Archive of SID
DOI: 10.22059/ijswr.2019.289980.668339 تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۵۱، شماره ۳، خرداد ۱۳۹۹ (ص ۶۵۸-۶۴۱)

Effect of Pore Water Salinity and Fine Sand on Unconfined Strength and Elasticity Module of Clay Soils

SARA SAMIMNIA[1], AMIR NASERIN[1*], MEHDI DARYAEE[2], AHMAD JAFARI[1], MOHAMMAD REZA ANSARI[3]

1. Department of Water Engineering, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Khuzestan, Iran.
2. Faculty of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.
3. Department of Soil Science, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Khuzestan, Iran.

(Received: Oct. 12, 2019- Revised: Dec. 15, 2019- Accepted: Dec. 15, 2019)

ABSTRACT

Construction of proper foundation for water structures such as canals increases their long life. One of the effective factors in this issue is soil strength condition. Chemical compounds of the soil affect its strength and change its bearing capacity. Sodium and Calcium are the most important cations in the soil and water resources. In recent years, because of its environmental compatibility and economic advantages, fine sand has been used widely as an additive amendment for soil remediation. In this research, the effect of calcium chloride and sodium chloride as well as fine sand, as additive material, on the strength characteristics of clay soil have been investigated. In this regard, the additive materials (salt and sand) were added to the clay soil at four different levels (0, 5, 10, 20 and 0, 5, 10, 15 percent of the soil dry weight, respectively) and specimens were provided by static compaction method. The specimens were subjected to an unconfined compressive strength test after two curing times of 7 and 28 days. The results showed increasing sodium chloride decreases the strength characteristics of the soil and adding fine sand does not have any significant effect on this trend. Also, adding 5 percent sand and calcium chloride to the clay soil caused to obtain maximum unconfined compressive strength and elasticity module of it. On the base of the results, adding calcium chloride improve soil strength relatively but not as much as other common additives, such as lime. Moreover, for increasing the strength of soils with large amounts of sodium chloride, soil leaching is suggested as a proper solution before foundation construction of the structures.

Keywords: Irrigation Canal, Soil Stabilization, Sodium Chloride, Calcium Chloride.

*Corresponding Author's Email: a.naserin@asnrukh.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

تأثیر شوری آب منفذی و ماسه بادی بر مقاومت تک محوری و مدول الاستیسیته خاکهای رسی

سارا صمیم نیا[۱]، امیر ناصرین[۱*]، مهدی دریایی[۲]، احمد جعفری[۱] ، محمد رضا انصاری[۳]

۱. گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، خوزستان، ایران

۲. گروه سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.

۳.گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، خوزستان، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۷/۲۰- تاریخ بازنگری: ۱۳۹۸/۹/۲۴- تاریخ تصویب: ۱۳۹۸/۹/۲۴)

چکیده

ساخت بستر مناسب برای سازه‌های آبی مثل کانال‌ها، طول عمر مفید آن‌ها را افزایش می‌دهد. از جمله عوامل موثر در این موضوع، شرایط مقاومتی خاک است. ترکیبات شیمیایی موجود در خاک مقاومت آن را تحت تاثیر قرار داده و در نتیجه میزان باربری آن را دچار تغییر می‌کند. سدیم و کلسیم از جمله مهمترین کاتیون‌های موجود در منابع آب و خاک هستند. در سالیان اخیر، به دلیل صرفه اقتصادی و سازگاری با محیط زیست، استفاده از ماسه بادی به عنوان ماده افزودنی برای اصلاح خاک گسترش یافته است. در این تحقیق تاثیر دو نمک کلرید سدیم و کلرید کلسیم و همچنین ماسه بادی، به عنوان ماده افزودنی، بر خصوصیات مقاومتی خاک رسی مورد بررسی قرار گرفته‌است. در این راستا، هر دو نمک و ماسه بادی در چهار سطح مختلف (به ترتیب ۰، ۵، ۱۰ و ۲۰ و صفر، ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد وزنی خاک خشک) به خاک افزوده و نمونه‌هایی تهیه شد. پس از عمل‌آوری در دو دوره ۷ و ۲۸ روزه، نمونه‌ها تحت آزمایش مقاومت فشاری تک محوری قرار گرفتند. نتایج نشان داد که افزایش کلرید سدیم موجب کاهش خصوصیات مقاومتی خاک می‌شود و افزودن ماسه تاثیری بر روند کاهشی آن ندارد. همچنین، افزودن ۵ درصد ماسه بادی و ۵ درصد کلرید کلسیم موجب حصول حداکثر مقاومت فشاری و مدول الاستیسیته در خاک می‌شود. بر اساس نتایج به‌دست آمده، افزودن کلرید کلسیم مقاومت خاک را به اندازه افزودنی‌های شیمیایی دیگر مانند آهک افزایش نمی‌دهد. اما، موجب بهبود نسبی آن می‌شود. همچنین، برای بهبود مقاومت خاک‌های دارای مقادیر زیاد سدیم، آبشویی آن‌ها قبل از ساخت بستر سازه به عنوان راهکار مناسب توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: کانال آبیاری، تثبیت خاک، کلرید سدیم، کلرید کلسیم

مقدمه

در سالیان اخیر و برای ارتقا بهره‌وری مصرف آب، استفاده از شبکه های آبیاری و زهکشی افزایش یافته‌است. در این راستا، ساخت انواع مختلف سازه‌های مورد استفاده در این شبکه‌ها نیز بیش از گذشته مورد توجه قرار گرفته‌است. بنابراین، توجه به نکات فنی و جوانب اقتصادی در ساخت و نگهداری سازه‌ها اهمیت بیشتری نسبت به گذشته پیدا کرده‌است. بستر سازه‌ها از خاک طبیعی محل و یا در صورت نداشتن شرایط مناسب، از منابع قرضه ساخته‌شده و سازه های مختلف روی آن احداث می‌شوند. بنابراین دوام سازه‌ها به کیفیت و پایداری بستر بستگی دارد.

رس‌ها کوچکترین اندازه ذرات خاک هستند. وجود رس بیشتر در خاک موجب بروز پلاستسیته بیشتر، پتانسیل روانی و تورم بالاتر و تراکم‌پذیری بیشتر و مقاومت برشی کمتر در آن می‌شود (Wagner, 2013). بسترهای سازه‌های آبی در معرض آب بوده و لذا در صورت استفاده از رس در آن‌ها مقاومت و توان باربری‌شان کاهش می‌یابد. در این شرایط و برای بهبود شرایط مکانیکی خاک از مواد افزودنی مختلف استفاده می کنند.

بهسازی خاک روشی است که در آن با اختلاط یا ترکیب خاک با مواد دیگر خواص مهندسی خاک مانند مقاومت مکانیکی، نفوذپذیری، تراکم‌پذیری، دوام و پلاستیسیته آن را بهبود می بخشد (Behnood, 2018). تاثیر افزودنی‌های مختلفی همچون آهک (Daryaee and Kashefipour, 2011)، سیمان (Teerawattanasuk and Voottipruex, 2019)، ضایعات صنعتی همچون خاکستر بادی (Khalilzadeh Vahidi and Moradi, 2016)، ماسه (Ka'ab Omeir *et al.*, 2019)، مواد پلیمری (Babalar *et al.*, 2016)، رزین‌ها (Abedi-Koopaei *et al.*, 2015)، مواد بازیافتی مثل خرده لاستیک (Priyadarshee *et al.*, 2015) و شیشه‌های شکسته شده (Salamatpoor and Salamatpoor, 2017)، و الیاف طبیعی مثل پشم گوسفند (Galán-Marín *et al.*, 2010) بر خصوصیات مکانیکی خاک مورد مطالعه قرار گرفته و

* نویسنده مسئول: a.naserin@asnrukh.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

مزایا و معایب آن‌ها تعیین شده‌است. با وجود اینکه، مزایا و معایب این افزودنی‌ها در مطالعات مختلفی (مانند Firoozi *et al.*, 2017) با هم مقایسه شده‌اند و شناخت خوبی جهت انتخاب گزینه مناسب بین آن‌ها حاصل شده‌است. اما، وجود ترکیبات شیمیایی متفاوت در خاک‌ها می‌تواند تاثیرات مواد بهساز، به ویژه آهک و سیمان را تحت تاثیر قرار دهد.

نتایج پژوهش‌های مختلفی نشان داده‌است که استفاده از بهسازهای ذکر شده، به ویژه از نوع سنتی، مانند آهک و سیمان، با وجود دارا بودن مزایایی مثل در دسترس بودن، علاوه بر تحمیل هزینه های زیاد، آلودگی های زیست محیطی نیز به همراه خواهد داشت (Pourakbar and Huat, 2017). این بهسازها با استفاده از فعل و انفعالات پوزولانی و تبادلات کاتیونی، موجب اصلاح و پایداری خاک می‌شوند (Abu-Farsakh *et al.*, 2015). تولید آهک و سیمان، خصوصا سیمان، منجر به افزایش دی‌اکسید کربن، که نقش مهمی در فرآیند گرمتر شدن زمین دارد، می شود. به علاوه، در تولید آن‌ها مقادیر زیادی از منابع انرژی و آب مورد استفاده بوده و آلاینده های زیادی به محیط وارد می شود (Sagastume Gutierrez *et al.*, 2012 and 2017).

در سالیان اخیر، استفاده از مواد افزودنی بهساز سازگار با محیط زیست، مثل بقایای گیاهی، رواج بیشتری یافته‌است. از جمله این مواد، ماسه بادی است. ماسه بادی علاوه بر سازگاری با محیط زیست در بسیاری از مناطق مانند خوزستان در دسترس است (Khamechian *et al.*, 2000) و البته، در بعضی مناطق به نحوی خود ماسه به عنوان یک عامل ناپایداری مکانیکی خاک محل در ساخت و ساز تلقی می شود. علاوه بر این، با توجه هزینه بالای تهیه مصالحی مانند آهک و سیمان، هزینه پایین تهیه ماسه بادی استفاده از آن را از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه نشان می‌دهد.

در ایران، اراضی دارای خاک با درجات مختلف شوری ۳۴ درصد مساحت کل کشور را تشکیل می‌دهند که بخشی از این خاکها در دشت خوزستان واقع شده‌اند (Momeni, 2011). طبیعتا، با توجه به کیفیت پایین اینگونه خاک‌ها برای کشاورزی، خاک این‌گونه اراضی برای انجام عملیات ساخت و ساز در اولویت استفاده قرار دارد. به علاوه، با توجه به محدودیت‌های منابع آب تازه در بسیاری از نقاط، استفاده از آب‌های با کیفیت پایین‌تر برای انجام کارهای ساخت و ساز اجتناب ناپذیر شده‌است. از جمله این منابع که دارای شوری زیادی هستند می‌توان به دریاها، دریاچه ها، آب‌های لب‌شور و زه‌آب‌های کشاورزی اشاره کرد. البته، در بعضی موارد خاک‌ها به دلیل اینکه طی گذشت زمان در معرض شوری قرار گرفته اند نیز ممکن است دارای قدری شوری می‌باشند. با توجه به فاصله رس‌ها تا منبع آب شور، مانند اقیانوس یا آب‌های زیرزمینی شور، مقدار شوری‌شان متغیر است. همچنین، فرآیندهای مختلف موجود در طبیعت از جمله بارش و تبخیر نیز بر غلظت آب منفذی موثر می‌باشد.

بر طبق دیدگاه سنتی در ژئوتکنیک، تصور می‌شد که کیفیت آب منفذی و بخش جامد خاک روی هم تاثیری نمی‌گذارند. اما، van Paassen and Gareau (2004) اعتقاد دارند با وجود ذرات رس در خاک این موضوع با واقعیت سازگاری ندارد: اولا، با توجه به اینکه در یک خاک مرطوب نمک‌ها وارد فاز مایع شده و در شرایط خشک جزیی فاز جامد می‌شوند، پارامترهایی مانند حدود آتربرگ که در تعیین میزان آن‌ها خاک را باید خشک کرد با قدری خطا اندازه‌گیری می‌شوند و ثانیا، به دلیلی وجود بار منفی بر سطح رس‌ها، نیروهایی بین فازهای جامد، مایع و محلول به وجود می‌آید که خصوصیات مکانیکی خاک را تحت تاثیر قرار می‌دهند.

گرچه معمولا وجود ترکیبات مختلف شیمیایی در خاک‌های مورد استفاده در کارهای مختلف عمرانی ناچیز تلقی می‌گردد. اما، استفاده از خاک طبیعی، به دلیل تاثیر وجود ترکیبات شمیایی مختلف در آن بر خصوصیات مکانیکی مختلف، با دشواری‌های بسیاری همراه است (Cabane *et al.*, 2005). بنابراین، پیش‌بینی بهسازی خاک با استفاده از مواد بهساز مختلف نیاز به انجام مطالعه اختصاصی در مورد هر خاک دارد.

