جنگل و فرآورده‌های چوب، مجله منابع طبیعی ایران
دوره ۶۷، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۳
ص ۶۴۷-۶۵۵

تاریخ دریافت:۱۳۹۱/۱۰/۰۹
تاریخ پذیرش:۱۳۹۲/۰۵/۱۹

مقایسهٔ روش کازاگرانده و مخروط نفوذ در تعیین حد روانی خاک

❖ **فاطمه موسوی؛** دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی جنگل، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
❖ **احسان عبدی*؛** استادیار گروه جنگل‌داری و اقتصاد جنگل، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

Archive of SID

چکیده

بر اساس میزان رطوبت، رفتار خاک ریزدانه به چهار حالتِ جامد، نیمه‌جامد، خمیری، و روانی تقسیم می‌شود. روش‌های تعیین حد روانی خاک ـ به‌عنوان شاخصی مهم در طبقه‌بندی و ظرفیت‌سنجی خاک ـ برای استفاده به‌عنوان مصالح و بستر جاده شامل استفاده از دستگاه کازاگرانده و مخروط نفوذ است. در پژوهش‌های انجام‌شده در جنگل فقط از دستگاه کازاگرانده استفاده شده و تجربه‌ای در مورد مخروط نفوذ وجود ندارد. از آنجا که صحت نتایج دستگاه کازاگرانده ارتباطی تنگاتنگ با تجربهٔ کاربر دارد و این تأثیر در مورد مخروط کمتر است، در این پژوهش دو روش تعیین حد روانی خاک با یکدیگر مقایسه شد. برای مقایسه، دو نمونه خاک از بخش پاتم و نمخانهٔ جنگل دانشکدهٔ منابع طبیعی دانشگاه تهران تهیه و سپس آزمایش حد روانی با استفاده از دو دستگاه با ٤ بار تکرار بر روی هر نمونه انجام شد. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که حد روانی در نمونهٔ تهیه‌شده از بخش پاتم نزدیک به ۵۰ است و اندکی تفاوت در برآورد حد روانی خاک باعث تغییر در طبقهٔ خاک می‌شود و تفاوت بین دو روش از نظر فنی معنی‌دار است، اما در نمونهٔ بخش نمخانه حد روانی در مرز نبود و با اندکی تفاوت، تغییری در کلاسهٔ خاک رخ نداد. مقایسهٔ ضریب تغییرات دو روش نشان‌دهندهٔ دقت بالاتر روش مخروط بود، اما دربارهٔ صحت روش‌ها نمی‌توان اظهارنظر کرد. در پایان پیشنهاد می‌شود قبل از استفاده از روش کازاگرانده تعدادی پیش‌آزمایش برای کسب تجربهٔ کار با دستگاه انجام و سپس آزمایش‌های اصلی انجام شود.

واژگان کلیدی: حد روانی، دقت، ضریب تغییرات، کازاگرانده، مخروط نفوذ.

