

بررسی تأثیر کربنات سدیم بر رفتار تورمی و انقباضی خاک‌های رسی در بستر سازه‌های آبی

نادر عباسی^{۱*}، مارال سرکاری^۲، افشین خورسند^۳، رضا بهراملو^۴

^{۱*} استاد، موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
^۲ کارشناس ارشد، آبیاری و زهکشی، مدیریت آب و خاک و امور مهندسی، سازمان جهاد کشاورزی استان البرز، کرج، ایران
^۳ محقق، موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
^۴ دانشیار، بخش تحقیقات فنی و مهندسی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، همدان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۱۹

چکیده

خاک‌های متورم‌شونده و منقبض‌شونده از خاک‌های مسئله‌دار هستند که اگر رفتار آن‌ها شناخته نشود و تمهیدات لازم به‌کار گرفته نشود، باعث تخریب سازه‌های ساخته شده روی آن‌ها می‌گردد. پتانسیل تورم یا انقباض خاک تابع عوامل متعددی مانند نوع کانی‌های رسی و مشخصات شیمیایی آب است. در این تحقیق اثر مقادیر مختلف کربنات سدیم بر رفتار تورمی و انقباضی خاک رسی بررسی شده است. بدین منظور یک نمونه خاک رسی با مشخصات فیزیکی، که بیانگر مشخصات غالب خاک‌های رسی ایران باشد، تهیه شد. پنج مقدار مختلف کربنات سدیم، ۰/۵، ۱، ۲، ۵ و ۱۰ درصد وزنی خاک، به آن اضافه و پنج نمونه خاک مصنوعی تهیه شد که با در نظر گرفتن نمونه طبیعی، شش نمونه خاک با شوری‌های مختلف مورد استفاده قرار گرفتند. مشخصه‌های شیمیایی هر یک از خاک‌ها شامل میزان شوری (EC)، اسیدیته (pH)، آنیون‌ها و کاتیون‌های موجود در عصاره اشباع تعیین و آزمایش‌های تعیین شاخص‌های تورمی و انقباضی نمونه‌ها شامل فشار تورمی، درصد تورم، درصد انقباض خطی و انقباض حجمی در ۳ تکرار روی هر یک از نمونه‌ها اجرا شد. برای تعیین مشخصات تورمی از آزمایش تورم آزاد با استفاده از دستگاه تحکیم و برای تعیین شاخص‌های انقباضی، آزمایش تعیین حد انقباض (SL) بر اساس روش‌های استاندارد ASTM استفاده شد. بر اساس نتایج به‌دست آمده از آزمایش‌ها مشخص گردید که چگونگی تأثیر نمک کربنات سدیم بستگی به میزان نمک دارد، به‌طوری‌که با افزایش نمک تا حدود یک درصد، سه ویژگی فشار تورمی، میزان انقباض حجمی و میزان انقباض خطی به ترتیب افزایش، کاهش و افزایش می‌یابد. برای مقادیر بین ۱ تا ۵ درصد، فشار تورمی و انقباض خطی کاهش می‌یابد و برای مقادیر بین ۱ تا ۱۰ درصد، میزان انقباض حجمی افزایش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: خاک‌های مشکل‌آفرین، شوری خاک، مشخصات تورمی، انقباض حجمی، انقباض خطی

مقدمه

اصطلاح ژئوتکنیک، خاک مشکل‌آفرین به خاک‌هایی اطلاق می‌شود که در صورت استفاده از آن‌ها در سازه‌های خاکی، مشکلاتی را در دوران ساخت یا بهره‌برداری ایجاد می‌کنند. خاک‌های تورم‌پذیر^۱، واگرا، روانگرا، رمبنده، انحلال‌پذیر، ماسه‌ای ناپایدار، ضعیف و آلی و نیز رس‌های روان از جمله خاک‌های مشکل‌آفرین هستند. برای اصلاح خاک‌های مشکل‌آفرین یا به عبارتی دیگر بهسازی خاک در پروژه‌های اجرایی به روش شیمیایی، بسته به هدف از بهسازی خاک، معمولاً از

بررسی‌ها در خصوص وضعیت بهره‌برداری از شبکه‌های آبیاری و زهکشی نشان داده‌اند که اغلب این شبکه‌ها در مراحل مختلف بهره‌برداری دچار مشکلات عدیده‌ای می‌شوند. این مشکلات که اغلب به‌صورت تخریب سازه‌ها بروز می‌کنند، معلول عوامل متعددی از جمله شرایط ژئوتکنیکی بستر و وجود خاک‌های مشکل‌آفرین در بستر این گونه سازه‌هاست (Abbasi & Bahramloo, 2018). در

وقوع یکی از آن‌ها وجود دارد. تغییر شکل‌های ایجاد شده در خاک‌های تورم‌پذیر اغلب غیریکنواخت و نامتعادل‌اند و ممکن است موجب ایجاد خسارت‌های قابل توجه به سازه بنا شده روی آن‌ها شوند (Rahimi & Abbasi, 2017; Asghari-Kaljahi *et al.*, 2019). این خاک‌ها با جذب رطوبت و کاهش رطوبت به ترتیب افزایش حجم (تورم) و کاهش حجم (انقباض) پیدا می‌کنند (Basma *et al.*, 1996; Bhavsar & Patel, 2014). خاک‌های متورم‌شونده احتمال دارد سبب خسارت به کانال‌های آبیاری، ساختمان‌ها و دیگر سازه‌های مهندسی شوند و کاهش عمر مفید را نیز به دنبال داشته باشند (Nowamooz & Masrouri, 2008). ساخت و ساز در خاک‌های متورم شونده، چالشی بزرگ برای مهندسان ژئوتکنیک در سراسر جهان است (Ramesh *et al.*, 2022; Elmashad *et al.*, 2012). این نوع خاک‌ها رفتار کاملاً پیچیده‌ای دارند و در دسته خاک‌های مشکل‌آفرین قرار می‌گیرند (Elmashad *et al.*, 2022). تکنیک‌های مختلفی برای بهبود خواص خاک از جمله ستون‌های شنی، ستون‌های سنگی، تکنیک‌های ارتعاشی و افزودن مواد شیمیایی وجود دارد و در این میان، تثبیت شیمیایی گران‌تر از سایر روش‌های تثبیت است (Ramesh *et al.*, 2012). تعیین درصد تورم و فشار تورم خاک‌های رسی ابزاری مهم برای پیش‌بینی رفتار رس‌ها رس‌هاست. یکی از مهم‌ترین مشخصات خاک‌های رسی، حساسیت آن‌ها به تغییر حجم به دلیل تورم و انقباض است که باعث حرکت ذرات خاک می‌شود که ممکن است به ساختمان‌ها آسیب برساند (Yilmaz & Marschalko, 2014). عواملی که ممکن است در کاهش تورم آزاد و فشار تورمی نقش داشته باشند، به این صورت بیان می‌شود؛ غلظت بالای نمک در آب ممکن است بر خواص فیزیکی خاک‌های رسی تأثیر بگذارد، زیرا باعث می‌شود ذرات ریز به یکدیگر متصل شوند و خاکدانه تشکیل دهند که این عمل ممکن است سبب کاهش سطح ویژه شود و سرانجام ممکن است تورم آزاد و فشار تورم را نیز کاهش دهد (Yong & Warkentin, 1975; Yilmaz & Marschalko, 2014). تبادل کاتیونی بین آب دریا و خاک رس ممکن است از ورود آب بین لایه‌ها جلوگیری کند و پتانسیل تورم کاهش یابد (Yilmaz & Marschalko, 2014).

ترکیبات شیمیایی مختلفی استفاده می‌شود که هر یک از این مواد مزایای و محدودیت‌های خاص خود دارد و اثرهای متفاوتی بر رفتار فیزیکی و مکانیکی خاک می‌گذارند. نتایج تحقیقات متعدد در خصوص تاثیر انواع کاتیون‌ها مثل کلسیم و سدیم و آنیون‌ها مثل کربنات، سولفات و کلرید بر خواص مهندسی خاک‌ها از جمله مقاومت برشی، تراکم‌پذیری، نفوذپذیری و خواص خمیریایی خاک‌ها نشان می‌دهد میزان تاثیر سدیم در پراکندگی ذرات بستگی به نوع آنیون موجود در خاک یا نمک مورد استفاده نیز دارد. به طور مثال تاثیر سدیم در قالب نمک‌های کربنات سدیم و کلرید سدیم بر رفتار فیزیکی و مکانیکی خاک متفاوت است (Abbasi & Nazifi, 2013). استفاده از ترکیبات سدیمی برای اصلاح ویژگی‌های مختلف خاک و با اهداف متفاوتی در کشاورزی و مهندسی سابقه‌ای بسیار طولانی دارد. در گذشته از ترکیبات سدیمی به دلیل خاصیت پراکندگی ذرات رس و در نتیجه کاهش نفوذپذیری خاک در کانال‌ها و مخازن خاکی، که در معرض فرسایش نباشند، استفاده شده است. امروزه نیز از ترکیبات مختلف این عنصر به عنوان یکی از روش‌های کنترل نشست در کانال‌های آبیاری استفاده می‌شود. لازم است یادآوری شود افزودن یک ماده به خاک ممکن است موجب اصلاح و تقویت ویژگی خاصی از خاک و تضعیف ویژگی دیگری از آن شود. از این رو بسته به هدف اصلاح خاک، افزودن مواد شیمیایی یا هر روش دیگر بهسازی خاک ممکن است اثرهای متفاوت و بر اساس نوع کاربری خاک عملکرد متضادی داشته باشد. برای مثال، تراکم خاک از دیدگاه کشاورزی تخریب خاک ولی از منظر مهندسی و مشخصات مکانیکی خاک بهبود محسوب می‌شود، این مسئله باید در برنامه‌های اصلاح و بهسازی خاک مدنظر قرار گیرد.

