Archive of SID

دومین کنفرانس ملی مهندسی ژئوتکنیک ایران
کرمانشاه، ۹ و ۱۰ مهر ماه ۱۳۹۳

معیارهایی برای روانگرایی خاک های سیلتی

عسکر جانعلیزاده چوب بستی[۱]، مهران نقی زاده رکنی[۲]، محسن نقی زاده رکنی[۳]

۱-دانشیار دانشگاه صنعتی نوشیروانی
۲-کارشناس ارشد ژئوتکنیک
۳-کارشناس ارشد ژئوتکنیک

naghizademehran@yahoo.com

خلاصه

این مقاله معیارهای ساده ای را بر اساس پارامترهای اصلی خاک عنوان می کند که به تفکیک خاک های سیلتی روانگرا و غیر قابل روانگرا کمک می کنند. این بررسی مختصری از ویژگی های فیزیکی سیلت ها و خاک های رسی است، تا برخی از تصورات غلط در مورد خاک های سیلتی مشخص شود. درصد ریزدانه و حد روانی به عنوان دو پارامتراصلی خاک در نظر گرفته شده اند که به تفکیک خاک های سیلتی روانگرا و غیر قابل روانگرا کمک می کنند. چندین مورد تاریخی ارائه شده اند که کاربرد استفاده از درصد ریزدانه را به عنوان یک پارامتر اصلی خاک نشان می دهند. این مقایسه نشان می دهد که حد روانی را می توان به عنوان یک پارامتر مهم خاک در نظر گرفت که اندازه گیری نسبی مقاومت روانگرایی را ارائه می دهد. کمبودهای معیارهای اصلی برای روانگرایی خاک های سیلتی تنها یک پارامتر مهم است که در نهایت مورد بحث قرار می گیرد که به پیشرفت معیار ساده ای برای روانگرایی خاک های سیلتی منجر می شود واز پارامترهای خاک یعنی هم از درصد ریزدانه و هم حد روانی استفاده می کند.

کلمات کلیدی: روانگرایی، خاک سیلتی، درصد ریزدانه، حد روانی

مقدمه

تا به امروز اکثر مطالعات روانگرایی بر روی ماسه های نسبتا تمیز انجام شده است. بطورنسبی تحقیقات محدودی از روانگرایی، بر خاک هایی در محدوده ماسه بسیار سیلتی با گل و لای یا بدون مقداری رس انجام شده است. این خاک های سیلتی غالبا در کار مهندسی بکار گرفته می شوند، و مدارک فراوانی نشان می دهد که آنها می توانند قابلیت روانگرایی داشته باشند. مهندسان باید بدانند که خاک های سیلتی دارای قابلیت روانگرایی می باشند. این مقاله معیارهای ساده ای را بر اساس پارامترهای اصلی خاک عنوان می کند که به تفکیک خاک های سیلتی روانگرا و غیر قابل روانگرا کمک می کند.

در متن این مقاله، روانگرایی به عنوان پدیده ای تعریف شده است که در آن فشارهای بسیارزیاد منافذ تحت فشار زلزله دوره ای به وجود می آیند (نزدیک شدن به فشارهای مبحوس موثر عمودی اولیه)، که منجر به از دست دادن شدید استحکام و سختی می شوند.

قابلیت روانگرایی خاک های سیلتی

کمی ابهام در مورد قابلیت روانگرایی خاک های سیلتی وجود دارد. به خاطر اینکه اندازه دانه های سیلت بین ماسه و خاک رس است، اغلب قابلیت روانگرایی سیلت ها نیز میان قابلیت روانگرایی بالای ماسه ها و عدم قابلیت روانگرایی خاک های رس فرض شده است. ابهام درباره قابلیت روانگرایی خاک های سیلتی زمانی بسیار تشدید می یابد که سیلت ها و خاک های رس تحت عنوان "خاکه" بهم می چسبند.

www.SID.ir

Archive of SID

در واقع سیلت می تواند به عنوان ماسه بسیار ریز مشاهده شود. مرز اندازه دانه بین ماسه و سیلت ۰.۰۷۴میلی متر بدست آمده است. خاک های سیلتی را هم می توانیم و هم نمی توانیم باچشم غیر مسلح ببینیم، ولی واقعیت این است که دانه های سیلت دیده نمی شود و آنها را با همه ویژگیهای فیزیکی مشخص، متفاوت از دانه های ماسه نمی دانند. دانه های سیلت و ماسه، به طور کلی هر دو شامل کانی های سنگ ساز هستند. شکل دانه های سیلت به شکلهای یکسان، مانند دانه های ماسه پدیدار می شوند. علاوه بر این، نیروهای جاذبه، مثل پیوندهای هیدروژنی و پیوندهای واندروالسی، بین دانه های سیلت ناچیز است. (میچل، ۱۹۷۶).

