{k2}	
Non Dispersive	1	23	1	23	1	23	P56	C	
Non Dispersive	1	23	1	23	1	23	P61	A	رامیان P6
Non Dispersive	1	23	1	23	1	23	P62	BA/AB	
Non Dispersive	1	23	1	23	1	23	P63	B _t	
Non Dispersive	1	23	1	23	1	23	P64	B _w	
Non Dispersive	1	23	1	23	1	23	P65	B _k	
Intermediate	3	23	3	23	3	23	P66	C _k	
Slightly Dispersive	2	23	2	23	2	23	P71	A	داشلی برون P7
Non Dispersive	1	23	1	23	1	23	P72	C	
Slightly Dispersive	2	23	2	23	2	23	P73	2B _k	
Slightly Dispersive	2	23	2	23	2	23	P74	C _y	



شکل ۳- نمایش درجات مختلف واگرایی در خاک‌رخ هوتن (P2).

Figure 3. Display of different degrees of dispersion in Hootans pedon (P2).

آزمایش به منزله غیرواگرا بودن خاک و مقاومت آن در مقابل فرسایش نمی‌باشد، اما بر اساس نتایج به‌دست آمده، نمونه‌هایی که در این آزمایش واگرا بوده‌اند معمولاً در سایر آزمایش‌ها نیز واگرا ارزیابی شدند.

آزمایش هیدرومتری دوگانه: در جدول ۴ نتایج آزمایش هیدرومتری دوگانه روی نمونه خاک افق‌های مختلف در هر خاک‌رخ ارائه شده است. در این آزمایش از سرعت ته‌نشینی ذرات خاک در آب برای بیان میزان واگرایی استفاده می‌شود (۲۱). در واقع عدم تمایل ذرات به نشست، نشان‌دهنده ایجاد پراکندگی در ساختار خاک خواهد بود (۲۲، ۲۳ و ۲۴).

نتایج جدول ۳ بیانگر آن است که در هر سه بازه زمانی، میزان واگرایی خاک‌های لسی منطقه یکسان محاسبه شد و اکثریت نمونه‌ها فاقد پتانسیل واگرایی بودند. بدین صورت که ۷۰ درصد از نمونه‌ها غیرواگرا و ۳۰ درصد از نمونه‌ها دارای واگرایی خفیف تا متوسط بودند. طبق نتایج آزمایش، خاک‌رخ صوفیان و مینودشت کاملاً غیرواگرا، خاک‌رخ هوتن و داشلی‌برون دارای واگرایی خفیف تا متوسط و خاک‌رخ خالده‌نبی، یلی‌بدراق و رامیان تنها در یک افق زیرسطحی به‌صورت واگرا ارزیابی شدند. افق‌های واگرای شناسایی شده اکثراً در قسمت زیرسطحی خاک قرار داشتند. عدم واگرایی نمونه‌ها در این

جدول ۴- نتایج آزمایش هیدرومتری دوگانه خاک‌رخ‌ها.

Table 4. The results of Double hydrometric test of the pedons.

واگرایی	خاصیت خمیری	درصد واگرایی	شماره نمونه	افق	
Dispersion	Plastic property	The percentage of Dispersion	S. N.	Horizon	Pedon
Non Dispersive	CL, Lean clay with sand	13.63	P11	A	صوفیان
Non Dispersive	CL, Lean clay with sand	15	P12	B _k	
Non Dispersive	CL, Lean clay with sand	11.11	P13	C	
Intermediate	CL, Lean clay with sand	22.85	P21	A	هوتن
Intermediate	CL, Lean clay with sand	28.57	P22	B _c	
Intermediate	CL, Lean clay with sand	15.15	P23	C _y	
Non Dispersive	CL, Lean clay	6.25	P31	A	خالده‌نبی
Non Dispersive	CL, Lean clay	5.71	P32	B _w	
Intermediate	CL, Lean clay	18.75	P33	B _c	
Non Dispersive	CL, Lean clay	13.51	P34	C	
Intermediate	CL, Lean clay	16.12	P41	A	یلی‌بدراق
Non Dispersive	CL, Lean clay	11.76	P42	B _k	
Non Dispersive	CL, Lean clay	8.33	P43	C	
Non Dispersive	CL, Lean clay with sand	9.09	P44	B _{cy}	
Non Dispersive	CL, Lean clay	10.14	P51	A	مینودشت
Non Dispersive	CL, Lean clay	10.76	P52	AB	
Non Dispersive	CL, Lean clay	9.37	P53	B _t	
Intermediate	CL, Lean clay with sand	16.66	P54	B _{K1}	
Non Dispersive	CL, Lean clay with sand	10.71	P55	B _{K2}	
Non Dispersive	CL, Lean clay with sand	6.66	P56	C	
Non Dispersive	CL, Lean clay	10	P61	A	رامیان
Non Dispersive	CL, Lean clay	14.28	P62	BA/AB	
Intermediate	CL, Sandy Lean Clay	15.38	P63	B _t	
Intermediate	CL, Sandy Lean Clay	18.75	P64	B _w	
Non Dispersive	CL, Lean Clay with Sand	4.76	P65	B _k	
Non Dispersive	CL, Lean Clay	4.47	P66	C _k	
Non Dispersive	CL, Sandy Lean Clay	10	P71	A	داشلی‌برون
Non Dispersive	CL, Sandy Lean Clay	11.11	P72	C	
Intermediate	CL, Lean Clay with Sand	20	P73	2B _k	
Intermediate	CL, Sandy Lean Clay	21.42	P74	C _y	

