

بررسی آزمایشگاهی شاخص‌های مکانیک خاک بر نفوذپذیری ناهمسانگرد مصالح درشت‌دانه غیریکنواخت: با تأکید بر دانه‌بندی، فاکتور شکل و تراکم

فاطمه پیشرو

گروه مهندسی سواحل بنادر و سازه‌های دریایی، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر

مرتضی بختیاری

گروه مهندسی رودخانه و سواحل، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر

نیما شهینی کرم‌زاده

گروه مهندسی رودخانه و سواحل، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر

تاریخ دریافت: ۹۵/۱۱/۱۱ تاریخ پذیرش: ۹۶/۱/۱۹

mortezabakhtiari@yahoo.com

چکیده

بررسی پارامترهای ژئوتکنیکی، یکی از مهمترین شاخص‌های مورد مطالعه در مباحث زمین شناسی مهندسی به شمار می‌رود. به همین جهت به منظور توسعه صنعتی و سازه‌ای، تهیه بانک جامع اطلاعاتی زمین شناسی مهندسی و ژئوتکنیک ضروری است. در این راستا، نفوذپذیری از مهمترین مشخصات فیزیکی خاک است که در مهندسی ژئوتکنیک استفاده شده است. نفوذپذیری خاک به دو عامل کلی بستگی دارد، یک عامل مشخصات خود خاک شامل فضای خالی خاک، زبری سطح ذرات جامد، درجه اشباع و عامل دیگر مشخصات سیالی (آب) است که از آن عبور می‌کند. به منظور انجام تحقیق حاضر، اقدام به طراحی و آزمایش دستگاهی برای اندازه‌گیری نفوذپذیری افقی و قائم در نمونه ذرات درشت دانه شده است. در تحقیق حاضر سه نمونه با دانه‌بندی غیر یکنواخت برای آزمایش انتخاب گردیده است. نتایج حاصل از تحقیق نشان می‌دهد میزان ناهمسانی نفوذپذیری بدست آمده برای نمونه‌های غیر یکنواخت در محدوده ۱/۳۲ تا ۳/۵ قرار دارد، نتیجه دیگر آنکه با افزایش ضریب یکنواختی میزان ناهمسانی نفوذپذیری کاهش می‌یابد. همچنین در نمونه‌های غیر یکنواخت با افزایش درصد ذرات ریز (ذراتی با قطر کوچکتر از ۴/۷۵ میلی‌متر) میزان ناهمسانی نفوذپذیری افزایش می‌یابد. با توجه به نتایج به دست آمده استفاده از ذرات ریزدانه در اجرای طرح‌های سازه‌های مختلف دریایی توصیه می‌شود.

کلمات کلیدی: نفوذپذیری، ذرات درشت دانه، ناهمسانگردی، دانه بندی، زمین شناسی مهندسی

مقدمه

صنعتی و ساختمان سازی های بلندمرتبه و احداث سازه ها، به روز کردن اطلاعات زمین شناسی مهندسی، زمین ریخت شناسی، توپوگرافی منطقه و ژئوتکنیک لازم به نظر می‌رسد (قزی و همکاران، ۱۳۹۴). در این بین، نوار ساحلی همواره در معرض فرآیندهای حاصل از عمل متقابل بین خطوط ساحلی و حرکات آب دریا، عوامل زمین شناسی و زمین ساختی، پدیده های فرسایشی و پیشروی و پسروی است. به منظور احداث تأسیسات ساحلی و اخذ اطلاعاتی پیرامون مناطق زلزله خیز و غیره، انجام آزمایش‌های صحرائی، از قبیل حفر گمانه و آزمایش‌های SPT و تعیین نفوذپذیری و انجام آزمایش‌هایی مانند انجام آزمایش‌های برش، تحکیم تک محوری و آزمایش‌های فیزیکی از قبیل تعیین PH خاک مناطق، تعیین درصد رطوبت، آزمایش‌های دانه بندی و اتربرگ ضروری می‌باشد. در تحلیل آب‌های زیرزمینی اغلب فرض می‌شود که نفوذپذیری افقی بزرگتر از نفوذپذیری قائم می‌باشد، بخصوص برای رسها. میزان ناهمسانی نفوذپذیری را با پارامتر بدون بعد r_k نشان می‌دهند که برابر است با میزان نفوذپذیری افقی به میزان نفوذپذیری قائم ($r_k = k_h / k_v$). مقادیر زیادی از میزان r_k برای رس‌ها و سنگ‌ها در دسترس می‌باشد در مقابل نتایج معتبر اندکی برای مصالح غیر چسبنده وجود دارد زیرا دستگاه‌های اندازه‌گیری

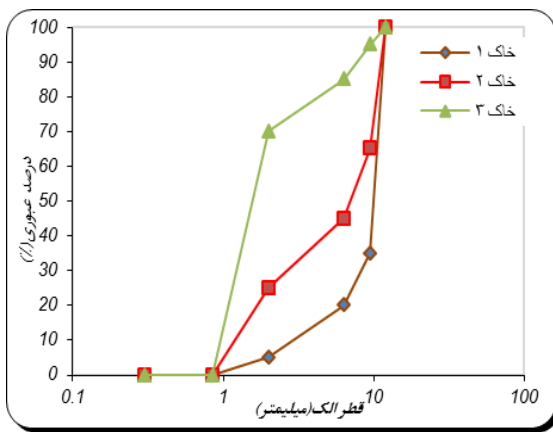
خاک به عنوان بخشی از سیستم زیست زمین شیمیایی نقش مهمی در چرخه عناصر ایفا می‌کند و عملکردی مهم در ذخیره و تصفیه عناصر انتقال اجزاء و رابطه اجزای زنده و غیر زنده دارد (مزینانی و فرقانی تهرانی، ۱۳۹۱). خاک‌ها محصول تخریب، فرسایش و گاه‌ها تغییر ترکیب سنگ منشأ اولیه هستند و بسیاری از ویژگی‌های کانی شناسی سنگ مادر را حفظ می‌کنند. جنس ریز سنگ دانه هابه ویژه ترکیب کانی شناسی و بافت می‌توانند به عنوان عامل تاثیرگذار در تراکم پذیرش نقش موثر داشته باشند (سامانی و همکاران، ۱۳۹۳). فشردگی یا تراکم خاک در اثر تأثیر وزن خاک، سبب نشست خاک و نتیجتاً وارد آمدن خسارت به سازه می‌گردد (بهروزی و احدیان، ۱۳۹۳). خاک‌ها در بسیاری از نقاط جهان یافت می‌شوند و به طور گسترده به عنوان جایگاه های سازه پذیر و یا به عنوان مصالح ساختمانی مورد استفاده قرار می‌گیرند. از اینرو، تعیین خصوصیات زمین شناسی مهندسی خاک‌ها به ویژه در مناطق با حجم بالای رسوبات و خاک از اهمیت وافری برخوردار می‌باشد. از اینرو یکی از اهداف مهم بررسی های زمین شناسی مهندسی، شناخت ویژگی‌های رسوبات طبیعی و سنگ‌های منطقه برای طرح‌های توسعه‌ای است. در راستای توسعه