خاک رس شباهت کمی به ماسه و سیلت دارد. مرز اندازه دانه بین سیلت و خاک رس به طور کلی ۰.۰۰۲ میلی متر تعریف شده است. ژاپن و چین درمرز ۰.۰۰۵میلی متر قرار دارند. مشخص است، بیشتر دانه های ریزتر از ۰.۰۰۲ میلی متر تمایل به تشکیل کانی های رسی دارند، و بسیاری از دانه های بزرگتر از ۰.۰۰۲ میلی متر به تشکیل مواد معدنی سنگ ساز گرایش دارند. بخاطر کانی شناسی آنها، دانه های خاک رس تمایل دارند تا شکل پهن به خود بگیرند و حالت انعطاف پذیری بدست آورند.

این انعطاف پذیری توسط پیوند هیدروژنی و نیروهای پیوند واندروالسی از جاذبه بین دانه های پهن ایجاد می شود. بر اساس ویژگی های فیزیکی سیلت و خاک رس که در بالا توضیح داده شده است، قابلیت روانگرایی سیلت ها نسبت به ماسه ها و خاک رس متفاوت است. سوال این است که، چه مقدار رس درقابلیت روانگرایی خاک سیلتی تاثیر می گذارد؟

سید و همکاران (۱۹۸۳) معیارها یی را مشخص کردند که از موارد تاریخی در چین بدست آمده است (وانگ، ۱۹۷۹)، که پایه ای برای دسته بندی خاک رس آسیب پذیر ارائه می دهد که در نتیجه تکان های زلزله، قدرت بالای خود را ازدست می دهند.

خاک رس آسیب پذیر که قدرت پالایش را از دست داده به نظر می رسد که ویژگی های زیر را داراست:

درصد ریزدانه (اندازه درصد کمتر از ۰.۰۰۵میلی متر تعریف شده) $< ۱۵٪$

حد روانی < ۳۵

مقدار آب $>$ حد روانی $* ۰.۹$

این مقاله با بهره گیری از تاریخچه و تئوری، به تقویت معیارهای فوق که توسط سید و همکاران مشخص شده می پردازد و کاربردشان را برای خاک های سیلتی تصحیح می کند و گسترش می دهد. درصد ریزدانه و حد روانی به عنوان دو پارامتراصلی خاک در نظر گرفته شده اند که به تفکیک خاک های سیلتی روانگرا و غیر قابل روانگرا کمک می کنند. مقدارآب به عنوان یک پارامتر مهم خاک به خاطر حساسیت آن نسبت به نوسانات عوامل محیطی، و خطاهای ناشی از طول نمونه برداری خاک در نظر گرفته نمی شود.

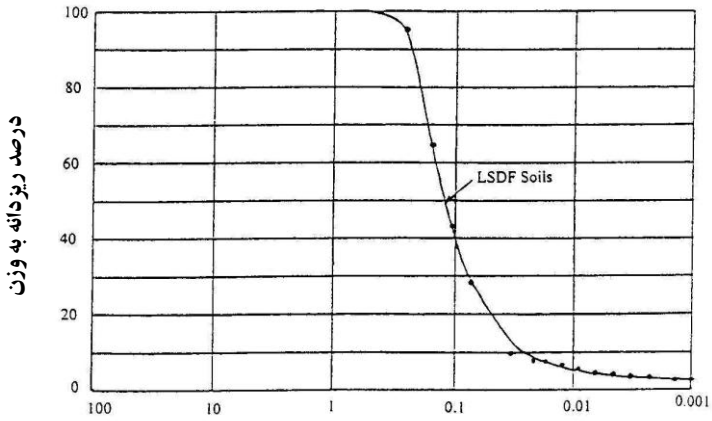
درصد ریزدانه

موارد تاریخی فراوانی وجود دارد که نشان می دهد خاکهای سیلتی با مقدار کمی خاک رس طبیعی (خاک رس به عنوان دانه های ریزتر از ۰.۰۰۲میلی متر در این مقاله مطرح شده است) در معرض روانگرایی قرار دارند . بحث مختصری از چندین مورد تاریخی در زیر آمده است:

فیگوئروا و همکاران (۱۹۹۵) به بررسی توزیع اندازه دانه در نمونه های جمع آوری شده خاک از روانگرایی مربوط به جوشش ماسه پرداختند که در سال ۱۹۹۴ در طول زلزله سان فرناندو، کالفرنیا تولید شده بود. توزیع اندازه دانه های التهابی در شکل ۱ نشان داده شده است. توزیع اندازه دانه ها نشان می دهد که ماسه بسیار سیلتی با درصد ریزدانه کمتر از ۱۰٪ روانگرا شده است.

