

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، دانشکده 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 راه آهن موجود و در معرض حرکت این ماسه‌ها به بار می‌آورد. در حال حاضر سطح بیابانها، کویرها و شنزارهای کشور ۳۴ میلیون هکتار و مراتع فقیر کویری ۱۶ میلیون هکتار بر آورد می‌شود که از این مقدار ۱۲ میلیون هکتار سطح شنزارهای کشور بوده که ۵ میلیون هکتار آن ماسه‌ها و شنهای روان و فعال اند. بنابراین با سطح وسیعی از این بسترها مواجه هستیم که به ناچار 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

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 دوده 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 ارائه می‌شود.

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

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 در صورت 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 ۲/۳۴ 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، تیخیر زیاد و بارندگی بسیار کم

۲-۱-۱ استراتژی‌های بیابان زدایی

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

- تثبیت تپه‌های ماسه‌ای متحرک
 - کاشت گیاهان سازگار و مقاوم در برابر اقلیم منطقه
 - احیاء اکولوژیک منطقه و بازسازی زمین‌های ضعیف
 - ورود و کشت گونه‌های سریع‌الرشد غیر بومی
 - احیای اکولوژیکی از طریق قرق کردن
 - احیای اکولوژیکی از طریق بذر پاشی هوایی
- است.

۲-۲ تجربه کشور چین

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

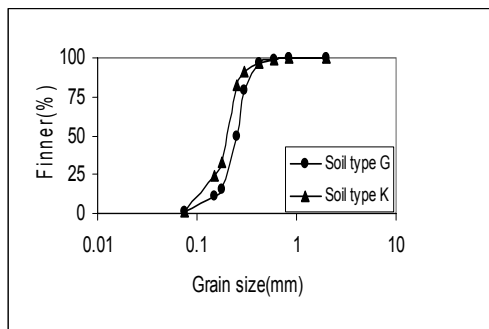
- خارج کردن سیلاب‌ها از مسیر اصلی خود و پمپاژ آن به مناطق ماسه‌های روان جهت پخش و رسوب کردن گل و لای آن و چسباندن ذرات ریز ماسه به یکدیگر.
- مسطح نمودن تلماسه‌ها و اصلاح خاک ماسه‌ای
- ایجاد کمربندهای سبز حفاظتی

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 ۳۴ 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 ۴۲۱-۸۷ 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 خاک‌ها تقریباً 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 و بنابراین نیازی به انجام آزمایش‌های تعیین حدود اتبرگ ندارند. همچنین علت هم اندازه بودن اکثر ذرات این نوع ماسه‌ها را می‌توان در حمل و جابه‌جایی 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 $9700 \text{ gr} / \text{Cm}^2$) و در آزمایش‌های سری دوم از پوزولان دوده سیلیس (با سطح مخصوص $20000 \text{ gr} / \text{Cm}^2$) استفاده شد. سطح مخصوص پوزولان‌های مصرفی به روش بلین از فرمول زیر محاسبه شد:

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

۴-۱ آزمایش‌های نسبت باربری کالیفرنیا (CBR)

۴-۱-۱ 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 [۶]. تراکم نمونه‌ها با رطوبت بهینه و به روش آشتوی اصلاح شده انجام گردیده است. همچنین میزان آهک مصرفی در نمونه‌ها مقدار بهینه بوده است. نمونه‌های CBR تر پس از طی زمان عمل‌آوری جهت اشباع شدن به مدت ۴ روز تحت سربار ۵/۸ کیلوگرم، زیرآب قرار گرفته و در این مدت میزان تورم آنها بررسی شد. با توجه به دانه‌ای 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.

۴-۱-۲ نتایج آزمایش‌های CBR با استفاده از پوزولان

دوده سیلیس

جهت بررسی تاثیر استفاده از پوزولانی با درصد سیلیس و آلومین متفاوت نسبت به پوزولان تراس جاجرود، پوزولان دوده سیلیس انتخاب شد. همان‌طور که از نتایج آنالیز XRF 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 عمل‌آوری ۷، ۲۴ و ۲۸ روزه، در شرایط رطوبتی تر و خشک و درصد پوزولان دوده سیلیس مصرفی ۳٪ و ۷٪ انجام شدند [۸]. نتایج این آزمایش‌ها در شکل‌های ۶ و ۷ آمده است.