(freeze and Cherry 1979; Bear 1972; Ahmad معتبر نیست and Sunada 1969; Felton and Herrera 1991; Stephenson 1979)

مواد و روشها

مصالح مورد آزمایش

در گام نخست، پایش‌های میدانی زمین شناسی به منظور بررسی بافت و دانه ندی ظاهری و سایر مشخصات ریخت‌شناسی رسوبات و خاک‌های منطقه مورد مطالعه انجام پذیرفت (تصویر کلی از منطقه مورد مطالعه). در ادامه سه نمونه از رسوبات و خاک‌های منطقه جزیره شادمانی آبادان با توجه به ویژگی‌هایی از قبیل دانه بندی، بافت و درصد پراکنش دانه‌های آواری، گردآوری گردید. در ادامه نیز آزمایش‌های تحقیق حاضر بر روی سه نمونه غیریکنواخت انجام پذیرفت. در (جدول ۱)، مشخصات نمونه‌های یکنواخت و در (شکل ۱) گراف دانه‌بندی مصالح یکنواخت نشان داده شده است.



شکل ۱. نمودار دانه‌بندی نمونه‌های آزمایش

جدول ۱. توزیع ذرات با توجه به نتایج آزمایش الک

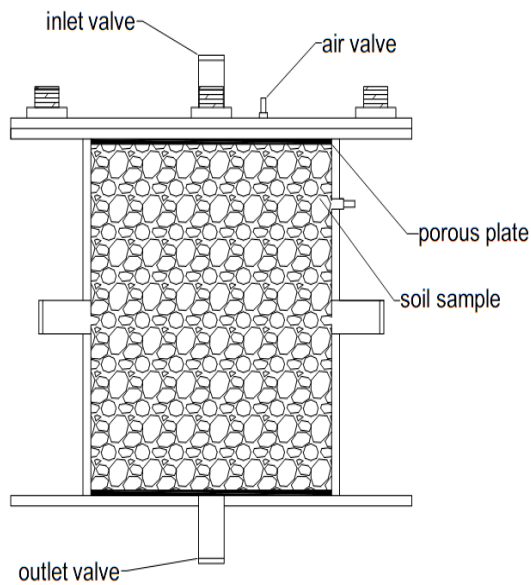
نمونه	D10	D60	D30	Cu	Cc
۱	۲/۸۵	۱۲	۹	۴/۲	۲/۳۶
۲	۱/۱۶	۸/۸	۲/۷۵	۷/۵۸	۰/۷۴
۳	۰/۹۲	۱/۸۵	۱/۲۸	۲	۰/۹۶

همانطور که از نمودار دانه‌بندی مشخص است، نمونه‌ها دارای دانه‌بندی منفصل می‌باشند و طبق طبقه بندی یونیفاید از نوع شن و ماسه بد دانه بندی شده می باشند. در (شکل ۲) تصاویری از نمونه‌های تهیه شده ارائه شده است.

نفوذپذیری برای مصالح دانه ای اندک می باشند (Chapius, Bass, and Davenne 1989; Bagarello, Sferlazza, and Sgroi 2009).

به منظور اندازه‌گیری نفوذپذیری‌های افقی و عمودی تاکنون دستگاه‌های مختلفی ساخته شده است. (Smith, 2011) یک دستگاه اندازه‌گیری نفوذپذیری افقی مکعب شکل از جنس آکرلیک شفاف با صفحات پلاستیکی متخلخل طراحی نمودند. یک غشای لاستیکی با ۴ فنر برای آب بندی کردن نمونه خاک درون دستگاه استفاده شد و روپوش دستگاه با ۴ گیره به پایه محکم شد. دستگاه‌های دیگری نیز برای اندازه‌گیری ناهمسانی نفوذپذیری خاک‌های دانه‌ای و چسبیده طراحی شده‌اند. (Moore, 1979) یک دستگاه دو طرفه برای اندازه‌گیری ناهمسانی نفوذپذیری خاک‌های چسبیده طراحی کرد.

