



انجمن ژئوتکنیک ایران

چهارمین همایش بین المللی مهندسی ژئوتکنیک و مکانیک خاک ایران  
۱۲-۱۱ آبان ۱۳۸۹ - تهرانشهر

**ICGESM 2010**

4<sup>th</sup> International Conference on Geotechnical Engineering and Soil Mechanics  
November 2-3, 2010, Tehran, Iran

به نام خدا

کواهی شود

مقاله شماره ۴۱۳ تحت عنوان:

"بررسی خصوصیات ژئوتکنیکی خاکهای کچی شمال شرق مشهد و راهکارهای بهسازی آن"

نویسندگان: "حمید قالیباف، جعفر بلوری نواز، احمد باقر پور مقدم"

"چهارمین همایش بین المللی مهندسی ژئوتکنیک و مکانیک خاک ایران"

که از تاریخ ۱۱ الی ۱۲ آبان ماه ۱۳۸۹ در تهران برگزار گردید

به صورت "شغایه" ارائه شده است.

دکتر علی نورزاد

دبیر همایش

**ICGESM2010.IR**

## بررسی خصوصیات ژئوتکنیکی خاکهای گچی شمال شرق مشهد و راهکارهای بهسازی آن (مطالعه موردی منطقه قرقی مشهد جهت احداث مجتمع های مسکونی مهر)

حمید قالیباف<sup>۱\*</sup>، جعفر بلوری بزاز<sup>۲</sup>، احمد باقر پور مقدم<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد زمین شناسی مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- عضو هیئت علمی دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه فردوسی مشهد

۳- کارشناس ارشد زمین شناسی مهندسی، شرکت مهندسی مشاور پی کاوان شرق

\* h.ghalibaf@yahoo.com

### چکیده

منطقه قرقی در ۵ کیلومتری شمال شرق شهر مشهد قرار دارد. این منطقه جهت احداث مجتمع های مسکونی مهر به وسعت ۱۸۰ هکتار در نظر گرفته شده است. قبل از اجرای این پروژه بزرگ، به دلیل شرایط ویژه ژئوتکنیکی منطقه، بررسی و شناسایی خاک جهت جلوگیری از بروز خسارات احتمالی، ضروری بنظر می رسید. در این منطقه بمنظور شناسایی لایه های خاک اقدام به حفر دو گمانه دستی به عمق های ۵ متر و ۶ حلقه گمانه ماشینی به عمق های ۱۰ تا ۱۵ متر از سطح طبیعی زمین گردید. پس از انجام مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی بر روی نمونه های خاک، مشکلات آن از قبیل پایین بودن مقادیر مقاومتی خاک، نشست زیاد و بالا بودن سولفات و گچ، ارزیابی شده و با توجه به نتایج بدست آمده از حفاریهای ژئوتکنیک در محل پروژه، منطقه مورد مطالعه، به دو بخش الف و ب تقسیم بندی گردید. در این تحقیق جهت بهسازی خاک، با توجه به بالا بودن مقدار گچ و پایین بودن وزن مخصوص نسبی خاک روش های گوناگون بهسازی مورد مطالعه قرار گرفت. در میان روش های گوناگون بهسازی و بر اساس آزمایشات متعدد، نتیجه گیری شد که از مقدار درصد بهینه ای از آهک همراه ماسه برای تثبیت استفاده شود. با توجه به وجود خاک ریزدانه قابل تورم و حاوی گچ در بخش زیادی از پروژه (محدوده الف)، علاوه بر تثبیت خاک بوسیله آهک و ماسه، استفاده از مصالح درشت دانه و مناسب که در محدوده پروژه وجود دارد انجام شود. به این منظور لایه ای به ضخامت حدود ۴۰ سانتی متر (در دو لایه ۲۰ سانتیمتری) در زیر پی ساختمانها ریخته شد و سپس با رطوبت بهینه و توسط غلتک متراکم گردید. در نهایت با توجه به مشخصات سازه و بارهای وارده به پی و پایین بودن ظرفیت باربری خاک و احتمال وقوع نشست غیر یکنواخت (به دلیل مشخصات خاک زیر پی)، استفاده از پی های نواری برای این پروژه در نظر گرفته شد.

