Archive of SID

ساخت راه در بستر ماسه‌ای روان با استفاده از پوزولان و آهک

ابوالفضل حسنی، استادیار، دانشکده فنی - مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
سیدشهاب الدین یثربی، استادیار، دانشکده فنی- مهندسی ، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
محسن صالحی، کارشناس ارشد، دانشکده فنی- مهندسی ، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
E-mail:hassani@modares.ar.ir

چکیده

رسوبات ماسه ای از مهم ترین رسوبات محیط های کویری هستند که در نقاط مختلف جهان پراکنده اند. یکی از راههای تثبیت این گونه بسترها استفاده از خاصیت گیرشی پوزولان طبیعی در مجاورت آهک است. این خاکها در هر دو حالت رطوبت طبیعی و اشباع شده مقاومت کمی دارند. همچنین از پراکندگی زیادی در نقاط مختلف دنیا برخوردارند که این مساله بر اهمیت این تحقیق می افزاید. درحال حاضر روشهای موجود تثبیت رسوبات ماسه ای بیشتر به صورت فیزیکی یا بیولوژیکی هستند(به عنوان مثال مالچ پاشی نفتی و کاشت درختچه). در این تحقیق سعی شده که یک مطالعه آزمایشگاهی با هدف ایجاد قابلیت باربری در این نوع بسترها انجام شود و نتایج به صورت نمودارهای روند افزایش مقاومت در طول دوره های عمل آوری مختلف مشخص گردد. با توجه به این نمودارها می توان یک درصد مناسب پوزولان پیشنهاد کرد که از لحاظ مقاومتی در این گونه بسترها، قابلیت ساخت مسیرهای مورد نظر را ایجاد می کند.

واژه‌های کلیدی: تثبیت، پوزولان، آهک ، رسوبات ماسه بادی ، دوده سیلیس

۱. مقدمه

در این تحقیق، برای اولین بار از ترکیب پوزولان و آهک برای تثبیت ماسه های روان استفاده شده است . آهک از متداول ترین مواد افزودنی است که برای تثبیت خاکهای مساله دار به کار می‌رود و تجربیات بسیار زیادی در مورد استفاده از آن در نقاط مختلف دنیا وجود دارد. پوزولان نیز یک ماده افزودنی ارزان و منبعی غنی از سیلیس و آلومین است که در پروژه های مختلفی مورد استفاده قرار می گیرد. در این تحقیق، برای اولین بار از تحلیل های XRF و XRD به منظور پیش بینی واکنشهای پوزولانی در این نوع خاکها (رسوبات بادی) استفاده شده است. آزمایش های انجام گرفته برای تثبیت این نوع خاکها شامل آزمایشهای تعیین pH (تعیین درصد بهینه آهک) و تعیین حداکثر تراکم خشک خاک (تعیین درصد بهینه رطوبت) و همچنین آزمایشهای تعیین روند کسب مقاومت (نسبت باربری کالیفرنیا و مقاومت فشاری تک محوری) با استفاده از درصدهای مختلف پوزولان بوده است. با بهره گیری از نتایج این آزمایش ها، فواید این روش در زمینه کاربرد در پروژه های راهسازی و ساخت ابنیه فنی در بسترهای ماسه ای روان مطرح می شود.

۲. مصالح مصرفی

۲-۱ خاک

در این تحقیق از دو نوع ماسه مناطق کویری کشور استفاده شده است. خاک نوع K از اطراف کاشان با طول جغرافیایی۵۱/۵ درجه و عرض ۳۴ درجه وخاک نوع G از اطراف گرمسار با طول جغرافیایی ۵۲/۵ درجه و عرض ۳۵ درجه تهیه شده است.

این نوع خاک های ماسه ای خصوصیات زیر را دارند:

الف- به علت تشکیل در یک محیط اکسیداسیونی، دارای رنگ قرمز هستند.

ب- فسیلهای دریایی در بین این رسوبات دیده نمی شوند.

www.SID.ir

Archive of SID

ج- ذرات تشکیل دهنده این خاکها یک اندازه بوده و ذرات دانه ریز سیلت و رس در آنها بسیار کم هستند.

د- دانه های ماسه گردشدگی خوبی دارند و سطح آنها کدر است.

