اصلاح خاکهای فروریزشی با استفاده از روش تزریق (مطالعه موردی:ایستگاه راه آهن سمنان)

سحر رحمانیان

کارشناس ارشد زمین شناسی مهندسی، دانشگاه علوم و تحقیقات، تهران، ایران

فریدون رضائی

پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۹۲/۱۰/۱۴ *تاریخ پذیرش:* ۹۳/۴/۱۴

s.rahmanian8@gmail.com

چکیده

ایران در زمره کشورهایی قرار گرفته که دارای خاکهای رمبنده میباشد و در صورت عدم شناسایی اینگونه خاکها، اگر سازه، راه و یا خطوط ریلی روی آنها احداث شود، میتواند در اثر اشباع شدن خاک، مشکلات قابل توجهی را ایجاد نماید. در مسیر راه آهن سمنان- دامغان، بخاطر وجود شکست های خاک ناشی از رمبنده بودن خاک، به علت بهره برداری از خط و عدم امکان مسدودی خط، یکی از راه حل هایی که میتواند به طور موثر در جهت اصلاح مشکلات ناشی از وجود خاکهای رمبنده مورد استفاده قرار گیرد، تزریق برجای خاک است. در این پژوهش جهت اصلاح خاک منطقه مورد مطالعه با استفاده از تزریق، رفتار ماده تزریقی آهک، بخاطر وجود رس در خاک مورد مطالعه قرار گرفته اند. نتایج آزمایشهای میدانی و آزمایشگاهی بیانگر آن است که با توجه به سیمانتاسیون رسی موجود بین ذرات خاک محل، تزریق آهک منجر به کاهش قابل ملاحظه پتانسیل رمبندگی خاک در شرایط اشباع و افزایش ظرفیت باربری خاک در مقایسه با سایر مواد تزریقی گردیده است و لذا به عنوان یک راهکار مناسب پیشنهاد میگردد.

کلمات کلیدی: *اصلاح، خاکهای رمبنده، تزریق، آهک، ظرفیت باربری*

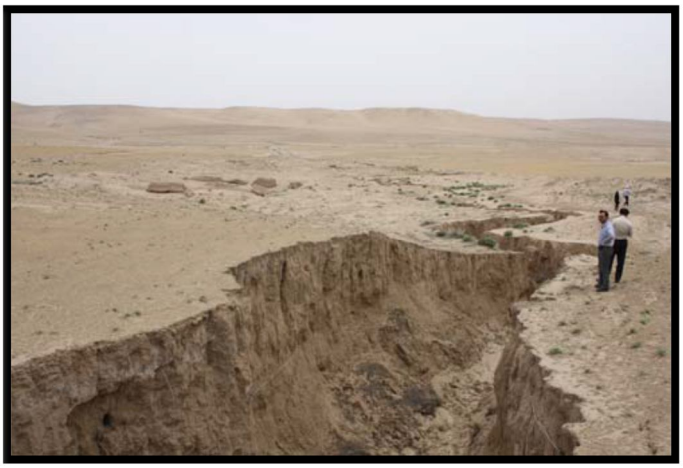
مقدمه

در طبیعت خاکهایی یافت میشود که تحت تنش یکسان، با افزایش در صد رطوبت میزان کاهش حجم بسیار زیادی از خود نشان میدهند. اینگونه خاکها که بیشتر در نواحی گرم وخشک و مناطق بیابانی یافت میشوند، به خاکهای رمبنده موسوم هستند. خاکهای رمبنده در زمره خاکهای مسئله دار از نقطه نظر زمین شناسی مهندسی و ژئوتکنیک میباشد و وجود آنها در پنج قاره جهان نیز گزارش شده است(Hormdee,2008). لس ها، ماسه های بادی، خاکهای آبرفتی دانه ریز در مناطق دارای آب و هوای خشک، خاکهای برجا، رس های متخلخل و خاکهای دستی جزء خاکهایی هستند که احتمال وقوع رمبندگی در آنها وجود دارد(خسروی،۱۳۸۱). در حال حاضر مهمترین خصوصیات خاکهای مسئله دار محدوده شهر سمنان از نظر ساخت و ساز، بویژه احداث ساختمانهای بلند مرتبه، وجود خاکهای دستی در مناطق مختلف شهر است که به علت تسطیح و سایر فعالیتهای عمرانی از نظر پنهان مانده اند، همچنین وجود خاکهای رمبنده در لایه های زیرین خاک و نشست ساختمانها و ایجاد شکافها و ترکهای قابل توجه در آن، به علت حفر چاههای جذبی، از دیگر مسائل خاکهای شهر سمنان میباشد. در ایستگاه راه آهن سمنان ترکهای عمیقی عمود بر مسیر راه آهن دیده میشود که برای مطالعه علل این پدیده دو عامل اساسی باید مطالعه شود: ۱- مسئله فرونشست. ۲ - پدیده رمبندگی. به منظور بررسی مسئله شکافهای سطحی ایجاد شده که در (شکل۱) نشان داده شده و ارائه روش بهسازی آنها با انجام آزمایشات آزمایشگاهی و صحرایی وجود رمبندگی در خاک ملاحظه و روش پیشنهادی برای بهسازی و اثرات آن بررسی شده است. همچنین وقوع ترکهایی در راستای عمود بر خط ریلی در محل ایستگاه سمنان که نمونه هایی از آن در (شکل۲) مشاهده می گردد شواهدی از نشست زمین می باشد. با توجه به خطرات قابل ملاحظه ترک برای بهره برداری از خط ریلی روشهای مختلف پایدارسازی مورد مطالعه اولیه قرار گرفت. در بین این روشها تزریق هم از این جهت که روش غیر مخرب است و لزومی به قطع عبور و مرور ندارد، روش مناسبی برای مطالعه تثبیت خاکهای منطقه می باشد. هدف از این پروژه، با بررسی کارآیی روش تزریق، بهترین ماده تزریق متناسب با شرایط خاک منطقه به منظور کنترل ترکها، کنترل نشست و تامین باربری مد نظر بوده است.