**کلمات کلیدی:** ژئوتکنیک، بهسازی، نشست، ظرفیت باربری، منطقه قرقی مشهد

## ۱. مقدمه

امروزه مسئله خاک‌های متورم شونده یکی از مسائل مهم و مورد توجه در کل جهان است. به طور کلی هنگامی که آب به این نوع خاک می‌رسد حجمش افزوده می‌گردد و هنگامی که خشک شود از حجمش کاسته می‌شود. یکی از عوامل تورم این گونه خاک‌ها وجود سولفات کلسیم یا گچ است. سولفات کلسیم خشک (انهیدریت) با جذب آب به ژپس تبدیل شده و افزایش حجمی برابر ۳۰ تا ۶۰٪ خواهد داشت. بطور کلی تثبیت یا اصلاح آهکی خاکهای رسی باعث تغییرات مهمی در خواص فنی مهندسی و یا فیزیکی در خاک میشود. در نتیجه بافت ذرات رس تغییر یافته و ساختمان خاک از حالت پراکنده (Dispersed) به حالت لخته شده (Flocculated) تغییر می‌یابد از آن جمله میتوان به مواردی همچون بهبود خواص خمیری و پتانسیل تورم، افزایش کارایی (Workability)، افزایش مقاومت و مدول، افزایش دوام، تغییر در منحنی دانه بندی و خصوصیات تراکم پذیری این خاکها اشاره نمود.

امادر شرایطی که خاک حاوی سولفاتهای قابل حل باشد مثل خاکهای گچدار (در شرایط اشباع) و یا اینکه سولفاتها از طریق منابع دیگر مثل آب موجود در محیط وارد خاک شود، استفاده از آهک نه تنها موثر واقع نخواهد شد بلکه به علت واکنشهای شیمیایی که بین رس، آهک و یون سولفات انجام می‌گیرد کانی‌های ثانویه ای از قبیل اترینگایت و تاماسایت ایجاد گشته که این کانی‌ها با توجه به قابلیت جذب آب بالا، و تورم شدید مشکل‌زا بوده و باعث کاهش مقاومت می‌گردند [۱]. خاکهای گچی به علت وجود ذرات گچ فراوان معمولاً پوک بوده و وزن مخصوص طبیعی  $1/3 \text{ gr/cm}^3$  نیز گزارش شده است [۲]. بنابراین خاکهای گچی که گچ 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 یا هنگام متراکم نمودن به آنها آهک افزوده شود، تورم را به همراه دارند [۳]. تاکنون راه‌های مختلفی جهت رفع مشکل بالا پیشنهاد شده است. که بدلیل عدم پیشینه تاریخی اجرایی آنها نیاز به تحقیقات وسیعی دارند. اغلب این راه‌ها گران هستند و اگر قبل از استفاده در محل دقیقاً ارزیابی نشوند زیان آنها می‌تواند بیشتر باشد [۴،۵،۶]. محل پروژه به لحاظ جغرافیایی در استان خراسان رضوی در ۵ کیلومتری شمال شرق مشهد، و در اراضی روستای قرقی قرار دارد. این منطقه از لحاظ زمین‌شناسی بر روی رسوبات حاصل از فرسایش سازند های کپه داغ که اکثراً از آهک و ماسه سنگ تشکیل شده است، قرار دارد. همچنین تنها منطقه ای که وجود گچ در لابه لای رسوبات قاعده کرتاسه گزارش شده است، منطقه شرقی ایران (کپه داغ) می‌باشد. آنچه در این مقاله مورد ارزیابی قرار می‌گیرد، تاثیر افزودن ماسه بر خواص ژئوتکنیکی خاکهای سولفات‌ه اصلاح شده، بوسیله آهک می‌باشد. که از طریق آزمایشهای مکانیک خاکی شامل: حدود آتربرگ، برش مستقیم، تراکم استاندارد مورد مطالعه قرار گرفته است.

## ۲. حفاری و عملیات صحرائی

بمنظور شناسایی لایه های خاک اقدام به حفر دو حلقه گمانه دستی (TP2-TP7) به عمقهای ۵ متری و شش حلقه گمانه ماشینی به عمقهای ۱۰ تا ۱۵ متر از سطح طبیعی زمین مطابق با محل‌های مشخص شده در شکل ۱ می‌باشد. آزمایش SPT در گمانه های ماشینی طبق استاندارد آمریکایی و با چکش سنگین انجام گردید و در گمانه های دستی طبق استاندارد آلمان DIN 4094 و با چکش سبک مدل SO 820 ساخت شرکت آزمون انجام شد. همچنین تعیین دانسیته تا عمق ۲ متری با استفاده از SAND BATTLE و به طریق جایگزینی ماسه و تهیه نمونه های کرکاتر و کلوخه در عمقهای مختلف انجام گردیده است. هدف اصلی

از نمونه برداری دستخوردده انجام آزمایشهای لازم برای طبقه بندی خاک و تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن در گمانه های مختلف بوده است. در طول حفاری به آب زیر زمینی برخورد نگردید.