* نویسندهٔ مسئول تلفن: ۰۲۶۳-۲۲۴۹۳۱۲ فاکس: ۰۲۶۳-۲۲۴۹۳۱۲
Email: Abdie@ut.ac.ir

www.SID.ir

مقدمه

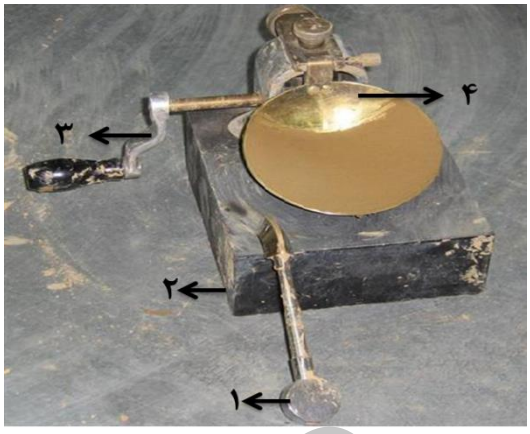
در سال ۱۹۱۱، آتربرگ، دانشمند سوئدی، روشی برای توصیف سفتیِ خاک‌های ریزدانه بر حسب میزان رطوبت ابداع کرد. درصد رطوبت خاک عبارت است از نسبت وزن آب موجود در خاک به وزن ذرات جامد خاک. خاک‌های ریزدانه در رطوبت خیلی کم مانند جسم جامد عمل می‌کنند و در رطوبت خیلی بالا، مخلوط آب و خاک به‌صورت مایع جاری می‌شود. مقدار رطوبتی که خاک را از حالتی به حالت دیگر تبدیل می‌کند بستگی به نوع خاک دارد. به‌طور کلی طبیعت رفتار خاک‌های ریزدانه یکی از چهار حالت جامد، نیمه‌جامد، خمیری، و مایع بر مبنای میزان رطوبت خود خواهد بود. میزان رطوبت (بر حسب درصد) در نقطهٔ انتقال از جامد به نیمه‌جامد، حد انقباض[1]، در نقطهٔ انتقال از نیمه‌جامد به خمیری، حد خمیری[2]، و از خمیری به مایع، حد مایع[3] (روانی) نامیده می‌شود که به حدود آتربرگ معروف هستند [۱-۴]. ویژگی خمیری، قابلیت خاک برای تغییرِ شکل بازگشت‌ناپذیر را که بدون تغییر حجم، ترک‌خوردن، یا خردشدن باشد توصیف می‌کند. خاصیت خمیری خاک ناشی از وجود کانی‌های رسی یا مواد آلی در خاک و یکی از مشخصات مهم خاک‌های ریزدانه است [۲]. کاهش میزان رطوبت سبب کاهش ضخامت لایهٔ یون مثبت و افزایش برایند نیروهای میان دانه‌ها می‌شود. برای آنکه خاکی حالت خمیری داشته باشد باید برایند نیروهای بین دانه‌ها به اندازه‌ای باشد که ذرات در حالی که به یکدیگر چسبیده‌اند، بتوانند روی هم بلغزند [۱، ۴]. کاهش رطوبت سبب کاهش حجم خاک در حالت‌های مایع، خمیری، و نیمه‌جامد می‌شود که البته در حالت جامد حجم خاک دیگر با کاهش رطوبت کم نمی‌شود. بیشتر خاک‌های ریزدانه در شرایط طبیعی حالت خمیری دارند. حدود بالایی و پایینی میزان رطوبت که در آن خاک رفتار خمیری دارد به‌ترتیب حد روانی و حد خمیری است و تفاضل بین این دو را نمایهٔ خمیری[4] می‌نامند. باید متذکر شد که تغییر حالات خاک تدریجی و تعریف حدود روانی و خمیری قراردادی است و به کمک آزمایش‌های تجربی (قراردادی) تعیین می‌شود. با وجود این، ویژگی‌های خمیری خاک از عوامل مهم و تأثیرگذار در طبقه‌بندی یونیفاید است که در جاده‌سازی جنگل کاربرد وسیع و دیرینه‌ای دارد؛ هرچند که هنوز هم متأسفانه گاهی در پژوهش‌های مرتبط با مهندسی جنگل، طبقه‌بندی کشاورزی (مثلث بافت خاک) استفاده و استناد می‌شود.

دو شاخص مهم که کاربرد فراوانی در طبقه‌بندی خاک دارند حد خمیری و روانی‌اند و حد انقباض معمولاً در مهندسی جنگل کاربرد ندارد. موضوع این پژوهش روش‌های تعیین حد روانی، به‌عنوان شاخصی مهم در طبقه‌بندی و ظرفیت‌سنجی خاک برای استفاده به‌عنوان مصالح و بستر زیرساخت است. روشی که برای به‌دست آوردن حد روانی در جنگل متداول بوده و هست استفاده از دستگاه کازاگرانده (استاندارد ASTM-D423[5]) است. ولی در استاندارد BS[6] از سال ۱۹۹۰ روش مخروط نفوذ[7] استفاده شده است. دستگاه کازاگرانده وسیله‌ای است مجهز به یک جام (کاسه) برنجی که به‌وسیلهٔ یک لولا به پایه‌ای از جنس پلاستیک سخت متصل می‌شود. جام باید در ارتفاع ۱۰ میلی‌متر تنظیم شود و سپس حول لولا بر روی کفی پلاستیکی سقوط کند [۳]. در شکل ۲ دستگاه کازاگرانده و اجزای آن نشان داده شده است.

