

بررسی واگرایی و قابلیت فروریزی لس‌های شمال غرب سرخس

غلامحسین کرمی  دانشیار دانشگاه صنعتی شاهرود، دانشکده علوم زمین، شاهرود

محبوبه رفیعی  دانشجوی کارشناسی ارشد زمین‌شناسی زیست محیطی، دانشگاه صنعتی شاهرود
ناصر حافظی مقدس  دانشیار دانشگاه صنعتی شاهرود، دانشکده علوم زمین، شاهرود

چکیده

مطالعه حاضر به منظور بررسی دلایل ایجاد ترک و شکستگی در پوشش لس شمال غرب سرخس انجام شده است. برای این منظور چهار ترانسه عمیق با عمق حدود ۳ متر بر روی محل‌های ایجاد ترک حفر شده و از عمق‌های مختلف نمونه‌گیری شده است. طبق آزمایش‌های انجام شده خاک‌های منطقه بر اساس طبقه‌بندی یونیفاید در گروه ML و از نظر دانه‌بندی در گروه لس سیلتی قرار می‌گیرند. وزن واحد حجم به دست آمده برای این خاکها از ۲/۶۸ تا ۲/۷۲ گرم بر سانتی متر مکعب، متغیر است. نتایج آزمایش‌های واگرایی نشان می‌دهد که این خاکها جزو خاک‌های نیمه‌واگرا محسوب می‌گردند. همچنین آزمایش‌های ریندگی بر روی چهار نمونه خاک نشان می‌دهد که لس‌های منطقه دارای پتانسیل ریندگی هستند.

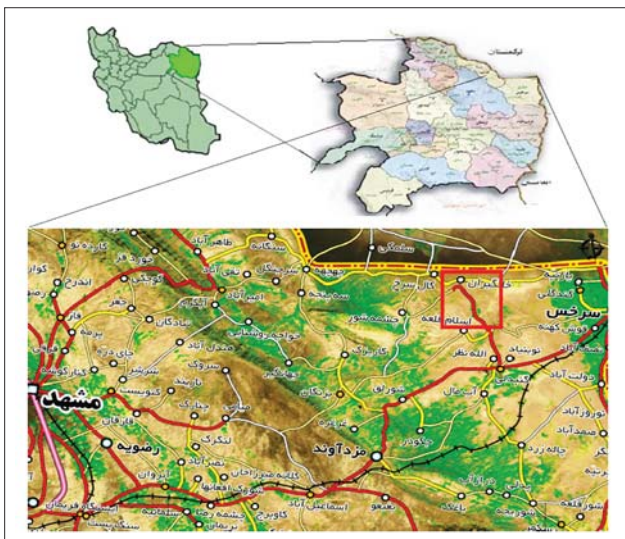
واژه‌های کلیدی پوشش لس، واگرایی، پتانسیل ریندگی

مقدمه

تغییر حجم، ذرات خاک توسط جریان آب حرکت کرده و با ایجاد حفراتی باعث ریزش زمین می‌شوند [۴].

زمین‌شناسی و موقعیت منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در محدوده خانگیران در حوضه رسوبی کپه داغ و در محدوده ۳۶/۲۲ تا ۳۶/۳۶ عرض شمالی و ۶۰/۴۰ تا ۶۰/۵۷ طول شرقی قرار دارد، وسعت منطقه در حدود ۶۲۲ کیلومتر مربع