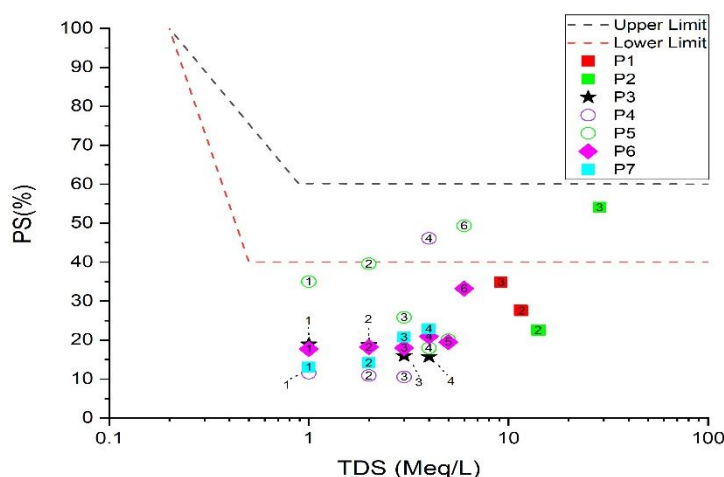
با توجه به داده‌های به‌دست آمده، درصد واگرایی نمونه‌ها بین ۴/۴۷ تا ۲۸/۵۷ درصد اندازه‌گیری شد که براساس معیارهای استاندارد، میزان واگرایی خاک مشخص گردید. در واقع بر اساس معیار جدول ۱ (روش شرارد) نمونه‌هایی که درصد پراکندگی ذرات در آن‌ها بیش از ۱۵ درصد باشد، جزو خاک‌هایی با پتانسیل واگرایی متوسط محسوب شدند.

نتایج آزمایش شیمیایی واگرایی: براساس معیار شرارد (۵) که مقبول‌ترین معیار برای ارزیابی واگرایی در آزمایش‌های شیمیایی می‌باشد، این آزمایش بر روی تمامی نمونه‌های خاک به‌منظور بررسی میزان پتانسیل واگرایی خاک انجام گرفت و نتایج آن در جدول ۵ گزارش شده است. در شکل ۴ نیز نتایج آزمایش شیمیایی انجام شده روی نمونه‌ها ارائه گردیده است.

جدول ۵- نتایج آزمایش شیمیایی خاک‌ها.

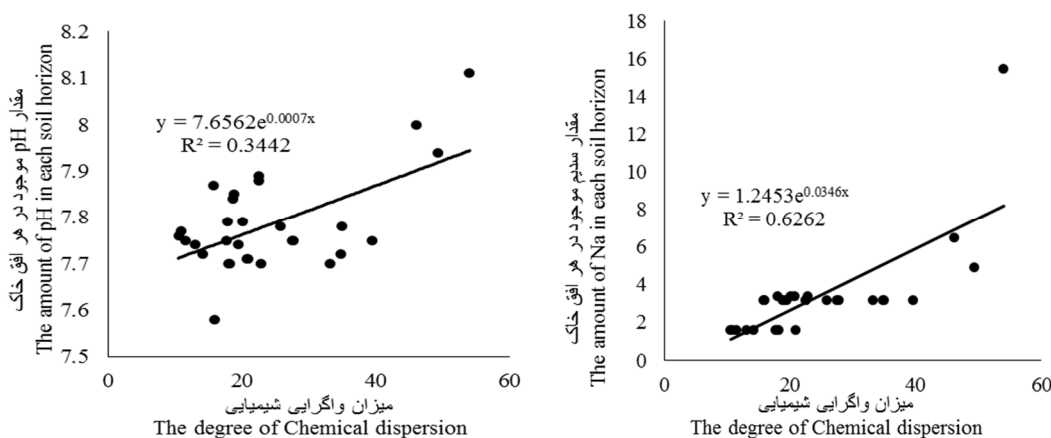
Table 5. The results of the Chemical test of the pedons.

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



شکل ۴- نتایج آزمایش شیمیایی روی گراف شرارد.

Figure 4. The results of the chemical test on the Sherard graph.



شکل ۵- تأثیر میزان سدیم و pH بر واگرایی شیمیایی خاک.

Figure 5. The effect of Na^+ content and pH on soil chemical dispersion.

رسی، تغییر میزان اندرکنش بین ذرات رسی و در نهایت تغییر در رفتار مهندسی خاک می‌شود (۲۵ و ۲۶). مقادیر بالای سدیم تبدیلی 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 تبادل، موجب دیسپرس شدن خاک شده است. در واقع به دلیل افزایش یون سدیم، ضخامت لایه دوگانه افزایش یافته است؛ در نتیجه پیوند بین ذرات در آن

براساس معیار شرارد (۵) انتظار می‌رفت که تمامی نمونه‌ها در رده خاک‌های غیرواگرا ($\text{SAR} \leq 7$) قرار بگیرند اما 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 درصد سدیم (شکل ۵) به کل املاح موجود در خاک و به تبع آن افزایش ضخامت لایه دوگانه نسبت داد. به‌طورکلی، افزایش ضخامت لایه دوگانه موجب تغییر فاصله مابین سطوح

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 (۲۰۱۸)، پادیاب (۲۰۱۸) و بشارتی و همکاران (۲۰۱۸) مطابقت دارد (۲۹، ۳۰ و ۳۱).

نتایج آزمایش پین‌هول: آزمایش پین‌هول برای تعیین پتانسیل واگرایی، 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. نمونه آماده شده به صورت افقی درون دستگاه پین‌هول قرار داده شد و هنگامی که نمونه کاملاً اشباع گردید، مطابق با جدول ۴، ثبت دبی و زمان از نرخ جریان عبوری مختلف ۵۰، ۱۸۰ و ۳۸۰ میلی‌متر صورت گرفت. تیرگی آب خروجی به صورت کدر و تیره (*)، کدر تا نسبتاً کدر (**)، نسبتاً کدر تا شفاف (***) و کاملاً شفاف (****) ثبت گردید.

