

## بررسی آزمایشگاهی تاثیر سدیم کلرید (NaCl) بر مقاومت CBR و

### پارامترهای تراکمی خاک طبیعی و خاک تثبیت شده با سیمان

علیرضا نگهدار<sup>۱</sup>، بهنام عسکری لاسکی<sup>۲\*</sup> و سینا لطف‌اللهی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> استادیار، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه محقق اردبیلی

<sup>۲</sup> دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه محقق اردبیلی

<sup>۳</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه محقق اردبیلی

behnam\_askari@student.uma.ac.ir

**چکیده:** خاک‌های بسیاری در طبیعت وجود دارد که سدیم کلرید، قسمتی از ذرات تشکیل دهنده آن می‌باشد و یا به واسطه نزدیکی به منابع آب شور، تحت تاثیر این املاح قرار دارند؛ از طرفی سیمان نیز به دلیل فراوانی و در دسترس بودن از رایج‌ترین روش‌های تثبیت خاک‌ها است، در این پژوهش سعی شده است تاثیر سدیم کلرید به صورت محلول بر روی مقاومت CBR و پارامترهای تراکمی خاک انتخاب شده اولیه و هم چنین خاک تثبیت شده با سیمان (با توجه به انتخاب درصد‌های متفاوت سیمان) مورد ارزیابی قرار گیرد. نتایج به دست آمده حاکی از آن است که افزودن سدیم کلرید به صورت محلول به خاک اولیه و هم چنین خاک تثبیت شده با سیمان (با توجه به درصد‌های مختلف) باعث افزایش وزن مخصوص خشک حداکثر و هم چنین کاهش رطوبت بهینه در مقایسه با حالت اولیه خود خواهد شد. هم چنین افزودن این محلول به خاک با توجه به میزان اثرگذاری متفاوت بر روی خاک اولیه و خاک تثبیت شده، باعث افزایش مقاومت CBR هر دو نوع نمونه خاک (اولیه، تثبیت شده) خواهد شد.

**کلمات کلیدی:** محلول سدیم کلرید، پارامترهای تراکمی، خاک تثبیت شده، مقاومت CBR، سیمان.

## In-vitro Evaluation of Effect of Sodium Chloride (NaCl) on CBR Resistance and Compaction Parameters of Natural Soil and Soil Stabilized with Cement

A. Negahdar, B. Askari Lasaki\* and S. Lotfollahi

**Abstract:** Since there are plenty soils in the nature that sodium chloride is a part of their constituent materials, or they are affected by sodium chloride due to the proximity to saline water sources, and on the other hand because cementation is one the most common methods for soil stabilization due to its availability and abundance, in this study we have tried to evaluate the effects of sodium chloride in solution form on CBR resistance and compaction parameters of the initial selected soil as well as soil stabilizing by cement mixes (according to the proportion of different cement percentages). The obtained results indicate that, adding the sodium chloride in solution form to the initial soil as well as soil stabilized with cement (considering different percentages) will increase the maximum dry density and also decreases optimum moisture, compared to its initial state. Also, adding this solution to the soil will increase the CBR resistance of both types of soil samples (initial and stabilized) considering the amount of different effectiveness on the initial soil and soil stabilized.

**Keywords:** Sodium Chloride Solution, Compaction Parameters, Stabilized Soil, CBR, Resistance, Cement

**۱ - مقدمه**

از جمله اثرات جانبی که شوری بر روی خاک‌ها می‌گذارد، می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- تخریب خاکدانه و کم شدن نفوذ پذیری به آب
- ایجاد سله به علت تخریب ساختمان خاک در اراضی شور سدیمی
- ایجاد سیلاب در هنگام بارندگی به سبب نفوذ کم در زمین‌های شور سدیمی. [۱]

آبیاری با آب شور و شور شدن بر اثر بالا آمدن سطح ایستایی آب‌شور، علت اصلی شور شدن خاک‌ها در بسیاری از نقاط جهان به شمار می‌رود [۲]. آب‌های زیر زمینی می‌توانند دارای مقدار زیادی نمک باشند، بی‌آنکه منشأ آن دریا باشد. غلظت و ترکیب آب‌های زیرزمینی کاملاً به شرایط ژئوشیمیایی مسیری که آب ضمن فرآیند نفوذ طی کرده تا به آب زیرزمینی برسد، بستگی دارد [۳].

