

# بررسی اثر زئولیت بر مقاومت خاک ماسه‌ای بابلسر تثبیت شده با سیمان با استفاده از آزمایش مقاومت فشاری تک محوری

حسین ملاحباسی\*<sup>۱</sup> و عیسی شوش پاشا<sup>۲</sup>

۱. استادیار، مهندسی عمران، دانشگاه گنبد کاووس

۲. دانشیار، مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی بابل

تاریخ پذیرش: [۱۳۹۴/۱۰/۱۲۷]

تاریخ دریافت: [۱۳۹۴/۶/۶]

hma@stu.nit.ac.ir

**چکیده** - ماسه‌های سیمانی به عنوان یکی از موضوعات اقتصادی و زیست محیطی در تثبیت خاک شناخته می‌شوند. در برخی موارد ترکیبی از سیمان و ماسه با سایر مواد از جمله فیبر، شیشه، نانوذرات و یا زئولیت می‌تواند به طور مؤثر در تثبیت خاک در جاده‌سازی استفاده شود. در این بررسی زئولیت به عنوان یکی از مواد افزودنی به سیمان و آثار آن بر مقاومت فشاری تک محوری ارزیابی شده است. در این راستا از زئولیت نوع معدنی کلینوپیلولیت، سیمان تیپ II نکا و ماسه بابلسر به عنوان خاک پایه استفاده شد. تعداد ۱۴۴ آزمایش مقاومت فشاری تک محوری روی طرح اختلاط ۲۴ حالت سیمان و زئولیت شامل درصد سیمان‌های مختلف ۲، ۴، ۶ و ۸ درصد وزن خشک کل نمونه و درصد‌های جایگزینی ۰، ۱۰، ۳۰، ۵۰، ۷۰ و ۹۰ زئولیت نسبت به سیمان با تراکم نسبی‌های ۵۰، ۷۰ و ۸۵ درصد در مدت عمل‌آوری ۷ و ۲۸ روز انجام شد. نتایج نشان می‌دهد که با جایگزینی ۳۰٪ زئولیت به جای سیمان نسبت به نمونه‌های بدون زئولیت، مقاومت فشاری تک محوری، به میزان ۲۰ تا ۷۸ درصد افزایش می‌یابد. همچنین در این فرآیند کرنش گسیختگی نمونه‌ها نیز زیاد می‌شود. نرخ افزایش مقاومت فشاری تک محوری برای نمونه‌های با درصد سیمان‌های بالاتر و تراکم کمتر، بیشتر است. همچنین نتایج حاکی از ارتباط توانی مقاومت فشاری تک محوری با پارامترهای وزنی سیمان، زئولیت و تخلخل (چند جمله‌ای از وزن‌های سیمان و زئولیت/تخلخل) است.

**واژگان کلیدی:** تثبیت، سیمان، زئولیت، مقاومت فشاری تک محوری، چند جمله‌ای.

## ۱- مقدمه

مقاومت فشاری تک محوری یکی از آزمایش‌هایی است که به طور گسترده در بسیاری از برنامه‌های آزمایشگاهی و برای بررسی میزان تأثیر تثبیت با سیمان استفاده می‌شود. ساده و سریع بودن آن نسبت به آزمایش‌های مشابه، در دسترس بودن و کم‌هزینه بودن این آزمایش از جمله دلایل استفاده گسترده از این آزمایش است [۲].

نتایج پژوهش‌های گوناگون گویای این مطلب است که خاک‌های تثبیت شده با سیمان رفتار پیچیده‌ای را از خود نشان می‌دهند که تابعی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، تخلخل، میزان رطوبت، تراکم، میزان سیمان و زمان سپری شده در فرآیند

هنگامی که از خاک تثبیت شده با سیمان به عنوان لایه‌ای متراکم در بالای پروفیلی از خاک با ظرفیت باربری پائین استفاده می‌شود، گسیختگی چنین سیستمی معمولاً در اثر تنش‌های کششی در انتهای لایه تثبیت شده رخ می‌دهد. از این رو اندازه‌گیری مقاومت کششی خاک تثبیت شده با سیمان بهتر به نظر می‌رسد. پژوهشگران مختلفی همچون کلاف، داس و کنسولی بر روی مقاومت کششی خاک تثبیت شده با سیمان کار کرده و طبق گزارش آن‌ها معمولاً مقاومت کششی این نوع خاک‌ها بین ۹ تا ۱۴ درصد مقاومت فشاری تک محوری است [۱]. آزمایش

کاهش رفتار ترد ماسه سیمانی اشاره کرده‌اند (چوبستی و همکاران [۱۶]، عربانی و همکاران [۱۷] و کنسولی و همکاران [۱۸]). در بررسی متون فنی، کمتر به افزودن ماده پوزلانی از جمله زئولیت به ماسه سیمانی پرداخته شده است. پس در این پژوهش اثر زئولیت به عنوان یک ماده افزودنی بر مقاومت فشاری تک محوری خاک ماسه‌ای بابلسر تثبیت شده با سیمان مطالعه شده است.

زئولیت یک واژه یونانی است که از دو جزء به معنی سنگ و جوشان تشکیل شده است و اولین بار در سال ۱۹۷۶ به وسیله‌ی یک معدن شناس سوئدی به نام کرونستت نام زئولیت به کانی استیلیت<sup>۱</sup> داده شده که به هنگام حرارت دادن مقدار زیادی آب از آن خارج می‌شود. از دست دادن آب در زئولیت-ها، آسان و برگشت‌پذیر است. زئولیت‌ها شامل فلزات قلیایی و قلیایی خاکی بوده و قادرند در واکنش‌های جایگزینی برگشت-پذیر شرکت نمایند. تجزیه‌های شیمیایی و ساختاری نشان می‌دهند که زئولیت‌ها بیشتر حاوی سیلیسیم، آلومینیوم و اکسیژن هستند (شکل ۱). زئولیت‌ها جامداتی بلورین و آبدار با روزنه-هایی متحدالشکل و به ابعاد ۳ تا ۱۰ انگستروم است که ابعاد مزبور در حد اندازه‌های مولکولی است، پس به زئولیت‌ها غربال‌های مولکولی نیز می‌گویند [۱۹].