زمین شناسی منطقه مورد مطالعه

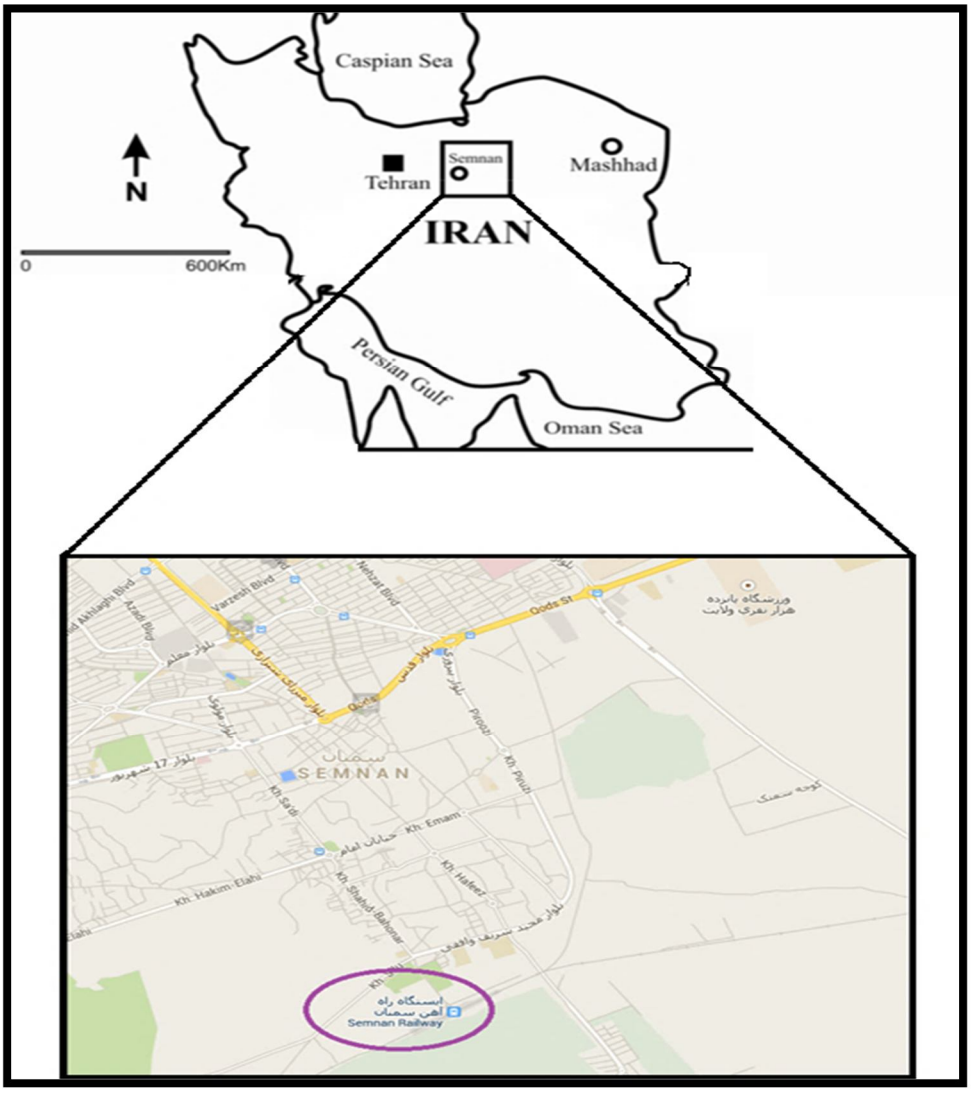
بررسی زمین شناسی استان نشان میدهد که قدیمی ترین سنگهای استان متعلق به دوران پرکامبرین و شامل سنگهای دگرگونی میباشد. از نگاه زمین‌شناسی این استان به دو پهنه ساختاری البرز (مرکزی) و ایران مرکزی تعلق دارد. در شمال سمنان "گسل سمنان" به عنوان حد جداکننده البرز از ایران مرکزی دانسته شده است. در حالیکه در ۳۰ کیلومتری خاور سمنان، گسل عطاری مرز دو پهنه ساختاری ـ رسوبی ایران مرکزی معرفی شده است. گسل های سمنان و عطاری دو حادثه تکتونیکی عمده هستند که در راستای تقریبی شمال خاوری، جنوب باختری از بخشهای شمالی استان سمنان عبور می کنند(بربریان و همکاران،۱۳۷۵).