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

$\rho =$ وزن مخصوص پوزولان بر حسب gr/cm^3

$\pi =$ لزجت دینامیکی هوا که برابر با ۰/۰۰۰۱۸۰۸ poise 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.

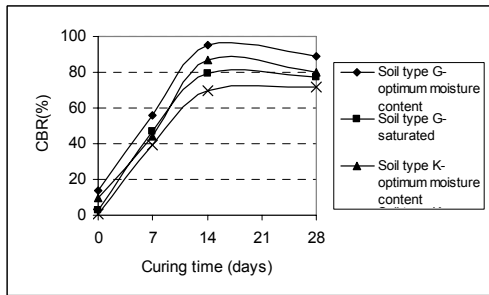
با توجه به سطح مخصوص و عناصر تشکیل دهنده هر دو نوع پوزولان، انتظار می‌رود دوده سیلیس دارای فعالیت پوزولانی بیشتر در مدت زمان کمتری باشد.

۴. آزمایش‌های تراکم

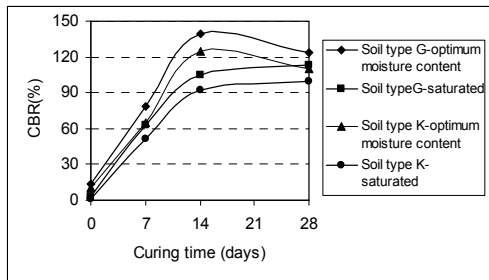
این آزمایش‌ها برای تعیین میزان بهینه رطوبت جهت دستیابی به حداکثر وزن مخصوص خشک خاک با توجه به درصد بهینه آهک (تعیین شده در بخش ۲-۱) و درصدهای مختلف پوزولان (۳٪، ۷٪، ۱۱٪ و ۱۵٪ وزنی خاک) به روش پروکتور اصلاح شده طبق استاندارد ASTM D ۱۵۵۷-۸۷ انجام شد [۵]. دامنه تغییرات رطوبت بهینه برای درصدهای مختلف پوزولان برای خاک نوع G بین ۶/۵٪ تا ۷٪ و برای خاک نوع K بین ۵/۵٪ تا ۶/۵٪ بود که در هنگام نمونه‌گیری با درصدهای مختلف پوزولان، میزان بهینه رطوبت در نظر گرفته شده است.

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

K_2O	So_3	P_2O_5	SiO_2	Al_2O_3	M_gO	Na_2O	LOI	(%)
/	-	-		/	/	/	/	
/	/	/	/	/	/	/	/	
Zr	Sr	Zn	Cl	MnO	TiO_2	Fe_2O_3	CaO	(%)
-	-	-	-	-	-	/	/	
-	/	-	-	/	/	/	/	



شکل ۶. رابطه بين نسبت باربرى کالیفرنیا و زمان عمل آوری (۳٪ پوزولان مصرفی)



نمودار ۷. رابطه بين نسبت باربرى کالیفرنیا و زمان عمل آوری (۷٪ پوزولان مصرفی)

۵. آزمایش‌های مقاومت فشاری تک محوری

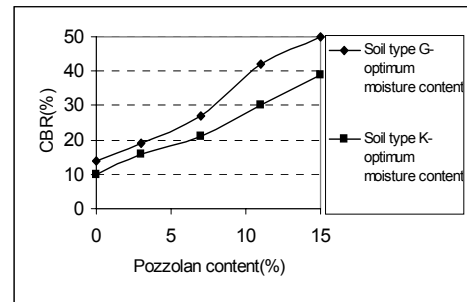
۱-۵ نتایج آزمایش‌های مقاومت فشاری تک محوری با

استفاده از پوزولان تراس جاجرود

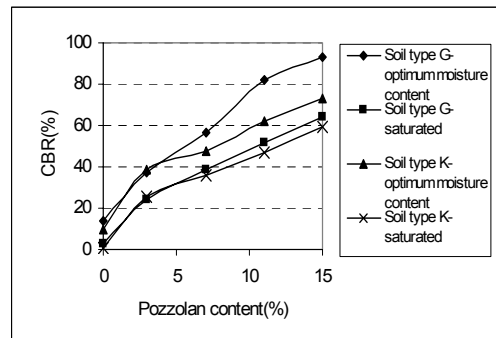
این آزمایش‌ها با نمونه‌هایی به قطر ۵ و طول ۱۰ سانتی‌متر (نسبت ارتفاع به قطر برابر با ۲) طبق استاندارد ASTM D ۲۱۶۶-۸۷ با درصد‌های آهک و رطوبت بهینه و همچنین درصد‌های پوزولان (تراس جاجرود) ۳٪، ۷٪، ۱۱٪ و ۱۵٪ وزنی خاک برای هر دو نوع خاک K و G با زمان‌های عمل آوری مختلف انجام شدند [7].

