

رفتار خاک‌های گچی و اثرات سیکل‌های تر و خشک شدن و بارگذاری و باربرداری بر خواص آنها

جعفر بلوری بزار^۱ استادیار گروه عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد
کیهان ساجدی^۲ دانشجوی دکتری خاک و پی، دانشکده مهندسی، گروه عمران، دانشگاه فردوسی مشهد

چکیده

خاک‌هایی که هنگام انساع شدن نسبت کرده و با متورم می‌شوند جزو خاک‌های مستله‌دار هستند. اینگونه خاک‌ها به لحاظ رفتار پیچیده‌ای که دارند خسارت‌آور وارد می‌نمایند. خاک‌های گچی به لحاظ حضور گچ عموماً بوج بوده و بسته به درجه بوجکی آن نسبت قابل توجهی را به سازه‌ها تحمل می‌کنند. تحقیق حاضر کوشی است برای شناخت خاک‌های مصنوعه جنوب شهر مشهد که به طور طبیعی دارای گچ نسبتاً زیادی بوده و رفتار ویژه خود را دارند. به این منظور ابتدا تعداد زیادی نمونه از نقاط گوناگون با مقدار گچ متفاوت تهیه و پس از دانه‌بندی و تعیین نوع خاک و نیز مقدار گچ، به هفت نوع تقسیم شدند و آزمایشات اولیه تسان دادند که با افزایش نقدار گچ شانه خمری و وزن مخصوص طبیعی کاهش و در نتیجه نسبت افزایش می‌پابد. سپس جهت بررسی اثر درجه تراکم، کلیه نمونه‌ها با وزن مخصوص‌های گوناگون متراکم گردیده و پس از انساع نمودن درصد تورم و فشار تورم آنها اندازه‌گیری شد. نتایج بیانگر این نکته است که با افزایش وزن مخصوص و مقدار گچ، بتناسیل تورم افزایش می‌پابد اما مقدار گچ ناشی چشمگیری بر فشار تورم می‌دارد. آزمایشات سیکل‌های تر و خشک شدن و نیز سیکل‌های بارگذاری و باربرداری جهت بررسی اثر این دو بدیده بر خواص مکانیکی خاک این منطقه انجام شد. نتایج شناس داد که سیکل‌های تر و خشک شدن به تنها تورم را کاهش نمی‌دهد بلکه موجب افزایش آن می‌شود، حال آنکه اعمال سیکل بارگذاری و باربرداری بتناسیل تورم را به طور چشمگیری کاهش می‌دهد.

کلمات کلیدی: خاک مستله‌دار، گچی، تورم، نشست، فشار تورم، سیکل، تر و خشک شدن، بارگذاری و باربرداری.

Mechanical Behavior of Gypsum Soils and the Effects of Cycles of Wetting and Drying and Cycles of Loading and Unloading on their Properties

J. Bolouri Bazaz Civil Engineering Department, Engineering Faculty,
Ferdowsi University of Mashhad
K. Sajedi Civil Engineering Department, Engineering Faculty,
Ferdowsi University of Mashhad

Abstract

The soils, when saturated, swell or settle are referred as problematic soils. Due to the complicated behavior, such these soils damage to the structures. Gypsum soils are generally porous due to the presence of gypsum and apply huge settlement, in proportion with degree of porosity, to the structures. The present research is an effort to identify the soils of South East of Mashhad city, which naturally contain relatively high gypsum and have a special behavior. In this regard, so many samples with different magnitudes of gypsum were gathered and classified to seven samples with different magnitudes of gypsum. Preliminary tests reveal that with increasing of gypsum, plasticity index and unit weight decrease, which in turn increase settlement. In order to investigate the influence of degree of compaction, all samples were compacted with different unit weight and the swelling potential and swelling pressure were measured after saturation. The results show that with increasing unit weight and gypsum, swelling potential increases. Cycles of wetting and drying and also cycles of loading and unloading were performed to investigate their influence on gypsum soils.

Key words: Problematic Soils, Gypsum, Swelling, Settlement, Swelling pressure, Cycles, Wetting and drying, Loading and Unloading.

۱- مقدمه

در شکل (۱) نمونه‌ای از خاک‌های گچی کریستال شده منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. اگر چه خاک‌های گچی در بعضی از نقاط این منطقه که دارای تراکم نسبی بالا بوده متورم شده و موجب خسارت زدن به ساختمان‌ها شده‌اند [۶]. اما در نقاطی که پوکی خاک‌های گچی بالا بوده نشست زیاد نیز مشاهده شده است. نشست یا تورم متاثر از عواملی نظیر میزان خاک رس و نوع مینرال آن، میزان رطوبت، دانسیته نسبی، ساختار خاک و میزان و چگونگی اعمال بارهای واردۀ می‌باشد [۷]. خاک‌های گچی که گج بالایی داشته و در نتیجه دارای وزن مخصوص کم هستند اگر بهسازی نگردند، نشست ساختمان را به دنبال خواهند داشت و اگر متراکم شوند و با هنگام متراکم نمودن به آنها آهک افزوده شود، تورم را به همراه دارند [۴]. یکی دیگر از پدیده‌های طبیعی که روی تورم و متعاقب آن وارد شدن خسارت به سازه‌ها اثر داشته است، پریودهای تر و خشک شدن خاک بوده است. خاک‌های مستله‌دار و خاک‌های رس متورم شونده در بعضی نقاط آمریکا که سطح گسترده‌ای را پوشانده و در این مناطق تیز شرایط آب و هوایی اغلب به صورت پریودهای بارشی و خشکی می‌باشد. خسارات گسترده‌ای به سازه‌ها وارد نموده است [۸ و ۹]. هرچند استفاده از آهک به متضطرور بهسازی برای بسیاری از خاک‌ها مؤثر است اما اگر به علت واکنش شیمیایی کانی‌هایی مانند اترینگایت و ناماکسایت تشکیل شود به دلیل توان جذب بالای آب، این کانی‌ها به شدت متورم می‌شوند [۹].



شکل ۲- خرابی کفسازی‌ها به علت پدیده تورم در خاک‌های گچی

خاک‌های متورم شونده (Swelling soils) در گروه خاک‌های مستله‌دار (Problematic soils) هستند که خواص فیزیکی و مکانیکی ویژه خود را دارند. اینگونه خاک‌ها در مناطق شهری مشکلات سازه‌ای را به همراه داشته که همیشه مورد توجه مهندسین و پیمانکاران بخش مسکن و راهسازی بوده است. خاک منطقه جنوب غربی مشهد مواجه با مشکل مشابه می‌باشد. خاک‌های متورم شونده این منطقه هنگامی که خشک شوند کاهش حجم داشته و در صورت اشباع شدن متورم شده و اضافه حجم خواهند داشت. تورم خاک به دلیل تشکیل یک غشای آب به دور عناصر آن است. سولفات کلسیم با جذب آب به زیپس یا سولفات کلسیم آبدار ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) تبدیل شده که در طول این فرایند حجم آن تا ۶۰ درصد افزایش می‌باید. علت اصلی تورم اغلب خاک‌های متورم شونده وجود کانی‌های ویژه و مقدار رس می‌باشد [۱]. در حالیکه علت تورم بعضی خاک‌های ریزدانه حضور گج می‌باشد [۲]. خاک‌های آهکی حاوی سولفات کلسیم نیز تغییرات حجمی مشابهی را داشته و بر اثر اشباع شدن متورم می‌شوند [۳]. خاک‌های گچی به علت وجود ذرات گج فراوان معمولاً پوک بوده و وزن مخصوص پایینی دارند، به طوری که گاهی با وزن مخصوص طبیعی 1.3 gr/cm^3 نیز در منطقه مورد مطالعه مشاهده شده‌اند [۴]. البته وزن مخصوص پایین خاک‌های گچی مختص این منطقه نبوده و حتی وزن مخصوص طبیعی 1.1 gr/cm^3 نیز گزارش شده است [۵].