1. Shrinkage limit
2. Plastic limit
3. Liquid limit
4. Plasticity index
5. American society for testing and materials
6. British Standard
7. cone penetrometer

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۱. دستگاه کازاگرانده

موارد نشان‌داده‌شده در شکل ۱ عبارت‌اند از: ۱. شیارزن؛ ۲. پایهٔ پلاستیکی؛ ۳. دسته؛ ۴. جام برنجی. نحوهٔ انجام این آزمایش به این ترتیب است که چند نمونه خاک در درصدهای متفاوتِ رطوبت در جام قرار داده می‌شود و با استفاده از شیارزن[1] مخصوص، شیاری با ابعاد معین در خاک به‌وجود می‌آید، به‌طوری که نمونه به دو قسمت مجزا تقسیم شود. سپس با چرخاندن دستهٔ مخصوص، که جام را تا ارتفاع یک سانتی‌متری بلند و سپس آن را رها می‌کند، ضرباتی به نمونهٔ خاک وارد می‌شود. این ضربات که با سرعتی برابر با ۲ ضربه در ثانیه به نمونه خاک وارد می‌شود سبب می‌گردد که شیار به‌وجودآمده بر اثر روان‌شدن بسته شود. تعداد ضربه‌های لازم برای آنکه شیار در کف جام در طولی برابر ۱۳ میلی‌متر بسته شود یادداشت می‌شود. این آزمایش در درصد رطوبت‌های متفاوت تکرار و هر بار تعداد ضربه‌ها یادداشت می‌شود. با رسم منحنی نمایش تغییرات تعداد ضربه‌ها بر حسب درصد رطوبت ـ درصد رطوبتی که در آن شیار در ۲۵ ضربه بسته می‌شود ـ حد روانی نمونه خاک تعریف می‌شود [۱۲]. در استاندارد BS، از یک مخروط کوچک از فولاد ضد زنگ با زاویهٔ رأس ۳۰ درجه و طول ۳۵ میلی‌متر که به آن میله متصل است استفاده می‌شود [۱]. برای انجام‌دادن آزمایش، نمونه خاک را با مقدار کافی آب مخلوط می‌کنند تا خمیر یکنواختی به‌دست آید. سپس قسمتی از این خمیر را در داخل یک استوانهٔ فلزی، که قطر داخلی آن ۵۵ و عمق آن ۴۰ میلی‌متر است، قرار می‌دهند. سطح آزاد خمیر در داخل استوانه کاملاً صاف می‌شود. مخروط فلزی به حالت قائم بر سطح نمونه خاک قرار داده می‌شود، به‌گونه‌ای که نوک مخروط مماس بر سطح نمونه خاک باشد. سرانجام مخروط رها می‌شود تا به داخل خاک نفوذ کند و میزان نفوذ طی ۵ ثانیه اندازه‌گیری می‌شود. سپس برای سنجش رطوبت مقداری از خمیر خاک را در یک قوطی وزن‌شده قرار می‌دهند و پس از وزن‌کردن به آون منتقل می‌کنند. بقیهٔ خمیر موجود در استوانهٔ فلزی را به ظرف اصلی برمی‌گردانند و مقداری رطوبت به آن اضافه می‌کنند و آزمایش تکرار می‌شود. کلیهٔ مراحل آزمایش باید حداقل ۴ بار تکرار شود و هر بار بر میزان آب به‌کار برده‌شده افزوده شود. روند آزمایش باید از حالت خشک‌تر خاک به حالت مرطوب‌تر باشد. منحنی تغییرات عمق نفوذ مخروط (بر حسب میلی‌متر)، نسبت به رطوبت خاک رسم می‌شود. این منحنی یک خط مستقیم خواهد بود. حد روانی، میزان رطوبت مربوط به درجهٔ نفوذ مساوی ۲۰ میلی‌متر است. در شکل ۲ مخروط نفوذ و اجزای آن نشان داده شده است.

موارد نشان‌داده‌شده در شکل ۲ عبارت‌اند از: ۱. گیج تغییر عمق؛ ۲. قفل آزادکردن مخروط؛ ۳. مخروط؛ ۴. استوانهٔ فلزی؛ ۵. پایه؛ ۶. پیچ تنظیم ارتفاع مخروط و گیج.

روش کازاگرانده با وجود سادگی به تجربهٔ زیادی نیاز دارد، اما در روش مخروط نفوذ تجربه نقش کمتری دارد و به همین سبب گاه آن را دقیق‌تر می‌دانند.