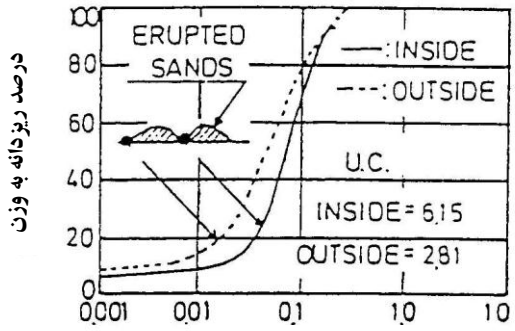
www.SID.ir

Archive of SID

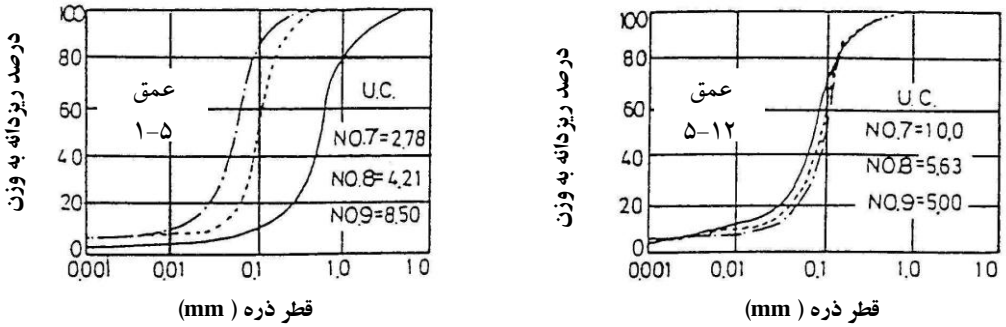


شکل ۱. توزیع حجم دانه ای خاک هایLSFD (فیگورا سال ۱۹۹۵)

کیشیدا (۱۹۷۰) به بررسی اندازه توزیع دانه جوشش آمده پرداخت که از ساحل ناناهامای ژاپن در هنگام وقوع زلزله توکاچی اوکی سال ۱۹۶۸ خارج شده بود. جوشش ها شامل سیلتهای شنی با مقادیر خاک رس کمتر از ۱۰٪ هستند (شکل ۲). کیشیدا نشان داد که اندازه توزیع دانه جوشش، توافق خوبی با اندازه توزیع دانه از خاک واقع شده در عمق یک متر به عمق ۱۲ متر دارد. این خاک ها ازماسه سیلتی به سیلت ماسه ای با محتوای خاک رس کمتر از ۱۰٪ تغییر می کنند (شکل ۳).



شکل ۲. توزیع حجم دانه ی جوشش ماسه (کیشیدا سال ۱۹۷۰)



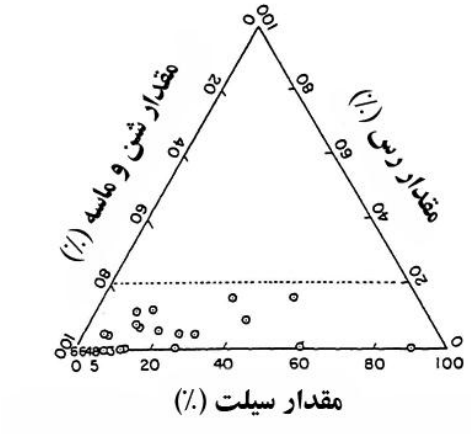
شکل ۳. توزیع حجم دانه ی خاک ها (کیشیدا سال ۱۹۷۰)