شهر سمنان دارای آب و هوای گرم و خشک بوده قسمت عمده خاک ساختگاه شهر سمنان از جنس رس و سیلت با خمیرایی کم است و همانطور که ذکر شد، اینگونه خاکها ضمن جذب رطوبت، بسته به نوع کانی های سازنده، رفتار تغییر حجمی از خود نشان میدهند. با توجه به اینکه انجام آزمایش تحکیم مضاعف (معیار جنینگز و نایت)، مناسبترین و معمول ترین روش آزمایشگاهی جهت ارزیابی رمبندگی خاکها میباشد، مطالعاتی بر روی نمونه هایی از خاک این ساختگاه صورت گرفته که نتایج حاصل از انجام آزمایش بر روی دو گمانه مختلف در مسیر ایستگاه راه آهن شهر سمنان مورد بررسی قرار گرفته است(سازند پی هامون،۱۳۸۸). ۸۱۳۰/۰۷۵ کیلومتر مربع از مساحت استان، پهنه نمکی و۳۹۱۷/۵۰۷ کیلومتر مربع از خاک استان را پهنه رسی اشغال کرده است. پهنه های رس و سیلت در بخش جنوبی از نیمه غربی استان گسترده شده اند که ۶۹۳/۰۶۵ کیلومتر مربع از مجموع مساحت استان را شامل می شوند(بربریان و همکاران،۱۳۷۵). (شکل ۳) موقعیت منطقه مورد مطالعه را روی نقشه نشان می دهد.



شکل۱. شکستگی مشاهده شده در منطقه

شکل۲. ترکی در راستای عمود بر مسیر راه آهن



شکل ۳. موقعیت جغرافیایی دشت سمنان و محدوده مورد مطالعه

خاک انتخابی و نحوه نمونه برداری

طبق مطالعات قبلی و بازدیدهای انجام شده از سایت، رطوبت خاک پایین بوده و خاک از نظر دست خوردگی از حساسیت بالایی برخوردار بوده است. چون برای مطالعات آزمایشگاهی نیازمند نمونه خاک دست نخورده بود بدین منظور نمونه گیری بصورت مونولیتی و با استفاده از جعبه چوبی ۴۰*۴۰ انجام پذیرفت. نمونه های اخذ شده از اعماق ۱ تا ۱/۵ متر می باشند. قسمت عمده خاک ساختگاه شهر سمنان از جنس رس و سیلت با خمیرایی کم است.

آزمایشهای انجام یافته بر روی نمونه های خاک

برای بدست آوردن نوع خاک و خواص فیزیکی و مکانیکی آن اقدام به انجام آزمایشهایی بر روی نمونه های دست خورده و نخورده گردید که شامل آزمایشهای دانه بندی، هیدرومتری، تعیین حدود روانی و خمیری، تحکیم، آزمایش تعیین چگالی خاک، آزمایش سه محوری به صورت CU می باشد. لازم به ذکر است که آزمایشها بر روی چندین نمونه از خاک طبیعی صورت گرفته که بدلیل کثرت نمونه ها فقط از دو نمونه خاک در این تحقیق استفاده شده است. نتایج آزمایشهای انجام یافته بر روی نمونه های خاک طبیعی بصورت زیر میباشد:

آزمایشهای دانه بندی و هیدرومتری

این آزمایشات بر اساس آیین نامه های ASTM D 421-87 و ASTM D 422-87 انجام گرفته اند. درصد عبوری دانه ها در (جدول۱) آورده شده است.