اکثر مطالعات آزمایشگاهی صورت گرفته بر روی خاک، مربوط به تاثیر شوری آب بر روی حدود اتربرگ خاک و یا مقاومت برشی آن بوده که از جمله کارهای صورت گرفته مربوط به حدود اتربرگ می‌توان به کارهای انجام شده در منابع [۴، ۵، ۹، ۱۰، ۱۲ و ۱۵] اشاره کرد.

از جمله کارهای صورت گرفته در زمینه تاثیر شوری آب بر روی مقاومت برشی خاک نیز می‌توان به کارهای انجام شده در منابع [۴، ۶، ۷، ۸، ۱۱، ۱۳ و ۱۴] اشاره کرد.

همان‌طور که در بالا اشاره شد، اکثر تحقیقات صورت گرفته در این زمینه مربوط به بررسی حدود اتربرگ و مقاومت برشی خاک‌های تحت تاثیر این ماده است؛ بنابراین در این مقاله سعی شد برای بررسی بهتر تاثیر سدیم کلرید محلول بر روی خاک-ها، به سمت پارامترهای دیگری چون مقاومت CBR و هم چنین پارامترهای تراکمی هم برای خاک اولیه و هم خاک تثبیت شده با سیمان برویم تا با انجام آزمایشات دقیق به شناخت بهتر رفتار اثرگذاری این ماده بر روی خاک‌ها دست یابیم.

**۲- مصالح مورد استفاده****۲-۱- خاک**

خاک مورد استفاده در این پژوهش به صورت دست خورده تهیه شده است. خاک مورد نظر در طبقه بندی یونیفاید ML است و

دلیل انتخاب این نوع خاک به دلیل پتانسیل بالای آن برای تثبیت می‌باشد. قابل ذکر است که لای و رس استفاده شده در این خاک از محوطه دانشگاه محقق اردبیلی تهیه شده و ماسه استفاده شده نیز از نوع ماسه بادی رد شده از الک نمره ۴ و مانده بر روی الک نمره ۲۰۰ است. مشخصات فیزیکی خاک پایدار را می‌توان در جدول ۱ مشاهده نمود.

جدول ۱: مشخصات خاک

مقدار	مشخصه
۳۰	درصد ماسه
۵۲/۸۳	درصد سیلت
۱۷/۱۷	درصد رس
۲۶	(PL) حد خمیری (%)
۴۷	(LL) حد روانی (%)
۱۱	(PI) شاخص خمیری (%)
۲/۶۷	وزن مخصوص دانه های جامد (GS)

**۲-۲- سیمان**

سیمان مورد نظر از نوع سیمان پرتلند پوزولانی است که از شرکت آرتا اردبیل تهیه شده است.

**۲-۳- سدیم کلرید (NaCl) با خلوص ۹۹/۲٪**

سدیم کلرید مورد استفاده از نوع سدیم کلریدهای رایج در بازار است که به علت ایجاد یکنواختی بهتر تهیه نمونه خاک به صورت محلول در آب استفاده شده است. میزان غلظت سدیم کلرید محلول ppm ۹۷۰۰ می‌باشد.