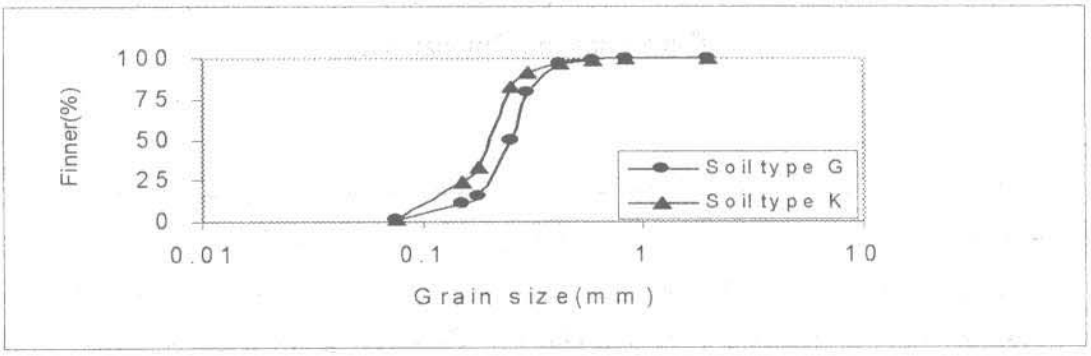
ه- در حالت طبیعی مقاومت خوبی ندارند و در حالت اشباع شرایط مقاومتی آنها بدتر است [۲].

توزیع دانه بندی این دو نوع ماسه در شکل ۱ نمایش داده شده است [۳].

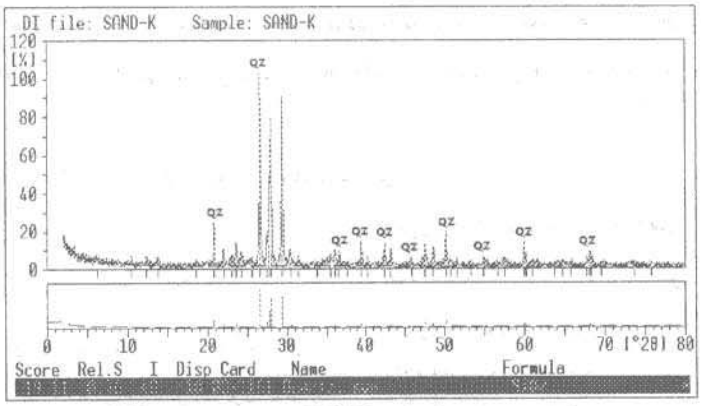
مشاهده می شود که درصد ذرات ریزدانه در دو نمونه خاک بسیار کم بوده و به هیچ وجه دارای خاصیت خمیری نیستند. به همین دلیل آزمایشهای تعیین حدود اتر برگ در مورد آنها انجام نشد.

۲-۲ پوزولان

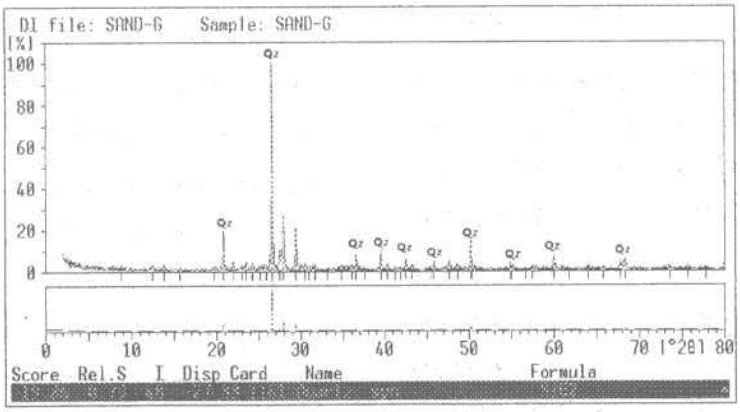
برای توجیه استفاده از پوزولان در تثبیت این نوع خاک ها تحلیل های XRF و XRD انجام شده اند که نتایج آنها در شکل های ۲ و ۳ آورده شده اند [۴].



شکل ۱. نتایج آزمایش دانه‌بندی (خاکهای نوع K و G)