آزمایش پین‌هول به دلیل این‌که تأثیر جریان آب در طول یک شکاف یا ترک را مدل‌سازی می‌کند، نتایج آن بهترین انطباق را با عملکرد فرسایش خاک‌ها در طبیعت دارد (۲۰). شکل ۶ نمودار میزان واگرایی در هر خاک‌رخ براساس آزمایش پین‌هول را نشان می‌دهد.

خاک‌ها ضعیف‌تر شده 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 تبادلی 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 و منیزیم) نسبت به سایر نمونه‌ها در سیال منفذی کم‌تر بوده (جدول ۵) که این موضوع، موجب کاهش جایگزینی کاتیون‌ها در لایه دوگانه شده و به دنبال آن ظرفیت تبادل کاتیونی کاهش یافته است و موجب افزایش واگرایی در خاک شده است که با نتایج زارع و همکاران (۲۰۲۰) مطابقت دارد (۲۷). عامل مهم دیگر، میزان اسیدیته خاک است. مارچاک و همکاران (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 تأثیرگذار خواهد بود. در واقع، کاهش pH و افزایش H^+ در سیال منفذی موجب افزایش بار مثبت در گوشه‌های پولک‌های رسی و کاهش ضخامت لایه دوگانه می‌شود (۲۸). نتایج اسیدیته در پژوهش حاضر نیز نشان داد در سه نمونه واگرا میزان pH به سمت قلیایی و بیش‌تر از

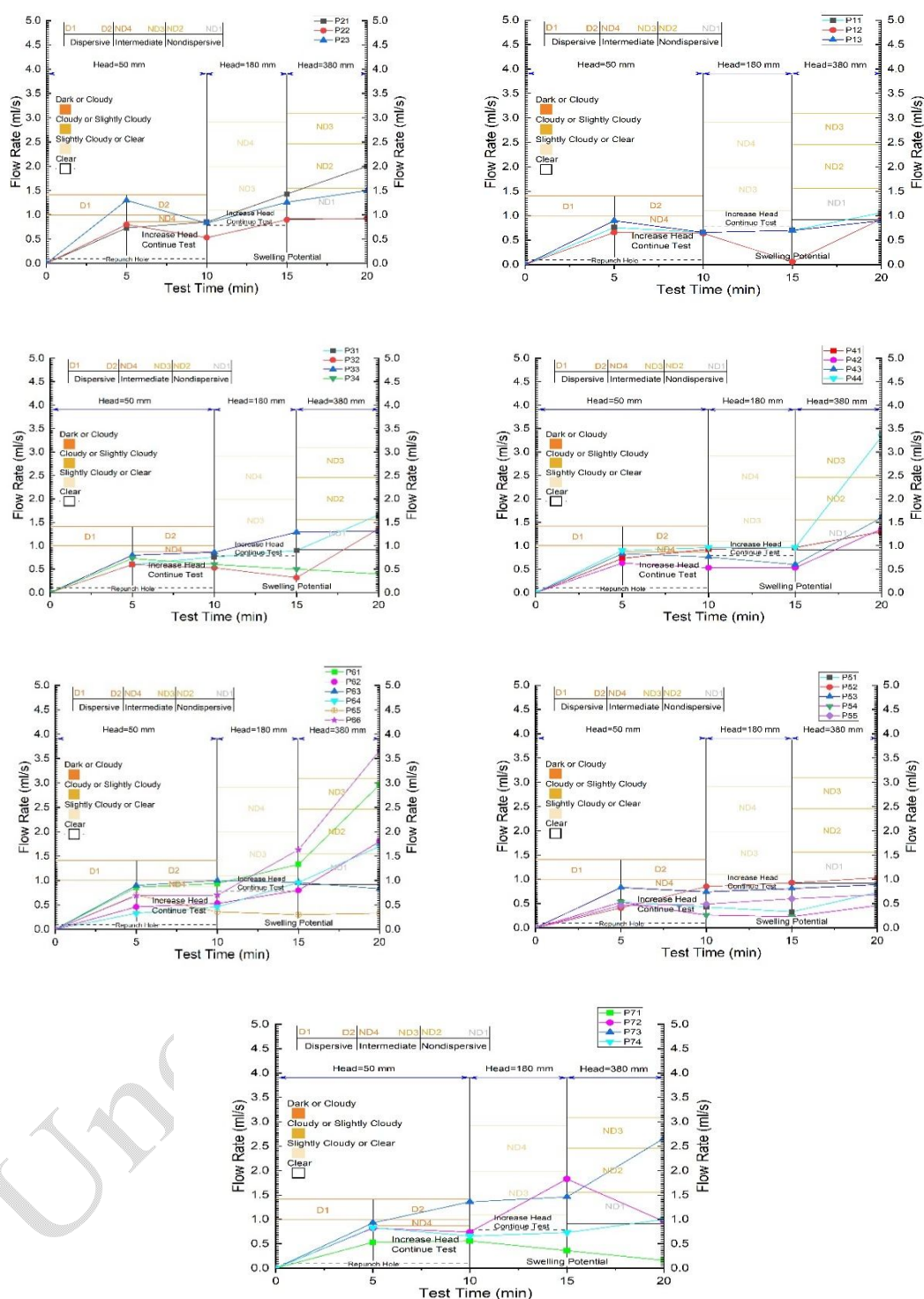
جدول ۶- نتایج آزمایش پین هول خاک‌رخ‌ها.