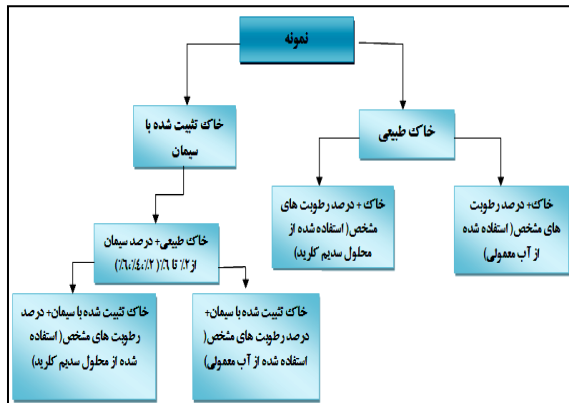
**۳- نحوه ساخت و عمل آوری نمونه‌ها**

در این پژوهش برای بررسی تاثیر سدیم کلرید محلول روی پارامترهای تراکمی و مقاومت CBR خاک معمولی و خاک تثبیت شده با سیمان، نمونه‌های استفاده شده را می‌توان به صورت الگوریتم شکل ۱ مشاهده کرد. لازم به ذکر است که رطوبت استفاده شده برای آزمایش CBR طبق توصیه استاندارد ASTM درصد رطوبت بهینه است.

**۴- آزمایش‌ها****۴-۱- آزمایش CBR**

بررسی آزمایشگاهی تاثیر سدیم کلرید ...

آب معمولی و محلول سدیم کلرید محاسبه گردیده است. نتایج و نمودارهای مربوط به آزمایشات CBR برای خاک و ۰.۶٪ سیمان همراه با آب معمولی و محلول سدیم کلرید را می توان در شکل ۴ مشاهده نمود. تابع خط برای هر منحنی به دست آمد و سپس مقدار CBR برای آب معمولی و محلول سدیم کلرید محاسبه شده است.



شکل ۱: الگوریتم ساخت و عمل آوری

جدول ۴: CBR آب معمولی و خاک

نفوذ (mm)	نیرو (N)	نیرو تقسیم بر ۱۳۶۴ (%)
۲/۵	۳۴	۰.۲/۵٪

جدول ۵: CBR محلول سدیم کلرید و خاک

نفوذ (mm)	نیرو (N)	نیرو تقسیم بر ۱۳۶۴ (%)
۲/۵	۵۷	۰.۴/۲٪

جدول ۶: CBR آب معمولی و ۰.۲٪ سیمان و خاک

نفوذ (mm)	نیرو (N)	نیرو تقسیم بر ۱۳۶۴ (%)
۲/۵	۷۰	۰.۵/۱٪

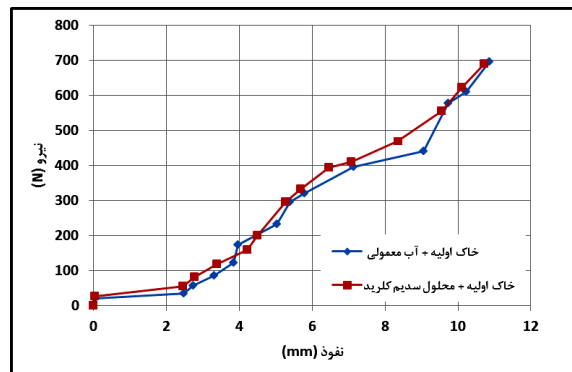
جدول ۷: CBR محلول سدیم کلرید و ۰.۲٪ سیمان و خاک

