

## بررسی پارامترهای موثر بر نشست خاک‌های گچ‌دار

مهدی خلف شوشتری، نوید خیاط\* و احد نظرپور\*\*

\* نگارنده مسئول: گروه عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز، اهواز، ایران. تلفن: ۰۶۱)۳۳۳۴۸۴۲۰،

پایم‌نگار: khayyat@iauahvaz.ac.ir

\*\* به‌ترتیب: کارشناس ارشد عمران دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک؛ استادیار گروه عمران؛ و استادیار گروه زمین‌شناسی دانشگاه آزاد اسلامی

واحد اهواز

تاریخ دریافت: ۹۵/۱/۵؛ تاریخ پذیرش: ۹۵/۷/۲۸

### چکیده

تحکیم‌پذیری و پایداری خاک متأثر از وجود املاح در خاک و به‌ویژه در ارتباط با رطوبت است و این موضوع یکی از مشکلات در احداث کانال‌های آبیاری و زهکشی است. در این پژوهش، تأثیر گچ طبیعی بر خصوصیات فیزیکی و نشست‌پذیری خاک رس بررسی شده است. به‌منظور تطابق بهتر نتایج آزمایش‌ها با شرایط بهره‌برداری، نمونه‌های خاک رس از منطقه دشت اریض خوزستان (جنوب‌غرب ایران) با گچ طبیعی موجود در همان منطقه مخلوط و نمونه‌هایی با درصدهای مختلف گچ تهیه گردید. نمونه‌ها بر اساس ترکیب وزنی خاک و گچ طبیعی با نسبت‌های ۱، ۴، ۱۰ و ۱۵ درصد مخلوط و برای حصول اطمینان از میزان گچ در آنها، آزمایش شیمیایی استاندارد به‌کار گرفته شد. به‌منظور تعیین برخی ویژگی‌های عمومی خاک نیز آزمایش‌های شناسایی انجام گرفت. برای بررسی میزان انحلال، از آزمایش تحکیم استفاده شد؛ برای این کار، نمونه‌های آب خروجی حاصل از فرآیند تعویض آب مقطر در جام دستگاه تحکیم با دوره زمانی یک روزه، و تحت تنش‌های ۰/۲۵، ۰/۵، ۱، ۲، ۴ و ۸ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع، اندازه‌گیری EC به مدت یک ماه دنبال شد. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که با افزایش مقدار گچ، نشانه خمیری و وزن مخصوص خشک نمونه‌های خاک کاهش ولی میزان نفوذپذیری و نشست افزایش می‌یابد. از آنجا که در محاسبه میزان نشست خاک‌های گچ‌دار، علاوه بر میزان گچ، پارامترهایی مانند ضریب فشردگی حجمی و تنش موثر هم تأثیرگذارند، این عوامل نیز بررسی شدند و با در نظر گرفتن آنها رابطه‌ای تجربی بین فشار موثر تحکیم، درصد گچ و ضریب فشردگی پیشنهاد گردید.

### واژه‌های کلیدی

تخلخل، گچ طبیعی، نشست خاک، نفوذپذیری

### مقدمه

اولین بار در سال ۱۹۲۷ در اسپانیا تخریب کانال‌های تازه تأسیس شده و مشکلات سازه‌های بنا شده روی زمین‌های گچی مورد توجه قرار گرفت. مشاهدات حاکی از آن بود که در بسیاری از قسمت‌ها، سازه فوقانی نشست می‌کند و در بعضی مناطق خراب می‌شود یا پوشش کانال تغییر شکل می‌دهد. بعد از این رخداد، شکست سد سنت فرانسیس، تلفات شدید آب از مخازن سدهای اوکلاهاما و نیومکزیکو، ایجاد تونل‌های ناشی از آب‌شستگی در پی سدهای هوندو، مکسی میلیان و

مطالعه خاک‌های حاوی گچ از دهه هشتاد میلادی توجه محافل علمی و دانشمندان زیادی را به‌خود جلب کرده است. مطالعات این خاک‌ها از یک‌سو به‌سبب اطلاع نسبی از گسترش و وسعت این‌گونه خاک‌ها در کشورهای مناطق خشک و نیمه‌خشک دنیا و از سوی دیگر به‌دلیل تفاوت فاحش رفتار خاک‌های گچی، در مقایسه با خاک‌های دارای کانی‌های غالب سیلیکاته، افزایش چشمگیری داشته است (Mahmoudi & Heidari, 1998).

ضخامت نمونه نیز رخ داده است. برای نوعی خاک رسی واقع در عمق ۵/۵ متری در عربستان سعودی، دونر و لین (Doner & Lynn, 1977) نیز رفتاری مشابه به دست آورده‌اند.

خاک‌های گچی به دلیل پایین بودن وزن مخصوص گچ (۲/۳ گرم بر سانتی‌متر مکعب)، نسبت به خاک‌های دیگر سبک‌ترند؛ این خاک‌ها نسبت به خاک‌های معمولی هدایت آبی بالاتری دارند (Arar, 1990). این ویژگی به دلیل وجود خلل و فرج زیاد ناشی از شستگی گچ است که مقاومت مکانیکی و ظرفیت تحمل خاک را کاهش می‌دهد. حداکثر دانسیته خشک خاک‌های دانه‌ای، با افزایش مقدار گچ، تا ۱۵ درصد افزایش و سپس کاهش می‌یابد (Kattab, 1986). برای خاک متراکم، دانسیته خشک حداکثر با افزایش مقدار گچ، کاهش می‌یابد در حالی که درصد رطوبت بهینه در خاک متراکم متناسب با اندازه دانه‌ها تغییر می‌کند. خاک‌های رسی سیلتی متراکم دارای گچ، رفتار متفاوت دارند به طوری که با افزایش گچ، دانسیته خشک حداکثر نیز افزایش می‌یابد (Al-Heeti, 1990). در خاک رسی متراکم شده بعد از افزودن گچ در مقادیر متفاوت (۱/۴۵ تا ۶۰ درصد) با افزایش مقدار گچ، بیشترین دانسیته خشک کاهش می‌یابد در حالی که مقدار رطوبت بهینه با توجه به اندازه ذرات گچ اضافه شده متغیر است (Al-Shalhomi, 2000). نتایج بررسی‌های الحدیثی (Al-Hadithy, 2001) و هدی و النمانی (Huda & AL-Numani, 2010) روی اثر مقدار گچ بر خصوصیات تراکمی خاک‌ها نشان می‌دهد که با افزایش مقدار گچ، مقدار رطوبت بهینه افزایش و پس از آن کاهش می‌یابد، اما بیشترین دانسیته خشک کاهش می‌یابد.