شکل ۲. نتایج آنا لیز XRD روی خاک نوع K



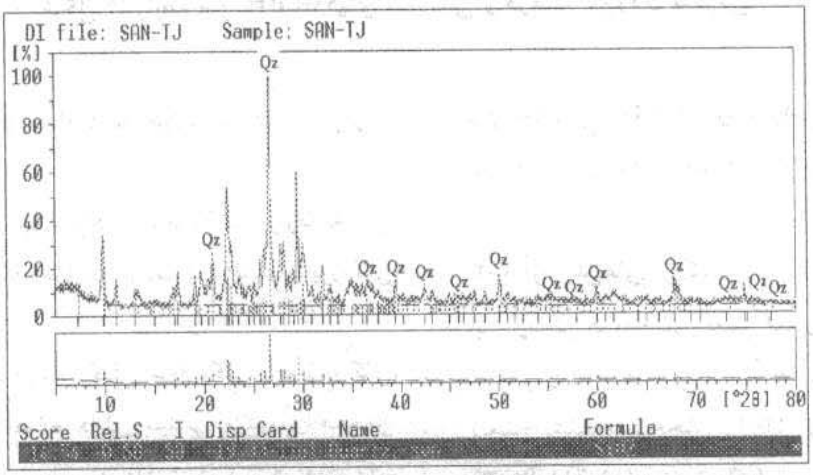
شکل ۳. نتایج آنا لیز XRD روی خاک نوع G

www.SID.ir

Archive of SID

در واکنش های پوزولانی عناصر سیلیس و آلومین نقش اساسی را ایفا می کنند، به شرط این که کانی‌های تشکیل دهنده این مواد به صورت بی شکل (آمورف) باشند. همان طور که از نتایج تحلیل های XRF مشخص می شود دو نمونه ماسه دارای مقدار سیلیس نسبتاً زیادی هستند، اما با توجه به نتایج تحلیل XRD انجام شده، کانی های تشکیل دهنده این مواد به صورت متبلور هستند و قابلیت شرکت در واکنشهای پوزولانی را ندارند. با مشاهده نتایج تحلیل های XRD و XRF انجام شده بر روی نمونه پوزولان مصرفی، مشاهده می شود که این پوزولان شامل درصد مناسبی از سیلیس و آلومین بی شکل است و می تواند نقش تامین کننده این عناصر را در خاکهای آزمایشی بر عهده گیرد. با توجه به مصرف پوزولان و آهک (افزایش pH محیط تا حدود ۱۲/۵)، قابلیت انجام واکنش های پوزولانی در این خاکها ایجاد می شود.

نتایج تحلیل های XRF,XRD برروی نمونه پوزولان مصرفی در شکل ۴ و جدول ۱ دیده می شوند.



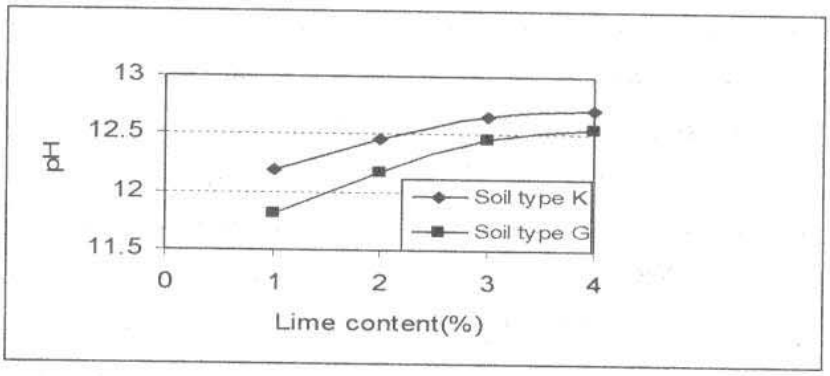
شکل ٤. نتایج آنا لیز XRD روی پوزولان مصرفی تراس جاجرود

جدول ۱. نتایج آنالیز XRF انجام شده روی خاک ها (GوK) و پوزولان(تراس جاجرود) مصرفی

(%)	LOI	Na_2O	MgO	Al_2O_3	SiO_2	P_2O_5	So_3	K_2O
Soil of G	۷/۹۳	۰/۰۲۵	۲/۰۴۲	۱۰/۰۴۶	۵۹/۳۱۹	۰/۱۳۵	۰/۲۸۱	۲/۷۰۳
Soil of K	۱۰/۵۸	۰/۰۱۹	۲/۵۳۵	۱۰/۷۸۷	۴۴/۸۹۱	۰/۱۳۷	۰/۱۰۴	۱/۹۷۵
Pozzolan	۱۰/۹۵	۰/۰۱۵	۱/۴۶۲	۱۰/۹۵۹	۶۵/۱۲۹	۰/۰۵۶	۰/۰۹۸	۲/۹۴۲
(%)	CaO	Fe_2O_3	TiO_2	MnO	Cl	Zn	Sr	Zr
Soil of G	۱۲/۲۳۴	۳/۶۲۱	۰/۴۸۳	۰/۱۸۷	۰/۹۰۱	۰/۰۲۸	۰/۰۶۴	۰/۰۱۷
Soil of K	۲۲/۹۷۸	۵/۰۶۷	۰/۶۰۶	۰/۲۴	-	-	۰/۰۸۲	۰/۰۱۵
pozzolan	۵/۴۱۲	۲/۳۴۵	۰/۳۰۲	۰/۱۹۹	-	-	۰/۱۱۸	-

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۵. رابطه بین pH خاکهای آزمایشی و درصد پوزولان مصرفی

با توجه به نتایج تحلیل های انجام گرفته، موارد زیر قابل ذکرند: [۱]

۱- خاک نوع K، با وجود طیف پراکنش اشعه ایکس مربوط به کانی های تشکیل دهنده این مصالح قابلیت شرکت در واکنشهای پوزولانی را ندارد.

۲- خاک نوع G، با وجود طیف پراکنش اشعه ایکس مربوط به کانی های تشکیل دهنده این مصالح دارای سیلیس متبلور و همچنین آلومین بی شکل است که آلومین آن قابلیت شرکت در واکنشهای پوزولانی ثانویه برای کمک به پوزولان مصرفی برای تثبیت بهتر این مصالح را دارد.

