

پدیده واگرایی فیزیکی در خاکهای غیر چسبنده و معیارهای ارزیابی آن

حسن رحیمی^۱، حسین داورزنی^۲ و نادر عباسی^۳

۱، ۲، ۳، استاد، دانشجوی سابق کارشناسی ارشد و دانشجوی دوره دکتری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران
تاریخ پذیرش مقاله ۸۲/۱۱/۱۵

خلاصه

واگرایی فیزیکی پدیده‌ای است که طی آن خاکهای غیر چسبنده بدلیل ماهیت فیزیکی ذراتشان در اثر تماس با آب بصورت شناور در آمده و توسط نیروی حاصل از جریان آب از محیط خارج می‌گردند. این پدیده از جمله مسائلی است که در اثر بی توجهی و یا عدم شناخت آن می‌تواند سازه‌ها و ابنیه‌های ساخته شده بر روی چنین خاکهایی را تهدید نماید. بدلیل گستردگی و پراکنش این نوع خاک در بسیاری از مناطق ایران و پتانسیل زیاد احداث سازه‌های آبی در این مناطق، تحقیق حاضر انجام شد تا پتانسیل واگرایی فیزیکی و فرسایش درونی خاکهای غیر چسبنده و عوامل مؤثر بر آن در دو مطالعه موردی دشت ساوه و استان خوزستان را مورد بررسی قرار دهد. برای انجام این تحقیق ابتدا نمونه‌های ماسه‌ای مختلفی تهیه شده و مشخصات فیزیکی و پتانسیل واگرایی آنها تعیین گردیدند. نمونه‌های دیگری نیز با اضافه کردن خاک چسبنده ریزدانه به خاکهای واگرا برای تعیین محدوده دانه‌بندی نمونه‌های تثبیت شده تهیه شدند. آزمایشهای شناسایی شامل دانه‌بندی، تراکم، حدود آتربرگ و آزمایش ارزیابی واگرایی بین هول بر روی کلیه نمونه‌ها مطابق استاندارد انجام گرفت. بر اساس این مطالعات، محدوده دانه‌بندی خاکهای دارای پتانسیل واگرایی فیزیکی تعیین و دو عامل مهم و تأثیرگذار بر درجه واگرایی فیزیکی شامل مقدار درصد وزنی و خمیرایی بخش ریزدانه خاک و همچنین قطر ذرات ماسه مشخص گردیدند. این بررسی‌ها نشان داد که هرچه درصد وزنی و خمیرایی بخش ریزدانه خاک بیشتر باشد از درجه واگرایی فیزیکی کاسته می‌شود. بر اساس تأثیر متقابل این دو پارامتر نموداری برای ارزیابی پتانسیل واگرایی فیزیکی پیشنهاد گردید. در این مطالعه آزمایش دیگری بر اساس زمان لازم برای وارفتگی نمونه متراکم شده استاندارد، درون آب انجام پذیرفت. این آزمایش شبیه آزمایش کرامب می‌باشد با این تفاوت که نتایج آن براحتی بصورت کمی قابل ارزیابی است.

واژه‌های کلیدی: واگرایی، واگرایی فیزیکی، خاکهای غیر چسبنده، آبستگي، ساوه، خوزستان

مقدمه

خاک‌های مشکل آفرین^۱ بعنوان یکی از عوامل تخریب بناهای خاکی، شاخه‌ای از علم مکانیک خاک را بوجود آورده است و خاکهای واگرا^۲ یکی از این نوع خاکها می‌باشند که در سازه‌های آبی - خاکی نظیر سدهای خاکی و کانال‌های آب منشاء صدمات بسیاری بوده‌اند.

واگرایی پدیده‌ای است که طی آن خاک در اثر تماس با آب بصورت شناور در آن در آمده و توسط نیروی حاصل از جریان آب از محیط خارج میگردد. این پدیده میتواند ماهیت فیزیکی- شیمیایی (خاک رس) و یا ماهیت فیزیکی (ماسه ریز و سیلت درشت غیر چسبنده) داشته باشد. فرسایش ذرات رسی، بر اثر پدیده واگرایی ناشی از فزونی نیروهای دافعه بین ذرات بر نیروی جاذبه آنها میباشد و انتقال ذرات در ماسه‌های ریزدانه بر اثر عدم چسبندگی و ریز بودن آنها صورت می‌گیرد. این عمل باعث

1. Difficult Soils
2. Dispersive Soils

ایجاد فرسایش درونی در خاک گردیده و نهایتاً منجر به تخریب سازه‌های مجاور خاک می‌شود.

واگرایی شیمیایی پدیده شناخته شده‌ای می‌باشد و امروزه در طراحی اکثر پروژه‌های عمرانی مورد توجه و ارزیابی قرار می‌گیرد ولی پدیده واگرایی فیزیکی از جمله مسائلی است که در اثر بی‌توجهی و یا عدم شناخت آن می‌تواند سازه‌ها و ابنیه‌های ساخته شده بر روی چنین خاک‌هایی را تهدید نماید. گزارش‌های متعددی وجود دارند که نشان می‌دهند کانال‌های آبیاری احداث شده بر روی خاک‌های غیر چسبنده در اثر فرسایش درونی تخریب گشته‌اند. از جمله این موارد می‌توان به تخریب پوشش بتنی کانال اصلی ساوه و کانالهای پروژه شهید چمران اهواز اشاره کرد.

با توجه به پراکنش و گستردگی این نوع خاک در بسیاری از مناطق جهان و بویژه ایران از جمله در استان‌های خوزستان، کرمان، سیستان و بلوچستان، یزد، جنوب خراسان و مرکزی (ساوه و اراک) و پتانسیل زیاد احداث سازه‌های آبی در این مناطق، شناخت و بررسی خواص این نوع خاک‌ها ضروری می‌باشد.