پیش‌تر اشاره شد که خاک‌های تورم‌پذیر یکی از انواع خاک‌های مشکل‌آفرین هستند که شناسایی و اصلاح نشدن آن‌ها ممکن است آسیب‌های جدی به سازه‌های بنا شده روی آن‌ها وارد کنند. به طور کلی، خاک تورم‌پذیر به آن دسته از مصالح خاکی گفته می‌شود که بر اثر تغییرات رطوبتی دچار افزایش حجم (تورم) یا کاهش حجم (انقباض) می‌شوند. می‌توان گفت که دو پدیده تورم و انقباض در واقع دو روی یک سکه‌اند و با توجه به جهت تغییرات رطوبتی خاک، امکان

تأثیر مقادیر مختلف محلول‌های کلرید پتاسیم و کلرید سدیم را روی مشخصه‌های دانه‌بندی، اتربرگ و واگرایی پنج نوع خاک مطالعه کردند و نشان دادند محلول کلرید پتاسیم تأثیر معنی‌دار بر خواص فیزیکی خاک داشته ولی تأثیر کلرید سدیم قابل توجه نبوده است. یوکسلین-آکسوی و همکاران (Yukselen-Aksoy *et al.*, 2008) اثر آب دریا را بر حدود اتربرگ شامل حد مایع، حد پلاستیک و SL خاک‌های رسی را بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که اثر آب دریا بر حدود اتربرگ خاک‌های با خمیری کم، ناچیز است. اوسینوبی و ابرمو (Osinubi & Eberemu, 2010) رفتار انقباضی خاک تیمار شده با مقادیر مختلف دوغاب را در سه وضعیت تراکمی (استاندارد پراکتور، استاندارد آفریقای غربی و استاندارد اصلاح شده) مطالعه کردند و نشان دادند که ماده مذکور اثری قابل توجه بر رفتار و مشخصات تغییر حجمی نمونه‌ها در سیکل‌های مختلف تر و خشک شدن ندارند. گرونپچ و همکاران (Grønbech *et al.*, 2010) اثر غلظت یون کلر و pH را روی حدود اتربرگ بررسی و اعلام کردند که با افزایش غلظت تا حدود ۸ درصد، میزان LL خاک مورد مطالعه تا حدود ۳۰ درصد تغییر می‌یابد. یلماز (Yilmaz, 2006) ضمن بررسی اثر کیفیت آب منفذی بر پتانسیل تورم خاک گزارش داد CEC تأثیر قابل توجهی در EP خاک دارد. وی همچنین روشی غیرمستقیم برای تخمین میزان تورم خاک‌ها با استفاده از دو پارامتر CEC و LL ارائه داد. رائو و تیاگراج (Rao & Thyagaraj, 2007) با آزمایش تحکیم، اثر محلول کلرید سدیم را بر رفتار تورم و فشردگی خاک رسی متورم‌شونده متراکم شده بررسی کردند و نشان دادند ورود محلول کلرید سدیم باعث تقلیل مقدار تورم و فشار تورمی می‌شود و حتی موجب به‌وجود آمدن کرنش فشاری در نمونه نیز خواهد شد. بام‌گارتنر و همکاران (Baumgartner *et al.*, 2008) آزمایش‌های تحکیم یک بعدی را روی نمونه‌های حاوی بنتونیت مورد استفاده به‌عنوان لایه‌بندی در اثر دو نوع کیفیت آب منفذی اجرا کردند. نتایج مقدماتی به‌دست آمده از این آزمایش‌ها نشان داد که کلرید کلسیم باعث کاهش پتانسیل تورم می‌شود و رفتار تحکیمی تحت تأثیر کیفیت آب منفذی تغییر می‌کند.

در تحقیقی دیگر نیز اشاره شده است که با افزایش غلظت سدیم در مایع، پتانسیل تورم کاهش می‌یابد (Alawaji, 1999). الماشاد (Elmashad, 2017) با اندازه‌گیری اثر افزودن مواد شیمیایی به خاک مانند کلرید سدیم، کلرید آمونیوم، آهک و کربنات سدیم بر مشخصات تورم، راه‌حلی برای مشخصات تورم ارائه داد. علاوه بر کیفیت شیمیایی آب و نوع نمک‌های موجود در خاک، مقدار و غلظت نمک‌ها در نوع رفتار و پتانسیل تورمی خاک بسیار تأثیرگذار است (Goli Kalanpa *et al.*, 2018). در تحقیقات گلی کلانپا و همکاران (Goli Kalanpa *et al.*, 2018) سه نمونه خاک شامل یک نمونه خاک متورم‌شونده (بدون شوری) و دو نمونه خاک با شوری ۲ و ۴ درصد وزنی با استفاده از NaCl تهیه شد و آزمایش تورم آزاد روی نمونه‌ها در معرض چرخه‌های تر و خشک صورت گرفت. نتایج این تحقیق نشان داد که میزان تورم و انقباض در چرخه‌های دوم بیشترین مقدار را دارد. میزان پتانسیل تورم و انقباض پس از پایان حدود ۶ چرخه تا نزدیک به ۵۰ درصد کاهش یافت. عامری‌خواه و همکاران (Amerikhah *et al.*, 2004) در بررسی بیان تغییر قابلیت انبساط رس‌ها تحت تأثیر اشباع‌سازی با کاتیون‌های مختلف و استفاده از این امر به‌منظور شناسایی در مخلوط رس‌ها در خاک به این نتیجه رسیدند که می‌توان از پدیده تورم رس متأثر از تیمارهای کاتیونی مختلف به‌عنوان وسیله‌ای برای شناسایی نوع رس و تعیین درصد تشکیل‌دهنده هر یک از آن‌ها در خاک استفاده کرد. میرزابابایی و یثربی (Mirzababaei & Yasrebi, 2006) در بررسی اثر پلیمرها بر ویژگی‌های تورمی رس‌های متورم شونده، با استفاده از سه نوع رس متورم شونده با نشانه خمیری کم، متوسط و زیاد به‌منظور بررسی تأثیر پلیمرهایی بر فشار تورم خاک‌های مربوط ابتدا با اجرای یک سری آزمایش فشار تورم در وضعیت بهینه منحنی تراکم استاندارد و پس از آن با افزودن سه نسبت مختلف نسبت به وزن خشک خاک از هر پلیمر در وضعیت بهینه منحنی تراکم استاندارد، فشار تورم خاک را اندازه‌گیری کردند. نتایج به‌دست آمده نشان داد تعیین نسبت اختلاط و میزان کارایی این پلیمرها تابع نوع پلیمر، روش عمل‌آوری و نشانه خمیری خاک است. ایگو و اوکبالاما (Igwe & Okebalama, 2006)

