

ارزیابی قابلیت رمبندگی خاک‌های لسی حوزه قرناوه در شمال کلاله، استان گلستان

ناصر حافظی مقدس^{۱*}، محمدرضا نیکودل^۲، کاظم بهرامی^۳

پذیرش مقاله: ۹۰/۱۲/۳

دریافت مقاله: ۹۰/۸/۴

چکیده

از دیدگاه زمین شناسی مهندسی، خاک‌های رمبند در گروه خاک‌های مسئله‌دار قرار می‌گیرند و مشکلات زیادی را برای پروژه های عمرانی به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک ایجاد می‌نمایند. هم چنین این نوع خاک سبب تشدید فرسایش زمین و از بین رفتن پوشش گیاهی می‌شود. یکی از مهم ترین گروه خاک‌های رمبند، لس‌ها می‌باشند. خاک‌های لسی، پوشش اصلی شمال کلاله در استان گلستان را تشکیل می‌دهند. این محدوده از جمله مناطق تحت فرسایش شدید در استان است که در سال‌های اخیر چندین سیل مخرب را نیز تجربه کرده است. همچنین تعداد قابل توجهی فروچاله در نهشته های لسی این منطقه تشکیل شده است. در این تحقیق به منظور بررسی و شناخت خاک‌های لسی، نمونه‌هایی به صورت دست نخورده تهیه و به آزمایشگاه منتقل و پارامترهای حدود اتربرگ، وزن واحد حجم، توزیع اندازه دانه‌ها، چگالی مخصوص و پارامترهای مقاومت برشی تعیین شد. قابلیت رمبندگی این خاک‌ها با استفاده از نتایج آزمایش تحکیم مضاعف و همچنین بر اساس دو معیار هندی و کلونجر به دست آمد. نتایج این آزمایش‌ها نشان می‌دهد که این خاک‌ها جزو لس‌های رسی با خاصیت خمیری پایین بوده و مستعد رمبندگی می‌باشند. همچنین نتایج آزمایش‌های انجام شده نشان می‌دهد که افزایش نسبت تخلخل در این خاک‌ها باعث افزایش رمبندگی شده و افزایش میزان فعالیت کانی‌های رسی باعث کاهش رمبندگی خاک می‌شود.

کلید واژه‌ها: رمبندگی، آزمایش تحکیم مضاعف، لس، کلاله، استان گلستان

۱. دانشیار گروه زمین شناسی دانشگاه صنعتی شاهرود، nhafezi@shahroodut.ac.ir

۲. استادیار گروه زمین شناسی مهندسی دانشگاه تربیت مدرس، nikudelm@modares.ac.ir

۳. کارشناسی ارشد زمین شناسی مهندسی Bahrami.kazem@yahoo.com

* مسئول مکاتبات

۱. مقدمه

در زمین‌شناسی مهندسی، خاک رمبنده خاکی ناپایدار، دارای ساختار سست، متخلخل و در حالت طبیعی غیراشباع است. این خاک‌ها در حالت خشک، مقاومت بالایی دارند اما در اثر اشباع شدن، ساختار آن‌ها فرو ریخته و دچار رمبندگی می‌شوند (قبادی ۱۳۸۵، حافظی مقدس ۱۳۹۰). در حالت خشک، سیمان شدگی طبیعی بین دانه‌ها و همچنین چسبندگی ذرات خاک، به علت پوششی از کانی‌های رسی عامل اصلی پیوستگی بین دانه‌ای است. اما به هر حال اشباع شدن این خاک‌ها باعث تخریب سیمان بین دانه‌ای و رها شدن کانی‌های رسی از ذرات سیلت می‌شود که خود عاملی برای ریزش ساختار خاک حتی بدون اعمال بار می‌باشد. در خاک‌های نیمه اشباع نیز پایداری خاک، به علت کشش موئینه بوده و با اشباع شدن خاک، این پدیده از بین می‌رود (Rafie et al., 2008; Khalifa et al., 2010; Hormdee, 2008; می‌تواند مشکلاتی را برای پی سازه‌های مسکونی، پل‌ها، جاده‌ها، کانال‌های آبیاری و سایر ابنیه فنی به وجود آورد. خاک‌های رمبنده در بسیاری از کشورهای دنیا به ویژه کشورهای نیمکره شمالی و در عرض‌های ۳۰ تا ۵۵ درجه، گسترش زیادی یافته‌اند. برای مثال در چین، لس‌ها در مساحتی بالغ بر ۶۳۰۰۰۰۰ کیلومتر مربع گسترش یافته‌اند و بیش از ۶۰ درصد آن‌ها را خاک‌های با استعداد رمبندگی زیاد تشکیل می‌دهد (Derbyshire et al., 1995). خاک‌های رمبنده حدود ۱۶٪ از کل سطح خشکی‌های زمین را می‌پوشاند (Reznik, 2000; Khalifa et al., 2010). میزان رمبندگی خاک تا حدودی وابسته به تخلخل ذاتی است. خصوصیات اصلی خاک‌های رمبنده، تخلخل بالا (بیشتر از ۴۰٪)، اشباع شدگی پایین (کمتر از ۶۰٪)، درصد سیلت بالا (بیشتر از ۳۰٪ و گاهی تا ۹۰٪) و نرم شدن سریع در آب است (Rafie et al., 2008). در قسمت وسیعی از شمال استان گلستان، سازند به هم پیوسته‌ای به شکل تپه ماهور دیده می‌شود که جنس آن از لس است که در سطحی معادل ۴۲۰۰ کیلومتر مربع گسترش یافته است. لس‌ها نوع خاصی از خاک‌های سیلتی با ساختار