Table 6. The results of Pinhole test of the pedons.

واگرایی	کیفیت آب خروجی	دبی خروجی از نرخ جریان عبوری مختلف				شماره نمونه	افق	خاک‌رخ
		Output flow rate of different heads						
		380	180	50				
Dispersion	Output water quality	5min	5min	10min	5min	S. N.	Horizon	Pedon
ND1	****	1.06	0.7	0.66	0.76	P11	A	صوفیان P1
ND1	****	0.93	0.06	0.64	0.66	P12	B _k	
ND4	**	0.9	0.7	0.66	0.9	P13	C	
ND3	***	2	1.43	0.85	0.73	P21	A	هوتن P2
ND1	****	0.93	0.9	0.53	0.8	P22	B _C	
D1	*	1.5	1.26	0.83	1.48	P23	C _y	
ND1	****	1.66	0.9	0.76	0.6	P31	A	خالدنبی P3
ND1	****	1.36	0.32	0.53	0.6	P32	B _w	
ND3	***	1.31	1.29	0.86	0.8	P33	B _C	
ND1	****	0.4	0.5	0.6	0.73	P34	C	
ND4	**	1.3	0.96	0.93	0.73	P41	A	یلی‌بدراق P4
ND1	****	1.36	0.53	0.53	0.63	P42	B _k	
ND1	****	1.6	0.6	0.76	0.83	P43	C	
ND4	**	3.33	0.96	0.96	0.9	P44	B _{Cy}	
ND1	****	0.73	0.33	0.43	0.53	P51	A	مینودشت P5
ND1	****	1.03	0.93	0.85	0.41	P52	AB	
ND1	****	0.89	0.81	0.74	0.83	P53	B _t	
ND1	****	0.46	0.23	0.26	0.53	P54	B _{K1}	
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	رامیان p6
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	
ND1	****	0.33	0.3	0.366	0.7	P65	B _k	
ND3	***	3.66	1.63	0.7	0.69	P66	C _k	
ND1	****	0.16	0.36	0.56	0.53	P71	A	داشلی‌برون P7
ND3	***	0.96	1.83	0.74	0.82	P72	C	
ND4	**	2.66	1.46	1.36	0.93	P73	2B _k	
ND1	****	1	0.73	0.66	0.83	P74	C _y	

کدر و تیره (*)، کدر تا نسبتاً کدر (**)، نسبتاً کدر تا شفاف (***) و کاملاً شفاف (****)

Dark or Cloudy (*), Cloudy or slightly Cloudy (**), slightly Cloudy or Clear (***) and Completely Clear (****)



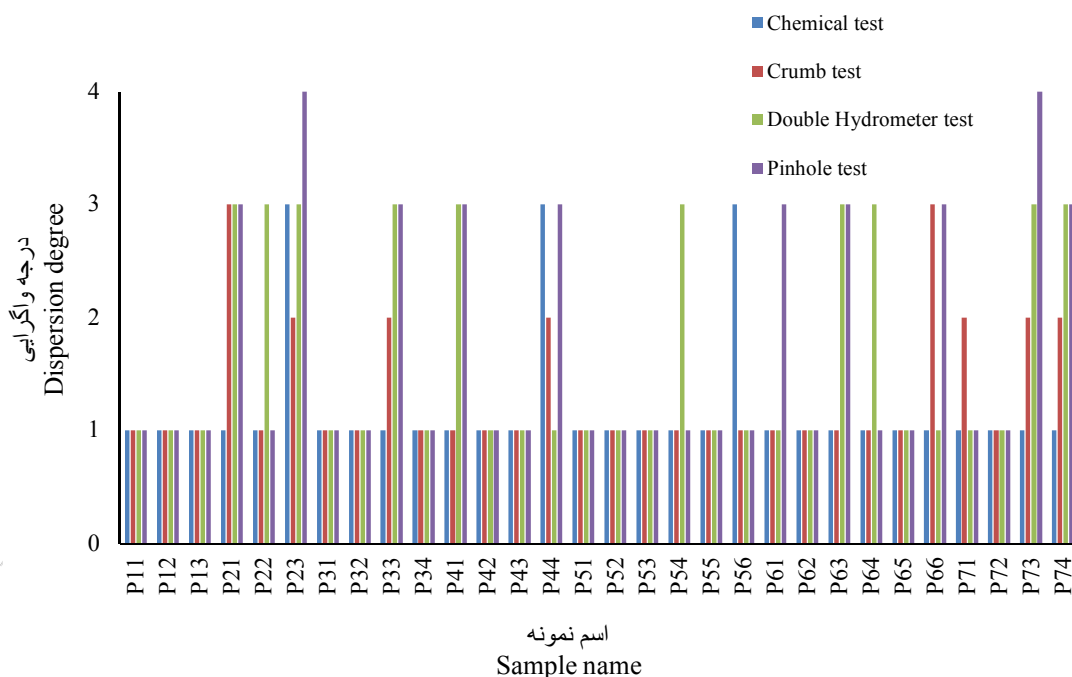
شکل ۶- سرعت جریان و درجه واگرایی خاک‌رخ‌ها.

Figure 6. Flow rate and dispersive grade of pedons.

(۳۲) که تمامی این خصوصیات در جدول ۲ قابل ملاحظه است که با نتایج ژانگ و همکاران (۲۰۲۰) مطابقت دارد (۳۳).