شکل (۱) نمایش واحدهای ساختمانی در ساختار مولکولی زئولیت [۱۹]

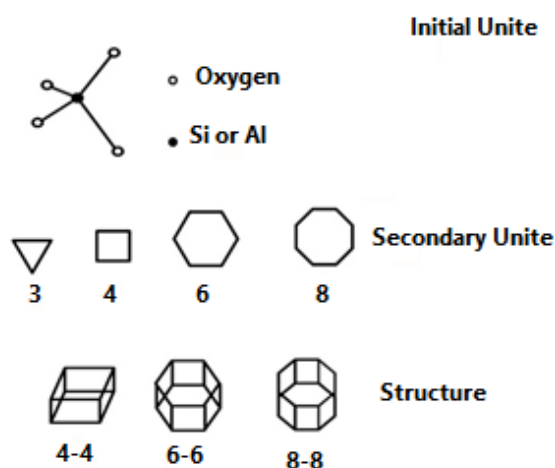


Figure 1. Display construction units in the molecular structure of zeolite [19]

ساخت نمونه و تراکم آن است. با توجه به استفاده گسترده تکنیک خاک-سیمان، برشمردن پارامترهای کلیدی که نقش به سزایی را در میزان مقاومت خاک‌های سیمانی شده ایفا می‌کنند، اجتناب ناپذیر است [۳]. کانیراج و هاواناجی در سال ۱۹۹۹ در مطالعه‌ای تأثیر عوامل فوق (میزان سیمان و زمان عمل‌آوری) را بر میزان مقاومت فشاری تک محوری مخلوط خاک و خاکستر بادی بررسی کردند. با افزایش مقدار سیمان و زمان عمل‌آوری، مقاومت فشاری نیز افزایش می‌یابد و این در حالی است که تأثیر عامل سیمان در مقایسه با زمان عمل‌آوری در کسب مقاومت خیلی محسوس‌تر است [۴]. میلر و شهریار آزاد در سال ۲۰۰۰ در مطالعه‌ای ضمن در نظر گرفتن تأثیر میزان سیمان و زمان عمل‌آوری بر مقاومت فشاری خاک تثبیت شده، تأثیر عامل خیساندن (آبدهی) را نیز بررسی کردند [۵]. لو و واردانی در سال ۲۰۰۲ در مطالعه‌ای تأثیر آبدهی و خیساندن را در کاهش مقاومت فشاری بررسی کردند [۶]. کنسولی و همکارانش در سال ۲۰۰۷ در مطالعه‌ای تأثیر پارامترهایی همچون درصد سیمان و تخلخل را در میزان مقاومت فشاری خاک‌های سیمانی شده را ارزیابی کردند. با افزایش سیمان، مقاومت فشاری تک محوری نیز افزایش می‌یابد و این افزایش در مقاومت بطور خطی است. همچنین با افزایش دانسیته، مقاومت فشاری نیز افزایش می‌یابد و تأثیر این عامل برای درصد سیمان-های بالاتر محسوس‌تر است [۷]. نتایج مطالعات ال‌اقباری و همکارانش در سال ۲۰۰۹ روی رفتار تنش-کرنش خاک ماسه-ای تثبیت شده با سیمان پرتلند معمولی و گرد کوره سیمان نشان دادند که افزایش شاخص تثبیت و زمان عمل‌آوری به افزایش قابل ملاحظه مقاومت فشاری تک محوری منجر می‌شود و این در حالی است که تأثیر افزایش سیمان در مقایسه با زمان عمل‌آوری محسوس‌تر است [۸]. صدیقی و همکاران [۹]، فنخاریان و همکاران [۱۰]، حمیدی و روانبخش [۱۱]، حمیدی و حسن زاده [۱۲]، کنسولی و همکاران [۱۳]، فارو و همکاران [۱۴] و یلماز و همکاران [۱۵] از جمله پژوهشگرانی هستند که به بررسی ماسه‌های سیمانی پرداخته‌اند. برخی دیگر از مطالعات به استفاده از فیبر، خرده لاستیک، نانو ذرات و شیشه در ماسه سیمانی در راستای افزایش مقاومت و

وسیمان است. پس در این مقاله ابتدا برنامه آزمایشگاهی شرح داده شده و نتایج آن مورد بحث قرار گرفته است. سپس مدل چند جمله‌ای معرفی و درستی آزمایی شده است.

## ۲- برنامه آزمایشگاهی

برای مطالعه آثار ژئولیت بر مقاومت ماسه‌های سیمانی، پارامترهای مقدار سیمان و ژئولیت، تراکم نسبی و زمان عمل‌آوری مدنظر قرار گرفته است. در (جدول ۱) متغیرهای مربوط به آماده‌سازی نمونه‌ها و آزمایش مقاومت فشاری تک محوری ارائه شده است. لازم به گفتن است که به دلیل این که افزایش مقاومت پوزلانی یک فرآیند زمان‌بر است زمان عمل‌آوری ۲۸ روزه انتخاب شده است. همچنین برای هر درصد اختلاط سیمان و ژئولیت، مجموع درصد اختلاط سیمان و ژئولیت ثابت است.

جدول (۱) مشخصات متغیرهای ملاحظه شده

Variable	levels	Description of samples
Soil type	1	Poorly graded sand from Babolsar City (Shores of Caspian Sea)
Cement agent	1	Portland cement (type II)
Cement content	4	2, 4, 6 and 8% dry unite weight of base soil
Type of zeolite	1	Natural cilnopolite zeolite
Zeolite content	6	0, 10, 30, 50, 70 and 90% of cement
Relative density	3	50, 70 and 85%
Water content	1	10% weight of base soil
Sample size	1	38 mm diameter and 76 mm height, compacted in three layers
Curing condition	3	Cured for 7 and 28 days in humid room