(P. Guo et al., 2015) یک دستگاه اندازه‌گیری برای بدست آوردن ضریب نفوذپذیری خاک‌های دانه‌ای در جهات مختلف ۰ تا ۹۰ درجه طراحی کردند. (Wang et al., 2015) دستگاه اصلاح شده‌ای برای اندازه‌گیری ناهمسانی نفوذپذیری خاک‌های درشت‌دانه طراحی کردند. میزان ناهمسانی نفوذپذیری اندازه‌گیری شده در این دستگاه‌ها تحت تاثیر عوامل مختلفی مثل اندازه ذرات، آرایش آنها، نحوه آماده‌سازی نمونه و میزان تخلخل و همچنین گرادیان هیدرولیکی بوده است. میزان ناهمسانی نفوذپذیری رس‌های همگن، سنگ‌ها و خاک‌های دانه‌ای بسیار شبیه به هم می‌باشد. به نظر می‌رسد که میزان آن کمتر از ۴ باشد. مطالعات (Chapuis and Gill, 1989) نشان می‌دهد که میزان ناهمسانی ماسه ها و شن‌ها در محدوده‌ی ۰/۷۵ تا ۴/۱ قرار دارد، ۹۵٪ میزان r_k در محدوده 0.5 ± 2.1 گزارش شده است. نتایج آزمایش همچنین نشان می‌دهد که با افزایش دانسیته، میزان r_k افزایش، و با افزایش درجه تخلخل کاهش می‌یابد. (Witt and Brauns, 1981) بر روی ذرات یکنواخت عدسی شکل با میزان متوسط قطر و ارتفاع $6/3$ و $1/5$ میلی‌متر آزمایشهای آزمایشگاهی نفوذپذیری انجام دادند که برای نمونه‌های با تخلخل $\emptyset = 0.4 - 0.41$ (تخلخل بسیار کم) متوسط ناهمسانی نفوذپذیری برابر $r_k = 2/3$ بدست آمد. (Guo et al, 2015) میزان حداکثر ناهمسانی نفوذپذیری برای مصالح دانه ای همگن را برابر $2/5$ بدست آوردند. نتایج آزمایش‌های (Wang et al, 2015) روی مصالح درشت دانه نشان میدهند که میزان ضریب نفوذپذیری افقی $1/2$ تا $2/28$ برابر ضریب نفوذپذیری قائم می‌باشد. همچنین ضریب ناهمسانی نفوذپذیری با افزایش ضریب یکنواختی مصالح، کاهش می‌یابد. اگر نمونه‌های خاک در دو دستگاه متفاوت برای اندازه‌گیری ضریب نفوذپذیری افقی و عمودی آماده شوند، ممکن است شرایط اندازه‌گیری تغییر کند. بنابراین میزان ناهمسانی نفوذپذیری به شرایط اندازه‌گیری و همچنین اندازه ذرات خاک وابسته است. در این تحقیق، دستگاهی برای اندازه‌گیری ناهمسانی نفوذپذیری ذرات درشت‌دانه خاک طراحی شده است، بطوری که هم نفوذپذیری افقی و نفوذپذیری عمودی در این دستگاه اندازه‌گیری می‌شود. بر اساس تعداد زیادی از نتایج آزمایشگاهی، در اعداد رینولدز پایین، گرادیان هیدرولیکی با سرعت تخلیه رابطه خطی دارد و قانون دارسی معتبر است و اصطلاحاً جریان لایه‌ای (آرام) است، درحالی که در اعداد رینولدز بالا گرادیان هیدرولیکی رابطه غیر خطی دارد و قانون دارسی



درونی دستگاه اندازه‌گیری 150×150 میلی‌متر و طول آن 173 میلی‌متر تعیین گردید.

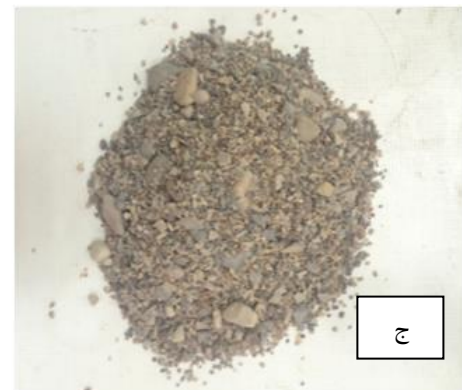
شکل ۳. دستگاه اندازه‌گیری نفوذپذیری



الف



ب



ج

به دلیل تاثیر شرایط مرزی پیشنهاد می‌شود آزمایشات نفوذپذیری افقی و قائم به صورت مجزا انجام شود که در تحقیق حاضر این موضوع رعایت شده است زیرا در صورت انجام آزمایش نفوذپذیری قائم، باید در بالا و پایین دستگاه صفحات متخلخل قرار داده شود که اگر در این شرایط نفوذپذیری افقی نیز انجام شود این صفحات در نتایج تاثیر خواهند گذاشت. در دو قسمت علاوه بر شیر ورودی آب، شیر هواگیری نیز تعبیه گردید. جزئیات دستگاه اندازه‌گیری نفوذپذیری افقی و قائم در (شکل ۴) آمده است.

آزمایش اندازه‌گیری نفوذپذیری قائم

برای اندازه‌گیری ضریب نفوذپذیری عمودی به دلیل داشتن نمونه‌هایی با دانه بندی درشت طبق استاندارد (ASTM D2434) از روش آزمایش با بار ثابت استفاده شده است. ابتدا صفحه متخلخل را در کف دستگاه اندازه‌گیری قرار داده شده تا خاک ورودی و خروجی نفوذ آب را مسدود نکند. خاک را از ارتفاع ثابتی که ممکن است به دانسیته وابسته باشد، به درون دستگاه ریخته و صفحه متخلخل روی نمونه قرار داده می‌شود. صفحه بالای دستگاه را قرار داده و پیچ‌ها بسته می‌شود به طوری که هیچ آبی نشت نکند. وزن خاک درون دستگاه را اندازه‌گیری نموده و سیستم به آب متصل می‌شود. با باز شدن شیر آب نمونه را اشباع نموده برای اطمینان از اشباع شدن نمونه شیر هواگیری را باز کرده و با خروج آب از آن شیر هواگیری باید بسته شود. در انجام آزمایش مخزن را در ارتفاع ثابتی قرار داده، شیر پایینی بایستی به سینک نزدیک باشد تا با جمع آوری آب خروجی در یک ظرف، حجم آب خروجی قابل اندازه‌گیری باشد. شیر خروجی پایین را باز و آب از درون نمونه خاک عبور داده می‌شود تا زمانی که نمونه کاملاً اشباع شود و هیچ حباب هوایی از لوله خروجی بیرون نیاید (جریان پایدار) و سطح آب درون مخزن ثابت بماند.