مواد و روش ها

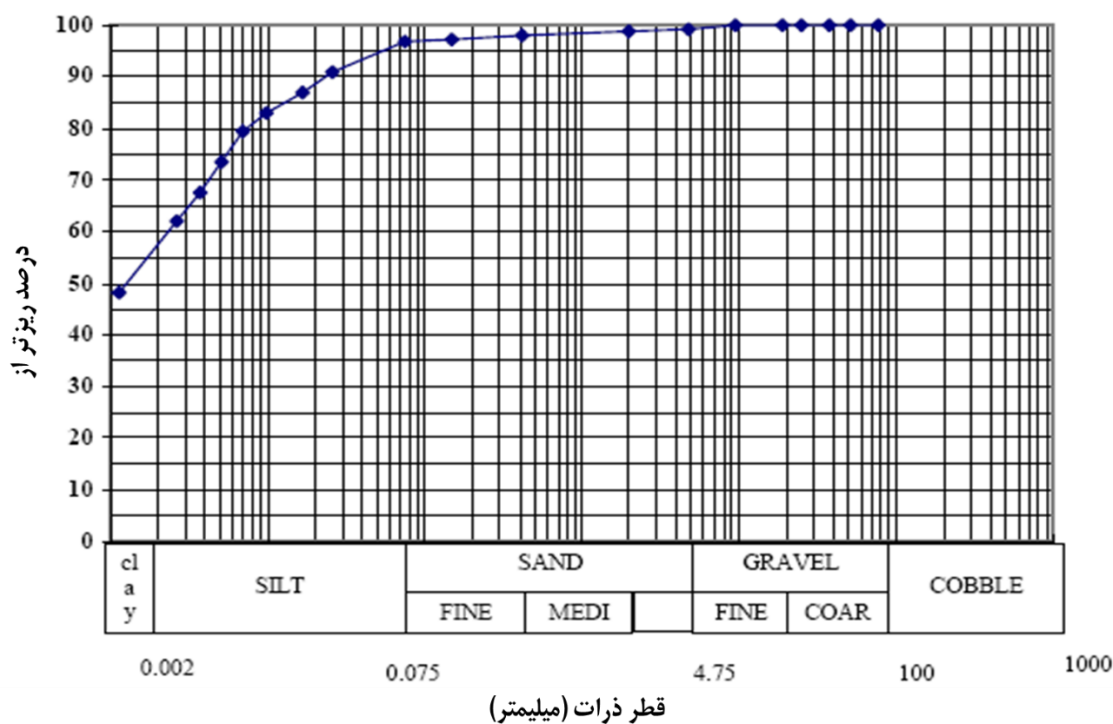
تهیه نمونه های آزمایشی

در این پژوهش به منظور بررسی اثر میزان کربنات سدیم بر مشخصات تورم و انقباضی خاک ها از نمونه های مصنوعی با مقادیر مختلف کربنات سدیم استفاده گردید. بدین منظور ابتدا یک نمونه خاک رسی از منطقه کمال آباد کرج تهیه شد و به منظور تعیین ویژگی های فیزیکی و مکانیکی خاک مورد استفاده، آزمایش هایی شامل دانه بندی، حدود اتربرگ، مشخصات تراکمی، وزن مخصوص، شاخص های تورم و انقباض و همچنین ویژگی های شیمیایی بر اساس استانداردهای ASTM^۱ روی آن صورت پذیرفت. شکل ۱ منحنی دانه بندی خاک مورد بررسی و جدول های ۱ و ۲ به ترتیب مشخصات فیزیکی و شیمیایی نمونه خاک اولیه مورد مطالعه را نشان می دهند.

پس از تهیه شدن نمونه خاک طبیعی، نمونه های مصنوعی با افزودن مقادیر مختلفی از نمک کربنات سدیم شامل ۰، ۰/۵، ۱، ۲، ۵ و ۱۰ درصد وزنی به آن ها به منظور حصول نمونه با ویژگی های شیمیایی دلخواه ساخته شدند. ابتدا مقدار ماده خشک مورد نظر در آب حل و پس از آن خاک خشک و الک شده (رد شده از الک ۲ میلی متر) با وزن مشخص به محلول اضافه گردید. حجم محلول مورد استفاده برای تهیه نمونه ها به اندازه ای انتخاب گردید تا مخلوط حاصل به صورت دوغاب کاملاً رقیق درآید و اختلاط به خوبی پیش رود. رطوبت نمونه ها در این شرایط حدود ۱/۵ برابر حد روانی نمونه ها بود. مخلوط های حاصل به منظور خشک شدن تدریجی در محیط آزمایشگاه حدود دو ماه نگهداری شدند. نمونه ها بعد از خشک شدن کامل، با چکش پلاستیکی خرد و از الک شماره ۱۰ عبور داده شدند. مراحل مختلف آماده سازی نمونه های مصنوعی در شکل (۲) و مشخصات نمونه های مصنوعی تهیه شده در جدول (۳) ارائه شده است.

با توجه به مطالعات صورت گرفته در خصوص جنبه های مختلف تورم، انقباض و نیز تأثیر میزان و نوع شوری بر مشخصات خاک مانند ساختمان، پایداری خاکدانه، و مقاومت برشی چنین به نظر می رسد که تحقیقات زیادی در خصوص تأثیر میزان و نوع شوری بر رفتار تورمی و انقباضی خاک صورت نگرفته است و از این رو در این تحقیق سعی بر آن است که تا آنجا که مقدور باشد اثر مقادیر مختلف کربنات سدیم بر رفتار تورمی و انقباضی خاک های رسی بررسی شود. در این پژوهش اثر کربنات سدیم بر رفتار تورمی و انقباضی خاک های رسی بررسی شده است. کربنات سدیم به دلیل فراوانی مواد اولیه، قیمت مناسبی دارد و به راحتی در بازار یافت می شود. این ماده به طور کامل در طبیعت تجزیه می شود و به همین دلیل به عنوان ماده دوستدار محیط زیست شناخته می شود. کربنات سدیم، در مقایسه با بسیاری از مواد شیمیایی دیگر، درجه سمیت پایینی دارد. خاصیت قلیایی کربنات سدیم آن را به ماده ای ایده آل برای تنظیم pH در صنایع مختلف تبدیل کرده است. این ماده در آب انحلال پذیری بالایی دارد و به راحتی در آب حل می شود (Bernal, et al., 2015; Abdalqader et al., 2016). سودا یا کربنات سدیم یک باز بسیار قوی است که برای نگه داشتن شرایط قلیایی استفاده می شود. خاکستر سودا را می توان به جای سود سوزآور به عنوان جایگزینی کم هزینه برای تنظیم pH محلول و خنثی سازی اسیدها، تولید شیمیایی سدیم و ... استفاده کرد (Wisniak, 2003). هدف های متعددی در تدوین و اجرای این پژوهش وجود داشته اند که از جمله آن ها می توان به این موارد اشاره کرد: بررسی اثر مقادیر مختلف کربنات سدیم آب منفذی بر درصد تورم، بررسی اثر مقادیر مختلف کربنات سدیم آب منفذی بر فشار تورمی، بررسی اثر مقادیر مختلف کربنات سدیم آب منفذی بر انقباض حجمی و خطی و تعیین اثر مشخصات شیمیایی مانند EC بر شاخص های انقباض و تورم.

^۱ American Standards for Testing and Materials



شکل ۱- منحنی دانه‌بندی نمونه خاک اولیه
Fig. 1- Gradation curve of the primary soil sample

جدول ۱- مشخصات فیزیکی نمونه خاک اولیه
Table 1- Physical characteristics of the primary soil sample

حدود اتبرگ (درصد) Atterberg range (%)			مشخصات تراکمی Compaction characteristics				طبقه‌بندی Classification	توده ویژه Special mass
حد روانی Liquid Limit	حد خمیری Plastic Limit	حد انقباض Shrinkage Limit	پراکتور Proctor		هاروارد Harvard		بر اساس سیستم طبقه‌بندی یونیتاید (USCS ¹)	Gs
			رطوبت بهینه Optimal moisture	دانسیته ماکزیمم Maximum density	رطوبت بهینه Optimal moisture	دانسیته ماکزیمم Maximum density		
			W _{opt} (%)	γ _{dmax} (g cm ⁻³)	W _{opt} (%)	γ _{dmax} (g cm ⁻³)		
47.5	23.59	16.48	23.4	1.61	21.1	1.58	CL	2.7

جدول ۲- مشخصات شیمیایی نمونه خاک اولیه
Table 2- Chemical characteristics of the primary soil sample

pH (-)	EC (dS m ⁻¹)	آنیون‌ها (میلی‌اکی والان بر لیتر) Anions (meq lit ⁻¹)				کاتیون‌ها (میلی‌اکی والان بر لیتر) Cations (meq lit ⁻¹)		
		CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Na ⁺
7.88	1.47	-	8.6	10.0	2.87	3.0	4.0	14.5

¹ United States Soil Classification System



الف) دوغاب‌های تهیه شده
B) Dry air samples

شکل ۲- مراحل مختلف تهیه نمونه‌های مصنوعی

Fig. 2- Different stages of preparation of synthetic samples

جدول ۳- نوع و درصد نمک‌های مصرفی برای تهیه نمونه‌های مصنوعی

Table 3- The type and percentage of salts used to prepare synthetic samples

شماره نمونه	نوع نمک	درصد نمک
Sample number	The type of salt	The percentage of salt
E- 0	-	0.0
E-0.5		0.5
E-1		1
E-2	کربنات سدیم Sodium carbonate	2
E-5		5
E-10		10

آزمایش انقباض

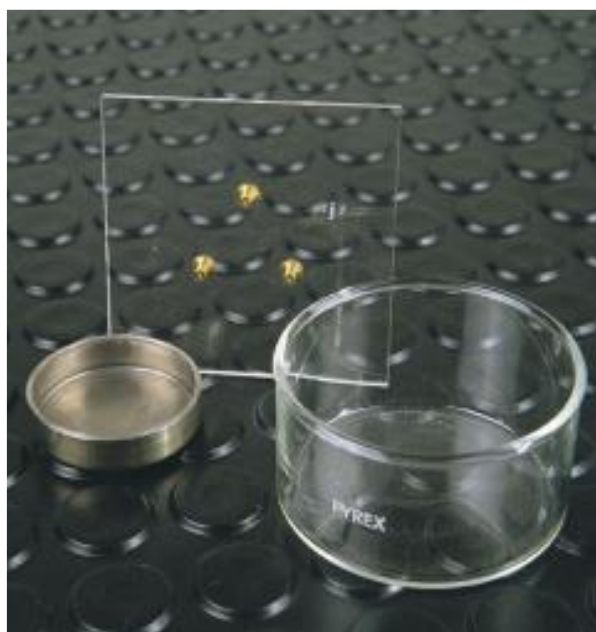
خالی باقی خواهد ماند. وزن خاک خشک برابر (W_f) فرض می‌شود و حجم نمونه خشک شده به دو روش اندازه‌گیری ابعاد نمونه با کولیس و با استفاده از ظرف جیوه (شکل ۳) تعیین می‌گردد (V_f) . در این صورت رطوبت حد انقباض بر اساس رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$SL = \left[\left(\frac{W_i - W_f}{W_f} \right) \times 100 \right] - \left[\left(\frac{(V_i - V_f) \times \gamma_w}{W_f} \right) \times 100 \right] \quad (1)$$

که در آن: W_i وزن خاک مرطوب اولیه (گرم)، W_f وزن خاک پس از خشک شدن در کوره (گرم)، V_i حجم اولیه خاک مرطوب داخل ظرف که با حجم ظرف برابر است (سانتی‌متر مکعب)، V_f حجم نهایی نمونه خاک پس از خشک شدن در کوره (سانتی‌متر مکعب)، و γ_w وزن واحد حجم آب (گرم بر سانتی‌متر مکعب) است.