شکل ۱- نمونه خاک‌های گچی کریستال شده منطقه مورد مطالعه

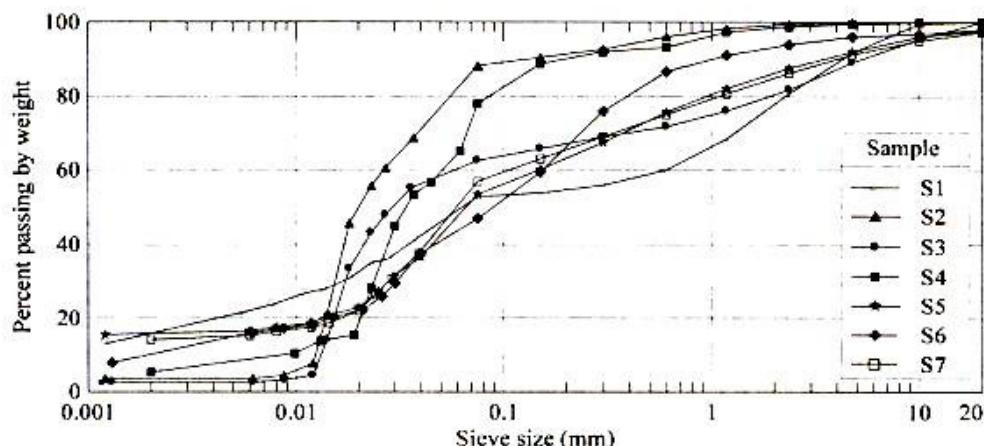
تحقیقات قبلی نشان می‌داد خاک‌های واقع شده در عمق بیش از ۲/۵ متر دارای گچ چشمگیر نبودند [۴] از طرفی عمق قرارگیری بی اغلب ساختمان‌های خارت دیده که بک یا دو طبقه‌اند نیز در این محدوده قرار دارد. نمونه‌گیری به صورت دست خورده (برای تعیین تعدادی از آزمایشات، نظیر تعیین وزن مخصوص طبیعی) و دست نخورده بوده است. موقعیت اخذ نمونه‌ها در منطقه جنوب شرق مشهد در نقشه بیوست (شکل ۱۵) نشان داده شده است.

نمونه‌های گرفته شده ابتدا دانه‌بندی شده (ASTM C33) و پس از تعیین حدود انبریگ آنها (ASTM D4318) و تعیین نوع خاک، خواص این نمونه‌ها با یکدیگر مقابله گردید. با توجه به تشابه تعدادی از نمونه‌ها از نظر دانه بندی، حدود انبریگ و نیز میزان گچ، کلیه نمونه‌ها به هفت نوع تقسیم شده و پس از هر نوع یک نمونه (جمعاً هفت نمونه) به منظور انجام آزمایشات تکمیلی انتخاب گردید. لازم به یادآوری است که هر یک از هفت نوع خاک ذکر شده، نمونه معادل نیستند، به عبارتی هر یک از نمونه‌های هفتگانه از میان چند نمونه که با یکدیگر کاملاً مشابه بوده انتخاب گردیده و نه از مخلوط نمودن چند نمونه مشابه و ایجاد یک نمونه جدید. بنابراین هر یک از نمونه‌ها کاملاً طبیعی هستند خواص شیمیایی این هفت نمونه شامل میزان BS 1377, Test 9-_i So_i, CaSo_i, BS 1377, Test 11-B, pH آ (جدول ۱) و دانه‌بندی آنها در شکل (۳) نشان داده شده است.

در طول دهه‌های اخیر ساختمان‌های ساخته شده در منطقه جنوب غربی مشهد مواجه با نشت یا تورم خاک شده‌اند. این دو پدیده متناقض که علت اصلی آن کاملاً آشکار نبود موجب وارد آمدن خساراتی به ساختمان‌ها می‌شد. شکل (۲) تورم لایه‌های زیرین را که موجب بالا آمدن کفسازی محوطه شده است نشان می‌دهد. به منظور بررسی رفتار مکانیکی خاک این منطقه ابتدا با نمونه‌گیری از نقاط مختلف، مقدار گچ و وزن مخصوص طبیعی هر یک نمونه گردید. سپس با توجه به این دو پارامتر نمونه‌ها را دانه‌بندی کرده و آزمایشات تکمیلی برای تعیین خواص مکانیکی، پتانسیل تورم، فشار تورم و نیز انزیکل‌های تر و خشک شدن و سیکل‌های بارگذاری و باربرداری روی هفت نمونه انتخابی از میان چهل نمونه خاک انجام شد.

۲- ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی خاک‌های گچی

به منظور بررسی خواص خاک‌های گچی منطقه جنوب غربی مشهد که به دلیل وجود گچ خساراتی را به ساختمان‌ها وارد نموده است، چهل نمونه خاک از نقاطی که میزان گچ در آن نقاط از کم تا زیاد تغییر زده می‌شود و باعث نشت یا تورم در آن ناحیه شده بود گرفته شد. انتخاب نمونه‌ها براساس میزان خسارات‌های وارد به ساختمان‌ها و نیز میزان گچ (صرفأ بر اساس مشاهدات صحرایی) بود. عمق نمونه‌گیری، پس از برداشت خاک سطحی، از عمق بک متر تا حدود ۲/۵ متر بوده است. نتایج



شکل ۳- دانه‌بندی نمونه‌های هفتگانه

جدول ۱- آنالیز شیمیایی نمونه‌های انتخابی

نمونه	pH	CaSO ₄	SO ₃
S1	7.74	0.5	0.55
S2	7.32	13.7	8.3
S3	7.11	15.4	12.9
S4	7.23	17.6	13.1
S5	7.51	21.0	13.3
S6	7.47	22.1	13.6
S7	7.49	23.4	13.9

موجب سیمان‌تاسیون خاک می‌باشد موجب کاهش وزن مخصوص طبیعی آن شده است. همچنین به نظر می‌رسد شکست بافت خاک‌های گچی بر اثر بارگذاری علت اصلی نشت بسیاری از ساختمان‌ها باشد.

* حد خمیری نمونه‌های مورد آزمایش روند کاهشی را نشان می‌دهد، اگر چه برای نمونه‌های S2 و S3 که خاک CL هستند این روند ملاحظه نمی‌گردد. تحقیقات Abdulkauwad و Azma و

نیز بیانگر کاهش انداز PL و CL با افزایش مقدار گچ از صفر تا ۲۰ درصد می‌باشد [۵]. نشانه خمیری خاک‌های مورد آزمایش نیز با افزایش مقدار گچ کاهش می‌باشد که بیانگر تأثیرگذاری خاصیت خمیری خاک از میزان گچ است.

* مقدار رطوبت بهینه و وزن مخصوص خشک بیشینه با افزایش مقدار گچ روند افزایشی انداز دارد. به نظر می‌رسد علت این موضوع جذب آب توسط گچ می‌باشد که این خود بیانگر ساختار میترالی گچ است.

