

مقاومت فشاری، کششی و خمشی بهبود یافته نمونه‌های غیر مسلح و تیرهای مسلح بتنی حاوی زئولیت

محمدکاظم شربتدار*^۱ و مجید ارویی^۲

^۱ دانشیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان

^۲ دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان

(دریافت: ۹۵/۱۱/۲۹، پذیرش: ۹۶/۹/۱۸، نشر آنلاین: ۹۶/۹/۱۹)

چکیده

استفاده از مواد معدنی در دسترس برای بهبود خواص ذاتی بتن از جمله مقاومت مکانیکی و دوام آن لازم است. در این پژوهش به منظور بررسی خواص بتن‌های حاوی زئولیت، ۸ طرح مخلوط با نسبت آب به سیمان ۰/۵ و افزودن زئولیت ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد و همچنین افزودن ۷ درصد دوده سیلیسی طراحی و در دو بخش خواص مکانیکی و سازه‌ای، نمونه‌هایی ساخته شد. در سنجش خواص سازه‌ای از ۴ طرح اختلاط بهینه شامل بتن معمولی، بتن دوده سیلیسی (۷ درصد)، بتن زئولیتی (۱۰ درصد)، بتن حاوی زئولیت و دوده سیلیسی (۵ درصد زئولیت و ۷ درصد دوده سیلیسی) استفاده گردید. در بخش سنجش خواص مکانیکی ۴۸ نمونه بتنی مکعبی فشاری، ۲۴ نمونه تیر خمشی غیر مسلح، ۲۴ نمونه استوانه‌ای کششی و در بخش سنجش خواص سازه‌ای ۸ تیر بتن آرمه ساخته شدند. نتایج آزمایشگاهی نشان داد که افزودن پوزولان زئولیت در بتن در تمامی طرح‌های مخلوط باعث افزایش مقاومت فشاری، کششی و خمشی گردید که درصد بهینه ۱۰ درصد به عنوان مناسب‌ترین درصد حاصل گردید. مقاومت فشاری ۷۲ روزه نسبت به مقاومت ۲۸ روزه بتن مرجع به میزان ۲۶ درصد افزایش نشان داد. ضمناً افزودن دوده سیلیسی در بتن اثری بهتر از پوزولان زئولیت داشت به طوری که نسبت مقاومت خمشی ۷۲ روزه تیرهای حاوی ۱۰٪ زئولیت و ۷٪ دوده سیلیسی این دو نمونه نسبت به مقاومت خمشی تئوری نمونه مرجع به ترتیب ۲۷ و ۳۳٪ افزایش داشتند.

کلیدواژه‌ها: مقاومت بتن، مصالح معدنی، پوزولان، زئولیت، خواص مکانیکی، خواص سازه‌ای.

۱- مقدمه

نمونه‌ها با پوزولان به نمونه‌های کنترل شده در شرایط یکسان مورد استفاده قرار می‌گیرد (خوشایند و همکاران، ۱۳۸۴).

در ایران منابع قابل توجهی از این مواد در منطقه تفتان در استان سیستان و بلوچستان در منطقه سیلان و در منطقه دماوند در شمال تهران وجود دارند (فامیلی و همکاران، ۱۳۸۰).

نتایج آزمایش‌ها انجام شده روی پودر پوزولان تفتان و زئولیت نشانگر فعالیت مناسب آن و جایگزینی با سیمان مقاومت مناسب و دوام در محیط‌های آسیب‌رسان را از خود نشان می‌دهد (شایگی‌نیک، ۱۳۸۵؛ Shekarchi و Ahmadi، ۲۰۱۰). در چند سال اخیر استفاده از زئولیت در بتن به عنوان یک ماده پوزولانی رواج بسیاری پیدا کرده است، به طوری که در حال حاضر در کشور چین مصرف سالانه زئولیت در تولید بتن و سیمان بیش از ۳۰ میلیون تن است (Peng و Feng، ۲۰۰۵؛ Poon و همکاران، ۱۹۹۹).

بتن معمولی دارای نقاط ضعفی است که جایگزین کردن بخشی از سیمان مصرفی در بتن با مواد معدنی مانند خاکستر بادی، سرباره کوره آهن‌گدازی، دوده سیلیس، خاکستر پوسته برنج و همچنین پوزولان‌های طبیعی مانند خاکستر پومیس، توف‌های آتشفشانی، متاکائولین و زئولیت موجب بهبود خواص سیمان و بتن از دیدگاه‌های مکانیکی و پایایی می‌گردند و ذخیره کردن مقدار قابل توجهی انرژی در فرآیند تولید سیمان و مشارکت در توسعه پایدار از طریق کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شود (مهتا، ۱۳۸۸؛ ولی‌پور و پرگر، ۱۳۸۹؛ Mehta، ۱۹۷۵؛ رضانیانپور و همکاران، ۱۳۸۸).

اختلاف بین مقاومت‌های سیمان پوزولانی در دمای نرمال یا بالاتر را می‌توان به عنوان اندیس فعالیت پوزولانی منظور کرد. از آنجا که میزان اختلاف مقاومت‌های فشاری به عنوان اندیس فعالیت پوزولانی معیاری مناسب نیست لذا نسبت مقاومت‌های

* نویسنده مسئول؛ شماره تماس: ۰۲۳-۳۳۶۵۴۱۲۱

این که با قیمت زیاد از کشورهای دیگر وارد می‌شوند. پوزولان زئولیت به دلیل وفور در مناطق مختلف کشور می‌تواند به طور اقتصادی مورد بررسی قرار گیرد. با توجه به مطالعات انجام شده بر روی خواص پایایی مطلوب افزودن زئولیت در بتن، خواص مکانیکی و در نهایت خواص سازه‌ای نیز باید مورد بررسی قرار گیرد، که در این تحقیق المان‌های سازه‌ای تیر دارای بتن زئولیتی مورد آزمایش خواص مقاومتی و سازه‌ای قرار گرفت.

۲- معرفی نمونه‌های آزمایشگاهی

۲-۱- معرفی نمونه‌های آزمایشگاهی

جهت دستیابی به درصد بهینه استفاده از زئولیت و دوده سیلیسی به عنوان پوزولان در بتن برای افزایش مقاومت بتن، هشت نوع ترکیب بتن پوزولانی طبق جدول (۱) تهیه و ۴۸ نمونه مکعبی به ابعاد ۱۰ سانتی‌متر جهت اندازه‌گیری مقاومت فشاری و ۲۴ نمونه استوانه‌ای به ارتفاع ۲۰ و قطر ۱۰ سانتی‌متر و ۲۴ نمونه تیر غیر مسلح به ابعاد ۱۰×۱۰×۵۰ سانتی‌متر جهت سنجش مقاومت خمشی مطابق شکل (۱) ساخته شدند و سپس چهار نوع طرح اختلاط شامل ze, sf, c و zesf مطابق جدول (۱) از نظر مقاومتی بهینه تشخیص داده شد.