متخلخل و چسبندگی ضعیف بوده و در ادوار مختلف کوآترنری ته نشست پیدا کرده‌اند. در این پژوهش به بررسی و شناخت این پدیده در لس‌های شمال کلاله در استان گلستان پرداخته شده است.

۲. موقعیت جغرافیایی و زمین شناسی

منطقه مورد مطالعه، شمال شهرستان کلاله در استان گلستان و در موقعیت جغرافیایی $30^{\circ} 55'$ تا $00^{\circ} 56'$ طول شرقی و $30^{\circ} 37'$ تا $45^{\circ} 37'$ عرض شمالی واقع شده است (شکل ۱). از نظر ساختمانی، این منطقه بخشی از زون گرگان - رشت است. بخش عمده‌ی حوضه مورد مطالعه پوشیده از نهشته‌های لسی و آبرفتی است. محدود رخنمون‌های سنگی در حوزه آبریز قرناوه شامل آهک، دولومیت، ماسه سنگ، شیل و مارن می‌باشد. ماسه‌سنگ‌ها توپوگرافی کم ارتفاع، و آهک‌های ضخیم تا توده‌ای و دولومیت‌ها بلندی‌ها و ارتفاعات را ساخته‌اند. در خصوص منشأ نهشته‌های لسی استان گلستان نظرات مختلفی وجود دارد. پاشایی (۱۳۷۶) منشأ اصلی مواد لسی را به نهشته‌های سیلابی و تپه‌های ماسه‌ای واقع در فرورفتگی دریای خزر نسبت می‌دهد. نامبرده و برخی دیگر از محققین معتقدند لس‌های گلستان حاصل ترسیب گرد و غبار حمل شده به وسیله بادهای پلیستوسن از سرزمین ترکمنستان و اروپای خاوری هستند که در آخرین پسروری یخچالی دوره کوآترنر به سوی ایران آمده‌اند (جعفری و همکاران ۱۳۸۸، حیدری ۱۳۶۹، عندلیبی ۱۳۷۱) بر اساس نوع و مقدار کانی‌های سنگین برای لس‌های شرق و غرب خزر منشأ‌های متفاوتی را در نظر می‌گیرد. برخی آزمایش‌ها نیز نشان می‌دهد خاستگاه اولیه لس‌های گلستان یک توده گرانیتی تا شبه گرانیتی در شمال دریاچه آرال بوده است. درصد تشابه عناصر اصلی در لس‌های منطقه با کشورهای همسایه شمالی مشخص می‌کند که لس‌های حوضه قره‌تیکان با لس‌های آسیای میانه به ویژه ازبکستان و تاجیکستان از یک منشأ می‌باشد (گیاهی ۱۳۸۹). به عقیده (خواجه ۱۳۸۱) نیز این خاک‌ها در شرایط آب و هوای سرد و خشک ایجاد شده‌اند و جهت بادهای غالب در

در منطقه و نیز از محل دیواره فروچاله‌ها برداشت شد و آزمایش‌های مختلف دانه‌بندی‌تر، هیدرومتری، حدود اتربرگ، وزن واحد حجم، برش مستقیم، XRD، کلسی‌متری، رطوبت در حالت اشباع، تحکیم و تحکیم مضاعف بر روی آن‌ها انجام شد. در ادامه، خصوصیات خاک‌های مورد مطالعه همراه با نتایج ارزیابی خاصیت رمبندگی آنها مورد بررسی قرار گرفته است.