آزمایش تعیین حدود آتربرگ

آزمایش تعیین حدود آتربرگ بر اساس استانداردASTM D 4318-87 انجام پذیرفته و نتایج آن برای دو نمونه خاک در (جدول۲) آورده شده است. طبق نتایج بدست آمده، هر دو نمونه خاک در سیستم طبقه بندی متحد بصورت ML طبقه بندی می شوند.

آزمایش تعیین چگالی G_S

آزمایش تعیین چگالی G_S طبق استانداردASTM D 854-87 انجام پذیرفته است. نتایج آزمایش تعیین چگالی برای دو نمونه خاک در (جدول۳) آورده شده است.

آزمایش تحکیم مضاعف

آزمایش تحکیم مضاعف طبق استاندارد ASTM D 5333-03 انجام پذیرفته است. نتایج آزمایش انجام شده بر خاک مورد مطالعه در (جدول۴) آورده شده است. نتایج آزمایشات تحکیم مضاعف نشان میدهد که مقدار شاخص فشردگی (C_c) نمونه ها بین ۰/۳ تا ۰/۳۱ بوده و مقدار شاخص باربرداری (C_s) بین ۰/۰۴۷ تا ۰/۰۵۷ قرار دارد . در آزمایشات تحکیم مضاعف که بر روی خاک طبیعی انجام گرفت، تخلخل اولیه که اصلی ترین پارامتر مورد مطالعه است تغییراتی از ۰/۸۸ تا ۰/۹۵ را نشان میدهد. همچنین از مقایسه C_P (پتانسیل رمبندگی) با (معیار جنینگز ونایت و استاندارد ASTM) میتوان نتیجه گرفت که خاک مورد مطالعه در گروه خاکهای با پتانسیل رمبندگی شدید قرار میگیرد.

آزمایش سه محوریCU

آزمایش سه محوریCU طبق استاندارد ASTM D 2850-98 انجام پذیرفته است. این آزمایش بر روی نمونه دست نخورده خاک و به صورت CU انجام شده است. قطر نمونه های آزمایشی ۳۸ میلیمتر و ارتفاع آنها ۷۶ میلیمتر بوده است. (جدول ۵) نتایج اولیه آزمایش سه محوری و (جدول۶) نتایج آزمایش سه محوری CU را بر روی خاک درحالت اشباع نشان میدهد.

همانطور که در جدول ملاحظه میشود در نمونه خاک دوم چسبندگی خاک در حالت تنش موثر برابر ۵۴ کیلو پاسکال میباشد که نشان از وجود کانیهای مختلف و عدم خالص بودن نمونه سیلتی است. همچنین زاویه اصطکاک داخلی نیز عدد پایینی است که نشانگر ضعیف بودن خاک در حالت طبیعی است.

بهسازی زمین های آبرفتی به روش تزریق

تزریق فرآیندی است که در آن سیمان و یا ماده مناسبی که دوغاب نامیده میشود با فشار به داخل یک سازند سنگی و از طریق گمانه های حفاری شده به منظور بهسازی ترکها و شکستگیهای موجود وارد میگردد. حال منطقه مذکور ممکن است شامل زمین های سنگی شکسته، زمین های سنگی با درزهای بزرگ و یا زمین های آبرفتی باشد (Kutzner,1996). وجود مشکلات و موانع خاصی نظیر مسائل مکانیک خاک منطقه عمل اعم از پائین بودن مقاومت زمین، پائین بودن پی سنگ، تخلخل زیاد، احتمال نشست یا مشکلات زمین شناسی همانند وجود شکستگیهای زیاد در منطقه، بالا بودن سطح آبهای زیرزمینی، مشکلات خاکبرداری و ... اجرای هیچ پروژه مهم و ضروری را تحت الشعاع قرار نمی دهد. چرا که تزریق بعنوان موثرترین و اغلب اقتصادی ترین راه حل بوده که برطرف کننده و یا کاهش دهنده اکثریت موانع و مشکلات طبیعی منطقه مورد نظر میتواند باشد(سازند پی هامون،۱۳۸۸).