Table 1. Description of considered parameters

سال‌های زیادی از فراگیر شدن استفاده از ژئولیت در جهان به ویژه کشورهای صنعتی و پیشرفته می‌گذرد. لیکن از نظر هزینه وامکان دسترسی، تهیه این کانی‌ها در ایران بسیار ارزان و به راحتی میسر است. به همین دلیل استفاده از آن‌ها علاوه بر کاهش معضلات زیست محیطی از نظر اقتصادی نیز بسیار موثر است. استفاده از ژئولیت به عنوان یک ماده معدنی طبیعی و ارزان (در ایران) و جایگزینی آن با درصدی از سیمان می‌تواند برای بهسازی ماسه با سیمان مناسب باشد. ارزان بودن ژئولیت نسبت به سیمان با توجه به آنالیز بهای جهانی، وجود معادن بسیار در کشور به ویژه در استان سمنان را می‌توان به عنوان بخشی از دلایل کاربرد ژئولیت به جای سیمان نام برد [۲۰]. پژوهشگران زیادی در زمینه استفاده از ژئولیت در ملات‌ها و افزایش مشخصات مکانیکی بتن‌ها کار کرده‌اند که از جمله مهم‌ترین آن‌ها می‌توان البایراکا و همکاران [۲۱] و کاپیتور و همکاران [۲۲] را نام برد. یلماز و همکاران در سال ۲۰۰۷ نشان دادند که ژئولیت طبیعی چگالی دانه‌های جامد سیمان را به دلیل فضاهای خالی درون ژئولیت کاهش داده و مدت زمان خمیری ملات‌های سیمان را افزایش می‌دهد [۲۳]. عباسی و همکاران [۲۴] به بررسی اثر ژئولیت بر تراکم و مقاومت کششی ماسه سیمانی بابلسر با استفاده از آزمایش پروکتور و کشش برزیلی پرداختند. آنها نتیجه گرفتند که با افزایش سیمان تراکم مخلوط خاک-سیمان و ژئولیت افزایش یافته در صورتی که با افزایش ژئولیت تراکم به دلیل کاهش چگالی دانه‌های جامد، کاهش می‌یابد. همچنین با جایگزینی ۳۰٪ ژئولیت به جای سیمان میزان مقاومت کششی آن نسبت به نمونه‌های بدون ژئولیت به میزان ۴۰٪ افزایش می‌یابد.

احمدی [۲۵] در پایان‌نامه خود مشخص کرد که ژئولیت در کنترل انبساط‌های مخرب ناشی از واکنش سیلیکاتی قلیایی سنگدانه‌ها نیز موثر است هدف از این پژوهش کمی‌سازی تأثیر مقادیر سیمان، ژئولیت، تراکم نسبی و زمان عمل‌آوری بر مقاومت ماسه بابلسر با استفاده از آزمایش مقاومت فشاری تک محوری و ارائه مدلی برای تخمین مقاومت فشاری تک محوری نمونه‌های حاوی ژئولیت

## ۱-۲- مصالح استفاده شده

مصالح استفاده شده در این پژوهش شامل خاک ماسه‌ای بابلسر، سیمان پرتلند تیپ II نکا و ژئولیت سمنان است.

## - ماسه بابلسر:

با توجه به نهشته‌های ماسه‌ای فراوان در سواحل دریای خزر در این پژوهش از ماسه ساحلی بابلسر استفاده شده است. ماسه بابلسر مطابق منحنی دانه‌بندی ارائه شده در (شکل ۲) از نوع ماسه بد دانه‌بندی شده (SP) است که اندازه متوسط دانه‌های آن حدوداً ۰/۲۴ میلی‌متر است. وزن مخصوص خشک بیشینه و کمینه ماسه بابلسر به ترتیب مقادیر ۱/۷۷ و ۱/۴۹ تن بر مترمکعب و چگالی دانه‌های جامد آن ۲/۷۲ به دست آمده است.

شکل (۲) نمودار دانه‌بندی ماسه بابلسر

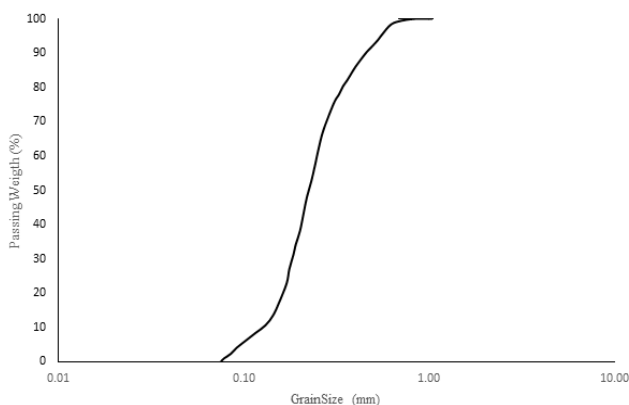


Figure 2. Particle size distribution of Babolsar sand

## - ژئولیت:

ژئولیت استفاده شده از نوع کلینوپتیلولیت است که از معدنی واقع در ۳۰ کیلومتری شمال سمنان (اوتر) استخراج شده است که مشخصات فیزیکی و شیمیایی آن در (جدول ۲) و اجزای تشکیل دهنده‌ی آن در (جدول ۳) آورده شده است [۲۰].

جدول (۲) مشخصات فیزیکی و شیمیایی ژئولیت [۲۰]

Parameters	Value
Specific weight (gr/cm <sup>3</sup> )	1.19
Specific surface (cm <sup>2</sup> /g)	1000
Water absorption	60% volumetric
Cation exchange capacity (gr/meq)	2.6
Gs	2.2

Table 2. The physical and chemical terms of zeolite

## - سیمان:

در این پژوهش از سیمان پرتلند تیپ II کارخانه سیمان نکا واقع در استان مازندران استفاده شده است. مصرف ویژه این سیمان در محل‌هایی که حرارت هیدراسیون متوسط برای آن‌ها ضرورت داشته و حمل سولفات‌ها به آن‌ها در حد متوسط است انجام می‌شود.

## ۲-۲- نمونه‌سازی و روند انجام آزمایش

نمونه‌هایی به ابعاد ۳۸ مم (قطر) × ۷۶ مم (ارتفاع) با ماسه بابلسر، سیمان پرتلند تیپ II نکا و ژئولیت معدن سمنان مطابق با طرح اختلاط (جدول ۱) به روش کوبش مرطوب در ۳ لایه تا حصول وزن مخصوص خشک هماهنگ با تراکم نسبی و رطوبت ۱۰ درصد متراکم شد. نمونه‌های ساخته شده در پلاستیک‌های نگهداری به مدت ۷ و ۲۸ روز در دستگاه حمام بخار با درجه دمایی تقریباً ۲۲ درجه و ۹۰ درصد رطوبت نگهداری شد. شایان ذکر است که در ساخت نمونه‌ها آثار مربوط به تحت تراکم لحاظ شده است. نمونه‌ها در دستگاه تک‌محوری هماهنگ با زمان عمل‌آوری از داخل پلاستیک‌های نگهدارنده خارج شده و آزمایش مقاومت فشاری محصور نشده مطابق با استاندارد ASTM D-2166 (2000) انجام شد. در (شکل ۳) گسیختگی برخی از نمونه‌ها تحت آزمایش تک‌محوری نشان داده شده است.