در این تحقیق پتانسیل واگرایی و فرسایش درونی خاک‌های غیر چسبنده و عوامل مؤثر بر آن مورد ارزیابی عملی قرار گرفته است. در این راستا اندازه، درصد و یکنواختی ذرات ماسه و همچنین خمیرائی بخش ریزدانه خاک، درجه تراکم‌پذیری و عوامل مؤثر بر میزان واگرایی فیزیکی و محدوده دانه‌بندی خاک‌های حساس به این نوع واگرایی تعیین گردیده است.

در مورد واگرایی شیمیایی^۱ خاک‌ها تاکنون تحقیقات وسیعی در سطح جهان صورت گرفته و روش‌های فیزیکی و شیمیایی مختلفی برای شناسایی آنها ابداع گردیده است. با اینکه اکثر دانشمندی که در مورد خاک‌های واگرا تحقیق نموده‌اند به مورد فیزیکی و مکانیکی واگرایی خاک (واگرایی فیزیکی^۲) اشاره داشته‌اند ولی متأسفانه تاکنون مطالعه جامعی در مورد چگونگی و علت واگرایی این خاک‌ها، طبقه‌بندی و ارائه معیار مناسب جهت شناسایی آنها انجام نشده است.

مسئله خاک‌های واگرا قبل از آنکه برای مهندسان راه و ساختمان مطرح گردد، سالها برای دانشمندی که خاک را از دیدگاه کشاورزی می‌نگریسته‌اند مطرح بوده است (۸).

از دیر باز، در آن دسته از زمین‌های زراعی که قشر رویی خاک، رس و واگرا بوده است، زمین بر اثر شسته شدن خاک و در نتیجه ایجاد خلل و فرج و حفره‌های بزرگ، بشدت آسیب می‌دیده و زراعت در آن غیر ممکن می‌گشته است (۵).

نخستین بار، میدلتون (۱۹۳۰) پدیده واگرایی را یکی از عوامل مؤثر در فرسایش خاک‌های ریزدانه معرفی کرده و بالا بودن درصد املاح سدیم را در خاک‌های واگرا یکی از مهمترین ویژگی‌های آنها دانسته است. در سالهای ۱۹۳۵ تا ۱۹۳۸ فولک نیز واگرایی خاک‌ها را دلیل اصلی بسیاری از خرابی‌هایی دانست که در سدهای خاکی کوچک، بندها و خاکریزهای طراحی شده در سازمان حفاظت خاک آمریکا مشاهده شده بود (۸). این سدها عموماً پس از اولین آبیگری خراب شده بودند (۵).

در خلال سالهای ۱۹۶۰ تا ۱۹۷۰، تحقیقاتی که اغلب در استرالیا و بر روی علل تخریب سدهای خاکی کوتاه انجام گرفت به شناخت بهتر رسهایی که بسهولت شسته می‌شوند^۳ منجر گردید (۱۳).

وود و ایکسان (۱۹۶۵) پدیده رگاب را در سدهای خاکی کوتاه با در نظر گرفتن اثر نوع خاک، نسبت جذب سدیم (SAR)، میزان املاح آب موجود در خاک و انجام آزمایشهایی بر روی نمونه‌هایی از خاک‌های سدهای تخریب شده بر اثر این پدیده مورد بررسی قرار دادند. آنها در بررسی‌های خود به این نتیجه رسیدند که سدهای خاکی مورد مطالعه از رس و واگرا ساخته شده و ضمن جریان آب در خلل و فرج فراوان آنها، ذرات خاک در آب شناور گردیده و شسته شده‌اند (۹).

اینگل و همکاران (۱۹۶۷) نتایج بررسی‌های خود را در زمینه نحوه تأثیر شیمی آب و خاک در پدیده واگرایی و همچنین تأثیر درزها و ترکها در آبشستگی‌های داخلی عرضه کردند و با توجه به این نتایج، حدود مقدار سدیم تبادلی را در خاک‌های واگرا تعیین نمودند (۱۱).

شرارد و همکاران (۱۹۷۲) با تعیین میزان املاح موجود در خاک (به‌خصوص درصد سدیم)، تلاش نمودند تا نتایج این

1. Chemical Dispersivity
2. Physical Dispersivity

پس از خشک شدن با استفاده از الکهای استاندارد شماره‌های ۱۰، ۳۰، ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰ نمونه‌های جدیدی با دانه بندی و ضریب یکنواختی متفاوت بطور مصنوعی تهیه گردیدند. جدول ۱ محدوده قطر ذرات و مشخصات این نمونه‌ها را نشان می‌دهد.

جدول ۱- مشخصات نمونه‌های ماسه ساخته شده

شماره نمونه	محدوده قطر ذرات (مانده بین الکهای)	ضریب یکنواختی C_u	ضریب انحناء C_c	طبقه بندی
A	۱۰۰-۲۰۰	۱/۴۱	۰/۹۳	SP
B	۵۰-۱۰۰	۱/۴۱	۰/۹۳	SP
C	۳۰-۵۰	۱/۴۲	۰/۹۳	SP
D	۱۰-۳۰	۱/۸۰	۰/۸۹	SP
AB	۵۰-۲۰۰	۲/۰۰	۰/۸۷	SP
ABC	۳۰-۲۰۰	۲/۸۰	۰/۸۲	SP
ABCD	۱۰-۲۰۰	۴/۰۰	۰/۷۶	SP

انتخاب نمونه خاکهای اضافه شونده به ماسه

از آنجا که میزان قسمت ریزدانه (رس و سیلت) در افزایش چسبندگی و کنترل واگرایی فیزیکی نقش تعیین کننده دارد، در این تحقیق سعی گردید تا با انتخاب خاکهای ریزدانه مختلف با خمیرائی متفاوت و اضافه کردن آنها به خاکهای ماسه‌ای، معیارهای کنترل واگرایی از این نظر مورد ارزیابی قرار گیرد.