شكل (۴) تغییرات وزن مخصوص و نشانه خمیری، PI را با درصد گچ نشان می‌دهد. در این شکل نمونه اول که میزان گچ این بسیار بایین بوده آورده نشده است. همانگونه که از شکل ملاحظه می‌گردد، می‌توان یک رابطه خطی میان افزایش میزان گچ و کاهش وزن مخصوص و نشانه خمیری درنظر گرفت. کاهش وزن مخصوص طبیعی خاک با افزایش گچ به علت حضور گچ و پوک شدن خاک می‌باشد. از طرف دیگر این نمودار بیانگر این نکته نیز هست که افزایش میزان گچ خاصیت خمیری خاک را کاهش داده است. البته نمونه S6 رفتار غیر خمیری از خود نشان داده است.

۳- نشت خاک‌های گچی

به منظور بررسی پدیده نشت در خاک‌های این منطقه و نیز مطالعه اثر تراکم به عنوان یک روش مکانیکی بهسازی، نمونه‌هایی با رطوبت طبیعی و نمونه‌هایی متراکم شده با رطوبت بهینه و وزن مخصوص بیشینه با استفاده از دستگاه تحکیم و با بیشینه تنش اعمال شده ۸ kg/cm² مورد آزمایش قرار گرفتند (ASTM D2435). علت انتخاب نمونه دست نخورده (با رطوبت مخصوص و رطوبت طبیعی) و نمونه متراکم شده (با رطوبت بهینه و وزن مخصوص بیشینه) بررسی اثر تراکم بر خاک‌های این منطقه بود.

همانگونه که از جدول (۱) ملاحظه می‌گردد، میزان گچ نمونه S1 بسیار انداز بوده و مقدار آن برای سایر نمونه‌ها از حدود ۱۳ تا ۲۴ درصد تغییر می‌کند. ترتیب نامگذاری نمونه‌ها بر اساس افزایش مقدار گچ انجام شده است. همچنین خواص ژئوتکنیکی شامل خواص خمیری و طبقه بندی نمونه‌های هفتگانه در جدول (۲) خلاصه شده است. با توجه به مقدار گچ نمونه‌ها (جدول ۱) و سایر مشخصات آنها (جدول ۲) موارد زیر قابل نتیجه گیری است:

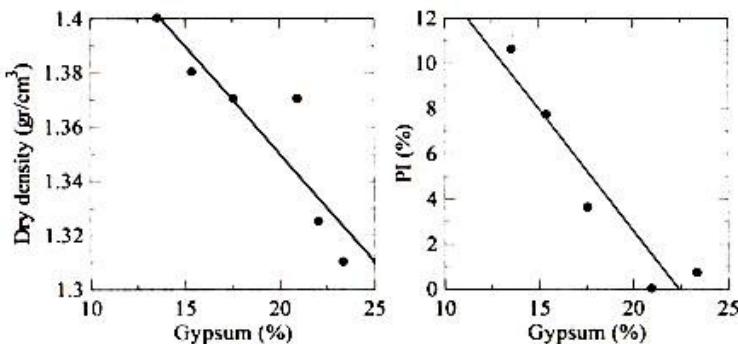
* اغلب خاک‌های گچی منطقه نرم و دارای بافت ریز داره رسی با سبلتی هستند.

* میزان گچ تأثیر چشمگیری بر مقدار چگالی ویژه خاک ندارد، اگرچه انتظار می‌رود چگالی خاک متأثر از درصد متفاوت گچ باشد. تحقیقات جدید انجام شده روی خاک‌های این منطقه نیز رابطه‌ای خاصی بین درصد گچ و چگالی ویژه نشان نمی‌دهد [۱۰]. علت این امر ممکن است طبیعی بودن گچ نمونه‌ها باشد. توضیح اینکه اغلب تحقیقات انجام شده روی خاک‌های گچی بر روی نمونه‌های مخلوط شده خاک طبیعی با نوعی گچ (با درصد متفاوت) بوده است. اما در این تحقیق هدف انتخاب نمونه طبیعی دارای گچ بوده و ممکن است علت آن عدم وجود شرایط کاملاً یکسان نمونه‌ها از نقطه نظر میترالوزی باشد. همچنین با توجه به اینکه گچ موجود در نمونه‌های مورد آزمایش طبیعی است اندازه گیری چگالی گچ به عنوان یک ماده ممکن نبود. البته تحقیقات دیگران بیانگر این نکته است که در خاک‌های مخلوط گچی و خاک‌های مخلوط اندیردیدی با افزایش میزان سولفات کلسیم چگالی ویژه به ترتیب کاهش و افزایش می‌باشد، اگرچه تغییرات چگالی ویژه با افزایش میزان گچ تا حدود ۲۰ درصد، بسیار انداز و حداقل تا ۰۰۱۵ می‌باشد [۵].

* خاک منطقه اصولاً متخلخل بوده و افزایش میزان گچ وزن مخصوص طبیعی را کاهش می‌دهد. به نظر می‌رسد گچ که

جدول ۲- خواص زوتکنیکی و مکانیکی نمونه‌های انتخابی

USCS ^c	OMC ^b	MDD ^a (gr/cm ³)	حدود اتربرگ			چگالی ویژه	وزن مخصوص (gr/cm ³)		نمونه
			PI (%)	PL (%)	LL (%)		خشک	طبیعی	
CL	10.1	1.61	13.0	23.0	36.0	2.71	1.43	1.50	S1
CL	9.0	1.62	10.6	13.6	24.2	2.61	1.40	1.49	S2
CL	9.6	1.64	7.7	17.3	25.0	2.70	1.38	1.58	S3
ML	9.7	1.64	3.6	23.4	27.0	2.71	1.37	1.49	S4
ML	11.2	1.66	0.0	23.8	23.8	2.73	1.37	1.46	S5
SM	14.6	1.68	----	----	22.9	2.59	1.33	1.40	S6
ML	12.9	1.69	0.7	18.8	19.5	2.77	1.31	1.36	S7

MDD^a = دانسته خشک بینیهMC^b = میزان رطوبت بینیهUSCS^c = سیستم طبقه بندی خاک متحدد

شکل ۴- تغییرات وزن مخصوص و نشانه خمیری با درصد گچ در نمونه‌های انتخابی

محاسبه گردید. نتایج آزمایش تحکیم بر روی هردو سری هفتگانه نمونه‌ها که در جدول (۳) آورده شده است بیانگر این نکته است که با افزایش درصد گچ که موجب یوکی بیشتر خاک می‌شود مقدار نشت زیاد می‌گردد. همچنین ملاحظه می‌گردد عمل تراکم میزان نشت را بیش از ۳۰ درصد کاهش داده و ظرفیت باربری را بهبود می‌بخشد. اما با توجه به تورم مشاهده شده در منطقه به نظر می‌رسید که اگرچه مترکم نمودن خاک منجر به کاهش نشت می‌گردد ولی ممکن است حضور آب و اشباع شدن خاک منجر به تورم گردد. این موضوع دریخت‌های بعدی مورد بررسی واقع شده است.