۳- با در نظر گرفتن نتایج تحلیل های XRF و XRD پوزولان مصرفی، این نوع پوزولان شامل درصد مناسبی از سیلیس و آلومین قابل شرکت در واکنشهای پوزولانی است و پیش بینی می شود که بتواند مقاومت مناسبی را در خاکهای آزمایشی ایجاد کند. با وجود درصد آلومین مناسب (حدود ۱۱٪ وزنی) ، به نظر می رسد قابلیت مطلوبی از فعالیت پوزولانی ثانویه در این نوع پوزولان موجود باشد.

۳. آزمایش‌ها

۳-۱ آزمایش‌های تعیین pH

این آزمایش ها برای تعیین مقدار بهینه آهک انجام شدند. pH نمونه های خاک با درصدهای مختلف آهک (۱٪،۲٪،۳٪و۴٪ وزنی خاک) اندازه گیری شده ونتایج در شکل ۵ آورده شده اند. لازم به ذکر است که pH اولیه خاک نوع K برابر ۸/۸ و pH اولیه خاک نوع G برابر ۷/۸ بوده است [۵].

واکنش های پوزولانی در pH حدود۱۲/۵ انجام می شوند و با در نظرگرفتن نتایج نمودار ۵ برای خاک نوع K از۳٪ درصد وزنی و برای خاک نوع G از ۴٪ درصد وزنی پودر آهک هیدراته (عبوری از الک ۱۰۰) در همه آزمایش های بعدی استفاده خواهد شد.

۳-۲ آزمایش‌های تراکم

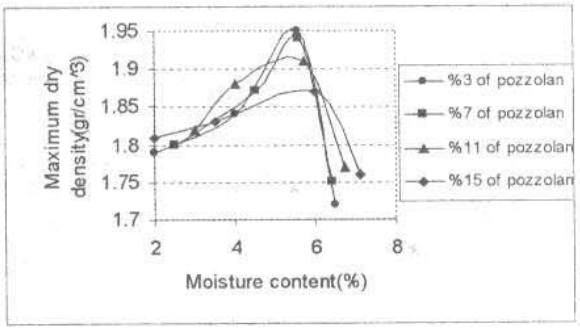
این آزمایش ها به منظور تعیین مقدار بهینه رطوبت برای دستیابی به حداکثر وزن مخصوص خشک خاک با توجه به مقدار بهینه آهک (تعیین شده در بخش ۲-۱) ودرصدهای مختلف پوزولان (۳٪،۷٪،۱۱٪و۱۵٪ وزنی خاک) انجام شدند و نتایج آنها در شکل های ۶ و ۷ نشان داده شده اند [۶].

برای مصرف پوزولان و آهک در ساخت تمامی نمونه ها از پودر پوزولان (عبوری از الک ۲۰۰) و پودر آهک هیدراته (عبوری از الک ۱۰۰) استفاده شده

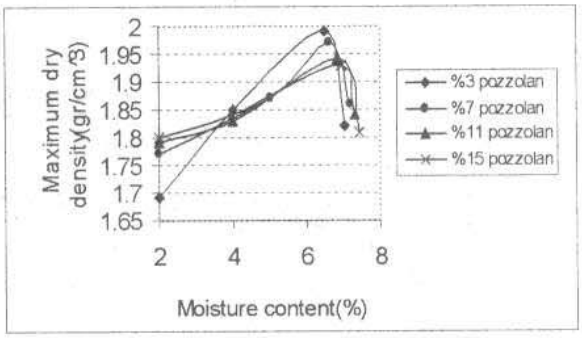
همان گونه که مشاهده می شود مقدار رطوبت بهینه برای هر درصد پوزولان بطور جداگانه مشخص شده است به طریقی که با افزایش درصد پوزولان مقدار حداکثر چگالی خشک کاهش و رطوبت بهینه افزایش یافته است. علت آن نرمی زیاد پوزولان مصرفی است که با افزایش درصد آن در نمونه ها، جذب آب سطحی توسط ذرات پوزولان افزایش یافته است. با افزایش رطوبت، آب با وزن حجمی کمتر جای ذرات خاک با وزن حجمی بیشتر را می گیرد. این مساله باعث کاهش حداکثر چگالی خشک خاکهای آزمایشی شده است. دامنه تغییرات رطوبت بهینه برای درصدهای مختلف پوزولان برای خاک K بین ۵/۵٪ تا ۶٪بوده است. همچنین برای خاک G رطوبت بهینه بین ۶/۵٪ تا ۷٪ مشاهده می شود.