در مناطق خشک و نیمه‌خشک، کانی گچ در خاک به صورت کلسیم‌سولفات آبدار<sup>۱</sup> است؛ فرم‌های حد واسطی از کلسیم‌سولفات‌هایی با ۰/۵ یا ۱/۵ مولکول آب، در خاک مناطق خیلی خشک دیده می‌شود (Doner & Lynn,

ردراک، تخریب کانال سلهبابیه در حوزه فرات و غیره سبب شد که بعد از سال ۱۹۲۷ تا نزدیک به ۴۰ سال، در برخورد با هر پروژه‌ای که در مناطق گچی واقع می‌شدند، محل آن را تغییر می‌دادند یا از اجرای پروژه خودداری می‌کردند (Rahimi, 2000; Huda & AL-Numani, 2010).

بر اساس تحقیقات ترلسکایا و ماتونیدز (Terleskaya, Matonidze, 1988) پدیده آبشویی گچ (نسبت گچ شسته شده به مقدار اولیه آن)، فرآیندی است پیوسته که هیچگاه، حتی تحت گرادیان‌های بسیار کوچک نیز متوقف نمی‌شود. آبشویی خاک‌های گچی افزایش پوکی و کاهش وزن واحد حجم این خاک‌ها را به دنبال دارد. علاوه بر این، آبشویی در بعضی حالات باعث نشست یکنواخت می‌شود اما گاهی نشست غیریکنواخت را نیز به همراه دارد. آبشویی در خاک‌هایی که خلل و فرج بزرگ دارند، نشستی افزون بر ۱/۷ تا ۲/۲۵ برابر حجم نمک شسته شده ایجاد می‌کند (Maksimovich & Sergeev, 1983). با این همه، در خاک‌های با منافذ کوچک‌تر، نسبت نشست به حجم شسته شده نمک و ترکیب آن مرتبط است. برای نمونه، میزان نشست در خاک‌های نمکی، که نمک آن از نوع سولفات یا کلریدسديم باشد، ۸۳ درصد برابر حجم نمک شسته شده برآورد شده است (Maksimovich & Sergeev, 1983).

پیتراخین (Petrukhin, 1993) با بررسی رمبندگی خاک‌های ماسه‌ای-رس‌دار با بیش از ۳۵ درصد گچ نشان داد که این نوع خاک‌ها در مدت زمانی کوتاه پس از اشباع شدن، رمبند می‌شوند و خاک‌های ماسه سیلتی با هر مقدار گچ موجود در آن مستعد رمبندگی خواهند بود و بنابراین در گروه خاک‌های با رمبندگی بالا طبقه‌بندی می‌شوند. این محقق در مورد پدیده تورم در این خاک‌ها با اجرای آزمایش‌هایی نتیجه گرفت که خاک‌های گچی خاصیت تورمی دارند و این میزان تورم گاهی تا ۱۵ درصد

پس از یکسری عملیات غلیظسازی و حذف ناخالصی‌های موجود در طبیعت تولید می‌شوند و به‌همین دلیل نمونه‌های ساخته شده با این روش بیانگر رفتار واقعی خاک نخواهد بود. از این‌رو در این تحقیق نمونه‌های خاک رس در منطقه دشت اریض خوزستان (جنوب‌غرب ایران) با گچ طبیعی موجود در همان منطقه مخلوط و نمونه‌هایی با درصدهای مختلف گچ تهیه گردید.

### مواد و روش‌ها

برخلاف بیشتر پژوهش‌هایی از این نوع که نمونه‌ها را با گچ ساختمانی گچ‌دار می‌کنند، برای اجرای این تحقیق و جهت دستیابی به جواب‌های واقعی و مطابق با شرایط بهره‌برداری، نمونه‌هایی از خاک منطقه و محل اجرای پروژه تهیه شدند که دارای گچ طبیعی هستند. نمونه‌ها بر اساس ترکیب وزنی خاک و گچ طبیعی محل اجرای کانال به شیوه‌ای مخلوط گردید که نمونه‌هایی با مقادیر مختلف گچ (۱، ۴، ۱۰ و ۱۵ درصد) آماده شوند؛ برای حصول اطمینان از میزان درصد گچ آنها، آزمایش شیمیایی بر اساس استاندارد BS-1377 انجام شد (Anon, 1975). نمونه‌ها به ترتیب درصد گچ کم به زیاد، S1, S2, S3, S4 نام‌گذاری شدند.

تفاوت روش به‌کار رفته در این پژوهش مربوط به دمای خشکانیدن نمونه‌ها به‌منظور تعیین رطوبت است. از آنجا که گچ در دمای استاندارد ۱۰۵ درجه سلسیوس، آب تبلور خود را آزاد می‌کند، بنابراین نمونه‌ها در دمای ۶۰ درجه سلسیوس خشک شدند. رطوبت در این دما از رابطه ۱ به‌دست آمد که نتایج آن در جدول ۱ ارائه شده است (Arakelyan *et al.*, 1986).

$$W_{(105)} = (1.007) W_{(60)} + 0.007W_{(105)} \quad (1)$$

که در آن،

(Metternicht & Zink, 2009; 1977) که یکی از عمده‌ترین اجزای خاک به حساب می‌آید و مقدار آن تحت تأثیر اقلیم، فیزیوگرافی و منشأ از خیلی کم تا نزدیک به صد درصد تغییر می‌یابد. به عقیده واتسون (Watson, 1983)، هرچه ذرات تخلخل بیشتری داشته باشند، جریان آب بهتر و بیشتر می‌تواند در آنها نفوذ کند. برای مثال، در خاک متراکم جریان آب به‌خوبی برقرار نیست و برای آنکه واکنش‌های انحلال ادامه یابد، باید یون‌ها و مواد ایجاد شده از محیط خارج شوند و گرنه واکنش کند یا کاملاً متوقف می‌شود (Baiburdi, 1990). در بیشتر خاک‌های گچی مقدار و شکل‌های کربنات کلسیم متفاوت است. گچ و کربنات کلسیم در خاک‌ها، مستقل از یکدیگر نیستند اما در خاک‌هایی که پروفیل آنها کم توسعه یافته است، مانند سیروزوم‌ها<sup>۱</sup>، گچ و کربنات کلسیم مستقل از یکدیگر هستند.

شدت نفوذ آب در خاک‌های گچی معمولاً متوسط تا سریع است هرچند ممکن است در اثر حرکت عمقی گچ و تشکیل لایه سخت شده زیرین این سرعت به‌شدت کاهش یابد؛ سرعت آبدگزی گزارش شده از کشورهای سوریه، عراق، روسیه و اسپانیا از ۰/۵ تا ۲/۵ متر بر روز است (Baiburdi, 1990). سرعت آبدگزی، بر حسب بافت خاک و نوع و اندازه بلورهای گچ، حداقل ۰/۱۵ تا ۸ متر در روز گزارش شده است (Kargar *et al.*, 2008).

مصالح اصلی مورد استفاده در ایجاد خاکریز کانال‌های آبیاری از نوع رسی است، از این‌رو وجود منابع قرصه با کیفیت مناسب از ضروریات اجرای این گونه پروژه‌هاست. از طرفی، به‌دلیل بالا بودن نمک‌های انحلال‌پذیر در بافت خاک موجود در مناطق جنوب‌غرب کشور، تحقیق در مورد رفتار انحلال‌پذیری و نشست سازه‌های ساخته شده روی این خاک‌ها ضروری است.