جدول ۳- میزان نشت تحکیمی نمونه‌های طبیعی و مترکم شده

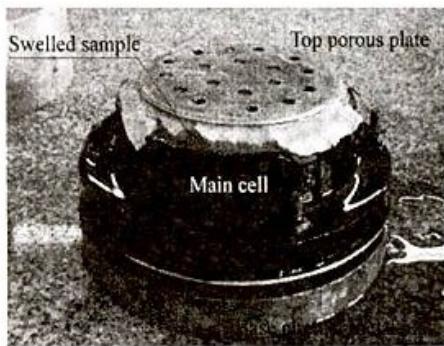
کاهش نشست (%)	نشست نمونه‌های متراکم شده (%)	نشست نمونه‌های طبیعی (%)	نمونه
30	4.2	6.0	S ₁
17.6	6.1	7.4	S ₂
18.7	6.1	7.5	S ₃
23.5	6.5	8.5	S ₄
31.3	12.3	17.9	S ₅
34.9	14.0	21.5	S ₆
34.7	13.0	19.9	S ₇

به این منظور پس از قرار دادن نمونه‌ها داخل دستگاه و اشباع نمودن آنها، مقدار نشت در پایان آزمایش تحکیم

به منظور تعیین مقدار تورم، ارتفاع نمونه حدود ۱۰ میلیمتر کوتاه‌تر ساخته می‌شد (شکل ۵) تا بر اثر تورم و افزایش ارتفاع، ذرات نمونه (شکل ۶) از قالب خارج نشوند. در این حال مقدار تورم با اندازه‌گیری تغییر ارتفاع نمونه، با تعیین تغییر مکان مرکز صفحه متخلخل و چهار نقطه در محیط آن (شکل ۶) توسط گیج مکانیکی و متوسط گیری محاسبه می‌شد. البته معمولاً فراتات‌ها اختلاف بسیار اندک داشتند.

هنگامی که هدف اعمال تنش به نمونه بود مقدار بار سوره نظر به صورت وزنه روی صفحه نشان داده شده در شکل (۷) قرار داده می‌شد. بار وزنه‌ها توسط یک لوله فلزی و صفحه‌ای دابروی که قطر آن با قطر داخلی قالب برابر بوده و به انتهای لوله جوش شده بود، به نمونه اعمال می‌گردید. چهار پایه نشان داده شده در شکل از انحراف سیستم بارگذاری جلوگیری می‌کرد. بر اثر اعمال تنش، ارتفاع نمونه به تدریج کاهش می‌یافتد و این بارگذاری مرحله‌ای تا هنگامی ادامه می‌یافتد که ارتفاع افزایش یافته نمونه برابر ارتفاع اولیه آن می‌گردد. پس از اتمام این روند و توقف نشست نمونه، که حدود ۲۴ ساعت به طول می‌انجامد مرحله بعدی بارگذاری آغاز می‌شد. چگونگی تعیین نشست نمونه توسط گیج در شکل (۷) نشان داده شده است.

به منظور واضح نشان دادن نحوه بارگذاری، در شکل (۷) مجموعه خارج از آب نشان داده شده است حال انکه هنگامی که هدف نگه داشتن نمونه در حالت اشباع در طول آزمایش بوده مجموعه فوق مستغرق در داخل آب بوده و تا پایان آزمایش هیچگاه از آب خارج نمی‌شد (شکل ۸).

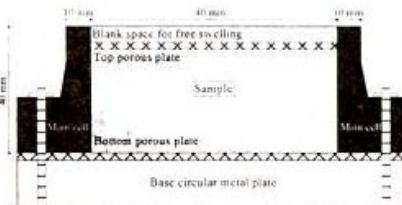


شکل ۶- تصویری از قالب تورم ساخته شده

۴- دستگاه مورد استفاده

با توجه به اینکه هدف اصلی این تحقیق اندازه‌گیری نشت با تورم بوده است بنابراین بر اساس این نامه ASTM دستگاه تحکیم باید استفاده گردد. اما اصولاً یکارگیری این دستگاه به لحاظ محدودیت تعداد آن در آزمایشگاه و نیز تعداد بالای آزمایش نشت و تورم وقت زیادی را می‌طلبید. از طرفی به دلیل نفوذپذیری بایین صفحه‌های متخلخل قالب تحکیم، اشباع شدن کامل نمونه چند روز به طول می‌انجامید. همچنین به دلیل تورم بیش از ۳۰ درصدی بعضی نمونه‌ها و افزایش ارتفاع اولیه نمونه، می‌بایست جهت جلوگیری از بیرون ریختن ذرات نمونه در اندازه‌گیری تورم آزاد، ارتفاع اولیه کاهش می‌یافتد که این خود مستلزم ساخت نمونه با ارتفاع کمتر از ۱۵ میلیمتر بود که این موضوع می‌توانست بر پدیده تورم اثر بگذارد.

در همین راستا برای اندازه‌گیری تورم از قالب‌های استوانه‌ای پلاستیکی دو طرف باز استفاده شده که در قسمت زیر و بالای آن صفحات آلومینیومی سبک دایره‌ای شکل مشبك (برای نفوذ آب به داخل نمونه) به قالب پلاستیکی پیچ شده است. دو قطعه پارچه کتانی و در بالای نمونه از خروج ذرات خاک به بیرون جلوگیری می‌کند. ارتفاع و قطر قالب پلاستیکی به ترتیب ۴ و ۹ سانتیمتر است. نمایش شماتیک قالب ساخته شده در شکل (۵) و نیز تصویری از این قالب که حاوی نمونه بوده در شکل (۶) نشان داده شده است. نمونه قرار داده شده در این قالب (که ارتفاع آن دقیقاً با ارتفاع قالب برابر بوده) متورم شده و صفحه متخلخل فوقانی را به طرف بالا حرکت داده به گونه‌ای که ذرات خاک از قالب خارج می‌شوند. مراحل اشعاع نمودن نمونه در شکل اخیر نشان داده نشده است. ویژگی اصلی این دستگاه سادگی آن است که به آسانی و به تعداد زیاد قابل تولید بوده و امکان انجام آزمایشات متعدد را با نمونه‌های گوناگون فراهم می‌آورد.



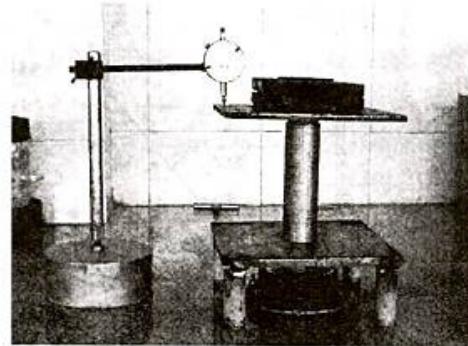
شکل ۵- نمایش شماتیک قالب تورم ساخته شده

در دستگاه تحکیم و اعمال سریار کمینه ۱ kPa (معادل وزن صفحات فوقانی دستگاه) به نمونه، تورم آن اندازه‌گیری می‌شود. ب: فشار تورم که معادل فشار سریاری است که باید به نمونه وارد نمود تا ارتفاع آن را تابت نگه دارد. فشار تورم نیز با استفاده از دستگاه تحکیم (ASTM D4546-Method C) قابل اندازه‌گیری است.