مقایسه نتایج آزمایش‌های مختلف واگرایی: نتایج آزمایش‌های مختلف واگرایی در جدول ۷ و شکل ۶ گزارش شده است. شایان ذکر است که قبل از ترسیم شکل ۶ و مقایسه نتایج حاصل از آزمایش‌ها لازم بود که نتایج تمامی آزمایش‌ها به یک مبنا تبدیل شوند (درجه واگرایی یک تا چهار). بر این اساس خاک‌ها به چهار درجه غیرواگرا (۱)، واگرای خفیف (۲)، واگرای متوسط (۳) و کاملاً واگرا (۴) امتیازدهی شدند.

با توجه به نتایج آزمایش پین‌هول در جدول ۶ به‌استثنای نمونه P23 تقریباً تمام نمونه‌ها یا غیرواگرا بوده یا از نظر فیزیکی در رده خاک‌هایی با پتانسیل واگرایی متوسط قرار دارند. بررسی نتایج آنالیز درصد ذرات خاک نشان داد که به‌طورکلی خاک‌های لسی مورد مطالعه از درصد سیلت بالایی برخوردار هستند؛ به‌گونه‌ای که در ۷۰ درصد نمونه‌ها، مقدار سیلت بالای ۶۰ درصد مشاهده شده است. از آن‌جا که مقدار سیلت، عامل مهمی در فرسایش‌پذیری خاک محسوب می‌شود؛ هنگامی که مقدار سیلت در خاک بالا باشد به محض دریافت رطوبت، به‌راحتی 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



شکل ۷- میزان واگرایی خاک در آزمایش‌های مختلف.

Figure 7. The amount of soil dispersion in different experiments.

جدول ۷- نتایج آزمایش‌های مختلف واگرایی در خاک‌ها.

Table 7. The results of different dispersion tests of the pedons.

افق	شماره نمونه	کرامب	هیدرومتری دوگانه	شیمیایی	پین‌هول
Horizon	S. N.	Crumb	Double hydrometric	Chemical	Pinhole
خاک‌رخ صوفیان (P1)					
A	P11	Non Dispersive	Non Dispersive	Non Dispersive	ND1
B _k	P12	Non Dispersive	Non Dispersive	Non Dispersive	ND1
C	P13	Non Dispersive	Non Dispersive	Non Dispersive	ND4
خاک‌رخ هوتن (P2)					
A	P21	Intermediate	Intermediate	Non Dispersive	ND3
B _c	P22	Non Dispersive	Intermediate	Non Dispersive	ND1
C _y	P23	Slightly Dispersive	Intermediate	Intermediate	D1
خاک‌رخ خالدهنی (P3)					
A	P31	Non Dispersive	Non Dispersive	Non Dispersive	ND1
B _w	P32	Non Dispersive	Non Dispersive	Non Dispersive	ND1
B _c	P33	Slightly Dispersive	Intermediate	Non Dispersive	ND3
C	P34	Non Dispersive	Non Dispersive	Non Dispersive	ND1
خاک‌رخ یلی‌بدراق (P4)					
A	P41	Non Dispersive	Intermediate	Non Dispersive	ND4
B _k	P42	Non Dispersive	Non Dispersive	Non Dispersive	ND1
C	P43	Non Dispersive	Non Dispersive	Non Dispersive	ND1
B _{cy}	P44	Slightly Dispersive	Non Dispersive	Intermediate	ND4
خاک‌رخ مینودشت (P5)					
A	P51	Non Dispersive	Non Dispersive	Non Dispersive	ND1
AB	P52	Non Dispersive	Non Dispersive	Non Dispersive	ND1
B _t	P53	Non Dispersive	Non Dispersive	Non Dispersive	ND1
B _{k1}	P54	Non Dispersive	Intermediate	Non Dispersive	ND1
B _{k2}	P55	Non Dispersive	Non Dispersive	Non Dispersive	ND1
C	P56	Non Dispersive	Non Dispersive	Intermediate	ND1
خاک‌رخ رامیان (P6)					
A	P61	Non Dispersive	Non Dispersive	Non Dispersive	ND4
BA/AB	P62	Non Dispersive	Non Dispersive	Non Dispersive	ND1
B _t	P63	Non Dispersive	Intermediate	Non Dispersive	ND4
B _w	P64	Non Dispersive	Intermediate	Non Dispersive	ND1
B _k	P65	Non Dispersive	Non Dispersive	Non Dispersive	ND1
C _k	P66	Intermediate	Non Dispersive	Non Dispersive	ND3
خاک‌رخ داشلی‌برون (P7)					
A	P71	Slightly Dispersive	Non Dispersive	Non Dispersive	ND1
C	P72	Non Dispersive	Non Dispersive	Non Dispersive	ND3
2B _k	P73	Slightly Dispersive	Intermediate	Non Dispersive	ND4
C _y	P74	Slightly Dispersive	Intermediate	Non Dispersive	ND1