انتخاب نمونه خاکهای اضافه شونده برای این منظور نیاز به دقت خاصی دارد. این خاکها نباید خود از نوع خاکهای واگرا با ماهیت شیمیایی باشند تا تاثیر پارامترهای شیمیایی بر آزمایشهای واگرایی فیزیکی از بین برود. همچنین خاکهائی با دامنه خمیرائی مختلف مورد نیاز می‌باشد تا تأثیر روند تغییرات آن بر روی واگرایی ماسه‌ها نیز بررسی گردد. با توجه به این نکات سه نمونه خاک با دامنه خمیرائی‌های مختلف مطابق جدول ۲ برای اضافه کردن به نمونه‌های ماسه انتخاب گردیدند.

بر اساس معیارهای آزمایش واگرایی ارائه شده توسط شرارد و همکاران کلیه نمونه خاکهای اضافه شونده براساس آزمایش پین هول در گروه NDI یا بسیار مقاوم به فرسایش و بر اساس معیار شیمیائی شرارد نیز جزء خاکهای غیر واگرا طبقه بندی شدند. بنابراین عاملی که باعث تثبیت نمونه‌های ماسه خواهد شد ایجاد چسبندگی بین ذرات بر اثر افزایش خاکهای ریز دانه

آزمایشها را با خرابیهای مشاهده شده ارتباط دهند. آنها نحوه تاثیر درزها و ترکها را نیز در خرابیهای مشاهده شده بررسی کرده نتایج تحقیقات خود را در سال ۱۹۷۲، در دو مقاله منتشر نمودند.

در سال ۱۹۷۵، آرولاناندن دستگاهی را جهت ارزیابی پدیده واگرایی و آبشستگی های سطحی ناشی از آن در خاکهای رسی طراحی و عرضه کرد (۹). پس از آرولاناندن، شرارد نیز در سال ۱۹۷۶ آزمایش دیگری را به منظور اندازه گیری مستقیم میزان فرسایش پذیری خاکهای ریزدانه ابداع نمود (۱۴). از آزمایش مذکور که به نام آزمایش پین هول معروف گردیده، تاکنون در بسیاری از پروژه‌ها استفاده شده است و در حال حاضر، این آزمایش معتبرترین و در عین حال، متداول ترین آزمایش مورد استفاده در ارزیابی پتانسیل واگرایی خاکهای مورد استفاده ساخت سازه‌های هیدرولیکی و بویژه سدهای خاکی به شمار می‌رود.

روش تحقیق و فنون مورد استفاده

تاکنون دستگاه و یا روش خاصی برای تعیین میزان واگرایی فیزیکی خاکها ابداع نگردیده است. اما دستگاه آزمایش پین هول بدلیل ارزیابی مستقیم واگرایی، کارائی لازم را برای تعیین واگرایی فیزیکی نیز دارا می‌باشد. آزمایش کرامب نیز با تغییراتی در معیارهای آن می‌تواند بعنوان روشی مناسب و سریع برای ارزیابی واگرایی فیزیکی مورد استفاده قرار گیرد. در این تحقیق با اصلاحاتی که در شیوه انجام آزمایشهای فوق صورت گرفته است، میزان واگرایی فیزیکی خاکهای غیر چسبنده ارزیابی گردید.

تهیه نمونه

تهیه نمونه‌های ماسه با محدوده دانه‌بندی‌های مختلف

برای ارزیابی تاثیر قطر و یکنواختی ذرات ماسه بر درجه واگرایی فیزیکی، لازم بود نمونه‌های ماسه با قطر و ترکیب دانه‌بندی‌های مختلف ساخته شود. با توجه به مشاهده بیشترین اثر واگرایی فیزیکی در نمونه‌های ماسه‌ای یکنواخت در این تحقیق سعی شده است تا نمونه‌های یکنواخت با دانه‌بندی معین تهیه و مورد ارزیابی قرار گیرد. بنابراین مقداری رسوبات ماسه‌ای طبیعی برای تهیه نمونه‌های ماسه‌ای با محدوده دانه بندی‌های مختلف انتخاب شد. نمونه مذکور ابتدا شسته شده و

به نمونه‌های ماسه می‌باشد و طبیعتاً مشخصات و مقدار قسمت ریزدانه خاک بر میزان چسبندگی حاصله و چگونگی مقاومت به واگرایی دارای اثر تعیین کننده خواهد بود.

جدول ۲- مشخصات خاکهای اضافه شونده به ماسه های واگرا

شماره نمونه	درصد ماسه	درصد سیلت رس	درصد حد روانی خمیری	براساس سیستم طبقه بندی متحد(یونیفاید)	
				نمایه طبقه بندی	نمایه طبقه بندی
۱	۱۵	۶۵	۲۰	۳۵	۱۷
۲	۱۲	۶۳	۲۵	۴۳	۲۱
۳	۸	۶۲	۳۰	۵۵	۳۱

تهیه نمونه‌های مصنوعی (مخلوط ماسه و خاک ریزدانه)

نمونه ماسه‌های A، B و C که در آزمایش پین هول شدیداً واگرا بودند، انتخاب و با درصدهای وزنی مختلف خاکهای ریزدانه، مخلوط گردیدند. این عمل تا تثبیت کامل نمونه‌ها در آزمایش پین هول و تحت حداکثر ارتفاع هیدرولیکی ۱۰۲۰ میلی‌متر ادامه پیدا کرد. بدین ترتیب ۴۴ نمونه تهیه و آماده آزمایش‌های شناسائی گردیدند.