نفوذ (mm)	نیرو (N)	نیرو تقسیم بر ۱۳۶۴ (%)
۲/۵	۱۲۵	۰.۹/۲٪

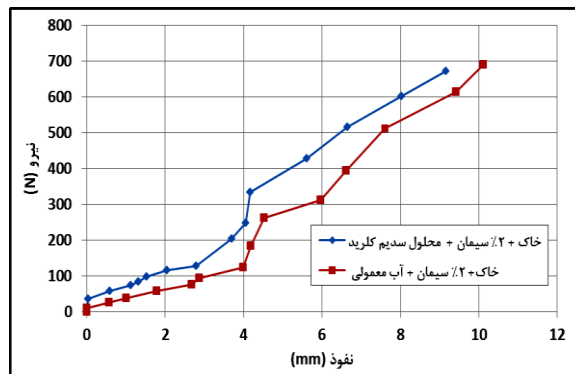
این آزمایش طبق استاندارد ASTM انجام شده که نتایج نمودارهای مربوط به آن را می توان در شکل ۲ مشاهده نمود. قابل ذکر است که مبنای محاسبات برای تعیین نسبت باربری کالیفرنیا، ۲/۵ mm نفوذ سنبه به داخل نمونه ها می باشد. همچنین برای تراکم خاک استفاده شده در آزمایش CBR از روش تراکم استاندارد (D۶۹۸) استفاده شده است. تابع خط برای هر منحنی به دست آمده و سپس مقدار CBR برای آب معمولی و محلول سدیم کلرید محاسبه گردیده است.

نتایج و نمودارهای مربوط به آزمایشات CBR برای خاک و ۰.۲٪ سیمان همراه با آب معمولی و محلول سدیم کلرید را می توان در شکل ۲ مشاهده نمود. تابع خط برای هر منحنی به دست آمده و سپس مقدار CBR برای آب معمولی و محلول سدیم کلرید محاسبه گردیده است.

نتایج و نمودارهای مربوط به آزمایشات CBR برای خاک + ۰.۴٪ سیمان همراه با آب معمولی و محلول سدیم کلرید را می توان در شکل ۳ مشاهده نمود. تابع خط برای هر منحنی به دست آمد و سپس مقدار CBR برای



شکل ۲: نتایج آزمایش CBR برای خاک اولیه همراه با آب معمولی و خاک اولیه همراه با محلول سدیم کلرید



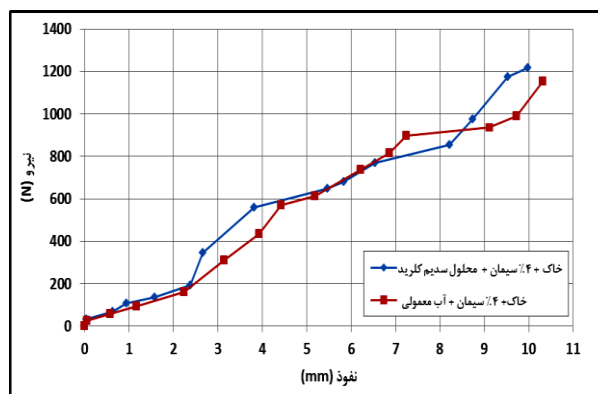
شکل ۳: نتایج آزمایش CBR بر روی خاک + ۰.۲٪ سیمان همراه با آب معمولی و محلول سدیم کلرید

جدول ۱۲: CBR محلول سدیم کلرید و ۴٪ سیمان و خاک

نیروی تقسیم بر ۱۳۶۴ (%)	نیروی (N)	نفوذ (mm)
۱.۱۵	۲۰.۵	۲/۵

جدول ۱۳: CBR محلول سدیم کلرید و ۴٪ سیمان و خاک

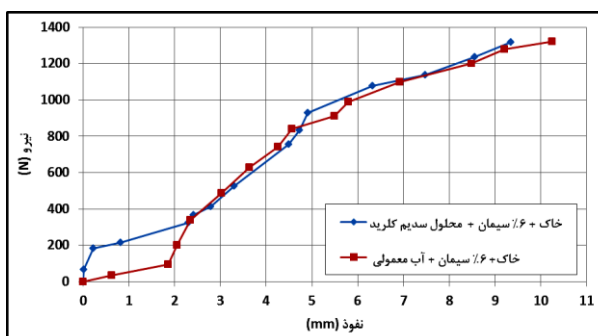
نیروی تقسیم بر ۱۳۶۴ (%)	نیروی (N)	نفوذ (mm)
۱.۱۶/۷	۲۲۷	۲/۵



شکل ۴: نتایج آزمایش CBR بر روی خاک + ۴٪ سیمان همراه با آب معمولی و محلول سدیم کلرید