طی آزمایش‌هایی در چین، تاثیر شوری بر حدود آتربرگ، سیالیت، لزجت و خصوصیات مقاومتی ترکیب خاک-سیمان بررسی شد. در این تحقیق، که از پنج سطح نمک کلرید سدیم برای ایجاد شوری منفذی استفاده شده‌بود، مشخص شد مقاومت فشاری محصور نشده سه گروه کانی رسی مختلف با سیمان با افزایش شوری کاهش می‌یابد (Yin *et al.*, 2019).

در تحقیقی دیگر، تاثیر دو نوع نمک کلرید سدیم و کلرید کلسیم بر مقاومت فشاری غیر محصور رس بهسازی‌شده با سیمان آزمایش شد. نتایج آزمایش‌های آن‌ها نشان داد که ترکیب رس-سیمان، به دلیل سیمانته شدن بیشتر با کلرید کلسیم دارای مقاومت بیشتری نسبت به ترکیب با کلرید سدیم بود (Modmoltin and Voottipruex, 2009). Abbasi *et al.* (2013) رفتار تحکیمی و تراکمی خاک رسی در مقابل شوری را با استفاده از سه نوع نمک سدیمی بررسی‌کردند. بر طبق نتایج این تحقیق، شوری تاثیر بر خصوصیات تراکمی خاک نداشته، اما مقدار و نوع آن نمایه فشردگی و ضریب تحکیم خاک را تحت تاثیر قرار می‌دهد.

www.SID.ir

Archive of SID

استفاده از ماسه، به عنوان ماده افزودنی، در تحقیقات مختلف بررسی‌شده‌است. Katebi (2007) برای تثبیت خاک کربنات‌دار در شهر تبریز از آهک و ماسه استفاده کرد و نتیجه گرفت که هر چند به میزان کم، ماسه تاثیر مثبتی در افزایش مقاومت فشاری محصورنشده داشته‌است. در تحقیق دیگر، تاثیر ماسه بادی بر خصوصیات مقاومتی ترکیب خاک-آهک را با استفاده از آزمایش تک‌محوری مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این پژوهش بیانگر تاثیر قابل ملاحظه ماسه بادی و آهک بر مقاومت فشاری خاک رس بود. همچنین، مقدار بهینه ماسه بادی و آهک جهت دستیابی به بیشترین مقدار مقاومت فشاری و مدول الاستیسیته به ترتیب ۱۰ و ۷ درصد گزارش شد (Daryaee and Kashefipour, 2011). Ahadian *et al*., (2012) تغییرات مقاومت فشاری و مدول الاستیسیته خاک رسی بر اثر افزودن ۱۰ درصد ماسه به آن را بررسی کردند. همچنین، در این تحقیق متغیر رطوبت و درصد تراکم به عنوان عامل موثر دیگر بر رفتار مقاومتی خاک در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که با افزودن ماسه (به میزان ۱۰ درصد)، در همه مقادیر تراکم، مدول الاستیسیته کاهش می‌یابد.

تاثیر وجود و یا افزودن نمک‌های مختلف در مطالعاتی در نقاط مختلف انجام و نتایج متفاوتی از آن‌ها حاصل شده‌است. Panahi and Khodashenas, 2017) با افزودن چهار ماده سدیم کلراید، کلسیم کلراید، آهک و مخلوط آهک و خاکستر تقاله نیشکر به خاک پایداری شیب‌های خاکی در کانال‌های آبیاری را بررسی کردند. در این تحقیق نمونه‌های تهیه شده در دوره ۷ و ۲۱ روزه تحت آزمایش مقاومت فشاری تک‌محوری قرار داده‌شدند. بر اساس یافته‌های این پژوهش همه مواد افزودنی به جز کلرید سدیم موجب افزایش مقاومت خاک شدند. همچنین، افزایش دوره عمل‌آوری موجب ایجاد تغییر در مقاومت خاک شده‌بود. در پژوهشی دیگر، Casey *et al*. (2017) تاثیر شوری بر برخی از رفتارهای مکانیکی خاک، شامل مقاومت فشاری و برشی رسوبات خلیج مکزیک را بررسی کردند. نتایج نشان داد که در یک سطح تنش معین، با افزایش شوری نسبت پوکی و تراکم‌پذیری خاک کاهش می‌یابد.

Mohd Yunus *et al*. (2012) تاثیر اسید هومیک و ترکیب برابر نمک‌های کلر (کلرید سدیم و کلرید کلسیم) بر رس آلی بهسازی شده با آهک را بررسی کردند. آن‌ها بیان کردند که با افزودن موادآلی بر ترکیب خاک-آهک تا حد ۱/۵ درصد و نیز با افزایش دوره نگهداشت آن، مقاومت خاک کاهش می‌یابد. علاوه بر این، هرچند با افزودن ۰/۵ درصد نمک کلر به ترکیب یاد شده تاثیر کاهشی اسید آلی بر مقاومت رفع می‌شد.

نتایج بسیاری از تحقیقات نشان داده است که ترکیب چندین ماده افزودنی نتایج بهتری را به دنبال دارد. Kumar *et al*. (2007) طی تحقیقی تاثیر خاکستر، فیبر و آهک بر مقاومت فشاری محصور نشده خاک در هندوستان را بررسی کردند. بر اساس نتایج این تحقیق، استفاده ترکیبی از سه ماده فوق بهترین وضعیت بهسازی خاک را ایجاد می‌کند. در این زمینه، نمک‌های مورد استفاده در تحقیق حاضر هم بررسی شده‌اند. برای مثال، Sharmila *et al*. (2019) تاثیر موی انسان و نمک‌های کلرید سدیم و کلرید کلسیم بر مقاومت خاک را بررسی کردند. کلرید سدیم و کلرید کلسیم، به ترتیب، مقاومت فشاری غیرمحصور خاک را کاهش و افزایش داده، اما، وجود موی انسان موجب افزایش مقاومت ۲ برابری خاک با هر دو نمک در دوره ۱۴ روزه شد.

Fatahi *et al*. (2011) تاثیر همزمان شوری آب منفذی (کلرید سدیم) و ماسه بر هدایت هیدرولیکی و حد روانی را بررسی کردند. آن‌ها بیان کردند که شوری تا ۱۰۰ g/L حد روانی خاک را کاهش داده و بیش از آن مقدار، تاثیری بر حد روانی ندارد. همچنین، میزان شوری و دوره عمل‌آوری هدایت هیدرولیکی خاک را افزایش می‌دهد. ماسه نیز تاثیر کاهنده‌ای بر حد روانی داشته‌است. بنا به تحقیقات صورت‌گرفته، وجود کلرید کلسیم مقاومت خاک بستر را تا حد قابل قبولی افزایش نمی‌دهد. اما، می‌تواند به عنوان یک ماده ترکیبی یا اصلاح‌کننده به همراه سیمان یا آهک به کار گرفته شود (Sani *et al*., 2019). از آنجایی که ماسه به عنوان ماده افزودنی ارزان قیمت در بسیاری مناطق موجود است و شوری خاک در بسیاری از اراضی خوزستان بالا است، هدف از انجام این تحقیق بررسی تاثیر میزان دو نوع نمک کلرید سدیم و کلرید کلسیم و ماسه‌بادی بر مدول الاستیسته و مقاومت‌فشاری خاک‌رسی است.

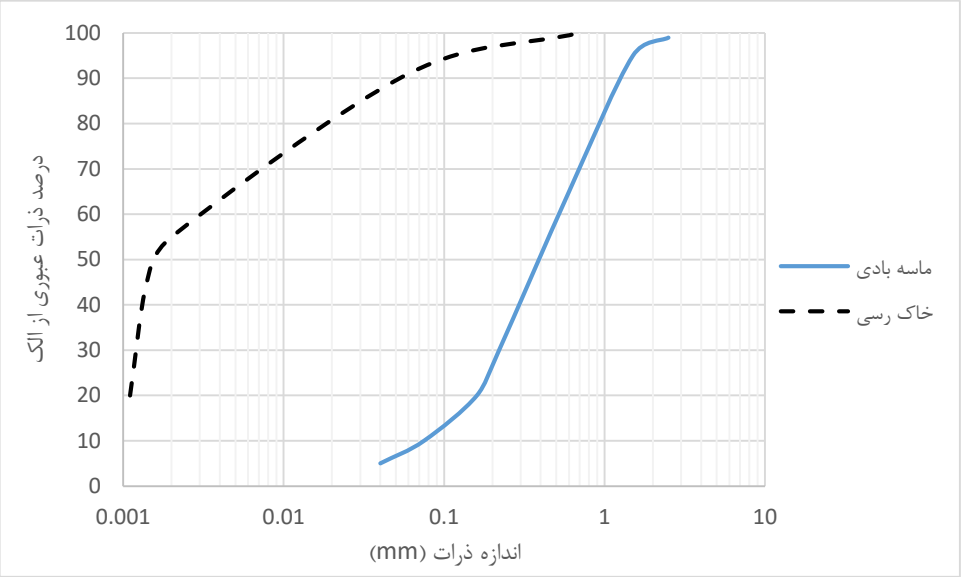
مواد و روش‌ها

تحقیق حاضر در آزمایشگاه آبیاری دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان انجام شده‌است. در ابتدا، برای تامین خاک با ویژگی‌های مورد نظر (خاک رسی با شوری کم) منابع خاک رسی مختلف مورد استفاده در احداث شبکه‌های مختلف آبیاری استان خوزستان بررسی شد. اما، تقریبا همه این خاک‌ها دارای مقداری شوری بودند. با بررسی بیشتر، مشخص شد این نوع خاک در مزرعه آزمایشی دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان موجود می باشد. همچنین، ماسه بادی مورد استفاده از یکی از منابع قرضه موجود در استان، واقع در شهرستان دشت آزادگان تامین شد. آزمایش‌های دانه‌بندی خاک و ماسه بادی به روش‌های الک و هیدرومتری، بر اساس روش‌های

www.SID.ir

Archive of SID

استاندارد انجام شد. منحنی دانه بندی خاک و ماسه بادی در شکل‌های (۱) و (۲) ارائه شده‌اند. همچنین شوری و اسیدیته خاک با استفاده از ECمتر و pH متر اندازه‌گیری شد.



شکل ۱. منحنی‌های دانه بندی خاک رسی و ماسه بادی

برای تهیه محلول‌های آب شور از کلرید سدیم و کلرید کلسیم و به مقدار ۵، ۱۰ و ۲۰ درصد جرم خشک نمونه‌ها استفاده‌شد. خصوصیات این دو نمک در جدول (۱) ارائه‌شده‌است. همچنین، ماسه بادی به میزان ۵، ۱۰ و ۲۰ درصد به خاک نمونه‌ها افزوده‌شد. مبنای افزودن این مقدار نمک و ماسه به خاک نتایج مطالعات پیشین مانند Daryaee and Kashefipour, 2011 و Panahi and Khodashenas, 2017 بود. بنابراین، آزمایش‌ها در قالب نمونه‌های با ۴ سطح صفر (بدون ماسه بادی)، ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد ماسه بادی و ۴ سطح صفر (بدون نمک)، ۵، ۱۰ و ۲۰ درصد از نمک (شامل کلرید کلسیم و کلرید سدیم) انجام شد. در نتیجه، با توجه به اعمال ۴ سطح ماسه، ۴ نسبت مختلف نمک و ۲ نوع نمک و همچنین ۲ دوره نگهداری ۷ و ۲۸ روزه و با در نظر گرفتن ۳ تکرار تعداد ۱۹۲ نمونه تهیه‌شد.

جدول ۱. مشخصات نمک‌های مورد استفاده در پژوهش

نمک	فرمول مولکولی	شکل ظاهری	جرم مولی	جرم مخصوص (g/cm^3)	دمای ذوب (^oC)	انحلال پذیری (100g/lit (of water at 20^{o}C
سدیم کلرید	NaCl	پودری-	۵۸/۴۴۲	۲/۱۷	۸۰۱	۳۵/۹
کلسیم کلرید	$CaCl_2$	پرک- سفید	۱۱۰/۹۹	۲/۱۱	۷۷۲	۷۴/۵

در ابتدا، خاک تهیه‌شده در هوای آزاد خشک شده و به آزمایشگاه منتقل شد. سپس، با استفاده از چکش پلاستیکی خردشده و برای حذف ریشه و بقایای گیاهی از الک ۲ میلیمتر عبور داده‌شد. برای از بین بردن بقایای آلی باقیمانده خاک در دمای ۱۰۰ درجه سانتیگراد، به مدت ۲۴ ساعت، در گرمخانه قرار داده‌شد. در این مرحله، آزمایش‌های ابتدایی مانند تعیین حدود آتربرگ (استاندارد ASTM D 4318)، تراکم به‌روش پروکتور استاندارد (استاندارد ASTM D 698) و جرم‌مخصوص واقعی خاک (استاندارد ASTM D 854) انجام شد. برای تهیه نمونه‌های آزمایشی از خاک تهیه‌شده، مقدار نمک مورد نظر با توجه به ترکیب مورد نظر و جرم خاک به نسبت‌های ذکر شده در آب مقطر حل شده و به آن افزوده شد. آب افزوده شده رطوبت خاک را تا بیش از حد روانی بالا می برد. نمونه ها تا رسیدن به رطوبت هواخشک (که امکان کار مکانیکی بر آن فراهم می‌شد) در آزمایشگاه نگهداری شدند (شکل ۲- الف). خاک خشک شده با چکش پلاستیکی خرد شده و از الک ۲ میلیمتر گذر داده‌شد.