روند تزریق بر روی خاک منطقه مورد مطالعه

بعد از مطالعات اولیه آزمایشگاهی بر روی نمونه های خاک، و همچنین بعد از اثبات رمبنده بودن خاک سایت مورد مطالعه، چندین گزینه برای ماده تزریقی وجود داشت که به علت دسترسی آسان به آهک، سیمان و میکروسیلیس، با این مواد کار تزریق آغاز شد. جهت اصلاح خاک منطقه مورد مطالعه با استفاده از تزریق، رفتار مواد تزریقی آهک: بخاطر وجود رس در خاک، سیمان : بخاطر ایجاد چسبندگی بین ذرات، و میکروسیلیس: بخاطر خاصیت پرکنندگی مورد بررسی قرار گرفته اند. عملیات تزریق به صورت تزریق نفوذی و بوسیله لوله مانشیت و پکر در عمق حدود یک متری انجام شد. ابتدا گمانه های تزریق با استفاده از یک اوگر دستی و به قطر ۱۰ سانتیمتر و به ارتفاع یک متر از سطح زمین حفاری شد. سر اوگر که به ارتفاع ۱۰ سانتیمتر بود، پس از پر شدن بیرون کشیده شده و خالی میشد، سپس لوله مانشیت در گمانه قرار گرفت. برای لوله مانشیت مورد استفاده، قطری به اندازه ۷/۵ سانتیمتر در نظر گرفته شد. برای جلوگیری از بالا آمدگی و عدم تحمل فشار وارده جهت تزریق، ملات ماسه سیمان با افزودن میکروسیلیس، جهت کاهش نفوذپذیری ملات، به ارتفاع متوسط ۲۰ سانتیمتر و به شعاع ۳۵ سانتیمتر از مرکز لوله روی زمین قرار گرفت. دوغاب تزریقی (مخلوط مواد تزریقی و آب به نسبت ۱ به ۱) آماده و تزریق گردید. نحوه تزریق هم به این صورت بود که ابتدا پکر بر روی لوله پک می شد و سپس تزریق انجام گرفت، تزریق انجام شده بصورت تراکمی و فشار اعمالی حدود ۲۰۰ تا ۲۵۰ کیلوپاسکال بوده است(سازند پی هامون،۱۳۸۸).

جدول۱.درصد دانه های خاک به تفکیک نوع(سازند پی هامون،۱۳۸۸)

شماره گمانه	ماسه(٪)	سیلت(٪)	رس(٪)
T1	۱۵	۷۵	۱۰
T2	۱۶	۷۷	۷

جدول۲. حدود اتربرگ نمونه ها(سازند پی هامون،۱۳۸۸)

شماره گمانه	LL	PL	PI
T1	۲۹	۲۲	۷
T2	۳۰	۲۵	۵

جدول۳. تعیین چگالی نمونه های خاک(سازند پی هامون،۱۳۸۸)

شماره گمانه	T1	T2
G_S	۲/۵۶	۲/۵۷

جدول ۴. نتایج آزمایش تحکیم مضاعف انجام شده بر نمونه های خاک مورد مطالعه(سازند پی هامون،۱۳۸۸)

شماره گمانه	جنس خاک	e_0	e_f	W_0	C_s	C_c	G_s	$C_P(\%)$
T1	سیلت	۰/۹۵	۰/۲۳	۹	۰/۰۵۷	۰/۳۱	۲/۵۶	۵-۹
T2	سیلت رسی	۰/۸۸	۰/۱۹	۵	۰/۰۴۷	۰/۳	۲/۵۷	۵-۸

جدول۵ . نتایج اولیه آزمایش سه محوری CU انجام شده بر نمونه های خاک مورد مطالعه (سازند پی هامون،۱۳۸۸)

شماره گمانه	درجه اشباع اولیه (٪)	رطوبت اولیه (٪)	. دانسیته خاک (g/cm^3)
T1	۳۲/۹۵	۹	۱/۴
T2	۲۲	۵	۱/۳

جدول۶. نتایج آزمایش سه محوری CU در حالت اشباع بر نمونه های خاک مورد مطالعه(سازند پی هامون،۱۳۸۸)

شماره گمانه	$C_u(Kpa)$	$Ø_u$(درجه)	$C(Kpa)'$	Ø (درجه)
T1	۸۲	۴/۵	۶۱/۲	۱۵
T2	۷۰	۵/۷	۵۴	۱۳

معیارهای رمبندگی خاک

در طول سالیان مختلف معیارهای گوناگونی برای شناسایی خاکهای فروریزشی (رمبنده) ارائه شده است که بدلیل فراوانی معیارها ، فقط دو معیار که در این پژوهش استفاده شده است بیان می گردد.