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.

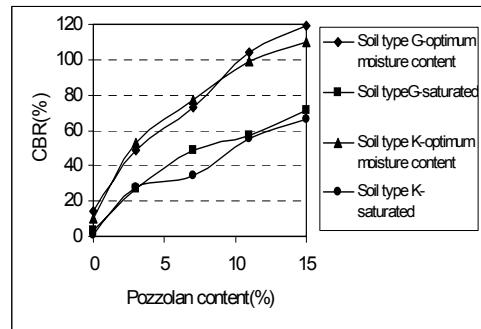
لازم به ذکر است که جهت اشباع شدن، نمونه‌ها به مدت ۴ روز در زیر آب در دمای آزمایشگاه نگهداری شده‌اند.



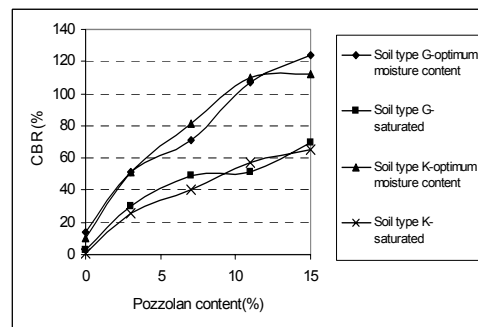
شکل ۲. رابطه بين درصد پوزولان مصرفی و نسبت باربرى کالیفرنیا (۷روزه)



نمودار ۳. رابطه بين درصد پوزولان مصرفی و نسبت باربرى کالیفرنیا (۱۴روزه)

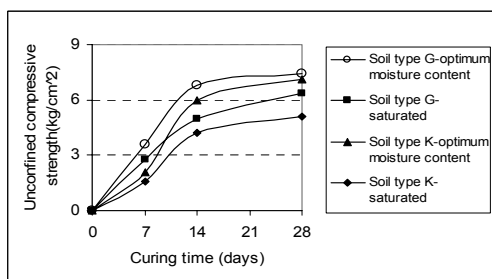


نمودار ۴. رابطه بين درصد پوزولان مصرفی و نسبت باربرى کالیفرنیا (۲۸روزه)

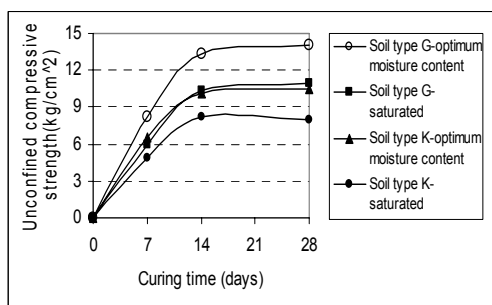


نمودار ۵. رابطه بين درصد پوزولان مصرفی و نسبت باربرى کالیفرنیا (۶۰روزه)

پوزولان دوده سیلیس انتخاب شد. این آزمایشها طبق استاندارد ASTM D ۲۱۶۶-۸۷ با درصد رطوبت و آهک بهینه نمونه‌گیری و طی زمانهای ۰.۷، ۱۴ 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 عمل‌آوری به صورت خشک و اشباع شده در آب به مدت ۴ روز، تحت آزمایش قرار گرفتند. نتایج این آزمایش‌ها در شکل‌های ۱۲ و ۱۳ نشان داده می‌شوند.



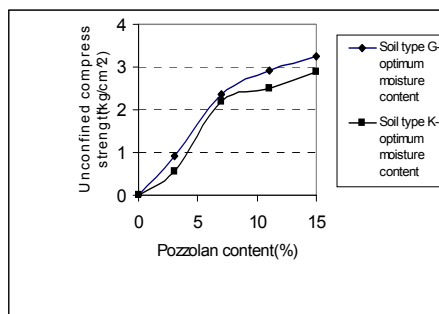
شکل ۱۲. رابطه بین مقاومت فشاری تک محوری و زمان عمل‌آوری (۳٪ پوزولان مصرفی)



