



بررسی تأثیر تغییرات دما بر نفوذپذیری خاک‌ها

پویا باقرآبادی

دانشجوی کارشناسی ارشد رشته عمران - ژئوتکنیک دانشگاه آزاد اسلامی قائمشهر

مبین افضل‌رادی

عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد قائمشهر

حسین معتقدی

عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد قائمشهر

چکیده

نه تنها تغییرات دما بر روی خصوصیات مهندسی که در عملیات صحرایی حائز اهمیت است اثر می‌گذارد، بلکه مشخص شده است که کنترل دما در بسیاری از انواع آزمایش‌های خاک نیز مورد نیاز است. در نتیجه آگاهی از رفتار خاک به عنوان تابعی از دما، می‌تواند زمینه‌ای را برای مطالعه کنترل مکانیزم‌های جریان و تغییر شکل در خصوصیات خاک‌ها فراهم کند. یکی از کاربردهای مهم تأثیرات دما بر نفوذپذیری خاک در پروژه‌های عمرانی است که در این پژوهش به صورت مروری به بررسی این مهم پرداخته شده است. نتایج حاصل از مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که ارتباط قوی و مثبتی بین دما و ضریب نفوذپذیری خاک وجود دارد که می‌بایست مهندسان عمران و مدیران پروژه‌ها به این مهم توجه ویژه‌ای نمایند.

واژگان کلیدی: نفوذپذیری خاک، تغییرات دما، مهندسی عمران.

مقدمه

تعیین مشخصات و پارامترهای ژئوتکنیکی خاکها همواره گام اول در کلیه طراحی‌ها و ساخت و سازها در مهندسی عمران می‌باشد. سطح دقت در این ارزیابی‌ها دارای اهمیت بسیار زیادی می‌باشد، چرا که می‌تواند مسائل اقتصادی را به شدت تحت تاثیر قرار دهد (پریچر و همکاران، ۱۳۹۲).

نفوذپذیری یکی از مشخصات فیزیکی خاک است که در آن عوامل مختلفی از قبیل بافت و ساختمان خاک، رطوبت اولیه، مقدار مواد آلی، مقدار مواد جامد معلق موجود در آب آبیاری - نظیر رس و سیلت، غلظت املاح محلول به خصوص سدیم قابل تبادل، دمای آب و خاک، فشردگی و وجود درز و ترک‌های خاک مؤثر می‌باشند. نفوذ آب به خاک به عنوان فرآیند اولیه ورود آب از سطح خاک به داخل ناحیه غیراشباع خاک می‌باشد. این فرآیند نقشی بسیار مهم در چرخه آبی طبیعت ایفا می‌نماید. همچنین، نفوذ آب به خاک مهم ترین منبع تامین کننده آب برای ادامه حیات گیاهان می‌باشد (قلیخانی و بدو، ۱۴۰۰).

از طرفی، با پیشرفت علم و رشد تعداد نیروگاه‌های هسته‌ای برای تولید نیرو و کاربرد روزافزون مواد پرتوزا در صنعت باعث ایجاد مسایل گوناگونی در خصوص دفع و انبار کردن مواد زائد هسته‌ای در خاک برای مهندسان شده است. از این رو، اثر حرارت بر روی خواص خاک مورد توجه مهندسين مکانیک خاک و پی قرار گرفته است (امیری و همکاران، ۱۳۹۹).