جدول ۱۷: CBR محلول سدیم کلرید و ۶٪ سیمان و خاک

نیروی تقسیم بر ۱۳۶۴ (%)	نیروی (N)	نفوذ (mm)
۲.۲۸/۳	۳۸۶	۲/۵



شکل ۵: نتایج آزمایش CBR بر روی خاک + ۶٪ سیمان همراه با آب معمولی و محلول سدیم کلرید

شده و تاثیر بیشتری برای نمونه‌های همراه با سیمان نسبت به نمونه خاک عادی شاهد خواهیم بود.

#### ۴-۳- آزمایش تراکم (پروتور استاندارد)

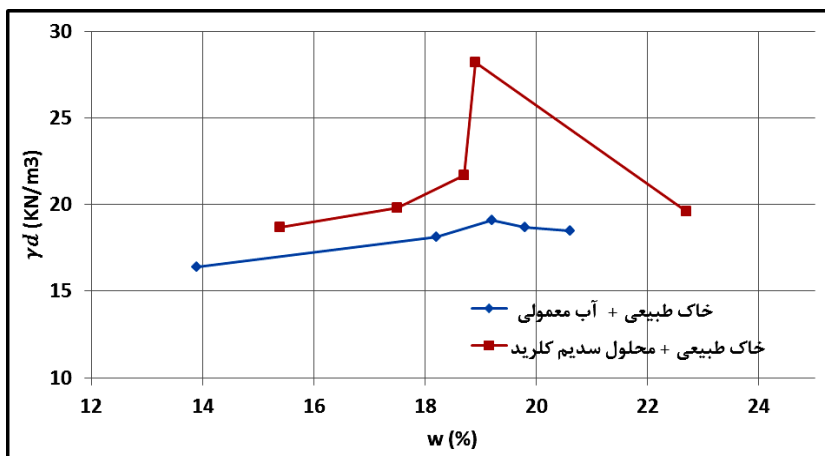
این آزمایش نیز با توجه به شرایط ASTM انجام شده که نتایج و نمودارهای مربوط به آن را می‌توان در شکل ۵ مشاهده نمود. همچنین آزمایشات تراکم روی خاک اولیه همراه با ۲٪ سیمان و آب معمولی و محلول سدیم کلرید انجام شده که نتایج آن را در شکل ۶ مشاهده کرد. در ادامه آزمایشات تراکم روی خاک اولیه همراه با ۴٪ سیمان، آب معمولی و محلول سدیم کلرید انجام شده که نتایج آن را در شکل ۷ آمده است.

آزمایشات تراکم روی خاک اولیه همراه با ۶٪ سیمان، آب معمولی و محلول سدیم کلرید نیز انجام شده که نتایج آن در شکل ۸ آمده است.

