بررسی تاثیر میزان سیلیس و آلومین موجود در مواد افزودنی بر روند تثبیت ماسه‌های روان*

ابوالفضل حسنی، استادیار، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
محسن صالحی، دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکدهٔ فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
E-mail:hassani@modares.ac.ir

چکیده

مناطق وسیعی از کشور ایران، شامل دشتهای ماسه روان است که همه ساله حرکت این ماسه‌ها، علاوه بر عوارض اجتماعی و بهداشتی که برای حاشیه نشینان این بسترها ایجاد می‌کند، خسارات مالی جبران ناپذیری نیز برای مسیرهای راه و راه‌آهن موجود و در معرض حرکت این ماسه‌ها به بار می‌آورد. درحال حاضر سطح بیابانها ، کویرها و شنزارهای کشور ۳٤ میلیون هکتار و مراتع فقیر کویری ۱۶ میلیون هکتار بر آورد می شود که از این مقدار ۱۲ میلیون هکتار سطح شنزارهای کشور بوده که ۵ میلیون هکتار آن ماسه ها و شنهای روان و فعال‌اند . بنابراین با سطح وسیعی از این بسترها مواجه هستیم که به‌ناچار در پروژه‌های راه سازی با آنها برخورد می‌کنیم و باید تمهیدات مناسبی برای مقابله با آن اندیشیده شود. در این تحقیق سعی شده که با بکارگیری دو نوع پوزولان با درصدهای سیلیس و آلومین متفاوت، اثر تثبیتی این عناصر را بر خاکهای آزمایشی مورد بررسی قرار دهیم تا تاثیر هر یک از این عناصر بر مقدار مقاومت نهایی و زمان عمل آوری مفید جهت کسب مقاومت در این نوع خاکها مشخص شود.

واژه‌های کلیدی: ماسه‌های روان، تثبیت، مواد افزودنی، پوزولان‌ها

۱. مقدمه

در این تحقیق از ترکیب پوزولان و آهک برای تثبیت خاک‌های حاوی ماسه استفاده شده است. آهک از متداول‌ترین مواد افزودنی برای تثبیت خاکهای مساله‌دار است که تجربیات بسیار زیادی از استفاده آن در نقاط مختلف دنیا وجود دارد. پوزولان نیز یک ماده افزودنی بسیار ارزان و منبع غنی سیلیس و آلومین است. هدف از انجام این تحقیق بررسی چگونگی تاثیر درصد عناصر سیلیسی و آلومین موجود در مواد افزودنی، بر روند تثبیت این خاکهاست [۱]. در این مقاله ابتدا مصالح مصرفی معرفی شده، آزمایش‌های تعیین pH مطلوب واکنشهای پوزولانی در خاکهای مورد نظر (تعیین درصد آهک بهینه) و همچنین آزمایش‌های تعیین حداکثر دانسیته خشک خاک (تعیین درصد رطوبت بهینه) انجام و نتایج منعکس شده‌اند. در مرحله بعدی، آزمایش‌های تعیین چگونگی کسب مقاومت خاکهای تثبیت شده (آزمایش‌های CBR و مقاومت فشاری تک محوری) در برابر درصدهای مختلف پوزولان‌های تراس و دودهٔ سیلیس با زمانهای مختلف عمل‌آوری طبق استانداردهای ذکر شده جهت تعیین میزان مقاومت ایجاد شده در این خاکها انجام شده‌اند. نهایتاً در انتهای مقاله بحث و تحلیل نتایج در زمینه تثبیت این خاکها و نتیجه گیری ارایه می‌شود.

* تاریخ دریافت:۸۳/۱۰/۱۵ - تاریخ پذیرش:۸٤/۷/۱۵

Archive of SID
www.SID.ir

۲. پیشینه تحقیقات و تجربیات کشورهای دیگر

با توجه به تحقیقات انجام شده در نقاط مختلف دنیا، برای تثبیت این بسترها بیشتر روش‌های فیزیکی و زیست محیطی برای جلوگیری از روان شدن این بسترها بکار می‌رود که در زیر به چند نمونه از آنها اشاره می‌شود [2]. اما هدف از تحقیق انجام شده استفاده از پوزولان برای ایجاد مقاومت جهت ساخت راه و ابنیه فنی در این بسترهاست و درصورت فراهم شدن شرایط مناسب برای واکنشهای پوزولانی در هر محیط (با افزودن پوزولان و آهک)، می‌توان باعث ایجاد روند افزایش مقاومت شد[3].