www.SID.ir

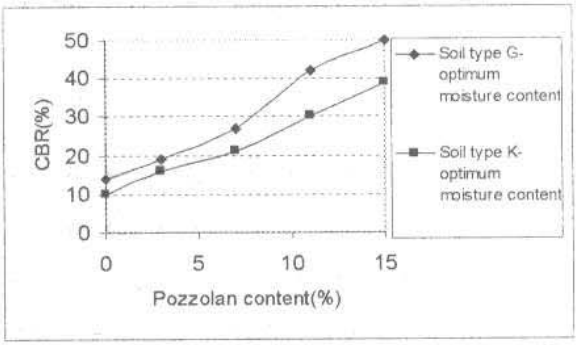
Archive of SID



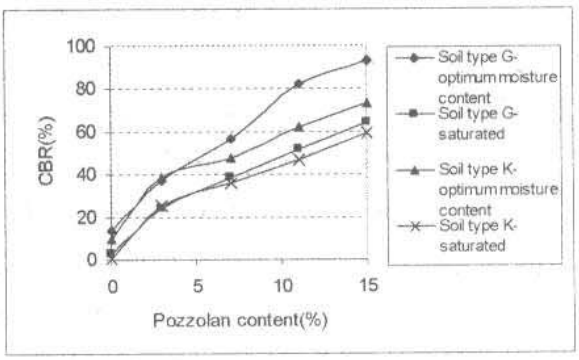
شکل٦. رابطه بین درصد پوزولان مصرفی و حداکثر چگالی خشک خاک نوع K



شکل۷. رابطه بین درصد پوزولان مصرفی و حداکثر چگالی خشک خاک نوع G



شکل۸. رابطه بین درصد پوزولان مصرفی و نسبت باربری کالیفرنیا (۷روزه)



شکل ۹. رابطه بین درصد پوزولان مصرفی و نسبت باربری کالیفرنیا (۱٤روزه)

۳-۳ آزمایش های نسبت باربری کالیفرنیا(CBR)

آزمایش های CBR به دو صورت عمل آوری شده با رطوبت بهینه ودر حالت اشباع با زمانهای عمل آوری۷،۱۴،۲۸ و۶۰ روزه انجام شده اند. تراکم نمونه ها با رطوبت بهینه و به روش آشتوی اصلاح شده انجام گردیده است. همچنین مقدار آهک مصرفی در نمونه ها برابر مقدار بهینه بوده است. نمونه های CBR تر پس از طی زمان عمل آوری به منظور اشباع شدن به مدت ۴ روز تحت سربار ۵/۸ کیلوگرم ، زیر آب قرار گرفته و در این مدت مقدار تورم آنها محاسبه شد. با توجه به دانه ای بودن خاکهای مصرفی مقدار این تورم ناچیز بوده که درنظر قرار نگرفته است. نتایج به دست آمده به صورت مقدار CBR در برابر درصد پوزولان مصرفی در زمانهای عمل آوری مختلف در دو حالت رطوبت بهینه واشباع در شکل های ۸ تا ۱۱ آورده شده اند

۳-۴ آزمایش های مقاومت فشاری تک محوری

این آزمایش ها بروی نمونه هایی به قطر ۵ سانتیمتر و طول ۱۰ سانتیمتر (با نسبت ارتفاع به قطر برابر ۲) با درصدهای آهک، پوزولان و رطوبت ذکر شده در مرحله قبل و طی زمانهای عمل آوری۷،۱۴،۲۸ و ۶۰ روزه انجام شده اند.

نمودارهای به دست آمده به صورت مقاومت فشاری تک محوری در برابر درصد پوزولان مصرفی در دو حالت رطوبت بهینه و اشباع در شکل های۱۲ تا ۱۵ مشخص شده اند [۸].

۴. بحث و تحلیل نتایج

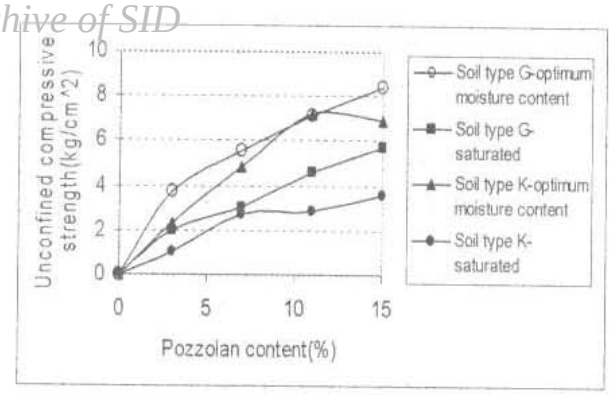
۴-۱ اثر درصد پوزولان بر روند کسب مقاومت وخصوصیات خاکهای آزمایشی

با افزایش درصد پوزولان در نمونه های آزمایشی، مقدار رطوبت بهینه افزایش یافته است. همچنین تغییرات درصد پوزولان در ساخت نمونه ها باعث تغییراتی در مقدار و روند کسب مقاومت در این نمونه ها شده است که به صورت زیر بیان می شود.