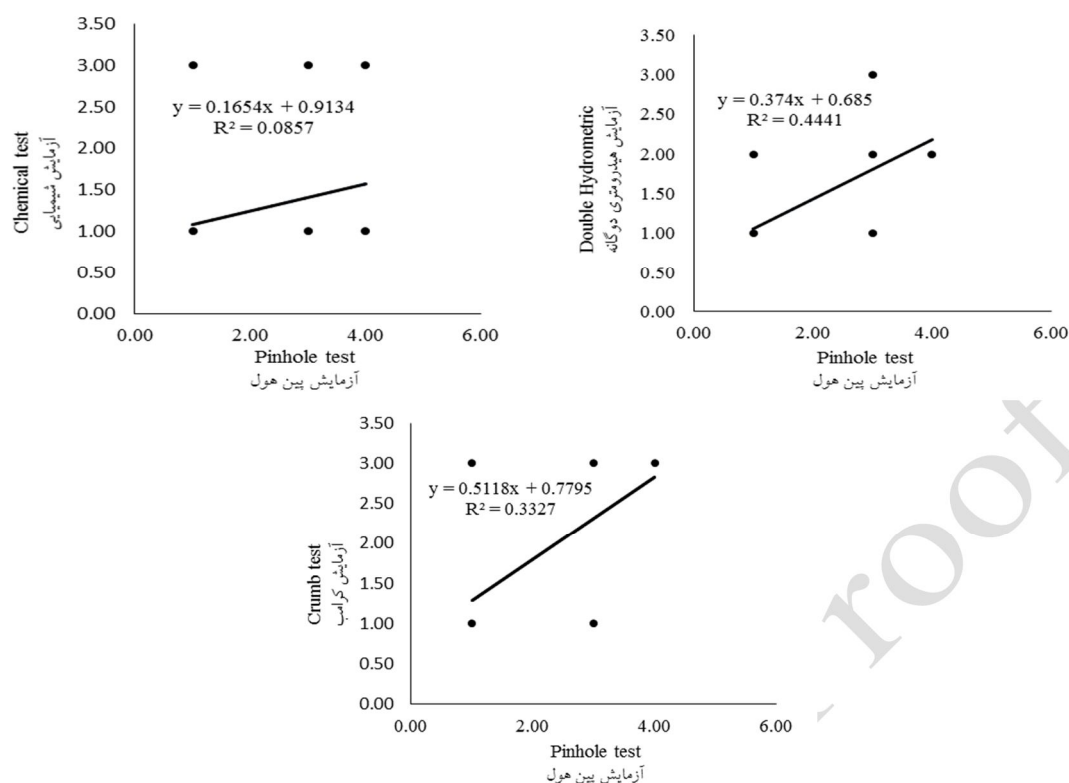
در این پژوهش، نتایج آزمایش‌های مختلف تعیین شناسایی خاک‌های واگرا بیانگر عدم واگرایی شدید خاک‌های لسی واقع در استان گلستان می‌باشد. با توجه به نتایج حاصل از شکل ۷ در خاک‌رخ‌های مورد مطالعه، واگرایی در قشر زیرین خاک، قابل مشاهده است و قشر رویی خاک (از سطح خاک تا عمق ۵۰ سانتی‌متری)، غیر واگرا می‌باشد. به عبارتی، افق A در تمامی خاک‌رخ‌ها دارای کم‌ترین میزان واگرایی و در افق‌های زیرین به‌ویژه افق B آن‌ها بیش‌ترین واگرایی رخ داده است. در نتیجه برای بررسی میزان واگرایی خاک‌های لسی بهتر است تمامی افق‌های خاک مورد آزمایش قرار بگیرند.

با توجه به پژوهش‌های پیشین، درصد سیلت و غلظت سدیم و املاح موجود در خاک دو خصوصیت بارز و مهم در وقوع پدیده واگرایی است. با بررسی جدول ۲ مشاهده گردید که مقدار سیلت در تمامی نمونه‌ها تقریباً یکسان (میانگین ۶۰ درصد) است. در نتیجه، نقش میزان شن در ایجاد و گسترش واگرایی غیرقابل انکار است. ذرات شن به‌علت چسبندگی کم‌تر در مقابل بارندگی و جریان آب، مقاومت زیادی در برابر فرسایش ندارند و شن در مجاورت با آب انسجام خود را از دست می‌دهد و امکان توسعه واگرایی فراهم می‌شود. با توجه به نتایج به‌دست آمده، در تمامی این خاک‌رخ‌ها در هر یک از افق‌های زیرین واگرا، در مجموع بین ۸۰ تا ۹۰ درصد شن و سیلت وجود دارد. این نتایج با نتایج بهرامی و همکاران (۲۰۱۴) و اوچلی و همکاران (۲۰۲۱) همخوانی دارد (۲۴ و ۳).

از طرفی، مواد آلی به‌عنوان یک عامل مهم در هم‌آوری ذرات خاک، بهبود ساختمان و ایجاد تخلخل محسوب می‌شود. کربن آلی که نماینده ماده آلی خاک

است از سطح (افق A) به عمق (افق B) کاهش شدیدی پیدا کرده است که می‌تواند دلیلی بر واگرایی افق‌های زیرسطحی نسبت به افق‌های سطحی خاک باشد. همچنین از مطالعه جرم مخصوص ظاهری هر خاک‌رخ در جدول ۲ نیز مشخص شد که در سطح خاک‌رخ‌ها به‌دلیل بالا بودن مقدار مواد آلی، جرم مخصوص ظاهری کاهش یافته و هرچه به عمق خاک‌رخ نزدیک‌تر می‌شویم با کاهش مواد آلی، جرم مخصوص ظاهری افزایش یافته است. 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 در عمق شده و این عوامل، موجب کاهش میزان تخلخل موجود در خاک و به تبع آن افزایش فرسایش درونی در خاک شده‌اند که تمامی این عوامل بر نتایج آزمایش‌های مختلف واگرایی تأثیرگذار هستند.

پژوهش حاضر به‌منظور بررسی دقت و کارایی روش‌های مختلف تخمین میزان واگرایی در خاک‌های لسی استان گلستان انجام شد. از نتایج به‌دست آمده در خصوص مقایسه، کاربرد و توانایی روش‌های مختلف تخمین پتانسیل واگرایی خاک شامل آزمایش شیمیایی، آزمایش کرامب، آزمایش هیدرومتری مضاعف و آزمایش پین‌هول می‌توان جمع‌بندی نمود که روش‌های یاد شده بر خلاف همبستگی بالا با یکدیگر، غالباً دارای اختلاف در مقادیر واگرایی در هر یک از خاک‌رخ‌ها بوده و در این میان، روش هیدرومتری مضاعف همبستگی بیش‌تری ($P < 0.01$)، ($R^2 = 0.4441$) با روش پین‌هول از خود نشان داده است و طبعاً قادر به برآورد خوبی از مقادیر واگرایی در خاک‌رخ‌های مطالعاتی خواهد بود.