تحقیقات قبلی در این خصوص روی خاک‌های مخلوط شده با گچ ساختمانی بوده است، اما گچ‌های ساختمانی

فرآیندی زمان‌بر است. در این تحقیق نمونه‌ها به‌صورت زیر آماده و مورد آزمایش تحکیم قرار گرفتند:

- گام اول: ابتدا نمونه‌های خاک در قالب تراکم متراکم شدند و با رینگ تحکیم از آنها نمونه‌گیری شد.

- گام دوم: نمونه‌های قرار داده شده در دستگاه تحکیم تحت تنش ثابت (تا پایان آزمایش) قرار داده شدند و اطراف آن آب مقطر ریخته شد.

- گام سوم: در بازه‌های زمانی یک روزه، EC آب پس از پایان یک روز اندازه‌گیری و پس از آن آب با سرنگ خارج و آب مقطر جایگزین آن شد.

- گام چهارم: این روند نشان داد که با گذشت زمان، EC خاک پیوسته در حال تغییر است؛ بعد از چند روز مقدار EC ثابت گردید.

- گام پنجم: در حین اجرای این عملیات، ضریب فشردگی حجمی خاک نیز اندازه‌گیری شد.

- گام ششم: میزان تغییر ضخامت در انتهای هر آزمایش اندازه‌گیری شد.

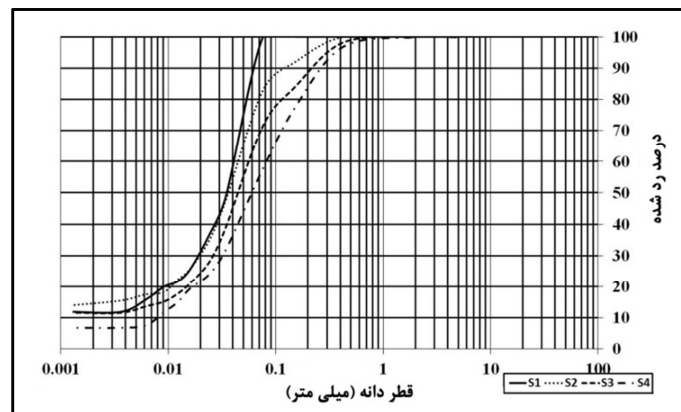
- گام هفتم: با توجه به نتایج به‌دست آمده از آزمایش و پارامترهای دخیل در میزان نشست (ضریب فشردگی حجمی، تنش تحکیمی و درصد گچ) با رگرسیون خطی رابطه تجربی داده شده در مقاله ارائه گردید که اعتبار آن در مقادیر گچ بین ۱ تا ۱۵ درصد است.

$W_{(60)}$  و  $W_{(105)}$  به ترتیب درصد رطوبت خاک در دمای ۱۰۵ و ۶۰ درجه سلسیوس است.

در ابتدا به‌منظور تعیین برخی ویژگی‌های عمومی و ارزیابی تأثیر گچ بر خواص فیزیکی و مکانیکی این خاک‌ها، آزمایش‌های شناسایی شامل هیدرومتری، تعیین حدود اتربرگ و تراکم روی نمونه‌ها اجرا شد. نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهد که جنس نمونه‌های خاک در این تحقیق، خاک رسی با پلاستیسیته پایین است که مطابق با طبقه‌بندی سیستم یونیفای CL هستند. منحنی دانه‌بندی چهار نمونه خاک مورد مطالعه در شکل ۱ آمده است.

برای شروع آزمایش، ابتدا نمونه‌ها در قالب تراکم متراکم و پس از آن برای اشباع شدن به مدت ۱ و ۱۵ روز در آب قرار داده شدند. برای بررسی انحلال گچ در نمونه‌ها، از طریق آزمایش EC، ابتدا نمونه‌ها با مقادیر تراکم بهینه، در قالب ۴ اینچی بازسازی شدند تا بتوان از هر یک با مقادیر گچ ۱، ۴، ۱۰، ۱۵ و ۲۵ درصد به سهولت با نمونه‌گیر تحکیم (به ارتفاع تقریباً دو سانتی‌متر) نمونه‌گیری کرد و آنها را تحت تنش‌های ۰/۲۵، ۰/۵، ۱، ۲، ۴ و ۸ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع در دستگاه تحکیم و به مدت یک ماه در دمای ۲۵ درجه سلسیوس قرار داد. با این روش، در هر شبانه‌روز آب مقطر درون جام دستگاه تحکیم تعویض و میزان انحلال با توجه به وجود گچ بررسی شده است.

فرآیند انحلال گچ در خاک بلندمدت است، از این‌رو اندازه‌گیری مستقیم اثر انحلال با آزمایش نفوذپذیری



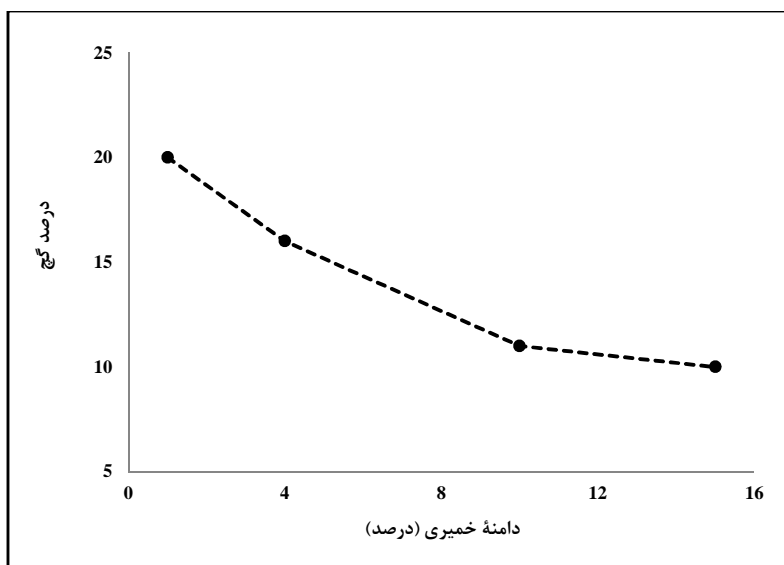
شکل ۱- منحنی دانه‌بندی نمونه‌های خاک مورد مطالعه