برای تعیین قابلیت و مشخصات انقباضی نمونه‌ها از حد انقباض استفاده گردید. برای تعیین حد انقباض، دو روش حجمی و خطی وجود دارد. روش آزمایشگاهی تعیین حد انقباض را موسسه ASTM با شماره D-427 به صورت استاندارد ارائه داده است. بر اساس این روش، یک کیسول چینی مدور به قطر ۴۴/۴ میلی‌متر (۱/۷۵ اینچ) و ارتفاع ۱۲/۷ میلی‌متر (۰/۵ اینچ) (شکل ۳) از خاک مورد آزمایش تحت رطوبت اولیه پر شد و وزن خاک مرطوب (W_i) ثبت می‌گردد (شکل ۴). ظرف مذکور در داخل کوره قرار داده می‌شود تا رطوبت خاک داخل آن به طور کامل تبخیر شود. بر اثر تبخیر رطوبت و کاهش حجم ناشی از انقباض، نمونه خاک از ظرف جدا می‌شود و قسمتی از حجم داخل ظرف

بررسی تاثیر کربنات سدیم بر رفتار تورمی و انقباضی خاک‌های رسی در بستر سازه‌های آبی



شکل ۳- ظرف‌های مورد استفاده در تعیین حد انقباض به روش حجمی
 Fig. 3- Containers used to determine the shrinkage limit by volume method



a) Before the experiment



الف) قبل از آزمایش



b) After the experiment



شکل ۴- نمونه‌های انقباض حجمی و خطی تهیه شده قبل از آزمایش (الف) و بعد از آزمایش (ب)

Fig. 4- Samples of volumetric and linear shrinkage prepared before the experiment (a) and after the experiment (b)

آزمایش تورم

به اجرا در آمد و بارگذاری نمونه های مذکور صورت گرفت و سرانجام با رسم نمودار تغییر شکل محوری خاک با زمان، حداکثر پتانسیل تورم آن به همراه زمان لازم برای رسیدن به حداکثر تورم تعیین گردید. مشخصات دستگاه تحکیم مطابق با استاندارد آزمایش تحکیم D2435 است. این تجهیزات باید ظرفیت اعمال بار قائم به مقدار: الف) حداقل ۲۰۰ درصد بار بیشینه مورد نظر در طراحی یا ب) فشار مورد نیاز برای ثابت نگه داشتن ارتفاع نمونه پس از غرقاب شدن (حداکثر این دو مقدار) را داشته باشد. شکل (۵) دستگاه های تحکیم مورد استفاده را نشان می دهد.

به منظور تعیین درصد تورم و فشار تورمی خاک های حاوی درصد های مختلف کربنات سدیم، آزمایش تورم مطابق با استاندارد (ASTM D4546) اجرا شد. ابتدا نمونه خاک تهیه شده به روش دینامیکی در داخل رینگ های مخصوص کوبیده شد، پس از آن هر یک از رینگ های حاوی نمونه در داخل یک دستگاه تحکیم معمولی جاگذاری گردید. سپس با ریختن آب در محفظه دستگاه و اشباع کردن خاک، تغییر شکل محوری آن در فاصله های زمانی مشخص با گیج تغییر شکل دستگاه تعیین شد. این آزمایش برای سربار ۱ kPa



شکل ۵- تصویری از دستگاه های تحکیم مورد استفاده

Fig. 5- One-dimensional Consolidation Test Devices

نتایج و بحث

نتایج آزمایش های شیمیایی و تراکمی نمونه های مصنوعی

اندازه گیری شدند. سدیم با دستگاه فلیم فوتومتری و سولفات با دستگاه اسپکتروفوتومتر اندازه گیری گردید. نتایج حاصل از این آزمایش ها در جدول (۴) ارائه شده است. مقادیر رطوبت بهینه و دانسیته ماکزیمم نمونه های مصنوعی با آزمایش تراکم پراکتور به دست آمد و نتایج حاصل در جدول (۵) ارائه شده است. با توجه به جدول های (۴ و ۵)، دیده می شود، نمک کربنات سدیم تأثیر قابل توجهی بر مقادیر رطوبت بهینه و دانسیته خشک ماکزیمم نمونه های خاک های مورد بررسی نداشته است.

به منظور تعیین مقادیر دقیق ویژگی های شیمیایی نمونه های مصنوعی، مشخصات شیمیایی آنها شامل کاتیون ها، آنیون ها، EC و pH در رطوبت عصاره اشباع تعیین شد. کاتیون های کلسیم و منیزیم و آنیون های کربنات، بی کربنات و کلر به روش تیتراسیون با دستگاه بورت

بررسی تاثیر کربنات سدیم بر رفتار تورمی و انقباضی خاک‌های رسی در بستر سازه‌های آبی

جدول ۴- نتایج آنالیز شیمیایی نمونه خاک‌های مصنوعی حاوی کربنات سدیم
Table 4- Chemical analysis of syntethic soil samples

جمع کاتیون‌ها Sum of cations	کاتیون‌ها (میلی‌اکی والان بر لیتر) Cations (meq lit ⁻¹)				جمع آنیون‌ها Sum of anions	آنیون‌ها (میلی‌اکی والان بر لیتر) Anions (meq lit ⁻¹)				EC (dS m ⁻¹)	pH	مشخصات نمونه Sample specifications
	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺		SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻			
21.5	-	14.5	4	3	21.47	2.87	10	8.6	-	1.47	7.88	E 0
23.75	-	18.75	2	3	28.85	2.85	10	14	2	2.02	7.90	E 0.5
46.46	-	38.46	2	6	37.69	1.69	20	10	6	2.80	7.89	E 1
139	-	130	1	8	126.78	12.78	10	96	8	12.58	7.91	E 2
514.77	-	460	22	32	524.73	14.53	27	430	53.2	51.80	7.92	E 5
766	-	710	20	36	770.69	137.09	392	136.4	105.2	74.30	7.91	E 10

جدول ۵- مشخصات تراکمی نمونه‌های مصنوعی
Table 5- Compaction characteristics of synthetic samples

γ_{dmax} (g cm ⁻³)	W _{opt} (%)	درصد نمک کربنات سدیم
		Sodium carbonate salt percentage
1.6	22.35	0.0
1.58	23.28	0.5
1.56	23.19	1
1.58	21.59	2
1.63	21.72	5
1.6	23.44	10

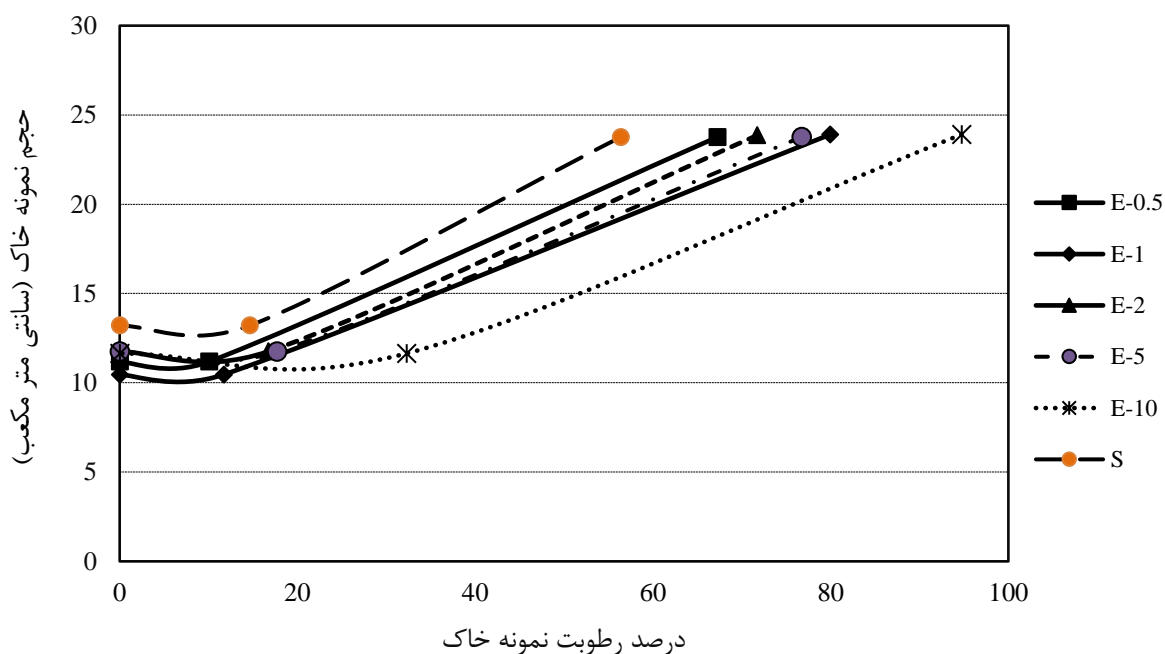
حجمی نیز با روند تقریباً منظمی افزایش و در نمونه با ds/m ۱۲/۵۸ EC میزان انقباض خطی و حد انقباض حجمی کاهش می‌یابد. با افزایش میزان EC از ۱۲/۵۸ ds/m تا ۵۱/۸۰ ds/m، میزان حد انقباض حجمی از ۷۱/۷۳ به ۷۶/۷۲ افزایش می‌یابد. با افزایش میزان EC از ۵۱/۸۰ ds/m تا ۷۴/۳۰ ds/m، میزان حد انقباض حجمی از ۷۶/۷۲ به ۹۴/۷۳ افزایش یافته است.