شکل ۱- موقعیت گمانه های اکتشافی در محدوده پروژه

### ۳. بررسی خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و مکانیکی خاک در آزمایشگاه

بر روی نمونه های اخذ شده جهت تعیین خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و مکانیکی خاک، آزمایشات بشرح ذیل انجام گردید:

۱- آزمایش تعیین درصد رطوبت طبیعی خاک (ASTM D2216)

۲- آزمایش دانه بندی مکانیکی و هیدرومتری و طبقه بندی خاک (ASTM D2216)

۳- آزمایش تعیین حدود آتربرگ خاک (ASTM D432)

۴- آزمایش برش مستقیم خاک در شرایط تند (ASTM D 3080)

۵- آزمایش تعیین چگالی بخش ریزدانه خاک (ASTM D 854)

۶- آزمایش تحکیم و تورم خاک (ASTM D2435)

۷- آزمایش سه محوری خاک (ASTM D 2850)

۸- آزمایش CBR (ASTM D1883)

بر این اساس خلاصه نتایج فنی خاک، همچنین نتایج آزمایشات شیمی خاک در جدول ۱ و ۲ ارائه شده است.

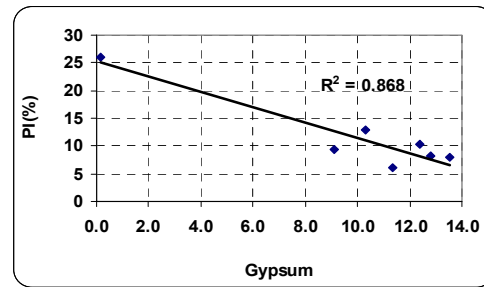
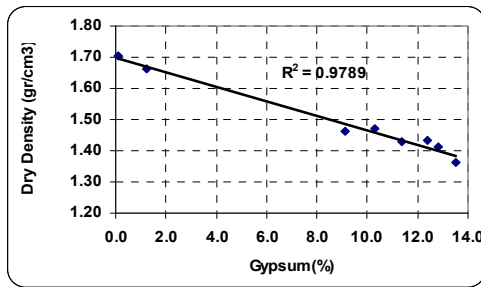
جدول ۱- خصوصیات فنی نمونه خاکهای بدست آمده از گمانه های اکتشافی

شماره گمانه	طبقه بندی یونیفاید	حد روانی (%)	شاخص خمیری (%)	وزن مخصوص طبیعی gr/cm <sup>3</sup>	وزن مخصوص خشک gr/cm <sup>3</sup>	درصد رطوبت (%)	عمق گمانه	نشانه تورم آزاد (%)	عدد SPT
BH1	ML	۳۳ الی ۳۵	۸/۳	۱/۵۴	۱/۴۱	۹	۱۱	۴/۶ الی ۴/۸	>۵۰
TP2	CL	۳۰	۹/۳	۱/۶	۱/۴۶	۹/۵	۵	۴/۶	>۵۰
BH3	ML- CL	۳۱ الی ۳۴	۱۰/۲	۱/۵۶	۱/۴۲	۸/۷	۱۵	۴/۹	>۵۰
BH4	ML	۲۹	۶	۱/۵۷	۱/۴۳	۱۰	۱۰		>۵۰
BH5	CL	۳۱ الی ۳۳	۱۳	۱/۵۹	۱/۴۷	۸	۱۰	۴/۸	>۵۰
BH6	ML	۳۳	۸	۱/۵۲	۱/۳۶	۱۱/۵	۱۰		>۵۰
TP7	GP- GM	N.PI		۱/۷۳	۱/۶۶	۴	۵		>۵۰
BH8	CH	۵۲	۲۶	۱/۷۹	۱/۷	۵	۱۵	۴/۸	>۵۰