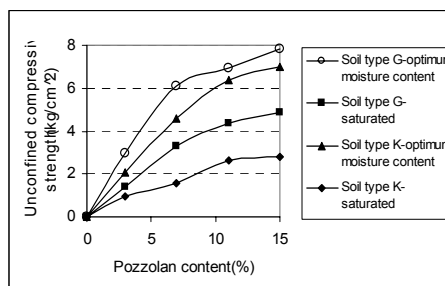
شکل ۱۳. رابطه بین مقاومت فشاری تک محوری و زمان عمل‌آوری (۷٪ پوزولان مصرفی)

۶. بحث و تحلیل نتایج

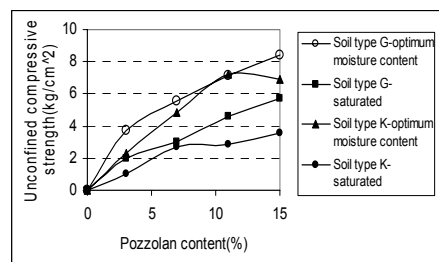
۶-۱ تحلیل نتایج حاصل از کاربرد پوزولان تراس جاجرود تغییرات درصد پوزولان در ساخت نمونه‌ها باعث تغییراتی در مقدار و روند کسب مقاومت در این نمونه‌ها شده است. اضافه کردن حداقل پوزولان به نمونه‌ها (۳٪) باعث جهش خوبی در مقاومت نمونه‌ها شده است. مقدار CBR برای ۳٪ پوزولان مصرفی در حالت رطوبت بهینه، با زمان عمل‌آوری 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 درصد پوزولان مصرفی از ۳٪ به ۷٪ و ۱۱٪ روند رشد درصد CBR همچنان ادامه پیدا



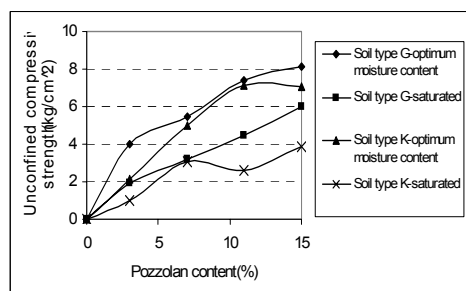
شکل ۸. رابطه بین درصد پوزولان مصرفی و مقاومت فشاری تک محوری (۷ روزه)



شکل ۹. رابطه بین درصد پوزولان مصرفی و مقاومت فشاری تک محوری (۱۴ 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 (۶۰ روزه)

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

در این مرحله نیز جهت بررسی تاثیر استفاده از پوزولانی با درصد سیلیس و آلومین متفاوت نسبت به پوزولان تراس جاجرود،

نکته مورد توجه ديگر ايجاد مقاومت بيشتري با درصدهاي کمتر توسط پوزولان دوده سيليس در خاکهاي مورد نظر است. لازم به ذکر است که با درصد پوزولان دوده سيليس ۳٪، مقاومتی در حدود مقاومت نمونه‌های با پوزولان تراس جاجرود با درصد وزنی ۷٪ ايجاد شده است. همچنين با مصرف دوده سيليس ۷٪ مقاومت ايجاد شده تقريباً در حد مقاومت پوزولان تراس جاجرود با درصدهاي ۱۱٪ و ۱۵٪ بوده است. اين مطلب بيانگر فعاليت پوزولانی زياد دوده سيليس است که با توجه به تحليل‌های XRD انجام گرفته قابل پيش بينی بود. بنا بر اين می‌توان نتيجه گرفت که با مصرف پوزولانی دارای درصد زياد سيليس به صورت آمورف می‌توان رده مقاومتی بيشتري در زمان کمتر نسبت به پوزولان‌های معمولی (تراس جاجرود) ايجاد کرد [8].

همچنين مقاومت زياد نمونه‌های آزمایشی در شرايط اشباع، حاکی از سختی و پايداری ترکيبات ايجاد شده است. مقاومت اشباع نمونه‌ها نسبت به حالت خشک حدود ۷۰٪ تا ۷۵٪ است.

۷. نتيجه گيری

۱- ايجاد زمينه لازم جهت بررسی تأثير ميزان سيليس و آلومين فعال بر روند تثبيت خاکهاي مورد نظر با توجه به نوع پوزولانهای مصرفی:

با توجه به استفاده از دو نوع پوزولان با درصدهاي مختلف سيليس و آلومين در تثبيت اين خاکها می‌توان تأثير اين عناصر را بر خاکهاي آزمایشی از لحاظ مقدار نهایی مقاومت ايجاد شده و چگونگی روند ايجاد مقاومت در طول دوره‌های عمل آوری مختلف بررسی کرد.