معیار Jenning and Kninght (1975) این افراد آزمایش تحکیم مضاعف را برای ارزیابی کمی رمبندگی خاک تکمیل کرده و بکار بردند. (جدول ۷) شاخصی از شدت پتانسیل رمبندگی را بر مبنای این معیار ارائه میدهد. این جدول نشان میدهد که میتوان خاکهایی با رمبندگی بیش از ۱ ٪ را بعنوان نیمه پایدار در نظر گرفت. ضریب رمبندگی به صورت زیر تعریف میشود(Jennings and et al, 1975)و (خسروی،۱۳۸۱) :

رابطه ۱ $$C_c = \frac{\Delta h}{h} * 100$$

Δh : تغییر ارتفاع نمونه بعد از غرقاب کردن h : ارتفاع نمونه قبل از غرقاب کردن

معیار ASTM(2003) : مبحث شناسایی خاکهای رمبنده در این استاندارد نخست با ارائه پیشنهاد هولتز آغاز شد. (جدول ۸) رده بندی شاخص رمبندگی ASTM را نشان میدهد. شاخص رمبندگی به صورت زیر تعریف میشود(خسروی،۱۳۸۱) :

رابطه۲ $$I_c = \frac{\Delta h}{1+h_0} * 100$$

Δh : تغییر در ارتفاع نمونه ناشی از مرطوب سازی h_0 : ارتفاع اولیه نمونه

نتایج آزمایش تحکیم مضاعف نمونه های شماره ۱ و ۲ خاک بعد از تزریق

نتایج اولیه تحکیم مضاعف خاک تزریق شده با آهک در (جدول ۹) آورده شده است.در نمونه اول، خاک تزریق شده حدود ۶۰ ٪ کاهش تخلخل و در نمونه دوم، خاک تزریق شده حدود ۷۰ ٪ کاهش تخلخل در اثر اشباع شدن کرده است که حاکی از کاهش چشمگیری در میزان رمبندگی این نمونه خاک تزریق شده با آهک می باشد.

تحکیم پذیری نمونه پس از یکبار اشباع شدن (سازند پی هامون،۱۳۸۸).

نتایج آزمایشات تحکیم نشان میدهد که مقدار شاخص فشردگی (C_c) نمونه ها ۰/۲۱ – ۰/۲۶ بوده و مقدار شاخص باربرداری (C_s) ۰/۰۵۹ تا ۰/۰۶۲ قرار دارد. در آزمایشات تحکیم مضاعف که بر روی خاک طبیعی انجام گرفت، تخلخل تغییراتی از ۰/۷۵ تا ۰/۸۱ را نشان میدهد. طبق آزمایشات و بر اساس (شکل۴)، خاک منطقه در اولین اشباع شدگی خود دارای قابلیت رمبندگی زیاد میباشد اما در اشباع شدگی های بعدی رمبندگی اندکی دارد.

نتایج آزمایش سه محوری خاک بعد از تزریق

پارامترهای مقاومت برشی خاک پس از تزریق بهبود یافته و مقدار پارامتر $\emptyset_u$ در هر دو نمونه بعد از تزریق بیشتر از ۲/۵ برابر شده و پارامتر $\emptyset$ ۱/۵ برابر شده است. با توجه به ثابت بودن تنشها در هر دو حالت طبیعی و حالت تزریق، افزایش زاویه اصطکاک داخلی منجر به کاهش چسبندگی خاک شده که نشان از بهبود رفتار خاک پس از تزریق دارد(جدول۱۰).

مطالعات بر روی پتانسیل رمبندگی بر روی خاک تزریق شده

با توجه به اینکه انجام آزمایش تحکیم مضاعف(معیار جنینگز و نایت) مناسبترین و معمول ترین روش آزمایشگاهی جهت ارزیابی رمبندگی خاکها میباشد، مطالعاتی بر روی نمونه هایی از خاک این ساختگاه صورت گرفته که (جداول ۱۱و۱۲) نتایج آزمایش بر روی این دو نمونه را نشان میدهد. در هر دو معیار، آهک باعث کاهش پتانسیل رمبندگی شده است. آهک حدود ۷۰ ٪ باعث کاهش پتانسیل رمبندگی خاک شده است.

همانطور که در جدول مشاهده میشود، پتانسیل رمبندگی خاک بر اساس رابطه ASTM نشان میدهد که خاک مورد مطالعه در گروه خاکهای با پتانسیل رمبندگی متوسط تا حدی شدید قرار میگیرد. همچنین تزریق آهک باعث کاهش میزان پتانسیل رمبندگی تا حدود ۷۰ ٪ شده است.

همانطور که در جدول مشاهده میشود، پتانسیل رمبندگی خاک بر اساس رابطه (Jenning and Kninght, 1975) نشان میدهد که خاک مورد مطالعه در گروه خاکهای با پتانسیل رمبندگی شدید قرار میگیرد. در این معیار نیز تزریق آهک باعث کاهش میزان پتانسیل رمبندگی تا حدود ۷۰ ٪ شده است.