شکل ۱ | موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

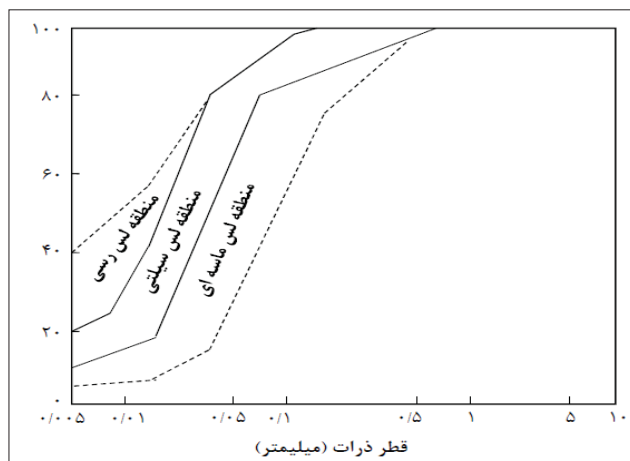
لس‌ها مناطق وسیعی از جهان را پوشانده‌اند به طوری که سطحی معادل ۹٪ توده‌های قاره‌ای را تشکیل می‌دهند. این مناطق شامل قسمت‌هایی از آمریکای شمالی و جنوبی، آسیای مرکزی، اروپا و استرالیا بوده و در کشورهای آمریکا، چین، بلغارستان، ایران، عربستان سعودی و ... مناطق پوشیده از این خاکها شناسایی شده‌اند. مناطق پوشیده از لس در ایران شامل بخش‌هایی از استان کرمان، منطقه سرخس و دشت مشهد، دشت ورامین و ساوه، بخش‌هایی از استان سیستان و بلوچستان، دشت گرگان و منطقه بیابانی جنوب غرب دشت کویر هستند (عالمی، ۱۳۷۷). نهشته‌های لس معمولاً یکنواخت، بدون چینه‌بندی، متخلخل، شکننده، کمی چسبنده، شامل سیلت با مقدار کمی از رس تا ماسه دانه ریز است [۱]. این رسوبات به علت چسبندگی می‌توانند در سطوح شیب‌دار قائم پایدار مانده و تا مدت زیادی پایداری خود را حفظ کنند [۲]. این خاکها دانسیته کم و فضای خالی زیادی دارند و با اشباع شدن تخلخل آنها کاهش یافته و خاک تحت وزن خود و بدون اعمال بار، یا تحت بار کم، نشست زیادی از خود نشان می‌دهد. نمک‌هایی مانند سولفات‌ها، کربنات‌ها، کلریدها و ژیسوم‌ها در لایه‌های سطحی باعث افزایش چسبندگی این خاکها می‌شوند و نقش سیمان را برای دانه‌های خاک ایفا می‌کنند. افزایش رطوبت باعث شسته شدن این املاح شده و مقاومت برشی خاک را کاهش می‌دهد و باعث تغییر حجم در توده خاک می‌شود. در این حالت فرسایش سطحی و زیرسطحی رخ می‌دهد. یعنی پس از



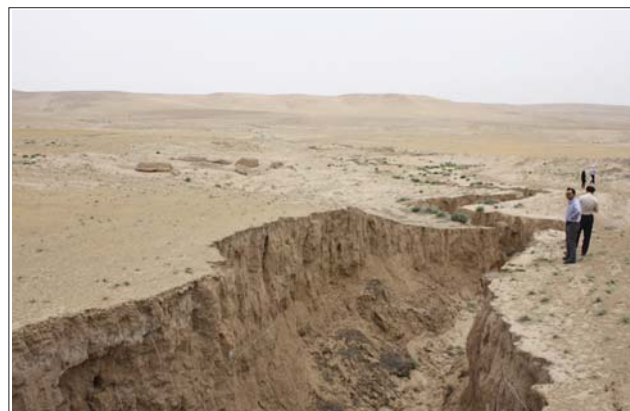
به دست آوردن اطلاعات دقیقتر و تعیین خصوصیات لس‌های منطقه بازدید صحرایی از منطقه صورت گرفت و عمود بر امتداد شکستگی‌ها ترانشه‌هایی به عمق ۳ تا ۳/۵ متر حفر و نمونه‌هایی از لس منطقه تهیه شد (شکل ۳). نمونه‌های برداشت شده به آزمایشگاه منتقل شده و آزمایش‌های مختلف بر روی آنها انجام شد که در ادامه نتایج آن مورد بحث قرار گرفته است.