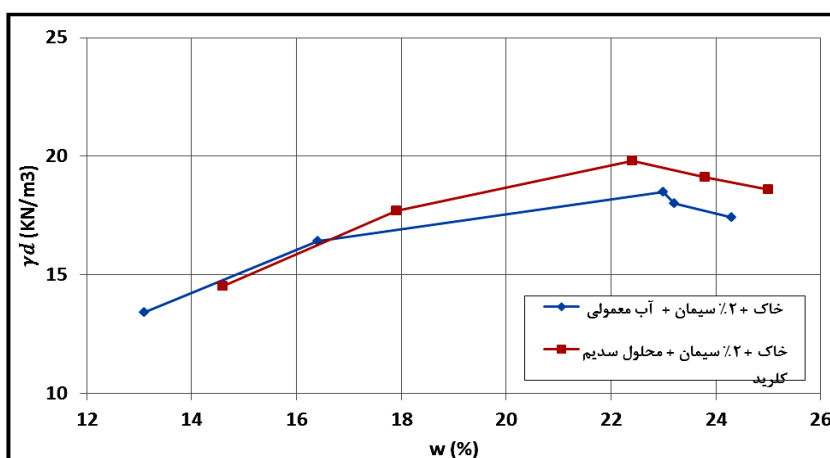
#### ۴-۲- نتایج آزمایش CBR

از تفسیر نتایج حاصل از آزمایش CBR می‌توان به این موضوع پی برد که افزودن سدیم کلرید محلول به صورت درصد رطوبت بهینه به خاک اولیه در مقایسه با افزودن آب معمولی به آن باعث افزایش مقاومت CBR هر چند به میزان اندک می‌شود. اما افزودن این محلول به هر سه نوع خاک تثبیت شده با سیمان (۲٪، ۴٪ و ۶٪) باعث افزایش مقاومت CBR به میزان محسوس‌تر و قابل توجه‌تری نسبت به خاک عادی می‌شود.

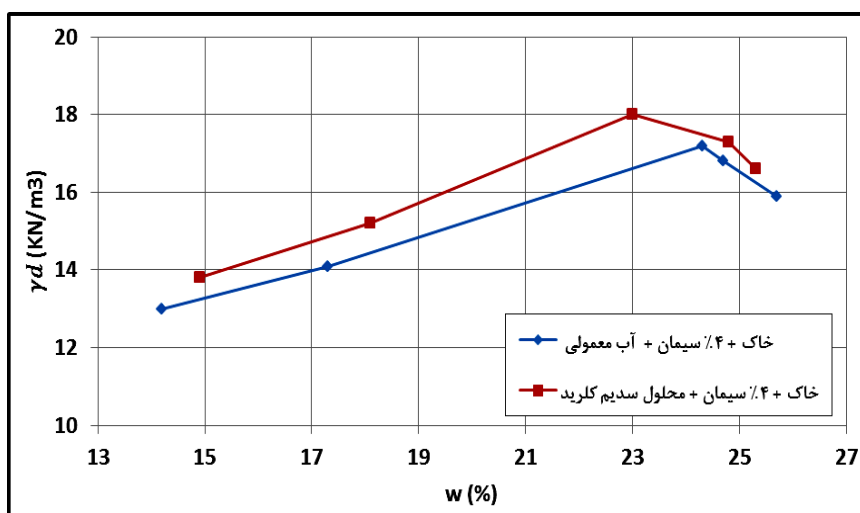
دلیل این موضوع را می‌توان به علت افزایش نیروی جاذبه در بین ذرات خاک توسط املاح موجود در آب و هم چنین تشکیل ساختار لخته ای نسبت داد. دلیل تاثیر بیشتر محلول سدیم کلرید بر روی خاک تثبیت شده نسبت به خاک عادی را هم می‌توان به این موضوع نسبت داد که چون هم سیمان و هم محلول سدیم کلرید به کاهش حد روانی خاک کمک کرده، در نتیجه هر دو با یکدیگر هم‌سو



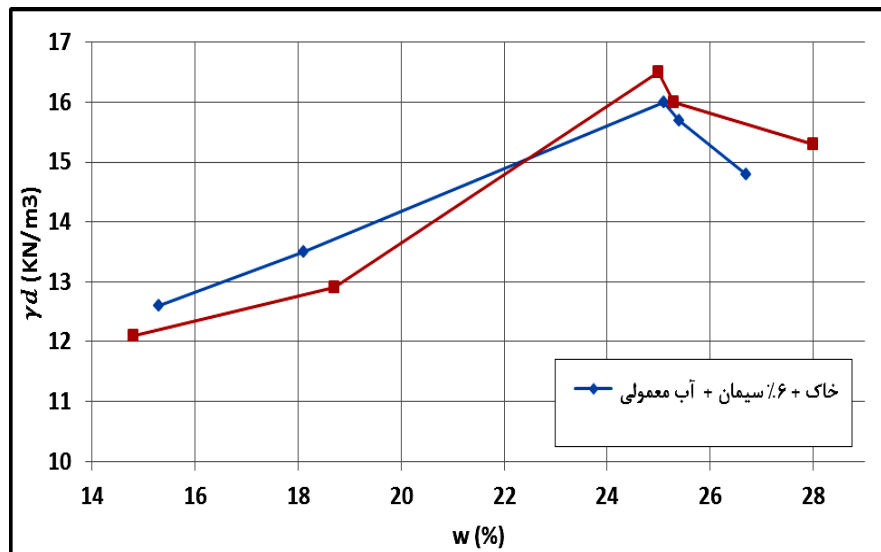
شکل ۵: نتایج آزمایش تراکم بر روی خاک اولیه همراه با آب معمولی و محلول سدیم کلرید