تعیین شاخص‌های انقباض خاک‌های مورد بررسی شکل (۶) چگونگی وضعیت منحنی‌های انقباض حجمی نمونه‌ها، شامل درصدهای مختلفی از کربنات سدیم را نشان می‌دهد. شکل‌های (۷ و ۸) و نتایج مندرج در جدول (۶) نشان می‌دهند که با افزایش میزان EC ناشی از تغییر میزان کربنات سدیم در خاک اولیه، انقباض خطی و حد انقباض

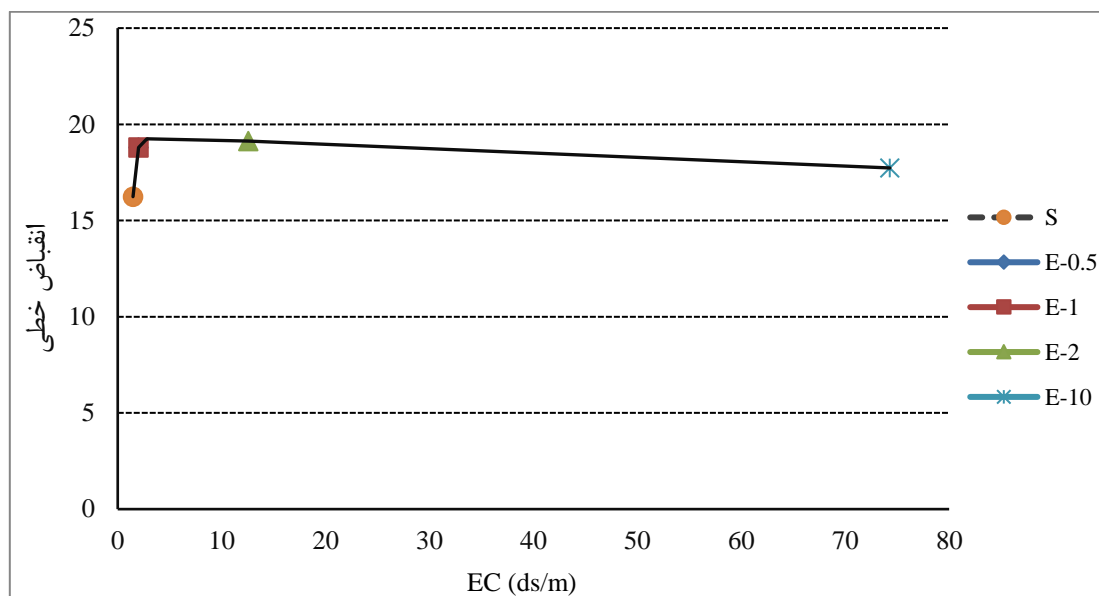
جدول ۶- تأثیر مقادیر مختلف کربنات سدیم بر انقباض حجمی و خطی نمونه ها

Table 6- The effect different percentages of sodium carbonate on volume and linear shrinkage of samples

میانگین رطوبت اولیه	میانگین حد انقباض حجمی	میانگین رطوبت اولیه	میانگین حد انقباض خطی	EC (ds/m)	کربنات سدیم (درصد)
Average initial moisture (%)	Average volume shrinkage limit (%)	Average initial moisture (%)	Average linear shrinkage limit (%)		Sodium carbonate (%)
56.37	14.65	55.66	16.24	1.47	شاهد S S Control
67.24	10.05	76.94	18.79	2.02	کربنات سدیم ۰/۵ درصد (E-0.5) Sodium carbonate 0.5%
79.95	11.72	79.77	19.25	2.80	کربنات سدیم ۱ درصد (E-1) Sodium carbonate 1%
71.73	16.74	72.86	19.12	12.58	کربنات سدیم ۲ درصد (E-2) Sodium carbonate 2%
76.72	17.71	-	-	51.80	کربنات سدیم ۵ درصد (E-5) Sodium carbonate 5%
94.73	32.28	68.45	17.73	74.30	کربنات سدیم ۱۰ درصد (E-10) Sodium carbonate 10%

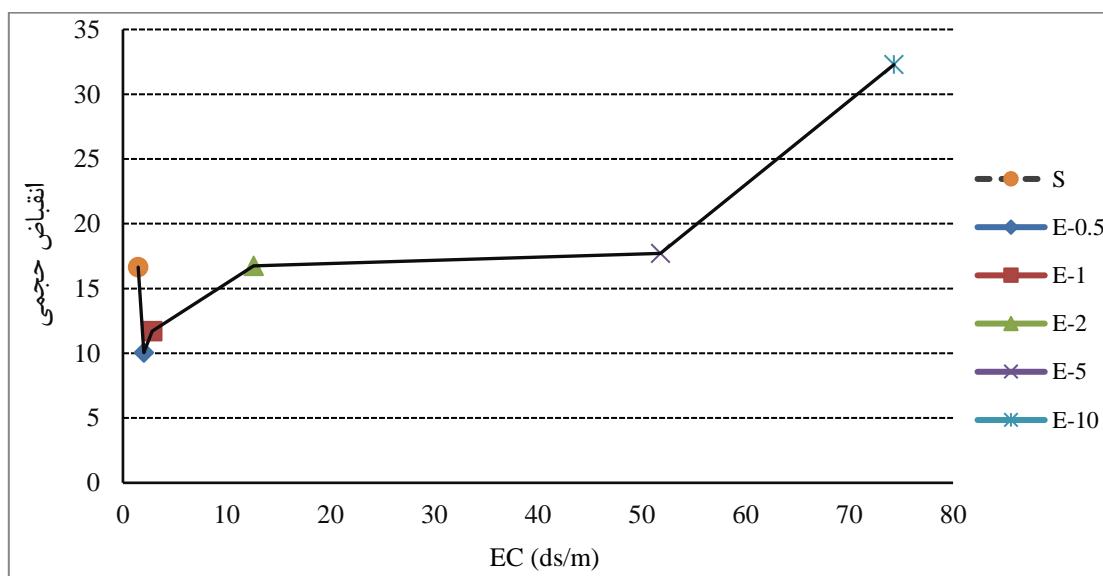


شکل ۶- تأثیر مقادیر مختلف کربنات سدیم بر انقباض حجمی نمونه ها
Fig. 6- The effect of sodium carbonate on volume shrinkage of samples



شکل ۷- تغییرات حد انقباض خطی با هدایت الکتریکی، EC

Fig. 7- Variation of linear shrinkage with EC



شکل ۸- تغییرات حد انقباض حجمی با هدایت الکتریکی، EC

Fig. 8- Variation of volume shrinkage with EC

در محفظه دستگاه و اشباع کردن خاک، تغییر شکل محوری آن در فاصله‌های زمانی مشخص با گنج تغییر شکل دستگاه تعیین شدند. این آزمایش برای سربار ۱ kPa اجرا شد و پس از ۴ روز تورم نمونه خاک مرجع به پایان رسید و سپس تنش‌های قائم ۰/۵، ۱، ۲، ۴ و ۸ کیلوگرمی روی هر یک از نمونه‌ها وارد شد (ASTM D4546). برای تعیین درصد تورم و فشار تورمی، اعداد قرائت شده هر یک از سه دستگاه در جدول‌های (۷ و ۸) آورده شدند و درصد تورم، نسبت پوکی

تعیین شاخص‌های تورم خاک‌های مورد بررسی

به منظور تعیین شاخص‌های تورم‌پذیری خاک مرجع در تحقیق حاضر و همچنین مدت زمان لازم برای اعمال هر چرخه تورم، ابتدا به نمونه خاک مرجع ۱۵/۴۲ درصد رطوبت اضافه شد و پس از آن با روش دینامیکی با ۱۲ ضربه کوبیده شد تا γ_d برابر با ۱/۶۳ گرم بر سانتی‌متر مکعب حاصل گردد؛ سه نمونه بدین صورت ساخته شدند. هر کدام در یک دستگاه تحکیم معمولی جای‌گذاری گردیدند. با ریختن آب