1. Grooving tool

Archive of SID
www.SID.ir

شکل ۲. دستگاه مخروط نفوذ

در پژوهش‌ها آزمایش حد روانی خاک با استفاده از دستگاه کازاگرانده [۵–۸] و روش مخروط نفوذ [۹، ۱۰] انجام شده، اما تاکنون مقایسه‌ای بین این دو روش صورت نگرفته است. از معدود پژوهش‌های صورت‌گرفته در این باره پژوهشی در انگلستان است که سه نمونه خاک را بین ۴۰ آزمایشگاه مکانیک خاک در انگلستان توزیع کرده و نتایج حد روانی محاسبه‌شدهٔ آن‌ها را بررسی کرده‌اند.

نتایج نشان داده که حدود روانی به‌دست‌آمده دارای تنوع زیاد و ضریب تغییرات آن‌ها حدود ۷–۸ و تفاوت کمترین تا بیشترین مقادیر گزارش‌شده برای یک نمونهٔ ثابت گاهی تا ۳۰ درصد بوده است. (مثلاً برای یک خاک دامنهٔ حد روانی گزارش‌ها ۵۵–۸۵ بود.) نتایج این پژوهش در جدول ۱ مشاهده می‌شود [۱۱].

جدول ۱. مقادیر مربوط به حد روانی سه نمونه خاک

نمونه خاک	A	B	C
میانگین	۳۴	۶۹	۶۷
دامنه	۲۹–۳۸	۵۹–۸۴	۵۵–۸۵
ضریب تغییرات	۷/۱	۷/۵	۷/۹

بنابراین هدف این پژوهش، مقایسهٔ دستگاه کازاگرانده و مخروط نفوذ در تعیین حد روانی بود. به همین سبب ابتدا دو نمونه خاک از جنگل خیرود

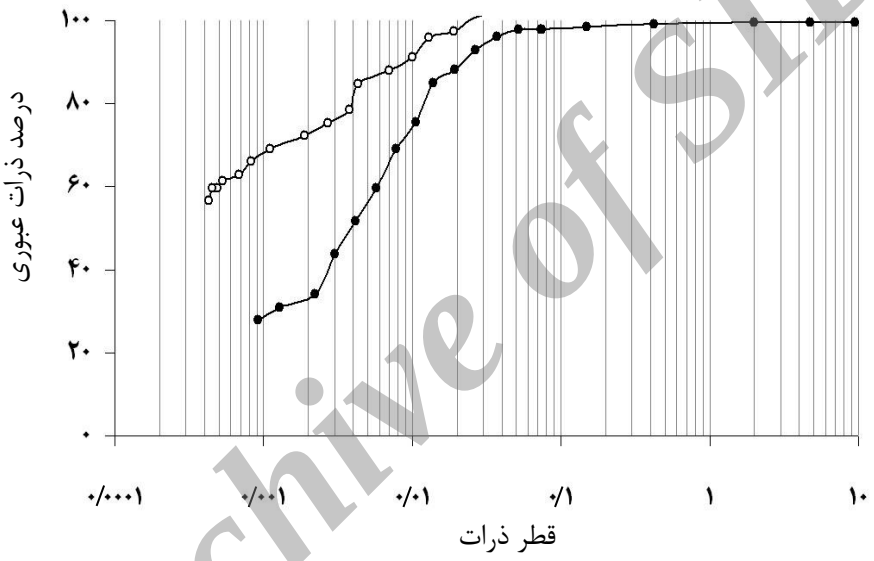
Archive of SID
www.SID.ir

دانشکدهٔ منابع طبیعی دانشگاه تهران تهیه شد و سپس آزمایش حد روانی با استفاده از دستگاه کازاگرانده و روش مخروط نفوذ با ۴ تکرار بر روی هر نمونه انجام گرفت و نتایج به‌دست‌آمده مقایسه شد.