جدول (۳) اجزای تشکیل دهنده‌ی ژئولیت معدنی مورد استفاده در این تحقیق [۲۰]

Components	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	F <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	S	LOI
Percent(%)	67.44	10.8	0.84	0.19	1.24	0.33	3.71	4.39	0.47	11.05

Table 3. Components properties of the this study zeolite

شکل (۵) تأثیر سیمان و زئولیت بر نمودار تنش- کرنش نمونه‌های تحت آزمایش تک‌محوری

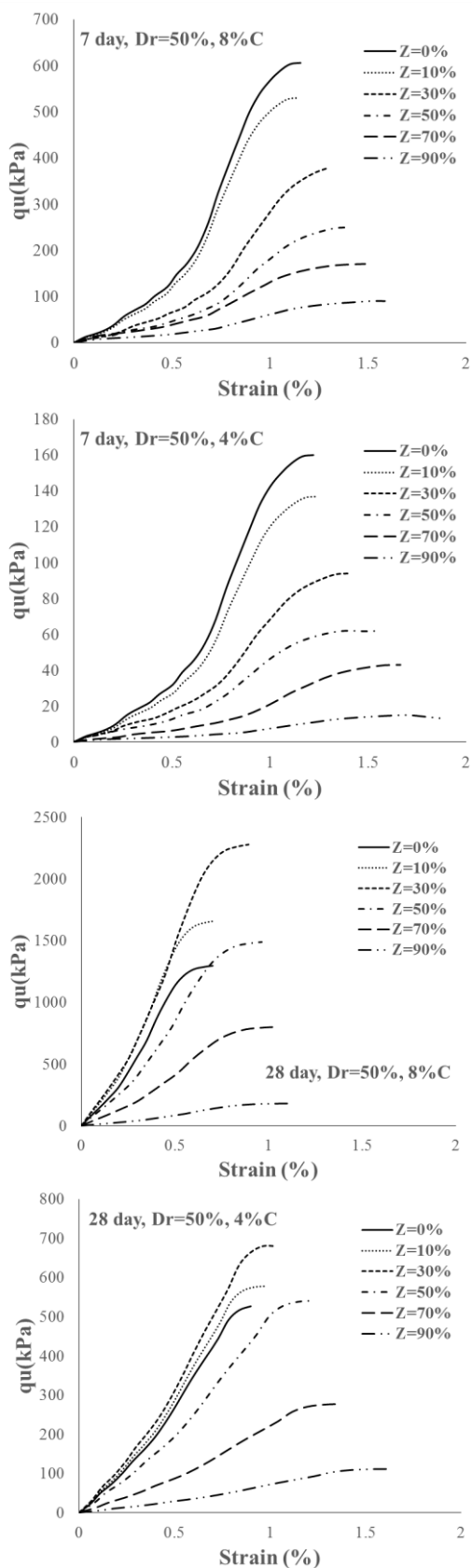


Figure 5. Stress-strain behavior of zeolite cemented sand

شکل (۳) گسیختگی برخی از نمونه‌ها تحت آزمایش



Figure 3. Failure types of stabilized specimens

### ۳- نتایج

مطالعه‌ی مربوط به تأثیر درصد رطوبت‌های مختلف بر مقاومت تک‌محوری نمونه‌های سیمانی در مدت زمان عمل‌آوری شده ۷ روزه در (شکل ۴) نشان داده شده است. با افزایش درصد رطوبت مقاومت تک محوری تا درصد رطوبت ۱۰ درصد افزایش و بعد از ۱۰ درصد کاهش می‌یابد. پس در این پژوهش درصد رطوبت متناظر با بیشینه مقاومت تک محوری معادل با ۱۰ درصد وزن خشک خاک ملاک قرار گرفته است.

شکل ۴- تغییرات مقاومت تک محوری بر حسب درصدهای رطوبت مختلف و سیمان ۷ روزه و تراکم نسبی ۸۵٪

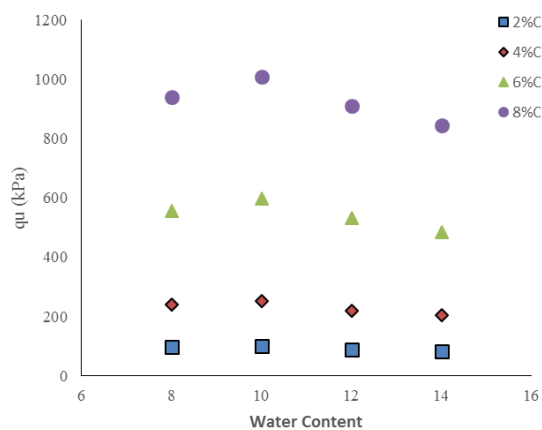
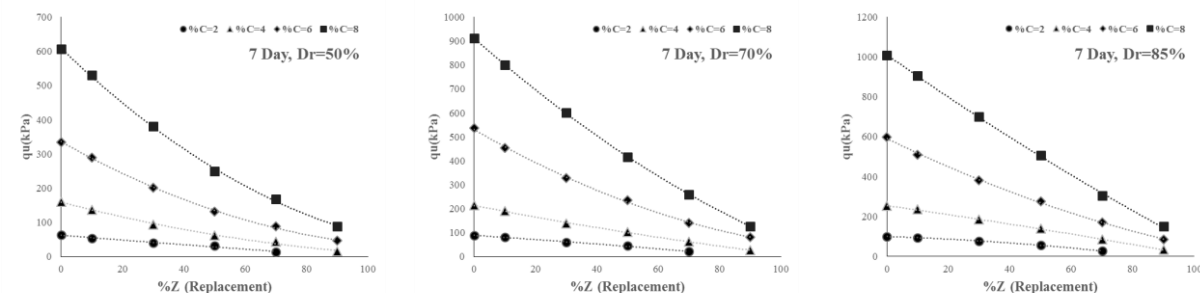


Figure 4. Variation of  $q_u$  versus water content for 7day curing time and  $Dr=85\%$

در (شکل ۵) نمونه‌ای از رابطه تنش-کرنش نمونه‌های سیمانی و زئولیتی در زمان عمل‌آوری ۷ و ۲۸ روزه را نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود بیشینه تنش تک محوری با افزایش درصد سیمان افزایش یافته و کرنش متناظر آن کاهش می‌یابد که نشان دهنده‌ی رفتار ترد و شکننده نمونه‌ها است.