درصد تورم از ۳۲/۷۵ به ۹/۸۷ کاهش و با افزایش EC از ۱۱/۵۳ به ۱۲/۵۸ dS/m، درصد تورم از ۹/۸۷ به ۱۱/۵۳ افزایش یافته است (شکل ۱۰). نمودارهای نحوه تغییرات فشار تورم با تغییرات EC و درصد کرنات سدیم در شکل های (۱۱ و ۱۲) آمده است. همان طور که مشاهده می شود، با افزایش EC از ۱/۴۷ تا ۲/۸ dS/m میزان فشار تورمی از ۱۰/۱۲ به ۷۹ کیلوپاسکال افزایش می یابد، با افزایش EC از ۲/۸ به ۱۲/۵۸ dS/m میزان فشار تورمی از ۷۹ به ۳۰/۱۷ کیلوپاسکال با شیب تندی کاهش و با افزایش EC از ۱۲/۵۸ به ۵۱/۸ dS/m میزان فشار تورمی از ۳۰/۱۷ به ۲۳ کیلوپاسکال با شیب خیلی ملایمی کاهش می یابد (شکل ۱۱). با افزایش کرنات سدیم از صفر تا ۱ درصد، میزان فشار تورمی افزایش و با افزایش نمک از ۱ تا ۲ درصد میزان فشار تورمی کاهش می یابد، سپس با افزایش کرنات سدیم از ۲ تا ۵ درصد میزان فشار تورمی با شیب ملایمی کاهش می یابد (شکل ۱۲).

و تبدیل وزن وزنه های بارگذاری از Kg به kPa محاسبه شد. نتایج نهایی حاصل از آزمایش های تورم آزاد نمونه های حاوی کرنات سدیم برای هر تکرار در جدول (۷) و میانگین نتایج نهایی آزمایش های تورم آزاد نمونه های حاوی کرنات سدیم در جدول (۸) آمده است.

نمودارهای نحوه تغییرات درصد تورم با تغییرات درصد کرنات سدیم و EC در شکل های (۹ و ۱۰) آمده است. همان طور که مشاهده می شود، با افزایش کرنات سدیم از صفر تا ۱ درصد میزان درصد تورم با شیبی تند افزایش و در ادامه با افزایش نمک کرنات سدیم تا ۲ درصد، میزان درصد تورم از ۳۲/۷۵ به ۹/۸۷ کاهش می یابد. با افزایش نمک کرنات سدیم از ۲ تا ۵ درصد، میزان درصد تورم از ۹/۸۷ به ۱۱/۵۳ با شیب ملایمی افزایش می یابد (شکل ۹). همان طور که در شکل ۱۰ مشاهده می شود، با افزایش EC از ۱/۴۷ تا ۲/۸ (dS/m) میزان درصد تورم از ۱۱/۱۳ به ۳۲/۷۵ افزایش یافته است، با افزایش EC از ۲/۸ به ۱۲/۵۸ dS/m، میزان

جدول ۷- نتایج آزمایش تورم آزاد نمونه های حاوی کرنات سدیم

Table 7- Free swelling tests of samples containing sodium carbonate

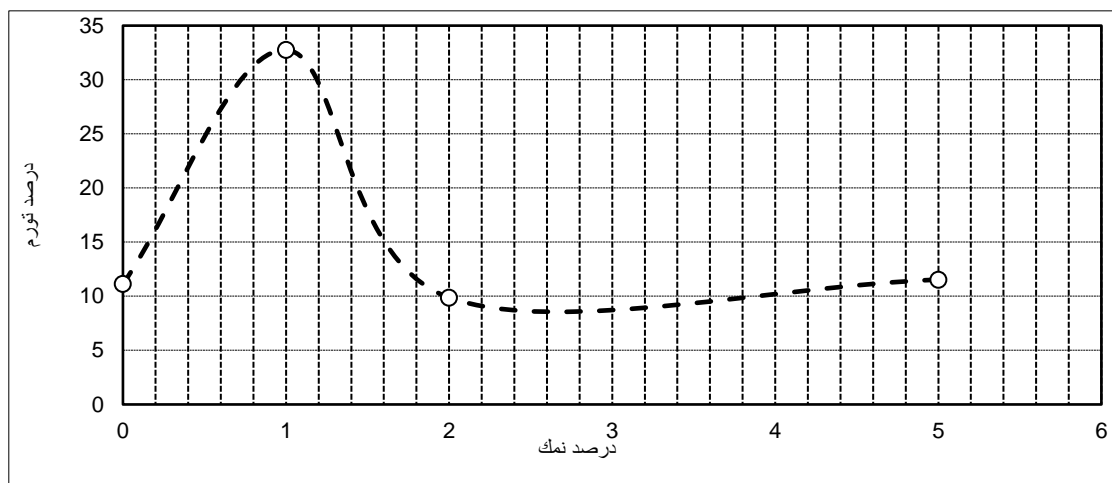
شماره نمونه Sample number	رطوبت اولیه (درصد) Initial moisture (%)	γ_d (g cm ⁻³)	درصد تورم Swelling percentage	فشار تورمی (کیلوپاسکال) Swelling pressure (kPa)
S-G7	15.42	1.66	11.8	10.20
S-G6	15.42	1.64	12.0	10.10
S-G2	15.42	1.63	11.8	10.05
E-1-G4	20.38	1.63	33.0	100.0
E-1-G6	20.38	1.59	32.5	58.0
E-2-G1	19.53	1.72	14.5	30.5
E-2-G2	19.53	1.68	6.6	22.0
E-2-G3	19.53	1.69	8.5	38.0
E-5-G1	20.08	1.76	11.5	17.0
E-5-G2	20.08	1.75	11.5	22.0
E-5-G3	20.08	1.70	11.6	30.0

بررسی تاثیر کربنات سدیم بر رفتار تورمی و انقباضی خاک‌های رسی در بستر سازه‌های آبی

جدول ۸- میانگین تورم آزاد نمونه‌های حاوی کربنات سدیم

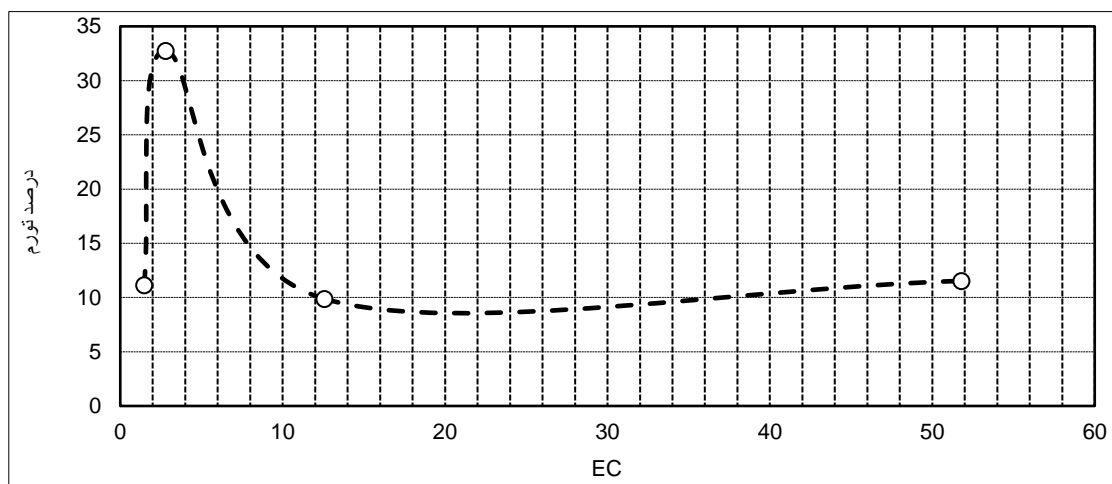
Table 8- The mean of free swelling tests of samples containing sodium carbonate

شماره نمونه	رطوبت اولیه (درصد)	γ_d (g cm ⁻³)	درصد تورم	فشار تورمی (کیلوپاسکال)
Sample number	Initial moisture (%)		Swelling percentage	Swelling pressure (kPa)
S	15.42	1.64	11.87	10.12
E-1 کربنات سدیم	20.38	1.61	32.75	79.0
E-2 کربنات سدیم	19.53	1.70	9.87	30.17
E-5 کربنات سدیم	20.08	1.73	11.53	23.0
E-1 sodium carbonate				
E-1 sodium carbonate				
E-1 sodium carbonate				