(الف)



(ب)



(ج)

شکل ۱- نمونه‌های ساخته شده مقاومتی: (الف) فشاری مکعبی، (ب) کششی استوانه‌ای، (ج) خمشی منشوری

تحقیقات گسترده در دهه ۹۰ نشان داد که همچون مواد پوزولانی دیگر با جایگزینی بخشی از سیمان با زئولیت ۱۰ الی ۱۵ درصد می‌توان مقاومت بتن را افزایش داد و بیشتر از ۱۵ الی ۲۰ درصد سبب کاهش مقاومت اولیه (کمتر از ۲۸ روز) و جبران مقاومت در سنین زیاد (۹۰ و ۱۸۰ روزه) می‌شود باعث جلوگیری انبساط ناشی از واکنش سنگدانه‌های قلیائی، کاهش تخلخل و بهبود میکروساختار بین سیمان و سنگدانه و نفوذناپذیری خواهد شد و همچنین در ترکیب با خاکستر بادی و دوده سیلیسی هم مؤثرتر بودند (Feng و همکاران، ۱۹۹۰؛ Sammy و همکاران، ۱۹۹۹؛ Feng و همکاران، ۱۹۹۸؛ Feng و همکاران، ۲۰۰۲).

تحقیقات انجام شده در دهه گذشته نیز موید کاربرد مناسب زئولیت حتی در درصدهای بالاتر از ۲۰ درصد در بتن برای بهبود خواص مقاومتی، دوام و خواص سازه‌ای برای بتن‌های معمولی و جریان‌پذیری خودمتراکم دارد (مدندوست و موسوی، ۱۳۹۱؛ Uzal و همکاران، ۲۰۰۷؛ ACI 224، ۲۰۰۱؛ Karakurt و Topçu، ۲۰۱۱؛ Aydin و Türkmen، ۲۰۱۰؛ Gioffi و همکاران، ۲۰۰۷).

رمضانینپور و همکاران (۱۳۹۰، ۱۳۹۱، ۱۳۹۳) و دیگران در کارهای مجزا نشان دادند که زئولیت باعث بهبود ناحیه انتقال و خواص مقاومتی بتن سبکدانه شده و همچنین باعث کاهش وزن مخصوص می‌شود و سیستم عمل‌آوری هم در خواص نهایی مؤثر است (صدافت دوست، ۱۳۹۱).

تأثیر درجات مختلف حرارتی بر روی بتن حاوی زئولیت مورد بررسی آزمایشگاهی قرار داده شد و با نتایج حاصل از مقاومت فشاری و کششی بتنی که بدون استفاده از پودر زئولیت ساخته شده است مقایسه گردید (رنجبر و همکاران، ۱۳۹۲). در ضمن بررسی تأثیر استفاده از پوزولان‌های دوده سیلیسی، متاکائولن و زئولیت و الیاف پلی‌پروپیلن بر بتن مورد آزمایش قرار گرفت که نتایج نشان دهنده عملکرد مثبت آزمون‌های حاوی پوزولان در مقایسه با بتن بدون پوزولان است (شکرچی‌زاده و همکاران، ۱۳۸۹).

دوام بتن‌های حاوی زئولیت در برابر نفوذ یون‌های کلراید و خوردگی مورد آزمایش قرار گرفت و نتایج نشان داد که مواد پوزولانی می‌توانند نقش مفیدی در جلوگیری از این پدیده داشته باشد (رمضانینپور و همکاران، ۱۳۸۹).

بهبود دوام بتن با استفاده از ترکیب زئولیت با دوده سیلیسی و خاکستر بادی نیز توسط محققین مورد آزمایش قرار گرفت و بهترین نتیجه مربوط به طرح حاوی ترکیب دوده سیلیسی و زئولیت می‌باشد (احمدی، ۱۳۹۰).

یکی از راهکارهای مناسب و رایج در دنیا برای کاهش نیاز به تولید سیمان و بهبود خواص مکانیکی بتن، استفاده از مواد پوزولانی می‌باشد ولی مواد پوزولانی کارآمد و شناخته شده همچون دوده سیلیسی، روباره آهن‌گدازی، متاکائولین و خاکستر بادی یا در کشور به صورت محدود و قیمت زیاد تولید می‌شوند یا

۲-۲- معرفی مصالح مصرفی

در انجام این آزمایش‌ها از سنگدانه‌های درشت‌دانه با حداکثر اندازه ۹/۵ و سنگدانه‌های ریزدانه با مدول ریزی ۳/۳ استفاده گردید. وزن مخصوص و جذب آب سنگدانه‌های درشت‌دانه و ریزدانه به ترتیب ۲/۷ و ۰/۵۸، ۲/۶۵ و ۱/۸ می‌باشد. سیمان مورد استفاده از نوع سیمان پرتلند تیپ ۱-۳۲۵ می‌باشد. دوده سیلیسی مورد استفاده در این آزمایش از کارخانه فروسیلیس سمنان و زئولیت مورد استفاده از معادن جنوب سمنان تهیه شد که بعد از پودر شدن سنگدانه‌های زئولیتی، در سیمان به عنوان پوزولان مورد استفاده قرار گرفت که مشخصات شیمیایی و فیزیکی سیمان، دوده سیلیسی، زئولیت در جدول (۲) داده شده است. در این تحقیق به منظور افزایش کارایی بتن از یک فوق روان‌کننده با نام تجاری نوترال 102N استفاده شد. پس از انجام آزمایش کشش بر روی میلگردهای فولادی، مقاومت جاری شدن و نهایی برابر ۴۵۹ و ۶۲۰ مگاپاسکال شدند.