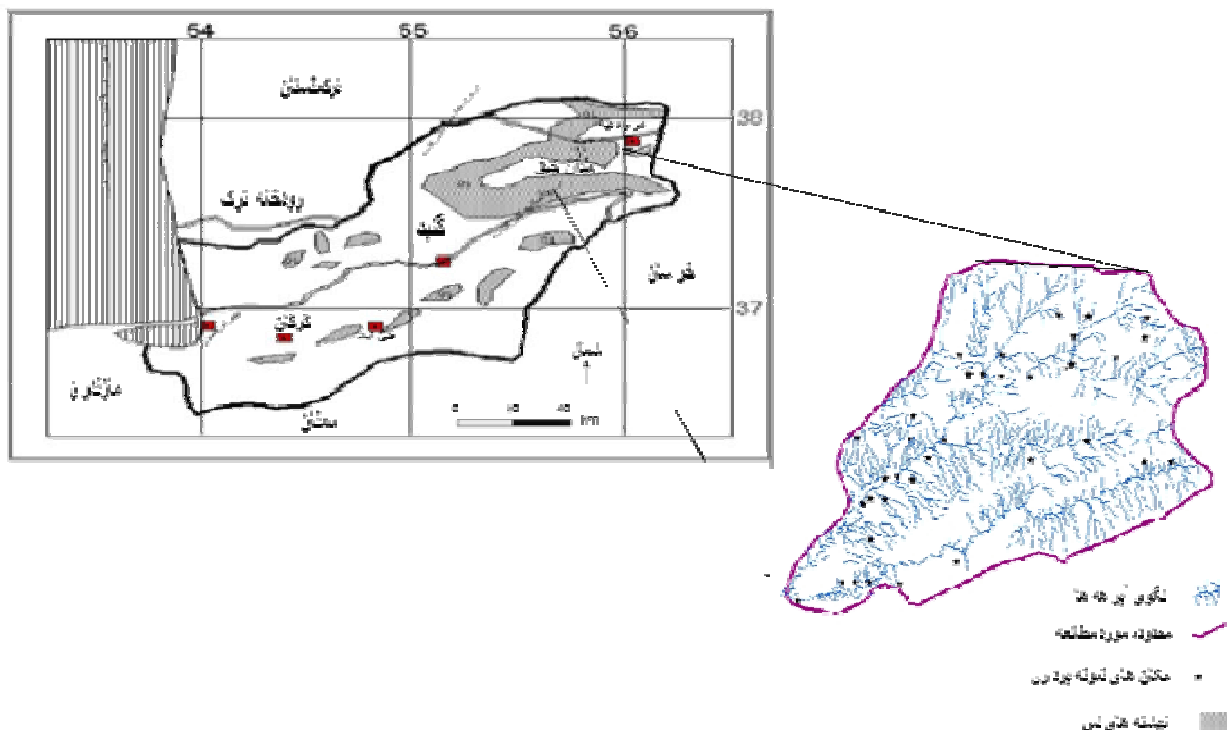
۱-۳. ویژگی شاخص خاک‌های لسی

نتایج خصوصیات فیزیکی و شاخص نمونه‌های مورد بررسی در جدول ۱ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود ذرات ماسه در نمونه‌های فوق از ۲ تا ۱۰ درصد، ذرات سیلت از ۵۴ تا ۷۲ و ذرات رس از ۲۳ تا ۴۱ درصد تغییر می‌کند. بنابراین بافت خاک عموماً لوم ماسه‌دار است و از نظر طبقه‌بندی یونیفاید در گروه CL طبقه‌بندی می‌گردند (شکل ۲).

تشکیل این رسوبات از سمت شمال غرب به سمت جنوب شرق بوده است (خواجه و همکاران، ۱۳۸۳). این خاک‌ها به علت ریز ساختارهای خاص، تراکم‌پذیری بسیار پایینی را در حالت خشک از خود نشان می‌دهند (Miao, 2001) اما وقتی این خاک‌ها، از آب اشباع شوند به شدت دچار کاهش مقاومت شده و ممکن است ساختار آن‌ها فروریخته و دچار رمبندگی شوند (Fedai, 1996; Rogers et al., 1994; Gao, 1980; Yang, 1988; جعفری اردکانی و همکاران، ۱۳۸۸).

۳. بررسی ویژگی رمبندگی لس‌های منطقه

در محدوده مطالعاتی تعداد زیادی فروچاله در داخل نهشته‌های لسی مشاهده می‌گردد. فروچاله‌ها در مراحل اولیه تشکیل، عموماً دارای دیواره‌های قائم هستند که شاهدهی بر فروریختگی خاک است. از بین عوامل مختلف موثر بر تشکیل آنها فرض بر این است که خاصیت رمبندگی خاک نقش مهمی را در شروع تشکیل فروچاله‌ها دارد. جهت بررسی این موضوع ۱۴ نمونه خاک بلوکی از ترانشه‌های طبیعی موجود