تکیماتسو و یوشیمی (۱۹۸۳) ۷۰ مورد تاریخی روانگرایی در داخل ژاپن را از نتیجه ۱۰ زمین لرزه ثبت کردند، که حدود ۲۰ مورد تاریخی روانگرایی خارج از ژاپن بود. نمودار طبقه بندی مثلثی ،اندازه دانه های ماسه سیلت دار به خاک های سیلتی ماسه دار، که قابلیت روانگرا شدن را دارد نشان می دهند (شکل ۴). تکیماتسو و یوشیمی برش پتانسیل روانگرایی در درصد ریزدانه ۲۰٪ را نشان می دهند. با این حال، برش پتانسیل روانگرایی در

www.SID.ir

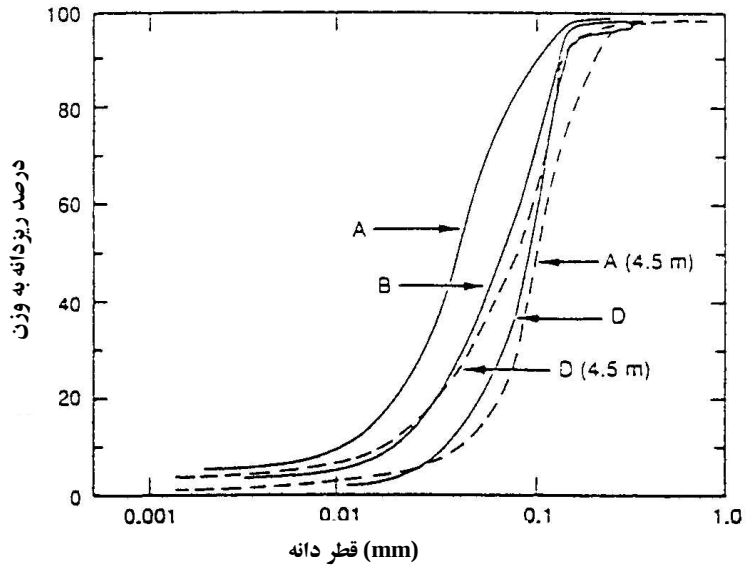
Archive of SID

درصد ریزدانه در حدود ۱۵٪ ، ممکن است مناسب تر باشد. علاوه بر این، خاک رس به عنوان دانه های ریزتر از ۰.۰۰۵میلی متر تعریف شده است. برای خاک رسی که با اندازه دانه های ریزتر از ۰.۰۰۲میلی متر تعیین شده، که درتمام این مقاله استفاده شده است، یک برش نهایی برای پتانسیل روانگرایی در درصد ریزدانه در حدود ۱۰٪ مناسب خواهد بود.



شکل ٤. اندازه دانه های خاک های روانگرا (تکیماتسو و یوشیمی ۱۹۸۳)

تاتل و همکاران (۱۹۹۰) روانگرایی مخربی را ثبت کردند که در فرلند، کانادا در طول زلزله ساگونه درسال ۱۹۸۸ رخ داده است. منحنی های جوشش توزیع اندازه دانه نشان می دهد که خاک روانگرا، یک ماسه بسیار سیلتی با درصد ریزدانه کمتر از ۱۰٪ می باشد(شکل ۵). این خاک در عمق بین ۱.۵ و ۹.۰ متر وجود داشت. سیلت رس دار در عمق حدود ۰.۵ متر به ۱.۵متر، و خاک رس سیلتی در عمق حدود ۹متر به ۱۱متر، در حال حاضر جوشش ندارد و به نظر می رسد روانگرا نیست.

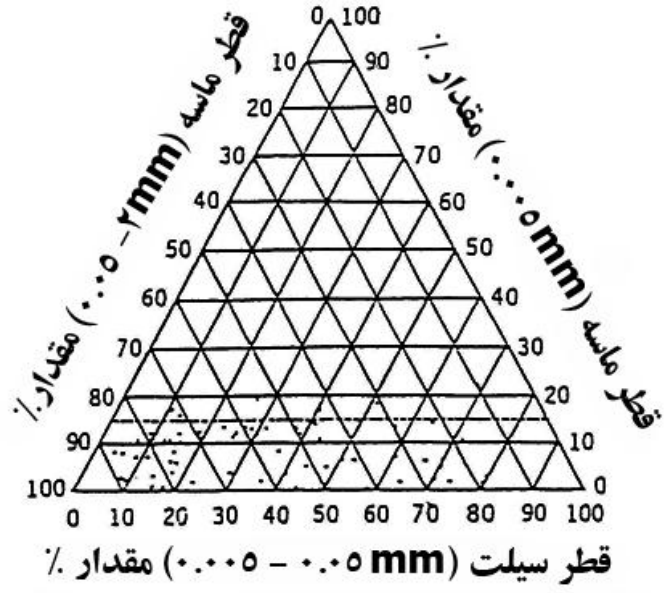


شکل ٥ . توزیع اندازه دانه های خاک (تاتل و همکاران ۱۹۹۰)