جدول ۲- مشخصات شیمیایی و فیزیکی سیمان، دوده

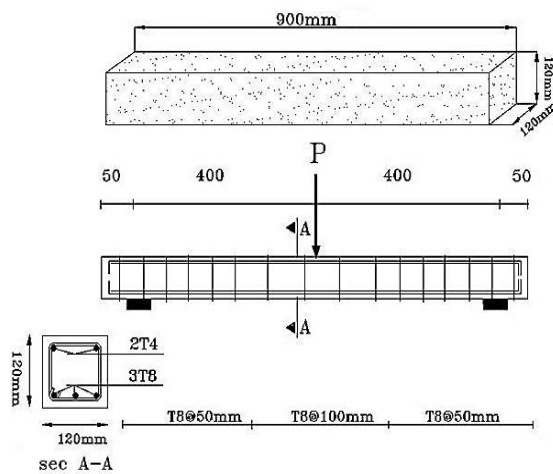
سیلیسی، زئولیت

مشخصات شیمیایی	سیمان (%)	میکروسیلیس (%)	زئولیت (%)	ردیف
SiO_2	۲۱/۶	۸۵-۹۵	۶۶/۳۱	۱
Al_2O_3	۴/۴۷	۰/۵-۰/۷	۹/۸۳	۲
Fe_2O_3	۴/۰۸	۰/۴-۲	۱/۲۳	۳
CaO	۶۳/۵	---	۳/۴۹	۴
MgO	۱/۵۴	۰/۱-۰/۹	۰/۹۲	۵
SO_3	۲/۳۷	---	۰/۰۷	۶
K_2O	۰/۵۴	۰/۱۵-۱/۰۲	۲/۲۴	۷
Na_2O	۰/۳۷	۰/۱۵-۰/۲	۳/۵۶	۸
<i>L. O. I</i>	۲/۵۴	---	۱۱/۹	۹
<i>IR</i>	۰/۴	---	---	۱۰
<i>F. CaO</i>	۱/۱۰	---	---	۱۱
<i>LSF</i>	۹۰/۳	---	---	۱۲
<i>SIM</i>	۲/۵۱	---	---	۱۳
<i>ALM</i>	۱/۱	---	---	۱۴
C_3S	۴۸/۶	---	---	۱۵
C_2S	۲۵/۷	---	---	۱۶
C_3A	۵	---	---	۱۷
C_4AF	۱۲/۵	---	---	۱۸
مشخصات فیزیکی				
	۳/۱	۲/۲۱	۲/۳	وزن مخصوص
				$\frac{kg}{m^3}$
	۳۰۵۰	۱۴۰۰۰	۱۰۰۰۰	سطح مخصوص
				$\frac{cm^2}{gr}$

از هر کدام از این طرح اختلاط دو تیر بتن آرمه و جمعاً هشت تیر برای بررسی رفتار سازه‌ای با ابعاد طول ۹۰۰ میلی‌متر و ارتفاع و عرض ۱۲۰ میلی‌متر مطابق شکل (۲) ساخته شد. در این تیرها از دو میلگرد به قطر ۴ میلی‌متر به عنوان میلگرد فشاری و سه عدد میلگرد به قطر ۸ میلی‌متر به عنوان میلگرد کششی و میلگرد قطر ۸ میلی‌متر به عنوان خاموت در فواصل متفاوت به کار رفته است.

جدول ۱- نحوه نام‌گذاری نمونه‌های بتنی

نام نمونه	درصدهای پوزولان جایگزین سیمان
c	نمونه کنترل بدون ماده افزودنی جایگزین سیمان
sf	نمونه با ۷٪ میکروسیلیس جایگزینی سیمان
5ze	نمونه با ۵٪ زئولیت جایگزینی سیمان
10ze	نمونه با ۱۰٪ زئولیت جایگزینی سیمان
15ze	نمونه با ۱۵٪ زئولیت جایگزینی سیمان
5zesf	نمونه با ۵٪ زئولیت و ۷٪ میکروسیلیس جایگزینی سیمان
10zesf	نمونه با ۱۰٪ زئولیت و ۷٪ میکروسیلیس جایگزینی سیمان
15zesf	نمونه با ۱۵٪ زئولیت و ۷٪ میکروسیلیس جایگزینی سیمان



(الف)



(ب)

شکل ۲- تیرهای مسلح سازه‌ای مورد آزمایش: الف) جزئیات سازه‌ای و تکیه‌گاه‌ها، ب) نمونه‌های ساخته شده

۲-۳- طرح مخلوط

در انجام این تحقیق، ۸ نوع طرح مخلوط به روش حجمی مطابق جدول (۳) با نسبت آب به سیمان ۰/۵ (با فرض سنگدانه اشباع با سطح خشک) و سه نسبت جایگزینی زئولیت ۵ و ۱۰ و ۱۵ درصد زئولیت به همراه دوده سیلیسی مورد آزمایش قرار گرفت و در نهایت با توجه درصدهای بهینه از کل اختلاطها چهار نوع طرح اختلاط برای ساخت تیر بتن آرمه مورد توجه قرار گرفت، در ضمن در همه طرحهای اختلاط، شن و ماسه به صورت مرطوب بوده است لذا مقدار آب واقعی مصرف شده کمتر از ۱۷۵ کیلو در یک مترمکعب بتن بود. همچنین چون هدف اصلی مقایسه اسلامپ نبوده، میزان روان کننده مصرفی در همه طرحها ثابت بود.

۳- نتایج آزمایشات و تجزیه و تحلیل

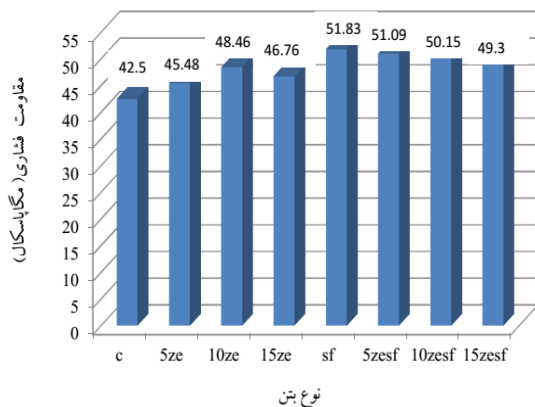
۳-۱- بتن تازه

آزمایش استاندارد برای انجام اسلامپ و کارایی بتن مطابق استاندارد ASTM C143 (۲۰۱۵)، انجام می‌گیرد. از یک قالب به شکل مخروط ناقص به ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر، قطر ۱۰ سانتی‌متر در بالا و قطر ۲۰ سانتی‌متر در پایین استفاده می‌شود که در سه لایه بتن‌ریزی شده و متراکم می‌گردد. در این آزمایش اسلامپ طرحهای اختلاط در حدود ۶-۹ سانتی‌متر اندازه‌گیری شد که دارای کارایی مناسبی می‌باشد.

۳-۲- مقاومت نمونه‌های فشاری، کششی و خمشی

سیستم بارگذاری فشاری توسط یک دستگاه تمام اتوماتیک آزمایش فشاری با ظرفیت ۲۰۰۰ kN طبق استاندارد BS1881 (۲۰۱۱) و استاندارد ASTM C39 (۲۰۱۷)، انجام می‌شود. همچنین برای اندازه‌گیری مقاومت کششی طبق استاندارد ASTM C496 (۲۰۰۴)، از همان جک استفاده گردید که نمونه به صورت جانبی قرار داده شده و نیرو به آن وارد می‌شود. سیستم

بارگذاری خمشی توسط یک دستگاه تمام اتوماتیک آزمایش خمش با ظرفیت ۲۰۰ kN بر طبق استاندارد ASTM C78 (۲۰۱۶)، انجام می‌شود. نمونه‌ها بر روی دو تکیه‌گاه در قسمتی از یک قاب صلب قرار گرفته و سپس توسط دستگاه بر نقطه میانی نیرو وارد می‌شود، نیرو و تغییر مکان حاصل از آن توسط دستگاه ثبت می‌شود. نتایج آزمایش تعیین مقاومت فشاری نمونه‌های مکعبی بتنی ۲۸ روزه مطابق با ASTM C39 برابر $f_{cu}=P/A$ می‌باشد که f_{cu} مقاومت فشاری بر حسب (مگاپاسکال)، P حداکثر نیروی فشاری بر حسب نیوتن، A سطح مقطع نمونه بتن بر حسب میلی‌متر مربع می‌باشد. نتایج اولیه نمونه مقاومت فشاری نمونه‌های مکعبی انواع طرحهای اختلاط در جدول (۴) ارائه شده است، در ضمن نتایج مقاومت فشاری نمونه‌های مکعبی به صورت نمودار ستونی در شکل (۳) نشان داده شده است. کلیه آزمایشات فشاری، کششی و خمشی به صورت کنترل نیرو انجام شدند. نسبت مقاومت فشاری انواع نمونه‌های آزمایشگاهی پوزولانی به مقاومت بتن معمولی در جدول (۵) ارائه شده است که میزان افزایش مقاومت از ۷ درصد تا ۲۲ درصد را نشان می‌دهد.