شکل ۸- مقایسه نتایج آزمایش پین هول با سایر آزمایش‌های واگرایی.

Figure 8. Comparison of pinhole test results with other dispersion tests.

جدول ۸- برآورد پارامترهای معادله خطی برازش یافته به داده‌های حاصل از سنجش واگرایی با روش‌های مختلف (اعداد داخل پرانتز نشان‌دهنده خطای معیار می‌باشند).

Table 8. Estimating the parameters of the linear equation fitted to the data obtained by measuring the dispersion with different methods (numbers in parentheses indicate standard error).

ضریب تبیین (R^2)	شیب (b)	عرض از مبدأ (a)	آزمایش‌های واگرایی Dispersion tests
0.086	0.913 (0.20)**	0.165 (0.10) ^{ns}	شیمیایی Chemical test
0.333	0.512 (0.13)**	0.780 (0.27)**	کرامب Crumb test
0.444	0.374 (0.08)**	0.685 (0.16)**	هیدرومتری دوگانه Double hydrometric test

^{ns} و ** به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در $P < 0.01$

روش‌های موجود دارد. بر پایه مطالعه انجام شده، نتایج حاصل از این پژوهش به شرح زیر جمع‌بندی شده است:

با توجه به شرایط فیزیکی و شیمیایی تقریباً مشابه در خاک‌رخ‌ها، وجود اختلاف بین نتایج به دست آمده از روش‌های گوناگون دلالت بر ضرورت انجام واسنجی‌های منطقه‌ای لازم در استفاده از تمامی

آب حفره‌ای است، قادر به تشخیص صحیح پتانسیل واگرایی نبوده و در مواردی نتایج گمراه‌کننده‌ای ارائه داده است. در واقع در غلظت‌های زیاد نمک، پتانسیل واگرایی را بیش‌تر از حالت واقعی نشان داده و نیاز به اصلاح دارد. این مسأله یکی از دلایل اصلی تناقض بین نتایج حاصل از روش شیمیایی شرارد و آزمایش‌های فیزیکی در ارزیابی قابلیت واگرایی نمونه خاک بوده است. در نتیجه خاک‌ها باید هم از جنبه فیزیکی و هم شیمیایی مورد بررسی قرار بگیرند. با این اوصاف، انجام آزمایش شیمیایی واگرایی در کنار یک آزمایش فیزیکی واگرایی در همه حال ضرورت دارد.

در نهایت شایان ذکر است گرچه هر یک از روش‌های آزمایشگاهی کمک شایانی به ارزیابی پتانسیل واگرایی می‌نمایند، ولی به دلیل پیچیدگی پدیده واگرایی، پیشنهاد می‌شود که مجموعه‌ای از آزمایش‌ها بر روی نمونه‌های مورد بررسی انجام گرفته و قضاوت نهایی بر اساس مجموعه نتایج حاصل به عمل آید.

۱- نتایج مطالعات حاکی از آن است که تقریباً تمامی آزمایش‌ها، توانایی تشخیص واگرایی خاک را دارند؛ تنها تفاوت در بیان شدت واگرایی و در واقع دقت آزمایش است.

۲- آزمایش پین‌هول حالت واقعی تراوش آب در شکاف‌های موجود در ساختار خاک را بهتر مدل می‌کند. پس در همه حال نتایج حاصل از این آزمایش می‌تواند نماینده پتانسیل واگرایی واقعی خاک منطقه باشد.

۳- نتایج آزمایش هیدرومتری مضاعف، بیش‌ترین تطابق را با نتایج آزمایش پین‌هول دارد. در نتیجه در صورت عدم امکان استفاده از آزمایش پین‌هول می‌توان به نتایج آزمایش هیدرومتری مضاعف اکتفا کرد.

۴- در تعیین پتانسیل واگرایی خاک‌ها، آزمایش کرامب در خاک‌های لسی پتانسیل واگرایی را کم‌تر از حالت واقعی نشان داد. بنابراین پیشنهاد می‌شود تنها به نتایج این آزمایش بسنده نشود.

۵- در خاک‌های لسی منطقه، معیار شیمیایی شرارد که تنها مبتنی بر غلظت کاتیون‌ها و پارامترهای موجود در

منابع

1. Klute, A. (1986). Methods of Soil Analysis, part 1 (Physical and Mineralogical Methods). *Am. Soc. Agron., Madison, WI*. doi.org/reference/referencespapers?referenceid=267539.
2. Shabanzadeh, M., & 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. doi: 10.22060/ajce.2020.18077.5659.
3. Ocheli, A., Ogbe, O. B., & 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. doi: doi.org/10.26480/magg.01.2023.17.21.
4. Fernando, J. (2010). Effect of water quality on the dispersive characteristics of soils found in the Morwell area, Victoria, Australia. *Geotechnical and Geological Engineering*, 28(6). 835-850. doi: 10.1007/s10706-010-9345-1.
5. Sherard, J. L., Ryker, N. L., & Decker, R. S. (1972) Piping in Earth Dams of Dispersive Clay. *The ASCE Specialty Conference on Performance of Earth and Earth-Supported Structures*, 1, 589-626.
6. Jafarzadeh, M., Amelsakhi, & M., Sadeghi, B. (2019). International Conference on Researches in Science & Engineering & International Congress on Civil, Architecture and Urbanism in Asia.