وانگ (۱۹۷۹) رویداد روانگرایی را در ماسه سیلتی بر اساس خاک های سیلتی ماسه دار در هایچنگ، از زلزله چین در سال ۱۹۷۵ و تانگشان، زلزله چین در سال ۱۹۷۶ثبت کرد و یک نمودار بسیار مشخص تهیه کرد که اندازه دانه های این خاکها را نشان می دهد (شکل ۶). وانگ، برشی را برای قابلیت روانگرایی درصد ریزدانه ۱۵٪ نشان می دهد. با این حال، خاک رس با اندازه دانه های ریزتر از ۰.۰۰۵میلی متر تعریف شده است.

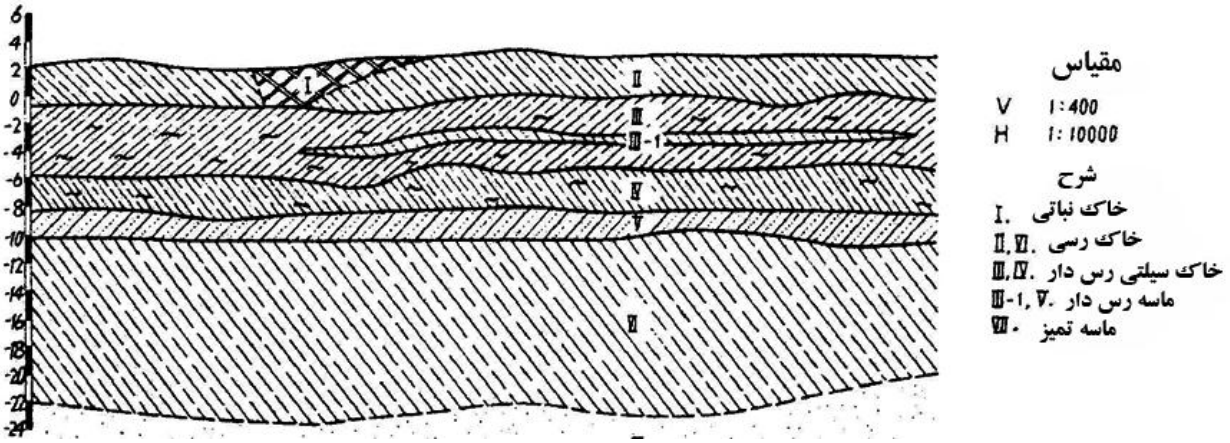
www.SID.ir

Archive of SID



شکل ٦ . اندازه دانه های خاک های روانگرا (وانگ ۱۹۷۹)

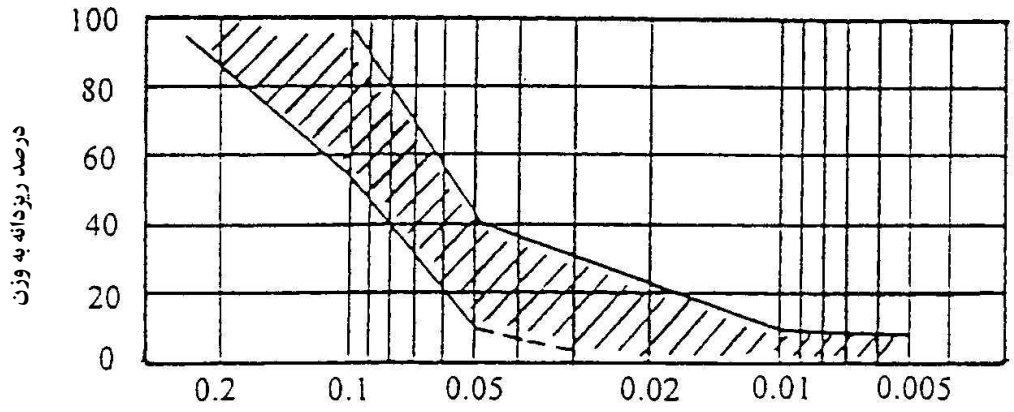
ژو (۱۹۸۱) روانگرایی گسترده که در تانگشان چین، در طول زلزله در سال ۱۹۷۶ بوجود آمده بود را مورد مطالعه قرار داده است. منطقه ای که در آن روانگرایی گسترده رخ داد در لوتای، جنوب غربی تانگشان ، به فاصله ۴۸کیلومتر از مرکز بود. بخش کناری این منطقه، چندین لایه خاک را نشان می دهد که در شکل ۷ نشان داده شده است. بسیاری از جوشش ها در طول و پس از زلزله فوران کردند. در این توزیع اندازه دانه، پوشش های شنی خاک های سیلتی ماسه دار را دفع می کند که در شکل ۸ نشان داده شده است. می توان دید که پوشش توزیع اندازه دانه که خاکها را به خارج دفع می کنند درصد ریزدانه کمتر از ۱۰٪ دارند. (خاک رس با دانه های ریزتر از ۰.۰۰۵میلی متر تعریف شده است). در نتیجه برای خاک رس با دانه های ریزتر از ۰.۰۰۲میلی متر، مقدار رس نیز باید کمتر از ۱۰٪ تعریف شود.