۲-۱ تجربه کشور هندوستان

هندوستان دارای ۲/۳٤ میلیون کیلومتر مربع بیابان داغ است که به زبان محلی به تار (Thar) موسوم است و دارای ویژگیهایی به شرح ذیل است:

- سرعت زیاد و حرکت تپه‌های ماسه‌ای
- تغییرات زیاد درجه حرارت در طی روز
- تابش شدید آفتاب، تبخیر زیاد و بارندگی بسیار کم

۲-۱-۱ استراتژی‌های بیابان زدایی

این استراتژی‌ها در کشور هند شامل ایجاد ایستگاه‌های تحقیقاتی به منظور:

- تثبیت تپه های ماسه ای متحرک
- کاشت گیاهان سازگار و مقاوم در برابر اقلیم منطقه
- احیاء اکولوژیک منطقه و بازسازی زمین‌های ضعیف
- ورود و کشت گونه های سریع الرشد غیر بومی
- احیای اکولوژیکی از طریق قرق کردن
- احیای اکولوژیکی از طریق بذر پاشی هوایی

است.

۲-۲ تجربه کشور چین

کشور چین در زمینهٔ مقابله با بسترهای فوق دارای تجربیاتی به شرح ذیل است:

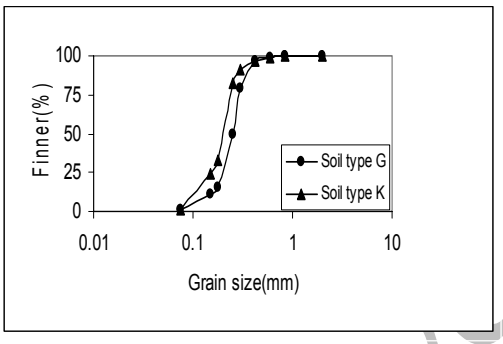
- خارج کردن سیلاب ها از مسیر اصلی خود و پمپاژ آن به مناطق ماسه های روان جهت پخش و رسوب کردن گل و لای آن و چسباندن ذرات ریز ماسه به یکدیگر .
- مسطح نمودن تلماسه ها و اصلاح خاک ماسه ای
- ایجاد کمربندهای سبز حفاظتی

۳. مصالح مصرفی

۳-۱ خاکهای مصرفی

در این تحقیق دو نوع خاک ماسه‌ای از مناطق کویری استفاده شده‌اند. خاک نوع K از اطراف کاشان با طول جغرافیایی ۵۱/۵ درجه و عرض ۳٤ درجه و خاک نوع G از اطراف گرمسار با طول جغرافیایی ۵۲/۵ درجه و عرض ۳۵ درجه تهیه شده است (در این تحقیق منظور از خاک نوع K، ماسه تهیه شده از اطراف کاشان و منظور از خاک نوع G، ماسه تهیه شده از اطراف گرمسار است.) [۱].

برای شناخت بیشتر نحوه دانه بندی این خاکها، آزمایش دانه بندی طبق استاندارد ASTM D ٤۲۱-۸۷ انجام شده [۳] نتایج آن در شکل ۱ مشخص است.



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

براساس شکل ۱، اکثر ذرات تشکیل دهنده این خاک ها تقریبا هم اندازه بوده و ذرات ریزدانه (رس و لای) در آنها بسیار کم است. به همین علت این نوع خاک‌ها به هیچ وجه دارای خاصیت خمیری نیستند وبنابراین نیازی به انجام آزمایش‌های تعیین حدود اتربرگ ندارند. همچنین علت هم اندازه بودن اکثر ذرات این نوع ماسه ها را می توان درحمل وجابه‌جایی آنها توسط باد دانست.