۵- پتانسیل تورم

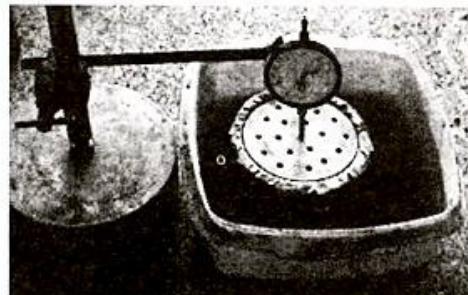
ابتدا چهت بررسی اثر تراکم بر پتانسیل تورم، نمونه S2 که دارای ۱۳.۷٪ گچ بود انتخاب گردید. این نمونه با درصد رطوبت‌های گوناگون و وزن مخصوص‌های متغیر از ۱.۱۶ تا ۱.۶۲ gr/cm³ در قالب ساخته شده فوق متراکم گردیدند. اگر جه وزن مخصوص طبیعی این نمونه ۱.۴۹ gr/cm³ بود (جدول ۲) اما با توجه به اینکه وزن مخصوص پایین حدود ۱.۱۶ gr/cm³ در منطقه دیده شده است لذا نمونه فوق با این وزن مخصوص متراکم گردید که اثر اشباع شدن روی نمونه‌های پوک بررسی گردد. سپس قالب حاوی نمونه کاملاً در آب فرو برد و شد تا نمونه به آهستگی اشباع شده و امکان تورم احتمالی نمونه متراکم شده را بر اثر اشباع شدن فراهم آورد. شکل (۹) تورم آزاد این نمونه را با وزن مخصوص‌های گوناگون و اعمال سریار کمینه ۱ kPa (معادل وزن صفحات فوقانی دستگاه) (ASTM D4546-Method A) نشان می‌دهد. همچنین در این شکل تغییرات تورم با زمان برای همین نمونه که با وزن مخصوص ۱.۶۲ gr/cm³ متراکم شده، آورده شده است. با توجه به این نمودار نکات زیر را می‌توان نتیجه گرفت:

- دلیل اصلی تورم خاک در این منطقه وجود گچ می‌باشد. تراکم خاک حتی در وزن مخصوص‌های پایین در صورت اشباع شدن منجر به تورم می‌گردد. اگرچه مشاهدات عینی مؤید این نظر بود اما برای بررسی دقیق‌تر موضوع، آزمایش تورم آزاد روی نمونه S1 که دارای کمترین مقدار گچ (حدود ۰.۵%) بود انجام شد که نتیجه در شکل (۱۰) نشان داده شده است. همانگونه که ملاحظه می‌گردد مقدار تورم این نمونه با بیشترین تراکم، کمتر از ۲% است که بیانگر اثر گچ به عنوان علت اصلی تورم می‌باشد. البته تحقیقات بعدی نیز مؤید این نظر است [۱۰].



شکل ۷- چگونگی تعیین فشار تورم در قالب ساخته شده

برای بررسی عملکرد قالب تعداد زیادی آزمایش روی نمونه‌های مشابه که در دستگاه تحکیم و قالب فوق قرار داده شد انجام گردید که نتایج بسیار مشابه بودند. تفاوت اصلی در طول زمان لازم برای شروع تورم بود که دلیل آن تخلخل پایین صفحات متخلف قالب دستگاه تحکیم بود.

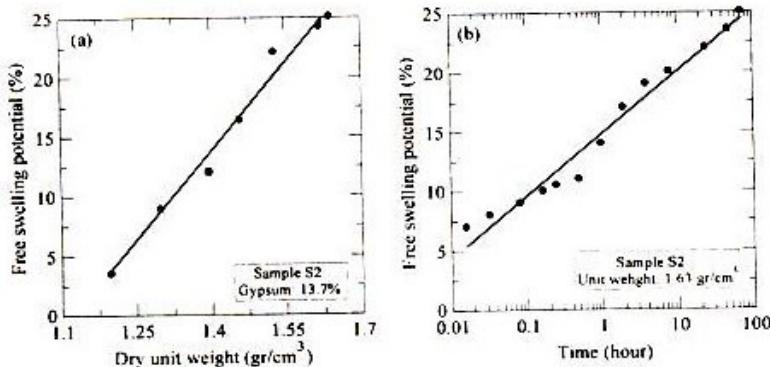


شکل ۸- نحوه مستغرق نگه داشتن نمونه در طول آزمایش

۵- تورم خاک‌های گچی

همانگونه که اشاره گردید تورم خاک منطقه از دیر باز مورد توجه بوده است. موضوع تورم از دو دیدگاه می‌تواند مورد بحث واقع شود [۱]:

الف: تورم آزاد که درصد افزایش ارتفاع نمونه را نسبت به ارتفاع اولیه آن نشان می‌دهد و آن را می‌توان با استفاده از دستگاه تحکیم (ASTM D4546-Method A) محاسبه کرد. در این روش برای محاسبه تورم آزاد قائم، پس از قرار دادن نمونه

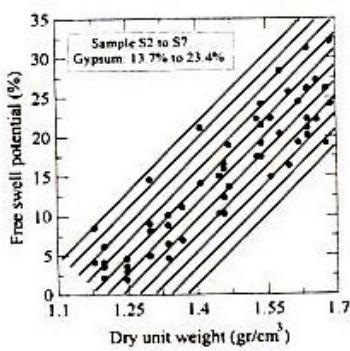


شکل ۹- تغییرات تورم آزاد نمونه S2 با وزن مخصوص

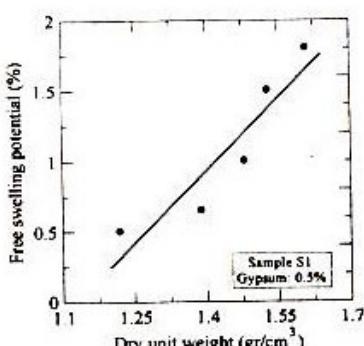
بیشترین مقدار تورم در اولین ساعات اشباع شدن انفاق می‌افتد. زمان مورد نیاز برای توقف تورم نمونه S2 حدود ۷۰ ساعت پس از اشباع شدن بود. سایر نمونه‌ها نیز رفتاری مشابه داشتند.

برای بررسی دقیق تر اثر تراکم بر پدیده تورم در خاک گچی منطقه، نمونه‌های متعدد از خاک‌هایی که میزان گچ آنها بیش از ۱۰٪ بود (نمونه‌های S2 تا S7) انتخاب کرده و با رطوبت بهینه اما با وزن مخصوص‌های مختلف از حدود ۱.۱۵ تا ۱.۶۵ gr/cm³ تراکم گردیدند و پس از قرار دادن در دستگاه و اشباع نمودن نمونه‌ها تورم آزاد آنها تعیین شد. شکل (۱۱) نتایج این آزمایشات را برای خاک‌هایی با درصد گچ و وزن مخصوص مختلف نشان می‌دهد.

با افزایش وزن مخصوص، میزان تورم بر اثر اشباع شدن افزایش می‌یابد. بنابراین عمل تراکم اگرچه ممکن است نشت نمونه را کاهش دهد اما در صورت اشباع شدن نمونه پدیده تورم غالب خواهد بود. البته باید یادآور شد اصولاً نه تنها اشباع شدن خاک‌های رسی تورم را افزایش حجم زیادی را به دنبال خواهد داشت بلکه افزایش تراکم در خاک‌های رسی معمولی نیز ممکن است منجر به اندکی تورم شود. اما در اینجا مقدار تورم و نه پدیده تورم مورد نظر می‌یابشد، به طوری که مقدار تورم مشاهده شده در خاک‌های گچی این منطقه قابل مقایسه با سایر خاک‌های ریزدانه سطح شهر حتی با تراکم بالاتر نیز نمی‌یابد. البته نتایج تحقیقات انجام شده روی خاک‌های گچی سایر مناطق و یا خاک‌های رس مخلوط شده با گچ نیز مؤید این نظر می‌یابند [۲ و ۳].