مشخص شده است که تغییرات دما می‌تواند بطور قابل ملاحظه‌ای بر روی خصوصیات مهندسی در عملیات صحرایی اثر بگذارد، از این رو، کنترل دما در بسیاری از انواع آزمایش‌های خاک نیز از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در نتیجه آگاهی از رفتار خاک به عنوان تابعی از دما، می‌تواند زمینه‌ای را برای مطالعه کنترل مکانیزم‌های جریان و تغییر شکل در خصوصیات خاک‌ها فراهم کند. همچنین، افزایش دما حداقل می‌تواند از سه طریق بر رفتار تنش-کرنشی خاک اثر گذارد. در مرحله اول، باعث تغییراتی در خصوصیات مکانیکی خاک می‌شود، به عنوان مثال، افزایش دما باعث کاهش نفوذ پذیری خاک‌ها می‌شود. بعد از آن، موجب اثر گذاشتن بر روی خصوصیات مکانیکی خاک می‌شود، بطوریکه، افزایش دما می‌تواند باعث به وجود آمدن کرنش‌های حجمی فشاری یا انبساطی شده و فشار حفره‌ای اضافی نیز در شرایط زهکشی نشده بوجود بیاید. در آخر، ممکن است ساختار خاک را تغییر دهد و اثراتی بر روی رفتار پالستیک آن گذارد، همچنین، سخت شوندگی و نرم شوندگی در اثر تغییر دما، می‌تواند روی دهد. همیشه تفکیک این سه اثر از هم امکان پذیر نیست (آهنگر و همکاران، ۲۰۱۵).

تحقیقات مختلفی به منظور بررسی خواص مکانیکی خاک مانند مقاومت خاک در حضور دما انجام شده است که نتایج مختلفی را در بر گرفته است.

اوحدی و گودرزی (۲۰۱۴) به بررسی افزایش درجه حرارت بر پارامترهای ژئوتکنیکی و ژئوتکنیک زیست محیطی رس اسمکتیت پرداختند و متوجه شدند که با افزایش درجه حرارت، روند تغییرات ایجاد شده در خصوصیات مهندسی اسمکتیت، تابعی از میزان تغییر درجه حرارت بوده و عمدتاً در دماهای بالاتر از ۱۰۰ درجه اتفاق می‌افتد و در دماهای کمتر از این تغییرات کمتر است. همچنین، قابلیت نگهداشت آب در نمونه رسی اسمکتیت در اثر افزایش درجه حرارت، کاهش می‌یابد.

علاوه بر این، رفتار برشی شن، خاک رس و رابط خاک رس و بتن در دماهای مختلف ۵، ۲۰ و ۴۰ درجه توسط یآوری و همکاران (۲۰۱۶) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج آنها حاکی از آن بود که تغییرات دما اثر ناچیزی بر روی مقاومت برشی خاک‌های در نظر گرفته شده دارد. این آزمایشات همچنین در مقادیر تنش نرمال ۵ تا ۸۰ مگاپاسکال انجام پذیرفت. نتایج نشان داد که اثرات دما بر پارامتر مقاومت برشی خاک ناچیز است.

قلیخانی و بدو (۱۴۰۰) در تحقیقی اثر دما بر ضریب نفوذ پذیری رس متراکم منطقه نازلوی ارومیه و عایق‌های رسی ژئوسینتتیک و همچنین تأثیر بر میزان تنش‌ها و دانسیته بر نرخ تغییر ضریب نفوذپذیری نمونه‌های رسی را مورد بررسی قرار دادند. دستگاه تعیین ضریب نفوذ پذیری سه محوری با دیواره پذیرش برای اندازه‌گیری ضریب نفوذ پذیری نمونه‌ها تحت تأثیر دما مورد استفاده قرار گرفته است. نتایج نشان داد که با افزایش دما محلول کاهش ویسکوزیته خاک و محیط زیست محیطی را تغییر می‌دهد و باعث ایجاد حفرات

بین ذرات می شود و باعث ایجاد تغییر در سطح مقطع جریان و آب تبدیل به آب آزاد می شود و در نتیجه باعث افزایش ضریب نفوذپذیری خاک رسی می شود. همچنین با افزایش دانسیته خاک رسی، ضریب نفوذپذیری و افزایش آن کاهش می یابد. بر خلاف خاک های رسی، در عایق های رسی، ژئوسینتتیک افزایش دما تأثیری در ضریب نفوذپذیری این لایه ها ندارد و زمانی که این لایه ها در معرض افزایش دما قرار می گیرند عملکرد خود را به عنوان یک مانع هیدرولیکی ادامه می دهند.