تهیه نمونه‌های طبیعی

برای بررسی کارائی معیارهای پیشنهادی تحقیق حاضر، در مورد ارزیابی واگرایی فیزیکی، دو سری نمونه طبیعی نیز تهیه شد و مشخصات فیزیکی کلیه نمونه‌ها تعیین گردید. سری اول از قسمت‌های تخریب شده کانال اصلی انتقال آب سد ساوه انتخاب شدند (سه نمونه) و سری دوم نمونه‌ها از محل پروژه کانال انتقال آب شهید چمران اهواز (شش نمونه) تهیه شد که مهندسین مشاور در مورد مشکل آفرین بودن خاکهای این منطقه مطمئن نبوده‌اند.

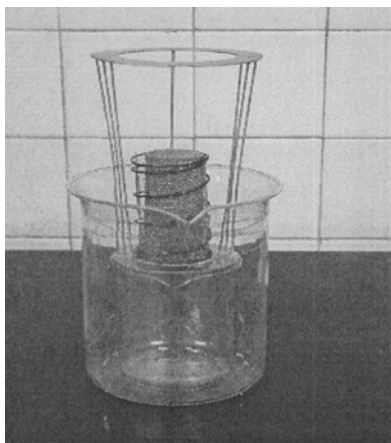
آزمایش پین هول برای ارزیابی واگرایی فیزیکی

دستگاه پین هول واگرایی خاک را بطور مستقیم ارزیابی می‌کند و بعنوان معیاری فیزیکی برای سنجش میزان واگرایی مورد استفاده می‌باشد. در این تحقیق آزمایش پین هول مطابق با استاندارد ASTM-D4647-87 بر روی کلیه نمونه‌ها انجام پذیرفت اما در نمونه‌های ماسه سوراخ وسط نمونه‌ها به سختی پایدار می‌ماند و با وجود سوراخ هم، آب به تمام نمونه وارد

می‌شد. در اولین آزمایش‌هایی که بر روی نمونه‌های ماسه انجام شد، مشاهده گردید که ابتدای نمونه توسط جریان آب سریعاً تخریب می‌شود و آب به تمام نمونه وارد می‌گردد. برای رفع این مشکل سیستمی طرح گردید تا آب فقط از سوراخی به قطر ۱ میلیمتر از وسط مخروط هادی جریان که در اطراف کاملاً آب‌بندی شده عبور نماید. بدین ترتیب هم از آبشستگی ابتدای نمونه جلوگیری شد و هم اینکه آب اجباراً در مسیری در وسط نمونه هدایت گردید. شکل ۱ مخروط هادی اصلاح شده برای انجام آزمایش پین هول بر روی نمونه‌های ماسه‌ای و جایگاه این مخروط را درون قالب دستگاه پین هول نشان می‌دهد.

پس از اصلاح دستگاه پین هول، آزمایش بر روی کلیه نمونه‌های ماسه‌ای انجام گرفت اما بدلیل ماهیت فیزیکی واگرایی، کدورت آب خروجی نمی‌توانست معیار سنجش قرار گیرد. زیرا ماسه‌های مورد آزمایش شسته شده و تمیز بودند. کنترل قطر نهائی سوراخ نیز بدلیل تخریب کامل نمونه‌ها غیر ممکن می‌نمود و دبی خروجی نیز بدلیل اینکه آب خروجی فقط از سوراخ وسط نمونه عبور نمی‌کرد نمی‌توانست معیار مناسبی برای ارزشیابی شدت واگرایی باشد. لذا در این تحقیق، آبشستگی شدید و تخریب کامل نمونه بعنوان معیار ارزیابی واگرایی، مورد استفاده قرار گرفت. بنابراین در انجام آزمایش بر روی کلیه نمونه‌ها، تنها با مشاهده تغییرات ناگهانی دبی خروجی و مشاهده عینی حرکت ذرات درون قالب دستگاه پین هول و نیز مشاهده تخریب نمونه، شدت واگرایی فیزیکی نمونه‌های ماسه ارزیابی گردید. در نمونه‌های با پتانسیل بالای واگرایی فیزیکی در همان لحظات ابتدائی شروع آزمایش و تحت ارتفاع هیدرولیکی ۵۰ میلی‌متر، مهاجرت شدید ذرات ماسه شروع شده و در مدت کوتاهی نمونه کاملاً تخریب و ذرات با سرعت خیلی زیاد بدرون ظرف تخلیه آب خروجی منتقل گردیدند. در این حالت سرعت و شدت آبشستگی بقدری زیاد بود که در مدت بسیار کوتاهی نمونه کاملاً تخریب شده و قسمت بالای نمونه کاملاً شسته و آب روی قسمت باقیمانده نمونه جریان پیدا کرد. برای طبقه بندی و تشخیص شدت واگرایی از ارتفاع هیدرولیکی که در آن ذرات شروع به حرکت نموده و بعد از مدت کوتاهی منجر به تخریب نمونه شده‌اند، استفاده گردید. پس از این

می‌گیرد از نوع تور سیمی شماره ۴ انتخاب شد تا بزرگترین ذرات ماسه اجازه عبور و سقوط داشته باشند. در هنگام استقرار نمونه در ظرف آب بگونه‌ای عمل شد که نمونه فقط تا نصف ارتفاع درون آب قرار گیرد. با قرار دادن نمونه درون جایگاه استوانه‌ای ساخته شده از توری سیمی و قرار دادن مجموعه فوق درون بشر حاوی ۱۰۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر (شکل ۲-الف)، قسمتی از نمونه که داخل آب قرار دارد از پائین شروع به وارفتن و تخریب می‌نماید. با گذشت زمان، نمونه به سمت پائین حرکت می‌کند تا اینکه تدریجا قسمت فوقانی نمونه نیز داخل آب شده و کاملاً تخریب گردد (شکل ۲-ب). در آزمایش پیشنهادی زمان وارفتگی کامل نمونه یعنی زمانی که کلیه ذرات نمونه داخل آب، وارفته و تخریب شوند، با دقت ثانیه اندازه‌گیری می‌شود.