## نتایج و بحث

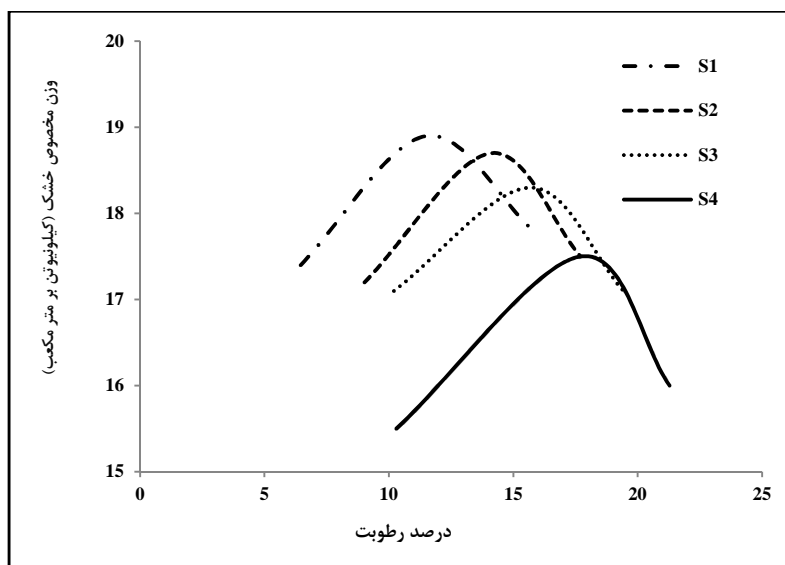
خصوصیات خمیری خاک با افزایش میزان گچ موجود در خاک است.

نتایج به دست آمده از آزمایش تحکیم به صورت نمودار تغییرات نسبت تخلخل با تنش و تغییرات ضریب تغییر حجم نسبت به تنش در شکل‌های ۴ و ۵ نشان داده شده است.

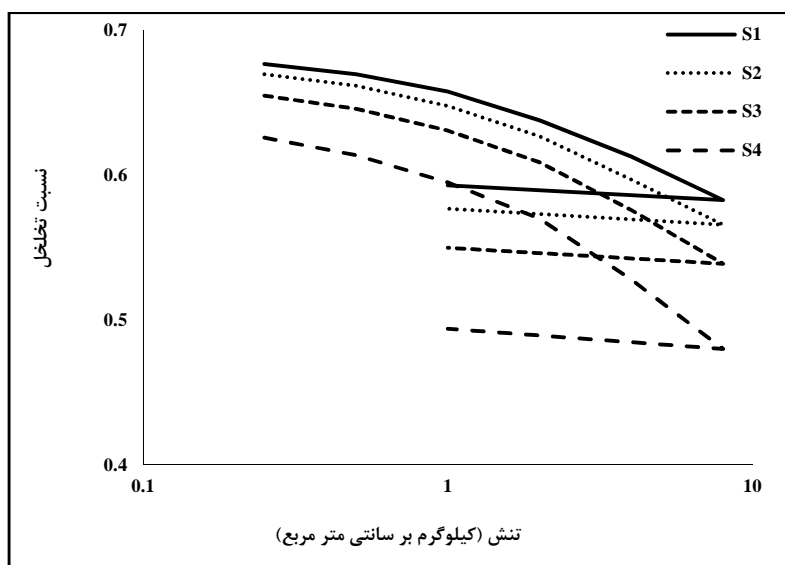
نتایج آزمایش تعیین حدود اتربرگ برای تغییرات دامنه خمیری نسبت به درصد گچ در شکل ۲ و نتایج آزمایش تراکم به صورت تغییرات دانسیته خشک، کاهش آن نسبت به مقدار رطوبت بهینه در شکل ۳ نشان داده شده است. این تغییرات در واقع نشان‌دهنده کاهش



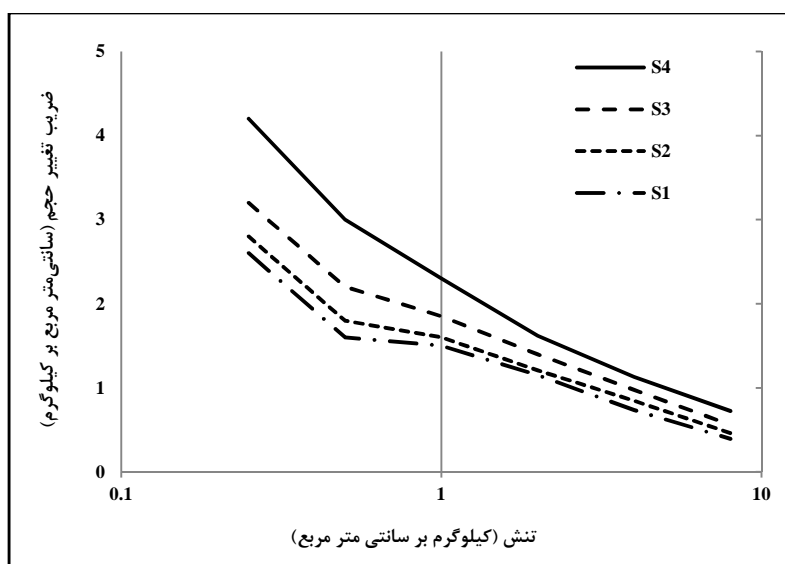
شکل ۲- نمودار تغییرات شاخص خمیری



شکل ۳- نمودار تراکم در خاک‌های مورد مطالعه



شکل ۴- نمودار تغییرات نسبت تخلخل با تنش



شکل ۵- نمودار ضریب فشردگی حجمی با تنش

کلسیم سیلیکا هیدرات و ترکیبات کلسیم آلومینات هیدراته خواهد شد. تولید این ترکیبات مانند نتایج کارگر و همکاران (Kargar *et al.*, 2010) خواص خمیرایی خاک را تغییر داده است.

نتایج آزمایش تراکم نشان می‌دهد که با افزایش درصد گچ در نمونه‌ها، وزن مخصوص خشک خاک کاهش و درصد رطوبت بهینه افزایش می‌یابد. وجود گچ در خاک بعد از انحلال موجب افزایش تخلخل و پوک شدن آن

نتایج تعیین حدود اتربرگ نشان می‌دهد که وجود گچ در خاک موجب کاهش خمیرایی آن و وجود یون‌های کلسیم دو ظرفیتی حاصل از گچ، موجب کاهش بار منفی و در نتیجه کاهش چسبندگی شده است. تبادل یونی موجب افزایش فولکوله شدن کانی‌های رسی و تغییر در خواص خمیرایی آن می‌شود به طوری که بین کانی‌های رس با یون کلسیم، واکنش‌هایی رخ می‌دهد که موجب تشکیل

بررسی پارامترهای موثر بر نشست خاک‌های...

$$e = \frac{G_s \cdot \gamma_w}{\gamma_d} - 1 \quad (2)$$

که در آن،

$\gamma_d$  = وزن مخصوص خشک (کیلو نیوتن بر مترمکعب)؛  $\gamma_w$  = وزن مخصوص آب (کیلو نیوتن بر مترمکعب)؛  $G_s$  = وزن مخصوص ذرات جامد؛ و  $e$  = نسبت تخلخل.