جدول ۲- آنالیز شیمیایی نمونه های انتخابی

شماره گمانه	عمق (m)	سولفات کل %SO <sub>3</sub>	گچ %	کلر %	PH
BH1	۳-۰	۱۵/۸۹۲	۱۲/۸۱۲	۰/۰۰۴	۷/۵۶
TP2	۲/۵-۰	۱۰/۱۱۴	۹/۰۹۵	۰/۰۰۴	۷/۵۲
BH3	۲/۵-۰	۱۴/۵۴۴	۱۲/۴۰۳	۰/۰۰۴	۷/۷
BH4	۳-۰	۱۳/۶۵۸	۱۱/۳۶۴	۰/۰۰۴	۷/۸۳
BH5	۲-۰	۱۳/۴۳	۱۰/۳۲۱	۰/۰۰۴	۷/۸۷
BH6	۲/۳-۰	۱۵/۷۷۸	۱۳/۵۲	۰/۰۰۴	۷/۸۴
TP7	۵-۰	۳/۱۲	۱/۲۵	۰/۰۰۴	۷/۵۸
BH8	۲-۰	۱/۹۴۴	۰/۱۳۲	۰/۰۰۴	۷/۶۹

همانگونه که از جدول ۱ و ۲ ملاحظه میگردد، به منظور بررسی خواص گچی اقدام به حفر گمانه های اکتشافی در منطقه اقدام شد. عمق نمونه گیری، پس از برداشت خاک سطحی، از عمق یک متر تا حدود ۲/۵ متر بوده است. علیرغم این حقیقت که خاکهای گچی تراکم پذیرند. اما به هنگام تماس با آب متورم شده و گاهی درصد تورم به ۱۵ درصد طول نمونه نیز می رسد [۷]. همانطور که مشاهده می شود، در این تحقیق با توجه به اینکه گچ موجود در نمونه های مورد آزمایش طبیعی است اندازه گیری چگالی گچ به عنوان یک ماده ممکن نبود. با توجه به اینکه اکثر سولفاتهای موجود از نوع گچی می باشد نه اندریتی، چگالی ویژه کاهش می یابد. اگرچه تغییرات چگالی ویژه با افزایش میزان گچ تا حدود ۲۰ درصد بسیار اندک و حداکثر تا ۰/۰۱۵ می باشد [۸]. با توجه به شکل ۱ نشانه خمیری و وزن مخصوص خشک خاک مورد آزمایش نیز با افزایش مقدار گچ کاهش می یابد که بیانگر تاثیر پذیری خاصیت خمیری خاک از میزان گچ است. بنظر می رسد علت این موضوع، درصدی از ذرات گچ معمولا با چگالی ۲/۲۰ بجای ذرات خاک با چگالی ۲/۷۲ قرار گرفته اند بنابراین وزن مخصوص خشک مخلوط کاهش می یابد [۴]. همچنین چون گچ جهت هیدراسیون به آب نیاز دارد، وجود آب بیشتر در اثر بارشهای سالانه و جایگزینی آن با ذرات خاک باعث کاهش وزن مخصوص خشک خواهد شد. با توجه به اینکه در طول حفاری به آب زیر زمینی برخورد نکردید، از بالا بودن عدد SPT می توان نتیجه گرفت، واکنشهای هیدراسیون گچ و آب به مرور زمان باعث سفت شدن مخلوط خاک، و در نتیجه باعث خشک و متراکم شدن خاک منطقه شده است. به بیان دیگر وجود مقاومتهای بالای این نوع خاک در حالت خشک، در صورت عدم بهسازی، طرح را به اشتباه انداخته و در نهایت منجر به شکست و خرابی سازه می گردد [۹]. نتایج آزمایش های محققین نشان داده است که این قبیل خاکها، قبل از آبتشویی معمولاً نسبت به خاکهای مشابه، مقاومت های بالاتری را نشان می دهد. اما بعد از آبتشویی خاک، کاهش پارامترهای مقاومتی خاک از جمله  $\phi$  (زاویه اصطکاک داخلی) و  $c$  (چسبندگی) گزارش شده است [۱۰].