شکل ۳- نمودار مقاومت فشاری بتن‌های مختلف

جدول ۳- مشخصات طرح مخلوط بتن kg/m^3

ردیف	نام طرح	آب (kg)	سیمان (kg)	ماسه (kg)	شن (kg)	فوق روان‌کننده (kg)	میکروسیلیس (kg)	زئولیت (kg)	جمع کل (kg)
۱	c	۱۷۵	۳۵۰	۸۷۵	۸۴۰	۱/۰۲	-	-	۲۲۴۱
۲	5ze	۱۷۵	۳۳۲/۵	۸۷۵	۸۴۰	۱/۰۲	-	۱۷/۵	۲۲۴۱
۳	10ze	۱۷۵	۳۱۵	۸۷۵	۸۴۰	۱/۰۲	-	۳۵	۲۲۴۱
۴	15ze	۱۷۵	۲۹۷/۵	۸۷۵	۸۴۰	۱/۰۲	-	۵۲/۵	۲۲۴۱
۵	Sf	۱۷۵	۳۲۵/۵	۸۷۵	۸۴۰	۱/۰۲	۲۴/۵	-	۲۲۴۱
۶	5zesf	۱۷۵	۳۰۸	۸۷۵	۸۴۰	۱/۰۲	۲۴/۵	۱۷/۵	۲۲۴۱
۷	10zesf	۱۷۵	۲۹۰/۵	۸۷۵	۸۴۰	۱/۰۲	۲۴/۵	۳۵	۲۲۴۱
۸	15zesf	۱۷۵	۲۷۳	۸۷۵	۸۴۰	۱/۰۲	۲۴/۵	۵۲/۵	۲۲۴۱

جدول ۴- نتایج مقاومت فشاری ۲۸ روزه نمونه‌های مکعبی (MPa)

شماره نمونه	C	5Z	10Z	15Z	SF	5ZSF	10ZSF	15ZSF
۱	۴۳/۵۵	۴۶/۳	۴۹/۳۳	۴۷/۷۳	۵۰/۶۲	۵۱/۳۵	۵۰/۲۵	۴۸/۲۱
۲	۴۱/۲۵	۴۵/۲۵	۴۸/۶	۴۷/۴۵	۵۱/۵۵	۵۲/۲۵	۵۱/۲	۵۰/۴
۳	۴۲/۴۶	۴۴/۱۲	۴۷/۶	۴۶/۳۲	۵۳/۸۱	۵۲/۴۵	۴۸/۳	۵۰/۳
۴	۴۴/۱۰	۴۶/۳۵	۴۹/۷	۴۵/۴	۵۲/۷۶	۵۱/۶	۴۹	۴۹/۱۶
۵	۴۲/۲۲	۴۵/۲	۴۸/۳۶	۴۵/۳۵	۵۲/۳۵	۴۹/۵۲	۵۰/۱۳	۵۰/۱۵
۶	۴۱/۴	۴۵/۷	۴۷/۲۲	۴۷/۳۲	۴۹/۹	۴۹/۴	۵۲	۴۷/۶
میانگین	۴۲/۵۰	۴۵/۴۸	۴۸/۴۶	۴۶/۷۶	۵۱/۸۳	۵۱/۰۹	۵۰/۱۵	۴۹/۳
انحراف معیار	۰/۸۸	۰/۶۳	۰/۷۴	۱/۰۷	۱/۱۴	۱/۰۹	۱	۰/۹۸
ضریب تغییرات	۲/۰۸	۱/۳۸	۱/۵۳	۲/۲۹	۲/۲	۲/۱۳	۲	۱/۹۸

جدول ۵- نسبت مقاومت فشاری بتن‌های پوزولانی به بتن معمول

C	5ZE	10ZE	15ZE	SF	5ZESF	10ZESF	15ZESF
۱	۱/۰۷	۱/۱۴	۱/۱۰	۱/۲۲	۱/۲۰	۱/۱۸	۱/۱۶

جدول ۶- نتایج نمونه‌های مکعبی فشاری ۷۲ روزه

نام نمونه	ترکیب مواد افزودنی	مقاومت فشاری (MPa)	میانگین مقاومت فشاری (MPa)
A	C(Ref)	۴۸/۲۵ ۴۶/۵۰	۴۷/۲۵
B	%7SF	۵۳ ۵۴/۵۲	۵۳/۷۶
C	%10ZE	۵۶/۱ ۵۸/۹	۵۷/۵
D	%7SF, %5ZE	۵۴/۸ ۵۷/۵۸	۵۶/۱۹

جدول ۷- بررسی تأثیر زمان در مقاومت نمونه‌های بتنی زئولیتی

نمونه	مقاومت فشاری ۲۸ روزه (مگاپاسکال)	مقاومت فشاری ۷۲ روزه (مگاپاسکال)	درصد افزایش مقاومت ۷۲ روزه به مقاومت ۲۸ روزه مرجع	درصد افزایش مقاومت ۷۲ روزه به مقاومت ۲۸ روزه متناظر	نسبت درصد افزایش نمونه‌ها به نمونه مرجع در طول عمر
(C) مرجع	۴۲/۵	۴۷/۵	۱۱/۷	۱۱/۷	۱
(10ZE) ۱۰٪ زئولیت	۴۸/۴۶	۵۴/۲۵	۲۶	۱۰	۰/۸۵
(SF) ۷٪ میکروسیلیس	۵۱/۸۳	۵۷/۵	۳۵	۹	۰/۷۶
(5ZESF) ۵٪ زئولیت ۷٪ میکروسیلیس	۵۱/۰۹	۵۶/۱۹	۳۲	۹	۰/۷۶

