

# بررسی تأثیر 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 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 تأثیر 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 تأثیر 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. پيشينه تحقيقات و تجربيات كشورهاي ديگر

با توجه به تحقيقات انجام شده در نقاط مختلف دنيا، براي تثبيت اين بسترها بيشتر روش‌هاي فزيكي و زيست محيطي براي جلوگيري از روان شدن اين بسترها بكار مي‌رود كه در زير به چند نمونه از آنها اشاره مي‌شود [2]. اما هدف از تحقيقات انجام شده استفاده از پوزولان براي ايجاد مقاومت جهت ساخت راه و ابنيه فني در اين بسترهاست و درصورت فراهم شدن شرايط مناسب براي واكنشهاي پوزولاني در هر محيط (با افزودن پوزولان و آهك)، مي‌توان باعث ايجاد روند افزايش مقاومت شد [3].

### ۲-۱ تجربه كشور هندوستان

هندوستان داراي ۲/۳۴ ميليون كيلومتر مربع بيابان داغ است كه به زبان محلي به تار (Thar) موسوم است و داراي ويژگيهاي به شرح ذيل است:

- سرعت زياد و حركت تپه‌هاي ماسه‌اي
- تغييرات زياد درجه حرارت در طي روز
- تابش شديد آفتاب، تبخير زياد و بارندگي بسيار كم

### ۲-۱-۱ استراتژي‌هاي بيابان زدائي

اين استراتژي‌ها در كشور هند شامل ايجاد ايستگاه‌هاي تحقيقاتي به منظور:

- تثبيت تپه‌هاي ماسه‌اي متحرك
- كاشت گياهان سازگار و مقاوم در برابر اقليم منطقه
- احياء اكلوژيك منطقه و بازسازي زمين‌هاي ضعيف
- ورود و كشت گونه‌هاي سريع الرشد غير بومي
- احياء اكلوژيكی از طريق قرق كردن
- احياء اكلوژيكی از طريق بذر پاشي هوايي است.

### ۲-۲ تجربه كشور چين

كشور چين در زمينه مقابله با بسترهاي فوق داراي تجربياتي به شرح ذيل است:

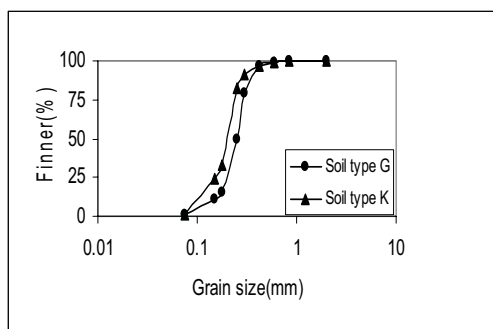
- خارج كردن سيلاب‌ها از مسير اصلي خود و پمپاژ آن به مناطق ماسه‌هاي روان جهت پخش و رسوب كردن گل و لاي آن و چسباندن ذرات ريز ماسه به يكدیگر.
- مسطح نمودن تلماسه‌ها و اصلاح خاك ماسه‌اي
- ايجاد كمربندهاي سبز حفاظتي

## ۳. مصالح مصرفي

### ۳-۱ خاكهاي مصرفي

در اين تحقيق دو نوع خاك ماسه‌اي از مناطق كويري استفاده شده‌اند. خاك نوع K از اطراف كاشان با طول جغرافيايي ۵۱/۵ درجه و عرض ۳۴ درجه و خاك نوع G از اطراف گرمسار با طول جغرافيايي ۵۲/۵ درجه و عرض ۳۵ درجه تهيه شده است (در اين تحقيق منظور از خاك نوع K، ماسه تهيه شده از اطراف كاشان و منظور از خاك نوع G، ماسه تهيه شده از اطراف گرمسار است.) [۱].

براي شناخت بيشتر نحوه دانه بندي اين خاكها، آزمايش دانه بندي طبق استاندارد ASTM D ۴۲۱-۸۷ انجام شده [۳] نتايج آن در شكل ۱ مشخص است.