۳-۲ پوزولان‌های مصرفی

در این تحقیق دو نوع پوزولان مورد استفاده قرار گرفتند. در آزمایش‌های سری اول از پوزولان سنگ تراس جاجرود (با سطح مخصوص $۹۷۰۰\ Cm^2/gr$) و در آزمایش‌های سری دوم از پوزولان دودهٔ سیلیس (با سطح مخصوص $۲۰۰۰۰\ Cm^2/gr$) استفاده شد. سطح مخصوص پوزولان‌های مصرفی به روش بلین از فرمول زیر محاسبه شد:

Archive of SID
www.SID.ir

$$S = k(\sqrt{n^3}\sqrt{t})/(1-n)\rho.\sqrt{\pi} \qquad (1)$$

که در آن:

S = سطح مخصوص پوزولان بر حسب Cm^2/gr

K = ضریب ثابت دستگاه برابر ۲۰/۳۷

n = تخلخل پوزولان مورد آزمایش برابر ۰/۵

t = زمان بر حسب ثانیه

ρ = وزن مخصوص پوزولان بر حسب gr/cm^3

π = لزجت دینامیکی هوا که برابر با poise ۰/۰۰۰۱۸۰۸ است.

لازم به ذکر است هر دو نوع پوزولان، به صورت پودر شده (عبوری از الک نمره ۲۰۰) مصرف شدند[۲]. جدول زیر نوع و درصد وزنی عناصر موجود در پوزولان‌های مصرفی را نشان می‌دهد.

با توجه به سطح مخصوص و عناصر تشکیل دهنده هر دو نوع پوزولان، انتظار می‌رود دودهٔ سیلیس دارای فعالیت پوزولانی بیشتر در مدت زمان کمتری باشد.

٤. آزمایش‌های تراکم

این آزمایش‌ها برای تعیین میزان بهینه رطوبت جهت دستیابی به حداکثر وزن مخصوص خشک خاک با توجه به درصد بهینه آهک (تعیین شده در بخش ۲-۱) و درصدهای مختلف پوزولان (۳٪، ۷٪، ۱۱٪ و ۱۵٪ وزنی خاک) به روش پروکتور اصلاح شده طبق استاندارد ASTM D ۱۵۵۷-۸۷ انجام شد[۵]. دامنه تغییرات رطوبت بهینه برای درصد های مختلف پوزولان برای خاک نوع G بین ٦/۵٪ تا ۷٪ و برای خاک نوع K بین ۵/۵٪ تا ٦/۵٪ بود که در هنگام نمونه‌گیری با درصدهای مختلف پوزولان، میزان بهینه رطوبت در نظر گرفته شده است.

٤-۱ آزمایش‌های نسبت باربری کالیفرنیا (CBR)

٤-۱-۱ نتایج آزمایش‌های CBR با استفاده از پوزولان تراس جاجرود

آزمایشهای CBR طبق استاندارد ASTM D ۱۸۸۳-۸۷ به دو صورت عمل‌آوری شده با رطوبت بهینه و در حالت اشباع با زمان‌های عمل‌آوری مختلف انجام شده است[٦]. تراکم نمونه ها با رطوبت بهینه و به روش آشتوی اصلاح شده انجام گردیده است. همچنین میزان آهک مصرفی در نمونه‌ها مقدار بهینه بوده است. نمونه های CBR تر پس از طی زمان عمل آوری جهت اشباع شدن به مدت ٤ روز تحت سربار ۵/۸ کیلوگرم، زیرآب قرار گرفته و در این مدت میزان تورم آنها بررسی شد. با توجه به دانه ای بودن خاکهای مصرفی و عدم قابلیت تورم آنها مقدار تورم ناچیز بوده و مدنظر قرار نگرفته است. نتایج به دست آمده به صورت رابطه بین درصد CBR و درصد پوزولان مصرفی در زمانهای عمل‌آوری مختلف در دو حالت رطوبت بهینه و اشباع در شکل‌های ۲ تا ۵ آمده است.