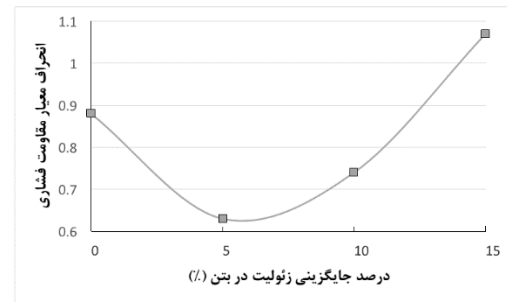
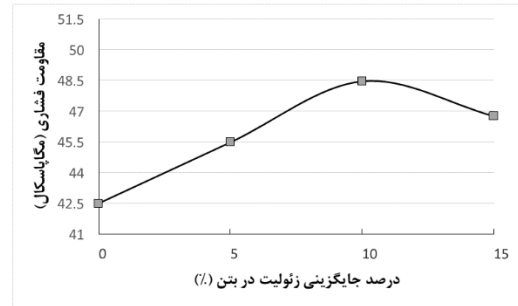
جدول ۸- نتایج مقاومت کششی نمونه‌های استوانه‌ای (MPa)

شماره نمونه	C	5Z	10Z	15Z	SF	5ZSF	10ZSF	15ZSF
۱	۳/۱۷	۳/۷۳	۳/۷۷	۳/۷۷	۳/۹	۴/۳۰	۳/۹	۳/۹
۲	۳/۳۲	۳/۸۶	۴/۱	۳/۹	۴/۲	۴/۱۲	۴/۱۶	۳/۹۵
۳	۳/۵۶	۳/۴۴	۴/۲	۳/۶	۴/۴۵	۳/۹۵	۴	۳/۷
میانگین	۳/۳۵	۳/۶۷	۴/۰۲	۳/۷۵	۴/۱۸	۴/۱۲	۴/۰۲	۳/۸۵
انحراف معیار	۰/۱۴	۰/۱۵	۰/۱۶	۰/۱۰	۰/۱۸	۰/۱۱	۰/۰۹	۰/۱
ضریب تغییرات	۴/۱۷	۴/۲۹	۴/۱۹	۲/۷۸	۴/۵۱	۲/۸۵	۲/۳۲	۲/۵۹

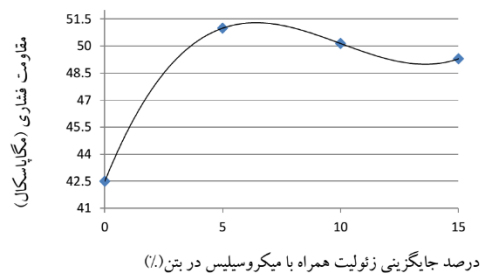
نمونه بتنی ژئولیت- دوده سیلیسی f_{cuzst} قابل محاسبه می‌باشد، ضمناً در شکل (۴) منحنی تغییرات انحراف معیار مقاومت فشاری در مقابل افزایش درصد ژئولیت نشان داده شده است. همچنین مقاومت فشاری ۷۲ روزه نمونه‌های مکعبی که در هنگام آزمایش تیرهای سازه‌ای به دست آمده در جدول (۶) می‌باشد، لذا تأثیر زمان در مقاومت نمونه‌های بتنی پوزولانی ژئولیتی در جدول (۷) داده شده است.

مقایسه نتایج جداول (۴) و (۶) نشان می‌دهد که اضافه کردن میکروسیلیس و ژئولیت به طور هم‌زمان باعث افزایش مقاومت فشاری ۲۸ روزه نمی‌شود ولی تا ۶ درصد باعث افزایش مقاومت ۷۲ روزه شده است، همچنین جدول (۷) نشان می‌دهد که مقاومت ۷۲ نسبت به ۲۸ روز به طور متوسط در حدود ۱۰٪ افزایش یافته و نسبت مقاومت ۷۲ روزه به مقاومت ۲۸ روزه بتن معمولی در نمونه‌های ژئولیتی ۲۶ درصد و در نمونه‌های دوده سیلیسی ۳۵ درصد افزایش داشته است، به تعبیر دیگر نسبت درصد افزایش نمونه‌ها به نمونه بتن مرجع برای نمونه‌های حاوی ژئولیت برابر ۸۵٪، میزان نمونه‌های بتن معمولی و برای نمونه‌های حاوی دوده سیلیسی نیز ۷۶٪ بتن معمولی بوده است. مقاومت کششی به روش دو نیم شدن بر روی نمونه‌های استوانه‌ای مطابق ASTM C496 و از رابطه $f_t = 2P/(\pi LD)$ تعیین می‌شود که f_t بر حسب مگاپاسکال و P حداکثر بار اعمال بر حسب نیوتن می‌باشد و L و D به ترتیب طول و قطر نمونه استوانه‌ای بر حسب میلی‌متر می‌باشند. نتایج مقاومت کششی نمونه‌های آزمایشگاهی استوانه‌ای که به صورت دونیم شدن آزمایش شده‌اند در جدول (۸) ارائه شده‌اند. نسبت مقاومت کششی انواع نمونه‌های آزمایشگاهی پوزولانی به مقاومت کششی بتن معمولی در جدول (۹) ارائه شده است که میزان افزایش مقاومت از ۹ تا ۲۴ درصد را نشان می‌دهد. نتایج جدول (۸) نشان می‌دهد که اضافه کردن میکروسیلیس و ژئولیت به طور هم‌زمان باعث افزایش مقاومت کششی نمی‌شود.

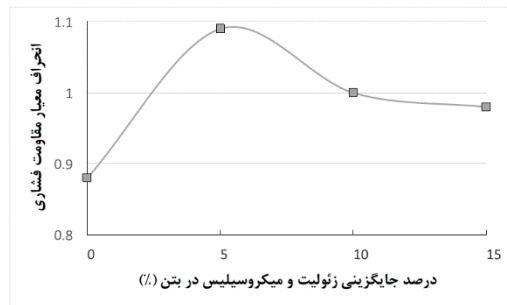
رابطه بین درصد جایگزینی ژئولیت (X) در سیمان و مقاومت کششی معادل و همچنین رابطه بین درصد جایگزینی ژئولیت (X) و ۷ درصد میکروسیلیس در سیمان و مقاومت کششی معادل در شکل (۵) نشان داده شده است که ضرائب تبدیل مقاومت کششی نمونه بتنی معمولی f_t به مقاومت کششی نمونه بتنی ژئولیتی f_{tz} یا مقاومت کششی نمونه بتنی ژئولیت- دوده سیلیسی f_{tzzsf} قابل محاسبه می‌باشند، ضمناً در شکل (۵) منحنی تغییرات انحراف معیار مقاومت کششی در مقابل افزایش درصد ژئولیت نشان داده شده است.