شکل ۶: نتایج آزمایش تراکم بر روی خاک اولیه + ۲٪ سیمان + آب + محلول سدیم کلرید



شکل ۷: نتایج آزمایش تراکم بر روی خاک اولیه + ۴٪ سیمان + آب + محلول سدیم کلرید



شکل ۸: نتایج آزمایش تراکم بر روی خاک اولیه + ۰.۶٪ سیمان + آب + محلول سدیم کلرید

تثبیت شده با سیمان پرداخته شد و نتایج زیر حاصل گردید:

۱. افزودن سدیم کلرید محلول به خاک باعث افزایش مقاومت CBR خاک اولیه و هم چنین خاک تثبیت شده با سیمان می‌شود که به دلیل هم سو عمل کردن سدیم کلرید و سیمان بر روی کاهش حد روانی خاک، این افزایش مقاومت برای نمونه‌های تثبیت شده نسبت به خاک اولیه بیشتر و محسوس‌تر می‌باشد.

۲. سدیم کلرید محلول خصوصیات تراکمی خاک اولیه و خاک تثبیت شده را نیز دستخوش تغییر می‌کند؛ به نحوی که افزودن آن باعث افزایش وزن مخصوص خشک حداکثر و کاهش رطوبت بهینه برای هر دو نوع خاک خواهد شد که این موضوع برای خاک طبیعی به علت داشتن حد روانی تقریباً بالا محسوس‌تر می‌باشد.

۳. هرچقدر مقدار درصد سیمان افزایش یابد، به علت تاثیر سیمان بر روی کاهش حد روانی، افزایش وزن مخصوص خشک حداکثر و کاهش رطوبت بهینه (برای نمونه مخلوط خاک و سیمان و محلول سدیم کلرید) برای مقادیر درصد کم سیمان (۰.۲٪ و ۰.۴٪) نسبت به مقادیر بیشتر (۰.۶٪) محسوس‌تر می‌باشد.

۴. بیشتر نتایج به دست آمده از این پژوهش را می‌توان ناشی از افزایش نیروی جاذبه در بین ذرات خاک توسط املاح موجود در آب و تشکیل ساختار لخته‌ای نسبت داد.

#### ۴-۴- نتایج آزمایش‌های تراکم

نتایج حاصل از آزمایشات تراکم نشان می‌دهد که خاک همراه با رطوبت ناشی از محلول سدیم کلرید در مقایسه با خاک همراه با رطوبت ناشی از آب معمولی، دارای وزن مخصوص خشک حداکثر بیشتر و درصد رطوبت بهینه کمتری است؛ اما برای خاک تثبیت شده با سیمان همراه با رطوبت ناشی از محلول سدیم کلرید برای مقادیر درصد کم سیمان (۰.۲٪/۰.۴٪)، افزایش وزن مخصوص خشک حداکثر و کاهش رطوبت بهینه نسبت به مقادیر درصد بالای سیمان (۰.۶٪) بیشتر می‌باشد.