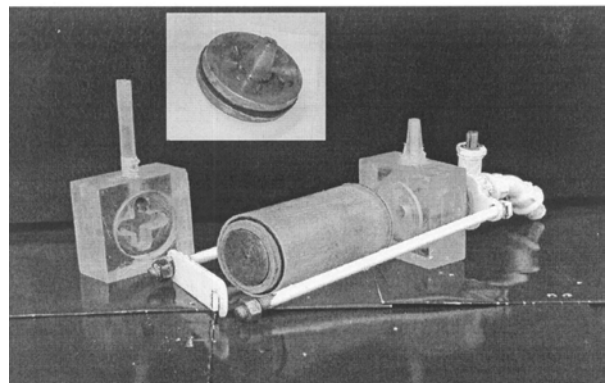
الف) نمونه قبل از آزمایش وارفتگی



ب) نمونه کاملاً وارفته (پس از آزمایش)

شکل ۲- وسایل آزمایش وارفتگی

مرحله با افزایش درصدهای وزنی خاک ریزدانه با خمیرائی مختلف سعی شد تا نمونه‌های ماسه واگرا، تثبیت گردند. تهیه نمونه و انجام آزمایش پین هول روی آن تا تثبیت کامل ماسه مورد آزمایش تحت ارتفاع هیدرولیکی ۱۰۲۰ میلیمتر ادامه پیدا کرد.



شکل ۱- مخروط هادی جریان اصلاح شده برای نمونه‌های ماسه در دستگاه پین هول

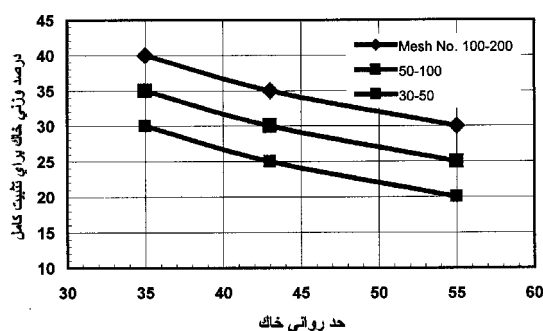
آزمایش وارفتگی^۱

این آزمایش که در تحقیق حاضر ابداع و پیشنهاد گردیده، در واقع نوعی آزمایش کرامب است با این تفاوت که در آن نمونه‌ای با مشخصات تراکمی و ابعاد معین بتدریج داخل آب شده و تخریب می‌شود. درجه کدورت آب که در آزمایش کرامب معیار اصلی سنجش واگرایی شیمیایی می‌باشد در ارزیابی واگرایی فیزیکی نمی‌تواند مورد استفاده واقع شود. در آزمایش پیشنهادی، ابتدا نمونه با درصد رطوبت بهینه درون قالب تراکم هاروارد متراکم می‌گردد. سپس نمونه متراکم شده (با قطر ۳۵ و طول ۷۰ میلیمتر) که دارای حداکثر وزن واحد حجم خشک می‌باشد توسط دستگاه مخصوص از درون قالب خارج و پس از خشک شدن آماده آزمایش وارفتگی می‌گردد. بدلیل تخریب سریع نمونه‌های ماسه‌ای در اثر تماس با آب در آزمایش کرامب، در روش پیشنهادی تمهیدات خاصی صورت پذیرفت تا نمونه بتدریج وارد آب شود. بدین منظور نمونه با یک صفحه تورسیمی شماره ۲۰ پوشش و توسط پایه‌هایی که از واژگون شدن نمونه جلوگیری می‌کنند تثبیت گردید. سطحی که نمونه روی آن قرار

تثبیت کننده، افزایش یابد چسبندگی بین ذرات ماسه بیشتر و پتانسیل واگرایی فیزیکی کمتر می شود.

نمودار ارائه شده در شکل ۴ تغییرات حد روانی خاک ریزدانه اضافه شونده در مقابل درصد وزنی خاک ریزدانه مورد نیاز برای تثبیت کامل هر یک از انواع ماسه های واگرا را نشان می دهد.

با استفاده از این منحنی می توان درصد وزنی خاک ریزدانه مورد نیاز (با حد روانی مشخص) را که باید به ماسه با محدوده های دانه بندی معین اضافه کرد تا خاک مورد نظر مشکل واگرایی فیزیکی نداشته باشد، بدست آورد.



شکل ۴- تغییرات درصد وزنی خاک تثبیت کننده در مقابل حد روانی خاک

بعنوان مثال نمونه ماسه بین الکهای ۵۰-۳۰ (ماسه شماره C) با ۳۰ درصد وزنی خاک ریزدانه با حد روانی ۳۵ درصد تثبیت گردید، در حالیکه همین ماسه با ۲۰ درصد خاک ریزدانه ای که دارای حد روانی ۵۵ درصد است تثبیت شد.