مواد و روش‌ها

مواد

خاک مورد نیاز آزمایش‌ها، از جنگل خیرود دانشکدهٔ منابع طبیعی دانشگاه تهران، واقع در ۱۰ کیلومتری نوشهر تهیه شد و به آزمایشگاه انتقال یافت. بر مبنای اطلاعات و دانسته‌های قبلی یک نمونه از بخش پاتم (پارسل ۱۰۴) و یک نمونه از بخش نمخانه (پارسل ۲۲۰) تهیه شد تا بین حد روانی دو نمونه خاک تفاوت فاحش باشد. آزمایش دانه‌بندی نمونه‌های خاک، طبق استاندارد ASTM-D423 انجام شد. نمودار دانه‌بندی خاک‌ها در شکل ۱ آورده شده است. مطابق نتایج درصد ردشدهٔ نمونه خاک از الک نمرهٔ ۲۰۰، نمونهٔ پاتم و نمخانه به‌ترتیب حدود ۹۷ و ۱۰۰ درصد است.



شکل ۳. نمودار دانه‌بندی نمونه‌های پاتم (●) و نمخانه (○)

روش آزمایش

نمونه خاک مورد استفاده برای آزمایش تعیین حد روانی بخشی از خاک بود که از الک شمارهٔ ۴۰ عبور داده شد. برای انجام‌دادن آزمایش کازاگرانده از استاندارد ASTM–D423 و مخروط نفوذ از استاندارد BS 1377:1990 استفاده شد. (روش کار در مقدمه ذکر شد.) برای مقایسهٔ دو روش، آزمایش حد روانی بر روی هر نمونه خاک در ۴ تکرار برای هر روش انجام گرفت. برای طبقه‌بندی نمونه‌ها از نمودار خمیرایی کازاگرانده [۱۲] استفاده شد. برای نشان‌دادن نتیجهٔ استفاده از آنالیز آماری، به جای استفاده از معیار فنی، از مقایسهٔ میانگین‌ها به روش t جفتی استفاده شد.

نتایج و بحث

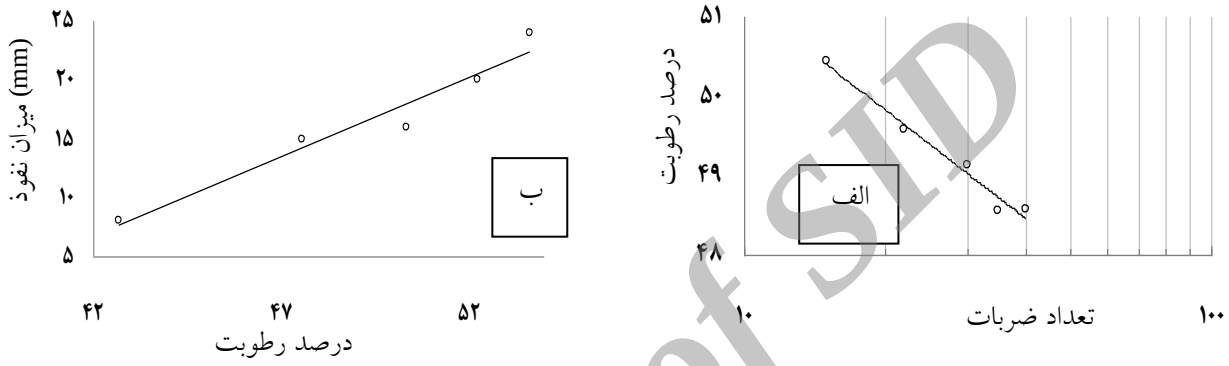
نتایج آزمایش حد روانی با استفاده از کازاگرانده و مخروط نفوذ بر روی نمونه خاک تهیه‌شده از بخش پاتم، با ۴ تکرار در جدول ۲ نشان داده شده است. یک نمونه گراف حاصل از آزمایش حد روانی با استفاده از کازاگرانده و مخروط نفوذ در شکل ۴ مشاهده می‌شود.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۲. نتایج آزمایش حد روانی نمونه خاک بخش پاتم

تکرار	دستگاه کازاگرانده	دستگاه مخروط نفوذ
۱	۴۹/۵	۵۱/۸۲
۲	۴۹/۰۹	۵۱/۶۱
۳	۴۸/۲۴	۵۱/۶۵
۴	۵۱/۳۴	۵۱/۹۳



شکل ۴. نمودارهای معمول تعیین حد روانی: (الف) کازاگرانده؛ (ب) مخروط نفوذ

جدول ۳. نتایج آزمایش حد روانی نمونه خاک بخش نمخانه

تکرار	دستگاه کازاگرانده	دستگاه مخروط نفوذ
۱	۹۵	۹۳/۷۵
۲	۹۴/۱۱	۹۴/۱۴
۳	۹۶/۸۲	۹۳/۷۷
۴	۱۰۰/۶۲	۹۳/۶۸