دانه‌بندی و نوع خاک

بر اساس منحنی دانه‌بندی، خاکهای لسی به لس‌های سیلتی، لس‌های ماسه‌ای و لس‌های رسی تقسیم می‌شوند (شکل ۴). با توجه به آزمایش‌های دانه‌بندی که روی نمونه‌های لس منطقه انجام شد، خاکهای لسی این منطقه در گروه لس سیلتی قرار می‌گیرند. به طور متوسط ۷۶/۱ تا ۸۴/۱ درصد نمونه‌ها ریزدانه بوده که از این مقدار ۶۳/۱ تا ۶۴/۱ درصد سیلت و حدود ۱۳ تا ۲۰ درصد رس است. این خاکها بر اساس طبقه‌بندی یونیفاید در گروه خاکهای ML یعنی سیلت غیر آلی با خاصیت خمیری کم قرار می‌گیرند.



شکل ۴ | طبقه‌بندی لس‌ها بر اساس منحنی دانه‌بندی [۷]



شکل ۵ | فرسایش خندقی در منطقه مورد مطالعه

است (شکل ۱). منطقه از نظر چینه‌شناسی شامل سازندهای خانگیران، چهل کمان، پسته لیق، نفته، کلات، نیزار، آب تلخ، آبدراز، آیتامیر، سنگانه، سرچشمه، تیرگان، شورجه، مزدوران، کشف‌رود و رسوبات کواترنری است. رسوبات دوره کواترنر در منطقه شامل لس‌ها و پادگانه‌ها است. لس‌ها از سیلت و کمی رس تشکیل شده و پادگانه‌ها اغلب از کنگلومرای دانه متوسط تا درشت با جورشدگی ضعیف و ملاتی از رس، سیلت و ماسه تشکیل شده‌اند که گاه سیمان آهکی ضعیفی بین آنها دیده می‌شود.

طرح مسئله

در سالهای اخیر در محدوده خانگیران شواهدی از نشست زمین شامل ایجاد شکستگی و ترک مشاهده گردیده است (شکل ۲). با توجه به اینکه سنگ کف این منطقه، مارنی و فاقد آب زیرزمینی است، لذا احتمال بروز نشست در اثر پایین رفتن سطح آب زیرزمینی منتفی است و دلایل دیگری می‌تواند داشته باشد. بنابراین برای



شکل ۲ | شکستگی مشاهده شده در منطقه



شکل ۳ | ترانشه زنی و برداشت نمونه

وزن مخصوص

وزن مخصوص خاک توسط آزمایش پیکنومتری تعیین شد. براین اساس چگالی بخش ریزدانه خاک منطقه، در محدوده‌ای از ۲/۶۸ تا ۲/۷۲ گرم بر سانتیمتر مکعب به دست آمد.

بررسی واگرایی و قابلیت رمندگی

واگرایی پدیده‌ای فیزیکی و شیمیایی است که در خاکهای ریزدانه اتفاق می‌افتد. خاکهای واگرا کانی‌های سدیم بیشتری دارند در صورتی که رس‌های عادی کانی‌های کلسیم، منیزیم و پتاسیم بیشتری در آب منفذی دارند. کاتیونهای سدیم باعث افزایش ضخامت لایه دو گانه و همچنین افزایش نیروی دافعه بین ذرات می‌شوند. وقتی نیروی دافعه بیشتر از نیروی جاذبه باشد، ذرات خاک در حضور جریان آب از یکدیگر جدا شده، فرسایش می‌یابد [۵]. شناسایی خاکهای واگرا در دو مرحله انجام می‌شود:

- ۱- شناخت کلی این خاکها در بررسی‌های مقدماتی صحرائی
- ۲- شناسایی خاکهای واگرا در آزمایشگاه

در بررسی‌های محلی در مناطقی که شیب، نسبتاً زیاد است، وجود بریدگی‌های عمیق و مشخص در اثر بارندگی مشخصه اصلی

این گونه خاکهاست، اما در مناطق مسطح، فرسایش و بریدگی عمیق ایجاد نمی‌شود و این نشانه عدم وجود خاک واگرا نیست [۵]. در منطقه مورد مطالعه نیز وجود خندق‌های فرسایشی می‌تواند شاهدی بر وجود این نوع خاک باشد (شکل ۵).