جمع بندی مطالعات نشان می دهد که ارتباط قوی بین دما و ضریب نفوذپذیری خاک وجود دارد که در بخش نتایج بیشتر به آن ها پرداخته می شود.

روش تحقیق

روش تحقیق در این مطالعه توصیفی و از نوع مروری می باشد. هدف از انجام این پژوهش شناسایی تغییرات دما بر نفوذپذیری خاک ها و مرور مطالعات و جمع بندی مطالعات انجام شده در این حوزه می باشد.

روشهای تعیین ضریب نفوذپذیری:

الف) روشهای مستقیم:

۱- روش آزمایشگاهی:

✓ - روش هد ثابت

✓ - روش هد متغیر

۲- روشهای صحرائی:

✓ - نتایج آزمایش پمپاژ

✓ - حفر چاههای نظاره

✓ - دستگاه نفوذپذیری

ب) روشهای غیرمستقیم:

۱- استفاده از نتایج آزمایش تحکیم و سه محوری

۲- استفاده از فرمولهای تجربی و غیره.

از آنجایی که نتایج حاصل از این روابط برای خاکهای مختلف متفاوت می باشند، بنابراین می بایست در استفاده از آنها برای خاکهایی با شرایط تقریباً مشابه دقت بیشتری بعمل آورد. این امر بدلیل عدم شناخت کافی و تعیین مدلهای ریاضی برای مقدار تأثیر فاکتورهای غیر از تخلخل نظیر نوع کانی، ساختار و دانه بندی خاک بر میزان نفوذپذیری می باشد.

به دلیل تأثیر عوامل متعدد بین مقدار نفوذپذیری، تعیین این ضریب شده در آزمایشگاه و مقدار نفوذپذیری در محل مشکل بوده و نیازمند مطالعات بیشتری می باشد. رابطه حاکم بر تغییرات نفوذپذیری و تخلخل حاصل از نتایج آزمایشگاه، امکان تعیین ضریب نفوذپذیری خاک و با تعیین نسبت تخلخل خاک در محل (با داشتن درصد رطوبت و وزن مخصوص خاک)، می توان بطور تقریبی مقدار نفوذپذیری را در محل تعیین نمود. البته تعیین دقیق این مقدار بدلیل تأثیر عوامل متعدد بین مقدار نفوذپذیری تعیین شده در آزمایشگاه و مقدار نفوذپذیری در محل مشکل بوده و نیازمند مطالعات بیشتری می باشد.

این روابط تنها رابطه بین نفوذپذیری و نسبت تخلخل را در شرایطی که فاکتورهای تأثیرگذار دیگر ثابت باشند بیان می کنند و در مورد تأثیر دقیق دیگر فاکتورها بر مقدار نفوذپذیری و تعیین روابط ریاضی برای محاسبه این تأثیرات می باید مطالعات بیشتری صورت پذیرد. تأثیر دما بر رفتار خاک، یک مسئله حیاتی در مهندسی محیط زیست است. خاک های اطراف دفع زباله های هسته ای در طول یک دوره طولانی در معرض دمای بالا قرار دارند و از تغییرات خواص هیدرولیکی و مکانیکی خود رنج می برند. به همین دلیل پاسخ دهی خاک به اثرات ترکیبی تنش و دما با توجه بیشتر در دهه های گذشته مورد بررسی قرار گرفته است (یوسفی و همکاران، ۱۳۹۹).