همان‌طور که از جدول ۲ پیداست تفاوت بین نتایج دو روش از نظر فنی در سه مورد معنادار بوده است (مواردی که نتایج دو روش در دو طرف عدد ۵۰ قرار گرفته‌اند.)، زیرا حد روانی خاک نزدیک عدد ۵۰ (به‌عنوان عددی مرزی و مهم در طبقه‌بندی یونیفاید) است و کمی برآورد بیشتر منجر به طبقه‌بندی خاک به‌عنوان H (حد روانی بالا)، و کمی برآورد پایین‌تر منجر به طبقه‌بندی به‌عنوان L خواهد شد.

نتایج آزمایش حد روانی با استفاده از کازاگرانده و مخروط نفوذ بر روی نمونه خاک تهیه‌شده از بخش نمخانه، با ۴ تکرار در جدول ۳ نشان داده شده است.

همان‌طور که از جدول ۳ پیداست تفاوت نتایج دو روش از نظر فنی معنی‌دار نبوده است، زیرا حد روانی خاک نزدیک به عدد ۵۰ نیست و کمی برآورد بیشتر یا کمتر به طبقه‌بندی مشابهی منجر خواهد شد. نکتهٔ مهم این است که استفاده از آنالیزهای آماری به شیوهٔ معمول در منابع طبیعی، در مکانیک خاک

Archive of SID

www.SID.ir

کاربرد نداشته و حتی ممکن است در برخی موارد به نتیجه‌گیری اشتباه منجر شود. برای مثال با اینکه در نمونه خاک‌های پاتم اختلاف اعداد دو دستگاه در ۳ تکرار از ۴ تکرار منجر به تفاوت فنی در کلاسهٔ خاک شد، اما مقایسهٔ میانگین‌ها با روش t جفتی معنی‌دار نخواهد بود (P=0.162). و برعکس در نمونه‌های نمخانه که تفاوتی در تشخیص کلاسهٔ خاک با دو دستگاه وجود ندارد تفاوت آماری میانگین‌ها معنی‌دار خواهد بود (P=0.033). گفتنی است که علم آمار به‌صورتی که در منابع طبیعی و کشاورزی کاربرد دارد در علم مکانیکِ خاک کاربرد ندارد. بنابراین در نمونه‌های نمخانه با وجود معنی‌دارشدن آنالیز آماری تغییری در کلاسهٔ خاک یا اشتباه در پیش‌بینی رفتار خاک وجود نخواهد داشت. برای امکان مقایسهٔ بهتر از ضریب تغییرات[1] استفاده شد [۴]. جدول ۴ نشان‌دهندهٔ میزان ضریب تغییرات دو روش در دو نمونه خاک است.

جدول ۴. میزان ضریب تغییرات در دو روش

نمونه خاک	دستگاه کازاگرانده	دستگاه مخروط نفوذ
نمونهٔ پاتم	۲/۶۴	۰/۲۸
نمونهٔ نمخانه	۲/۹۸	۰/۲۲