برای تهیه نمونه جهت انجام آزمایش مقاومت فشاری ابتدا، بر اساس نتایج آزمون تراکم به روش پروکتور استاندارد، با افزودن آب مقطر، رطوبت خاک تا حد بهینه افزایش داده‌شد. سپس، با توجه جرم واحد حجم خاک خشک، جرم خاک مورد نیاز برای هر

www.SID.ir

Archive of SID

نمونه مشخص شد. سپس، ماسه بادی به میزان ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد با توجه به مقادیر مورد استفاده در تحقیقات پیشین (Daryaee and Kashefipour, 2011) به خاک افزوده‌شد. بدیهی است، با توجه به اینکه وجود ماسه شرایط تراکمی نمونه را تحت تاثیر قرار می‌دهد، جرم مخصوص و رطوبت بهینه هر ترکیب بر اساس نتایج ازمون تراکم خود اعمال شد. برای ایجاد یکنواختی در رطوبت مخلوط، خاک به مدت یک روز قبل از تهیه نمونه در کیسه‌های پلاستیکی نگهداری شدند (شکل ۲-ب). قالبی به قطر داخلی ۵ سانتیمتر و ارتفاع ۱۰ سانتیمتر تهیه‌شد (شکل ۲- ج). همچنین، برای تراکم خاک تا رسیدن به تراکم مورد نظر از یک چکش پلاستیکی که بدین منظور تهیه شده بود استفاده شد. اساس تهیه این قالب، رعایت نسبت ۲ برای تناسب ارتفاع به قطر براساس توصیه استانداردهای موجود بوده‌است (Bowles, 1992).

شکل ۲. تهیه نسبت‌های اختلاط خاک و آب نمک (الف) و تهیه نسبت‌های اختلاط خاک شور با ماسه بادی(ب) نمونه متراکم شده و قالب تراکم (ج) و آزمایش مقاومت فشاری تک محوری (د)

برای ایجاد یکنواختی تراکم، ترکیب خاک و ماسه، مخلوط در سه مرحله و به میزان مساوی در قالب ریخته و با استفاده از چکش و دستگاه تک‌محوری متراکم شدند. برای جلوگیری از بروز خسارت حین خروج نمونه‌ها از قالب، قبل از ریختن خاک لایه‌ای از طلق درقالب قرار داده شد. نمونه‌های حاصل در دوره ۷ و ۲۸ روزه در شرایط رطوبت بهینه نگهداری شدند. برای حفظ رطوبت، نمونه‌ها در کیسه‌های پلاستیکی دو لایه نگهداری شدند. همچنین، برای جلوگیری از بروز تغییرات دمایی، کیسه‌های مذکور در ظرف آب نگهداری شدند. دمای نمونه‌ها در دوره نگهداری حدود ۲۵ درجه سانتیگراد بود. پس از گذشت دوره‌های عمل‌آوری ۷ و ۲۸ روزه، بر اساس استاندارد ASTM D 2166، نمونه‌ها تحت آزمایش مقاومت فشاری تک محوری قرار گرفتند (شکل ۲-د). سپس، با استفاده از نمودار تنش کرنش هر نمونه و روش وتر، مدول الاستیسیته سکانت آن تعیین شد. بر مبنای این روش، با در نظر گرفتن تنش در نزدیکی لحظه شکست تقسیم بر کرنش متناظر آن، حاصل از نمودار تنش-کرنش نمونه‌ها، به عنوان مدول الاستیسیته برای هر نمونه در نظر گرفته‌شد (Beer *et al*, 2011). با توجه به اینکه هر آزمایش در سه تکرار انجام شده است، این نتایج حاصل از میانگین مقادیر ۳ تکرار می باشد.

نتایج و بحث

خصوصیات خاک مورد استفاده

به منظور شناخت بهتر مشخصات خاک آزمایش‌های ابتدایی، بر اساس روش‌های استاندارد ذکر شده در بخش قبلی، انجام شد. برخی مشخصات مکانیکی خاک در جدول (۲) ارائه شده است. همچنین، چگالی ویژه خاک ماسه‌ای با استفاده پیکنومتر اندازه-گیری‌شد که معادل ۲/۶۵ گرم بر سانتیمتر مکعب بود.

جدول ۲. خصوصیات خاک به کار رفته در پژوهش

درصد رس	۵۵
درصد سیلت	۳۶
درصد ماسه	۹
حد روانی(LL)	۴۰
حد خمیری(PL)	۲۳
حد انقباض(SL)	۲۰
رده بندی در سیستم متحد(USCS)	CL
رده بندی در سیستم آشتو(AASHTO)	A - 7
جرم واحد حجم خشک ماکزیمم(g/cm^3)	۱/۷۳۲
درصد رطوبت بهینه	۱۷
مقاومت فشاری (Kpa)	۴۱
مدول الاستیسینه (Kpa)	۱۲۶۱
رنگ خاک	قهوه‌ای

آزمایش‌های مقاومت فشاری تک محوره

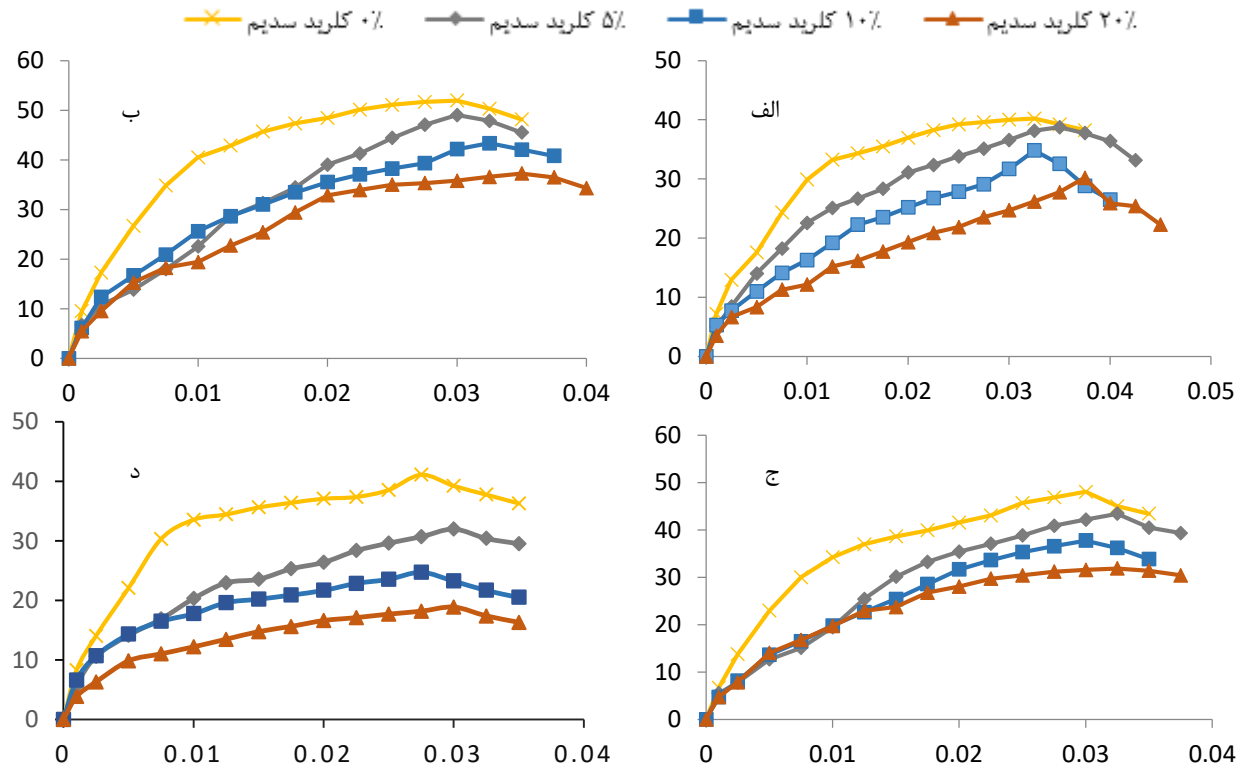
شکل‌های (۳) تا (۶) نشان‌دهنده منحنی‌های تنش-کرنش حاصل‌از آزمایش‌های مقاومت‌های فشاری در نمونه‌های مختلف

www.SID.ir

Archive of SID

در دوره‌های ۷ و ۲۸ روزه می‌باشند. بر این مبنا، مقاومت فشاری تک‌محوری خاک در ترکیب‌های مختلف نمک و ماسه تعیین شد. تغییرات مقاومت‌فشاری حاصل از افزایش کلریدسدیم در درصدهای مختلف ماسه‌بادی در شکل (۷) ارائه‌شده‌است. با توجه به شکل (۷) افزایش سدیم برای همه مقادیر ماسه بادی، مقاومت فشاری را در دوره ۷ روزه کاهش‌داده‌است. این کاهش با افزایش مقدار ماسه افزایش می‌یابد. به نحوی‌که بیشترین مقدار کاهش مقاومت، به ازا افزایش کلرید سدیم تا ۲۰ درصد، در خاک همراه با ماسه ۱۵ درصد و به میزان ۵۴ درصد بوده‌است. همچنین، کمترین میزان کاهش خاک ماسه‌دار به ازا همین مقدار افزایش کلریدسدیم در خاک با ۵ درصد ماسه که به میزان ۲۸ درصد بود. به علاوه، در خاک شاهد، در شرایط مشابه وجود سدیم، این کاهش ۲۴ درصد بود. با توجه به این شکل کاهش مقاومت با افزایش کلریدسدیم در خاک با ماسه صفر، ۵ و ۱۰ درصد روندی مشابه داشت. اما، افزایش ماسه به ۱۵ درصد موجب تسریع در کاهش مقاومت خاک شده‌است. این موضوع به‌دلیل کاهش بیشتر مقدار چسبندگی بین ذرات رس بوده و منجر به کاهش بیشتر مقاومت خاک شده‌است (Deng *et al.*, 2016). به‌طور کلی، دلیل بروز کاهش مقاومت بر اثر افزایش سدیم، ایجاد حالت پراکنش (دیسپرسه شدن) و در نتیجه عدم تشکیل و پایداری خاکدانه و ساختمان خاک می‌باشد (Greene *et al*, 1988).