شکل ۲. نمایی از خاکهای با دانه بندی غیر یکنواخت. الف) خاک ۱ ب) خاک ۲ ج) خاک ۳

روش تحقیق

به منظور انجام آزمایش‌های تحقیق حاضر اقدام به طراحی و ساخت دستگاهی گردید که بتواند هم نفوذپذیری افقی و هم نفوذپذیری قائم را اندازه‌گیری نماید. این دستگاه مطابق با استانداردهای لازم (ASTM D5856) برای آزمایش نفوذپذیری می‌باشد و شامل: شیرهای هواگیری، شیرهای ورودی و خروجی و هواگیری، صفحات متخلخل هم اندازه با نمونه می‌باشد. در (شکل ۳) دستگاه طراحی و ساخته شده برای اندازه‌گیری نفوذپذیری افقی و عمودی نشان داده شده است.

ابعاد دستگاه اندازه‌گیری نباید کمتر از $4-6$ برابر بزرگترین قطر موثر (d85) ذرات خاک مورد استفاده در آزمایش باشد (Wang et al, 2015)، لذا در این تحقیق، بزرگترین اندازه دانه‌ها $9/5$ میلی‌متر و ابعاد

محکم می‌شود. در مرحله بعد وزن خاک درون دستگاه اندازه‌گیری و سیستم به آب متصل می‌شود سپس شیرهای هواگیری باز شده و هوای محبوس درون محفظه خارج می‌شود. بعد از آن شیرهای هواگیری بسته و شیرهای اندازه‌گیری باز می‌شوند. در این مرحله نیز باید مطمئن گردید که شیر خروجی کناری به سینک نزدیک است و با باز کردن شیر آب نمونه اشباع می‌شود. در واقع آنقدر باید صبر نمود تا آب خروجی زلال شود. در انجام آزمایش، مخزن را در ارتفاع ثابتی قرار داده و در این حالت نیز شیر پایینی بایستی به سینک نزدیک باشد تا با جمع آوری آب خروجی در یک ظرف، حجم آب خروجی قابل اندازه‌گیری باشد. شیر خروجی پایین را باز و آب از درون نمونه خاک عبور داده می‌شود تا زمانی که نمونه کاملاً اشباع شود و هیچ حباب هوایی از لوله خروجی بیرون نیاید (جریان پایدار) و سطح آب درون مخزن ثابت بماند. شیر خروجی پایین را باز و آب از درون نمونه خاک عبور داده می‌شود تا زمانی که نمونه کاملاً اشباع شود و هیچ حباب هوایی از لوله خروجی بیرون نیاید (جریان پایدار) و سطح آب درون مخزن ثابت بماند. در این نیز مشابه حالت قبل، فاصله بین سطح آب در قیف و خروجی پایین دستگاه را اندازه‌گیری نموده و بشر خالی را وزن کرده، کرنومتر را به کار انداخته و مدت زمان خروج آب برای حجم مشخص آب (مثلاً ۸۰۰ میلی لیتر) اندازه می‌شود.

الگوی انجام آزمایش‌ها

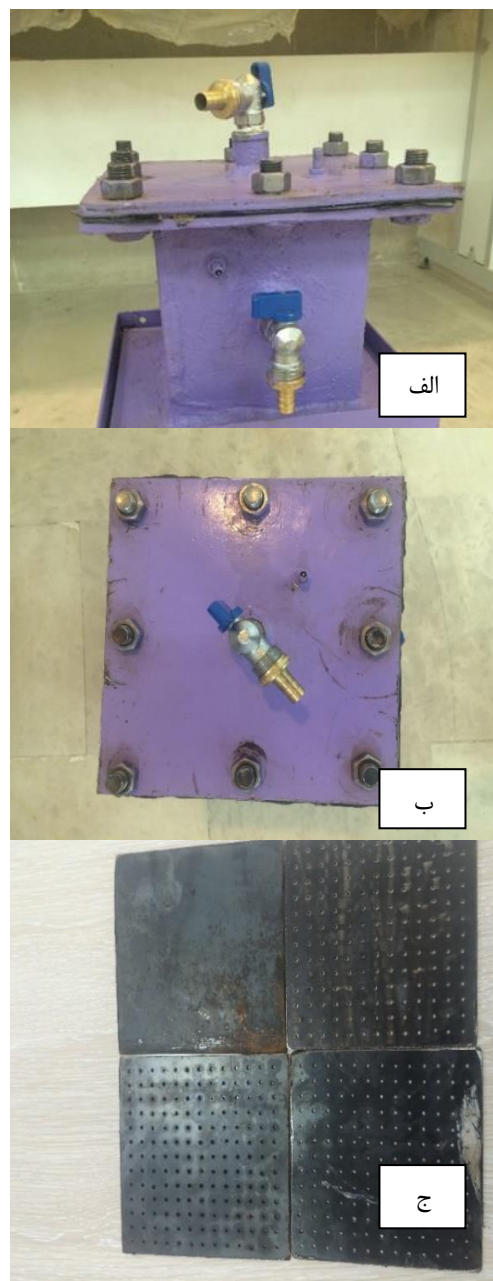
به منظور دستیابی به اهداف تحقیق، الگوی آزمایش‌ها در حالت دانه‌بندی غیر یکنواخت مطابق جدول (۲) تعیین گردید.

جدول ۲. الگوی کلی آزمایش‌های تحقیق در شرایط دانه‌بندی غیر یکنواخت

پارامتر	قطر ذرات	تخلخل	بار آبی
تعداد حالات آزمایش	۳	۳	۳

آزمایش تراکم

به منظور آماده سازی نمونه‌ها برای انجام آزمایش تراکم، ابتدا نمونه را در کوره خشک نموده سپس نمونه برای هر دو آزمایش دانسیته ماکزیمم و مینیمم استفاده می‌شود. بعد از خشک کردن نمونه را از کوره خارج و اجازه داده می‌شود تا در دمای آزمایشگاه سرد شود. در صورت استفاده از مصالح دانه‌ای باید تراکم به صورت ریزشی انجام پذیرد و دانسیته ماکزیمم و مینیمم با استفاده از استاندارد ASTM(D4253-2000) و ASTM(D4252-2000) تعیین گردد. این روش بازسازی بهترین روش در فرایند شبیه سازی رسوب گذاری طبیعی خاک (ماسه‌های سیلتی) با حداقل انرژی (ارتفاع سقوط صفر) می‌باشد، به این ترتیب می‌توان از جداشدگی دانه‌ها تا حد امکان جلوگیری نمود. در این روش، انتهای قیف لوله‌دار در پایین قالب نمونه‌ساز قرار می‌گیرد. شن و ماسه به آرامی در امتداد محور تقارن دستگاه ریخته شده این روش شل‌ترین حالت را بدست می‌دهد. به طور کلی میزان emax برای مصالح دانه‌ای بیشتر از ۰/۹۲ می‌باشد. نمونه‌های متراکم تر از ریختن سریع نمونه‌های خاک درون قیف و ارتفاع بیشتر بدست می‌آیند.