شکل ۷. چینه شناسی منطقه لوتای (ژو ۱۹۸۱)

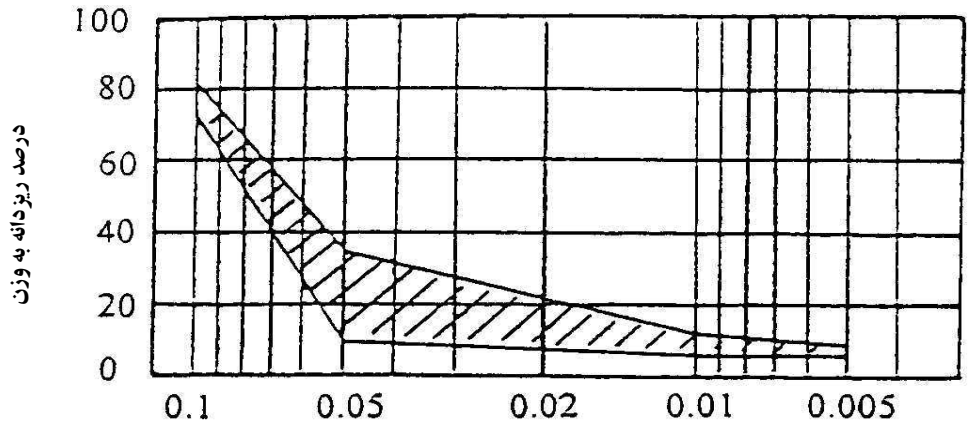
www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۸ . توزیع اندازه دانه مواد بیرون ریخته (ژو ۱۹۸۱)

ژو (۱۹۸۱) توزیع های اندازه دانه لایه چهار و لایه پنج از لایه نگاری منطقه لوتای را ارائه داد (شکل ۷) ، همانطور که. توزیع اندازه دانه لایه چهارم (شکل ۹) نشان می دهد این خاک، سیلت ماسه دار با درصد ریزدانه کمتر از ۱۰٪ است. به گفته ژو، لایه چهارم تنها در برخی از بخش های منطقه لوتای نمایان شده است، و شامل یک عدسی است که از ضخامت ۰.۵ متر به ۱.۰متر ته نشین شده است و در عمق حدود ۶ متر قرار دارد.
برای لایه پنجم، توزیع اندازه دانه نشان می دهد که این خاک ماسه ای با سیلت کم است و درصد ریزدانه را تا حدود ۱۹ درصد بالا می برد. (شکل ۱۰).
به گفته ژو، لایه پنجم در تمام منطقه لوتای پراکنده است که در حدود ۲.۵ متر ضخامت دارد و در عمق حدود ۱۰ متر قرار گرفته است. به طور قابل ملاحظه، از بررسی بزرگ انجام شده دریافتند که فوران های شدید در مناطقی رخ داده بود که لتز لایه چهارم و لایه پنجم هر دو وجود داشتند. با این حال، عملا هیچ فوران های قابل توجهی رخ نداده است که در آن تنها نسبت درصد ریز دانه بالای لایه پنجم وجود داشته باشد.