(الف)



(ب)



(ب)

شکل ۴- درون‌بایی بین درصد جایگزینی ژئولیت و مقاومت فشاری بتن و انحراف معیار: الف) ژئولیت تنها، ب) ژئولیت به همراه میکروسیلیس

رابطه بین درصد جایگزینی ژئولیت (X) در سیمان و مقاومت فشاری معادل و همچنین رابطه بین درصد جایگزینی ژئولیت (X) و ۷ درصد دوده سیلیسی در سیمان و مقاومت فشاری معادل در شکل (۴) نشان داده شده است که ضرائب تبدیل مقاومت نمونه بتنی معمولی f_{cu} به مقاومت نمونه بتنی ژئولیتی f_{cuz} یا مقاومت

جدول ۹- نسبت مقاومت کششی بتن‌های پوزولانی به بتن معمولی

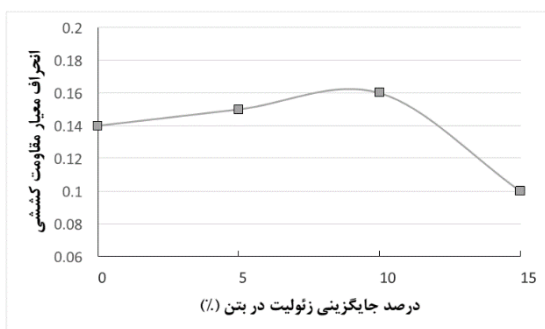
15ZESF	10ZESF	5ZESF	SF	15ZE	10ZE	5ZE	C
۱/۱۵	۱/۲	۱/۲۳	۱/۲۴	۱/۱۲	۱/۲۰	۱/۰۹	۱

جدول ۱۰- نتایج مقاومت خمشی نمونه‌های منشوری (MPa)

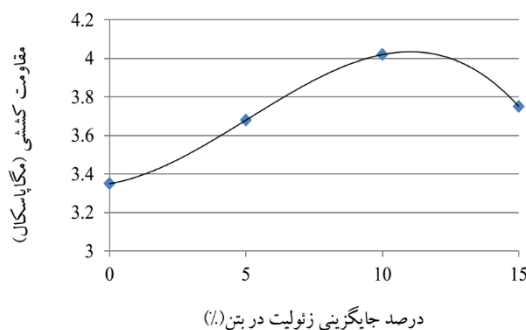
شماره نمونه	C	5Z	10Z	15Z	SF	5ZSF	10ZSF	15zsf
۱	۶/۱	۶/۷۲	۶/۵۸	۶/۹۲	۷/۱۵	۶/۷۲	۷/۲۰	۶/۸۵
۲	۶/۳۲	۶/۳۴	۶/۷۰	۶/۷۵	۷/۲۶	۷/۱۰	۷/۰۳	۶/۶۱
۳	۶/۲	۶/۴۸	۷/۱۸	۶/۴۵	۷	۷/۳۸	۶/۶۱	۷/۳۲
میانگین	۶/۲۰	۶/۵۱	۶/۸۲	۶/۷۰	۷/۱۳	۷/۰۶	۶/۹۴	۶/۹۲
انحراف معیار	۰/۰۷	۰/۱۳	۰/۲۴	۰/۱۷	۰/۰۹	۰/۲۳	۰/۲۲	۰/۲۵
ضریب تغییرات	۱/۲۱	۲/۱۱	۳/۵۱	۲/۵۵	۱/۲۷	۳/۲۷	۳/۲۳	۳/۶۹

جدول ۱۱- نسبت مقاومت خمشی بتن‌های پوزولانی به بتن معمولی

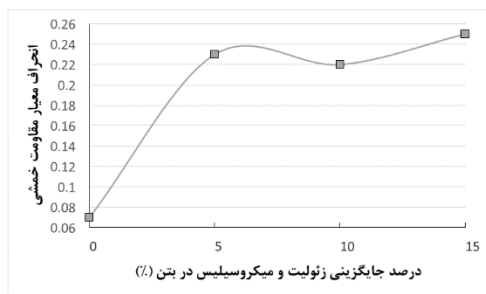
15ZESF	10ZESF	5ZESF	SF	15ZE	10ZE	5ZE	C
۱/۱۱	۱/۱۲	۱/۱۴	۱/۱۵	۱/۰۸	۱/۱۰	۱/۰۵	۱



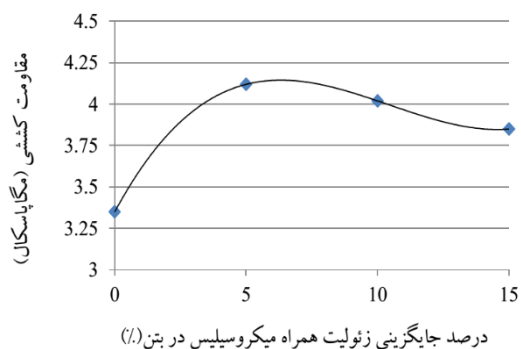
(الف)



(ب)



(ب)

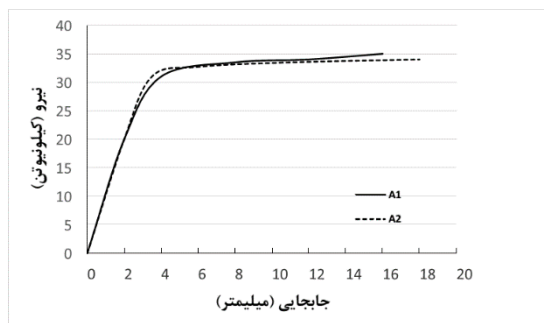


شکل ۵- درون‌یابی بین درصد جایگزینی زئولیت و مقاومت خمشی بتن و انحراف معیار: (الف) زئولیت تنها، (ب) زئولیت به همراه دوده سیلیس

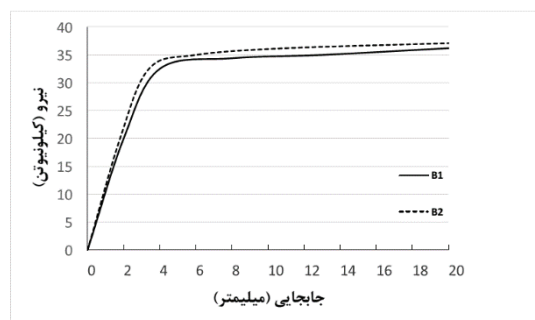
که اضافه کردن میکروسیلیس و زئولیت به طور هم‌زمان باعث افزایش مقاومت خمشی نمی‌شود. رابطه بین درصد جایگزینی زئولیت (X) در سیمان و مقاومت خمشی معادل و همچنین رابطه بین درصد جایگزینی زئولیت (X) و ۷ درصد میکروسیلیس در سیمان و مقاومت خمشی معادل در شکل (۶) نشان داده شده است که ضرائب تبدیل مقاومت خمشی نمونه بتنی معمولی f_{rC} به مقاومت خمشی نمونه بتنی زئولیتی f_{rZ} یا مقاومت خمشی نمونه بتنی زئولیت-دوده سیلیسی f_{rZSF} قابل محاسبه می‌باشند.