شکل ۱- تغییرات وزن مخصوص و نشانه خمیری با درصد گچ در نمونه های انتخابی

بنابراین با تجزیه و تحلیل مطالب فوق نتایج بدست آمده از حفاریهای ژئوتکنیک در محل پروژه، میتوان منطقه مورد مطالعه را به دو بخش محدوده الف ( شامل تمامی گمانه ها بجز گمانه های TP7, BH6 ) و محدوده ب ( شامل گمانه TP7 وابتداز گمانه BH6 ) تفکیک کرد . که این نتایج بطور خلاصه در جدول ۳ نشان داده شده است.

جدول ۳- پارامترهای مهندسی خاک محدود های تفکیک شده

محدوده ب	محدوده الف	پارامترهای مهندسی خاک
$\phi = 35^\circ$	$\phi = 21^\circ$	زاویه اصطکاک داخلی
$\phi = 1^\circ$	$\phi = 1^\circ$	زاویه اصطکاک داخلی در شرایط اشباع
$C = 0.01 \text{ Kg/cm}^2$	$C = 0.05 \text{ Kg/cm}^2$	ضریب چسبندگی
$\gamma = 1.75 \text{ gr/cm}^3$	$\gamma = 1.59 \text{ gr/cm}^3$	وزن مخصوص طبیعی خاک
$ES = 350 \text{ Kg/cm}^2$	$ES = 150 \text{ Kg/cm}^2$	مدول الاستیسیته خاک
$\nu = 0.3$	$\nu = 0.3$	ضریب پواسون

#### ۴. مطالعات آزمایشگاهی جهت بهسازی خاک منطقه

در این تحقیق جهت بهسازی خاک، با توجه به بالا بودن مقدار گچ و پایین بودن وزن مخصوص نسبی آن روش های گوناگون بهسازی مورد مطالعه واقع شد. در میان روش های گوناگون بهسازی و بر اساس آزمایشات متعدد، نتیجه گیری شد که از مقدار درصد بهینه ای از آهک همراه ماسه برای تثبیت استفاده شود.

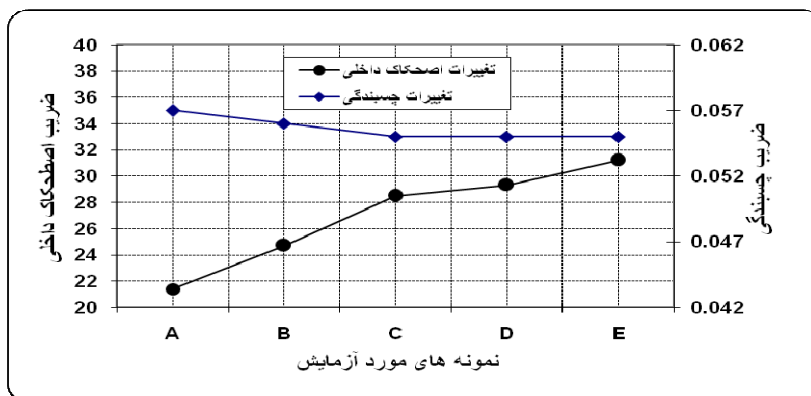
##### ۱.۴. بهسازی خاک بوسیله آهک

درمورد استفاده از مواد افزودنی جهت غلبه بر تورم خاکهای گچی مطالعات بسیاری صورت گرفته است. مقادیر بهینه به دست آمده برای تثبیت کننده های مختلف متفاوت بوده و بسته به نوع خاک و نوع ماده تثبیت کننده تغییر می یابد. میزان بهینه آهک برای داشتن بیشترین تاثیر بر کاهش تورم بین ۳ تا ۵٪ وزنی گزارش شده است [۱۱]. افزودن آهک عمل آمده اشباع به مقدار ۱۲٪ تا حدود ۳۵٪ از میزان نشست خاک کم می کند. همچنین با افزایش درصد آهک مقدار  $\phi$  افزایش یافته بگونه ای که بیشترین مقدار زاویه اصطکاک داخلی با افزودن ۱۲٪ آهک بدست آمده است. نکته حائز اهمیت این است که با اختلاط خاک های گچی با آهک عملاً "چسبندگی از بین رفته و خاک اصطکاکی عمل می کند [۵]. علاوه بر این، واکنشهای شیمیایی بین رس، آهک، و یون سولفات، و تشکیل کانیه های ثانویه ای از قبیل اترینگایت و تاماسایت، که این کانی ها با قابلیت جذب آب بالا، در محیط اشباع به شدت متورم می شوند و موجب وارد آمدن خساراتی به ساختمان، در اثر نشست آب به زیرپی، و در نهایت باعث تورم خاک و خرابی سازه میگردد. در این تحقیق با توجه به یکسان بودن درصد گچ در گمانه های اکتشافی، نمونه