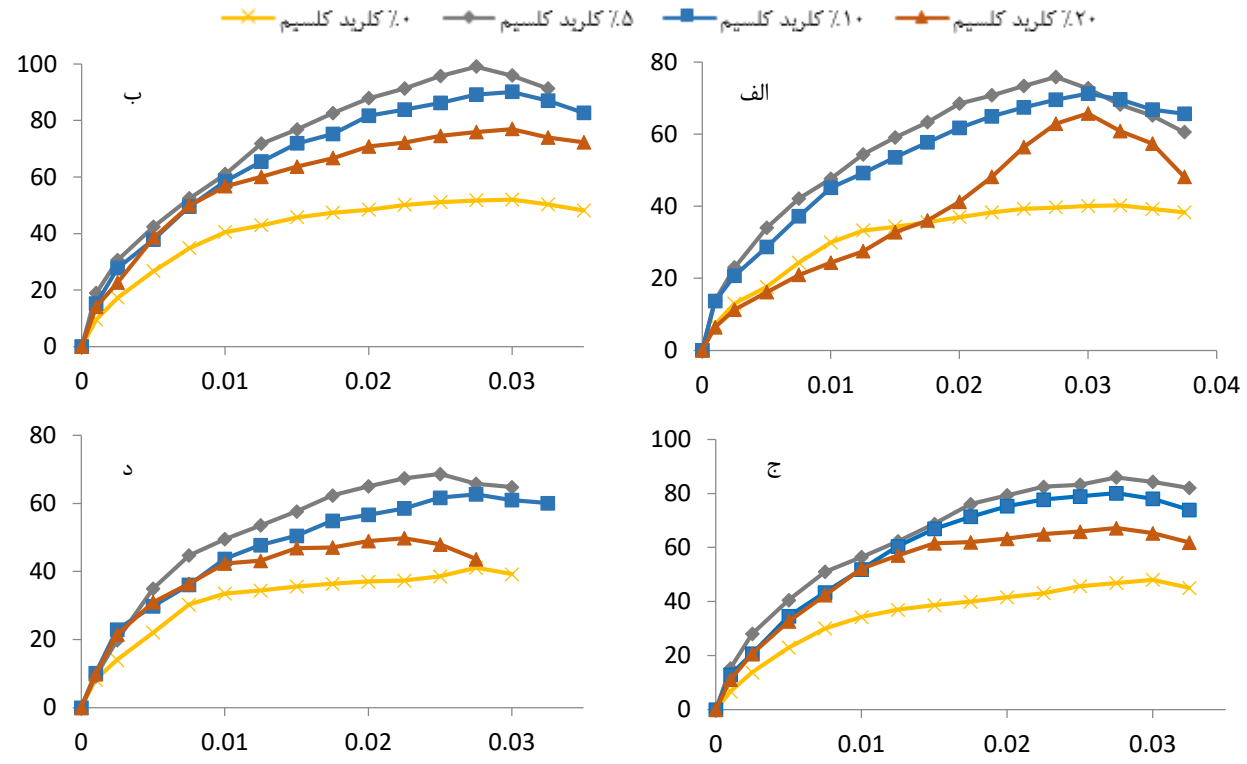
شکل(۸) نشان‌دهنده تاثیرات افزایش ماسه‌بادی به ازا مقادیر مختلف کلرید سدیم بر مقاومت فشاری خاک می‌باشد. چنانکه در این شکل مشاهده می‌شود در دوره ۷ روزه بیشترین مقدار مقاومت به ازا تمام مقادیر ماسه مربوط به خاک مبنا، بدون سدیم بود. به طور کلی، به ازا مقادیر سدیم، بیشترین مقدار مقاومت مربوط به نمونه‌های خاک با ماسه ۵ درصد بود. افزایش ماسه به مقدار ۱۰ درصد و بیشتر باعث کاهش مقاومت فشاری خاک می‌شود. دلیل افزایش مقاومت تا مقدار مشخص، اصطکاک ایجاد شده براثر وجود ماسه است و کاهش مقاومت در درصدهای بیشتر را می‌توان به جایگزینی بیشتر ماسه به جای رس و در نتیجه، کاهش چسبندگی دانست. Daryaee and Kashefipour, 2011 مقدار بهینه ماسه بادی برای بیشینه کردن مقاومت فشاری خاک-آهک را ۱۰ درصد بیان کردند. دلیل وجود تفاوت بین نتایج این تحقیق و تحقیق حاضر وجود رس بیشتر در خاک حاضر و تاثیرپذیری بیشتر خاک به ازا افزایش ماسه است. به طور کلی، با افزودن حدود ۵ درصد ماسه، با وجود ۱۰ درصد سدیم در خاک هم می‌توان مقاومت خاک را نسبت به خاک شاهد به میزان ۴/۶ kPa افزایش داد.



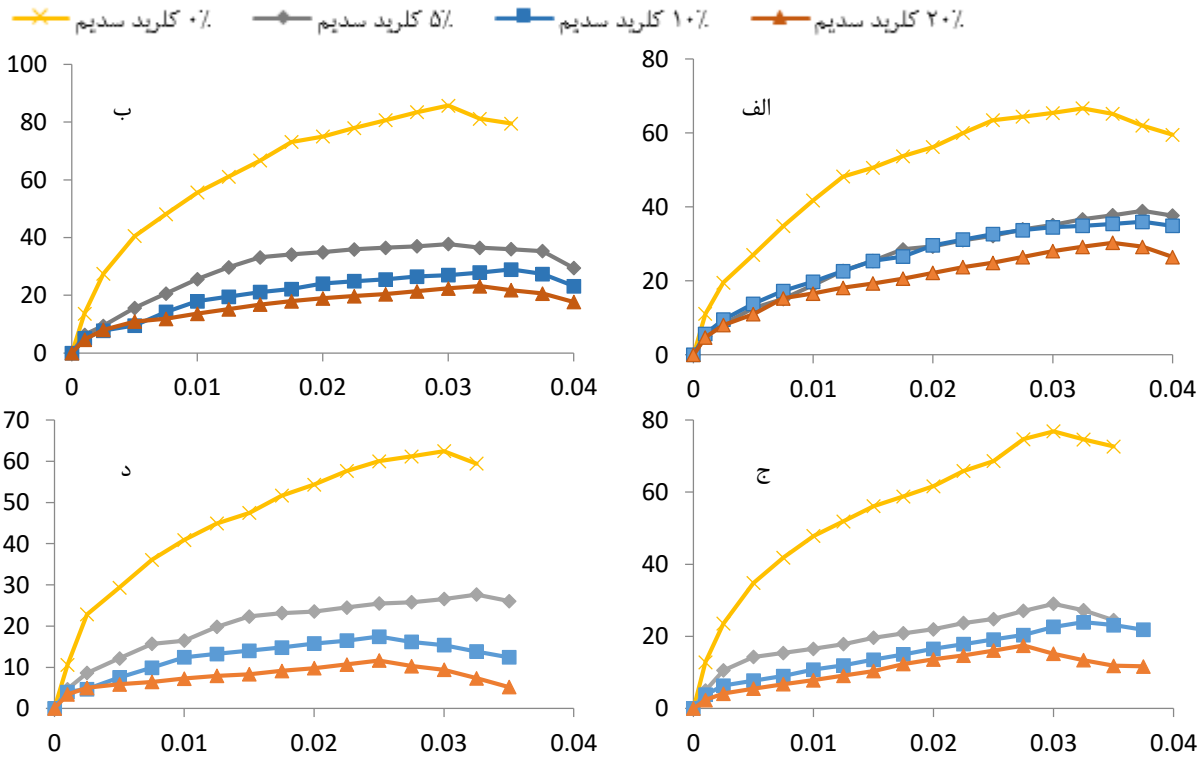
شکل ۳. نمودارهای تنش-کرنش نمونه‌های خاک به ازای مقادیر مختلف کلرید سدیم و الف: صفر درصد، ب:۵ درصد، ج: ۱۰ درصد و د: ۱۵ درصد ماسه‌بادی دوره ۷ روزه (محورهای افقی نشان‌دهنده تغییر طول نسبی (m/m) و محورهای عمودی نشان‌دهنده مقاومت فشاری (kPa) می‌باشند.)

www.SID.ir

Archive of SID



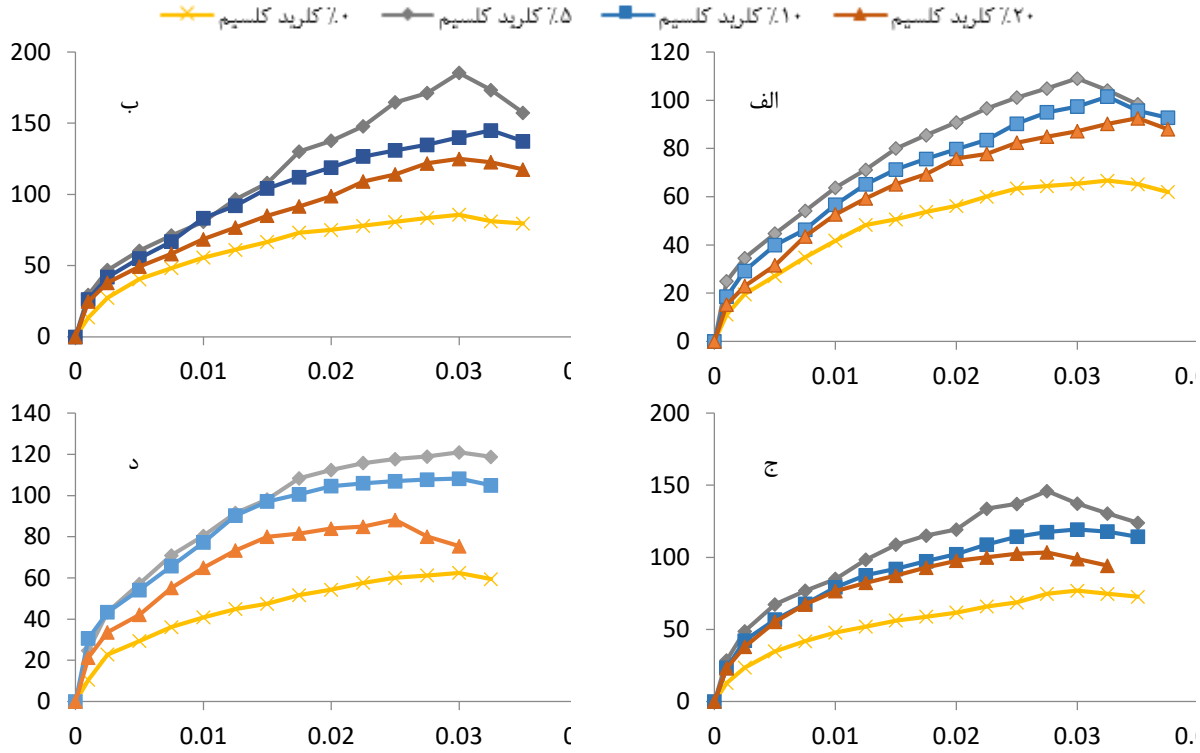
شکل ۴. نمودارهای تنش-کرنش نمونه‌های خاک به ازای مقادیر مختلف کلرید کلسیم و الف: صفر درصد، ب:۵ درصد، ج: ۱۰ درصد و د: ۱۵ درصد ماسه‌بادی دوره ۷ روزه (محورهای افقی نشان‌دهنده تغییر طول نسبی (m/m) و محورهای عمودی نشان‌دهنده مقاومت فشاری (kPa) می‌باشند.)



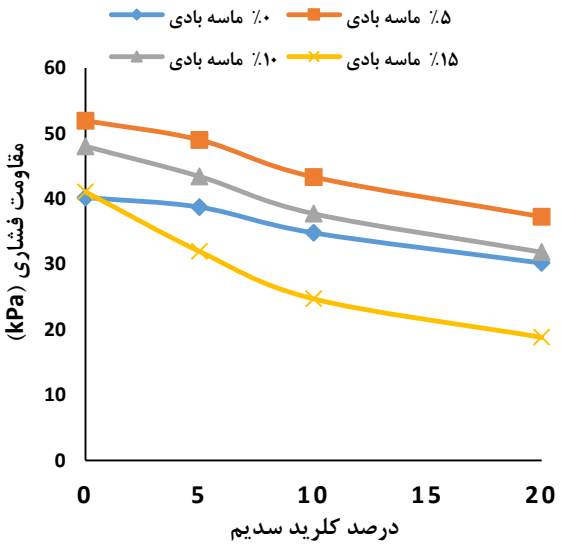
شکل ۵. نمودارهای تنش-کرنش نمونه‌های خاک به ازای مقادیر مختلف کلرید سدیم و الف: صفر درصد، ب:۵ درصد، ج: ۱۰ درصد و د: ۱۵ درصد ماسه‌بادی دوره ۷ روزه (محورهای افقی نشان‌دهنده تغییر طول نسبی (m/m) و محورهای عمودی نشان‌دهنده مقاومت فشاری (kPa) می‌باشند.)

www.SID.ir

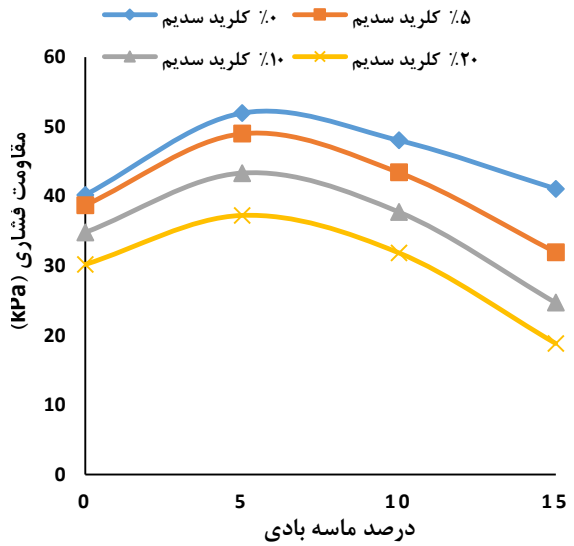
Archive of SID



شکل ۶. نمودارهای تنش-کرنش نمونه‌های خاک به ازای مقادیر مختلف کلرید کلسیم و الف: صفر درصد، ب:۵ درصد، ج: ۱۰ درصد و د: ۱۵ درصد ماسه‌بادی دوره ۷ روزه (محورهای افقی نشان‌دهنده تغییر طول نسبی (m/m) و محورهای عمودی نشان‌دهنده مقاومت فشاری (kPa) می‌باشند.)