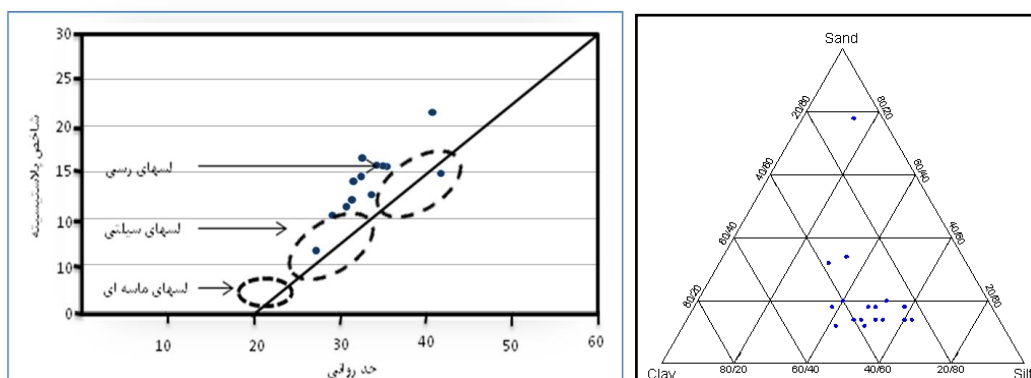
شکل ۱. موقعیت جغرافیائی منطقه مورد مطالعه و نقاط نمونه برداری

داربستی از بین می رود، لذا هر چه قدمت لس بیشتر باشد تخلخل آن کمتر خواهد شد.

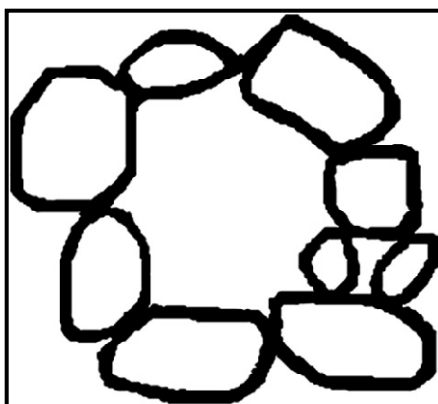
۳-۲. خصوصیات کانی شناسی

جهت تعیین نوع و درصد کانی تشکیل دهنده لس های مورد مطالعه، چهار نمونه خاک اخذ شده از تراشه های عمیق مورد آزمایش XRF و XRD قرار گرفت. نتایج آزمایش های فوق نشان داد که کوارتز و کلسیت کانی اصلی تشکیل دهنده نمونه ها است و میانگین درصد رس حدود ۹ درصد و رس غالب در نمونه ها ایلیت است (جدول ۲). به عبارت دیگر کسر رسی در نمونه هایی که بیش از ۵۰ درصد می باشد، عمدتاً از جنس کوارتز یا کلسیت می باشد و تنها از نظر دانه بندی در حد رس است.

زاویه اصطکاک داخلی نمونه بین ۱۵ تا ۲۵ درجه تغییر می کند در حالی که چسبندگی آنها ناچیز است. نسبت فضاهای خالی اندازه گیری شده در هفت نمونه بین ۰/۵۸ تا ۱/۱۶۳ است که نشان دهنده ساختمان پوک و متخلخل است. اصولاً ساختمان لس ها غالباً به صورت لانه زنبوری است. در این ساختمان ته نشینی ذرات برخلاف ماسه ها تنها تحت تأثیر نیروی ثقل نیست بلکه نیروی بین دانه ای نیز در آن مؤثر است. در این ساختمان ذرات رس مشابه پلی بین ذرات سیلت قرار دارند و نقش سیمان را ایفا می کنند. ساختمان فوق بسیار متخلخل است و فضاهای خالی بین ذرات ممکن است بزرگتر از اندازه ذرات تشکیل دهنده باشد (شکل ۳). این نوع تخلخل را تخلخل شبکه ای یا داربستی می نامند (Yuan and Wang, 2009). در طول فرایند طولانی تحکیم، بخشی از تخلخل های



شکل ۲. موقعیت نمونه های در نمودار بافتی و رده بندی نمونه ها در طبقه بندی یونیفاید



شکل ۳. ساختمان لانه زنبوری لس ها (Yuan and wang, 2009)