شکل (۶) نمودارهای تاثیر مقدار سیمان، مقدار ژئولیت و زمان عمل آوری بر مقاومت تک محوری

7 days results



28 days results

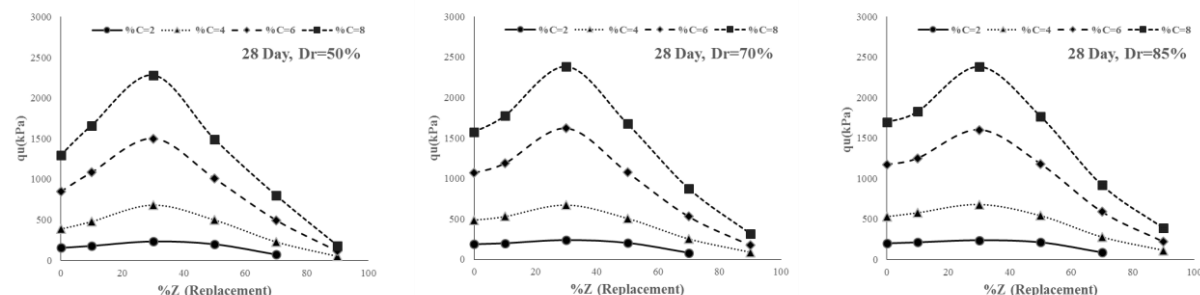


Figure 6. Effect of additive materials and curing time to sand on qu

برای افزایش مقاومت ۳۰ درصد است. افزایش مقاومت برای جایگزینی ۳۰ درصد ژئولیت نسبت به نمونه‌های فاقد ژئولیت در (شکل ۷) نشان داده شده است (۲۰ تا ۷۸ درصد). برای نمونه‌هایی که درصد سیمان بیشتر و تراکم کمتر است درصد افزایش مقاومت، بیشتر است.

شکل (۷) درصد افزایش مقاومت تک محوری برای جایگزینی درصد بهینه ژئولیت به جای سیمان نسبت به نمونه‌های سیمانی ۲۸ روزه

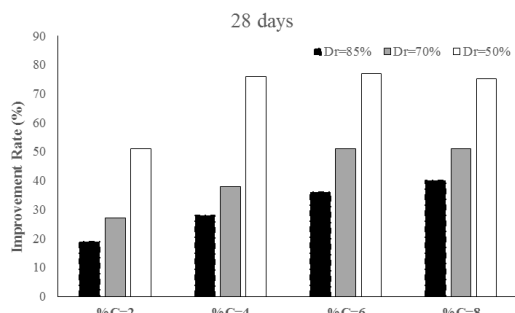


Figure 7. qu improvement of cemented sand replaced by optimum value of zeolite for 28 days samples

۲-۲- تأثیر تخلخل

در (شکل ۸) تأثیر تخلخل بر مقاومت فشاری تک محوری نشان داده شده است.

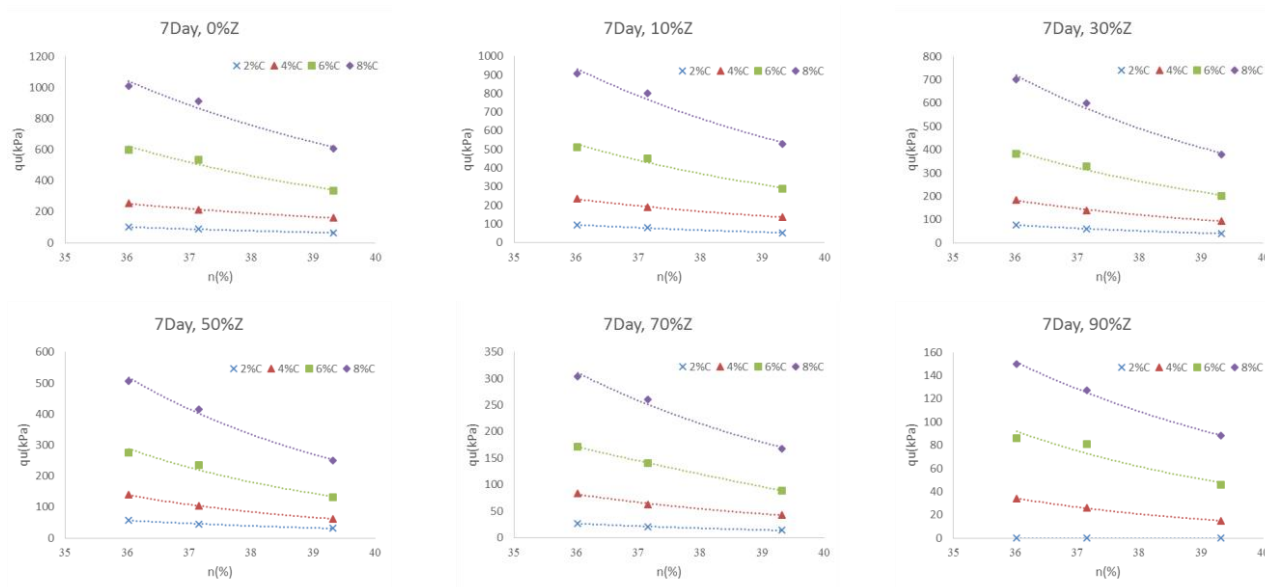
نمودارهای تنش-کرنش تقریباً یکسان بوده و تفاوت در میزان تنش محوری بیشینه و کرنش گسیختگی است. با افزایش درصد جایگزینی ژئولیت به جای سیمان، کرنش‌های گسیختگی افزایش یافته که نشان دهنده کاهش رفتار ترد نمونه‌های ژئولیتی سیمانی نسبت به نمونه‌های سیمانی است. افزایش زمان عمل آوری نیز از دیگر پارامترهای موثر در افزایش مقاومت است.

۱-۲- تأثیر سیمان، ژئولیت و تراکم نسبی

نتایج مقاومت تک محوری برای نمونه‌ها با سه تراکم نسبی متفاوت در زمان عمل آوری ۷ و ۲۸ روزه به صورت (شکل ۶) ارائه شده است. همان‌گونه که در (شکل ۶) دیده می‌شود برای نمونه‌های عمل آوری شده در ۷ روز با افزایش ژئولیت به جای سیمان، مقاومت فشاری تک محوری به دلیل کامل نشدن واکنش‌های پوزلانی کاهش می‌یابد. از نگاهی دیگر برای نمونه‌های ۲۸ (زمانی مناسب برای بهسازی) روزه با افزایش درصد ژئولیت به جای سیمان، مقاومت فشاری تک محوری ابتدا افزایش و سپس کاهش می‌یابد که درصد بهینه ژئولیت