شناسایی خاکهای واگرا در آزمایشگاه توسط آزمایش‌های پین هول، تعیین درصد نمکهای محلول در آب منفذی، هیدرومتری مضاعف و آزمایش کرامب انجام می‌شود.

برای تعیین واگرا بودن لس‌های منطقه مورد نظر، آزمایش هیدرومتری مضاعف و پین هول بر روی نمونه‌ها انجام شد.

در آزمایش هیدرومتری مضاعف، ابتدا دانه‌بندی خاک به روش استاندارد آزمایش هیدرومتری، یعنی توسط همزن مکانیکی و ماده شیمیایی پراکنده‌ساز تعیین شد و سپس روی نمونه دیگر از همان خاک، آزمایش هیدرومتری دیگری بدون استفاده از همزن مکانیکی و ماده شیمیایی پراکنده‌ساز انجام شد (شکل ۶).

سپس درصد ذرات کوچکتر از ۰/۰۰۵ میلی‌متر در هر دو آزمایش تعیین و سپس درصد واگرایی که برابر است با نسبت درصد ذرات کوچکتر از ۰/۰۰۵ میلی‌متر در آزمایش دوم به درصد همین ذرات در آزمایش اول محاسبه شد و طبق نتایج حاصل، نمونه‌ها در گروه خاکهای غیر واگرا تا متوسط قرار گرفتند. جدول ۱ نتیجه این آزمایش را نشان می‌دهد.

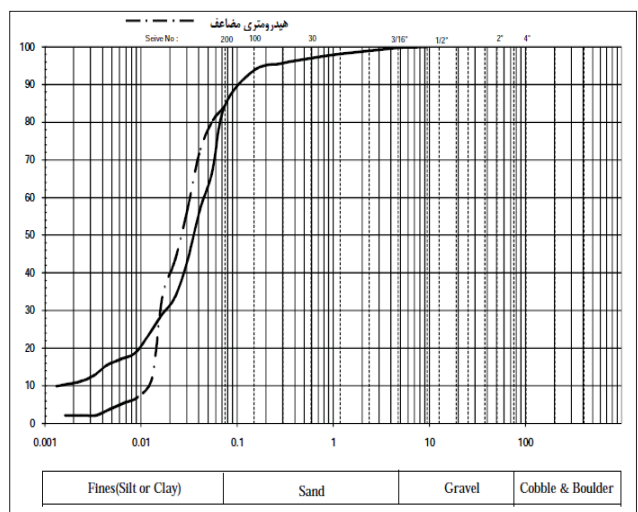
آزمایش دیگری که بر روی نمونه‌ها انجام شد آزمایش پین هول بود. در این آزمایش که برای اندازه‌گیری مستقیم فرسایش پذیری خاکهای ریزدانه ابداع شده است، یک نمونه متراکم شده خاک تحت بارهای آبی مختلف (۵۰، ۱۸۰، ۳۸۰، ۱۰۲۰ میلی‌متر) قرار می‌گیرد. جریان آب از طریق یک مجرای باریک که در داخل نمونه‌ای از خاک با ابعاد معین تعبیه شده است، عبور داده می‌شود و آب‌شستگی و فرسایش داخلی خاک در سوراخی که در نمونه خاک ایجاد گردیده، بررسی می‌شود. آبی که از داخل نمونه‌های خاک واگرا خارج می‌شود، کدر و دارای ذرات معلق کلئیدی است؛ اما در نمونه‌های خاک غیر واگرا آب خارج شده از نمونه، زلال و شفاف است. نمونه خاک بصورت استوانه‌ای به قطر ۳۳ و طول ۳۸ میلی‌متر بوده و جریان آب مقطر از داخل سوراخی به قطر یک میلی‌متر و تحت بار ۵۰ و ۱۸۰ و ۳۸۰ میلی‌متر عبور داده می‌شود و سپس میزان شفافیت آب خروجی ارزیابی می‌گردد. شیب هیدرولیکی اعمال شده در این آزمایش از ۲ تا ۱۵ درصد و سرعت جریان از ۳۰ تا ۱۶۰ سانتیمتر در ثانیه تغییر می‌کند. طبق این آزمایش، خاک منطقه در گروه ND_۴ یعنی اندکی واگرا طبقه‌بندی شد.