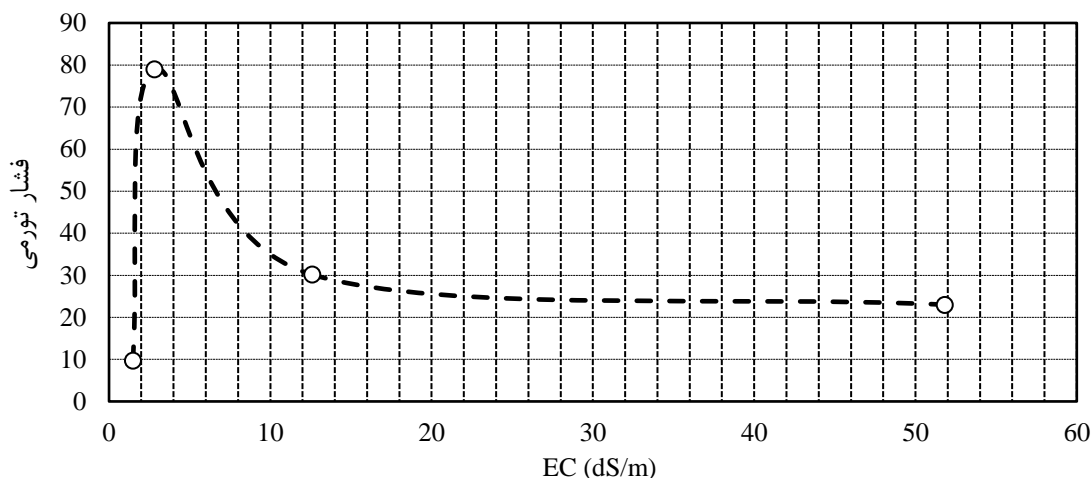
شکل ۹- تغییرات درصد تورم با درصد کربنات سدیم

Fig. 9- Variation of swelling percentage with sodium carbonate

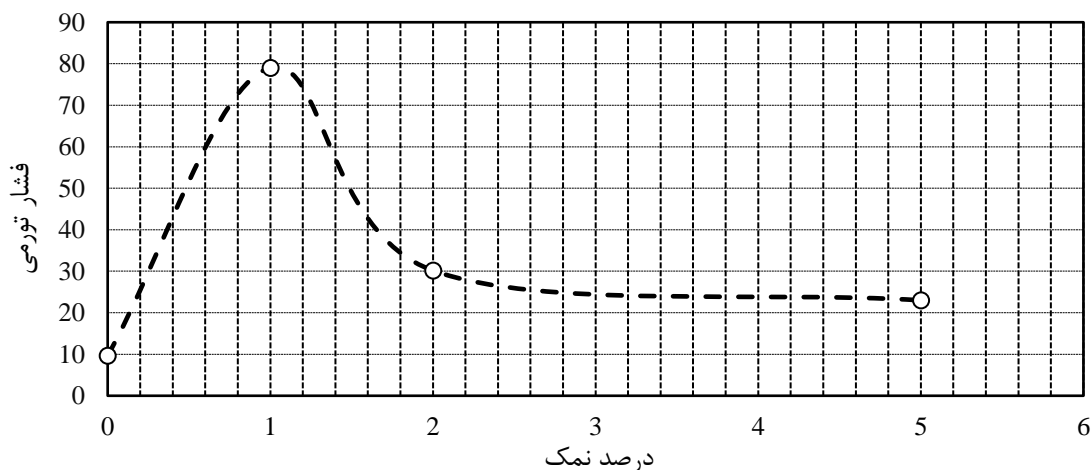


شکل ۱۰- نحوه تغییرات درصد تورم با تغییرات EC

Fig. 10- Variation of swelling percentage with EC



شکل ۱۱- تغییرات فشار تورم با تغییرات EC
Fig. 11- Variation of swelling pressure with EC changes



شکل ۱۲- نحوه تغییرات فشار تورم با تغییرات درصد کربنات سدیم
Fig. 12- Variation of swelling pressure with sodium carbonate

(Wang & Wei, 2015) در تحقیقات وانگ و وی (2018). در تماس طولانی مدت انواع مختلف کاتیون ها بر رفتار خاک های متورم شونده صورت گرفت که نتیجه این تحقیق، کاهش پتانسیل تورمی در تأثیر کاتیون ها حاصل گردید که با توجه به جدول های (۷ و ۸)، وجود شوری های مختلف در نمونه های S و E، تأثیر قابل توجهی بر مشخصات تورمی خاک های متورم شونده داشته است. در تحقیقی، این نتیجه به دست آمد که با افزایش غلظت نمک از میزان تورم نمونه ها کاسته می شود. (Goli Kalanpa et al., 2018) که با نتایج تحقیق حاضر همخوانی دارد. در تحقیقات گلی کلانپا و همکاران (Goli Kalanpa et al., 2018) معلوم شد با افزودن

با توجه به جدول (۷)، مشخصات تورم (فشار تورم و درصد تورم) برای نمونه S با شوری طبیعی (بدون افزودن نمک) مقادیری تقریباً ثابت حاصل گردید، ولی برای نمونه های E با درصدهای مختلف نمک، مقادیر مختلفی برای فشار و درصد تورم به دست آمد. به نظر می رسد در درصدهای خاصی، وجود نمک ها و کاتیون های سدیم باعث تشدید و افزایش پتانسیل تورمی می شود، با این حال می توان گفت تفاوت نتیجه مطالعات مبنی بر کاهش یا افزایش پتانسیل تورم پذیری خاک های متورم شونده ناشی از وجود عاملی با عنوان کیفیت و نوع مواد شیمیایی ترکیب شونده با خاک و همچنین غلظت این مواد است (Goli Kalanpa et al.,)

میزان اندکی نمک، پتانسیل تورمی خاک نزدیک به ۴۰ درصد کاهش می‌یابد. لازم است گفته شود که در تحقیق حاضر نیز برای مقادیر بین ۱ تا ۵ درصد با افزایش درصد نمک، فشار تورمی کاهش یافته است که با نتایج تحقیق گلی کلانپا و همکاران (Goli Kalanpa et al., 2018) همخوانی دارد.

نتیجه‌گیری

بر اساس مجموعه بررسی‌ها و آزمایش‌ها در تحقیق حاضر، نتیجه‌گیری و پیشنهادهای زیر را می‌توان بیان داشت. از نتایج آزمایش تراکم نمونه‌های مصنوعی نتیجه گرفته شد که چگونگی تأثیر نمک کربنات سدیم بستگی به میزان نمک دارد، به طوری که تا حدود یک درصد با افزایش درصد نمک رابطه خاصی بین درصد نمک و رطوبت بهینه و دانسیته خشک ماکزیمم وجود ندارد، ولی برای مقادیر بین ۱ تا ۵ درصد، رطوبت بهینه کاهش و حداکثر دانسیته خشک افزایش می‌یابد. از نتایج آزمایش تورم نمونه‌های مصنوعی نتیجه گرفته شد، که چگونگی تأثیر نمک کربنات سدیم بستگی به میزان نمک دارد، تا حدود یک درصد با افزایش درصد نمک، فشار تورمی افزایش ولی برای مقادیر بین ۱ تا

مراجع

- Abbasi, N., & Nazifi, M.H. (2013). Assessment and Modification of Sherard Chemical Method for Evaluation of Dispersion Potential of Soils, *Journal Geotechnical and Geological Engineering*. Springer, 31(1), 337-349, doi: 10.1007/s10706-012-9573-7.
- Abbasi, N., & Bahramloo, R. (2018). Investigation on Causes of Destruction of Concrete Lining of Irrigation Canals Constructed on Gypsiferous Soils (A Case Study for Shabankareh Irrigation Network). *Irrigation and Drainage Structures Engineering Research*, 70(19): 69-84. (In Persian)
- Abdalqader, A.F., Jin, F., & Al-Tabbaa, A. (2016). Development of greener alkali-activated cement: utilization of sodium carbonate for activating slag and fly ash mixtures. *Journal of Cleaner Production*, 113, 66-75. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.12.010>
- Alawaji, H.A. (1999). Swell and compressibility characteristics of sand-bentonite mixtures inundated with liquids. *Applied clay science*, 15(3-4), 411-430.
- Amerikhah, H., Khadem al-Rosoul, A., & Charm, M. (2004). Investigating the swelling of clays as an identification tool. The 9th Congress of Soil Sciences of Iran. 6 August. Soil and watershed protection research center of the country, Tehran, Iran. (In Persian)
- Asghari-Kaljahi, E., Salimi Chshmeheh Mantash, M., & Hajjalilue-Bonab, M. (2019). Evaluation of Expansive Potential of Fine Grained Soils of Tabriz Northern Highway Based on Shrinkage Limit. *New Findings of Applied Geology*. 13(25): 48-61. (In Persian)
- Basma, A.A., Al-Homoud, A.S., Malkawi, A.I.H., & Al-Bashabsheh, M.A. (1996). Swelling-shrinkage behavior of natural expansive clays, *Applied Clay Science*, 11: 211-227.
- Baumgartner, P., Priyanto, D., Baldwin, J.R., Blatz, J.A., Kjartanson, B.H., & Batenipour, H. (2008). Preliminary results of one-dimensional consolidation testing on bentonite clay-based sealing