شکل ۷. تغییرات مقاومت‌فشاری به ازا افزایش کلرید سدیم در درصدهایمختلف ماسه بادی- نمونه های ۷روزه



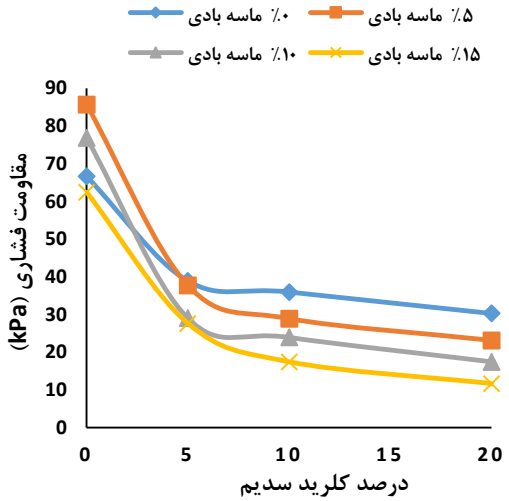
شکل ۸. تغییرات مقاومت‌فشاری به ازا افزایش ماسه‌بادی در درصدهای مختلف کلرید سدیم- نمونه های ۷روزه

چنانکه در شکل (۹) نشان داده شده‌است، حداقل افزایش کلرید سدیم به میزان ۵ درصد منجر به کاهش معنیدار مقاومت فشاری خاک به ازا مقادیر مختلف ماسه در خاک در دوره عمل-آوری ۲۸ روزه شده‌است. در مقادیر بیشتر سدیم، روند تغییرات مقاومت کند شده و کاهش به مقدار مشابه اتفاق می‌افتد. گرچه این کاهش با افزایش ماسه بیشتر می‌شود. این موضوع نشان‌دهنده تاثیر زمان در کاهش قابل ملاحظه مقاومت، حتی با وجود میزان کم سدیم در خاک، است. در واقع، با گذشت زمان یون سدیم موجود در خاک وارد فاز تبادلی شده و باعث افزایش لایه مضاعف پخشیده یونی می‌شود. در نتیجه، پیوندهای موجود در خاک ضعیف شده و ذرات خاک پراکنده می‌شوند. به طورکلی، افزودن ماسه در یک خاک حاوی سدیم موجب افزایش زیاد مقاومت نشده

www.SID.ir

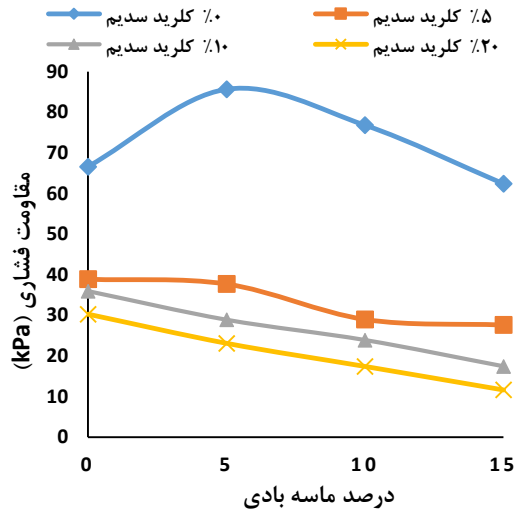
Archive of SID

و به نظر می‌رسد افزودن ماسه به عنوان راهکاری برای جبران وجود سدیم در خاک موثر نیست. به‌عبارت‌دیگر، در این شرایط رفتار خاک در برابر بارهای وارده تحت تاثیر مقدار ماسه موجود در آن نبوده و رس‌ها در تعیین تحمل فشارهای وارده بر خاک تاثیر زیادی دارند. این روند با نتایج تحقیقات (Deng *et al.*, 2016) مطابقت دارد.



شکل ۹. تغییرات مقاومت فشاری به ازا افزایش کلرید سدیم در درصدهای مختلف ماسه بادی- نمونه های ۲۸روزه

در دوره عمل‌آوری ۲۸ روزه، زمان لازم برای انجام واکنش‌های شیمیایی بین ذرات رس و سدیم، به وجود آمده و تاثیر کلرید سدیم به عنوان ماده پراکنده ساز بیشتر مشهود شده-است. با توجه به شکل (۸) به جز خاک شاهد، بقیه خاک‌ها به ازا همه مقادیر کلرید سدیم، مقاومت فشاری کاهش‌یافته و این روند در همه ترکیب مذکور با سرعتی تقریبا مشابه مشاهده می‌شود. گرچه، این کاهش در خاک با ۲۰ درصد کلرید سدیم، بیش از بقیه و به میزان ۶۱ درصد بود. به طور کلی، افزودن ماسه به خاک با حضور سدیم مقاومت خاک را افزایش نمی‌دهد. از جمله راهکارهایی که به افزایش تشکیل خاکدانه و بهبود ساختمان خاک و در نتیجه افزایش مقاومت آن منجر می‌شود کاهش قلیایت خاک می‌باشد (Kyei-Baffour *et al.*, 2004). در این راستا، می‌توان ابتدا منبع خاک قرضه را با آب با شوری کم آبشویی و با افزودن مواد تثبیت کننده اصلاح کرد و سپس تا حد بهینه به آن ماسه افزود. همچنین، با توجه به شکل‌های(۸) و (۱۰) مقاومت خاک مبنا در دوره ۷ روزه در نمونه خاک مبنا (بدون نمک و بدون ماسه‌بادی) ۶۶ kPa بود. در حالی‌که، مقاومت فشاری این نمونه پس از طی ۲۸ روز به ۴۱ kPa کاهش یافت. علت بروز چنین تفاوتی احتمالا ناشی از فعالیت‌های پوزولانی صورت گرفته در این مدت بوده‌است. این تفاوت در بسیاری تحقیقات دیگر مثل Daryaee and Kashefipour, 2011 گزارش شده‌است.



شکل 10. تغییرات مقاومت فشاری به ازا افزایش ماسه بادی در درصدهای مختلف کلرید سدیم- نمونه های ۲۸روزه

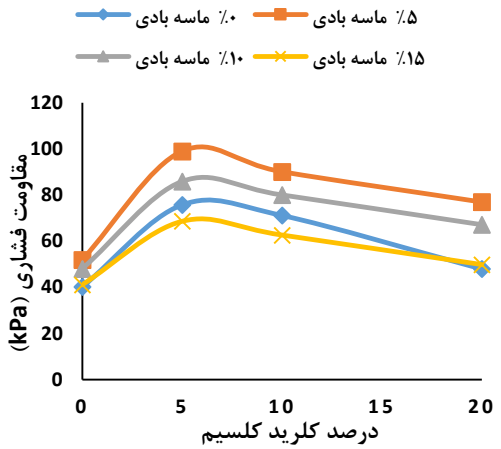
شکل‌های (۱۱) و (۱۲) به ترتیب نشان دهنده تاثیر افزایش کلرید کلسیم به ازا افزودن مقادیر مختلف ماسه بادی و تاثیر افزایش ماسه بادی به ازا مقادیر مختلف کلرید کلسیم بر مقاومت فشاری خاک می‌باشد. با توجه به این شکل، افزودن ماسه بادی به خاک دارای کلرید کلسیم باعث بهبود شرایط مقاومتی بین ۶۵ تا ۹۱ درصد خاک می‌شود. به ازا همه مقادیر کلرید کلسیم، حداکثر مقدار مقاومت با افزودن ۵ درصد ماسه بادی به خاک حاصل می‌شود. بیشترین مقدار این افزایش در خاک با ۵ درصد کلرید کلسیم به‌دست آمد. افزایش مقاومت فشاری با افزودن کلریدکلسیم در سایر تحقیقات مانند Panahi and Khodashenas, 2017 مورد تاکید قرار گرفته‌است. آن‌ها نتیجه گرفتند که مقاومت فشاری خاک بر اثر افزودن کلرید کلسیم ۲/۷ برابر افزایش می‌یابد. البته، این مقدار در تحقیق Abood *et al.*, 2007 برابر ۰/۷ بوده است. در واقع، کلسیم موجود در کلرید کلسیم با سطوح باردار منفی تبادلی خاک پیوند برقرار کرده و موجب استحکام و پایداری خاک می شود. از سویی، با افزایش غلظت کلسیم در خاک، به دلیل افزایش شوری خاک، تاثیر یون کلسیم در چسبندگی و پایداری ذرات خاک کاهش یافته که منجر به کاهش مقاومت فشاری خاک می‌شود.

با توجه به شکل (۱۲) حد بهینه مقاومت فشاری خاک با افزودن ۵ درصد ماسه بادی و ۵ درصد کلرید کلسیم حاصل می-شود. چنانکه در این شکل مشاهده می‌شود افزودن ماسه بیشترین تغییرات را به میزان ۲۹ kPa در خاک همراه با ۲۰ درصد کلرید

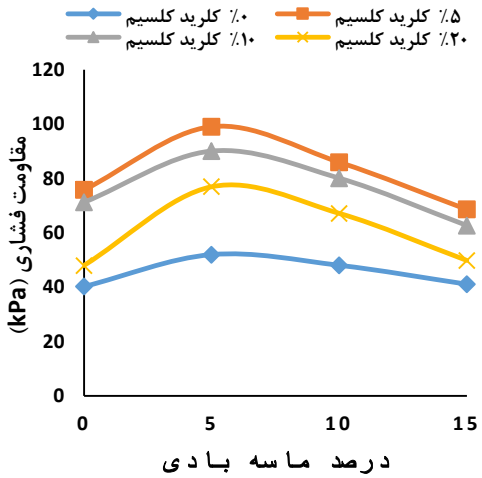
www.SID.ir

Archive of SID

کلسیم و کمترین تغییرات را به میزان ۱۲ kPa در خاک شاهد (بدون مواد افزودنی) ایجاد کرده‌است. وجود اصطکاک بین ذرات ماسه همراه با تاثیر وجود کلسیم در کاهش لایه مضاعف باعث بهبود شرایط مقاومتی خاک با ۵ درصد ماسه شده‌است. از آنجایی‌که افزایش بیشتر ماسه سبب کاهش چسبندگی بین ذرات رس و نیز کاهش پیوند بین ذرات رس و کلسیم می‌شود، به ازا مقادیر بیشتر ماسه بادی مقاومت خاک کاهش زیادی یافته‌است. این موضوع با یافته‌های Daryaee and Kashefipour, 2011 سازگاری دارد.

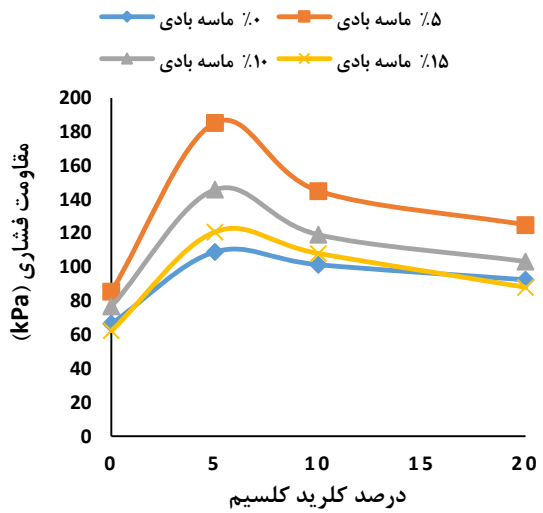


شکل ۱۱. تغییرات مقاومت فشاری به ازا افزایش کلرید کلسیم در درصدهای مختلف ماسه بادی- نمونه های ۷روزه

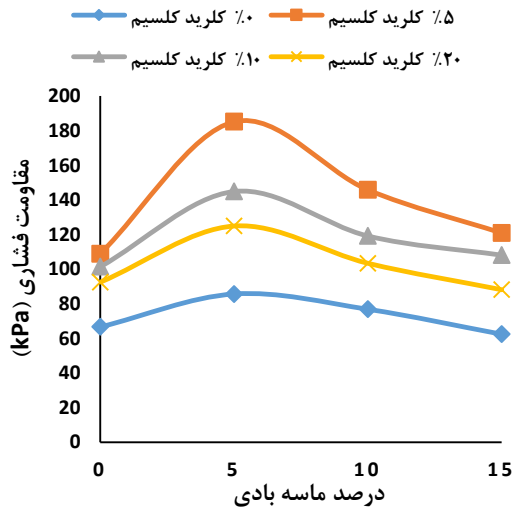


شکل ۱۲. تغییرات مقاومت فشاری به ازا افزایش ماسه بادی در درصدهای مختلف کلریدکلسیم- نمونه های ۷روزه

در شکل‌های (۱۳) و (۱۴) تغییرات مقاومت فشاری خاک بر اثر افزودن کلرید کلسیم و ماسه بادی، به ترتیب، نشان داده شده‌است. گذشت ۲۸ روز دوره عمل‌آوری، فرصت ایجاد و تحکیم پیوندهای یونی بین کلسیم و ذرات رس را فراهم کرد. به نحوی‌که در خاک با مقادیر مختلف ماسه بادی، کلسیم باعث افزایش مقاومت فشاری خاک شد. گرچه، حداکثر افزایش مقاومت به ازا افزایش ۵ درصد کلرید کلسیم به خاک ایجاد شد و در مقادیر بیشتر کلرید کلسیم از مقدار آن کاسته‌شد (شکل (۱۳)). همچنین، به ازا همه مقادیر کلرید کلسیم، حداکثر مقدار مقاومت به ازا افزایش ۵ درصدی ماسه بادی ایجاد شد. به طور کلی، نتایج نشان می‌دهد بهترین ترکیب برای افزایش مقاومت فشاری خاک، افزودن ۵ درصد ماسه بادی و ۵ درصد کلسیم به آن است (شکل ۱۴). در تحقیقی، Latifi *et al.* 2016b مقدار بهینه یک ترکیب جدید افزودنی کلسیمی برای دو نوع خاک رسی را ۶ و ۹ درصد گزارش کردند. کاهش مقاومت فشاری می‌تواند ناشی از افزایش بار مثبت اضافه و در نتیجه ایجاد نیروی دافعه در مخلوط خاک-نمک باشد. (Latifi *et al.*, 2016 a; Marto *et al.*, 2014). این نیروی دافعه موجب کاهش اصطکاک شده و درنتیجه مقاومت فشاری خاک را کاهش می‌دهد.