شکل ۹. توزیع اندازه دانه های لایه چهارم (ژو ۱۹۸۱)

موارد تاریخی فوق روانگرایی خاک های سیلتی را نشان می دهد، و به علاوه کاربرد استفاده از درصد ریزدانه به عنوان یک پارامتر خاک که به تفکیک خاک های سیلتی روانگرا و غیر قابل روانگرا کمک می کنند را معرفی می کند. علاوه بر این، موارد تاریخی بالا معیار درصد ریزدانه مشخص شده توسط سید را تقویت می کند(۱۹۸۳). این معیار توسط مشاهدات سید وهمکاران ارائه شده است (۱۹۶۴) که در آن نشان داده شد درصد ریزدانه طبیعی در حدود ۱۰٪ است.

www.SID.ir

Archive of SID

حد روانی

معیار حد روانی در میان این سه معیار توسط سید و همکاران (۱۹۸۳) مشخص شده بود که با این معیار خاک های رسی آسیب پذیر تفکیکی، مقاومت زیادشان را از دست می دهند. معیار حد روانی در نظر گرفته شده مناسب به شرح زیر است:

حد روانی خاک را می توان به عنوان مقدارآبی که خاک دارای مقاومت برشی حدود ۲۵ گرم برسانتی متر مربع دارد تعریف کرد.(سید و همکاران ۱۹۶۴). مقاومت برشی خاک های انعطاف پذیر را می توان عمدتا به نیروی خالص کششی بین دانه های خاک رسی نسبت داد. همانطور که مقدار آب را می توان برای تعیین نسبت تخلخل خاک استفاده کرد، و نسبت تخلخل، اندازه گیری میانگین فاصله بین دانه است، حد روانی را می توان به عنوان یک اندازه گیری فاصله دانه تصور کرد که در آن نیروی خالص کششی ،مقاومت برشی حدود ۲۵ گرم برسانتی متر مربع را تولید می کند. از این رو خاک سیلتی با حد روانی بالا، عمدتا نیروی خالص کششی بالایی بین هریک از دانه های رسی دارد. این نیروی جاذبه تمایل به مهار روانگرایی دارد. خاک سیلتی، نسبتا قابلیت روانگرایی کمی دارد. در ادامه انتظار می رود که خاک سیلتی با حد روانی کم، باید قابلیت نسبتا بالایی برای روانگرایی داشته باشد، در نتیجه تایید می شود که کاربرد استفاده ازحد روانی را می توان به عنوان یک پارامتر اصلی خاک در نظر گرفت که به تفکیک خاک های سیلتی روانگرا و غیر روانگرا کمک می کنند. علاوه بر این، حد روانی متناسب با درصد ریزدانه توسط سید مطرح شده است(۱۹۶۴)، که در آن نیز اشاره شده بود که حد روانی خاک رس به طور طبیعی در حدود ۳۰۰ است. برای خاک روانگرا، حد روانی بالایی در حدود ۳۰ (۱۰٪ از ۳۰۰) تعیین شده است که مطابق با معیار خاک رس ۱۰٪ بحث شده در بالا است.

اصلاح معیارها برای روانگرایی خاک های سیلتی

یک معیار برای روانگرایی خاک های سیلتی تنها بر اساس پارامتر درصد ریزدانه است، به اندازه کافی این موارد درست نیستند چرا که در یک نقطه اندازه دانه های خاک رس غیر قابل انعطاف هستند و در نقطه دیگر اندازه دانه های خاک رس انعطاف پذیرند. به عنوان مثال تکه های سنگ معدن اغلب درصد بالایی ازسنگ خرد شده دارند که از دانه های خاک رس غیرقابل انعطاف گرفته شده اند. مطالعات نشان می دهد که خاک ها روانگرایی بالایی دارند (راجرز و همکاران سال ۱۹۹۱ و ایشاهارا ۱۹۹۵). مثالی دیگر از حد میکا است. میکا سنگی است که از ماده معدنی تشکیل می شود که به کانی های رسی، ایلیت و مونت موریلونیت تغییر می کند. میکا انعطاف پذیر است و اغلب در محدوده سیلت یافت می شود. استفاده از یک معیار حد روانی به همراه معیار درصد ریزدانه کمک می کند تا این وضع نامساعد سامان یابد.

معیار حد روانی که توسط سید و همکارانش (۱۹۸۳) طراحی شده بر پایه معیار چینی ها بود (وانگ، ۱۹۷۹).

در معیار چینی ها، حد روانی توسط سقوط دستگاه نفوذ سنج مخروطی تعیین می شود. کواستر(۱۹۹۲) حدود روانی تعیین شده توسط دستگاه نفوذ سنج مخروطی را با حدود روانی تعیین شده توسط دستگاه کاسا گرانده مقایسه کرد، و متوجه شد که دستگاه نفوذ سنج مخروطی حد روانی بالاتری دارد. بر اساس کار کواستر، حد روانی توسط دستگاه نفوذ سنج مخروطی ۳۵ تعیین شده است در حالی که حد روانی توسط دستگاه کوبه ای کاسا گرانده حدود۳۲ تعیین شده است.