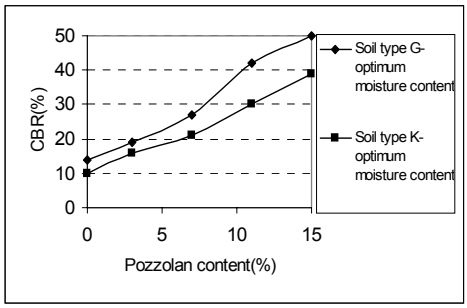
٤-۱-۲ نتایج آزمایش‌های CBR با استفاده از پوزولان دودهٔ سیلیس

جهت بررسی تاثیر استفاده از پوزولانی با درصد سیلیس و آلومین متفاوت نسبت به پوزولان تراس جاجرود، پوزولان دودهٔ سیلیس انتخاب شد. همان طور که از نتایج آنالیزXRF مشخص است (جدول ۱)، این پوزولان دارای سیلیس زیاد و آلومین ناچیز است. این آزمایشها طبق استاندارد ASTM D ۱۸۸۳-۸۷ با درصد رطوبت و آهک بهینه، زمان‌های عمل آوری ۷، ۲٤ و ۲۸ روزه، در شرایط رطوبتی تر و خشک و درصد پوزولان دودهٔ سیلیس مصرفی ۳٪ و۷٪ انجام شدند[8]. نتایج این آزمایش‌ها در شکل‌های ٦ و ۷ آمده است.

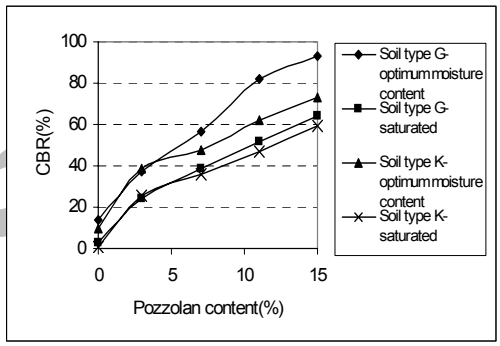
جدول ۱. نتایج تحلیل XRF انجام شده بر روی پوزولان تراس جاجرود و دودهٔ سیلیس مصرف شده

(%)	LOI	Na_2O	M_gO	Al_2O_3	SiO_2	P_2O_5	So_3	K_2O
پوزولان دودهٔ سیلیس	۰/۰۳۵	۰/۰۵	۰/۱۷	۰/۳	۹۸	-	-	۰/۰۴
پوزولان تراس جاجرود	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
پوزولان دودهٔ سیلیس	۰/۱۲	۰/۲۵	-	-	-	-	-	-
پوزولان تراس جاجرود	۵/۴۱۲	۲/۳۴۵	۰/۳۰۲	۰/۱۹۹	-	-	۰/۱۱۸	-

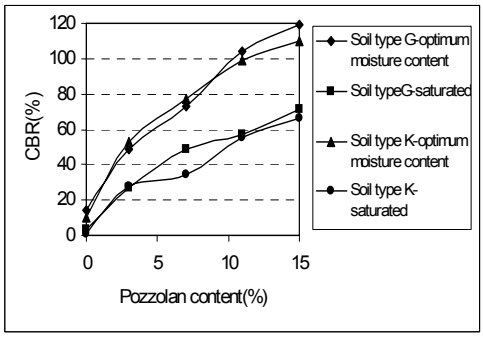
Archive of SID
www.SID.ir



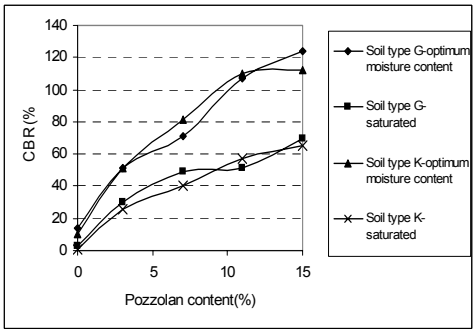
شکل۲. رابطه بین درصد پوزولان مصرفی و نسبت باربری کالیفرنیا (۷روزه)



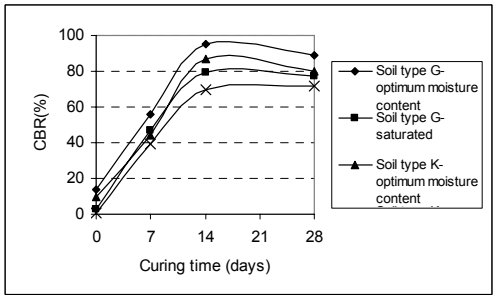
نمودار۳. رابطه بین درصد پوزولان مصرفی و نسبت باربری کالیفرنیا (۱٤روزه)