می‌شود که این امر به افزایش نفوذپذیری و نشست و کاهش مقاومت آن می‌انجامد، با استفاده از رابطه ۱ میزان تخلخل خاک برای نمونه‌های مورد مطالعه محاسبه و نتایج در جدول ۱ ارائه شده است. نتایج به دست آمده از آزمایش‌ها بیانگر افزایش تخلخل خاک در برابر افزایش درصد گچ است.

جدول ۱- نتایج آزمایش‌های حدود اتربرگ و تراکم

نسبت تخلخل	چگالی ویژه ذرات		درجه سلسیوس					نوع خاک	درصد گچ (BS 1377)	نمونه خاک
	گچ	خاک	آزمایش تراکم		آزمایش حدود اتربرگ					
			رطوبت پهنه (درصد)	حداکثر وزن خشک خاک (کیلو نیوتن بر متر مکعب)	شاخص خمیری	حد خمیری	حد روانی			
۰/۳۷	۲/۴۴	۲/۵۹	۱۱/۵	۱۸/۹	۲۴	۲۰	۴۴	CL	۱	S <sub>1</sub>
۰/۳۹	۲/۴۴	۲/۵۹	۱۴/۱	۱۸/۷	۲۰	۱۶	۳۶	CL	۴	S <sub>2</sub>
۰/۴۲	۲/۴۴	۲/۵۹	۱۵/۷	۱۸/۳	۱۸	۱۱	۲۹	CL	۱۰	S <sub>3</sub>
۰/۴۸	۲/۴۴	۲/۵۹	۱۷/۶۹	۱۷/۵	۱۲	۱۰	۲۲	CL	۱۵	S <sub>4</sub>

توصیه شده توسط دی (Day, 2005) مقدار نشست در اثر انحلال گچ در بافت خاک با استفاده از رابطه ۳ محاسبه شد که نتایج آن در جدول ۳ ارائه شده است.

$$S = S_L \times H \left( \frac{G_s}{G_{sol}} \right) \quad (3)$$

که در آن،

$S$  = نشست لایه مورد نظر در اثر انحلال گچ (سانتی‌متر)؛  $S_L$  = درصد گچ قابل حل در بافت خاک (درصد)؛  $H$  = ضخامت لایه (عرض باند انحلال در واحد یک متر)؛  $G_s$  = وزن مخصوص خاک غیر قابل انحلال؛ و  $G_{sol}$  = وزن مخصوص گچ انحلال پذیر.

نتایج حاصل از تغییرات میزان EC در تنش‌های ۱، ۴ و ۸ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع در دوره آزمایش

وجود گچ در خاک موجب می‌شود که تخلخل خاک زیاد شود زیرا گچ بین ذرات رسی خاک قرار می‌گیرد و این امر به نوبه خود موجب می‌شود که خاک، پس از انحلال گچ، پوک‌تر شود. همچنین با توجه به اینکه چگالی ذرات جامد برای اغلب خاک‌ها بین ۲/۶۵ تا ۲/۸۰ تغییر می‌کند، با افزایش ذرات گچ با وزن مخصوص ۲/۳۲ گرم بر سانتی‌مترمکعب در خاک باعث می‌شود که وزن مخصوص ذرات خاک کاهش یابد. نتایج به دست آمده نیز با نتایج بررسی‌های کارگر و همکاران (Kargar et al., 2010) و رحیمی (Rahimi, 1980) همخوانی دارد.

جهت بررسی میزان نشست، از سه روش آزمایش تحکیم، فرمول دی (Day, 2005) و فرمول پیشنهادی در این تحقیق استفاده شده است. با استفاده از روش تقریبی

افزایش تنش و شیب نمودارها افزایش می‌یابد (شکل ۸). این رفتار در اختلاف آزمایش تحکیم و روش دی (Day, 2005) و روش پیشنهادی قابل مشاهده است (جدول ۳).

$$\Delta H = M_v \times H \times \Delta \sigma' \quad (4)$$

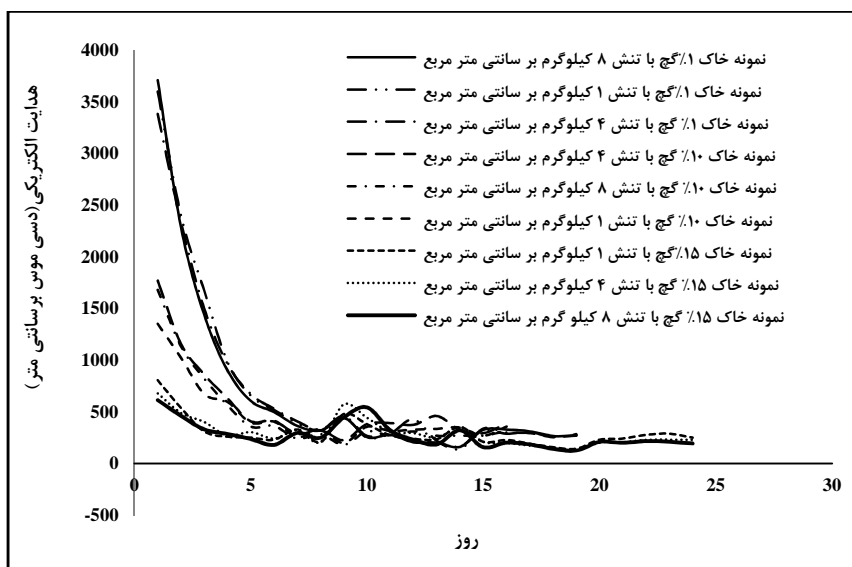
که در آن،  $\Delta H$  = نشست لایه خاک (سانتی‌متر)؛  $H$  = ضخامت لایه (سانتی‌متر)؛  $M_v$  = ضریب تغییر حجم (سانتی‌متر مربع بر کیلوگرم)؛ و  $\Delta \sigma'$  = تغییرات تنش موثر (کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع).

$$\Delta H = \frac{C_c \times H}{1 + e_0} \times \text{Log} \frac{(\sigma'_0 + \Delta \sigma')}{\sigma'_0} \quad (5)$$

که در آن،  $\Delta H$  = نشست تحکیمی لایه (سانتی‌متر)؛  $H$  = ضخامت لایه (سانتی‌متر)؛  $C_c$  = ضریب فشردگی؛  $\Delta \sigma'$  = تغییرات تنش موثر؛  $\sigma'_0$  = تنش موثر اولیه؛ و  $e_0$  = تخلخل اولیه.

(روز)، به‌عنوان پارامتر درصد میزان گچ تأثیرگذار بر نشست و همچنین تغییرات نشست با کاهش EC در شکل‌های ۶ و ۷ ارائه شده‌اند.