شکل ۱۱- تورم آزاد کلیه نمونه‌های حاوی گچ که با وزن مخصوص‌های گوناگون تراکم شده‌اند



شکل ۱۰- تغییرات تورم آزاد نمونه S1 با وزن مخصوص

است به سازه‌های سبک خسارات چشمگیری وارد نماید، شکل (۲) نمونه‌ای از خسارات وارد بر کفسازی‌ها نشان می‌دهد. با توجه به نتایج آزمایشات که در شکل (۱۲) نشان داده شده است می‌توان رابطه بین فشار تورم و درصد تورم را به صورت رابطه زیر ارائه نمود:

$$S = a \cdot \ln P + b \quad (1)$$

در این رابطه S درصد تورم، P فشار تورم (بر حسب kg/cm^2) و a و b ضرایب ثابت بوده که در آزمایشگاه قابل تعیین هستند. مقدار ضرایب a و b برای نمونه‌های مورد آزمایش در جدول (۴) آورده شده است:

با در نظر گرفتن مقدار متوسط ضرایب a و b رابطه ۱ را برای کلیه خاک‌های این منطقه که مقدار گچ آنها حدود ۱۰ تا ۲۵ درصد است به گونه زیر می‌توان نوشت:

$$S = -(7.75 \ln P + 10.6) \quad (2)$$

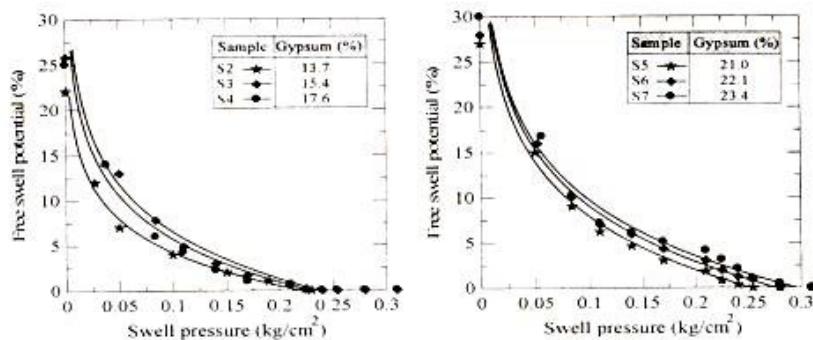
- در ارتباط با روابط ۱ و ۲ باید نکات زیر را یادآور شد:
- روابط فوق بر اساس آزمایش روی کلیه نمونه‌ها استنتاج گردیده و صرفاً به منظور ارائه این ایده بوده که می‌توان میزان فشار تورم خاک این منطقه را با تعیین مقدار گچ آن تخمین زد. اگرچه خطای تعیین فشار تورم کمتر از 0.05 kg/cm^2 است اما برای رسیدن به کمترین خطای باید آزمایشات زیادتری را انجام داد.
 - این روابط برای خاک این منطقه صادق است و نه هر نوع خاک گچی دیگر.

شکل به روشنی بیانگر اثر تراکم بر میزان تورم است، به عبارتی تراکم بیشتر منجر به تورم بالاتری می‌گردد. بنابراین اگرچه به طور کلی عمل تراکم موجب کاهش نشست می‌شود اما برای خاک‌هایی که تورم را هستند اشباع شدن معمولاً تورم را به دنبال خواهد داشت.

۵-۲- فشار تورم

به منظور تعیین فشار تورم، پس از متراکم نمودن نمونه‌ها با رطوبت بهینه وزن مخصوص بیشینه در قالب دستگاه اشباع نمودن با اعمال سربار ارتفاع نمونه‌ها ثابت نگه داشته شد. شکل (۷) دستگاه میزبور و لوازم جانبی آن و نیز چگونگی اعمال تنش به نمونه خاک و اندازه‌گیری فشار تورم را نشان می‌دهد. همانگونه که ملاحظه می‌شود برای توزیع یکواخت تنش، از یک لوله که از میان سوراخی که فقط آن معادل قطر لوله بوده استفاده شده است. مقدار تنش اعمال شده توسط وزنه‌هایی با وزن مشخص محاسبه می‌گردد.

شکل (۱۲) که فشار تورم را برای کلیه نمونه‌های حاوی مقادیر گوناگون گچ نشان می‌دهد به روشنی بیانگر این نکته است که میزان فشار تورم تقریباً مستقل از مقدار گچ نمونه‌ها است اگر چه یک روند افزایشی فشار تورم با میزان گچ ملاحظه می‌گردد. به عبارتی می‌توان گفت وجود گچ که عامل اصلی تورم می‌باشد به لحاظ ساختاری فشار تورم زیادی را ایجاد نمی‌کند و لذا مقدار گچ تأثیر چشمگیری در مقدار فشار تورم (و نه میزان تورم) ندارد. البته باید یادآور شد که میزان تعییرات گچ از حدود ۱۳ تا ۲۳ درصد در نمونه‌های مورد آزمایش بوده که دامنه تعییرات زیاد نیست. بدینهی است این مقدار فشار کافی



شکل ۱۲- فشار تورم برای کلیه نمونه‌های حاوی مقدار گچ بالا

بهسازی مقید تخواهد بود.

جهت بررسی اثر میزان گچ بر سیکل‌های تر و خشک شدن، این آزمایش برای تمامی نمونه‌ها با درصد گچ متفاوت انجام گرفت و درصد تورم در حالت اشباع و در حالت خشک، در آخرین سیکل (که پس از آن در مقدار تورم تغییر چشمگیری دیده نشد) ثبت گردید. شکل (۱۳-۶) تغییرات درصد تورم را با میزان گچ نمونه‌های که تحت آزمایش سیکل‌های تر و خشک شدن متولی قرار گرفته‌اند نشان می‌دهد. همانگونه که دیده می‌شود بر اثر سیکل‌های تر و خشک شدن در خاک‌های گچی با افزایش میزان گچ مقدار تورم افزایش می‌یابد، اما روند خاصی را نشان نمی‌دهد.

در عمل، اثر سیکل‌های تر و خشک شدن را می‌توان تغییرات فضول و یا بارندگی‌های فصلی در نظر گرفت، که منجر به اشباع شدن خاک و وارد نمودن خساراتی به ساختمندان می‌گردد [۸ و ۱۱]. اثر سیکل‌های تر و خشک شدن بر روی رس‌های (غیرگچی) متورم شونده تبیز مطالعه شده است [۸]. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد یک خاک رس سبلتی که با رطوبت حدود ۶ درصد رطوبت بهینه متراکم شده در اولین سیکل تر و خشک شدن، مقدار اندک تورم و انتقام از خود نشان می‌دهد اما پس از چند سیکل میزان تورم و یا انتقام افزایش می‌یابد. این تحقیق نیز بیانگر تأثیر میزان تراکم و رطوبت اولیه بر رفتار خاک‌های متورم شونده در طول سیکل‌های تر و خشک شدن است. از نقطه نظر عملی توصیه نتیجه گرفته است که خشک نگه داشتن این نوع خاک‌ها ممکن است منجر به کاهش تورم گردد.