- components subjected to two pore-fluid chemistry conditions. Nuclear Waste Management Organisation, Toronto. Nuclear Waste Management Organization Report NWMO TR-2008-04. Toronto, Canada.
- Bernal, S.A., Provis, J.L., Myers, R.J., San Nicolas, R., & van Deventer, J.S. (2015). Role of carbonates in the chemical evolution of sodium carbonate-activated slag binders. *Materials and Structures*, 48, 517-529. <https://doi.org/10.1617/s11527-014-0412-6>
- Bhavsar, S.N., & Patel, A.J. (2014). Analysis of Swelling and Shrinkage Properties of Expansive Soil using Brick Dust as a Stabilizer, 4(12): 303-308.
- Elmashad, M.E. (2017). Effect of chemical additives on consistency, infiltration rate and swelling characteristics of bentonite. *Water Science*, 31(2), 177-188.
- Elmashad, M.E., Sharaf, M., & Abdelaziz, T. (2022). Improvement of swelling soil by using lime sludge and sodium chloride. *Arabian Journal of Geosciences*, 15(24), 1761.
- Goli Kalanpa, R., Ahmadi, H., & Goli Kalanpa, E. (2018). The Effect of Salinity on the Swelling Behavior of Expansive Soils under Wetting and Drying Cycles. *Applied Soil Research*. 6(1): 85-97. (In Persian)
- Grønbech, G., Nielsen, B.N., & Ibsen, L.B. (2010). Chloride concentration and pHs influence on the Atterberg limits of Søvind Marl.
- Igwe, C.A., & Okebalama, C.B. (2006). Soil strength of some Central Eastern Nigeria soils and effect of potassium and sodium on their dispersion. *International agrophysics*, 20(2).
- Mirzababaei, M., & Yasrebi, Sh. (2006). Investigating the effect of polymer stabilizers on the swelling pressure of swelling clays. The 7th International Congress of Civil Engineering. Tehran, Iran. (In Persian)
- Nowamooz, H., & Masrouri, F. (2008). Hydro mechanical behaviour of an expansive bentonite/silt mixture in cyclic. *Journal of engineering geology*, 101, 154-164.
- Osinubi, K.J., & Eberemu, A.O. (2010). Desiccation induced shrinkage of compacted lateritic soil treated with blast furnace slag. *Geotechnical and Geological Engineering*, 28, 537-547.
- Rahimi, H., & Abbasi, N. (2017). *Geotechnical Engineering: Problematic Soils*. University of Tehran Press, 3rd Edition, 870 p. (In Persian)
- Ramesh, P., Rao, A.N., & Murthy, K.N. (2012). Efficacy of sodium carbonate and calcium carbonate in stabilizing a black cotton soil. *Int. J. Emerg. Technol. Adv. Eng*, 2, pp.197-201.
- Rao, S.M., & Thyagaraj, T. (2007). Swell – compression behaviour of compacted clays under chemical gradients. *Canadian Geotechnical Journal*, 44(5), 520-532.
- Wang, G., & Wei, X. (2015). Modeling swelling–shrinkage behavior of compacted expansive soils during wetting–drying cycles. *Canadian Geotechnical Journal*, 52(6), pp.783-794.
- Wisniak, J. (2003). Sodium carbonate-From natural resources to Leblanc and back. *Indian journal of chemical technology*, 10(1), 99-112.
- Yilmaz, I. (2006). Indirect estimation of the swelling percent and a new classification of soils depending on liquid limit and cation exchange capacity. *Engineering geology*, 85(3-4), 295-301.
- Yilmaz, I., & Marschalko, M. (2014). The effect of different types of water on the swelling behaviour of expansive clays. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 73, 1049-1062.
- Yong, R.N., & Warkentin, B.P. (1975). *Soil properties and behaviour*. Elsevier Scientific, Amsterdam, p 449
- Yukselen-Aksoy, Y., Kaya, A., & Ören, A.H. (2008). Seawater effect on consistency limits and compressibility characteristics of clays. *Engineering Geology*, 102(1-2), 54-61.



Investigating the Effect of Sodium Carbonate on the Swelling and Shrinking Behavior of Clay Soils in Hydraulic Structures

N. Abbasi^{*1}, M. Sarkari², A. Khorsand³, R. Bahramloo⁴

***Corresponding Author:** Professor, Agricultural Engineering Research Institute (AERI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran

Received: 12 October 2024, **Accepted:** 9 November 2024

Email: nader_iaeri@yahoo.com

https://doi.org/ 10.22092/idser.2024.367300.1594

Extended Abstract

Introduction

Swelling and shrinking soils are problematic soils that destroy structures built on them if their behavior is not recognized and the necessary measures are not taken. The potential of swelling or shrinkage soils depends on various factors, such as the type of clay minerals and the chemical properties of the water. When developing the theoretical concept of swelling soil, factors such as mineralogy, soil structure, and pore water affecting physical factors (such as density, moisture value, and plastic properties) should be considered. Determining the swelling percentage and swelling pressure of clay soils is an important tool to explain and predict the behavior of clay soils. One of the most important properties of clay soils is their sensitivity to volume changes due to swelling and contraction, which lead to soil movement. According to the studies conducted on various aspects of swelling, shrinkage and also the effect of the amount and type of salinity on soil properties such as structure, grain stability and shear strength, it seems that much research on the effect of the amount and type of salinity on the swelling and shrinkage behavior of soil has not yet been conducted; therefore, this research attempts to investigate as much as possible the effects of different amounts of sodium carbonate on the swelling and shrinkage behavior of clay soils. Several objectives were pursued in compiling and conducting this research, including investigating the effects of different amounts of sodium carbonate on swelling percentage, swelling pressure, volumetric and linear shrinkage, and determining the effects of chemical characteristics such as EC on the indices of shrinkage and swelling.

Methodology

In order to investigate the effects of the amount of sodium carbonate on the swelling and shrinkage properties of soils, synthetic samples with different amounts of sodium carbonate were used in this study. For this purpose, a sample of clay soil from Kamalabad region of Karaj was first prepared. In order to identify and determine the physical and mechanical properties of the soil used, identification and classification tests were carried out including granularity, Atterberg limits, compaction properties, specific gravity, swelling and shrinkage indices and also chemical properties were studied on the samples based on ASTM standards. The shrinkage limit was used to determine the shrinkage capacity and specifications of the samples. There are two methods, volumetric and linear, to determine the shrinkage limit. The laboratory method for determining the shrinkage limit is provided as a standard by the ASTM Institute under the number D-427. To determine the percentage of swelling and the swelling pressure of soils with different proportions of sodium carbonate, the swelling test was carried out according to the standard (ASTM D4546). First, the soil sample prepared by the dynamic method was tamped into special rings, and then each of the rings containing the sample was placed in a normal consolidation device.

Results and Discussion

The results show that the sodium carbonate salt had no significant effect on the optimum moisture values and the maximum dry density of the soil samples tested. With the increase in the amount of EC, caused by the change in the amount of sodium carbonate in the original soil, the linear shrinkage and volume shrinkage

limit also increased with an almost regular trend, and for the sample with EC=12.58 ds/m, the linear shrinkage and volume shrinkage limit decreased.

The results show that when the sodium carbonate content is increased from zero to 1%, the swelling percentage increases with a sharp slope, and when the sodium carbonate salt content is increased to 2%, the swelling percentage decreases from 32.75 to 9.87. If you increase the percentage of sodium carbonate salt from 2 to 5%, the percentage of swelling increases from 9.87 to 11.53 with a slight slope. As you increase the EC from 1.47 to 2.8 (dS/m) the inflation percentage increases from 11.13 to 32.75 and as you increase the EC from 2.8 to 12.58 (dS/m) the inflation percentage decreases from 32.75 to 9.87 and as you increase the EC from 12.58 to 51.8 (dS/m) the inflation percentage increases from 9.87 to 11.53.

The graphs of changes in swelling pressure with changes in EC and percentage of sodium carbonate also showed that with an increase in EC from 1.47 to 2.8 (dS/m), the level of swelling pressure increased from 10.12 to 79 kilopascals, with an increase in EC from 2.58 to 12.58 (dS/m), the swelling pressure decreased from 79 to 17.30 with a steep increase, and with the increase in EC from 12.58 to 51.8 (dS/m), the swelling pressure decreased from 17.30 to 23 with a very slight increase. By increasing the percentage of sodium carbonate from zero to 1 %, the source pressure increased, and by increasing the percentage of salt from 1 to 2 %, the source pressure decreased, and by increasing the percentage of sodium carbonate from 2 to 5 %, the source pressure decreased with a slight gradient.

Conclusions

Based on the surveys and experiments carried out as part of this study, the following conclusions can be drawn and established:

- From the results of the density test of synthetic samples, it was concluded that the effect of sodium carbonate depends on the amount of salt; thus, up to about 1% with the increase of salt content, there is no particular relationship between salt content and optimum moisture and maximum dry density, but at values between 1 and 5%, optimum moisture decreases and maximum dry density increases.
- From the results of the swelling test of synthetic samples, it was concluded that the effect of sodium carbonate depends on the amount of salt; thus, up to about 1%, the swelling pressure increases with increasing salt content, but at values between 1 and 5%, the swelling pressure decreases.
- From the results of the volume contraction test of synthetic samples, it was concluded that the effect of sodium carbonate salt depends on the amount of salt; thus, up to about 1%, the amount of volumetric shrinkage decreases with the increase of the salt percentage, but at values between 1 and 10%, the amount of the volumetric shrinkage limit increases.
- From the results of the linear shrinkage test of synthetic samples, it was concluded that the effect of sodium carbonate salt depends on the amount of salt; so that up to about 1%, the linear shrinkage limit increases with the increase of salt content, but at values between 1 and 5%, the number of linear shrinkage decreases.

Keywords: Linear shrinkage, Problematic soils, Soil salinity, Swelling characteristics, Volume shrinkage