7. Ouhadi, V. R., & Goodarzi, A. R. (2006). Assessment of the stability of a dispersive soil treated by Alum. *Journal of Engineering Geology*, 85, 91-101. **doi.org/10.1016/j.enggeo.2005.09.042.**
8. Abbasi, N., & Nazifi, M. H. (2013). Assessment and Modification of Sherard Chemical Method for Evaluation of Dispersion Potential of Soils. *Geotechnical and Geological Engineering*, 31, 337-346. **doi.org/10.1007%2Fs10706-012-9573-7.**
9. Askari, F. A., & Fakher, A. (1993). Swelling and variation of soils from the point of view of geotechnical engineering, University of Tehran.
10. Duiker, S. W., Flanagan, D. C., & Lal, R. (2001). Erodibility and filtration characteristics of five major soils of southwest Spain. *Catena*, 45, 103-121. **doi:10.1016/S0341-8162(01)00145-X.**
11. Giday, B., & Mittal, S. (2020). Improving the characteristics of dispersive subgrade soils using lime. *Journal Heliyon*, 6, 03384.
12. Schoeneberger, P. J., Wysocki, D. A., Benham, E. C., & Broderson, W. D. (2012). Field Book for Describing and Sampling Soils. *Natural Resources Conservation Service*, USDA, National Soil Survey Center, Lincoln, NE.
13. ASTM D4647. (1998). Standard test method for identification and classification of dispersive clay soils by the pinhole test, Designation.
14. ASTM D6572-13e2. (2013). Standard Test Methods for Determining Dispersive Characteristics of Clayey Soils by the Crumb Test. West Conshohocken, PA: ASTM International.
15. ASTM D4221. (2005). Standard Test Method for Dispersive Characteristics of Clay Soil by Double Hydrometer. West Conshohocken, PA: ASTM International.
16. Ghazinoor, A. (1990). Piping Failure in Earth Dams, Caused by Dispersive Clays, Proc. of the 1st International Seminar on Soil Mechanics and Foundation Eng. of Iran, 2, 324-335.
17. ASTM D422-63. (2007). Standart test method for particle-size analysis of soil. (American Society for Testing and Materials), Annual Book of ASTM Standards, 2-7.
18. Sayevand, S., & Dehghani, M. (2013). Identification and Management of Dispersive Soils. The 1st Iranian Conference on Geotechnical Engineering, 22-23 October University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.
19. Maharaj, A. (2011). The Use of the Crumb Test as a Preliminary Indicator of Dispersive Soils. The 15th African Regional Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, 299-306. **doi:10.3233/978-1-60750-778-9-299.**
20. Afriani1, L., & Perdana, R. (2022). The Identification of the Existence of Dispersive Soil on the Soft Soil for Dam Filling Material. *Civil Engineering and Architecture* 10 (1), 388-394. **DOI: 10.13189/cea.2022.100133.**
21. Zare Junaghani, N., Mehrnehad, H., Khabiri, M. M., & Srfraz, S. (2021). Estimating Dispersibility Potential of Soil and its Stabilization by Nano Cellulose. *Journal of Engineering Geology*, 15 (2), 253-282. **doi.org/10.52547/jeg.15.2.253.** [In Persian]
22. Kinney, J. L. (1979). Laboratory procedures for determining the dispersibility of clayey soils. Report No. REC-ERC-79-10, Bureau of Reclamation, Denver, CO.
23. Bureau of Reclamation. (1990). Earth Manual, Part 2, Third Edition, Denver, CO.
24. Penner, D., & Lagaly, G. (2001). Influence of anions on the rheological properties of clay mineral dispersions. *Applied Clay Science*, 19, 131-142. **doi.org/10.1016/S0169-1317(01)00052-7.**
25. Marandi, S. M., Hamidi, S., & Salajegheh, S. (2015). Validation of Dispersion Tests in Soils with Low Plasticity and Low Dispersion Potential (A Case Study on Parts of Iran Regions). *Journal of Civil and Environmental Engineering*, 45 (3), 51-63. **https://ceej.tabrizu.ac.ir/article_4223_20ec5f90cb7939d4cb1ce7116092799c.pdf?lang=en.**

26. Premkumar, S., Piratheepan, J., & 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. doi:10.1680/jgrim.17.00008.
27. Zare, M., Soufi, M., Nejabat, M., & Pourghasemi, H. R. (2020). The topographic threshold of gully erosion contributing factors. *Natural Hazards*. 112 (1), 2013-2035. DOI:10.1007/s11069-022-05254-6.
28. Marchuk, A., Rengasamy, P., & 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. *Soil Research*. 51 (1), 34-40. DOI:10.1071/SR13012.
29. Moravej, S., Habibagahi, G., Nikoee, E., & Niazi, A. (2018). Stabilization of dispersive soils by means of biological calcite precipitation. *Geoderma*. 315 (1), 130-137. doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.11.037.
30. 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]
31. Besharti, B., Abedini, M., & 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. doi:10.29252/geores.33.2.206. [In Persian]
32. Zamanzadeh, M., & 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]
33. Zhung, S. Y., Zhuo, M. N., Xie, Z. Y., Yuan, Z. J., Wang, Y. T., Hung, B., liao, Y. S., Li, D. Q., & Wang, Y. (2020). Effects of near soil surface components on soil erosion on steep granite red soil colluvial deposits. *Geoderma*. 356 (3). Article 114203. doi: 10.1016/j.geoderma.2020.114203.
34. Bahrami, K., Nikoodel, M. R., & 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]