دلیل تاثیر بیشتر محلول بر خاک عادی را می‌توان ناشی از حد روانی تقریباً بالای خاک اولیه و همچنین بیشتر شدن نیروی جاذبه بین ذرات خاک توسط املاح موجود در آب و تشکیل ساختار لخته‌ای نسبت داد و وجود مقادیر بالای سیمان، باعث افزایش حداکثر وزن مخصوص خشک و کاهش رطوبت بهینه کمتری نسبت به درصد مقادیر کم سیمان موجود در خاک و همچنین خاک اولیه خواهد شد که دلیل آن را می‌توان ناشی از تاثیر کمتر مقادیر درصد سیمان بالا نسبت به مقادیر درصد سیمان پایین بر روی کاهش حد روانی خاک دانست.

#### ۵- نتیجه‌گیری

در این آزمایش به بررسی تاثیر سدیم کلرید محلول بر مقاومت CBR و پارامترهای تراکمی خاک معمولی و خاک

- [8] Di Maio, C., and G. b. Fenelli () "Residual Strength of Kolin and Bentonit: The Influence of Their Constituent Pore Fluid," Geotecnicque, Vol. 44, No. 2, pp. 217-226, **1994**.
- [9] Mahasneh, B. Z. "Dead Sea Water as a Soil Improvement Agent," Electronic Journal of Geotechnical Engineering, No.9, **2004**.
- [10] Mansour, Z. M., M. R. Taha and Z. Chik "Fresh- Brine Water Effect on the Basic Engineering Properties of Lisan Marl-Dead Sea-Jordan," Journal of Applied Sciences, No.8, pp. 3603-3611, **2008**.
- [11] Naeini, S. A., and M. A. Jahanfar () "Effect of Salt Solution and Plasticity Index on Undrain Shear Strength of Clays," World Academy of Science Engineering and Technology, No. 73, **2011**.
- [12] Shariatmadari, N., M. Salami and M. KarimpourFard () "Effect of Inorganic Salt Solutions on Some Geotechnical Properties of Soil-Bentonite Mixtures as Barriers," International Journal of Civil Engineering, No. 9, **2011**.
- [13] Siddiqua, S., J.A. Blatz and S. Greg, "Investigation of the Mechanical Behaviour of Light and Dense Backfill Material Subjected to Various Pore Fluid Conditions," Geotechnical Conference, **2011**.
- [14] Tiwari, B. G., R. Tuladhar and H. Marui "Variation in Residual Shear Strength of the Soil with the Salinity of Pore Fluid," Journal of Geotechnical & Geoenvironmental Engineering, No. 131, **2005**.

## مراجع

- [۱] عبدالرحمن برزگر، کتاب خاک شور و سدیمی: شناخت و بهره وری- نشر دانشگاه شهید چمران اهواز، چاپ اول، **۱۳۷۹**.
- [۲] برسلا، بی ال، مکانیل دی ال کارتر، ترجمه حسام مولایی، کتاب خاک شور و سدیمی (اصول- دینامیک- مدل سازی)، مرکز نشر دانشگاهی تهران، چاپ اول **۱۳۷۳**.
- [۳] شینبرگ و واستر ترجمه امین علیزاده، کتاب کیفیت آب در آبیاری، انتشارات آستان قدس رضوی، چاپ پنجم **۱۳۷۷**.
- [4] Alamdar, S. S. "Long time Effect of Saline Water on Clay," M.Sc Thesis, Faculty of Engineering, TarbiatModares University, **1999**.
- [5] Arasan, S., and T. Yetimoglu "Effect of Inorganic Salt Solutions on the Consistency Limits of Two Clays," Turkish J. Eng. Env. Sci, No. 32, pp. 107-115, **2008**.
- [6] Ayininuola, G. M., O. A., Agbede and S. O. Franklin "Influence of Calcium Sulphate on Subsoil Cohesion and Angle of Friction," Journal of Applied Sciences Research, No.5, pp. 297-304, **2009**.
- [7] Chattopadhyay, p. K. "Residual Shear Strenght of Some Pure Clay Mineral," Ph.D Dissertaton, Department of Civil Engineering of Alberta. Edmonton, **1972**.