نتیجه گیری

نتیجه گیری زیر از مشاهدات بدست آمده:

- مدارک فراوانی نشان می دهد که خاک های سیلتی می توانند قابلیت روانگرایی داشته باشند.
- درصد ریزدانه را می توان به عنوان یک پارامتر اصلی خاک در نظر گرفت که به تفکیک خاک های سیلتی روانگرا و غیر قابل روانگرا کمک می کنند.
- حد روانی را می توان به عنوان یک پارامتر اصلی خاک در نظر گرفت که به تفکیک خاک های سیلتی روانگرا و غیر قابل روانگرا کمک می کنند.

www.SID.ir

Archive of SID

- استفاده از معیار حد روانی همراه با معیار درصد ریزدانه کمک می کند تا اندازه دانه های خاک رس که غیر قابل انعطاف هستند و اندازه دانه هایی غیر از خاک رس که انعطاف پذیرند محاسبه شود.

بر اساس موارد تاریخی و تئوری مطرح شده در بالا ، معیارهای فوق که توسط سید و همکاران مشخص شده، برای خاک های سیلتی که در جدول۱ نشان شده تصحیح شده و گسترش یافته و پایدار هستند.

جدول شماره ۱ قابلیت روانگرایی خاک های سیلتی

	حد روانی < ۳۲	حد روانی ≥ ۳۲
درصد ریز دانه < ۱۰٪	آسیب پذیر	مطالعات مورد نیاز بیشتر رسیدگی به اندازه دانه های غیر رسی انعطاف پذیر - مانند میکا
درصد ریز دانه ≥ ۱۰٪	مطالعات مورد نیاز بیشتر رسیدگی به اندازه دانه رس انعطاف پذیر مانند کان و تکه های سنگ معدن	غیر آسیب پذیر

۱. حد روانی توسط دستگاه کوبه ای کاسا گرانده تعیین شده است.

۲. خاک رس به عنوان دانه های ریزتر از ۰.۰۰۲ میلی متر تعریف شده است.

REFERENCES

1. Figueroa, J. L., Saada, A. S. and Liang, L. (1995). Effect of the Grain Size on the Energy Per Unit Volume at the Onset of Liquefaction. Proceedings: 3rd International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics, Vol. 1, pp 197-202.
2. Ishihara, K. (1985). Stability of Natural Deposits During Earthquakes. Proceedings: 11th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, San Francisco, Vol. I, pp 321-376.
3. Kishida, H. (1970). Characteristics of Liquefaction of Level Sandy Ground During the Tokachioki Earthquake. Soils and Foundations, Vol. 10, No. 2, pp 103-111.
4. Koester, J. P. (1992). The Influence of Test Procedure on Correlation of Atterberg Limits with Liquefaction in Fine - Grained Soils. Geotechnical Testing Journal, Vol. 15, No. 4, pp 352-360
5. Mitchell, J. K. (1976). Fundamentals of Soil Behavior. John Wiley & Sons Inc., p 319.
6. Rogers, J. D., Wills, C. J. and Manson, M. W. (1991). Two Sequences of Fine Grained Soil Liquefaction at Soda Lake, Pajaro River Valley, Santa Cruz County, California. Proceedings: 2nd International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics, Vol. 3, pp 2295-2308.
7. Seed, H. B., Woodward, R. J. and Lundgren, R. (1964). Fundamental Aspects of the Atterberg Limits. J. Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, Vol. 90, No. SM6, pp 75-105.
8. Seed, H. B., Idriss, I. M. and Arango, I. (1983). Evaluation of Liquefaction Potential Using Field Performance Data. Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 109, No. GT3, pp 458-482.
9. Tokimatsu. K. and Yoshimi, Y. (1983). Empirical Correlation of Soil Liquefaction Based on SPT N-Values and Fines Content. Soils and Foundations, Vol. 23, No. 4, pp 56-74.
10. Tuttle, M., Law, K. T., Seeber, L. and Jacob, K. (1990). Liquefaction and Ground Failure Induced by the 1988 Saguenay, Quebec, Earthquake. Can. Geotech. J. 27, pp 580-589.
11. Wang, W. S. (1979). Some Findings in Soil Liquefaction. Water Conservancy and Hydroelectric Power Scientific Research Institute, Beijing, China.
12. Zhou, S. G. (1981). Influence of Fines on Evaluating Liquefaction of Sand by CPT. Proceeding: International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics, Vol. 2, pp 167-172-

www.SID.ir