ارتباط واگرایی فیزیکی با قطر ذرات ماسه

نتایج آزمایش های پین هول نشان داد که هر چه اندازه قطر ذرات بزرگتر باشد، نمونه ماسه واگرا با مقدار درصد وزنی کمتری خاک ریزدانه تثبیت می شود، بگونه ای که ماسه شماره A (مانده بین الکهای شماره ۲۰۰-۱۰۰) با افزایش ۳۵ درصد وزنی خاک ریزدانه شماره ۲ (حد روانی ۴۳ درصد) تثبیت شد و ماسه C (مانده بین الکهای ۵۰-۳۰)، که قطر میانگین ذرات آن تقریباً چهار برابر قطر میانگین ماسه A می باشد، با ۲۵ درصد وزنی از همان خاک ریزدانه تثبیت گردید. بنابراین نتیجه می شود که هر چه قطر ذرات ماسه بیشتر باشد، نمونه ماسه در آزمایش پین هول با درصد وزنی خاک ریزدانه کمتری تثبیت می شود. همانطور که نمودار شکل شماره ۴ نشان می دهد، برای

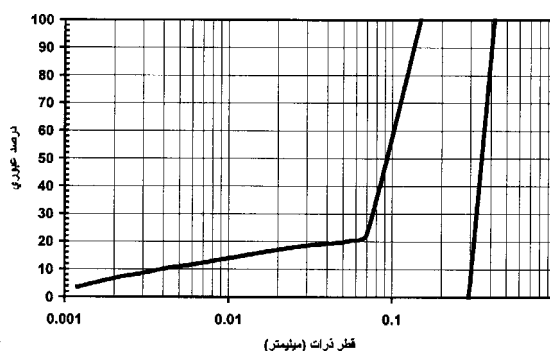
این آزمایش بر روی کلیه نمونه های تهیه شده در آزمایشگاه و نمونه های طبیعی انجام گرفت. با استفاده از نتایج این آزمایش رابطه زمان وارفتگی نمونه ها با شدت واگرایی فیزیکی ارزیابی شد.

نتایج

محدوده دانه بندی خاکهای دارای واگرایی فیزیکی

با رسم منحنی دانه بندی کلیه نمونه های تهیه شده، که در آزمایش پین هول دارای پتانسیل واگرایی فیزیکی بودند بر روی یک نمودار، پوش منحنی خاک های حساس به واگرایی تهیه و مرزهای این محدوده بعنوان حد بالا و پائین منحنی های دانه بندی خاکهای مستعد واگرایی فیزیکی مطابق شکل شماره ۳ معرفی گردید.

بدین ترتیب و بر اساس تحقیقات انجام شده، چنانچه منحنی دانه بندی خاکی در محدوده مشخص شده در شکل مذکور قرار گیرد، آن خاک دارای پتانسیل واگرایی فیزیکی خواهد بود.



شکل ۳- محدوده دانه بندی پیشنهادی برای خاکهای حساس به واگرایی فیزیکی

ارتباط واگرایی فیزیکی با مقدار درصد وزنی و حد روانی بخش ریزدانه خاک

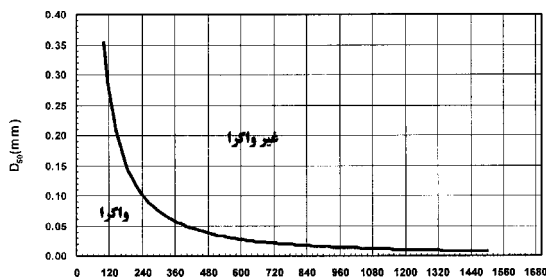
نتایج آزمایش پین هول نشان داد که با افزایش درصد وزنی خاک ریزدانه اضافه شده به نمونه ماسه واگرا، از درجه واگرایی فیزیکی کاسته می شود. با بیشتر شدن حد روانی خاک ریزدانه اضافه شونده به نمونه ماسه های واگرا، مقدار درصد وزنی کمتری خاک ریزدانه برای تثبیت نمونه های واگرا مورد نیاز بوده و ثابت شد که این قاعده برای هر نوع ماسه با قطر مشخص صادق است. بنابراین هر چه مقدار و خمیرایی بخش ریزدانه خاک

خاکهای واگرایی فیزیکی، ناحیه C منطقه بینابینی و ناحیه B مربوط به خاکهای غیر واگرایی فیزیکی می باشد (شکل ۵).

ارتباط واگرایی فیزیکی با زمان وارفتگی

نتایج آزمایش وارفتگی نشان داد که با افزایش درصد وزنی و خاصیت خمیرائی خاک ریزدانه اضافه شونده به نمونه های ماسه، زمان وارفتگی افزایش می یابد. همچنین در شرایط ثابت بودن خمیرائی و درصد وزنی بخش ریزدانه، با افزایش قطر ماسه، زمان وارفتگی کاهش می یابد.

برای بدست آوردن رابطه واگرایی فیزیکی با زمان وارفتگی، نمودار زمان وارفتگی کلیه نمونه های مخلوط ماسه و خاک (۴۴ نمونه) و نمونه های خاک ریزدانه (۳ نمونه) در مقابل D_{50} رسم گردید. نمودار شکل ۶ مرز نمونه های واگرا و غیر واگرا را نشان می دهد. کلیه نمونه های واگرا در سمت چپ و نمونه های غیر واگرا در سمت راست این منحنی واقع می شوند. از این نمودار می توان برای ارزیابی پتانسیل واگرایی فیزیکی استفاده نمود بطوریکه اگر نقطه مربوط به زمان وارفتگی در مقابل D_{50} خاکی در سمت چپ این منحنی واقع شود دارای پتانسیل واگرایی فیزیکی ارزیابی می شود.



زمان وارفتگی (ثانیه)

شکل ۶- نمودار پیشنهادی ارزیابی پتانسیل واگرایی فیزیکی بر اساس زمان وارفتگی

ارزیابی صحت معیارهای ارائه شده

برای بررسی صحت معیارهای ارائه شده در مورد ارزیابی پتانسیل واگرایی فیزیکی، تعدادی نمونه های طبیعی مورد ارزیابی واگرایی قرار گرفتند. نتایج تجزیه شیمیائی و ماهیت ذرات نمونه ها نشان داد که این نمونه ها فاقد پتانسیل واگرایی شیمیائی هستند. لذا واگرایی فیزیکی آنها توسط معیارهای جدید ارزیابی گردید.