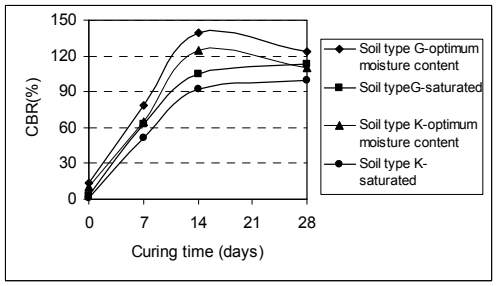
نمودار٤. رابطه بین درصد پوزولان مصرفی و نسبت باربری کالیفرنیا (۲۸روزه)



نمودار۵. رابطه بین درصد پوزولان مصرفی و نسبت باربری کالیفرنیا (٦۰ روزه)



شکل٦. رابطه بین نسبت باربری کالیفرنیا و زمان عمل آوری (۳٪ پوزولان مصرفی)



نمودار ۷. رابطه بین نسبت باربری کالیفرنیا و زمان عمل آوری (۷٪ پوزولان مصرفی)

۵. آزمایش‌های مقاومت فشاری تک محوری

۵-۱ نتایج آزمایش‌های مقاومت فشاری تک محوری با استفاده از پوزولان تراس جاجرود

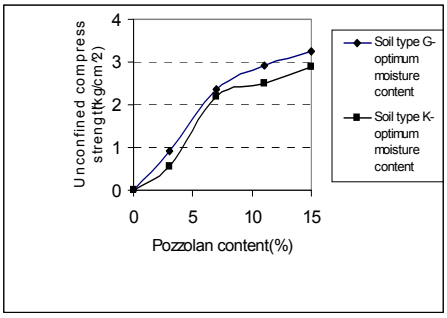
این آزمایش‌ها با نمونه‌هایی به قطر ۵ و طول ۱۰ سانتی‌متر (نسبت ارتفاع به قطر برابر با ۲) طبق استاندارد ASTM D ۲۱٦٦-۸۷ با درصدهای آهک و رطوبت بهینه و همچنین درصدهای پوزولان (تراس جاجرود) ۳٪، ۷٪، ۱۱٪و ۱۵٪ وزنی خاک برای هر دو نوع خاک K و G با زمان‌های عمل آوری مختلف انجام شدند [7].

نتایج به دست آمده به صورت نمودارهای مقاومت فشاری تک محوری(بر حسب Kg/cm^2) در برابر درصد پوزولان مصرفی در شکلهای ۸ تا ۱۱ آمده است.

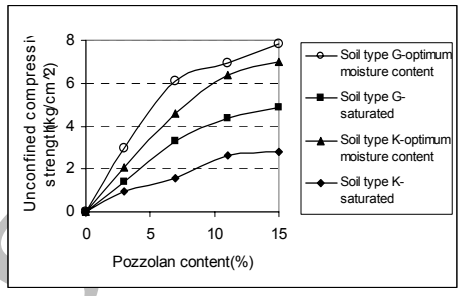
لاز م به ذکر است که جهت اشباع شدن، نمونه ها به مدت ٤ روز در زیر آب در دمای آزمایشگاه نگهداری شده‌اند.

Archive of SID

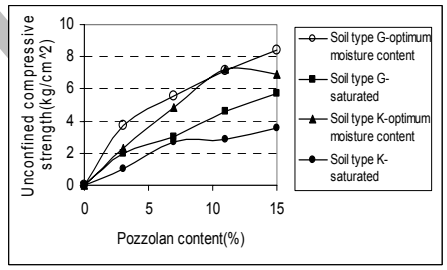
www.SID.ir



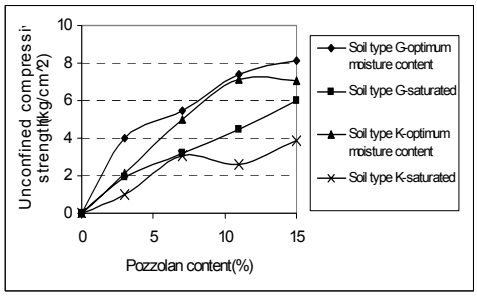
شکل۸. رابطه بین درصد پوزولان مصرفی و مقاومت فشاری تک محوری (۷ روزه)