بدست آمده در گمانه BH6 مورد مطالعه قرار گرفت. ابتداء در صد های متفاوت آهک به روش معمولی به نمونه اضافه شد. آهک مورد استفاده شده در این تحقیق آهک شکفته صنعتی البرز با چگالی  $G_s = 2.3$  و رطوبت طبیعی ۰/۲ درصد بوده که می توان آنرا خشک فرض نمود. در ساخت نمونه های حاوی آهک، تأخیر زمانی بین اختلاط آهک و خاک تا زمان تراکم یک ساعت در نظر گرفته شده است. و نمونه ساخته شده در یک کیسه نایلونی قرار گرفته و سپس بر روی آنها آزمایش تراکم، حدود آتربرگ و برای تعیین پارامترهای مقاومتی خاک و محاسبه تنش مجاز آن، از آزمایش برش مستقیم روی نمونه ها انجام گرفت تا ظرفیت باربری و نیز مقدار نشست خاک های منطقه مشخص گردد. علت انتخاب آزمایش برش مستقیم سرعت بالای آن در مقایسه با دستگاه سه محوری بوده است. آزمایشات فوق با توجه به استاندارد های ذکر شده صورت گرفت، که نتایج آن در جدول ۴ ارائه شده است.

جدول ۴- آنالیز آزمایشات نمونه بهسازی شده با آهک

آزمایش برش مستقیم		آزمایش تراکم		نشانه خمیری	نمونه های مورد آزمایش	
$\phi$	C	حداکثر وزن مخصوص خشک $gr/cm^3$	درصد رطوبت بهینه (%)		A	BH6 نمونه
۲۱/۴	۰/۰۵۷	۱/۵۹	۸	۸	A	BH6 نمونه
۲۴/۷	۰/۰۵۶	۱/۵۷	۱۰ الی ۱۲	۷	B	خاک ۴ درصد آهک
۲۸/۵	۰/۰۵۵	۱/۵۶	۱۰ الی ۱۳	۶/۵	C	خاک ۸ درصد آهک
۲۹/۳	۰/۰۵۵	۱/۵۴	۱۰ الی ۱۴	۵	D	خاک ۱۲ درصد آهک
۳۱/۲	۰/۰۵۵	۱/۵	۱۰ الی ۱۶	۳/۵	E	خاک با ۱۶ درصد آهک



شکل ۲- تغییرات ضریب چسبندگی و اصطکاک داخلی در نمونه های مورد آزمایش

همانطور که ملاحظه می شود، با افزایش مقدار آهک وزن مخصوص خشک و نشانه خمیری کاهش نشان می دهد. در اثر واکنشهای آبی آهک و رس، بافت مخلوط خاک از نظر فیزیکی ودانه بندی تغییر یافته و ذرات رس تمایل به اتصال به یکدیگر و تشکیل ذرات بزرگتر را پیدا می کنند [۱۲]. البته چون نقش گچ در تغییر پارامترهای تراکمی مخلوط خاک، مشابه آهک است. لذا با افزایش توأم گچ و آهک، انتظار افزایش بیشتر رطوبت بهینه و کاهش بیشتر وزن مخصوص خواهد شد [۱۲]. همچنین با توجه به شکل ۲ با افزایش درصد آهک مقدار  $\phi$  افزایش یافته بگونه ای که بیشترین مقدار زاویه اصطکاک داخلی با افزودن ۱۶٪ آهک بدست آمده است. نکته حائز اهمیت این است که با اختلاط خاک های گچی با آهک عملاً "چسبندگی

کاهش یافته و خاک اصطکاکی عمل می کند [۵]. همچنین با افزایش مقدار آهک محدوده درصد رطوبت بهینه افزایش نشان می دهد. در نتیجه کنترل تراکم در زمان اجرای بهسازی راحتتر می باشد.