شکل ۴. نمایی از دستگاه نفوذپذیری افقی و عمودی و صفحات متخلخل

فاصله بین سطح آب در قیف و خروجی پایین دستگاه را اندازه‌گیری نموده و بشر خالی را وزن کرده، کرنومتر را به کار انداخته و مدت زمان خروج آب برای حجم مشخص آب اندازه‌گیری می‌شود. پس از انجام آزمایش در یک بار آبی معین، آب را با تنظیم مخزن تغییر داده و ضریب نفوذپذیری در سایر بارها اندازه‌گیری می‌شود.

آزمایش اندازه‌گیری نفوذپذیری افقی

به منظور اندازه‌گیری نفوذپذیری افقی، ابتدا صفحات متخلخل را در دو طرف دستگاه قرار داده می‌شود و مشابه حالت قبل نمونه خاک به روش ریزشی و از ارتفاع معین به درون دستگاه ریخته می‌شود. با توجه به اینکه ممکن است در سطح بالایی خاک، نشست وجود داشته باشد لذا روی خاک یک غشای لاستیکی و صفحه‌ی فلزی قرار داده و پیچ‌ها به دقت

ج) پارامترهای وابسته به سیال شامل:

جرم واحد حجم سیال (ρ)، لزوجت (μ)، دما (T)

اگر سه پارامتر طول نمونه (L)، هد آب (H) و جرم واحد حجم سیال به عنوان پارامترهای تکراری انتخاب شوند لذا بر اساس آنالیز ابعادی به روش π باکینگهام نتیجه می‌شود:

$$f(k, d_{50}, L, A, e, H, V, \rho, \mu, T) = 0 \quad (\text{رابطه ۱})$$

نتایج و بحث

نتایج آزمایش‌های انجام شده بر روی نمونه‌های غیریکنواخت

آزمایش‌های نفوذپذیری افقی و عمودی بر روی سه نمونه غیر یکنواخت ساخته شده بوده که هر نمونه تحت سه تراکم مختلف و با سه بار آبی متفاوت مورد آزمایش نفوذپذیری افقی و عمودی قرار گرفته است.

دامنه پارامترهای اندازه گیری شده در تحقیق حاضر بر روی نمونه های غیر یکنواخت

متغیرهای مورد بررسی در این آزمایش‌ها ضریب تخلخل و میزان آبگذری از نمونه‌ها می‌باشد. در جدول (۳) دامنه قرائت‌های صورت گرفته برای پارامترهای اندازه گیری شده نشان داده شده است.

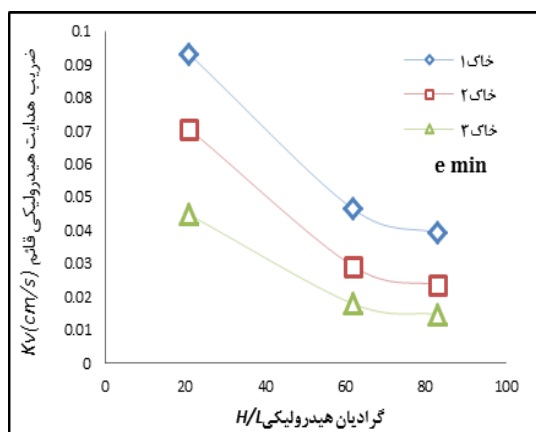
جدول ۳. دامنه قرائت‌های صورت گرفته برای پارامترهای اندازه گیری شده در آزمایش‌های نمونه‌های غیریکنواخت

پارامتر	حداکثر	حداقل
$\Delta H(cm)$	۸۳	۲۱
e	۰/۸۴	۰/۴۱
$D(mm)$	۹/۵	۰/۸۵
$V(m/s)$	۰/۰۰۴۴	۰/۰۰۰۶۸

بررسی اثر گرادیان هیدرولیکی روی ضریب نفوذپذیری نمونه

های غیریکنواخت

در شکل‌های (۷) تا (۱۰) تأثیر گرادیان هیدرولیکی بر روی نفوذپذیری افقی و قائم برای نمونه‌های یکنواخت در شرایط حداقل و حداکثر تراکم نشان داده شده است.



شکل ۷. ضریب نفوذپذیری قائم نمونه های غیر یکنواخت براساس گرادیان هیدرولیکی در شرایط حداقل تخلخل

مراحل انجام آزمایش به شرح زیر می‌باشد.

الف) اندازه‌گیری وزن نمونه شکل (۵).



شکل ۵. اندازه گیری وزن نمونه خاک با ترازوی دیجیتالی

ب) با استفاده از قیف، قالب با مصالح پر می‌شود. لازم به ذکر است با حرکتی گردشی این فرآیند ادامه می‌یابد.

ج) قالب در حدود ۱۳ تا ۲۵ میلی‌متر بالای لبه قالب پر می‌شود.

در شکل (۶) آماده‌سازی نمونه‌ها به روش ریزشی نشان داده شده است.



شکل ۶. آماده سازی نمونه به روش ریزشی

د) سطح ماسه را هم‌تراز با لبه قالب تنظیم نموده، و باید توجه نمود که که نمونه متراکم نشود (برای نمونه‌های شل تر).

ه) مقدار نمونه باقیمانده را اندازه گرفته و به این ترتیب مقدار خاک ریخته شده در دستگاه بدست می‌آید (M_s).

و) با داشتن ابعاد درونی دستگاه حجم آن را محاسبه نموده و سپس دانسیته خشک نمونه خاک بدست می‌آید.