شکل ۱۳. تغییرات مقاومت فشاری به ازا افزایش کلرید کلسیم در درصدهای مختلف ماسه بادی- نمونه های ۲۸روزه



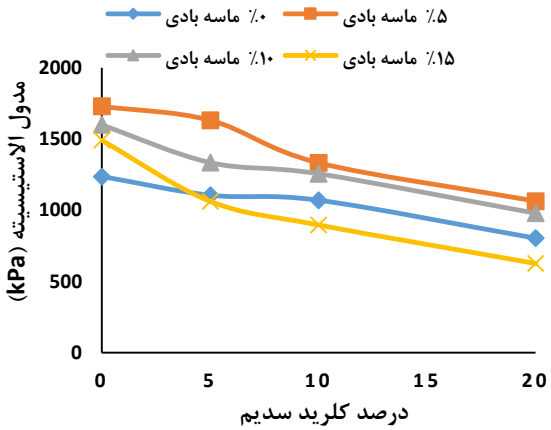
شکل ۱۴. تغییرات مقاومت فشاری به ازا افزایش ماسه بادی در درصدهای مختلف کلریدکلسیم- نمونه های ۲۸روز

www.SID.ir

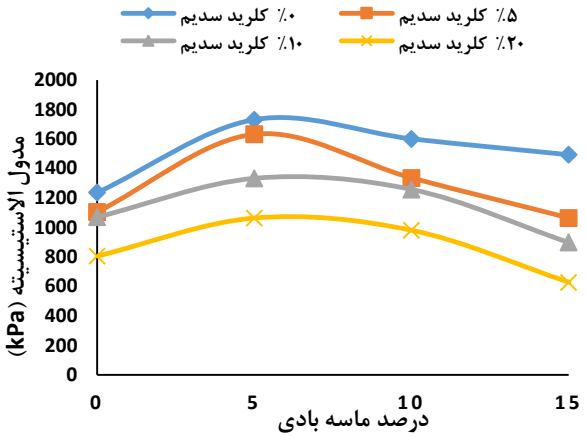
Archive of SID

تاثیر کلرید سدیم و ماسه بر مدول الاستیسیته

مدول الاستیسیته از جمله خاصیت‌های مکانیکی خاک است که در کارهای عمرانی، به ویژه زیرسازی سازه‌های آبی گوناگون مورد توجه بوده‌است. این ویژگی در محاسبه نشست آنی سازه مد نظر می‌باشد. در صورتی‌که با استفاده از مواد افزودنی مدول الاسیسیته خاک افزایش یابد، خاک در مقابل تغییر شکل مقاومت کرده و دچار شکست نمی‌شود. شکل‌های (۱۵) و (۱۶) تاثیر درصد کلریدسدیم و ماسه بادی بر مدول الاستسیته در دوره عمل‌آوری ۷ روزه را نشان می دهند. همان‌گونه که در این شکل‌ها مشاهده می‌شود با افزایش سدیم از صفر تا ۲۰ درصد، به ازا مقادیر ماسه، مدول الاستیسیته کاهش می‌یابد. بیشترین میزان این کاهش در استفاده از ۱۵ درصد ماسه و به میزان ۵۸ درصد و کمترین این کاهش مربوط به خاک بدون ماسه و به میزان ۳۴ درصد بود. به علاوه، در همین دوره عمل‌آوری، با توجه به شکل (۱۵)، به ازا همه مقادیر سدیم بیشترین مدول الاستیسیته مربوط به خاک به همراه ۵ درصد ماسه بادی بود. بنابراین، بیشترین مقدار مدول الاستیسیته در خاک بدون سدیم با وجود ۵ درصد ماسه بادی و برابر ۱۷۳۰ کیلو پاسکال مشاهده‌شد. همچنین، افزایش ماسه تا حد ۵ درصد موجب افزایش مدول الاستیسیته خاک به میزان ۴۹۴ Kpa در خاک شاهد شد. در حالی‌که این میزان برای خاک دارای ۵ درصد کلرید سدیم ۵۲۸ Kpa ثبت شد که بیشترین مقدار در بین خاک‌ها بود. البته، در همین خاک، با افزایش ماسه، روند کاهش مدول الاستیسیته شدت بیشتری داشت (شکل ۱۶).



شکل ۱۵. تغییرات مدول‌الاستیسیته به ازا افزایش کلرید سدیم در درصدهای مختلف ماسه‌بادی - نمونه های ۷روزه



شکل ۱۶. تغییرات مدول الاستیسیته به ازا افزایش ماسه بادی در درصدهای مختلف کلرید سدیم- نمونه های ۷روزه

شکل‌های (۱۷) و (۱۸) به ترتیب تغییرات مدول الاستیسیته در برابر افزایش کلرید سدیم و ماسه بادی نشان داده‌شده‌است. بر این‌اساس، افزایش دوره عمل‌آوری به ۲۸ روزه موجب کاهش بیشتر مدول الاستیسیته شد. بر این اساس، به ازا همه مقادیر ماسه، حتی با وجود ۵ درصد کلرید سدیم هم تغییر زیادی در مقدار مدول الاستیسیته پدید آمد. این موضوع نشان‌دهنده تاثیر کاهنده سدیم در زمان‌های طولانی است. در این مدت زمانی، یون‌های سدیم فرصت کافی برای ایجاد پیوند با ذرات رس را داشته و با افزایش لایه مضاعف پخشیده کاهش قابل ملاحظه‌ای در خصوصیات مقاومتی خاک ایجاد شده‌است. افزودن ماسه بادی به ترتیب، فقط موجب افزایش قابل توجه (۸۰۰ kPa) و افزایش اندک (۳۰۰ kPa) در مدول الاستیسیته خاک بدون سدیم و با ۵ درصد سدیم شد. البته، در خاک‌های دارای سدیم افزودن ماسه بیش از ۵ درصد تاثیر چندانی بر این ویژگی مکانیکی خاک داشت. به طور کلی، در افزودن ماسه به یک خاک دارای سدیم، بیش از ۵ درصد ماسه تاثیر چندانی بر کاهش تاثیر کاهنده سدیم بر مدول الاستیسیته نداشته‌است. Daryaee and Kashefipour, 2011 بیشترین مقدار مدول الاستیسیته را به ازا وجود ۱۰ درصد ماسه در ترکیب خاک-آهک مشاهده کردند.

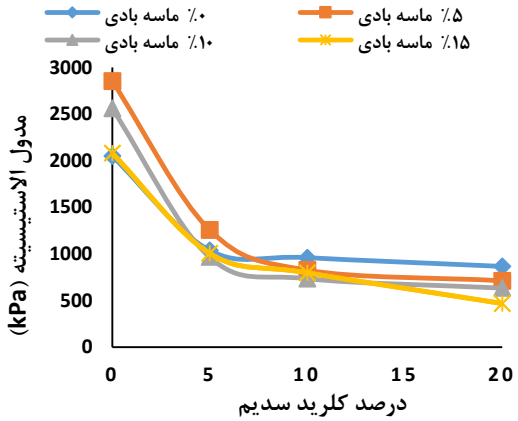
تاثیر کلرید کلسیم و ماسه بر مدول الاستیسیته

در شکل‌های (۱۹) و (۲۰) به ترتیب، تغییرات مدول الاستیسیته خاک بر اثر افزودن کلرید کلسیم و ماسه بادی به آن ارائه شده است. با توجه به شکل (۱۹) به ازا همه مقادیر ماسه بادی، با افزودن ۵ درصد کلرید کلسیم به خاک مدول الاستیسیته به بیشترین مقدار خود می‌رسد. بیشینه مدول الاستیسیته معادل ۳۶۰۰ کیلو پاسکال و در خاک دارای ۵ درصد ماسه بادی و ۵ درصد کلرید کلسیم حادث شد. دلیل بهبود شرایط الاستیکی خاک بروز واکنش بین ذرات رس و کلسیم موجود در آب خاک است. افزودن کلرید کلسیم بیشتر لایه پخشیده مضاعف را بزرگتر

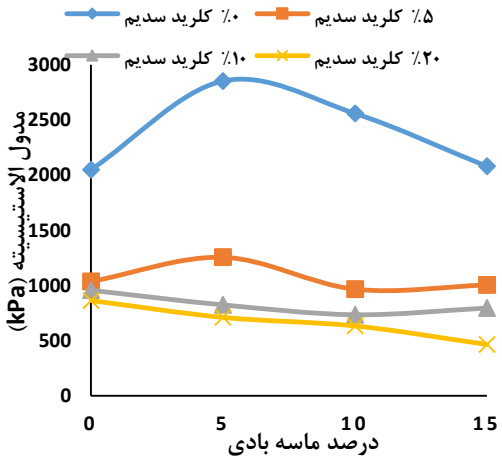
www.SID.ir

Archive of SID

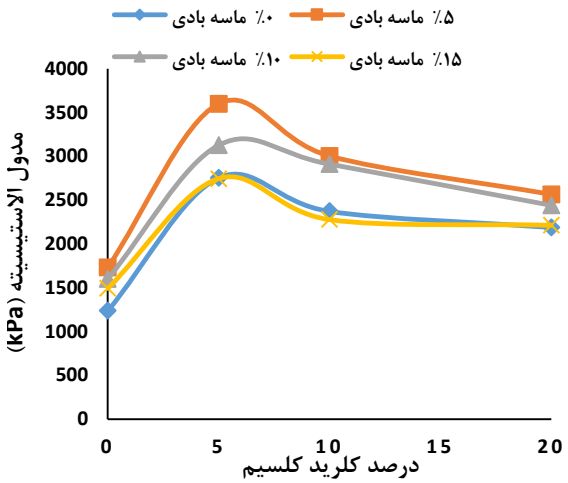
کرده و بین ذرات خاک فاصله ایجاد می‌کند. این موضوع مدول الاستیسیته را کاهش می‌دهد. همچنین، به ازا مقادیر کلرید کلسیم افزودن ماسه تا ۵ درصد موجب افزایش مدول الاستیسیته خاک شده و استفاده بیش از این مقدار باعث کاهش اصطکاک ذرات خاک شده و مدول الاستیسیته را کاهش می‌دهد (شکل ۲۰).