خاکی با حد روانی مشخص، مقدار درصد وزنی خاک ریزدانه برای تثبیت کامل ماسه ها بترتیب برای نمونه های A، B و C کاهش می یابد.

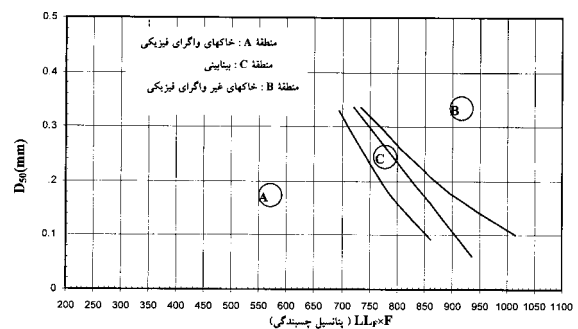
نمودار ارزیابی پتانسیل واگرایی فیزیکی

تاکنون این نتیجه حاصل شد که دو عامل مهم تأثیرگذار بر درجه واگرایی فیزیکی خاک و تثبیت آنها عبارتند از:

مقدار درصد وزنی و خمیرائی بخش ریزدانه خاک

قطر ذرات ماسه

در نهایت تأثیرمجموع دو عامل فوق بر درجه واگرایی فیزیکی تأثیرگذار است. در رابطه با عامل اول که در این تحقیق پتانسیل چسبندگی نامیده می شود، اثر آن بصورت حاصلضرب درصدوزنی بخش ریزدانه خاک (F) در حد روانی آن (LL_F) در نظر گرفته شد. همچنین از D_{50} بعنوان نماینده قطر متوسط ذرات استفاده گردید. سپس تغییرات پتانسیل چسبندگی کلیه نمونه ها در شرایط تثبیت کامل در مقابل D_{50} ، ترسیم گردید که نتیجه آن در شکل شماره ۵ ارائه گردیده است.



شکل ۵- نمودار پیشنهادی ارزیابی واگرایی فیزیکی

در این شکل منحنی های ترسیم شده مرز بین واگرایی و غیر واگرایی فیزیکی را نشان می دهند و این منحنی ها از چپ به راست به ترتیب مربوط به خاکهای ریزدانه اضافه شونده با حد روانی ۳۵، ۴۳ و ۵۵ درصد می باشند. نقاط مربوط به کلیه نمونه های با واگرایی فیزیکی تحت ارتفاعهای هیدرولیکی مختلف در سمت چپ و نقاط مربوط به موارد غیر واگرا در سمت راست این منحنی ها واقع می شوند. بدین ترتیب منحنی های حاصل از نقاط مربوط به نمونه های تثبیت شده را می توان بعنوان مرز واگرایی فیزیکی تعریف نمود. با عنایت به موارد ذکر شده نمودار پتانسیل چسبندگی ($LL_F \times F$) در مقابل D_{50} به سه ناحیه تقسیم می گردد. ناحیه A نشان دهنده

- ۲- نموداری برای ارزیابی پتانسیل واگرایی با استفاده از مشخصات بخش ریزدانه خاک پیشنهاد شد.
- ۳- آزمایش کرامب برای خاکهای غیر چسبنده تعمیم داده شد و نموداری برای ارزیابی پتانسیل واگرایی فیزیکی با استفاده از زمان وارفتگی پیشنهاد شد.
- ۴- گرچه معیارها و نمودارهای پیشنهادی این تحقیق کمک شایانی به ارزیابی پتانسیل واگرایی می‌نمایند ولی بدلیل پیچیدگی پدیده واگرایی، عموماً لازم است مجموعه‌ای از آزمایشها بر روی نمونه مورد بررسی انجام گرفته و قضاوت نهائی بر اساس مجموعه نتایج حاصله بعمل آید.
- ۵- خاکهای دارای پتانسیل واگرایی فیزیکی در آزمایش وارفتگی بسرعت تخریب می‌شوند، که این واکنش کمک زیادی برای شناسائی مقدماتی و سریع این خاکها در اختیار می‌گذارد.
- ۶- لازم است طرح فعلی دستگاه پین هول اصلاح گردد و یا دستگاه استاندارد ویژه‌ای برای ارزیابی پتانسیل واگرایی فیزیکی خاکها با استفاده از معیارهای استاندارد ساخته شود.
- ۸- تحقیقات گسترده‌تر و متمرکزی بر روی تثبیت بهینه و اقتصادی خاکهای ماسه‌ای صورت پذیرد.

سپاسگزاری

این مقاله مستخرج از طرح تحقیقاتی ارزیابی پتانسیل واگرایی فیزیکی در خاکهای غیر چسبنده مصوب دانشگاه تهران به شماره ۷۱۱/۲/۵۴۴ می‌باشد. مؤلفین بدینوسیله از حمایت مادی و معنوی معاونت محترم پژوهشی دانشگاه تهران و دانشکده کشاورزی تقدیر و تشکر می‌نمایند.

REFERENCES

- ۱- محدوده دانه‌بندی خاکهای حساس به واگرایی فیزیکی تعیین شد.
- ۲- دلفی، م. ۱۳۷۱. روشهای تشخیص رسهای واگرا در سازه‌های آبی و بررسی کارایی آنها در منطقه خوزستان. پایان نامه کارشناسی ارشد تاسیسات آبیاری، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران.
- ۳- رحیمی، ح. ۱۳۵۹. مکانیک خاک. انتشارات دانش و فن.
- ۴- رحیمی، ح. و ن. عباسی. ۱۳۸۱. تخریب پوشش کانالهای اصلی در خاکهای ماسه‌ای. مجله علوم کشاورزی ایران، جلد ۳۳، شماره ۴.
- ۵- رحیمی، ح. ۱۳۷۹. مسائل احداث کانالهای آبیاری در خاکهای نامتعارف، مجموعه مقالات کارگاه فنی ساخت کانالهای آبیاری، کمیته ملی آبیاری و زهکشی.
- ۶- فاخر، ع. و ف. عسگری. ۱۳۷۲. تورم و واگرایی خاکها از دید مهندس ژئوتکنیک. انتشارات دانشگاه تهران.
- ۷- مهندسین مشاور آب خاک تهران. ۱۳۸۰. بررسی مسائل مرتبط با تعویض خاک و اجرای فیلتر زیر پوشش بتنی کانال انتقال آب شهید چمران. گزارش فنی.