شکل (۸) تأثیر تخلخل بر مقاومت فشاری تک محوری نمونه‌های ژئولیتی و سیمانی

7 day results



28 day results

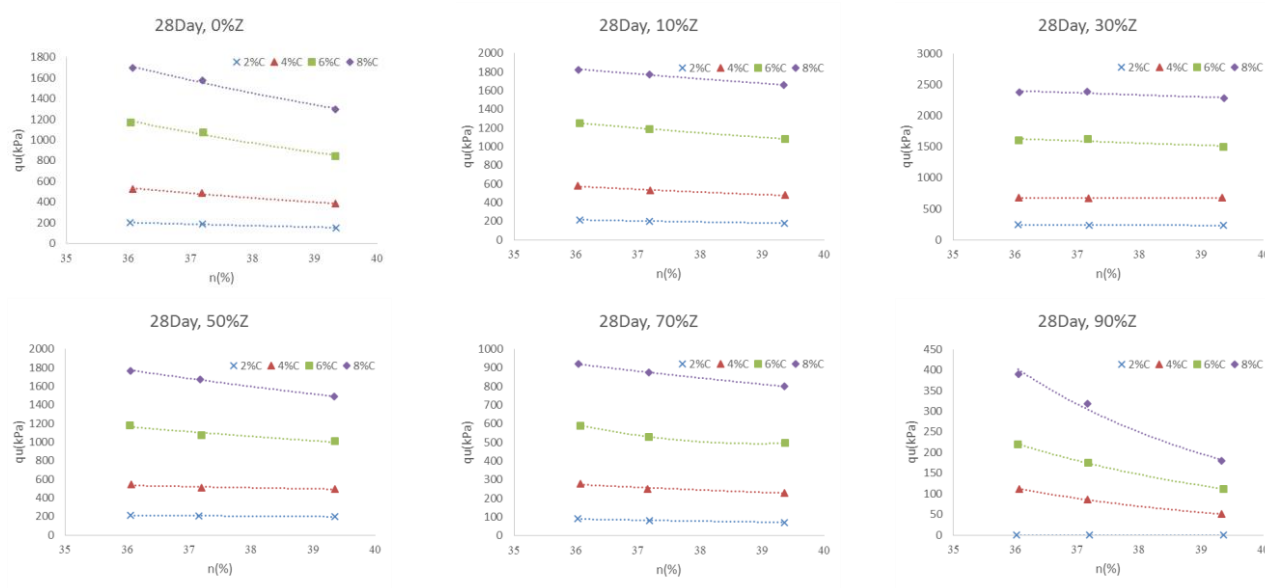


Figure 8. qu variations through porosity for cement-zeolite samples

ژئولیت بر حسب طرح اختلاط مورد نظر) نمونه‌ها بدست آمده است.

همان‌گونه که در (شکل ۸) ملاحظه می‌شود با افزایش تخلخل مقاومت تک محوری کاهش می‌یابد. این کاهش مقاومت برای نمونه‌های ژئولیتی سیمانی در مدت عمل‌آوری ۲۸ کمتر است.

۲-۳- مدل چند جمله‌ای و درستی آزمایشی آن

برای ماسه‌های سیمانی روابط تجربی زیادی ارائه شده است که

لازم به گفتن است که تخلخل از رابطه  $n = 1 - \frac{\gamma_d}{G_s \gamma_w}$  با اندازه گیری  $\gamma_d$  و  $G_s$  (میانگین وزنی ماسه، سیمان و

پژوهش نیز برای نمونه‌های سیمانی از دقت مناسبی برخوردار است.

شکل (۹) ارزیابی مدل چندجمله‌ای برای زمان عمل‌آوری ۷ و ۲۸ روزه

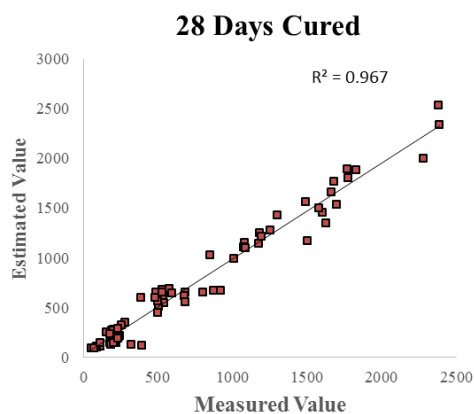
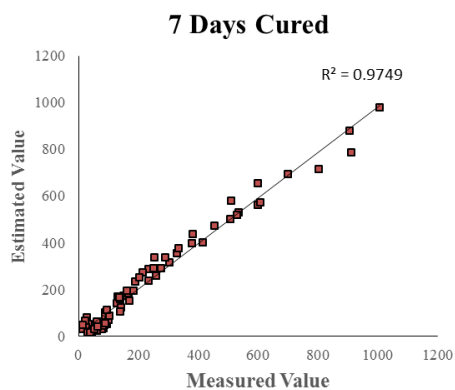
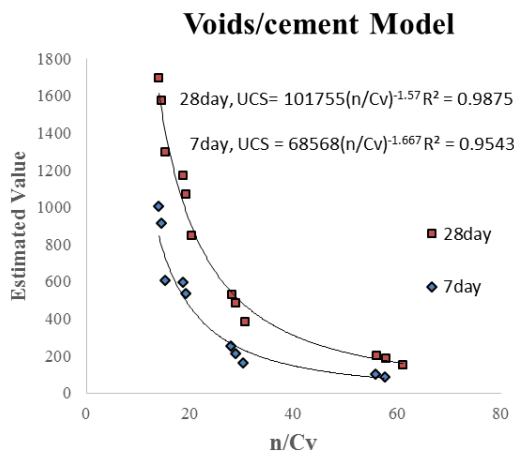


Figure 9. Evaluation of Polynomial model for 7 and 28 days curing time

شکل (۱۰) مقایسه روش چند جمله‌ای و روش نسبت حجمی سیمان / تخلخل برای نمونه‌های سیمانی



بهترین آن‌ها استفاده از رابطه توانی پارامتر (نسبت حجمی سیمان/تخلخل) است. پس در این پژوهش به ارائه رابطه‌ای که بتواند اثر سیمان و ژئولیت را با هم در نظر بگیرد پرداخته شده است. در این زمینه روابط تجربی زیادی بررسی شده، و رابطه زیر براساس تابع توانی و چند جمله‌ای ولترا با مقادیر وزنی سیمان و ژئولیت نمونه‌ها به عنوان یکی از بهترین روابط انتخاب شد.

$$UCS = a \left( \frac{n}{CZm} \right)^b \quad (1)$$

$$CZm = a_1 + a_2 M_C + a_3 M_Z + a_4 M_C^2 + a_5 M_Z^2 + a_6 M_C M_Z$$

نمونه‌های ۷ روزه:

$$UCS = 0.2693 \left( \frac{n}{CZm} \right)^{1.2197} \quad (2)$$

$$CZm = 0.8 - 1.99M_C - 0.419M_Z$$

$$+ 1.26M_C^2 + 0.024M_Z^2$$

$$+ 0.63M_C M_Z$$

نمونه‌های ۷ روزه:

$$UCS = 0.1888 \left( \frac{n}{CZm} \right)^{1.2277} \quad (3)$$

$$CZm = 0.32 - 0.77M_C - 0.33M_Z +$$

$$5.13M_C^2 + 0.135M_Z^2 + 0.39M_C M_Z$$

که در آن UCS مقاومت فشاری تک محوری،  $M_C$  درصد وزنی سیمان،  $M_Z$  درصد وزنی ژئولیت و  $n$  درصد تخلخل است.