شکل ۹. رابطه بین درصد پوزولان مصرفی و مقاومت فشاری تک محوری (۱٤ روزه)



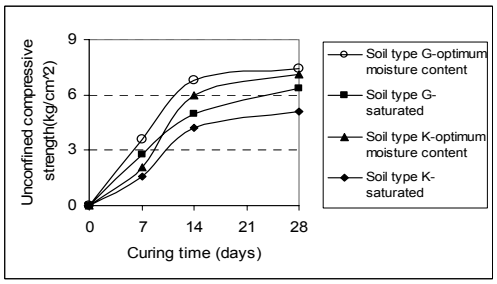
شکل ۱۰. رابطه بین درصد پوزولان مصرفی و مقاومت فشاری تک محوری (۲۸ روزه)



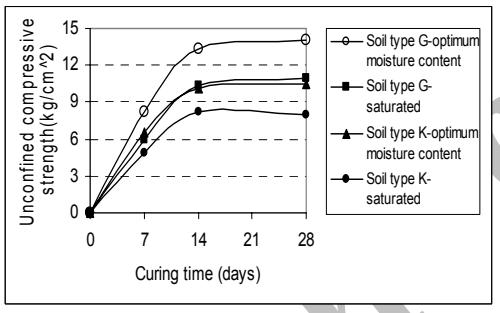
شکل ۱۱. رابطه بین درصد پوزولان مصرفی و مقاومت فشاری تک محوری (٦۰ روزه)

۲-۵ نتایج آزمایشهای مقاومت فشاری تک محوری با استفاده از پوزولان دودهٔ سیلیس

در این مرحله نیز جهت بررسی تاثیر استفاده از پوزولانی با درصد سیلیس و آلومین متفاوت نسبت به پوزولان تراس جاجرود، پوزولان دودهٔ سیلیس انتخاب شد. این آزمایشها طبق استاندارد ASTM D ۲۱٦٦-۸۷ با درصد رطوبت و آهک بهینه نمونه‌گیری و طی زمانهای ۷، ۱٤ و ۲۸ روز عمل‌آوری مورد آزمایش قرار گرفت [7]. لازم به ذکر است درصد پوزولان مصرفی در این نمونه‌ها ۳٪ و ۷٪ وزنی خاک بوده و نمونه‌ها پس از عمل آوری به صورت خشک و اشباع شده در آب به مدت ٤ روز، تحت آزمایش قرار گرفتند.نتایج این آزمایش‌ها در شکل‌های ۱۲ و ۱۳ نشان داده می‌شوند.



نمودار۱۲. رابطه بین مقاومت فشاری تک محوری و زمان عمل آوری(۳٪ پوزولان مصرفی)



شکل ۱۳. رابطه بین مقاومت فشاری تک محوری و زمان عمل آوری(۷٪ پوزولان مصرفی)

٦. بحث و تحلیل نتایج

٦-۱ تحلیل نتایج حاصل ازکاربرد پوزولان تراس‌جاجرود

تغییرات درصد پوزولان در ساخت نمونه‌ها باعث تغییراتی در مقدار و روند کسب مقاومت در این نمونه ها شده است. اضافه کردن حداقل پوزولان به نمونه ها (۳٪) باعث جهش خوبی در مقاومت نمونه ها شده است. مقدار CBR برای ۳٪ پوزولان مصرفی در حالت رطوبت بهینه، با زمان عمل آوری ۷ روزه رشد متوسطی داشته و با افزایش زمان عمل‌آوری تا ۲۸ روز رشد درصد CBR نسبت به حالت طبیعی روند صعودی سریع‌تری پیدا کرده است. این در حالی است که با افزایش درصدپوزولان مصرفی از ۳٪ به ۷٪ و ۱۱٪ روند رشد درصد CBR همچنان ادامه پیدا

Archive of SID

www.SID.ir

کرده است. در حالی که با تغییر درصد پوزولان از ۱۱٪ به ۱۵٪ روند رشد درصد CBR کندتر شده است. همچنین با تغییر زمان عمل آوری از ۲۸ روز به ٦۰روز، رشد درصد CBR در درصدهای مختلف پوزولان مصرفی (مخصوصا بعد از ۳٪ تا ۱۵٪) کندتر شده است. برای حالت اشباع (عمل آوری شده با رطوبت بهینه و اشباع شده در آب به مدت ٤ روز) روند رشد درصد CBR نسبت به حالت طبیعی سریع‌تربوده است، زیرا مقاومت های CBR به دست آمده در حالت اشباع و بدون مصرف پوزولان برای خاک نوع K برابر با ۱٪ و برای خاک نوع G برابر با ۳٪ بوده و بعد از مصرف درصدهای مختلف پوزولان رشد چشمگیری داشته است[9].