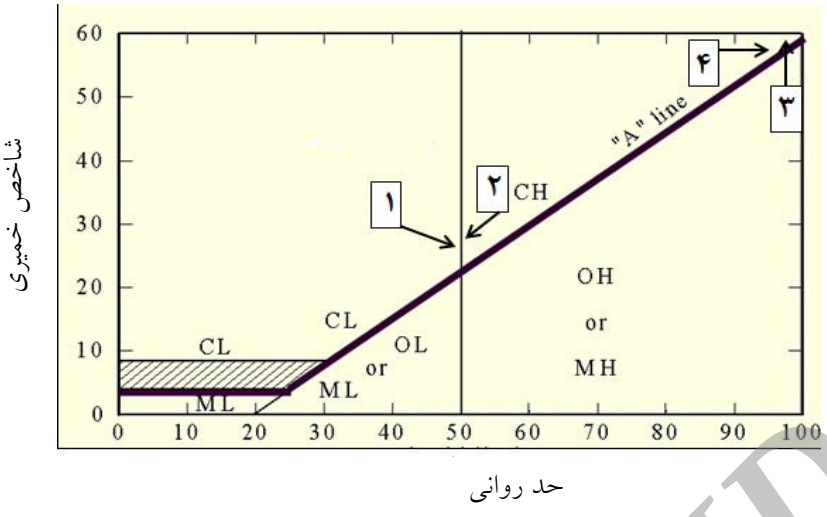
بررسی ضریب تغییرات نشان می‌دهد مقدار ضریب تغییرات در روش کازاگرانده دربارهٔ خاک پاتم حدود ۹ برابر و خاک نمخانه حدود ۱۳ برابر روش مخروط نفوذ است که نشان‌دهندهٔ وجود دقت[2] کمتر در روش کازاگرانده یا در واقع ضرورتِ داشتن تجربهٔ بالا در استفاده از این روش است که با نتایج دیگر پژوهشگران که ضریب تغییرات و واریانس روش کازاگرانده را بالا گزارش کرده‌اند همخوانی دارد [۱۱]. پژوهشگران دیگر نیز داده‌های روش کازاگرانده را وابسته به کاربر دانسته و نقش مشکلات مربوط به تعمیر و نگهداری دستگاه را در بروز خطاها نیز زیاد می‌دانند. این پژوهشگران نشان دادند که برای مثال فقط سرعت نامناسب چرخاندن دسته می‌تواند باعث بروز ۱۵ درصد خطا در تعیین رطوبت روانی شود [۱۳].

پژوهش انجام‌شده در انگلستان نیز وجود خطاهای بسیار در نتایج کازاگرانده و تنوع وسیع نتایج در مورد خاک‌های ثابت را حتی در میان آزمایشگاه‌های دارای تجربه در انگلستان نشان داد. بر طبق پژوهش اخیر این تنوع به‌ویژه در زمینهٔ کارهای مهندسی دقیق نگران‌کننده و اکثر خطاها به علت روش‌های مورد استفادهٔ کاربران است. به همین سبب روش مخروط نفوذ از سال ۱۹۷۵ در استاندارد BS روش ارجح[3] و در تجدید نظر سال ۱۹۹۰ روش قطعی[4] رطوبت روانی تعیین شد [۱۱].

همان‌طور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود، در خاک‌هایی که دارای حد روانی نزدیک به عدد ۵۰ (مرز حد روانی بالا و پایین) هستند، تفاوت بین نتایج دو روش از نظر فنی معنی‌دار بوده است و کمی برآورد اشتباه به طبقه‌بندی متفاوتی از لحاظ پلاستیسیتهٔ خاک منجر می‌شود. همچنین قسمت مهم دیگر نمودار خط A است و برخی تفاوت‌ها در تعیین حد روانی می‌تواند به‌گونه‌ای باعث تغییر نمایهٔ خمیری شود که یک نمونه خاک از کلاسهٔ M به C یا برعکس جابه‌جا شود. در این نقاط مرزی اندکی اشتباه در تعیین حد روانی مشکل‌ساز است.

1. Coefficient of variation
2. Precision
3. Preferred method
4. Definitive method

Archive of SID
www.SID.ir



شکل ۵. طبقه‌بندی یونیفاید خاک‌ها در چهار حالت متفاوت (۱. خاک پاتم و کازاگرانده؛ ۲. خاک پاتم و مخروط؛ ۳. خاک نمخانه و کازاگرانده؛ ۴. خاک نمخانه و مخروط) [۱۲]