جدول ۱. خصوصیات پایه خاک‌های لسی شمال کلاله

شماره نمونه	چگالی دانه‌ها (g/cm ³)	نسبت پوکی	زاویه اصطکاک داخلی ()	چسبندگی (Kg/cm ²)	شاخص خمیری (درصد)	حد خمیری (درصد)	عدد فعالیت
۱	۲/۶۸	۰/۵۸	۲۰/۶۵	۰	۱۶/۵	۱۶/۲	۰/۴۱۵
۲	۲/۷۰	۰/۷۸۹	۲۲/۵۱	۰	۱۵/۶۵	۱۹/۸۵	۰/۴۱۵
۳	۲/۷۱	۰/۹۲۴	۱۷/۰۷	۰	۱۱/۲۳	۱۹/۵۵	۰/۳۰۲
۴	۲/۶۸	۰/۵۸۱	۱۸/۱۶	۰/۰۵۸	۲۱/۵	۱۹/۳	۰/۳۶۱
۵	۲/۷۱	۰/۶۱۵	۲۴/۳۸	۰	۱۵/۷۵	۱۹/۳۵	۰/۳۷۱
۶	۲/۷۲	۰/۷۴۴	۱۹/۹۵	۰	۱۰/۴	۱۸/۷۵	۰/۳۱۸
۷	۲/۷۳	۰/۷۰۹	۱۵/۱۴	۰/۱۱۴	۱۵/۸۵	۱۸/۴۵	۰/۴۲
۸	۲/۶۳	-	-	-	۳۶/۷۶	۲۶/۴۶	-
۹	۲/۶۷	-	-	-	۱۴/۹	۲۶/۷۷	-
۱۰	۲/۷۱	-	-	-	۱۴/۰۵	۱۷/۶۵	۰/۴۰۸
۱۱	۲/۷۴	۱/۱۶۳	۲۳/۵۹	۰	۶/۴۴	۲۰/۸۳	۰/۱۸
۱۲	۲/۷۲	۱/۱۴۵	۱۶/۷۴	۰	۱۱/۹۹	۱۹/۴۶	-
۱۳	۲/۶۸	۰/۶۹	۲۵/۰۹	۰/۱۸۹	۱۲/۵۹	۲۱/۱۱	-
۱۴	۲/۷۰	۰/۷۴۱	۲۰	۰	۱۴/۵۱	۱۷/۹۶	-

اصلاح شده تحکیم مضاعف شامل بارگذاری بر روی نمونه، تا یک مقدار مشخصی از تنش است که در این لحظه بدون افزایش تنش، نمونه را از آب اشباع کرده و تغییر حجم نمونه، اندازه‌گیری می‌شود. کاهش نسبی ارتفاع خاک، بعد از اشباع شدن خاک را می‌توان به عنوان ضریب رمبندگی بیان نمود (Clevenger, 1958, Bell, 2002, Baecher and Christian, 2003).

$$C_p = \frac{\Delta e_c}{1+e_0} = \frac{\Delta H_c}{H_0} \quad (1)$$

در رابطه ۱ C_p ضریب رمبندگی، ΔH_c تغییر ارتفاع نمونه بعد از اشباع شدن کامل نمونه و H_0 ارتفاع نمونه در حالت رطوبت طبیعی است. جدول ۳ استعداد رمبندگی خاک‌ها را بر اساس میزان رمبندگی آن‌ها نشان می‌دهد.

برای ارزیابی قابلیت رمبندگی خاک‌های لسی شمال کلاله به روش جنینگز و نایت آزمایش تحکیم مضاعف در بارهای ۸۱۵ kpa, ۴۰۷kpa, ۲۰۳ kpa, ۱۰۱ kpa بر روی نمونه‌هایی دست نخورده انجام شد. نتایج این آزمایش‌ها در جدول ۴ ارائه شده است.

جدول ۲. نتایج آنالیز XRD چهار نمونه مورد آزمایش

درصد کانی‌های اصلی و فرعی				
کوارتز	کربنات کلسیم	فلدسپات (آلبیت و به میزان خیلی کمتر اورتوکلاز)	ژپس	رس (آلبیت و کلریت)
۵۹/۶	۲۲/۵	۹/۴-۹/۹	۰-۰/۶	۱۰-۱۵ (میانگین ۸/۹)
۴۱/۸	۱۰/۳			

۴. ارزیابی رمبندگی نمونه‌های مورد بررسی

برای ارزیابی قابلیت رمبندگی خاک‌ها، معیارهای متعددی ارائه شده است. در مطالعه حاضر از سه معیار (Jenningz and Knight, 1975)، (Clevenger, 1958) و (Handy, 1973) استفاده شده است. جنینگز و نایت نتایج آزمایش تحکیم مضاعف را برای ارزیابی کمی رمبندگی خاک به کار برده و به صورت یک معیار برای ارزیابی رمبندگی خاک‌ها ارائه دادند. آزمایش تحکیم مضاعف به این صورت است که دو آزمایش تحکیم بر روی دو نمونه خاک یکسان انجام می‌شود. یکی از این آزمایش‌ها بر روی نمونه‌ای با رطوبت طبیعی انجام شده و دیگری در شرایط اشباع می‌باشد. پس از مدتی آن‌ها این آزمایش را اصلاح کردند. آزمایش

قابل ملاحظه‌ای است. اگر چگالی خشک خاک بیشتر از ۱.۴۴ گرم بر سانتی‌مترمکعب باشد مقدار رطوبت کم و اگر چگالی خشک، بین این دو مقدار باشد دارای قابلیت رطوبت متوسط است (Clevenger, 1958 Rafie et al., 2008). جدول ۵ قابلیت رطوبت خاک‌های لسی شمال کلاله را بر مبنای معیار کلونجر نشان می‌دهد.