در آزمایش تیر خمشی، تنش کششی ماکزیمم که مدول گسیختگی نامیده می‌شود به دست می‌آید و نتایج آزمایش مقاومت ۲۸ روزه خمشی نمونه‌های منشوری بتنی طبق ASTM C78 که از رابطه $f_r = 6PL / (4BH^2)$ محاسبه گشته f_r بر حسب مگاپاسکال، P حداکثر نیروی اعمال شده بر حسب نیوتن و B ، H ، L بر حسب میلی‌متر) و در جدول (۱۰) نشان داده شده است. نسبت مقاومت خمشی انواع نمونه‌های آزمایشگاهی پوزولانی به مقاومت خمشی بتن معمولی در جدول (۱۱) ارائه شده که میزان افزایش مقاومت از ۵ تا ۱۵ درصد را نشان می‌دهد. نتایج جدول (۱۰) نشان می‌دهد

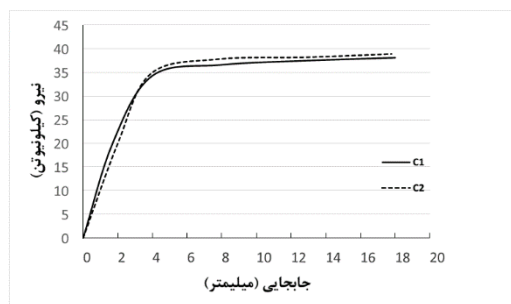
و در آیین نامه ACI به صورت $f_i = 0.6f_c^{0.5}$ می باشد. روابط مربوط به نمونه های ژئولیتی در جدول (۱۲) داده شده اند. مقاومت فشاری نمونه های مکعبی ۱۰ سانتی متری f_{cu} با ضریب ۰/۷۶ به مقاومت فشاری استوانه ای ۱۵ سانتی متری f_c تبدیل شدند.



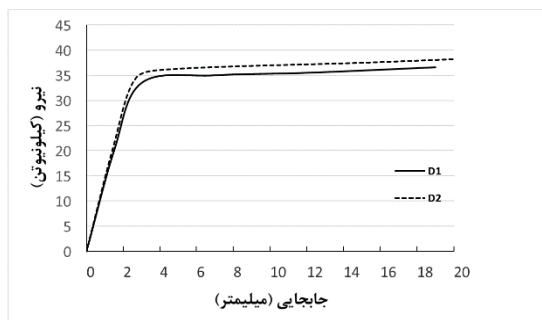
(الف)



(ب)



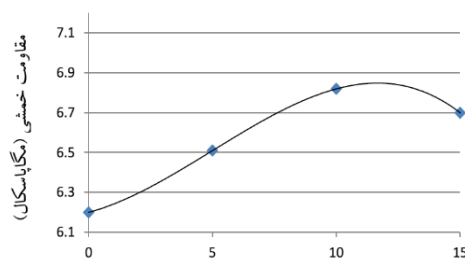
(ج)



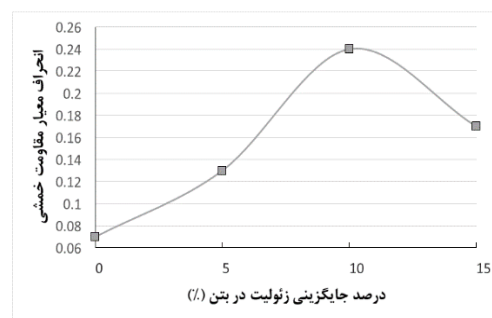
(د)

شکل ۷- منحنی بار- تغییر مکان تیرهای مسلح بتن ژئولیتی:

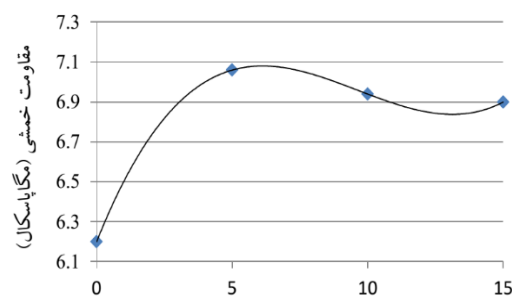
(الف) دو تیر A، (ب) دو تیر B، (ج) دو تیر C، (د) دو تیر D



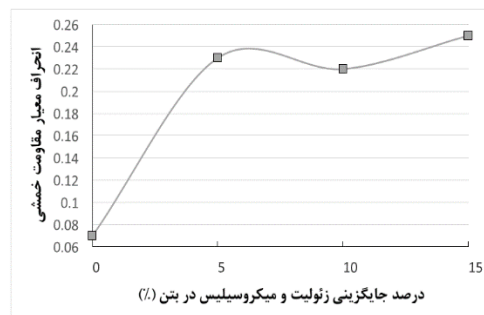
درصد جایگزینی ژئولیت در بتن (%)



(الف)



درصد جایگزینی ژئولیت - میکروسیلیس



(ب)

شکل ۶- درون باری بین درصد جایگزینی ژئولیت و مقاومت کششی بتن و انحراف معیار: (الف) ژئولیت تنها، (ب) ژئولیت به همراه دوده سیلیس

ضمناً در شکل (۶) منحنی تغییرات انحراف معیار مقاومت خمشی در مقابل افزایش درصد ژئولیت نشان داده شده است.

۳-۳- مقایسه نتایج مقاومت فشاری و کششی

روابطی تجربی بین مقاومت کششی f_t و مقاومت فشاری f_c در آیین نامه های مختلف ارائه شده که به صورت $f_t = kf_c^n$ می باشد

جدول ۱۲- رابطه بین مقاومت فشاری و کششی نمونه‌های بتن زئولیتی

نام نمونه	C	5ZE	10ZE	15ZE	SF	5ZESF	10ZESF	15ZESF
f_{cu}	۴۲/۵	۴۵/۴۸	۴۸/۴۶	۴۶/۷۶	۵۱/۸۳	۵۱/۰۹	۵۰/۱۵	۴۹/۳۰
$f_{c=0.76f_{cu}}$	۳۲/۳۰	۳۴/۵۴	۳۶/۸۳	۳۵/۵۳	۳۹/۳۹	۳۸/۸۳	۳۸/۱۱	۳۷/۴۷
$\sqrt{f_c}$	۵/۶۸	۵/۸۷	۶/۰۶	۵/۹۶	۶/۲۷	۶/۲۳	۶/۱۷	۶/۱۲
f_t	۳/۳۵	۳/۶۷	۴/۰۲	۳/۷۵	۴/۱۸	۴/۲۵	۴/۰۲	۳/۸۵
k	۰/۱۵۸	۰/۱۶۲	۰/۱۶۶	۰/۱۶۳	۰/۱۶۶	۰/۱۶۸	۰/۱۶۵	۰/۱۶۲