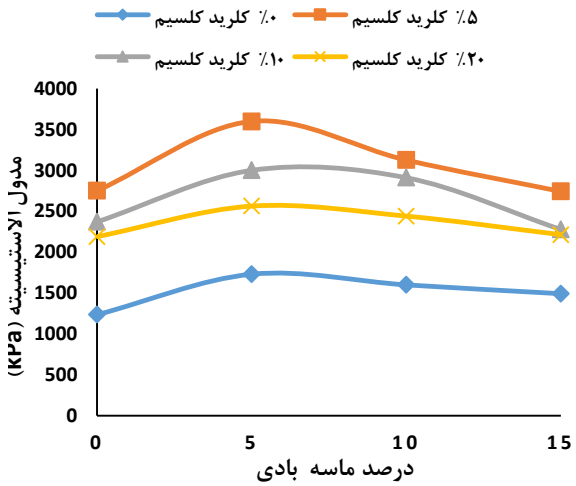
شکل ۱۷. تغییرات مدول‌الاستیسیته به ازا افزایش کلرید سدیم در درصدهای مختلف ماسه‌بادی – نمونه های ۲۸ روزه



شکل ۱۸. تغییرات مدول الاستیسیته به ازا افزایش ماسه بادی در درصدهای مختلف کلرید سدیم– نمونه های۲۸ روزه



شکل ۱۹. تغییرات مدول الاستیسیته به ازا افزایش کلرید کلسیم در درصدهای مختلف ماسه بادی – نمونه های ۷روزه



شکل ۲۰. تغییرات مدول الاستیسیته به ازا افزایش ماسه بادی در درصدهای مختلف کلرید کلسیم– نمونه های ۷روزه

شکل‌های (۲۱) و (۲۲) به ترتیب، نشان‌دهنده تاثیر تغییرات میزان کلرید کلسیم و ماسه بادی بر مدول الاستیسیته خاک می‌باشند. در حالی‌که در دوره عمل‌آوری ۷ روزه حداکثر مدول الاستسیته ۳۶۰۰ کیلو پاسکال به دست آمد. این مقدار در دوره ۲۸ روزه ۷۱/۶ درصد بیشتر شد. این موضوع نشان دهنده تاثیر زمان در انجام تبادلات یونی بین رس و آب منفذی حاوی کلرید کلسیم بود (شکل‌های ۲۱ و ۲۲). روند تغییرات در این دوره مشابه دوره عمل‌آوری ۷ روزه بود. Panahi, and Khodashenas, 2017 بیان کردند که وجود رس زیاد در خاک می‌تواند به افزایش خصوصیات مقاومتی در اثر گذشت زمان بیانجامد. اما، چنین وضعیتی در خاک سیلتی مشاهده نشد. با توجه به اینکه در تحقیق حاضر مقدار رس خاک بیش از مقدار رس خاک در تحقیق مذکور بود، بروز چنین تغییراتی در میزان مقاومت خاک بسیار محتمل می‌باشد.

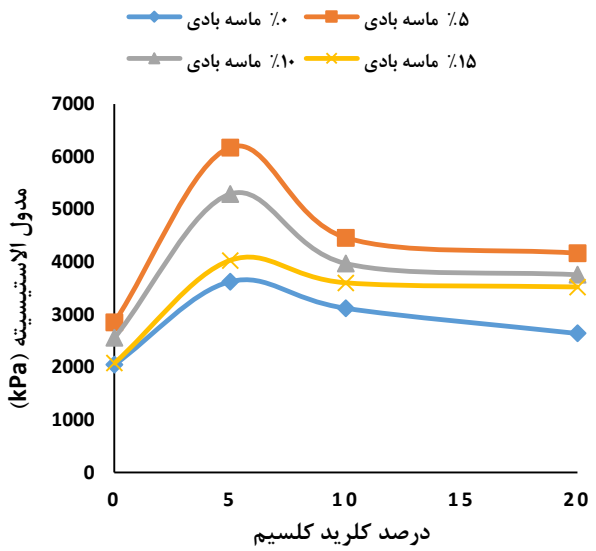
مقایسه بیشینه مقادیر مقاومت فشاری در استفاده از نمک کلرید سدیم، کلرید کلسیم و ماسه بادی

نتایج ارائه‌شده در بخش‌های قبلی نشان داد که به طور کلی افزایش کلرید سدیم نقش کاهشی و کلرید کلسیم نقش افزایشی

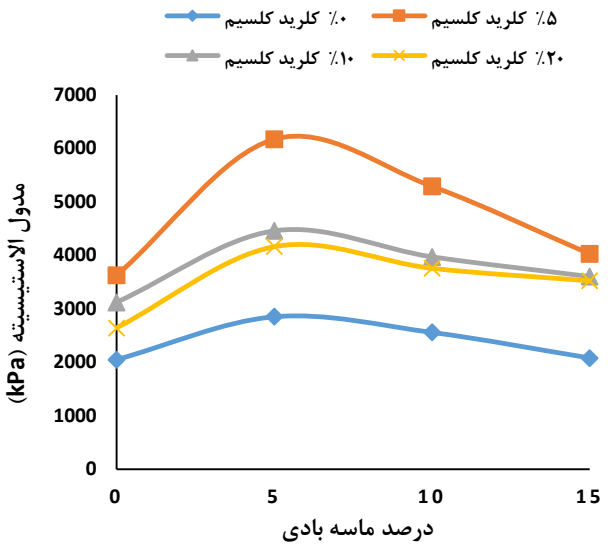
www.SID.ir

Archive of SID

در مقاومت فشاری خاک دارند. این موضوع در بسیاری از تحقیقات قبلی به اثبات رسیده است (Abbasi *et al*., 2013 ; Panahi and Khodashenas, 2017; Sharmila *et al*. (2019). استفاده از ماسه موجب بهبود وضعیت مقاومتی خاک دارای کلرید کلسیم شد. اما، تاثیری بر بهبود وضعیت خاک دارای کلرید سدیم نداشته‌است. در واقع، افزودن ماسه از کاهش مقاومت خاک جلوگیری نکرده‌بود. دلیل بروز چنین وضعیتی غلبه فعل و انفعالات شیمیایی ناشی از وجود سدیم در خاک بر استحکام بخشی فیزیکی ناشی از وجود ماسه در خاک است. به طور کلی، وجود ماسه در خاک به عنوان تشدید کننده عمل کرده و اثرات افزایندگی یا کاهندگی ناشی از دو ماده مورد بحث را شدت می‌بخشد.



شکل ۲۱. تغییرات مدول الاستیسیته به ازا افزایش کلرید کلسیم در درصد های مختلف ماسه بادی – نمونه های ۲۸ روزه



شکل ۲۲. تغییرات مدول الاستیسیته به ازا افزایش ماسه بادی در درصدهای مختلف کلرید کلسیم – نمونه های ۲۸روزه

تاثیر زمان بر خصوصیات فشاری خاک

در جدول‌های (۳) و (۴) مقادیر تغییرات مقاومت فشاری خاک در نسبت‌های اختلاط مختلف آزمایش نسبت به خاک شاهد ارائه‌شده‌است. با توجه به این جدول‌ها، تاثیر زمان بر مقاومت فشاری قابل بررسی می‌باشد. به طور کلی، با گذشت زمان، مقاومت فشاری خاک دارای کلرید کلسیم افزایش یافته‌است. در عوض، وجود کلرید سدیم از مقدار آن می‌کاهد. در واقع، گذشت زمان به عنوان عاملی برای تشدید فعل و انفعالات شیمیایی بوده و تاثیر هر یک از مواد افزودنی شیمیایی را افزایش می‌دهد.

با توجه به نتایج حاصله، علیرغم اینکه با وجود کمی کلرید سدیم در خاک موجب افزایش مقاومت فشاری آن در دوره عمل‌آوری ۷ روزه شده‌است. اما، این موضوع به بهبود شرایط مقاومتی در دوره‌های عمل‌آوری طولانی‌تر نیانجامیده‌است. بلکه، چنانکه در جداول مذکور آمده، مقاومت در دوره ۲۸ روزه نسبت به نمونه شاهد کاهش یافته است. Panahi and Khodashenas, 2017 تاکید می‌کنند که افزایش سدیم و دوره عمل‌آوری موجب کاهش مقاومت فشاری تک‌محوره در خاک‌های رسی و لای می‌شود. این کاهش در خاک رس بیش از خاک لای اتفاق می‌افتد. مشابه با نتایج تحقیق مذکور، در تحقیق حاضر هم با کم‌شدن سطوح تبادلی رس ناشی از افزایش ماسه کاهش کمتری در مقاومت فشاری مشاهده می‌شود.

همچنین، در جدول‌های (۵) و (۶) تغییرات مدول الاستیسیته در نسبت‌های اختلاط مختلف آزمایش نسبت به خاک شاهد ارائه شده‌است. با توجه به جدول‌های (۳) تا (۶)، روندی مشابه در مورد مدول الاستیسیته در خاک مشاهده‌شد. گذشت زمان، فرصت لازم برای فعال شدن سدیم در خاک را به وجود آورده و مقدار مدول الاستیسیته خاک درتیمارهای زیادی را کاهش داده‌است. این کاهش به اندازه‌ای بوده که افزودن ماسه هم تاثیری در تخفیف این روند کاهشی آن نداشت.

طبق جدول‌های (۵) و (۶)، وجود همزمان کلسیم در خاک و ماسه بادی در ترکیب خاک موجب بهبود شرایط مقاومتی خاک شده‌است. به نحوی که به ازا همه مقادیر ماسه، افزودن کلرید کلسیم مقاومت فشاری خاک در دوره ۷ روزه شده‌است. در دوره ۲۸ روزه نیز این روند ادامه داشت. در بین تیمارها، بیشترین بهبود شرایط مربوط به خاک بدون ماسه بود. نتایج سایر تحقیقات مانند Panahi and Khodashenas, 2017 نیز نشان داد که وجود ذرات

www.SID.ir

Archive of SID

رسی در خاک موجب افزایش تاثیر کلرید کلسیم در خاک می‌شود. بر اساس نتایج به‌دست آمده، با افزایش دوره عمل‌آوری، وجود بیش از ۵ درصد ماسه در خاک تاثیر کلسیم بر مقاومت فشاری خاک را کاهش داده‌است. در واقع، وجود ماسه بیش از این، مانع ایجاد چسبندگی در این ترکیب شده و لذا، افزایش مقاومت مربوط به وجود کلسیم می‌باشد (جدول‌های ۳ و ۴). مدول الاستسیته خاک هم با روندی مشابه روبه‌رو بوده و گذشت زمان موجب افزایش آن شده‌است (جدول ۵ و ۶).

جدول ۳. درصد تغییرات مقاومت فشاری به ازا افزایش ماسه و کلریدسدیم و کلرید کلسیم نسبت به نمونه شاهد در دوره ۷ روزه

	درصد کلرید کلسیم			درصد کلرید سدیم			
درصد ماسه	۲۰	۱۰	۵	۰	۲۰	۱۰	۵	۰
۰	۱۹	۷۷	۸۹	۰	-۲۵	۱۳	-۴	۰
۵	۹۱	۱۲۴	۱۴۶	۲۹	-۷	۸	۲۲	۲۹
۱۰	۶۷	۹۹	۱۱۴	۲۰	-۲۱	-۶	۸	۲۰
۱۵	۲۴	۵۶	۷۱	۲	-۵۳	-۳۹	-۲۰	۲

جدول ۴. درصد تغییرات مقاومت فشاری به ازا افزایش ماسه و کلریدسدیم و کلریدکلسیم نسبت به نمونه شاهد در دوره ۲۸ روزه

	درصد کلرید کلسیم			درصد کلرید سدیم			
درصد ماسه	۲۰	۱۰	۵	۰	۲۰	۱۰	۵	۰
۰	۳۹	۵۲	۶۴	۰	-۵۵	-۴۶	-۴۲	۰
۵	۸۸	۱۱۹	۱۷۸	۲۹	-۶۵	-۵۷	-۴۳	۲۹
۱۰	۵۵	۷۹	۱۱۹	۱۵	-۷۴	-۶۴	-۵۶	۱۵
۱۵	۳۲	۶۲	۸۱	-۶	-۸۳	-۷۴	-۵۹	-۶

جدول ۵. درصد تغییرات مدول الاستیسیته به ازا افزایش ماسه و کلریدسدیم و کلریدکلسیم نسبت به نمونه‌شاهد در دوره ۷ روزه

	درصد کلرید کلسیم			درصد کلرید سدیم			
درصد ماسه	۲۰	۱۰	۵	۰	۲۰	۱۰	۵	۰
۰	۷۶	۹۲	۱۲۳	۰	-۳۵	-۱۳	-۱۱	۰
۵	۱۰۷	۱۴۳	۱۹۲	۴۰	-۱۴	۸	۳۲	۴۰
۱۰	۹۷	۱۳۶	۱۵۳	۳۰	-۲۱	۲	۸	۳۰
۱۵	۷۹	۸۴	۱۲۲	۲۱	-۴۹	-۲۷	-۱۴	۲۱

جدول ۶. درصد تغییرات مدول الاستیسیته به ازا افزایش ماسه و کلریدسدیم و کلریدکلسیم نسبت به نمونه‌شاهد در دوره ۲۸ روزه

	درصد کلرید کلسیم			درصد کلرید سدیم			
درصد ماسه	۲۰	۱۰	۵	۰	۲۰	۱۰	۵	۰
۰	۲۹	۵۲	۷۷	۰	-۵۸	-۵۳	-۴۹	۰
۵	۱۰۳	۱۱۷	۲۰۱	۴۰	-۶۵	-۶۰	-۳۹	۴۰
۱۰	۸۳	۹۴	۱۵۸	۲۵	-۶۹	-۶۴	-۵۳	۲۵
۱۵	۷۲	۷۶	۹۶	۱	-۷۷	-۶۱	-۵۱	۱

نتیجه گیری

هدف اصلی این تحقیق برآورد تاثیر همزمان ماسه بادی و دو نوع نمک کلرید سدیم و کلرید کلسیم بر مقاومت فشاری و مدول الاستیسیته خاک رسی بود. با توجه به نمودارها و جداول حاصله مهم‌ترین نتایج این پژوهش به صورت زیر می‌باشند:

۱-افزودن ماسه بادی تا میزان ۵ درصد، به دلیل افزایش

www.SID.ir

Archive of SID

اصطکاک، موجب حصول مقدار بیشینه مقاومت فشاری و مدول الاستیسیته خاک شد. گرچه، به همین دلیل، وجود ۱۰ درصد ماسه در خاک هم می‌تواند نتایج بهتری نسبت به نبود ماسه در خاک به دنبال داشته‌باشد. البته، در نمونه‌های خاک-ماسه دارای کلرید سدیم به دلیل غلبه نقش پراکنده‌سازی سدیم، در دوره‌های ۲۸ روزه وجود ماسه به ازا همه مقادیر موجب کاهش دو پارامتر مذکور شده بود. بنابراین، از افزودن ماسه بادی در خاکهایی که کلرید سدیم زیادی در آن‌ها وجود دارد تاثیر منفی بر مقاومت فشاری خاک دارد.