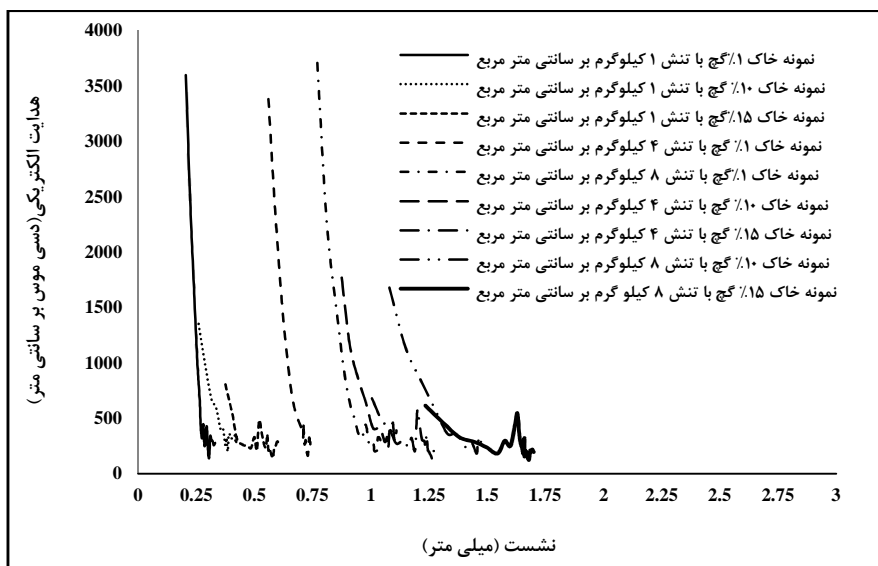
در آزمایش تحکیم ضرایب شاخص فشردگی تغییر محسوسی ندارند و با افزایش درصد گچ افزایش کمی را نشان می‌دهند. با توجه به اینکه خاک‌های ریزدانه، نسبت به خاک‌های درشت‌دانه، نشست بیشتری دارند، اختلاف نشست زیاد رابطه دی (Day, 2005) در مورد خاک‌های گچ‌دار با نشست تحکیمی محاسبه شده در نمونه‌های این تحقیق می‌تواند ناشی از این موضوع باشد که تأثیر تنش و نوع بافت خاک در نظر گرفته نشده‌اند و با توجه به افزایش مقدار ضریب فشردگی، نشست در نمونه‌ها طبق روابط ۴ و ۵ افزایش می‌یابد. مقدار  $m_v$  با افزایش درصد گچ در تنش‌های پایین افزایش می‌یابد اما با افزایش تنش مقادیر ضریب فشردگی حجمی در تمام نمونه‌های خاک تقریباً به  $0.05$  سانتی‌متر مربع بر کیلوگرم همگرا شده و می‌توان به‌عنوان مرز نشست در نظر گرفت. بنابراین وجود گچ در خاک بعد از انحلال موجب افزایش تخلخل و پوک شدن آن می‌شود که این امر خود منجر به افزایش نفوذپذیری و نشست و کاهش مقاومت خاک می‌گردد و میزان انحلال با



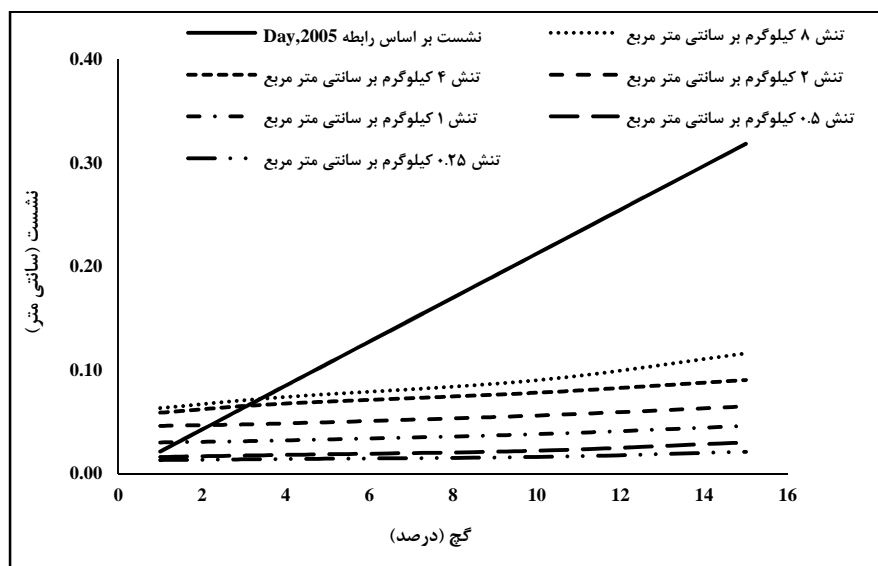
شکل ۶- تغییرات مقدار EC نمونه‌های آزمایشی تحت تنش‌های مختلف در دوره آزمایش



بررسی پارامترهای موثر بر نشست خاک‌های...



شکل ۷- تغییرات مقدار نشست در نمونه‌های آزمایشی همراه با تغییرات EC



شکل ۸- نمودار نشست تحکیم حاصل از آزمایش‌ها و مقایسه با رابطه دی (Day, 2005)

به منظور صحت‌سنجی فرمول پیشنهادی در این پژوهش با فرمول دی (Day, 2005) از آزمایش تحکیم به‌عنوان یک مبنای قیاس استفاده شد.

بررسی اختلاف بین فرمول پیشنهادی و رابطه دی (Day, 2005) با آزمایش تحکیم نشان‌دهنده نزدیک بودن نتایج فرمول پیشنهادی با آزمایش تحکیم است (جدول ۲). بررسی پارامترهای CC (شاخص فشردگی خاک) به‌دست آمده از آزمایش تحکیم و نیز ضریب نفوذپذیری

نتایج محاسبه نشست برای نمونه  $S_1$  تا  $S_4$  با سه روش، اندازه‌گیری مستقیم با دستگاه تحکیم، فرمول تجربی دی (Day, 2005) و با استفاده از فرمول تجربی پیشنهادی در جدول ۲ ارائه شده است. شیب خط تحکیم اولیه منحنی "e-logp"، که معرف شاخص فشردگی خاک است (Vafaian, 1985) و در تجزیه و تحلیل و محاسبه مقدار نشست دارای اهمیت فوق‌العاده است، در نمونه‌ها تعیین و با علامت CC در جدول ۳ ارائه شده است.

(K) نشان می‌دهد که با افزایش گچ در خاک میزان ضریب نفوذپذیری افزایش می‌یابد که این پارامتر نشان‌دهنده افزایش نفوذپذیری همزمان با درصد گچ است (جدول ۳). از طرفی، پارامتر شاخص فشرده‌گی خاک که در ارتباط با نشست است نشان می‌دهد که با افزایش آن مقدار نشست افزایش می‌یابد. به بیان دیگر افزایش مقادیر پارامترهای نفوذپذیری (ضریب نفوذپذیری و شاخص فشرده‌گی خاک) دارای ارتباط مستقیم با نشست و تخریب کانال در منطقه است به گونه‌ای که در مدت زمانی کوتاه منجر به نشت آب و نشست‌های نامتقارن در بدنه و در نتیجه خرابی آن خواهد شد.