یافته ها

بر اساس نتایج بدست آمده از تحقیقات مشخص شد که افزایش حرارت تاثیر قابل ملاحظه‌ای بر روی خواص خاک مثل نفوذپذیری، تحکیم، مقاومت برشی، زاویه اصطکاک داخلی، هدایت هیدرولیکی و ... دارد. مطالعات انجام شده در مورد تأثیر دما بر ضریب نفوذپذیری خاک نشان می‌دهد با افزایش دما ضریب نفوذپذیری خاک افزایش می‌یابد (لی و همکاران، ۲۰۱۰؛ وان و همکاران، ۲۰۱۰؛ قلیخانی و بدو، ۱۴۰۱). در بیشتر این موارد، این افزایش به دلیل کاهش در ویسکوزیته محلول است (دلاگ و همکاران، ۲۰۱۱؛ قلیخانی و بدو، ۱۴۰۱). به هر حال تغییرات ضریب نفوذپذیری با دمایی روی اندرکنش خاک-آب در سطح ریز ساختار است (رومرو و همکاران، ۲۰۰۱؛ ویلار و همکاران، ۲۰۰۴). زمانی که دما افزایش می‌یابد، اثرات دمایی ساختار خاک را تغییر داده و تولید حفرات بزرگ‌تر بین ذرات رس می‌کند و باعث ایجاد تغییر در سطح مقطع مؤثر جریان می‌گردد و آب جذب شده تبدیل به آب آزاد می‌شود (منفرد و همکاران، ۲۰۱۲).

از جمله مباحثی که در اکثر موارد به دلیل ایجاد مشکلات فراوان باعث جلب نظرها گردیده، بحث رفتار آب در خاک می‌باشد. کنترل نشت و ایجاد مانع هیدرولیکی یکی از مسائل مهم در مهندسی عمران می‌باشد. محققین کوشیده‌اند تا راه‌حل مناسبی در این مورد پیدا کنند. هزینه بالای مصالح عایق مصنوعی و غیراقتصادی بودن استفاده از آنها در پروژه‌های بزرگ باعث شده است تا مصالح با نفوذپذیری کم طبیعی بیشتر موردتوجه قرار گیرند. مصالح طبیعی نیز به نوبه خود مشکلات خاصی را دارند که از جمله نزدیک نبودن منابع قرضه به محل اجرای پروژه، بالا رفتن هزینه حمل و نقل، نیاز به تخصص در اجرای صحیح و مشکلاتی که در اثر عوامل جوی یا طبیعت ذاتی این مصالح به‌وجود می‌آید، باعث شده است این مصالح با رضایت کامل مورد استفاده قرار نگیرند (لیما و همکاران، ۲۰۱۱؛ چن و همکاران، ۲۰۱۴).

ضریب نفوذپذیری خاک تحت تأثیر پارامترهایی نظیر نوع خاک، دانه‌بندی خاک، دانسیته خاک، ویسکوزیته مایع عبوری از خاک، دما و غیره تغییر می‌کند (لیما و همکاران، ۲۰۱۱؛ چن و همکاران، ۲۰۱۷). دلاگ و همکاران (۲۰۱۱) نشان دادند که افزایش دما از ۳۵ به ۶۰ درجه سانتی‌گراد ضریب نفوذپذیری خاک رسی بیشتر از ۲ برابر افزایش می‌یابد. چن و همکاران (۲۰۱۷) نشان دادند که ضریب نفوذپذیری خاک رسی در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد تقریباً $2/4$ برابر ضریب نفوذپذیری همین خاک در دمای محیط (۲۳ درجه سانتی‌گراد) است و تغییرات ضریب نفوذپذیری با دما در طور چرخه گرما-سرما برگشت پذیر است.

دلاگ و سلطان (۲۰۱۲) نیز در مطالعه خود نشان دادند که میزان نفوذپذیری با دما رابطه مستقیم دارد و با افزایش دما، میزان نفوذپذیری خاک افزایش می‌یابد.

بحث و نتیجه‌گیری

خواص آب که وابسته به دما هستند، شامل کشش سطحی، ویسکوزیته، و دانسیته آب، فاکتورهای اصلی در بیان وابستگی دمایی ضریب نفوذپذیری می‌باشند (لیو و همکاران، ۲۰۱۴). یک تئوری معمول برای شرح تغییرات وابسته به دمای ذرات خاک رس، تغییر در ضخامت آب دولایه با افزایش دما در طول آزمایش نفوذپذیری می‌باشد. افزایش دما باعث تحریک اتصال مولکولهای آب به اجزای رس شده و باعث حرکت راحت‌تر آن به خارج از لایه اتصال به اجزای خاک رس می‌شود. ضخامت لایه آب اتصال یافته به ذرات خاک رس در اثر خروج مولکولهای آب، کاهش یافته و باعث ایجاد مجرای بزرگ برای حرکت آب و ضریب نفوذپذیری بیشتر می‌شود (گائو و شائو، ۲۰۱۵).