جدول ۵. ارزیابی رطوبت نمونه‌های مورد بررسی بر اساس

معیار کلونجر

شماره نمونه	وزن واحد حجم g/cm ³	قابلیت رطوبت
۲	۱/۵۱	کم
۳	۱/۴۱	متوسط
۴	۱/۷	کم
۵	۱/۶۸	کم
۶	۱/۵۶	کم
۱۱	۱/۲۷	زیاد
۱۲	۱/۲۷	زیاد
۱۳	۱/۵۹	کم
۱۴	۱/۵۵	کم

هندی (۱۹۷۳) استفاده از نسبت حد روانی به درصد رطوبت خاک در حالت اشباع را برای تعیین رطوبت خاک پیشنهاد نمود (Handy, 1973). خاک‌هایی که در آن‌ها نسبت مذکور کمتر از ۱ باشد رطوبت و خاک‌هایی که این نسبت بیش از ۱ باشد غیر رطوبت محسوب می‌شود. جدول ۶ قابلیت رطوبت خاک‌های لسی شمال کلاله را بر مبنای معیار هندی نشان می‌دهد.

از بین سه روش مورد استفاده در ارزیابی رطوبت خاک‌های لسی مورد بررسی، روش جنینگز و نایت از دقت بیشتری برخوردار است. در این روش سه نمونه ۷، ۱۳ و ۱۴ به عنوان ضریب رطوبت متوسط یا فاقد رطوبت ارزیابی شده‌اند و سایر نمونه‌ها رطوبت شدید تا خیلی شدید را نشان می‌دهند. نمونه‌هایی که در روش جنینگز و نایت رطوبت خیلی شدید دارند، در دو روش دیگر نیز دارای رطوبت شدید هستند.

جدول ۳. ارزیابی شدت رطوبت

(Nouaouria et al., 2008)

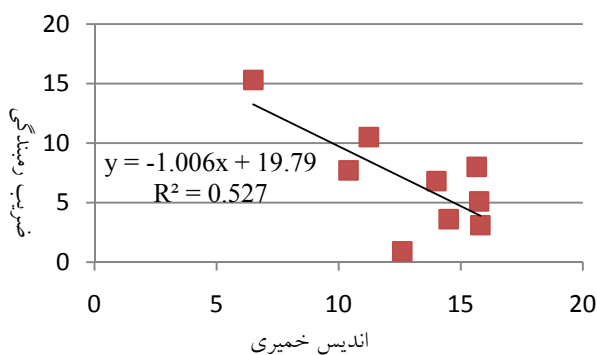
ضریب رطوبت	استعداد رطوبت
۰ - ۱	ناچیز
۱ - ۵	متوسط
۵ - ۱۰	شدید
۱۰ - ۲۰	خیلی شدید
۲۰ <	فوق العاده شدید

جدول ۴. مقادیر ضریب رطوبت بر اساس

نتایج آزمایش تحکیم مضاعف

شماره نمونه	میزان تنش (Kpa)	ضریب رطوبت	شدت رطوبت
۲	۴۰۷/۶	۸	شدید
۳	۱۰۱/۹	۲/۷	متوسط
	۲۰۳/۸	۶/۵	شدید
	۴۰۷/۶	۱۰/۵	خیلی شدید
۵	۴۰۷/۶	۵/۱	شدید
۶	۱۰۱/۹	۳	متوسط
	۲۰۳/۸	۶/۱	شدید
	۴۰۷/۶	۷/۷	شدید
۷	۴۰۷/۶	۳/۱	متوسط
۸	۲۰۳/۸	۸/۷	شدید
	۴۰۷/۶	۱۳	خیلی شدید
۱۰	۲۰۳/۸	۴/۹	متوسط
	۴۰۷/۶	۶/۸	شدید
۱۱	۲۰۳/۸	۹/۶	شدید
	۴۰۷/۶	۱۵/۳	خیلی شدید
۱۲	۲۰۳/۸	۱۴/۲	خیلی شدید
	۴۰۷/۶	۲۲	فوق العاده شدید
۱۳	۲۰۳/۸	۰/۳	بدون مشکل
	۴۰۷/۶	۰/۹	بدون مشکل
۱۴	۱۰۱/۹	۰/۹	بدون مشکل
	۲۰۳/۸	۱/۹	متوسط
	۴۰۷/۶	۳/۶	متوسط

معیار کلونجر (۱۹۵۸) بر مبنای چگالی خشک خاک است که بر اساس آن، اگر چگالی خشک خاک کمتر از ۱.۲۸ گرم بر سانتی‌مترمکعب باشد، در این صورت خاک، مستعد نشست