رمندگی لسیها

رمندگی به ریزش ناگهانی خاک به دلیل از بین رفتن مقاومت عامل پیونددهنده ذرات خاک گفته می‌شود و میزان رمندگی ایجاد

نتیجه آزمایش هیدرومتری مضاعف در تعیین واگرایی خاک

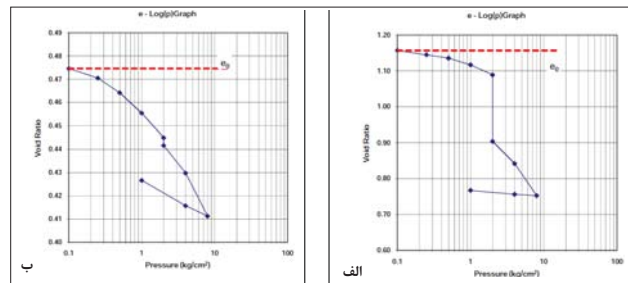
نمونه	عمق (m)	درصد ذرات ریزتر از ۰.۰۰۵ میلی‌متر بدون اضافه کردن ماده پراکنده ساز	درصد ذرات ریزتر از ۰.۰۰۵ میلی‌متر با ماده پراکنده ساز	نتیجه آزمایش
T _۱	۱/۵	۲	۱۴	غیر واگرا
T _۲	۱	۴	۲۰	غیر واگرا
T _۳	۱/۵	۶	۱۶	متوسط
T _۴	۳	۴	۱۳	متوسط



نتیجه آزمایش هیدرومتری و هیدرومتری مضاعف روی نمونه T_۳ از عمق ۱.۵ متری



شده به نسبت تخلخل اولیه خاک بستگی دارد [۹]. یکی از مسائل نگران کننده و مهم ژئوتکنیکی در مناطق خشک وجود خاکهای رمبنده است. این خاکها با وجود داشتن تخلخل بالا، در حالت رطوبت طبیعی، مقاومت بالا و تراکم پذیری نسبتا کمی دارند. اما تحت بار و رطوبت، رمبش قابل توجهی از خود نشان می دهند. دلیل رمبش خاک کاهش قدرت مکش و ضعیف شدن قدرت اتصالات و



شکل ۷ | نتیجه آزمایش تحکیم مضاعف روی نمونه T₃ از عمق ۱/۵ متری. الف) تحکیم پذیری نمونه در اولین اشباع شدگی. ب) تحکیم پذیری نمونه پس از یکبار اشباع شدن