۲- بررسی تأثير ميزان سيليس موجود در پوزولان‌ها بر مقدار مقاومت نهایی ايجاد شده در اين نوع خاکها:

با توجه به نمودارهای حاصل از نتايج آزمایش‌ها (انجام شده بر روی هر دو نوع خاک مصرفی)، پوزولان دوده سيليس که دارای درصد بيشتري سيليس فعال نسبت به پوزولان تراس جاجرود است، با درصدهاي وزنی يکسان، مقاومت بيشتري اما در زمان کمتری را در اين نوع خاکها ايجاد کرده است.

۳- بررسی تأثير ميزان آلومين موجود در پوزولانها بر مقدار مقاومت در زمانهای عمل آوری مختلف:

چنان که از نتايج اين آزمایش‌ها مشخص است ميزان آلومين قابل مشارکت در واکنش‌های پوزولانی در مقدار مقاومت نهایی و به خصوص در زمان عمل آوری (مربوط به فعاليت پوزولانی ثانويه)

کرده است. در حالی که با تغيير درصد پوزولان از ۱۱٪ به ۱۵٪ روند رشد درصد CBR کندتر شده است. همچنين با تغيير زمان عمل آوری از ۲۸ روز به ۶۰ روز، رشد درصد CBR در درصدهاي مختلف پوزولان مصرفی (مخصوصاً بعد از ۳٪ تا ۱۵٪) کندتر شده است. برای حالت اشباع (عمل آوری شده با رطوبت بهينه و اشباع شده در آب به مدت ۴ روز) روند رشد درصد CBR نسبت به حالت طبیعی سريع‌تر بوده 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 درصدهاي مختلف پوزولان رشد چشمگیری داشته است [9].

با افزايش درصد پوزولان مصرفی مقاومت فشاری تک محوری نیز رشد صعودی داشته است. اين در حالی است که اين 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 اهميت بيشتري است و توجيه آن اين است که خاکهاي مصرفی در ابتدا هيچ گونه مقاومتی نداشته و به علت دانه‌ای بودن و عدم چسبندگی بين ذرات، اين نوع خاکها دارای مقاومت فشاری تک محوری صفر هستند و ايجاد مقاومت فشاری در اين نوع خاکها بيانگر اين مطلب است که واکنش‌های پوزولانی مربوطه به خوبی انجام شده و روند کسب مقاومت، موفقیت آميز بوده است [8].

با توجه به نکات ذکر شده، پوزولان تراس جاجرود که دارای ۶۵٪ سيليس و حدود ۱۱٪ آلومين است، مقاومت‌های مناسبی را در زمان‌های عمل آوری متوسط (تا ۲۸ روزه) ايجاد کرده است.

۲-۶ تحليل نتايج حاصل از کاربرد پوزولان دوده سيليس

روند ايجاد مقاومت در نمونه‌های مورد نظر تا ۷ روز اول عمل آوری رشد صعودی خوبی داشته در حالی که اين روند رشد بعد از ۷ روز و تا زمان رسيدن به ۱۴ روز، کاهش یافته اما همچنان بر مقاومت نمونه‌ها اضافه شده است.

بنا بر اين نقطه عطف اين منحنی‌ها در زمان عمل آوری بين ۱۱ تا ۱۳ روز اتفاق افتاده است. بعد از ۱۴ روز تا زمان رسيدن به ۲۸ روز اين روند کاملاً ثابت مانده و متوقف شده است. بنا بر اين زمان فعاليت پوزولانی اين پوزولان (دوده سيليس) در خاکهاي مورد نظر حداکثر ۱۴ روز است و بعد از آن بر مقاومت نمونه‌ها افزوده نمی‌شود.

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 , Tensor Earth Tecnologies Inc., WWW.TENSARCORP.com, 2000.
 9. Tensor Technical Note BR10 (1998): "Chemical and mechanical stabilization of subgrades and flexible pavement sections", Tensor 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
- تاثیر بسزایی دارد. به عنوان مثال تراس جاجرود نسبت به دوده سیلیس با درصد وزنی یکسان، مقاومت کمتری در زمان عمل آوری بیشتر در این نوع خاکها ایجاد کرده است.
- ۴- 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 دوده سیلیس ۱۴ روز است.
- ۵- 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.
- ۶- 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.