۲- وجود سدیم در خاک موجب کاهش زیادی در مقاومت فشاری و مدول الاستیسیته خاک می‌شود. در این زمینه، افزودن ماسه به خاک دارای مقادیر زیاد سدیم هم موجب بهبود شرایط مقاومتی خاک نمی‌شود. بنابراین، جهت بهبود شرایط مقاومتی خاک دارای سدیم، در صورت امکان، اقدام به تخلیه سدیم با استفاده از روش آبشویی و جایگزینی آن با کاتیونی مانند کلسیم با استفاده از مواد اصلاحی دیگر مانند آهک، راهکاری مناسب به نظر می‌رسد.

۳- در همه نمونه‌های آزمایش، بیشترین مقدار مقاومت فشاری و مدول الاستیسیته در دوره‌های عمل‌آوری ۷ و ۲۸ روزه در خاک دارای ۵ درصد کلرید کلسیم و ۵ درصد ماسه بادی مشاهده‌شد.

۴- مقاومت فشاری و مدول الاستیسیته، در همه نسبت‌های اختلاط ماسه، با وجود کلرید سدیم و کلرید کلسیم، در دوره عمل‌آوری ۲۸ روزه نسبت به دوره ۷ روزه، به ترتیب روند کاهشی و افزایشی داشته‌است. دلیل این موضوع، وجود زمان کافی برای تاثیرگذاری این دو کاتیون بر شرایط مقاومتی خاک از طریق انجام فعل و انفعالات شیمیایی می‌باشد. لذا، توجه به راهکارهای بهبود شرایط خاک دارای کلسیم مثل نگهداشت‌رطوبت در آن‌ها، در دوره‌های پس‌از ساخت می‌تواند بر بهبود مقاومت فشاری خاک تاثیر مثبت داشته‌باشد.

۵-به دلیل تاثیرات شیمیایی کمتر کلرید کلسیم نسبت به سایر بهسازهای شیمیایی مانند آهک و تاثیر کمتر ماسه بادی بر افزایش اصطکاک بین ذرات خاک در مقایسه با سایر مواد مشابه مانند فیبرها، ترکیب کلرید کلسیم و ماسه بادی، به تنهایی، موجب بهبود قابل توجه مقاومت فشاری خاک نمی‌شود. اما، احتمالا، وجود آن‌ها در همراه با استفاده از مواد بهساز دیگر به افزایش مقاومت خاک خواهد انجامید. در این راستا، انجام تحقیقات تکمیلی توصیه می‌گردد.

سپاسگزاری

نویسندگان از معاونت پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان به‌دلیل حمایت‌هایشان تشکر به عمل می‌آورند.

REFERENCES

Abbasi, N., Oveisiha, M. and Movahedan, M. (2013). Effect of Pore Water Salinity on Compaction and Compressibility of Clayey Soils. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 14(3), 67-82. (In Farsi)

Abood, T. T., Kasa, A. B. and Chik, Z. B. (2007). Stabilisation of silty clay soil using chloride compounds. *Journal of engineering science and technology*, 2, 102-110.

Abedi Koopaei, J., Soltanian, S. and Gheisari. M. (2015). Effect of Polypropylene Fibers on the Mechanical Properties of Gypsiferous Soils. *Iranian journal of soil and water research*, 46(2), 245-253. (In Farsi)

Abu-Farsakh, M., Dhakal, S. and Chen, Q. (2015). Laboratory characterization of cementitiously treated/stabilized very weak subgrade soil under cyclic loading. *Soils and Foundations*, 55(3), 504-516.

Ahadian, J., Salemnia, A. and Karimi, M. (2012). The effect of compaction test component on development of stress-strain in the clay soil in comparison to clay- sand soil. *Journal of water and soil resources conservation*, 1(2), 29-50. (In Farsi)

ASTM D 698 (2017). Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort (12,400 ft-lbf/ft3 (600 kN-m/m3)).

ASTM D 4318 (2017). Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils.

ASTM D 854 (2017). Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer.

ASTM D 2166 (2017). Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Cohesive Soil.

Babalar, M., Raeisi Estabragh, A., Beitollahpoor, I. and Soltani, A. (2016). Regression model for predicting the compressive strength of treated soil-cement with resin. *Iranian journal of soil and water research*, 47(1), 197-204. (In Farsi)

Beer, F. P., Russell Johnston. E., De Wolf, J. T., Mazurek, D. F., (2011). *Mechanics of Materials* (6th ed.). McGraw-Hill.

Behnood, A. (2018). Soil and clay stabilization with calcium- and non-calcium-based additives: A state-of-the-art review of challenges, approaches and techniques. *Transportation Geotechniques*, 17(Part A), 14-32.

Bowles J. (1992). Engineering properties of soils and their measurement (4th ed.). McGraw-Hill.

Cabane, N., Nectoux, P., Gaudon, P. and Fouletier, M.

www.SID.ir

Archive of SID

(2005). Contribution to study of sulphur damages on treated soils. *Proceedings of 2nd International Symposium of Treatment and Recycling of Materials for Transport Infrastructure TREMTI*, Paris, France, Paper No. C013.

Casey, B., Germaine, J.T. and Fahy, B.P. (2017). Effects of Salinity on the Compression and Shear Behavior of Offshore Gulf of Mexico Sediments. In Geotechnical Frontiers 2017 (pp. 306-316).

Daryaee, M. and Kashefipour, S.M. (2011). Investigation of the Effect of Adding Soft Sand and Lime on Strength Properties of Clay Soils. *Journal of Water and Soil*. 25(2), 230-239. (In Farsi)

Deng, Y., Wu, Z., Cui, Y., Liu, S. and Wang, Q. (2016). Sand fraction effect on hydro-mechanical behavior of sand-clay mixture. *Applied Clay Science*, 135, 355-361.

Fatahi, B., Khabbaz, H. and Basack, S. (2011). Effects of salinity and sand content on liquid limit and hydraulic conductivity. *Australian Geomechanics Journal*, 46 (1), 67-76.

Firoozi, A.A., Guney Olgun, C., Firoozi, A.A. and Shojaei Baghini, M. (2017). Fundamentals of soil stabilization. *International Journal of Geo-Engineering*, 8, 26.

Galán-Marín, C., Rivera-Gómez, C. and Petric, J. (2010). Clay-based composite stabilized with natural polymer and fibre. *Construction and Building Materials*, 24(8), 1462-1468.

Greene, R.S.B., Rengasamy, P., Ford, G.W., Chartres, C.J. and Millar, J.J. (1988). The effect of sodium and calcium on physical properties and micromorphology of two red-brown earth soils. *Journal of Soil Science*, 39(4), 639-648.

Katebi, H. (2007). The Use of Lime and Sand in Stabilisation of Calcareous Soils. *Journal of Faculty of Engineering*, 33(3), (Civil Eng.), 65-70. (In Farsi).

Khalilzadeh Vahidi. E. and Moradi, N. (2016). Experimental investigation on compressive strength of cement mortar using nano clay and flay ash. *Journal of structural and construction engineering*, 3(1), 38-48. (In Farsi).

Khamechian, M., Rahimi, H. and Soloki, H. (2000). Studies on dispersive soils in relation to geological conditions of Khuzestan Province. *Geosciences*, 9(35-36), 44-59 (In Farsi).

Kumar, A., Walia, B.S. and Bajaj, A. (2007). Influence of fly ash, lime, and polyester fibers on compaction and strength properties of expansive soil. *Journal of materials in civil engineering*, 19(3), 242-248.

Kyei-Baffour, N., Rycroft, D.W. and Tanton, T.W. (2004). The impacts of sodicity on soil strength. *Irrigation and Drainage*, 53(1), 77-85.

Latifi, N., Horpibulsuk, S., Meehan, C. L., Abd Majid, M. Z., Tahir, M. M. and Mohamad, E. T. (2016a). Improvement of problematic soils with biopolymer—An environmentally friendly soil stabilizer. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 29 (2), 04016204.

Latifi, N., Meehan, C. L., Abd Majid, M. Z. and Horpibulsuk, S. (2016b). Strengthening montmorillonitic and kaolinitic clays using a calcium-based non-traditional additive: A micro-level study. *Applied Clay Science*, 132, 182-193.

Marto, A., Latifi, N. and Eisazadeh, A. (2014). Effect of non-traditional additives on engineering and microstructural characteristics of laterite soil. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 39(10), 6949-6958.

Modmoltin, C. and Voottipruex, P. (2009). Influence of salts on strength of cement-treated clays. In: *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Ground Improvement*, *162*(1), pp.15-26.

Mohd Yunus, N. Z., Wanatowski, D. and Stace. L. R. (2012). Effectiveness of Chloride Salts on the Behaviour of Lime-Stabilised Organic Clay. *International Journal of GEOMATE*, 3(2), (Sl. No. 6), 407- 412.

Momeni, A. (2011). Geographical Distribution and Salinity Levels of Soil Resources of Iran. *Iranian Journal of Soil Research*, 24(3), 203-215. (In Farsi)

Panahi, G. and Khodashenas, S.R. (2017). Evaluating Methods for Increasing the Stability Earth slop's in Irrigation Channels. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 3(11), 424-434.

Pourakbar, S. and Huat, B. K. (2017). A review of alternatives traditional cementitious binders for engineering improvement of soils. *International Journal of Geotechnical Engineering*, 11(2), 206-216.

Priyadarshee, A., Gupta, D., Kumar, V. and Sharma. V. (2015). Comparative Study on Performance of Tire Crumbles with Fly Ash and Kaolin Clay. *International Journal of Geosynthetics and Ground Engineering*, 1, 38.

Sagastume Gutierrez, A., Van Caneghem, J., Cogollos. J. and Vandecasteele, C. (2012). Evaluation of the environmental performance of lime production in Cuba. *Journal of Cleaner Production*, 31, 126-136.

Sagastume Gutierrez, A., Cabello Eras, J. J., Gaviria, C. A., Van Caneghem, J. and Vandecasteele, C. (2017). Improved selection of the functional unit in environmental impact assessment of cement. *Journal of Cleaner Production*, 168, 463-473.

Salamatpoor, S. and Salamatpoor, S. (2017). Evaluation of adding crushed glass to different combinations of cement-stabilized sand. *Geo-Engineering*, 8, 8.

Sani, J.E., Etim, R.K. and Joseph, A. (2019). Compaction Behaviour of Lateritic Soil–Calcium Chloride Mixtures. *Geotechnical and Geological Engineering*, 37(4), 2343-2362.

Sharmila, S.M.R., Narayanan, K.S. and Arun, S. (2019). Experimental investigation of soil reinforced with human hair fibre and chloride compounds. *Engineering Research Express*, 1(1), p.015017.

Teerawattanasuk, C. and Voottipruex, P. (2019). Comparison between cement and fly ash.
www.SID.ir

Archive of SID

geopolymer for stabilized marginal lateritic soil as road material. International Journal of Pavement Engineering, 20(11), 1264-1274.

Van Paassen, L.A. and Gareau, L.F. (2004). Effect of pore fluid salinity on compressibility and shear strength development of clayey soils. In R. Hack.,R. Azzam. and R. Charlier (Eds.), Engineering geology for infrastructure planning in Europe, *A European Perspective*. (pp. 327-340). Berlin, Heidelberg, Springer.

Wagner, J. F. (2013). Mechanical Properties of Clays and Clay Minerals, In F. Bergaya, and G. Lagaly, (Eds), Developments in Clay Science (Vol 5), (pp 347-381), Elsevier.

Yin, J., Hu, M.M., Xu, G.Z., Han, W.X. and Miao, Y.H., (2019). Effect of salinity on rheological and strength properties of cement-stabilized clay minerals. *Marine Georesources and Geotechnology*, 1-10.

www.SID.ir