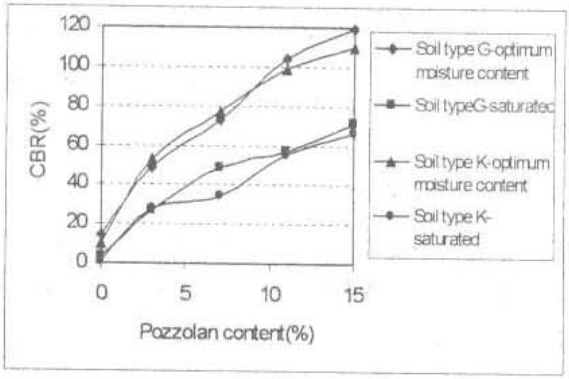
چنان که از نمودارهای CBR و مقاومت فشاری تک محوری مشخص است، با مصرف ۳٪ پوزولان جهش مقاومتی خوبی در نمونه ها ایجاد شده و این روند تا مصرف پوزولان ۷٪ ادامه پیدا کرده است. اما با افزایش درصد پوزولان مصرفی به ۱۱٪ و ۱۵٪ این روند صعودی ادامه پیدا نکرده و شیب منحنی های مقاومت فشاری تک محوری و نسبت باربری کالیفرنیا ملایم تر شده است. این مطلب بیانگر وجود سقف تاثیر درصد پوزولان در تثبیت این مصالح است که با گذشتن از این حد، افزایش چندانی در مقاومت نمونه ها نخواهیم داشت [۹].

www.SID.ir

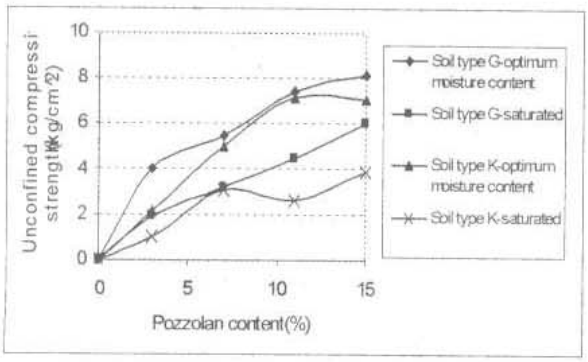
Archive of SID



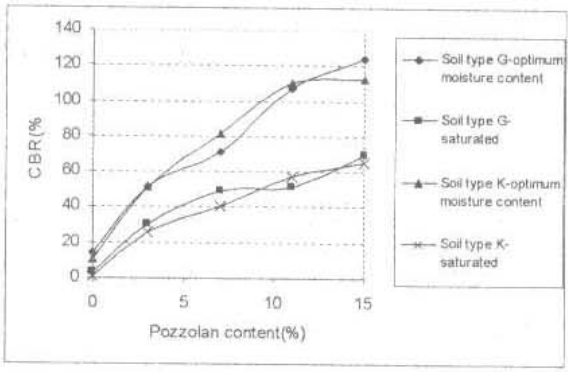
شکل ۱۴. رابطه بین درصد پوزولان مصرفی و مقاومت فشاری تک محوری (۲۸ روزه)



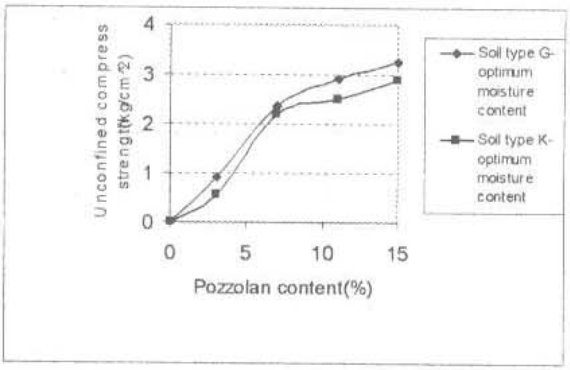
شکل ۱۰. رابطه بین درصد پوزولان مصرفی و نسبت باربری کالیفرنیا (۲۸روزه)



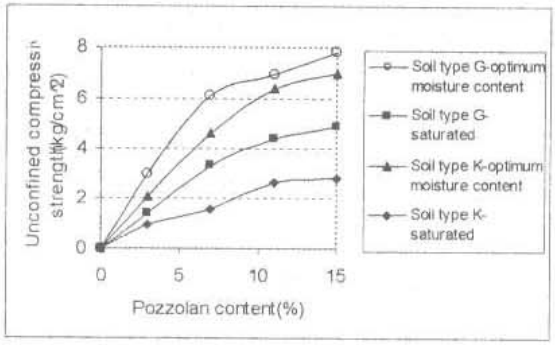
شکل ۱۵. رابطه بین درصد پوزولان مصرفی و مقاومت فشاری تک محوری (۶۰ روزه)



شکل ۱۱. رابطه بین درصد پوزولان مصرفی و نسبت باربری کالیفرنیا (۶۰ روزه)



شکل ۱۲. رابطه بین درصد پوزولان مصرفی و مقاومت فشاری تک محوری (۷ روزه)