شكل ۱. نتايج آزمايش دانه بندي (خاكهاي نوع K و G)

براساس شكل ۱، اكثر ذرات تشكيل دهنده اين خاك‌ها تقريباً هم اندازه بوده و ذرات ريزدانه (رس و لاي) در آنها بسيار كم است. به همين علت اين نوع خاك‌ها به هيچ وجه داراي خاصيت خميري نيستند و بنا بر اين نيازي به انجام آزمايش‌هاي تعيين حدود اتربرگ ندارند. همچنين علت هم اندازه بودن اكثر ذرات اين نوع ماسه‌ها را مي‌توان در حمل و جابه‌جايي آنها توسط باد دانست.

### ۳-۲ پوزولان‌هاي مصرفي

در اين تحقيق دو نوع پوزولان مورد استفاده قرار گرفتند. در آزمايش‌هاي سري اول از پوزولان سنگ تراس جاجرود (با سطح مخصوص  $9700 \text{ Cm}^2 / \text{gr}$ ) و در آزمايش‌هاي سري دوم از پوزولان دوده سيليس (با سطح مخصوص  $20000 \text{ Cm}^2 / \text{gr}$ ) استفاده شد. سطح مخصوص پوزولان‌هاي مصرفي به روش بلين از فرمول زير محاسبه شد:

۴-۱ آزمایش‌های نسبت باربری کالیفرنیا (CBR)

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

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

$\rho$  = 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 نمبر 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.

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.

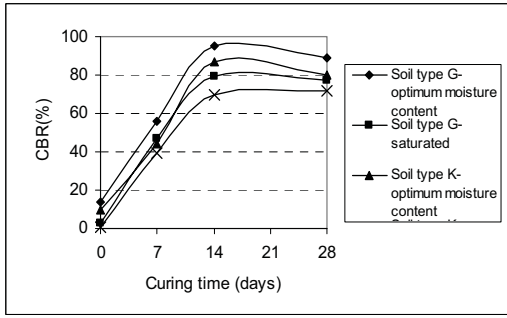
۴-۱-۲ نتایج آزمایش‌های CBR با استفاده از پوزولان

دوده سیلیس

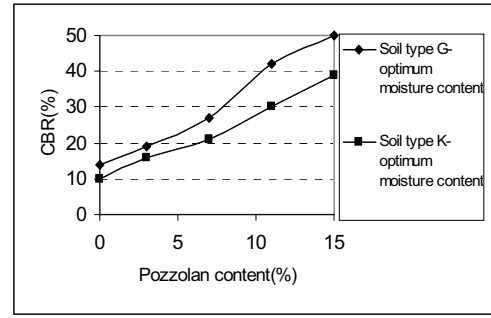
جهت بررسی تأثیر استفاده از پوزولانی با درصد سیلیس و آلومین متفاوت نسبت به پوزولان تراس جاجرود، پوزولان دوده سیلیس انتخاب شد. همان‌طور که از نتایج آنالیز XRF مشخص است (جدول ۱)، این پوزولان دارای سیلیس زیاد و آلومین ناچیز است. این آزمایش‌ها طبق استاندارد ASTM D ۱۸۸۳-۸۷ با درصد رطوبت و آهک بهینه، زمان‌های 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.

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

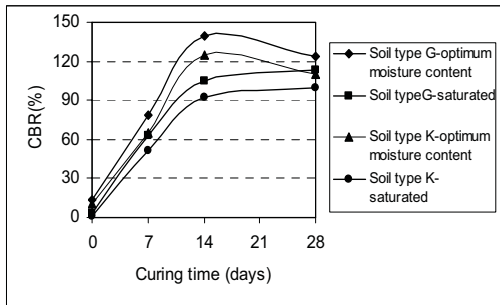
$K_2O$	$So_3$	$P_2O_5$	$SiO_2$	$Al_2O_3$	$M_gO$	$Na_2O$	LOI	(%)
۰/۰۴	-	-	۹۸	۰/۳	۰/۱۷	۰/۰۵	۰/۰۳۵	پوزولان دوده سیلیس
۲/۹۴۲	۰/۰۹۸	۰/۰۵۶	۶۵/۱۲۹	۱۰/۹۵۹	۱/۴۶۲	۰/۰۱۵	۱۰/۹۵	پوزولان تراس جاجرود
Zr	Sr	Zn	Cl	MnO	$TiO_2$	$Fe_2O_3$	CaO	(%)
-	-	-	-	-	-	۰/۲۵	۰/۱۲	پوزولان دوده سیلیس
-	۰/۱۱۸	-	-	۰/۱۹۹	۰/۳۰۲	۲/۳۴۵	۵/۴۱۲	پوزولان تراس جاجرود