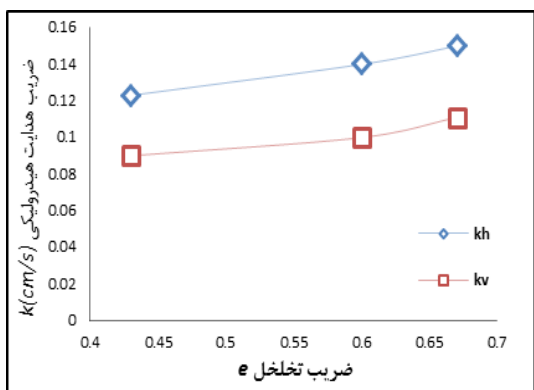
ز) در این مرحله ضریب تخلخل بدست خواهد آمد. دقت شود که تخلخل مینیمم در بیشترین حد دانسیته و برعکس حداکثر تخلخل در کمترین دانسیته بدست می‌آید.

ب) پارامترهای هیدرولیکی شامل:

هد آب (H)، سرعت جریان (V)

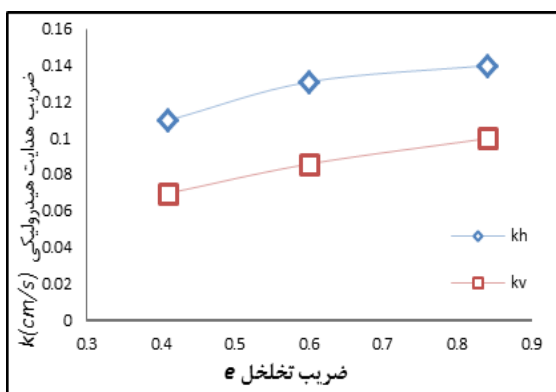
بررسی اثر تخلخل بر روی ضریب نفوذپذیری نمونه های غیر یکنواخت

به منظور بررسی تأثیر تخلخل نمونه بر ضریب نفوذپذیری، اقدام به ترسیم ضریب نفوذپذیری قائم و افقی به صورت همزمان در مقابل تخلخل گردید. اشکال (۱۱) تا (۱۳) به نمودارهای یاد شده پرداخته است.



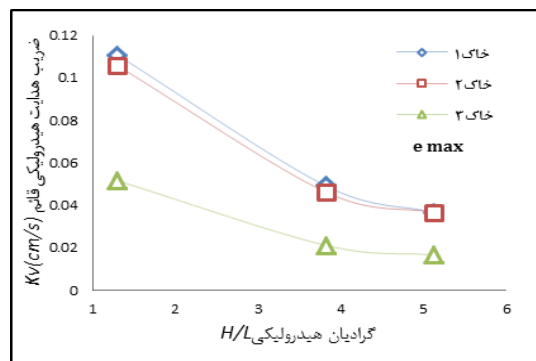
شکل ۱۱. ضریب نفوذپذیری قائم و افقی در مقابل تخلخل برای خاک (۱)

بررسی ها نشان می دهد، میزان ضریب نفوذپذیری افقی در حداکثر تخلخل $e = 0.67/26$ نسبت به ضریب نفوذپذیری عمودی $e = 0.43/26$ درصد افزایش می یابد و در شرایط حداقل تخلخل $e = 0.43/26$ ضریب نفوذپذیری افقی $22/5$ درصد بیشتر از ضریب نفوذپذیری عمودی بدست آمده است همچنین لازم به ذکر است میزان ناهمسانی نفوذپذیری برای نمونه (۱) بین $1/32$ تا $1/8$ می باشد.

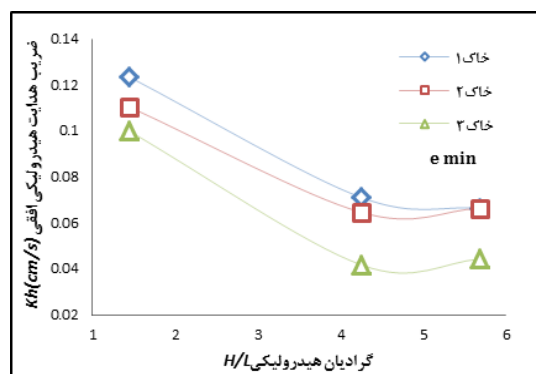


شکل ۱۲. ضریب نفوذپذیری قائم و افقی در مقابل تخلخل برای خاک (۲)

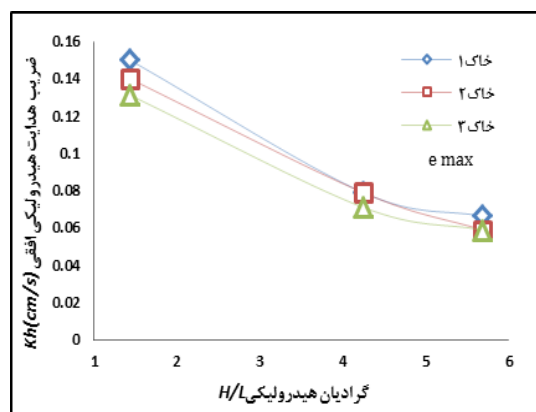
نتایج بدست آمده نشان می دهد در کلیه حالات مورد بررسی با افزایش تخلخل ضرایب نفوذپذیری در هر دو حالت افقی و قائم افزایش یافته است. میزان ضریب نفوذپذیری افقی در حداکثر تخلخل $e = 0.84/26$ نسبت به ضریب نفوذپذیری عمودی $28/57$ درصد افزایش و در شرایط حداقل تخلخل $e = 0.41/26$ میزان ضریب نفوذپذیری افقی $36/36$ درصد بیشتر از ضریب نفوذپذیری عمودی بدست آمده است همچنین میزان ناهمسانی نفوذپذیری برای نمونه (۲) بین $1/32$ تا $2/81$ می باشد.