شکل ۱۳. رابطه بین درصد پوزولان مصرفی و مقاومت فشاری تک محوری (۱۴ روزه

۴-۲ تاثیر زمان عمل‌آوری بر مقاومت خاک‌های آزمایشی

با توجه به نمودارهای مقاومت فشاری تک محوری و نسبت باربری کالیفرنیا، تاثیر زمان عمل آوری در افزایش مقاومت نمونه ها دارای حد مشخصی است، به طوری که بعد از عبور از این حد نقش زمان عمل آوری در افزایش مقاومت خاکهای آزمایشی کمرنگ می شود. با توجه به نمودارهای فوق، این حد برای نمونه های مقاومت فشاری تک محوری ۱۴ روز و برای نمونه های نسبت باربری کالیفرنیا ۲۸ روز است. علت تفاوت زمان عمل آوری مفید در افزایش مقاومت نمونه های تک محوری و CBR را می توان در شرایط نمونه گیری این دو آزمایش و عدم محصور شدگی نمونه های مقاومت فشاری تک محوری دانست.

ادامه روند افزایش مقاومت در زمانهای عمل آوری طولانی تر نشان دهنده این مطلب است که پوزولان مصرفی دارای فعالیت پوزولانی ۲ مرحله ای به صورت زیر است:

www.SID.ir

Archive of SID

۴-۲-۱ فعالیت پوزولانی اولیه

دراین مرحله عناصر SiO_2 موجود در پوزولان با آهک موجود در محیط واکنش پیدا کرده و باعث به وجود آمدن گیرش و مقاومت اولیه می شوند.(مربوط به زمانهای عمل آوری کوتاه تر)

۴-۲-۲ فعالیت پوزولانی ثانویه

دراین مرحله عناصر Al_2O_3 موجود در پوزولان با باقیمانده آهک موجود در محیط واکنش پیدا کرده و افزایش مقاومت ثانویه را به وجود می آورند. (مربوط به زمانهای عمل آوری طولانی تر) علت این که در زمانهای عمل آوری کمتر افزایش مقاومت نمونه ها روند تند تری داشته و با افزایش زمان عمل آوری این روند کند تر شده، این است که عناصر SiO_2 موجود در پوزولان مصرفی نسبت به عناصر Al_2O_3، هم از لحاظ مقدار بیشترند و هم زودتر وارد واکنش می شوند. با توجه به مطالب فوق آشکار است که در صورت نیاز به گیرش سریع و کسب مقاومت در زمانهای کوتاه تر برای کار تثبیت، باید از پوزولانی با درصد SiO_2 زیاد و Al_2O_3 کم، مانند دوده سیلیس استفاده کرد، در حالی که اگر زمان گیرش و کسب مقاومت مورد نظر نباشد، می توان از پوزولانی که SiO_2 کمتری داشته و دارای Al_2O_3 نیز هست، مانند پوزولان مصرفی در این تحقیق استفاده کرد.

بررسی زمان عمل آوری در امر تثبیت بستر، هنگام تعیین زمان مناسب حرکت ماشین آلات راهسازی روی بستر تثبیت شده، بسیار حائز اهمیت است [۱۰].

۵. نتیجه گیری

با توجه به بحث‌های فوق می‌توان نتایج این تحقیق را چنین بیان کرد.

۱- اضافه شدن پوزولان و آهک به خاکهای بسترهای مورد نظر علاوه بر افزایش مقاومت، باعث ایجاد پایداری مناسبی در حالت اشباع در این نوع بسترها می‌شود.

۲- درصد پوزولان مصرفی نقش موثری در تثبیت این نوع خاک ها دارد، به طوری که ایجاد جهش مقاومت در این نوع خاکها از پوزولان مصرفی ۳٪ شروع می‌شود. تاثیر مثبت درصد پوزولان دارای حد خاصی است، به طوری که بین درصد پوزولان مصرفی ۱۱٪ تا ۱۵٪ شیب منحنی‌های افزایش مقاومت کند تر شده است. این مطلب بیانگر این است که در صورت افزایش درصد پوزولان مصرفی (بیش از ۱۵٪) مقاومت نمونه‌ها چندان تغییر نمی‌کند.

۳- زمان عمل آوری نقش موثر و مثبتی درایجاد مقاومت در خاکهای مورد نظر دارد. در عین حال تاثیر مثبت زمان عمل آوری نیز دارای حد خاصی است که بعد از گذشتن از آن روند افزایش مقاومت نمونه‌ها متوقف می‌شود.

۴- با بررسی تاثیر زمان عمل آوری بر روند انجام واکنشهای پوزولانی، مشخص است که بیشترین قسمت این واکنشها در دوره های متوسط عمل آوری انجام شده اند. این مطلب دیدگاه موجود در زمینه لزوم زمان طولانی در انجام این واکنشها را رد می کند.