پیوندها در اثر مرطوب شدن خاک است [۸]. بر اساس مطالعات انجام شده عوامل مؤثر بر میزان رمبندگی خاکهای لسی عبارتند از: دانسیته نسبی، دانه بندی و درصد انواع ذرات تشکیل دهنده خاک، عوامل سیمان کننده، درجه اشباع شدگی اولیه لس، میزان تنش پیش تحکیمی، عمق لس و سن لس [۳؛ ۶]. برای تعیین رمبندگی خاک منطقه، آزمایش تحکیم مضاعف به صورتی که توسط نایت (۱۹۷۵) پیشنهاد شده و به روش استاندارد ASTM D ۵۳۳۳-۰۳ انجام گرفت (شکل ۷). در این آزمایش قابلیت فروریزی I_c توسط رابطه زیر تعریف می شود:

$$I_c = (\Delta e / (1 + e_s)) * 100 \quad (1)$$

در این رابطه Δe تغییر در منافذ در اثر مرطوب سازی و e_s نسبت منافذ اولیه است. جدول ۲ دسته بندی قابلیت فروریزی خاک را نشان می دهد. طبق این آزمایش ها و بر اساس شکل ۷، خاک منطقه در اولین اشباع شدگی خود دارای قابلیت رمبندگی زیاد بوده اما در اشباع شدگی های بعدی رمبندگی اندکی دارد.

نتیجه گیری

- ۱- بررسی نمونه های لسی منطقه مورد مطالعه نشان می دهد که خاکهای این محدوده در گروه سیلت رسی با پلاستیسیته کم قرار می گیرند.
- ۲- خاک منطقه دارای قابلیت واگرایی کم بوده اما پتانسیل رمبندگی زیاد در اولین مرحله اشباع شدگی دارد. لذا به نظر می رسد دلیل اصلی بروز ترک در محدوده مطالعاتی، نشست زمین در اثر اشباع شدگی خاک است.

جدول ۲ | پتانسیل فروریزی

شاخص فروریزی	درجه فروریزی
۰	ندارد
۰/۱ تا ۲	اندک
۲/۱ تا ۶	متوسط
۶/۱ تا ۱۰	تا حدی شدید
> ۱۰	شدید

پانویسها

¹ Mahboobehrafeii@yahoo.com

² H_Moghads@yahoo.com

³ Karamigh@yahoo.com

منابع

- [۱] بهرامی، ب.، نیکودل، م. ر.، حافظی مقدس، ن.، بررسی خصوصیات زمین شناسی مهندسی خاکهای لسی شمال کلاله در استان گلستان، چهاردهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، دانشگاه ارومیه، ۱۳۸۹.
- [۲] رحیمی، ح.، مکانیک خاک، جلد اول، چاپ اول، انتشارات قائم، تهران، ۱۳۷۱، ص ۵۲۲.
- [۳] شفیعی، ع.، مطالعه ویژگیهای ژئوتکنیکی خاکهای رمبنده در ایران، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه بوعلی سینا، دانشکده علوم، گروه زمین شناسی، ۱۳۸۱.
- [۴] عالمی، ا.، بررسی علل نشست زمین در دشت یزد- اردکان، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۷۷.
- [۵] عسکری، ف. ا.، فاخر، ع.، تورم و واگرایی خاکها از دیدگاه مهندس ژئوتکنیک. تهران: انتشارات جهاد دانشگاهی دانشگاه تهران، ۱۳۷۲، ص ۲۴۵.
- [۶] محمد علیزاده رفیع، ب.، اصلاح خاکهای رمبنده به روش تزریق (مطالعه موردی راه آهن سمنان- تهران)، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه بین المللی امام خمینی، ۱۳۸۷.
- [7] Clevenger, W. A. (1959). Experiences with loess as a foundation material. Transactions American Society for Civil Engineers, Vol. 123, pp. 51-80).
- [8] Hormdee, D. (2008). Investigation on collapse potential of loess soil. Proceeding of the Eighteenth Interational Offshore and Polar Engineering Conference Vancouver, BC, Canada.
- [9] Jennings, J. E. (1975). A guide to construction or with materials exhibiting additional settelement due to collapse of grain structure. 6th Regional Confereens for Africa On Soil Mechanics and Foundation Engineering, Durban , South Africa, September, (pp. 99-105).