جدول ۷. شاخص تعریف شدت مشکل رمبندگی

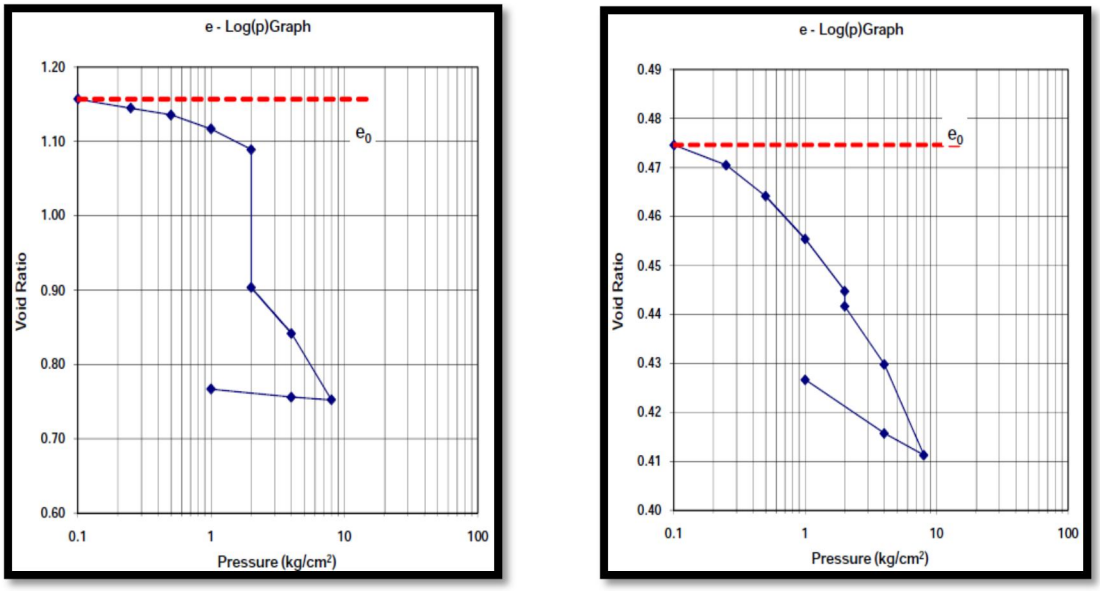
پتانسیل رمبندگی(٪)	شدت مسئله
۰ – ۱	بدون مشکل
۱ – ۵	مشکل شدید
۵ – ۱۰	شدید
۱۰ – ۲۰	بسیار شدید
> ۲۰	فوق العاده شدید

جدول ۸ . رده بندی شاخص رمبندگی ASTM

شاخص رمبندگی(٪)	شدت رمبندگی
۰	ندارد
۰/۱ -۲	اندک
۲/۱ – ۶	متوسط
۶/۱ – ۱۰	تا حدی شدید
> ۱۰	شدید

جدول ۹. نتایج اولیه تحکیم مضاعف خاک تزریق شده با آهک(سازندپی هامون،۱۳۸۸)

شماره گمانه	e_0	e_f	W_0	C_s	C_c	G_s
T1	۰/۷۹	۰/۴۶	۵	۰/۰۵۹	۰/۲۱	۲/۵۹
T2	۰/۷۵	۰/۴۴	۶	۰/۰۶۱	۰/۲۲	۲/۵۹



الف)　　(ب)

شکل ۴. نتیجه آزمایش تحکیم مضاعف روی نمونه T1 از عمق ۱/۵ متری . الف) تحکیم پذیری نمونه در اولین

جدول ۱۰. محاسبات آزمایش سه محوری CU برای خاک تزریق شده با آهک(سازندپی هامون،۱۳۸۸)

شماره گمانه	C_u(Kpa)	$\emptyset_u$ (درجه)	C' (Kpa)	$\emptyset$ (درجه)
T1	۸۲	۱۴/۵	۴۲/۲	۲۳
T2	۴۶	۱۴/۷	۳۵	۲۰/۱۳

جدول۱۱. مطالعه معیارهای رمبندگی بعد از تزریق براساس معیار ASTM

	Collapsibility Coefficient	Collapsibility Coefficient Rang
Natural soil	$I_C = \frac{\Delta h}{1+h_0} * 100 = \frac{0.1}{1.9} * 100 = 5.26\ \%$	2.1<5.26<6
Lime	$I_C = \frac{\Delta h}{1+h_0} * 100 = \frac{0.033}{1.9} * 100 = 1.74\ \%$	0.1<1.74<2.1

جدول۱۲. مطالعه معیارهای رمبندگی بعد از تزریق براساس معیار Jenning and Kninght

	Collapsibility Coefficient	Collapsibility Coefficient Rang
Natural soil	$C_C = \frac{\Delta h}{h} * 100 = \frac{0.1}{1.56} * 100 = 6.41\ \%$	5<6.41<10
Lime	$C_C = \frac{\Delta h}{h} * 100 = \frac{0.033}{1.8} * 100 = 1.83\ \%$	1<1.83<5