شکل ۸. ضریب نفوذپذیری قائم نمونه های غیر یکنواخت براساس گرادیان هیدرولیکی در شرایط حداکثر تخلخل



شکل ۹. ضریب نفوذپذیری افقی نمونه های غیر یکنواخت براساس گرادیان هیدرولیکی در شرایط حداقل تخلخل



شکل ۱۰. ضریب نفوذپذیری افقی نمونه های غیر یکنواخت براساس گرادیان هیدرولیکی در شرایط حداکثر تخلخل

نتایج بدست آمده نشان می دهد برای کلیه حالات مورد بررسی روند نتایج مشابه یکدیگر می باشد. بدین صورت که برای نفوذپذیری قائم برای هر دو حالت حداقل و حداکثر تخلخل در گرادیان هیدرولیکی حدود $3/8$ و برای نفوذپذیری قائم برای هر دو حالت حداقل و حداکثر تخلخل تا گرادیان هیدرولیکی حدود $4/1$ با افزایش گرادیان هیدرولیکی ضریب نفوذپذیری کاهش می یابد و پس از این مقادیر با افزایش گرادیان هیدرولیکی ضریب نفوذپذیری تقریباً ثابت می گردد.

به طور کلی نتایج به دست آمده نشان می‌دهند، میزان ناهمسانی نفوذپذیری ۱،۳۲ تا ۲،۲۳ می‌باشد. نتایج محققین دیگر بر روی ناهمسانی نفوذپذیری نمونه‌های دانه‌ای شامل میزان ناهمسانی بین ۰،۸۷ تا ۱،۸۳ بدست آمده از نمونه‌های ماسه‌ای توسط (Chapuis et al., 1989) و ناهمسانی ۰،۷۵ تا ۱/۷ برای نمونه‌های ماسه‌ای و شنی اندازه‌گیری شده توسط (Pare et al., 1982) می‌باشد. حداکثر ناهمسانی بدست آمده توسط (Gue et al., 2015) بین ۱/۲۴ تا ۲/۳ می‌باشد. میزان متوسط ناهمسانی نفوذپذیری در این تحقیق برابر ۱/۷ می‌باشد که تقریباً با متوسط اندازه‌گیری شده بوسیله (Wang et al., 2015) $rk=1/77$ برابر است.

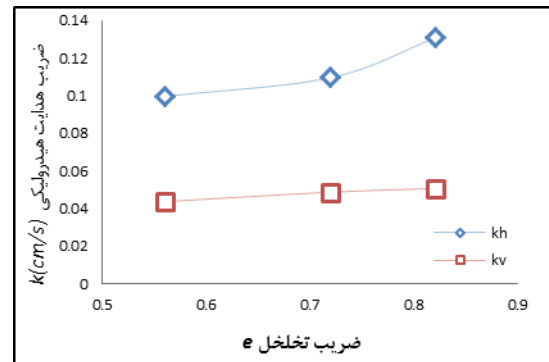
نتیجه‌گیری

به صورت کلی نتایج تحقیق حاضر عبارتند از:

نفوذپذیری در جهت افقی اغلب بیشتر از نفوذپذیری در جهت قائم است. همچنین میزان ناهمسانی نفوذپذیری بدست آمده در محدوده ۱/۳۲ تا ۲/۵ قرار دارد، لازم به ذکر است برای نمونه‌ی ریزتر نمونه (۳) میزان ناهمسانی بیشتر است. نتیجه حاصل از تحقیق نشان می‌دهد نفوذپذیری بالاتر اغلب در تخلخل‌های بالاتر برای نمونه‌های اتفاق می‌افتد. همچنین با افزایش ضریب یکنواختی میزان ناهمسانی نفوذپذیری کاهش می‌یابد. همچنین در نمونه‌های غیر یکنواخت با افزایش درصد ذرات ریز (ذراتی با قطر کوچکتر از ۴/۷۵ میلی‌متر) میزان ناهمسانی نفوذپذیری افزایش می‌یابد. با توجه به نتایج به دست می‌توان از ذرات ریزدانه در زیرسازی سازه‌های دریایی استفاده نمود.

قدردانی

بدینوسیله نویسندگان این مقاله از دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر به جهت ایجاد شرایط انجام تحقیق حاضر، سپاسگزاری می‌نمایند.

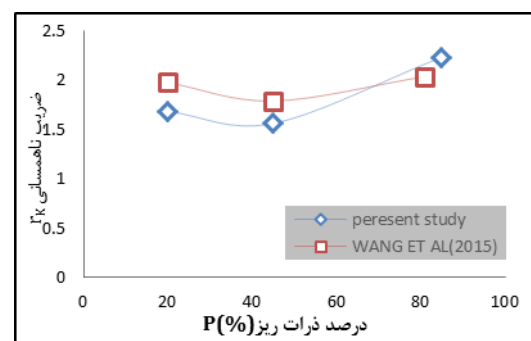


شکل ۱۳. ضریب نفوذپذیری قائم و افقی در مقابل تخلخل برای خاک (۳)

روند نتایج بدست آمده در این حالت نیز مشابه دو حالت قبل می‌باشد بدین ترتیب که در کلیه حالات مورد بررسی با افزایش تخلخل ضرایب نفوذپذیری در هر دو حالت افقی و قائم افزایش یافته است. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد، میزان ضریب نفوذپذیری افقی در حداکثر تخلخل $e = 0/82$ نسبت به ضریب نفوذپذیری عمودی ۶۱/۵ درصد افزایش و در شرایط حداقل تخلخل $e = 0/56$ میزان ضریب نفوذپذیری افقی ۶۰ درصد بیشتر از ضریب نفوذپذیری قائم بدست آمده است. همچنین میزان ناهمسانی نفوذپذیری برای نمونه (۳) بین ۲/۲۳ تا ۳/۵ می‌باشد.

تغییرات ضریب ناهمسانی نفوذپذیری نمونه‌های غیر یکنواخت با اندازه ذرات نمونه‌ها غیر یکنواخت

(شکل ۱۴) نشان دهنده تفاوت ذرات ریز (ذرات کوچکتر از ۴/۷۵ میلی‌متر) با ضریب ناهمسانی برای نمونه‌های آزمایش شده در این آزمایش می‌باشد و نتایج آن با نتایج آزمایش‌های (Wang et al., 2015) بر روی نمونه‌هایی با حداقل تخلخل مورد مقایسه قرار گرفته است.