#### ۲.۴. افزودن ماسه به خاک اولیه و خاک بهسازی شده با آهک

با توجه به اینکه اختلاط آهک که باعث بهبود وضعیت نشست می شود، در دراز مدت به علت واکنشهای شیمیایی که بین رس، آهک و یون سولفات انجام می گیرد، تورم خاک را افزایش می دهد، لذا وجود آهک در کنار خاک گچی نیز مشکلات خاص خود را به همراه دارد. به نظر می رسد یکی از راه حل های مناسب برای کم کردن مشکلات خاک گچی اضافه کردن خاک دانه ای به خاک گچی است. با این کار درصد گچ در حجم خاک پایین می آید و مقدار تورم و نشست کاهش پیدا می کند. علاوه بر آن شرایط زهکشی بهتر فراهم می شود و آب اضافی در داخل خاک ریزدانه باقی نمی ماند. لذا خود عاملی جهت جلوگیری از تشکیل کانیهای تورم زا میگردد. براین اساس نسبت های مختلف ماسه به خاک اولیه و خاک بهسازی شده بوسیله آهک اضافه گردید، که نتایج آن در جدول ۵ ارائه شده است.

جدول ۵- آنالیز نتایج افزودن ماسه به خاک اولیه و خاک بهسازی شده با آهک

آزمایش برش مستقیم		آزمایش تراکم		نشانه خمیری	نمونه های مورد آزمایش	
$\phi$	C	حداکثر وزن مخصوص خشک $gr/cm^3$	درصد رطوبت بهینه (%)			
۲۱/۴	۰/۰۴۵	۱/۵۹	۸	۱۴	A	نمونه BH6
۲۵/۷	۰/۰۴۱	۱/۶۷	۷.۵	۹	B	خاک ۱۰ درصد ماسه
۲۸/۳	۰/۰۳۸	۱/۷۳	۷	۸	C	خاک ۲۰ درصد ماسه
۲۶/۱	۰/۰۷۹	۱/۶۴	۹	۷	D	خاک با ۴ درصد ماسه و ۴ درصد آهک
۲۹/۸	۰/۰۹۱	۱/۶۶	۱۰/۵	۴	E	خاک با ۸ درصد ماسه و ۸ درصد آهک
۳۳/۹	۰/۱۲۵	۱/۶۹	۱۲	۴	F	خاک با ۱۰ درصد ماسه و ۱۰ درصد آهک

با توجه به جدول ۵ در صورتیکه ماسه تنها به نمونه مورد آزمایش اضافه شود با عث افزایش وزن مخصوص و زاویه اصطکاک داخلی می شود. اما بر روی ضریب چسبندگی و درصد رطوبت بهینه کاهش را نشان می دهد. این دو خصوصیت، خود عاملی جهت عدم کنترل دقیق تراکم در زمان اجرا خواهد شد. بنابراین به خاک بهسازی شده با آهک، ماسه با درصد های متفاوت اضافه گردید. که نتایج قابل قبولی را در جهت افزایش ضریب چسبندگی و افزایش درصد رطوبت بهینه باعث شد. این دو عامل خود باعث آسانتر شدن کنترل رطوبت بهینه در عملیات خاکی جهت بهسازی مخلوط خاک، آهک و ماسه میگردد. همانطور که مشاهده می شود، اضافه کردن ۱۰ درصد ماسه و ۱۰ درصد آهک باعث افزایش حداکثری نتایج فوق می گردد. که در نتیجه باعث افزایش مقاومت فشاری، افزایش مقاومت برشی و ظرفیت باربری، کاهش تراکم پذیری، کاهش نشست، کاهش نفوذپذیری، در نتیجه افزایش دوام و پایداری خاک محل پروژه را به دنبال خواهد داشت. علاوه بر این درصد های پایتتر ماسه و آهک در مخلوط بهسازی شده، باعث بهبود خاک منطقه شده است میتوان در صورت نبود منابع قرضه کافی در محل پروژه از این درصد مقادیر جهت بهسازی استفاده گردد.



## ۵. نتیجه گیری

• در این منطقه بمنظور شناسایی لایه های خاک اقدام به حفر دو گمانه دستی به عمق های ۵ متر و ۶ حلقه گمانه ماشینی به عمق های ۱۰ تا ۱۵ متر از سطح طبیعی زمین گردید. پس از انجام مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی بر روی نمونه های خاک، مشکلات آن از قبیل پایین بودن مقادیر مقاومتی خاک، نشست زیاد و بالا بودن سولفات و گچ، ارزیابی شده و با توجه به نتایج بدست آمده از حفاریهای ژئوتکنیک در محل پروژه، منطقه مورد مطالعه، به دو بخش الف و ب تقسیم بندی گردید.