با افزایش درصد پوزولان مصرفی مقاومت فشاری تک محوری نیز رشد صعودی داشته است. این در حالی است که این روند صعودی، بعد از مصرف ۷٪ پوزولان به مراتب کندتر شده است. روند کسب مقاومت فشاری تک محوری نسبت به مقاومت CBR نمونه‌ها، از نظر مهندسی حائز اهمیت بیشتری است و توجیه آن این است که خاکهای مصرفی در ابتدا هیچ گونه مقاومتی نداشته و به علت دانه‌ای بودن و عدم چسبندگی بین ذرات، این نوع خاکها دارای مقاومت فشاری تک محوری صفر هستند و ایجاد مقاومت فشاری در این نوع خاکها بیانگر این مطلب است که واکنش‌های پوزولانی مربوطه به خوبی انجام شده و روند کسب مقاومت، موفقیت آمیز بوده است[8].

با توجه به نکات ذکر شده، پوزولان تراس جاجرود که دارای ٦۵٪ سیلیس و حدود ۱۱٪ آلومین است، مقاومت‌های مناسبی را در زمان‌های عمل‌آوری متوسط (تا ۲۸ روزه) ایجاد کرده است.

٦-۲ تحلیل نتایج حاصل از کاربرد پوزولان دودهٔ سیلیس

روند ایجاد مقاومت در نمونه‌های مورد نظر تا ۷ روز اول عمل آوری رشد صعودی خوبی داشته در حالی که این روند رشد بعد از ۷ روز و تا زمان رسیدن به ۱٤ روز، کاهش یافته اما همچنان بر مقاومت نمونه‌ها اضافه شده است.

بنابراین نقطه عطف این منحنی‌ها در زمان عمل‌آوری بین ۱۱ تا ۱۳ روز اتفاق افتاده است. بعد از ۱٤ روز تا زمان رسیدن به ۲۸ روز این روند کاملا ثابت مانده و متوقف شده است. بنابراین زمان فعالیت پوزولانی این پوزولان (دودهٔ سیلیس) در خاکهای مورد نظر حداکثر ۱٤ روز است و بعد از آن بر مقاومت نمونه‌ها افزوده نمی‌شود.

نکته مورد توجه دیگر ایجاد مقاومت بیشتر با درصدهای کمتر توسط پوزولان دودهٔ سیلیس در خاکهای مورد نظر است. لازم به ذکر است که با درصد پوزولان دودهٔ سیلیس ۳٪، مقاومتی در حدود مقاومت نمونه‌های با پوزولان تراس جاجرود با درصد وزنی ۷٪ ایجاد شده است. همچنین با مصرف دودهٔ سیلیس ۷٪ مقاومت ایجاد شده تقریبا در حد مقاومت پوزولان تراس جاجرود با درصدهای ۱۱٪ و ۱۵٪ بوده است. این مطلب بیانگر فعالیت پوزولانی زیاد دودهٔ سیلیس است که با توجه به تحلیل‌های XRD انجام گرفته قابل پیش بینی بود. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که با مصرف پوزولانی دارای درصد زیاد سیلیس به صورت آمورف می‌توان رده مقاومتی بیشتری در زمان کمتر نسبت به پوزولان‌های معمولی (تراس جاجرود) ایجاد کرد[8].

همچنین مقاومت زیاد نمونه‌های آزمایشی در شرایط اشباع، حاکی از سختی و پایداری ترکیبات ایجاد شده است. مقاومت اشباع نمونه‌ها نسبت به حالت خشک حدود ۷۰٪ تا ۷۵٪ است.