شکل ۱۴. تغییرات ضریب ناهمسانی با درصد ذرات ریز P(%)

نتایج بدست آمده نشان می‌دهد میزان ضریب ناهمسانی نفوذپذیری با افزایش میزان درصد ریزدانه تا حدود درصد ذرات ریز حدود ۴۵ درصد کاهش و پس از افزایش یافته است به طوری که با افزایش حدود ۴۵ درصدی ریزدانه میزان ناهمسانی نفوذپذیری ۱۲/۳۴ درصد افزایش می‌یابد. مقایسه نتایج تحقیق حاضر و تحقیق (Wang et al., 2015) مطابقت خوبی دارد.

منابع

- پهروزی. ف.، احدیان.ج.، ۱۳۹۳، برآورد شاخص فشردگی، تورم و پیش بارگذاری خاک‌های رسی-گچی در حضور ترمیم کننده ویژه، مجله زمین شناسی کاربردی پیشرفته، شماره ۱۱، ص ۱۰-۱۷.
- شیرین سامانی. ش.، ارومیه ای. ع.، محمدرضا نیکودل.م.، ۱۳۹۳، بررسی تاثیر خصوصیات زمین شناسی مهندسی سنگ دانه ها بر تراکم پذیری. فصلنامه زمین شناسی ژئوتکنیک، سال دهم، شماره ۴، ص ۲۶۵-۲۷۶.
- قزی. ا.، حافظی مقدس. ن.، صادقی. ح.، غفوری. م.، لشکری پور. غ.، ۱۳۹۴. بررسی تأثیر زمین ریخت شناسی بر روی ویژگی های زمین شناسی مهندسی نهشته های آبرفتی شهر مشهد. زمین شناسی مهندسی و محیط زیست، سال بیست و چهارم، ۹۴، ۱۷-۲۸.
- مزینانی.و.، فرقانی تهرانی.گ.، ۱۳۹۱. تعیین منشاء عناصر در خاک‌های اطراف کوره ذوب مس خاتون آباد عرب استان کرمان. مجله زمین شناسی کاربردی، شماره ۴، ص ۱۷-۲۹.
- ASTM. 2011a Standard D2434. Permeability of granular soils (Constant Head). ASTM annual CDs of standards, 04. 08, West Conshohocken, PA.
- ASTM. 2006a. ASTM D4253-00. Standard test methods for maximum index density and unit weight of soils using a vibratory table. ASTM int., West Conshohocken, PA. doi:10. 1520/D4253-00R06.
- ASTM. 2006b. ASTM D4254-00: Standard test methods for minimum index density and unit weight of soils and calculation of relative density. ASTM int., West Conshohocken, PA. doi:10. 1520/D4254-00.
- ASTM D5856-15: Standard test method for measurement of hydraulic conductivity of porous material using a rigid-wall, compaction-mold permeameter.
- Ahmad. N., And Sunada. D.K. Sunada. 1969. Nonlinear flow in porous media. ASCE Journal of the Hydraulics Division, vol.95, HY6, Nov., p.1847-1857.
- Bear. J., 1972. Dynamics of Fluids in Porous Media. New York: Dover Publications.
- Bagarello. V., Sferlazza, S., and Sgroi. A., 2009. Testing laboratory methods to determine the anisotropy of saturated hydraulic conductivity in a sandy-loam soil. Geoderma 154(1):52-58. Doi:10.106/j.geoderma. 2009.09.012
- Esmaeili. M., Ghalndarzadeh., A. and Choobbasti. A.2012. Behavior of sand-gravel composite with two different preparation method under seismic liquefaction condition. Technical journal of Engineering and Applied Sciences. ISSN 2051-0853 .
- Chapuis. P., Denis . G. and Bass .K., 1989. Laboratory Permeability Test on Sand: Influence of the Compaction Method on Anisotropy," Can . Geotech . J. Vol .26 ,1989.
- Chapuis, R.P., and Gill D.E., 1989. Hydraulic anisotropy of homogeneous soils and rocks: Influence of the densification process. Bull. Int. Assoc. Eng. Geol. 39:75-86. Doi: 10.1007/BF02592538.
- Chapuis, R.P., D.E. Gill, and Bass. K., 1989. Laboratory permeability tests on sand: Influence of the compaction method on anisotropy. Can. Geotech. J. 26:614-622. Doi:10.1139/t89-074.
- Freeze. R.A., and Cherry. J.A., 1979. Groundwater: Upper Saddle River, New Jersey: Prentice-Hall.
- Felton. G.K. and Herrera. N.M., 1995. Design procedure for rockfill dams. Applied Engineering in Agriculture, Applied Engr. In Agri. Vol.11, no.5, p.653-657.
- Jun-Jie Wang and Zhen-Feng Qiu 2015. Anisotropic hydraulic conductivity and critical hydraulic gradient of a crushed sandstone-mudstone particle mixture, Marine Georesources and Geotechnology, DOI: 10.1080/1064119X.2015.1103825
- Moore. P. J., 1979. Determination of Permeability Anisotropy in a Two-Way Permeameter, Geotechnical Testing Journal, GTJODJ, Vol. 2, No. 3, Sept. 1979, pp. 167-169.
- PARE.J .J., ARES,R ., CABOT.L ., and GARZON.M., 1982. Large scale permeability and filter tests at LG3. Proceedings, 14th Large Dams, Rio de Janeiro, vol. Q.55, R.7, Congress on pp. 103-122.
- Stephenson. D., 1979. ROCKFILL IN HYDRAULIC ENGINEERING. Elsevier Scientific, Amsterdam, 215 pp.
- Tejas G. Murthy, Monica Prezzi, Rodrigo Salgado, and Dimitrios Loukidis, Influence Of Densification Method On Some Aspects Of Undrained Silty Sand Behavior 2010. International Conferences on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics. Paper 29.
- Witt. K. J., and Brauns, J.1983. Permeability-Anisotropy Due To Particle Shape, J.Geotech. Engrg . ,109(9) ,p: 1181-118.