جدول ۲- نتایج محاسبات نشست برای یک نمونه متراکم در دستگاه تحکیم

اختلاف آزمایش‌ها		نشست (سانتی‌متر)		پارامترهای موثر نشست خاک گچ‌دار			
اختلاف فرمول دی و (Day, 2005) آزمایش تحکیم	اختلاف آزمایش تحکیم و فرمول پیشنهادی (فرمول ۵)	نتایج فرمول پیشنهادی	فرمول دی (Day, 2005)	آزمایش تحکیم	ضریب فشرده‌گی حجمی ( $\times 10^{-2}$ ) (سانتی‌متر مربع بر کیلوگرم)	درصد گچ	تنش (کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع)
۰/۰۰۸	۰/۰۰۷	۰/۰۰۶	۰/۰۲۱	۰/۰۱۳	۲/۶	۱	
۰/۰۷۱	۰/۰۰۵	۰/۰۰۹	۰/۰۸۵	۰/۰۱۴	۲/۸	۴	۰/۲۵
۰/۱۹۶	۰/۰۰۱	۰/۰۱۵	۰/۲۱۲	۰/۰۱۶	۳/۲	۱۰	
۰/۲۹۷	۰/۰۱۲	۰/۰۰۹	۰/۳۱۸	۰/۰۲۱	۴/۲	۱۵	
۰/۰۰۵	-۰/۰۰۷	۰/۰۲۳	۰/۰۲۱	۰/۰۱۶	۱/۶	۱	
۰/۰۶۷	-۰/۰۰۸	۰/۰۲۶	۰/۰۸۵	۰/۰۱۸	۱/۸	۴	۰/۵
۰/۱۹۰	-۰/۰۱۰	۰/۰۳۲	۰/۲۱۲	۰/۰۲۲	۲/۲	۱۰	
۰/۲۸۸	۰/۰۰۱	۰/۰۲۹	۰/۳۱۸	۰/۰۳۰	۳	۱۵	
-۰/۰۰۹	۰/۰۰۳	۰/۰۲۷	۰/۰۲۱	۰/۰۳۰	۱/۵	۱	
۰/۰۵۳	۰/۰۰۱	۰/۰۳۱	۰/۰۸۵	۰/۰۳۲	۱/۶	۴	۱
۰/۱۷۴	-۰/۰۰۱	۰/۰۳۹	۰/۲۱۲	۰/۰۳۸	۱/۹	۱۰	
۰/۲۷۲	-۰/۰۰۴	۰/۰۴۲	۰/۳۱۸	۰/۰۴۶	۲/۳	۱۵	
-۰/۰۲۵	۰/۰۰۹	۰/۰۳۷	۰/۰۲۱	۰/۰۴۶	۱/۱۵	۱	
۰/۰۳۷	۰/۰۰۷	۰/۰۴۲	۰/۰۸۵	۰/۰۴۸	۱/۲۱	۴	۲
۰/۱۵۶	۰/۰۰۵	۰/۰۵۱	۰/۲۱۲	۰/۰۵۶	۱/۴	۱۰	
۰/۲۵۴	۰/۰۰۸	۰/۰۵۷	۰/۳۱۸	۰/۰۶۵	۱/۶۲	۱۵	
-۰/۰۳۸	۰/۰۰۸	۰/۰۵۱	۰/۰۲۱	۰/۰۵۹	۰/۷۳۵	۱	
۰/۰۱۷	۰/۰۱۲	۰/۰۵۵	۰/۰۸۵	۰/۰۶۸	۰/۸۴۵	۴	۴
۰/۱۳۴	۰/۱۳۰	۰/۰۶۵	۰/۲۱۲	۰/۰۷۸	۰/۹۷۵	۱۰	
۰/۲۲۸	۰/۰۱۷	۰/۰۷۳	۰/۳۱۸	۰/۰۹۰	۱/۱۲۹	۱۵	
-۰/۰۴۲	-۰/۰۰۹	۰/۰۷۳	۰/۰۲۱	۰/۰۶۳	۰/۳۹۵	۱	
۰/۰۱۱	-۰/۰۰۴	۰/۰۷۸	۰/۰۸۵	۰/۰۷۴	۰/۴۶۲	۴	۸
۰/۱۲۲	۰/۰۰۲	۰/۰۸۸	۰/۲۱۲	۰/۰۹۰	۰/۵۶۳	۱۰	
۰/۲۰۲	۰/۰۲۱	۰/۰۹۵	۰/۳۱۸	۰/۱۱۶	۰/۷۲۵	۱۵	

جدول ۳- نتایج آزمایش‌های نفوذپذیری تحکیم

آزمایش تحکیم			
نمونه خاک	نوع خاک	ضریب نفوذپذیری ( $e10^{-7}$ ) (سانتی‌متر بر ثانیه)	شاخص فشردگی خاک
S <sub>1</sub>	CL	۱/۰۲	۰/۱۰
S <sub>2</sub>	CL	۱/۱۳	۰/۱۱
S <sub>3</sub>	CL	۱/۲۸	۰/۱۳
S <sub>4</sub>	CL	۱/۶۴	۰/۱۷

با افزایش درصد گچ، مقدار نشست محاسبه شده با فرمول دی (Day, 2005) اختلاف زیادی با مقدار نشست آزمایشگاهی دارد که نشان می‌دهد هرچه درصد گچ بالاتر رود رابطه دی (Day, 2005) مقدار نشست را محافظه‌کارانه‌تر به دست می‌دهد. دلیل ضعف این روش، در نظر نگرفتن تأثیر خصوصیات مکانیکی و تنش مؤثر وارد بر المان خاک است.

فرمول پیشنهادی در این تحقیق تأثیر پارامترهای ضریب فشردگی حجمی، فشار مؤثر تحکیم و درصد گچ را بر نشست ناشی از انحلال گچ ارائه می‌کند. همچنین دارای اختلاف کمتری نسبت به روش دی (Day, 2005) با آزمایش تحکیم دارا است.

در تنش مؤثر کمتر ضریب تغییر حجم نمونه‌های خاک با افزایش درصد گچ، دامنه تغییرات زیادی نیست، در صورتی که در عمق‌های با تنش مؤثر بیشتر ضریب تغییر حجم نمونه‌های خاک با درصد گچ‌های متفاوت، دامنه تغییرات زیادی با هم نداشته و به مقدار تقریباً ثابتی همگرا می‌شود.

بررسی پارامترهای شاخص فشردگی خاک به دست آمده از آزمایش تحکیم و همچنین ضریب نفوذپذیری نشان می‌دهد که با افزایش گچ در خاک هر دو پارامتر افزایش می‌یابند.

پدیده نشست متأثر از نوع خاک، بافت و سایر پارامترهای آن است اما در فرمول دی (Day, 2005) فقط درصد گچ عامل تأثیرگذار معرفی شده است، به همین دلیل برای برآورد مناسب و منطقی رفتار سازه به لحاظ نشست، لازم است تأثیر سایر خواص فیزیکی و مکانیکی خاک بر میزان نشست را نیز در نظر گرفت.