شکل ۵. رابطه بین ضریب رمبندگی و اندیس خمیری خاک

۶. نتیجه گیری

نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که خاک‌های لسی شمال کلاله در طبقه‌بندی یونیفاید در گروه CL و ML قرار می‌گیرند. میزان چسبندگی به دست آمده برای اکثر نمونه‌ها نزدیک به صفر می‌باشد. زاویه اصطکاک داخلی نیز از ۱۵ تا ۲۵ متغیر است. با توجه به نتایج آزمایش‌های دانه‌بندی و XRD به نظر می‌رسد بخشی از ذراتی که قطری کمتر از ۲ میکرون دارند جزو کانی‌های رسی نبوده و فقط از نظر اندازه در گروه رس‌ها قرار می‌گیرند. براساس آزمایش‌های تحکیم مضاعف غالب نمونه‌های مورد بررسی مستعد پدیده رمبندگی می‌باشند و در صورت بارگذاری و اشباع شدن ممکن است دچار رمبندگی شوند. همچنین نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که با افزایش میزان فعالیت خاک، رمبندگی خاک کاهش می‌یابد. و همبستگی زیادی بین تخلخل خاک و میزان رمبندگی آن وجود دارد. بطوریکه در اکثر نمونه‌ها با افزایش تخلخل، میزان رمبندگی خاک افزایش می‌یابد.

تشکر و قدردانی

این پژوهش با حمایت مالی معاونت پژوهشی دانشگاه صنعتی شاهرود انجام شده و از مساعمت مسئولین محترم حوزه پژوهشی این دانشگاه قدردانی می‌گردد.

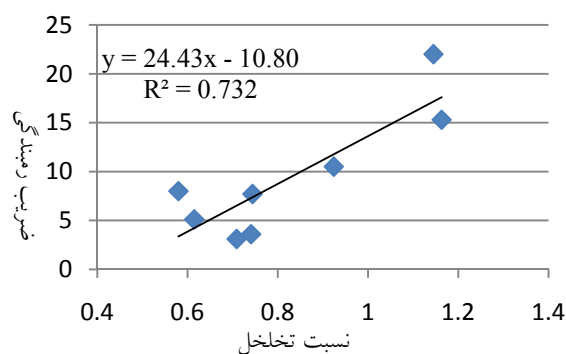
۵. بررسی رابطه بین رمبندگی و سایر خصوصیات خاک

رابطه بین ضریب رمبندگی با نسبت فضاهای خالی و شاخص پلاستیسیته نمونه‌ها در شکل‌های ۴ و ۵ نشان داده شده است. مشاهده می‌گردد که ارتباط مستقیمی بین رمبندگی و نسبت فضاهای خالی و طبیعتاً رابطه معکوسی بین رمبندگی و دانسیته خاک وجود دارد. همچنین در شکل ۵ مشاهده می‌گردد که ضریب رمبندگی با افزایش اندیس پلاستیسیته خاک کاهش می‌یابد. شاخص پلاستیسیته خود تابعی از درصد و نوع کانی رسی است. بنابراین با افزایش درصد رس به ویژه رس‌های فعال نظیر مونت موریلونیت، ضریب رمبندگی کاهش خواهد یافت. همچنین با توجه به اطلاعات جدول ۴ و ۱۰ رابطه معکوسی بین عدد فعالیت خاک و ضریب رمبندگی دیده می‌شود.

جدول ۶. قابلیت رمبندگی خاک‌های لسی شمال کلاله بر

اساس معیار هندی

شماره نمونه	حد روانی (%)	درصد رطوبت در حالت اشباع	نسبت درصد رطوبت در حالت اشباع به حد روانی	قابلیت رمبندگی
۲	۳۵/۵	۳۰/۴	۰/۸۵۶	ندارد
۳	۳۰/۷۸	۳۳/۶	۱/۰۹۱	دارد
۴	۴۰/۸	۲۸/۸	۰/۷۰۵	ندارد
۵	۳۵/۱	۲۶/۱	۰/۷۴۳	ندارد
۶	۲۹/۱۵	۲۹/۴	۱/۰۰۸	دارد
۱۱	۲۷/۲۷	۳۶	۱/۳۲	دارد
۱۲	۳۱/۴۵	۳۳/۲	۱/۰۵۵	دارد
۱۳	۳۳/۷	۲۶/۴	۰/۷۸۳	ندارد
۱۴	۳۲/۴۷	۲۷/۲	۰/۸۳۷	ندارد