۵- امکان بررسی قابلیت انجام واکنشهای پوزولانی در هر نوع خاک مورد نظر با استفاده از نتایج تحلیل های XRF و XRD به صورت زیر:

با استفاده از نتایج این تحلیل ها می توان کانیهای شامل عناصر سیلیس و آلومین را از لحاظ مقدار و همچنین چگونگی سیستم تبلور بررسی کرد. اگر خاک مورد نظر دارای کانیهای فوق بوده و طیف پراکنش خاصی نیز نداشته باشد، در صورت اختلاط با آهک، قابلیت انجام واکنشهای پوزولانی را دارد. در غیر این صورت باید با افزودن مواد پوزولانی قابلیت مورد نظر را ایجاد کرد.

۶- با در نظر گرفتن نتایج تحلیل های XRF و XRD (از لحاظ نوع عناصر و سیستم تبلور کانیهای تشکیل دهنده) می‌توان نتایج این تحقیق را به کلیه خاکهای مشابه تعمیم داد.

۷- با توجه به اهمیت مقاومت بستر در تعیین ضخامت روسازه های انعطاف پذیر و نقش آن در خرابی‌های زودرس راه، و همچنین ایجاد مقاومت مناسب در این نوع خاکها می توان با استفاده از مواد افزودنی به اهداف زیر دست یافت:

- کاهش قابل توجه مصرف مصالح اساس و زیر اساس در ساخت روسازه راه
- کاهش هزینه های ساخت مسیر با توجه به افزایش مقاومت بستر
- کاهش خسارات زیست محیطی ناشی از برداشت این مصالح از محل قرضه، به حداقل ممکن

۸- مقدار زیاد مقاومت نمونه های گرفته شده در حالت اشباع (مقدار مقاومت در حالت اشباع شده، حداقل ۵۰٪ مقدار مقاومت در حالت رطوبت بهینه بوده است.) نشانگر پایداری ترکیبات به وجود آمده است.

www.SID.ir

Archive of SID

۶. پیشنهادها

با توجه به نتایج مطرح شده، پیشنهادهای زیر برای تکمیل بحث تثبیت این نوع بسترها ارایه می‌شوند:

۱- برای تکمیل نتایج این تحقیق می توان نحوه تثبیت این خاکها با پوزولان های دیگر مانند خاکستر بادی را بررسی و با نتایج این تحقیق مقایسه کرد.

۲- تکرار آزمایش های انجام گرفته در این تحقیق به صورت در جا بر روی بسترهای تثبیت شده برای بررسی مقدار مقاومت و نحوه تثبیت در محل

۳- تعیین معیاری برای شبیه سازی مقاومت های به دست آمده در آزمایشگاه و مقاومت درجا (در محل) در صورت تثبیت با این روش

۴- ساخت نمونه های مناسب و انجام آزمایش سه محوری دینامیکی به منظور تعیین رفتار دینامیکی خاک تثبیت شده

۷. مراجع

۱- صالحی، محسن، " تثبیت بستر ماسه روان با استفاده از پوزولان در مجاورت آهک" پایان نامه کارشناسی ارشد عمران،راه و ترابری، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۸۳.

2. Ahlbrandt , T.S., and Feryberger.S.,G. (1982) "Introduction to eolian deposits": in P.A Scholle and D. Spearing, eds., "Sandstone depositional environments" American Assoc. Petroleum Geologists Mem..31,p.11-47.

3. ASTM D 421 (1993) " Standard practice for dry preparation of soil sample for particle –size analysis and determination of soil contents.", American Society for Testing and Materials, Vol. 4.08.

4. JCPDS - International Center for Diffraction Data (1995) Standard U.S., PCPDFWIN, v. 2.02.

5. ASTM D 4972 (1993) " Test method for pH of soils". American Society for Testing and Materials, Vol. 4.08.

6. ASTM D 1557 (1993) "Test method for laboratory compaction characteristics of soil using modified effort (56,000 ft-lbf/ft3 [27,000 kN-m/m3)].", American Society for Testing and Materials, Vol. 4.08, p. 227-234.

7. ASTM D 1883 (1993) "Standard test method for CBR (California Bearing Ratio) of laboratory compaction soils." American Society for Testing and Materials, Vol. 4.08.

8. ASTM D 2166 (1993) "Standard test method for unconfined compressive strength of cohesive soil". American Society for Testing and Materials, Vol. 4.08.

9. Massaza,F ., and Costa, U. (1977) "Aspects of the pozzolanic activity and properties of pozzolanic cement.", Report presented at the Informal Seminar on Cement Chemistry, Organized by C.A, in Wexham Spring, U.K.

10. Ramezanianpour, A.A., and Cabrera, J.G. (1989) "The measurement of lime activity of natural and artificial pozzolans.", Proceeding of 2nd. NCB International Seminar ,Vol.4 , New Delhi.

www.SID.ir