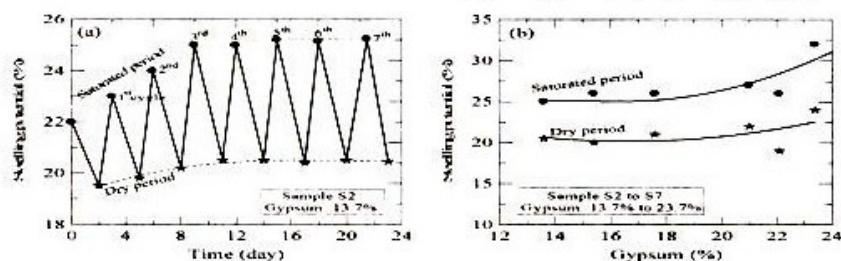
جدول ۴- ضرایب a و b برای نمونه‌های مورد آزمایش

b	a	درصد گچ	نمونه
-8.13	-5.37	13.7	S2
-10.94	-7.60	15.4	S3
-10.27	-6.95	17.6	S4
-11.94	-8.64	21.0	S5
-11.57	-8.97	22.1	S6
-11.00	-9.02	23.4	S7

۶- اثر سیکل‌های تر و خشک شدن بر تورم

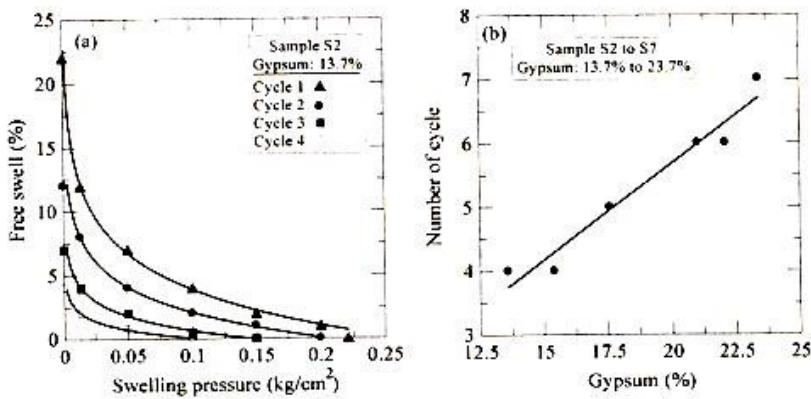
برای بررسی اثر تر و خشک شدن بر میزان تورم نمونه‌های حاوی گچ (S2 تا S7)، نمونه ابتداء اشباع گردید و مقدار تورم آزاد نهایی پس از رسیدن به مقدار ثابت (در یک بازه زمانی حدود ۲۰ ساعت) مقدار تورم اندازه‌گیری شد. لازم به ذکر است که نمونه در طول دوره آزمایش در زیر آب مستغرق و کاملاً اشباع بود (شکل ۸). سپس نمونه از داخل آب خارج شده و داخل گرمخانه با حرارت پایین قرار داده شد تا رطوبت آن بتدريج از بين برود و افت تورم به مقدار ثابت برسد. سیکل‌های تر و خشک شدن در این آزمایش برای کلیه نمونه‌های حاوی گچ (نمونه‌های S2 تا S7) تا رسیدن به یک حجم ثابت ادامه داده شد. تعداد سیکل‌های لازم برای توقف تورم بین ۵ تا ۸ سیکل بود. پس از این مرحله حداقل ۲ سیکل دیگر برای حصول اطمینان از ثابت بودن تورم انجام می‌شد.

شکل (۱۳-۶) اثر سیکل‌های تر و خشک شدن متولی را برای نمونه S2 (به عنوان نمونه) نشان می‌دهد. همانگونه که ملاحظه می‌گردد با افزایش سیکل تر و خشک شدن متولی، تورم افزایش یافته و پس از ۵ سیکل به مقدار ثابتی می‌رسد. به عبارتی تر و خشک شدن متولی، مقدار تورم را نه تنها کاهش نمی‌دهد بلکه افزایش تبیز می‌دهد و بنایارین به عنوان یک روش



شکل ۱۳-۶- اثر سیکل‌های تر و خشک شدن متولی بر پتانسیل تورم (a) تغییرات تورم بر حسب زمان برای نمونه S2 با ۱۳/۷ درصد گچ

(b) مقدار تورم بیشینه پس از آخرین سیکل تر و خشک شدن برای نمونه‌های با درصد گچ متفاوت



شکل (۱۴) اثر سیکل‌های بارگذاری و باربرداری متوالی بر پتانسیل تورم (a): تغییرات تورم بر حسب زمان برای نمونه S2 با ۱۳/۷ درصد گچ. (b): مقدار تورم بیشینه پس از آخرین سیکل بارگذاری و باربرداری برای نمونه‌های با درصد گچ مختلف

نمونه‌ها نشان می‌دهد. شکل (۱۴-۵) تغییرات فشار تورم را بر حسب درصد تورم در چهار سیکل اولیه بارگذاری و باربرداری نشان می‌دهد. همانگونه که ملاحظه می‌گردد تنها پس از سه سیکل تورم ایجاد شده بیش از هفتاد درصد کاهش می‌ابد. البته بدبختی است با افزایش تعداد سیکل بارگذاری و باربرداری تورم ایجاد شده کاهش می‌یابد اما حذف نمی‌شود. علت این امر می‌تواند متراکم شدن خاک بر اثر بارگذاری و باربرداری باشد. آزمایش فوق برای سایر نمونه‌ها با درصد گچ گوناگون انجام شد که نتایج در شکل (۱۴-۶) آورده شده است. در این شکل حداکثر تعداد سیکل بارگذاری و باربرداری برای رسیدن به تورم ثابت نشان داده شده است. همانگونه که ملاحظه می‌گردد با افزایش مقدار گچ تعداد سیکل بارگذاری و باربرداری تا رسیدن به تورم ثابت افزایش می‌یابد.

۸- نتیجه‌گیری

خاک‌هایی که به طور طبیعی دارای گچ هستند رفتار مکانیکی ویژه‌ای دارند که به عوامل متعددی نظیر مقدار گچ، وزن مخصوص طبیعی، میزان رطوبت و نوع خاک بستگی دارد. سیاری از مناطق شهری دارای این نوع خاک هستند که نه تنها خساراتی به سازه‌ها وارد می‌کنند، بلکه اثرات زیست محیطی مخربی را نیز خواهند داشت [۹]. آزمایشات انجام شده بر روی این خاک‌ها به نتایج زیر منتهی گردید:

- خاک‌های گچی عموماً نرم و دارای بافت ریز دانه رسمی یا

۷- اثر سیکل‌های بارگذاری و باربرداری بر تورم یکی از روش‌های بهسازی خاک‌های نشت‌بسیار پیش‌بارگذاری می‌باشد [۸]. این روش برای خاک‌های متورم شونده نیز می‌تواند به کار گرفته شود. به عبارتی با اعمال سربار، خاکی را که متورم شده بارگذاری نموده تا تورم زایل گردد. سپس با اعمال شده را حذف کرد تا خاک بارگذاری شده متورم گردد و پس از آن مجدداً بارگذاری نموده. به منظور بررسی اثر بارگذاری و باربرداری بر تغییرات تورم، پس از اشباع کردن نمونه و اندازه‌گیری تورم آزاد نهایی، با اعمال تدریجی سربار تورم کاهش داده شد. افزایش سربار تا زمانی ادامه می‌یافتد تا تورم کاملاً از بین رفته و ارتفاع نمونه به حالت اولیه برسد. سپس سربارهای قرار داده شده حذف می‌گردید تا نمونه فرست تورم مجدد را پیدا کند. پس از مدتی که تورم نمونه به بیشینه مقدار خود رسیده و ثابت می‌ماند، اعمال تدریجی سربار مجدد آغاز شده و تا حذف کامل تورم نمونه اعمال سربار ادامه می‌یافتد. اعمال سیکل‌های بارگذاری و باربرداری تا رسیدن تورم به مقدار ثابت در دو سیکل متوالی ادامه می‌یافتد.