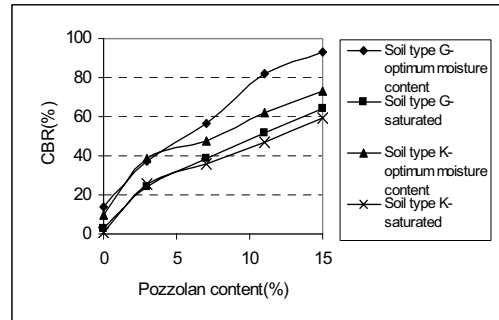
شکل ۶. رابطه بین نسبت باربری کالیفرنیا و زمان عمل آوری (۳٪ پوزولان مصرفی)



شکل ۲. رابطه بین درصد پوزولان مصرفی و نسبت باربری کالیفرنیا (۷روزه)



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



نمودار ۳. رابطه بین درصد پوزولان مصرفی و نسبت باربری کالیفرنیا (۱۴روزه)

## ۵. آزمایش‌های مقاومت فشاری تک محوری

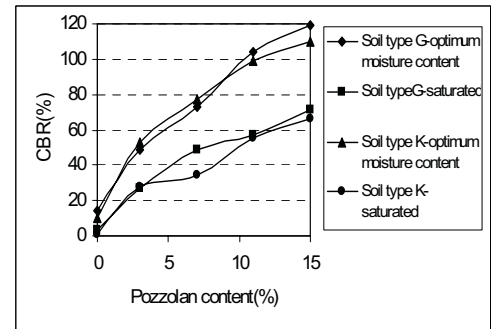
### ۱-۵ نتایج آزمایش‌های مقاومت فشاری تک محوری با

#### استفاده از پوزولان تراس جاجرود

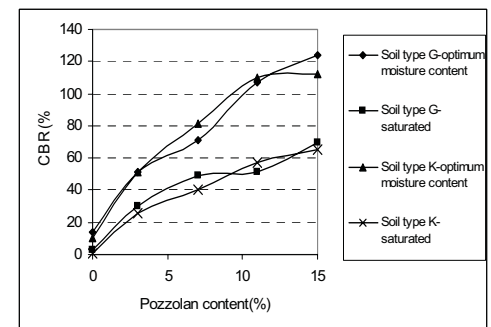
این آزمایش‌ها با نمونه‌هایی به قطر ۵ و طول ۱۰ سانتی‌متر (نسبت ارتفاع به قطر برابر با ۲) طبق استاندارد ASTM D ۲۱۶۶-۸۷ با درصد‌های آهک و رطوبت بهینه و همچنین درصد‌های پوزولان (تراس جاجرود) ۳٪، ۷٪، ۱۱٪ و ۱۵٪ وزنی خاک برای هر دو نوع خاک K و G با زمان‌های عمل آوری مختلف انجام شدند [7].

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.