بر اساس یافته‌های این تحقیق رابطه ۵ پیشنهاد شده است که در آن پارامترهای فشار مؤثر تحکیم ( $\Delta\sigma'$ ) و ضریب فشردگی حجمی در کنار درصد گچ در نظر گرفته شده است. در جدول ۲ نتایج حاصل از محاسبه میزان نشست با استفاده از فرمول پیشنهادی در کنار نتایج محاسبات از رابطه دی (Day, 2005) و نتایج آزمایشگاهی این تحقیق ارائه شده است.

$$S = 0.045 + 0.004 \times \Delta\sigma' + 0.002 \times g - 0.016 \times m_v \quad (6)$$

که در آن،

$\Delta\sigma'$  = فشار مؤثر تحکیم (کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع)؛  
 $g$  = درصد گچ موجود در خاک؛ و  $m_v$  = ضریب فشردگی حجمی (سانتی‌متر مربع بر کیلوگرم).

### نتیجه‌گیری

با افزایش درصد گچ، رطوبت بهینه افزایش اما حد روانی، نشانه خمیری و دانسیته خشک خاک کاهش می‌یابد.

## قدردانی

این تحقیق از پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهدی خلف شوشتری استخراج شده است. محققان از حمایت‌های معنوی دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز قدردانی می‌نمایند.

## مراجع

- Al-Hadithy, D. K. 2001. Compressibility of saline soils treated with cement. M. Sc. Thesis. Department of Building and Construction. University of Technology of Iraq.
- Al-Heeti, A. A. H. 1990. The engineering properties of compacted gypsified Soil. M. Sc. Thesis. University of Baghdad. Iraq.
- Al-Shalhomi, A. Y. 2000. Effect of Phosphogypsum on the engineering characteristics of clayey soil. M. Sc. Thesis. Civil Engineering Department. College of Engineering University of Mosul. Mosul, Iraq.
- Anon. 1975. Method of Testing Soils for Civil Engineering Purposes. BS 1377-2. British Standard. British Standards Institution. London. UK.
- Arakelyan, E. A. 1986 . Characteristics of The determination of the physical properties of gypsum soils. Soil Mech. Found. Eng. 23, 27-29.
- Arar, A. 1990. Drainage and salinity controls in gypsiferous soils. Agriculture Division Arab Consult. Amman, Jordan.
- Baiburdi, M. 1990. Principles of Drainage and Soil Improvement. 6<sup>th</sup> Ed. Tehran University Press. Tehran. Iran. (in Persian)
- Day, R. W. 2005. Foundation engineering handbook: design and construction. ASCE Press. McGraw-Hill. New York. USA.
- Doner, H. E. and Lynn, W. C. 1977. Carbonate, Halide, Sulfate and Sulfide Minerals. In: Dixon, J. B. and Weed, S. B. (Eds.) Minerals in Soil Environments. Soil Science Society of America. Madison.
- Huda, N. T. AL- Numani. 2010. improvement of the mechanical properties of gypseous soil by additives. Al-Qadisiya J. Eng. Sci. 3(3): 287-296.
- Kargar, S., Rahimi, H. and Raisie, A. 2008. The Effect of gypsum on some physical properties of clay soils. The First National Seminar on Geotechnical Problems of Irrigation and Drainage Networks. May 29. Agricultural Engineering Research Institute. Karaj. Iran. (in Persian)
- Kargar, S., Raisie, A. and Rahimi, H. 2010. The effect of gypsum and its leaching on resistance properties of clay soil. J. Iranian Soil Water Res. 2, 251- 256. (in Persian)
- Kattab, S. A. 1986. Effect of gypsum on strength of cement treated granular soil and untreated soil. M. Sc. Thesis. Civil Engineering Department. College of Engineering University of Mosul. Mosul. Iraq.
- Mahmoudi, Sh. and Heidari, A. 1999. Classification and physicochemical properties of gypsum soils in southwest of Gilanegharb. Iranian J. Agric. Sci. 29(2): 299-308. (in Persian)
- Maksimovich, N. G. and Sergeev, V. L. 1983. Effect of chemical injection stabilization on gypsum stability in foundation of hydraulic structure. Hydrotech. Constr. 17(7): 380-384.
- Metternicht, G. and Zink, J. A. 2009. Remote Sensing of Soil Salinization Impact on Land Management. CRC Press. Taylor & Francis Group.
- Petrukhin, V. P. 1993. Construction of Structures on Saline Soils. Balkema Pub.

- Rahimi, H. 1980. Soil Mechanics. First Ed. Daneshva Fan Pub. (in Persian)
- Rahimi, H. 2000. Challenges in construction of irrigation canals in anomaly (problematic) soils. Technical Workshop on Canal Construction, Limitations and Solutions. Iranian National Committee on Irrigation and Drainage. Jan. 25. Tehran. Iran. (in Persian).
- Terleskaya, M. N. and Matonidze, N. V. 1988. Seepage strength of gypsinated foundations of hydraulic structures. Hydrotech. Constr. 21(12): 690-691.
- Vafaian, M. 1985. An Introduction to Soil Mechanics. Second Ed. Dekhoda Pub. (in Persian)
- Watson, A. 1983. Gypsum Crust. In: Goudie, A. S. L. and Pye, K. (Eds.) Chemical Sediments and Geomorphology. Academic Press. London.

## **Investigating Parameters Affecting the Settlement of Gypsum Soils**

**M. Khalaf-Shoushtari, N. Khayat\* and A. Nazarpour**

\* Corresponding Author: Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran. Email: khayat@iauahvaz.ac.ir

Received: 24 March 2016, Accepted: 19 October 2016

Consolidation and stability of soil is influenced by the presence of minerals in the soil and it is especially related to its moisture which is prevalent difficulty in the construction of irrigation and drainage networks. In this research, the effect of natural gypsum on the physical properties of silty soil and its settlement was studied. In order to achieve answers which comply with the conditions of operation, samples were collected from the construction site, containing natural gypsum in soil. Samples were selected, based on a weighted combination of soil and natural gypsum, with percentages of 1%, 4%, 10% and 15% and by conducting standard chemical tests to determine the percentage of gypsum and some general properties of soil were determined. In order to assess the rate of dissolution, consolidation test was also conducted and in this process EC was measured for a month in outlet water samples extracting from the process of replacing distilled water, in a one-day period and under the stresses of 0.25, 0.5, 1, 2, 4 and 8 kg/cm<sup>2</sup> in the consolidation device. The results showed that by increasing the amount of gypsum, plasticity index and dry density of soil samples have decreased, but permeability and settlement rates was increased. Since in the calculation of settlement of gypsum-containing soils, parameters such as volumetric compression ratio and stress are also effective, an empirical formula was developed for predicting relationship between consolidation pressure, percentage gypsum and consolidation coefficient.

**Keywords:** Natural Gypsum, Permeability, Porosity, Soil Settlement