چگونگی اعمال سربار که توسط یک صفحه مدور که با یک لوله به صفحه فوقانی متصل بود انجام می‌گردید، در شکل (۷) نشان داده شده است. شکل (۱۴) نتایج این سری از آزمایشات را شامل تنش لازم برای حذف تورم ایجاد شده در نمونه S2 و نیز تعداد سیکل لازم تا رسیدن به یک حجم ثابت برای سایر

- [۱] غیاثیان، ح. و جهانشاهی، م. "مشکل تورم در خاک‌های گچی ثبت شده با آهک و روش اصلاح آن". مجموعه مقالات نخستین کنفرانس بهاسازی زمین، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ۱۳۷۲.
- [۲] Azma, S., Abduljauwad, S. N. and Al-Amoudi, O. S. B., "Volume Change Behavior of Arid Calcareous Soils", Journal of Natural Hazards Review, Vol. 4, No. 2, 2003.
- [۳] قانع، م. ر. و مازندرانی، ذ. "ارزیابی مقاومت خاک‌های بهاسازی شده با آهک". سومین کنفرانس بین‌المللی عمران، شیراز، جلد ۵، ص. ۱۵۶-۰۷، ۱۳۶۳.
- [۴] Azma, S. and Abduljauwad, S. N. "Influence of Gypsumification on Engineering Behavior of Expansive Clay", Journal of Geotechnical and Geoenviromental Engineering, Vol. 126, No. 6, 2000.
- [۵] ساجدی، ک.، "بررسی رفتار خاک‌های گچی منطقه جنوب غربی مشهد"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده مهندسی، ۱۳۸۲.
- [۶] Abdullah, W. "Physico-Chemical Picture and Interpretation of Swell Potential of Expansive Soils and Methods of Stabilization" An Int. Con. on Problematic Soils, Jordan University of Science and Technology, Jordan, 2003.
- [۷] Al-Rawas, A. A. et al. "A Comparative Evaluation of Various Additives Used in the Stabilization of Expansive Soils", Geotechnical Testing Journal, GTJODJ, Vol. 25, No. 2, June 2002, pp. 199-209.
- [۸] Rao, S. M. and Reddy, B. V., "The Impact of Cyclic Wet and Drying on the Swelling Behavior of Stabilized Expansive soils", Engineering Geology, No 60, 2001.
- [۹] Day, R. W., "Swell-Shrink Behavior of compacted Clay", Journal of Geotechnical, Vol. 120, No. 3, 1994.
- [۱۰] Al-Homoud, A. S., and Basma, A. A. "Cyclic Swelling Behaviour of clays," Journal of Geotechnical Engineering, 1995.
- [۱۱] رجایی، ح. "ثبت خاک‌های گچی تورمزا"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شریف، دانشکده عمران، ۱۳۸۵.
- [۱۲] Yucel G. and Hakan K., "Environmental Effects on Expansive Soils", First Int. Conference on Environmental Research and Assessment", Bucharest, Romania, 2003.

سبلی هستند. وجود گچ باعث متخلخل شدن و کاهش وزن مخصوص طبیعی می‌گردد که موجب ثبت بسیاری از ساختمانها می‌گردد.

- با افزایش مقدار گچ متخلخل خاک بیشتر شده که برای کاهش ثبت و افزایش ظرفیت باربری، در ایندا به نظر می‌رسد متراکم نمودن خاک راه حل مناسبی است. اما نتایج این تحقیق بیانگر این نکته است که نمونه‌های متراکم شده در صورت اشباع شدن متورم می‌شوند. فشار تورم حاصل که برای نمونه‌های با گچ بالا حدود ۰/۳ کیلوگرم بر سانتی متر مربع می‌باشد، علت اصلی وارد آمدن خسارت به سازه‌های سبک می‌باشد. اما بدینهی است در هر حال برای جلوگیری از ثبت باید خاک متراکم گردد. بنابراین با توجه به نتایج آزمایشات، اگر سریار سازه‌ای که قرار است روی خاک‌های این منطقه ساخته شود بیش از فشار تورم است احداث آن مشکل خاصی پیدید نمی‌آورد. ولی اگر سازه مورد نظر سبک باشد تورم خاک موجود وارد آمدن خسارت شده که راه حل مناسب جایگزین نمودن با خاک مرغوب و یا بهاسازی آن با یک افزودنی (نتپیر سیمان) که تورم را مهار نماید می‌باشد.

- تغییرات فشار تورم با پتانسیل تورم برای نمونه‌های دارای گچ مختلف مشابه بوده و از یک روند مشخصی تبعیت می‌کند. میزان فشار تورم برای نمونه‌های مورد آزمایش با افزایش مقدار گچ اندکی افزایش می‌باشد اما مقدار افزایش چشمگیر نیست و می‌توان نتیجه گرفت مقدار گچ تأثیر زیادی بر مقدار فشار تورم (و نه میزان تورم) ندارد.

- انر سیکل‌های تر و خشک شدن که به نوعی تغییرات آب و هوایی را در فصول مختلف مدل می‌کند نه تنها میزان تورم را کاهش نمی‌دهد بلکه حدود ۱۰ الی ۱۵ درصد آن را افزایش می‌هد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت سیکل‌های تر و خشک شدن خاک‌های گچی ساختار تورمزا خاک را تغییر نداده و تأثیری بر ساختار آن ندارد. در عمل از این روش به عنوان یک روش بهاسازی نمی‌توان بهره جست.

- اعمال سیکل بارگذاری و باربرداری منجر به کاهش تورم به مقدار قابل توجهی می‌شود. تعداد سیکل لازم برای رسیدن به مقدار حجم ثابت حدود ۳ تا ۵ سیکل می‌باشد، به گونه‌ای که حداقل پس از ۸ سیکل مقدار تورم به کمتر از ۲ درصد می‌رسد که در این حال تأثیر بر سازه‌هایی که پس از حذف سریار ساخته می‌شوند نخواهد داشت و بنابراین به عنوان یک روش بهاسازی مکانیکی می‌تواند در نظر باشد.

مراجع

- [۱] عسکری، ف. و فاخر، علی. "تورم و واگرایی خاک‌ها از دید مهندسی زتونکنیک". انتشارات جهاد دانشگاهی دانشگاه

بررسی پس‌دگری جریان در اثر وجود باره بل در جریان‌های زیر سطحی با استفاده از



شکل ۱۵- موقعیت نمونه‌های اخذ شده از منطقه جنوب غربی مشهد

M.A. Aalam
H. Soroush
Faculty of Civil Engineering, University of Tabriz

Abstract

Detailed of a numerical model development for investigating the removal of backwater due to a cylindrical pier in saturated flows are presented in this paper. The governing equations were discretized using the finite difference method and the MacCormack's technique was used to solve the difference equations. In order to simulate the compaction of dam, a two-dimensional grid was used and the symmetrical boundary conditions were employed for the soil compaction. The numerical model results were finally compared with the corresponding results of empirical formula and a very good agreement has been achieved. Also it is generally found that by increasing the Froude number of downstream flow, the backwater increased at the upstream of pier.

Key words: Bridge pier, Finite difference method, MacCormack's technique, Symmetrical mirror, Backwater.