در (شکل ۹) رابطه ۱ درستی آزمایشی و برای زمان‌های عمل‌آوری ۷ و ۲۸ روزه قرار گرفت که نشان از پیش‌بینی مناسب روش چند جمله‌ای است. همچنین برای مقایسه روابط این پژوهش با روابط قبلی ضرایب مربوط به روش تابع توانی پارامتر (نسبت حجمی سیمان/تخلخل) برای نمونه‌های سیمانی محاسبه شده و (شکل ۱۰) ارائه شد. همان‌گونه که در (شکل ۱۰) نشان داده شده است نتایج این



- مدل چند جمله‌ای ارائه شده در این مقاله تخمین مناسبی از مقاومت فشاری تک محوری برای نمونه‌های ژئولیتی سیمانی و سیمانی را دارد.

ژئولیت در مقایسه با سیمان علاوه بر موارد بالا مسائل زیست محیطی و مسائل دیگری از جمله زمان اختلاط با توجه به گیرش سیمان و سخت شدن عمل تراکم بیشتری دارد. همچنین درصد‌های افزایشی حداقل ۲۰ درصد ناشی از استفاده از ژئولیت به جای سیمان و با توجه به کاهش معضلات زیست محیطی استفاده از ژئولیت به جای سیمان ضروری به نظر می‌رسد.

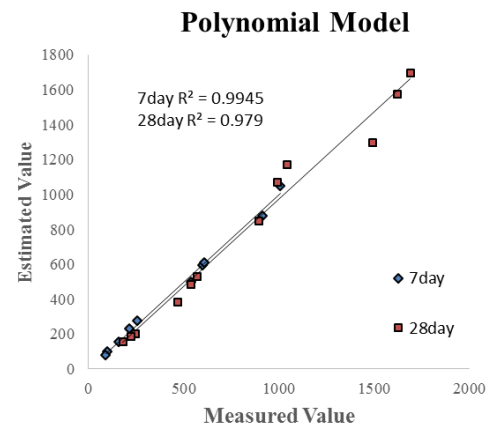


Figure 10. Adjusted voids/cement ratio and polynomial model for cemented specimens

## References

- [1] Consoli, N. C., Bassani, M. A. A. & Festugato, I. 2010 Effect of fiber-reinforcement on the strength of cemented soils, *Geotextiles and Geomembranes*, 28(10), 344-351.
- [2] Park, S. S. 2011 Unconfined compressive strength and ductility of fiber-reinforced cemented sand, *Construction and Building Materials*, 25(31), 1134-1138.
- [3] Porbaha, A., Shibuya, S. & Kishida, T., 2000 State-of-the-art in deep mixing technology, geomaterial characterization, *Ground Improvement*, 4(3), 91-110.
- [4] Kaniraj, S. R., & Havanagi, V. G. 1999 Compressive strength of cement stabilized fly ash soil mixtures, *Cement and Concrete Research*, 29, 673-677.
- [5] Miller, G. A. & Azad, S. 2000 Influence of soil type on stabilization with cement kiln dust, *Construction and Building Materials*, 14(10), 89-97.
- [6] Lo, S. R., & Wardani, S. P. R. 2002 Strength and dilatancy of a silt stabilized by a cement and fly ash mixture, *Canadian Geotechnical Journal*, 39(21), 77-89.
- [7] Consoli, N. C., Foppa, D., Festugato, L., & Heineck, K. S. 2007 Key parameters for strength control of artificially cemented soils, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 133(2), 197-205.
- [8] Al-Aghbari, M. Y., Mohamedzein, Y. E. A. & Taha, R. 2009 Stabilization of desert sands using cement and cement dust, *Proceeding of the Institution of Civil Engineers, Ground Improvement*, 162, 145-151.
- [9] Sidiqi, P., Eslami, A., & Aflaki, A. 2014 The effect of adding cement soil shear strength parameters on the southern shores of the Caspian Sea problem, *Journal of Civil Sharif*, 29(4), 97-107(in Persian).
- [10] Fakharian, K., Heidari, S. Eghbali, A.H. 2014 The effect of adding cement to sand resistance anisotropy in the compressive and tensile loads, *Journal of Civil Sharif*, 29(4), 117-125(in Persian).
- [11] Hamidi, A., & Ravanbakhsh, A. 2004 Provide a

## ۴- مراجع

## ۳- نتیجه گیری

در این پژوهش ژئولیت به عنوان یک ماده معدنی پوزلانی برای افزایش مقاومت ماسه تثبیت شده با سیمان که در محیط‌های خورنده پایداری بیشتری نسبت به سیمان داشته و سبب هیدراسیون آرام سیمان با حرارت‌زایی کمتر می‌شود، معرفی شده است. در بررسی نتایج آزمون مقاومت فشاری تک محوری روی نمونه‌های ژئولیتی سیمانی مشاهده می‌شود:

- مقاومت فشاری تک محوری ۲۸ روزه نمونه‌ها با افزایش درصد جایگزینی ژئولیت تا حدود ۳۰ درصد وزنی نسبت به سیمان، افزایش یافته و در مقادیر بیشتر کاهش می‌یابد. این افزایش مقاومت ناشی از فعالیت پوزلانی ژئولیت و کندتر کردن فرآیند هیدراسیون در مدت ۲۸ روز است.

- افزایش مقاومت ۲۸ روزه ناشی از استفاده بهینه از ژئولیت به جای سیمان بین ۲۰ تا ۷۵ درصد است که برای نمونه‌هایی که درصد سیمان بیشتر و تراکم کمتر دارند، درصد افزایش مقاومت بیشتر است

- با جایگزینی ژئولیت به جای سیمان، رفتار نمونه‌ها در موقع گسیختگی از حالت ترد به حالت خمیری میل می‌کنند.