وابستگی دمایی اسکلت خاک، فاکتوری است که خواص نفوذپذیری خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهد. رس‌ها به دلیل ظرفیت تبادل کاتیونی بالا، خاصیت جذب آب و پلاستیسیته بالایی دارند که به شدت با تغییرات دمایی تحت تأثیر قرار می‌گیرند (کیائو و همکاران، ۲۰۱۹).

افزایش دما می‌تواند قدرت اتصال داخلی اجزای خاک را کاهش دهد و همچنین باعث شود آب و ذرات خاک افزایش حجم دهند. افزایش حجم ذرات خاک باعث کاهش در سطح ویژه ذرات خاک شده و در نتیجه ظرفیت نگهداری آن کاهش می‌یابد (وان و همکاران، ۲۰۱۵). وابستگی ضریب نفوذپذیری به دما می‌تواند در نتیجه اثر حرارتی ویسکوزیته سینماتیک سیال باشد. در شرایط خاک اشباع

میزان مکش موجود در خاک با تغییر دما همچنان صفر باقی می ماند. با توجه به کاهش کشش سطحی و ویسکوزیته که در اثر افزایش دما رخ می دهد، افزایش دما اصطکاک بین آب و ذرات جامد خاک را کاهش می دهد (اسنایدر و گوس، ۲۰۱۱). در خاکهای غیراشباع با افزایش دما میزان مکش آب در خاک کاهش می یابد و باعث افزایش ضریب نفوذپذیری خاک می شود. در خاکهای با مقادیر رس بالا این نکته اهمیت زیادی دارد (لو، ۲۰۱۵).

منابع

امیری، محمد، دهقانی، مسعود. و پایی، مائده. (۱۳۹۹). مطالعه ی تغییرات نفوذپذیری و میزان نشست پذیری خاک های مارنی در اثر اعمال حرارت از دیدگاه ریزساختاری. نشریه مهندسی عمران امیرکبیر، ۵۲(۱۱)، ۲۷۲۷-۲۷۴۲.
پریچر تیزپا، کریمپور فرد، مهران. و جمشیدی چناری، رضا. (۱۳۹۲). تخمین ضریب نفوذپذیری با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی. اولین کنفرانس ملی مهندسی ایران.
قلیخانی، مهدی. و بدو، کاظم. (۱۴۰۱). اثر دما بر ضریب نفوذپذیری خاک رسی متراکم و عایق رسی ژئوسینتتیک (GCL). نشریه مهندسی عمران و محیط زیست دانشگاه تبریز، ۵۲(۲)، ۱۲۱-۱۲۸.
یوسفی، سیده شکوفه، طبرسا، علیرضا. و باقری، یونس. (۱۳۹۹). تأثیر دما بر رفتار نشست پذیری خاک ریزدانه تثبیت شده با سیمان. تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۱(۱۲)، ۳۲۲۱-۳۲۳۵.