• نشانه خمیری و وزن مخصوص خشک خاک مورد آزمایش نیز با افزایش مقدار گچ کاهش می یابد که بیانگر تاثیر پذیری خاصیت خمیری خاک از میزان گچ است.

• اضافه کردن درصد های متفاوت آهک به خاک گچی، باعث کاهش وزن مخصوص خشک و نشانه خمیری می شود. همچنین با افزایش درصد آهک مقدار  $\phi$  افزایش یافته بگونه ای که بیشترین مقدار زاویه اصطکاک داخلی با افزودن ۱۲٪/۱۶٪ آهک بدست آمده است.

• با توجه به اینکه اختلاط آهک که باعث بهبود وضعیت نشست می شود، اما در دراز مدت به علت واکنشهای شیمیایی که بین رس، آهک و یون سولفات انجام می گیرد، تورم خاک را افزایش می دهد. به نظر می رسد یکی از راه حل های مناسب برای کم کردن مشکلات خاک گچی اضافه کردن خاک دانه ای به خاک گچی است. نتیجه گیری شد اضافه کردن ۱۰ درصد ماسه و ۱۰ درصد آهک باعث بهبود خواص ژئوتکنیکی خاک محل پروژه شده است، در نتیجه باعث افزایش مقاومت فشاری، افزایش مقاومت برشی و ظرفیت باربری، در نتیجه افزایش دوام و پایداری خاک محل پروژه را به دنبال خواهد داشت. همچنین با توجه اینکه درصد های پایینتر ماسه و آهک در مخلوط بهسازی شده، باعث بهبود خاک منطقه شده است میتوان در صورت نبود منابع قرضه کافی در محل پروژه از این درصد مقادیر جهت بهسازی استفاده گردد.

## مراجع

1. Al-Homoud, A. S., and Basma, A. A. "Cyclic Swelling Behaviour of clays," *Journal of Geotechnical Engineering*, 1995;

2. Azma, s., Abduljawwad, 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 د.، "ارزیابی مقاومت خاکهای بهسازی شده با آهک"، سومین کنفرانس بین المللی عمران، شیراز، جلد ۵، ص. سومین کنفرانس بین المللی عمران، شیراز، جلد ۵، ۶۰۷-۶۱۵، ۱۳۶۳؛

۴- غیاثیان، ح.، جهانشاهی، م.، ۱۳۸۰، "مشکل تورم در خاکهای گچی تثبیت شده با آهک و روش اصلاح"، مجموعه مقالات نخستین کنفرانس بهسازی زمین، مقاله ۱۴؛

۵- بلوری بزاز، ج. ساجدی، ک. " رفتار خاک های گچی و اثرات سیکل های تر و خشک شدن و بارگذاری و باربرداری بر خواص آنها " ۱۳۸۳؛

۶- غیاثیان، ح.، مرادی، م.، ۱۳۸۲، " تاثیر روش عمل آوری در کاهش اثرات مخرب اب سولفات بر مقاومت و تورم خاک اصلاح شده با آهک"، مجله بین المللی علوم مهندسی، جلد چهارم، شماره ۲، سال ۱۳۸۲، صفحه ۱۷۵-۱۸۸. دانشگاه علم و صنعت ایران؛

7. Gumusoglu, M. C. & et al., "The Investigation of the Effect of Gypsum on Foundation Design", *Bulletin of International Association of Engineering Geology (Paris)*, 1982;

8. Azma, S. and Abduljawwad, S. N. "Influence of Gypsification on Engineering Behavior of Expansive Clay", *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol. 126, No 6, 2000;

9. Sirwan, k. & et., "Consolidation Characteristics of Gypsiferous Soils", Geological Soc. London, Eng. Geology, Spec. pub 1991;

10. Petrukhin, V.p., "Construction of Structures on saline Soils", belkema pub., 1993;

11. Bell, F.G., 1996, "Lime Stabilization of Clay Minerals and Soil", Engineering Geology, pp:223-237;

۱۲- غیاثیان، ح.، ابراهیمی، م.، ۱۳۸۱، "تأثیر اختلاط آهک و نوع خاک بر مقاومت و تورم خاکهای سولفاتاته"، نشریه ژئوتکنیک و مقاومت مصالح، شماره ۱۹ صفحه ۱۲ تا ۱۳.