۷. نتیجه گیری

۱- ایجاد زمینه لازم جهت بررسی تاثیر میزان سیلیس و آلومین فعال بر روند تثبیت خاکهای مورد نظر با توجه به نوع پوزولانهای مصرفی:

با توجه به استفاده از دو نوع پوزولان با درصدهای مختلف سیلیس و آلومین در تثبیت این خاکها می‌توان تاثیر این عناصر را بر خاکهای آزمایشی از لحاظ مقدار نهایی مقاومت ایجاد شده و چگونگی روند ایجاد مقاومت در طول دوره‌های عمل آوری مختلف بررسی کرد.

۲- بررسی تاثیر میزان سیلیس موجود در پوزولان ها بر مقدار مقاومت نهایی ایجاد شده در این نوع خاکها:

با توجه به نمودارهای حاصل از نتایج آزمایش‌ها (انجام شده بر روی هر دو نوع خاک مصرفی)، پوزولان دودهٔ سیلیس که دارای درصد بیشتری سیلیس فعال نسبت به پوزولان تراس جاجرود است، با درصدهای وزنی یکسان، مقاومت بیشتر اما در زمان کمتری را در این نوع خاکها ایجاد کرده است.

۳- بررسی تاثیر میزان آلومین موجود در پوزولانها بر مقدار مقاومت در زمانهای عمل آوری مختلف:

چنان که از نتایج این آزمایش‌ها مشخص است میزان آلومین قابل مشارکت در واکنش های پوزولانی درمقدار مقاومت نهایی و به خصوص در زمان عمل آوری (مربوط به فعالیت پوزولانی ثانویه)

Archive of SID
www.SID.ir

تاثیر بسزایی دارد. به عنوان مثال تراس جاجرود نسبت به دودهٔ سیلیس با درصد وزنی یکسان، مقاومت کمتری در زمان عمل آوری بیشتر در این نوع خاکها ایجاد کرده است.

٤- بررسی تاثیر میزان سیلیس و آلومین موجود در پوزولانها بر زمان عمل آوری مفید در این نوع خاکها:

با توجه به نتایج آزمایش‌ها، زمان عمل آوری مفید برای تثبیت این نوع خاکها (زمانی که بعد از آن مقدار مقاومت تغییر چندانی ندارد)، در حالت استفاده از پوزولان تراس جاجرود ۲۸ روز و برای پوزولان دودهٔ سیلیس ١٤ روز است.

٥- بررسی تاثیر میزان سیلیس و آلومین موجود در پوزولانها بر مقدار و روند افزایش مقاومت در حالت اشباع در این نوع خاکها:

مقاومت نسبتا زیاد نمونه‌های آزمایشی در شرایط اشباع، نشانگر سختی و پایداری خوب ترکیبات ایجاد شده است. لازم به ذکر است که مقاومت اشباع نمونه‌ها نسبت به حالت خشک حدود ۷۰٪ تا ۷۵٪ است.

٦- در نهایت با جمع بندی مطالب فوق می‌توان برای پوزولان تراس جاجرود، فعالیت پوزولانی کمتر و زمان بیشتر جهت انجام واکنش‌های مربوطه، و همچنین برای پوزولان میکروسیلیس فعالیت پوزولانی بیشتر در زمان کمتر را بیان نمود.

۸. مراجع

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

2. 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.CA In Wexham Spring U.K.

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 Materials, Philadelphia, Vol. 4.08.

4. ASTM D 4972 (1993) "Standard test method for pH of soils", American Society for Testing Materials, West Conshohocken, Pennsylvania, Vol. 4.08.

5. ASTM D 1557 (1993) "Standard 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 Materials, Philadelphia, Vol. 4.08, pp. 227-234.

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

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

8. Tensor, Sub grade Improvement: Construction Over Soft Soils , Tensar Earth Tecnologies Inc., WWW.TENSARCORP.com ,2000.

9. Tensar Technical Note BR10 (1998): "Chemical and mechanical stabilization of subgrades and flexible pavement sections", Tensar Earth Technologies Inc., In WWW.TENSARCORP.com,

10. Abrol, IP. and Venkatesvarlu, J. (1995) "Sustainable development of arid areas in India with particular reference to western Rajesthan", In "Land Degradation and Desertification in Asia and the Pacific Region (Eds., A.K. Sen and Amal Kar)", Scientific Publishers, Jodhpur, pp.135-153

Archive of SID

www.SID.ir