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی با توجه به مقدار تفاوت ضریب تغییرات بین دو روش می‌توان گفت استفاده از روش مخروط نفوذ دقیق‌تر از روش کازاگرانده است و به تجربهٔ کمتری نیاز دارد. همچنین در روش کازاگرانده علاوه بر وجود واریانس نسبتاً بالا در نتایج مربوط به یک فرد (نتایج این پژوهش)، واریانس در نتایج مربوط به افراد یا آزمایشگاه‌های متفاوت [۱۱] نیز وجود دارد که ضرورتِ احتیاط در به‌کار بردن نتایج این روش به‌ویژه در اعداد مرزی را نشان می‌دهد. گفتنی است که قیمت دستگاه مخروط نفوذ در مقایسه با کازاگرانده با موتور الکتریکی تقریباً ۱/۵ برابر و قیمت دستگاه کازاگرانده دستی حدود یک‌سوم دستگاه مخروط نفوذ است (در تولیدهای ایرانی). از طرفی استفاده از روش کازاگرانده نیاز به تکرار، دقت، و زمان بیشتری برای تعیین حد روانی خاک دارد؛ به‌ویژه در زمانی که در تکرار اول رطوبت خاک کمتر یا بیشتر از حد مورد قبول باشد (بیرون از دامنهٔ ۱۵ تا ۳۵ ضربه) و خالی‌کردن، تغییردادن رطوبت، و پرکردن دوبارهٔ کاسه ضروری باشد. نکتهٔ دیگر اینکه دستگاه مخروط نفوذ علاوه بر تعیین حد روانی کاربردهای دیگری چون اندازه‌گیری قیر نیز دارد که ماهیت چندکاربردی به آن می‌دهد. در هر حال چون شناسایی کلاسهٔ خاک جنگل تأثیر زیادی بر موفقیت مراحل گوناگون جاده‌سازی مانند تعیین رطوبت بهینه، انتخاب روش مناسب تثبیت، تعیین قابلیت ترافیک‌پذیری، پیش‌بینی رفتار در یخبندان، و غیره دارد، پیشنهاد می‌شود در صورت امکان از دستگاه مخروط نفوذ استفاده شود و در صورت در دسترس نبودن آن و استفاده از دستگاه کازاگرانده، سعی شود قبل از انجام‌دادن آزمایش‌های اصلی چند آزمایش تمرینیِ اولیه برای کسب تجربه انجام گیرد یا شخص باتجربه‌ای بر روند کار نظارت کامل داشته باشد.

Archive of SID

www.SID.ir

References

[1]. Ebnjalal, R., and Bajestan, S.B. (2004). *Theoretical and Practical Principles of Soil Mechanics*. Shahid Chamran University Press. 4th Ed. Ahvaz. 816 pp.

[2]. Rahimi, H. (2005). *Soil Mechanics*. Science and Technology Press. 1th Ed. Tehran. 624 pp.

[3]. Behnia, K., and Tabatabaei, A.M. (2007). *Soil Mechanics*. University of Tehran Press. 12th Ed. Tehran, 500 pp.

[4]. Tabatabaei, A.M. (2010). *Road Pavement. Center for Academic Publishing*. 8th Ed. Tehran. 500pp.

[5]. Majnounian, B., and Sadeghi, R. (2005). Determination of optimum lime percent content for forest road soils stabilization and treatment in Namkhaneh District of Kheiroodkenar Research Forest. Iranian Journal of Natural Resources, 57(4): 653-673.

[6]. Majnounian, B., Shoja, R., and Sobhani, H. (2008). Study of mechanical characteristics of the forest soil in Gorazboon district. Kheyrood kenar forest, to be used in road construction and harvesting operations. Iranian Journal of Natural Resources, 60(1): 537-544.

[7]. Abdi, E., Majnonian,.B Rahimi, H., Zobeiri, M., Mashayekhi, Z., and Yosefzade, .H (2010). A comparison of root distribution of tree hardwood species grown on a hillside in the caspian forest Iran. Journal of Forest Research, 15,15,107-99.

[8]. Estabragh, A.R., Beytolahpour, I., and Javadi, A.A. (2011). Effect of resin on the strength of soil-cement mixture. Journal of material in Civil Engineering, 23(7), 969-976

[9]. Estabragh, A.R., Namdar, P., and Javadi, A.A. (2012). Behavior of Cement-stabilized clay reinforced with nylon fiber. Geosynthetic International, 19(1): 85-92.

[10]. Estabragh, A.R., Pereshkafti, M.R.S., Parsaei, B., and Javadi, A.A. (2013). Stabilized expansive soil behavior during wetting and drying. International Journal of Pavement Engineering, 14(4): 418-427.

[11]. Sherwood, P.T. (1970). The reproducibility of the results of soil classification and compaction tests. Road Research Laboratory Report No. LR 339.

[12]. Das, B.M. (1983). *Advanced Soil Mechanic*. Mc Graw Hill. NewYork. 450 pp.

[13]. Clayton, C.R., Matthews, M.C., and Simons, N.E. (1995). *Site Investigation*. Second edition. 250 pp.

Archive of SID

www.SID.ir