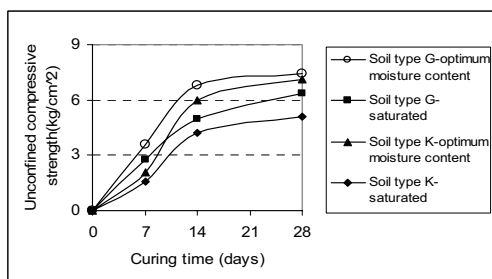


نمودار ۴. رابطه بین درصد پوزولان مصرفی و نسبت باربری کالیفرنیا (۲۸روزه)

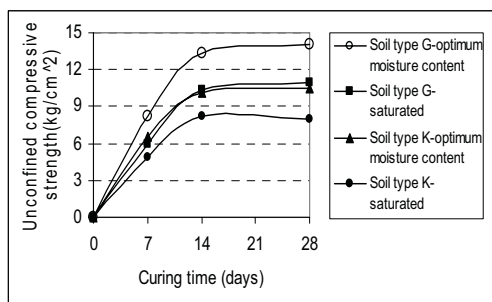


نمودار ۵. رابطه بین درصد پوزولان مصرفی و نسبت باربری کالیفرنیا (۶۰روزه)

پوزولان دوده سیلیس انتخاب شد. این آزمایشها طبق استاندارد ASTM D ۲۱۶۶-۸۷ با درصد رطوبت و آهک بهینه نمونه‌گیری و طی زمانهای 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.



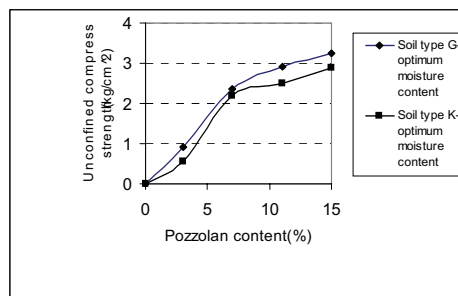
نمودار ۱۲. رابطه بین مقاومت فشاری تک محوری و زمان عمل‌آوری (۳٪ پوزولان مصرفی)



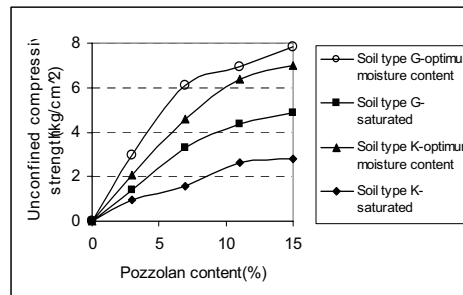
شکل ۱۳. رابطه بین مقاومت فشاری تک محوری و زمان عمل‌آوری (۷٪ پوزولان مصرفی)

## ۶. بحث و تحلیل نتایج

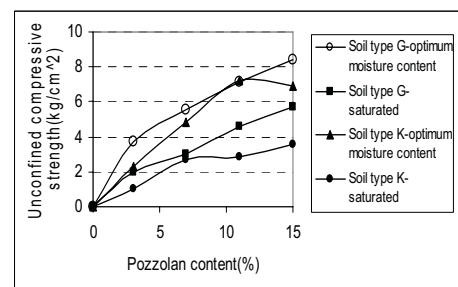
۶-۱ تحلیل نتایج حاصل از کاربرد پوزولان تراس جاجرود تغییرات درصد پوزولان در ساخت نمونه‌ها باعث تغییراتی در مقدار و روند کسب مقاومت در این نمونه‌ها شده است. اضافه کردن حداقل پوزولان به نمونه‌ها (۳٪) باعث جهش خوبی در مقاومت نمونه‌ها شده است. مقدار CBR برای ۳٪ پوزولان مصرفی در حالت رطوبت بهینه، با زمان عمل‌آوری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



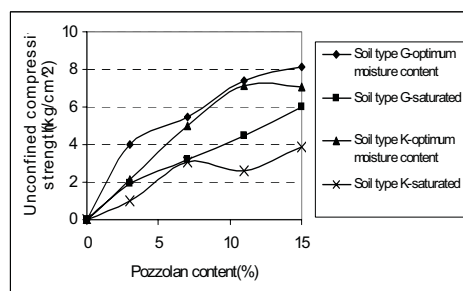
شکل ۸. رابطه بین درصد پوزولان مصرفی و مقاومت فشاری تک محوری (۷ روزه)



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 تأثیر استفاده از پوزولانی با درصد سیلیس و آلومین متفاوت نسبت به پوزولان تراس جاجرود،