رسم منحنی‌های دانه‌بندی نمونه‌ها درون محدوده دانه‌بندی پیشنهادی خاکهای با پتانسیل واگرایی فیزیکی (شکل ۳) نشان داد که منحنی دانه‌بندی این خاکها در داخل محدوده مشخص شده قرار می‌گیرند لذا این نمونه‌ها از نظر فیزیکی واگرا تشخیص داده شدند.

بر اساس نمودار پیشنهادی ارزیابی واگرایی بر اساس پتانسیل چسبندگی، کلیه نمونه‌های تهیه شده از محل پروژه کانال انتقال آب شهید چمران اهواز، در منطقه A قرار گرفته و دارای پتانسیل واگرایی فیزیکی می‌باشند. نمونه‌های S2, S1 و S3 تهیه شده از محل‌های تخریب شده کانال اصلی انتقال آب سد ساوه نیز بترتیب در ناحیه‌های A, B و C قرار گرفته و بترتیب دارای پتانسیل واگرایی فیزیکی، پتانسیل واگرایی فیزیکی بینابینی و غیر واگرای فیزیکی ارزیابی شدند.

استفاده از نمودار زمان وارفتگی در مقابل D₅₀ نیز نتایج فوق را تصدیق نمود بطوریکه تمامی نمونه‌ها در قسمت چپ منحنی واقع شدند و واگرا هستند بجز نمونه S3 که بر روی خط واقع شده و غیر واگرای فیزیکی ارزیابی گردید. سپس آزمایش پین هول بر روی نمونه‌های مذکور انجام گردید که نتایج آزمایش پین هول بر روی این نمونه‌ها ارزیابی‌های فوق را تایید نمود.

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

در این تحقیق

8. ASTM. 1992. Standard Test Method for Identification and Classification of Dispersive Clay Soils by Pinhole Test, ASTM Designation D 4647-92.
9. Decker R. S. & L. P. Dunnigan. 1977. *Development and Use of the Soil Conservation Service Dispersion Test*, ASTM STP 623, PP.94-109.
10. Haeri M. Physico-Chemical Erosion of Natural and Compacted Earth Embankment, Unpublished Paper.
11. Ingles O. G. & G. D. Aitchison. 1967. *Soil- Water Disequilibrium as a Cause of Subsidence in Natural Soils and Earth Embankments*. International Symposium on Land Subsidence, Tokyo, AIHS Publication NO.89,VOL.2.
12. Sherard J. L. R. S. Decher, & N. L. Ryker. 1972. *Hydraulic Fracturing in Low Dams of Dispersive Clay*”, Proc. Of Speciality Conference on Performance of Earth and Earth-Supported Structures,ASCE, VOL. 1,Part 1, PP.653-689.
13. Sherard J. L. & R. S. Decker. 1972. *Piping in Earth Dams of Dispersive Clay*, Proc. Of Speciality Conf. On Performance of Earth Supported Structures , ASCE, VOL.1, Part 1, PP.584-626.
14. Sherard, J. L. & R. S. Decker. 1977. *Some Engineering Problems With Dispersive Clays*. ASTM STP 623 , PP.3-12.
15. Sherard, J. L., L. P. Dunnigan, & R. S. Decker. 1976. *Pinhole Test for Identifying Dispersive Soils*. Jr. Geotechnical Eng. Div. , ASCE, Vol. 102, No. GT1, Jan.

Physical Dispersivity Phenomenon and its Evaluation Criteria in Cohesionless Soils

H. RAHIMI¹, H. DAVARZANI² AND N. ABBASI³

1, 2, 3, Professor, Former Graduate Student and Ph. D. Student,
Faculty of Agriculture, University of Tehran, Karaj, Iran

Accepted Feb. 4, 2004

SUMMARY

Physical dispersivity is a phenomenon, which causes soil grains to be dispersed in presence of water and carried away by the flow. This phenomenon can cause many problems in hydraulic structures founded on the soils of such property. Many parts of the country may face this problem especially in places where wind blown sand and silt prevails. The main objective of this research is to investigate the dispersivity potential of such soils and to determine the parameters which have the most influence on the phenomenon. For the purpose of investigation, samples were taken from Saveh plain as well as Chamran project area in Khoozestan province. The samples were tested thoroughly for determination of their physical properties, including dispersivity. Some specimens were also prepared using physically dispersive soil plus cohesive soils to determine the grain size distribution range of the stabilized samples. All samples taken from the field as well as specimens made in the laboratory were tested for grain size distribution, compaction, and Atterberg limits as well as in pinhole apparatus. Based on the overall results, the two major factors affecting the dispersivity potential were found to be the portion by weight and plasticity of the fine grain material in the samples. The average size of the sand particles in the samples was also found to be an important factor regarding dispersivity. The greater the percentage of the finer portion of the soil and its plasticity, the less is the dispersivity potential. Based on these factors a relationship was found for evaluation of physical dispersivity potential. Another testing method was also developed based on the time necessary for collapse of a compacted, standard size specimen, which is placed in water. This experiment resembles the Crumb test somehow, but can be quantified easily.

Key words: Dispersivity, Physical dispersivity, Non-cohesive soils, Piping, Saveh, Khoozestan