- با افزایش تخلخل، مقاومت تک محوری کاهش می‌یابد. این کاهش مقاومت برای نمونه‌های ژئولیتی سیمانی در مدت عمل‌آوری ۲۸ روزه کمتر است.

- [18] Consoli, N. C., Consoli, B. S., & Festugato, L. 2013 A practical methodology for the determination of failure envelopes of fiber-reinforced cemented sands. *Geotextiles and Geomembranes*, 41, 50-54.
- [19] Khaleghi, M.H., Zeolites in Iran, Geological Organization of Iran.
- [20] <http://www.afrazand.com/Zeolite.htm>.
- [21] Albayraka, M., Yorukoglu, A., Karahan, S., Atlhan, S., Aruntas, H.Y. & Girgin, I. 2007 Influence of zeolite additive on properties of autoclaved aerated concrete, *Building and Environment*, 42, 3161–3165.
- [22] Caputo, D., Liguori, B. & Colella, C. 2008 Some advances in understanding the pozzolanic activity of zeolites: The effect of zeolite structure, *Cement and Concrete Composites*, 30, 455–462.
- [23] Yilmaz, B., Ucar, A. & Oteyaka, B., Uz, V. 2007 Properties of zeolite ctuff( clinoptilolite) blended portland cement, *Building and Environment*, 42(30), 3808–3815.
- [24] Abasi, M., Shooshpasha, I., & MolaAbasi, H. 2016 An investigation on tensile strength of Babolsar cemented sand with zeolite, *Accepted for publication in Sharif Journal* (in Persian).
- [25] Ahmadi, b. 2009 Explore the possibility of using zeolite as pozzolan in concrete, *Thesis for a master's degree in civil engineering, Faculty of Engineering, Tehran University*, 121(in Persian).
- [26] ASTM D-2166. 2000 Standard test method for unconfined compressive strength of cohesive soil, Annual Book of ASTM Standards, *American Society for Testing and Materials, West Conshohocken.*, 1-6.
- model to explain the mechanical behavior of sandy soils, *Journal of Teacher Development*, 13(1), 29-42(in Persian).
- [12] Hamidi, A., & Hassanzadeh, A. 2008 Evaluation of compressibility and sandy soil volume change, *Journal of Modares*, 11(1), 7-15(in Persian).
- [13] Consoli, N. C., Festugato, L., da Rocha, C. G., & Cruz, R. C. 2013 Key parameters for strength control of rammed sand–cement mixtures: Influence of types of Portland cement, *Construction and Building Materials*, 49, 591-597.
- [14] Faro, V. P., Consoli, N. C., Schnaid, F., Thomé, A., & Silva Lopes, L. 2015 Field tests on laterally loaded rigid piles in cement treated soils. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 141(6), 539-548.
- [15] Yilmaz, E., Belem, T., & Benzaazoua, M. 2015 Specimen size effect on strength behavior of cemented paste backfills subjected to different placement conditions. *Engineering Geology*, 185, 52-62.
- [16] Choobbasti, A. J., Vafaei, A., & Kutanaei, S. S. 2015 Mechanical properties of sandy soil improved with cement and nanosilica. *Open Engineering*, 5(1), 221-229.
- [17] Arabani, M., Sharafi, H., Habibi, M. R., & Haghshenas, E. 2015 Laboratory evaluation of cement stabilized crushed glass–sand blends. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, 17, 1777-1792.

# Evaluation of Zeolite Effect on Strength of Babolsar Sand Stabilized with Cement using Unconfined Compression Test

Hossein MolaAbasi<sup>1</sup> and Issa Shooshpasha<sup>2</sup>

1 Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Gonbad University, Gonbad, Iran

2 Associate Professor, Department of Civil Engineering, Babol University of Technology, Babol, Iran

hma@stu.nit.ac.ir

## Abstract:

Soil stabilization with cement has for many years been a ground improvement technique for some engineering applications such as construction of stabilized bases under pavements, canal lining and engineered fills. This reliable and simple soil improvement technique can provide great advantages including increasing shear strength parameters and avoiding the use of borrow materials from elsewhere. The compressive strength of artificially cemented soils has been studied by many researchers. On the other hand, using additive fiber, glass, fly ash, silica fume and nano particle in cement stabilization industry has several advantages. There are few studies about the effect of natural zeolite as an additive material on the cemented sand. Natural zeolite, an extender, has been investigated for use as cement and concrete improver by some researchers. In this study, the use of a natural zeolite additive, as a potential improver of cemented sand is investigated. Natural zeolite contains large quantities of reactive  $\text{SiO}_2$  and  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Similar to other pozzolanic materials, zeolite substitution can improve the strength of cement by pozzolanic reaction with  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , can prevent undesirable expansion due to alkali- aggregate reaction, reduce the porosity of the blended cement paste and improve the interfacial microstructure properties between the blended cement paste. It has been observed that pozzolanic activity of natural zeolite is higher than that of fly ash but lower than that of silica fume. It was concluded that the clinoptilolite blend decreases the specific gravity of cements. There are several investigations about the relationship between unconfined compressive strength ( $q_u$ ) and voids/cement ratio of cemented sand. However, existing equations based on voids/cement ratio cannot estimate  $q_u$  values of zeolite cemented sand mixtures properly. In this research, a series of laboratory tests have been performed to investigate the mechanical characteristics of zeolite cemented sand. The effect of zeolite, cement and porosity on behavior is evaluated in term of  $q_u$ . Therefore, clinoptilolite kind of zeolite, Neka cement type II and Babolsar sand are used in this study. A total number of 144 unconfined compression tests were carried out on 24 combination type of cement and zeolite include different cement percentages 2, 4, 6 and 8 percent of total dry weight of samples and replacement percent's of 0, 10, 30, 50, 70 and 90 zeolite with cement based on 50,70 and 85% relative densities in 7 and 28 days curing times. Results show  $q_u$  and failure properties improvements of cement sand specimens when cement replaced by zeolite at optimum proportions of 30% after 28 days due to pozzolanic reaction. For 28 day curing time, by replacement percentage of 30 zeolite material by cement, the unconfined strength increased 20 to 80% in comparison with cemented samples by increasing shear strain. For higher cement content and less compacted blends, these improvement rates are more. The addition of zeolite to the cement sand mixture can makes increase strain at failure, and reduce brittle behavior. At the end, a power function fits presented to relate  $q_u$  and zeolite-cement-soil parameters (porosity ( $n$ ) and voids/ polynomial model of cement and zeolite voids).

**Keywords:** Stabilization, Cement, Zeolite, Unconfined compression strength, Polynomial.