شکل ۴. رابطه بین ضریب رمبندگی و نسبت تخلخل

منابع

- پاشایی، ع.، ۱۳۷۶. بررسی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی و چگونگی خاستگاه رسوب‌های لسی در منطقه گرگان و دشت. مجله علوم زمین، شماره ۲۴-۲۳، ص. ۶۷-۷۸.
- جعفری اردکانی، ع.، بیات، ر.، پیروان، ح.ر.، شریعت جعفری، م.، چرخابی، ا.ح.، ۱۳۸۸. بررسی وضعیت فرسایش و رسوب در نهشته‌های لسی استان گلستان. ششمین کنفرانس زمین‌شناسی مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس، ص. ۱۱۷۳-۱۱۶۱.
- حافظی مقدس، ن.، ۱۳۹۰. زمین‌شناسی مهندسی. انتشارات ارسس، ۴۸۸ صفحه.
- حیدری، م.، ۱۳۶۹. ساخت دستگاه تحکیم با فشار جانبی کنترل شده و بررسی پدیده رمبندگی در خاک‌ها. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۵۴ صفحه.
- خواجه، م.، ۱۳۸۱. بررسی رسوب‌شناسی، محیط رسوبی و رسوب زائی نهشته‌های کواترنر حوضه گرگانرود. رساله دکتری زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، ۲۵۰ صفحه.
- خواجه، م.، غیومیان، ج.، فیض‌نیا، س.، ۱۳۸۳. بررسی تغییرات جانبی اندازه ذرات و کانی‌شناسی به منظور تعیین برای بادهای غالب در تشکیل رسوبات لس استان گلستان. نشریه بیابان، جلد ۹، شماره ۲، ص. ۳۰۶-۲۹۳.
- گیاهی، س.، ۱۳۸۹. بررسی خصوصیات رسوب‌شناسی و نقش زیست محیطی لس‌های گرگان دشت. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه تهران. گروه زمین‌شناسی، ۱۸۴ صفحه.
- عندلیبی، م.ج.، ۱۳۷۱. مشخصات منشاء و طبقه‌بندی لس‌های کواترنر پسین در حوضه خزر ایران. رساله کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد واحد شمال، ۱۵۰ صفحه.
- Baecher, G.B., Christian, J.T., 2003. Reliability and Statistics in Geotechnical Engineering. John Wiley and Sons, London and New York, 605p.
- Bell, F.G., 2002. Engineering Properties of soils and Rocks. 3rd ed. Oxford, U. K. Butter Worth-Heinemann, 797p.
- Clevenger, W.A., 1958. Experiences with loess as a foundation material. Transactions American Society for Civil Engineers, 123: 51-80.
- Derbyshire, E., Meng, X.M., Wang, J.T., Zhou, Z.Q., Li, B.X., 1995. Collapse loess on the loess Plateau of China, genesis and properties of collapsible soils. Kluwer Dordrecht, 267- 293.
- Feda, J., 1996. Structural stability of subsident loess soils from Praha-Dejvice. Engineering Geology, 39(3):201-219.
- Gao, G., 1980. Classification of loess microstructure and its collapsibility. Science in China Series 12: 1203-1208.
- Handy, R.L., 1973. Collapsible loess in Iowa. Soil sciences society of America proceedings, 37: 281 – 284.
- Hormdee, D., 2008. investigation on collapse potential of loess soil, Proceeding of the Eighteenth International Offshore and polar Engineering Conference Vancouver, BC, Canada, pp. 579-584.
- Jenningz, J.E., Kinght, k., 1975. A guide to construction or with materials exhibiting additional settlement due to collapse of grain structure. 6th regional conference for Africa on soil mechanics and foundation engineering, Durban, South Africa, September, pp: 99 -105.
- Khalifa. B., Salah. L.M., Farid, M., 2010. Prediction of collapsible soils by cone penetrometer and ultrasonic tests. studia geotechnical et mechanica, vol. xxxii, no ., pp. 3-22.
- Miao, T., 2001. Present status of collapse deformation mechanism of loess. In L. yusheng, W. Guolie (Eds.): Engineering and research on collapsible loess, China Architecture press, Beijing, pp:73- 82.
- Nouaouria, M.S., Guenfoud, M., Lafifi, B., 2008. Engineering properties of loess in Algeria. Engineering Geology, 99: 85 – 90.
- Rafie, B.M.A., Ziaie Moayed, R., Esmaeli, M., 2008. Evaluation of soil collapsibility potential: A, Case Study of Semnan Railway Station. Electrical Journal of Geotechnical Engineering, 13(bundle G)..
- Reznik, Y.M., 2000. Engineering approach to interpretation of odometer tests performed on collapsible soils. Engineering geology, 57: 205- 213.
- Rogers, C.D.F., Dijkstra, T.A., Smalley, I.J., 1994. Hydroconsolidation and subsidence of loess: studies from China, Russia, North America and Europe. Engineering Geology, 37(2): 83-113.
- Yang, Y., 1988. Study on collapse mechanism of loess. Science in China Series (B) 7, pp: 754-766.
- Yuan, Z.X., Wang, L.M., 2009. Collapsibility and seismic settlement of loess. Engineering Geology, 105:119– 123