- Ahangar-Asr A, Javadi A. A, Khalili, N. (2015). An evolutionary approach to modelling the thermomechanical behaviour of unsaturated soils. *International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*, 39(5), 539-557.
- Chen WZ, Ma YS, Sillen X. (2017). Effect of temperature and thermally-induced microstructure change on hydraulic conductivity of Boom Clay", *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 2017, 383-395.
- Delage P, Sultan N, Cui YJ, Ling LX. (2011). Permeability change in Boom Clay with temperature", *arXiv preprint arXiv*, 2011, 1112. 6396.
- Delage P, Sultan N. (2012). On the thermal consolidation of Boom clay, *Canadian Geotechnical Journal*, Vol. 37 (2), 343-354.
- Gao HB, Shao MA. (2015). Effect of temperature changes on soil hydraulic properties", *Soil Tillage Res*, 2015, 153, 145-154.
- Li XL, Bastiaens W, Van Marcke P, Verstricht J, Chen GJ, Weetjens E, Sillen X. (2010). Design and development of large-scale in situ PRACLAY heater test and horizontal high-level radioactive waste disposal gallery seal test in Belgian HADES", *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 2010, 2 (2), 103e 10.
- Lima A. (2011). Ther mo-hydro-mechanical behaviour of two deep Belgian clay formations, Boom and Ypresian Clays", PhD Thesis, 2011, Barcelona, Spain: universitat politecnica de catalunya.
- Liu MX, Cui WH, Wu D, Liao LJ, Du WZ. (2014). Soil macropore structures and their effect on preferential flow", *Applied Mechanics*, 522, 990-994.
- Lu Y. (2015). Temperature effect on unsaturated hydraulic properties of two fine-grained soils and its influence on moisture movement under an airfield test facility", Master of science Thesis, 2015, Arizona State University
- Monfared M, Sulem J, Delage P, Mohajerani M. (2012). On the THM behaviour of a sheared Boom clay sample: application on the behaviour and sealing properties of the EDZ", *Engineering Geology*, 2012, 124, 47-58
- Ouhadi, V & Goodarzi, A.R. (2014). Effect of Pore Fluid Properties and the Increase of Temperature on Geotechnical and Geo-Environmental Parameters of Smectite. *Journal of Civil and Environmental Engineering*, 44(3).
- Qiao X, Ma Sh, Pan G, Liu G. (2019). Effects of temperature change on the soil water characteristic curve and a prediction model for the mu us bottomland, northern china", 2019, *Water*, 11, 1235.
- Romero E, Gens A, Lloret A. (2001). Temperature effects on the hydraulic behavior of an unsaturated clay", *Geotechnical & Geological Engineering*, 2001, 19 (3-4), 311-32
- Schneider M, Goss KU. (2011). Temperature dependence of the water retention curve for dry soils", *Water Resources*, 2011, 47, 5.
- Villar MV, Lloret A. (2004). Influence of temperature on the hydro-mechanical behavior of a compacted bentonite", *Applied Clay Science*, 2004, 26 (1), 337- 50



13th International Conference on

Civil Architecture
and Urban Management

www.cucnf.ir

13th international conference on Civil, Architecture and Urban Management

سیزدهمین کنفرانس بین المللی

عمران، معماری و مدیریت شهری | اسپانیا



Wan M, Ye WM, Chen YG, Cui YJ, Wang J. (2015). Influence of temperature on the water retention properties of compacted GMZ01 bentonite”, *Environmental Earth Sciences*, 2015, 73 (8), 4053-4061

Wan M. (2010). Study of soil-water characteristics and hydraulic conductivity of highly compacted GMZ bentonite under temperature control”, Ph.D. Thesis, 2010, Shanghai, China, Tongji University.

Yavari, N., Tang, A. M., Pereira, J. M., & Hassen, G. (2016). Effect of temperature on the shear strength of soils and the soil–structure interface. *Canadian Geotechnical Journal*, 53(7), 1186-1194.\

Investigating the effect of temperature changes on the permeability of soils

Pooya BagherAbadi

Mobin Afzali Rad¹

Hossein Motaghedi

Abstract

Not only do changes in temperature affect engineering properties that are important in field operations, but temperature control has also been found to be required in many types of soil testing. As a result, knowledge of soil behavior as a function of temperature can provide a basis for studying the control mechanisms of flow and deformation in soil properties. One of the important applications of temperature effects on soil permeability is in civil projects, which is reviewed in this research. The results of the studies show that there is a strong and positive relationship between temperature and soil permeability, which civil engineers and project managers should pay special attention to.

Keywords: Soil permeability, temperature changes, civil engineering.

1-Corresponding Autho