نتایج

بطور کلی میتوان رمبندگی خاک را پدیده تدریجی دانست که بطور یکنواخت با افزایش رطوبت، افزایش پیدا خواهد کرد و میزان آن تابع شرایط اولیه خاک مانند درصد رطوبت اولیه، وزن مخصوص خشک و تنش اعمالی در زمان مرطوب کردن میباشد. پدیده رمبندگی باعث تغییر ناگهانی ساختار خاک شده و بطور کلی برگشت ناپذیر است. به عبارت دیگر پس از کاهش حجم خاک، درصورت تقلیل درصد رطوبت رمبندگی مجدد به وجود نخواهد آمد. در اینگونه خاکها که در بیشتر مناطق ایران یافت میشود، مسأله نشست خاک خصوصاً در طراحی سازه های سطحی و زیر زمینی حائز اهمیت بوده باید مورد توجه خاص قرار گیرد.

۱-انجام آزمایشهای تحکیم مضاعف همراه با معیارهای مختلف ارزیابی پتانسیل رمبندگی حاکی از رمبنده بودن خاک محل ایستگاه راه آهن سمنان در مقیاس نسبتا زیاد است و از آنجائیکه علت اصلی نشستهای منجر به ترک خوردگی بیشتر سازه های این ساختگاه ، عدم توجه به پدیده رمبندگی میباشد، مطالعه حاضر نیاز به بررسی های دقیق تر در خصوص راهکارهای مناسب در جهت ترمیم، تثبیت و... را آشکار میسازد.

۲- دو معیار Jenning and Kninght (1975) و ASTM (2003) بهترین ارزیابی را در این خصوص داشته اند و لذا در پروژه های مشابه موجود در منطقه میتوانند به عنوان معیار مناسب برای ارزیابی پتانسیل رمبندگی بکار روند.

۳- با توجه به شرایط موجود در محل و ضرورت اصلاح برجای خاک رمبنده به صورت غیرمخرب روش تزریق در مقایسه با سایر روشهای موجود میتواند کارایی مناسبی داشته باشد.

۴- بر اساس نتایج آزمایش تحکیم صورت گرفته بر روی نمونه های خاک قبل و بعد از تزریق، مشاهده شده است که تزریق با آهک حدود ۷۰ ٪ باعث کاهش پتانسیل رمبندگی خاک شده است.

۵- نتایج آزمایش سه محوری CU بر روی نمونه های خاک طبیعی انجام شده نشان میدهد که به علت تخلخل بالا و دانسیته اولیه کم، زاویه اصطکاک داخلی خاک در حالت طبیعی بسیار کم است اما پس از انجام تزریق، افزایش قابل ملاحظه ای در مشخصات مقاومت برشی خاک ایجاد شده است.

تشکر و قدردانی

نویسندگان این مقاله، مراتب تشکر و قدردانی خود را از مدیر عامل محترم آزمایشگاه مکانیک خاک و مهندسی مشاور سازند پی هامون به دلیل فراهم آوردن شرایط تحقیق حاضر اعلام می نمایند.

منابع

خسروی.ف.، ۱۳۸۱، خاکها با پتانسیل رمبندگی با نگرشی بر روی مناطقی از ایران، سومین همایش بین المللی مهندسی ژئوتکنیک و مکانیک خاک ایران.

بربریان.م.، و همکاران، ۱۳۷۵، پژوهش و بررسی نو زمین ساخت و خطر زمین لرزه و گسلش در گستره سمنان، سازمان زمین شناسی کشور، چاپ اول.

خواری.م .، و بازیار.م.، ۱۳۸۷، پهنه بندی ژئوتکنیک لرزه ای شهر سمنان، مقالات چهاردهمین کنگره بین المللی عمران، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران.

آزمایشگاه مکانیک خاک و مهندسی مشاور سازند پی هامون،۱۳۸۸، مطالعات ژئوتکنیک گستره شهر سمنان.

Kutzner.C.,1996, Grouting of Rock and Soil, A.A.Balkema, Rotterdam.

Hormdee.D.,2008, Investigation on collapse potential of loess soil, Proceeding of the Eighteenth Interational offshore and Polar Engineering Conference Vancouver, BC, Canada.

Jennings.J.E.,and Knight. k.,1975, A guide to construction or with materials exhibiting additional settelement due to collapse of grain structure, 6th Regional conferens for Africa on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Durban, South Africa, September, pp. 99-105.