نکته مورد توجه دیگر ایجاد مقاومت بیشتر با درصدهای کمتر توسط پوزولان دوده سیلیس در خاکهای مورد نظر است. لازم به ذکر است که با درصد پوزولان دوده سیلیس ۳٪، مقاومتی در حدود مقاومت نمونه‌های با پوزولان تراس جاجرود با درصد وزنی ۷٪ ایجاد شده است. همچنین با مصرف دوده سیلیس ۷٪ مقاومت ایجاد شده تقریباً در حد مقاومت پوزولان تراس جاجرود با درصدهای ۱۱٪ و ۱۵٪ بوده است. این مطلب بیانگر فعالیت پوزولانی زیاد دوده 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 پوزولان‌ها 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 دوده 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 واکنش‌های پوزولانی در مقدار مقاومت نهایی و به خصوص در زمان عمل آوری (مربوط به فعالیت پوزولانی ثانویه)

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 ۶۰ روز، رشد درصد CBR در درصدهای مختلف پوزولان مصرفی (مخصوصاً بعد از ۳٪ تا ۱۵٪) کندتر شده است. برای حالت اشباع (عمل آوری شده با رطوبت بهینه و اشباع شده در آب به مدت ۴ روز) روند رشد درصد CBR نسبت به حالت طبیعی سریع‌تر بوده است، زیرا مقاومت‌های 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 توجه 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 ۶۵٪ سیلیس و حدود ۱۱٪ آلومین است، مقاومت‌های مناسبی را در زمان‌های عمل آوری متوسط (تا ۲۸ روزه) ایجاد کرده است.

## ۲-۶ تحلیل نتایج حاصل از کاربرد پوزولان دوده 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 ۱۴ روز، کاهش یافته اما همچنان بر مقاومت نمونه‌ها اضافه شده است.

بنابراین نقطه عطف این منحنی‌ها در زمان عمل آوری بین ۱۱ تا ۱۳ روز اتفاق افتاده است. بعد از ۱۴ روز تا زمان رسیدن به ۲۸ روز این روند کاملاً ثابت مانده و متوقف شده است. بنابراین زمان فعالیت پوزولانی این پوزولان (دوده سیلیس) در خاکهای مورد نظر حداکثر ۱۴ روز است و بعد از آن بر مقاومت نمونه‌ها افزوده نمی‌شود.

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/ft<sup>3</sup> [27,000 kN-m/m<sup>3</sup>])", 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](http://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](http://WWW.TENSARCORP.com),
10. Abrol, IP. and Venkatesvarlu, J. (1995) "Sustainable development of arid areas in India with particular reference to western Rajasthan", In "Land Degradation and Desertification in Asia and the Pacific Region (Eds., A.K. Sen and Amal Kar)", Scientific Publishers, Jodhpur, pp.135-153

تأثیر 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 تأثیر 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 تأثیر 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.
3. ASTM D 421 (1993) "Standard practice for dry preparation of soil sample for particle size analysis and

# **Investigation on the Effect of Silica and Alumina Content in Additives on Stabilization Trend of Quicksand**

*A. Hassani, Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.*

*M. Salehi, MSc. Student, Department of Civil Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran*

*E-mail:hassani@modares.ac.ir*

## **ABSTRACT**

There are vast planes of quicksand in Iran that create many financial losses for the road and railroad projects implemented in these areas, as well as social and hygienic problems for the residents of these areas. Presently the surface area of deserted and sandy planes in the country is estimated as 34 MH and the deserted areas as 16 MH, amongst which 12 MH is the sandy areas and 5 MH of these areas is the place of quicksand. We are therefore confronted with vast sandy areas that result difficulties in construction of roads and railroads. In this research two types of pozzolanas with different silica and alumina contents have been used in stabilization process of sandy soils and the effect of silica and alumina on the ultimate compressive strength and curing time required for strength gain have been studied and the results are concluded in the paper.

**Keywords:** Quicksand, stabilization, additives, pozzolanas, silica fume, alumina