جدول ۱۳- نتایج آزمایشگاهی تیر بتن آرمه

نام نمونه	مقاومت نهائی P_u (KN)	میانگین P_u (KN)	بار ترک خوردگی P_{cr} (KN)	میانگین P_{cr} (KN)	بار جاری شدن P_y (KN)	میانگین P_y (KN)	Δu (mm)	Δy (mm)	شکل پذیری $\mu = \frac{\Delta u}{\Delta y}$	میانگین شکل پذیری
A-1	۳۵	۳۴/۵	۱۵/۶	۱۵/۵	۳۱/۵	۳۱/۸۵	۱۹	۳/۱	۶/۱۲	۶/۰۶
A-2	۳۴	۳۴/۱	۱۵/۴	۱۵/۵	۳۲/۲	۳۱/۸۵	۱۸	۳	۶	۶/۰۶
B-1	۳۶/۲	۳۶/۶	۱۶/۴۲	۱۶/۳۱	۳۳/۴	۳۳/۲۵	۱۹/۵	۳	۶/۵	۶/۵۲
B-2	۳۷/۱	۳۶/۶	۱۶/۲	۱۶/۳۱	۳۳/۱	۳۳/۲۵	۲۱/۵	۳/۱	۶/۸	۶/۵۲
C-1	۳۸/۱	۳۸/۵	۱۴/۱	۱۳/۹۵	۳۵/۵	۳۵/۳۵	۲۰/۱	۳/۲	۶/۳۸	۶/۳۲
C-2	۳۸/۹	۳۸/۵	۱۳/۸	۱۳/۹۵	۳۵/۲	۳۵/۳۵	۲۱	۳/۳	۶/۳۶	۶/۳۲
D-1	۳۶/۶	۳۷/۴	۱۵	۱۵/۱	۳۴/۲	۳۴/۸۵	۲۱	۳/۲	۶/۵۶	۶/۶۱
D-2	۳۸/۲	۳۷/۴	۱۴/۶	۱۵/۱	۳۵/۵	۳۴/۸۵	۲۲	۳/۳	۶/۶۶	۶/۶۱

جدول ۱۴- مقایسه خلاصه نتایج آزمایشگاهی تیر بتن آرمه

نام نمونه	درصد افزایش مقاومت نهائی نسبت به بتن مرجع (%)	درصد افزایش بار جاری شدن نسبت به بتن مرجع (%)	درصد افزایش بار ترک خوردگی نسبت به بتن مرجع (%)	نسبت بار نهائی به بار جاری شدن	درصد افزایش شکل پذیری نسبت به بتن مرجع (%)
A-1	۰	۰	۰	۱/۰۸	۰
A-2	۰	۰	۰	۱/۰۸	۰
B-1	۶	۶	۵	۱/۱۰	۷/۷
B-2	۶	۶	۵	۱/۱۰	۷/۷
C-1	۱۱	۱۲	۱۰ کاهش	۱/۰۹	۴
C-2	۱۱	۱۲	۱۰ کاهش	۱/۰۹	۴
D-1	۸	۹	۳ کاهش	۱/۰۸	۹

۳-۴- بررسی خواص سازه‌ای بتن

با استفاده از نتایج خواص مکانیکی بتن، ۴ طرح اختلاط بهینه جهت ساخت تیر بتن آرمه انتخاب شد و از هر طرح ۲ تیر ساخته شد که در سن ۷۲ روزه تحت نیروی متمرکز در وسط دهانه آزمایش شد که در حین آزمایش محل ترک‌ها نیز علامت‌گذاری شد و آزمایش تا گسیختگی کامل ادامه پیدا می‌کند. در این بخش پس از بیان مشاهدات و نتایج اولیه نمونه‌های آزمایشگاهی، تجزیه و تحلیل نتایج انجام می‌گیرد و اثر افزودن انواع پوزولان‌های زئولیتی و دوده سیلیسی به طور کامل بررسی می‌گردد. نمونه‌های A-1 و A-2 از بتن‌های معمولی، نمونه‌های B-1 و B-2 از بتن‌های با ۱۰ درصد زئولیت، نمونه‌های C-1 و C-2 از بتن‌های با ۷ درصد دوده سیلیسی، و نمونه‌های D-1 و D-2 از بتن‌های با ۵ درصد زئولیت و ۷ درصد دوده سیلیسی ساخته شده‌اند.

نمودارهای متوسط بار- تغییر مکان تیرهای A، B، C و D در شکل (۷) و مقایسه متوسط چهار نمونه در شکل (۸) نشان داده شده است و نتایج آزمایشگاهی تیر بتن آرمه و مقایسه نتایج در جداول (۱۳) و (۱۴) داده شده‌اند.

با مقایسه نمونه B و A می‌توان بیان نمود که ظرفیت باربری، بار ترک خوردگی، و شکل پذیری نمونه B حاوی ۱۰ درصد زئولیت نسبت به مرجع به ترتیب ۶، ۵، و ۷/۷ درصد افزایش داشته است و به عبارت دیگر جایگزینی ۱۰ درصد زئولیت به جای سیمان، نه تنها مقاومت و خواص مهندسی را کاهش نداده است بلکه افزایش نیز نشان داده است و مقادیر ظرفیت باربری و شکل پذیری نمونه‌های C و D نسبت به نمونه مرجع تا ۱۰ درصد افزایش یافته و در بار ترک خوردگی آن‌ها تا ۱۰ درصد کاهش یافته است.

ضمناً ظرفیت باربری نمونه‌های حاوی دوده سیلیس نسبت به نمونه‌های حاوی زئولیت برابر ۵ درصد افزایش یافته ولی بار ترک

با ۷ درصد دوده سیلیس دارای ۱۵ درصد و نمونه‌هایی با ۷ درصد دوده سیلیس همراه با ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد ژئولیت جایگزین به ترتیب با ۵، ۸ و ۱۰ درصد افزایش بودند که در این بین نمونه‌هایی با ۵ درصد ژئولیت و ۷ درصد دوده سیلیس جایگزین درصد بهینه را نشان داد.

- نتایج نشان داد که اضافه کردن مجزای ژئولیت و میکروسیلیس می‌تواند تأثیر مثبت بر مقاومت‌های فشاری، کششی و خمشی داشته باشد ولی ترکیب هم‌زمان این دو ماده پوزولانی تأثیر افزاینده نخواهد داشت.

- در تیرهای مسلح بتنی با ۱۰ درصد ژئولیتی، ظرفیت باربری و بار ترک خوردگی و شکل‌پذیری نسبت به نمونه مرجع به ترتیب ۶، ۵ و ۷ درصد افزایش ولی ظرفیت باربری و شکل‌پذیری در نمونه تیرهای با ۷ درصد دوده سیلیس و نمونه تیرهای حاوی ۷ درصد دوده سیلیس و ۵ درصد ژئولیت تا ۱۱ درصد افزایش و بار ترک خوردگی تا ۱۰ درصد کاهش داشته است.

۶- مراجع

احمدی ب، شکرچی‌زاده م، افتخارزاد ج، "بهبود دوام بتن با استفاده از ترکیب ژئولیت با دوده سیلیسی و خاکستر بادی"، سومین کنفرانس ملی سالیانه بتن- تهران، ۱۷ مهر ۱۳۹۰.

خوشایند م، "دوام بتن و نقش سیمان‌های پوزولانی"، دومین کنگره ملی- مهندسی عمران، ۱۳۸۴.

رضانیانپور ع، پیدایش م، میرولد س، آرامون ا، "اثر انواع پوزولان‌های طبیعی بر دوام بتن در برابر حمله کلرایدی"، اولین کنفرانس ملی بتن ایران، تهران، ۱۳۸۸.

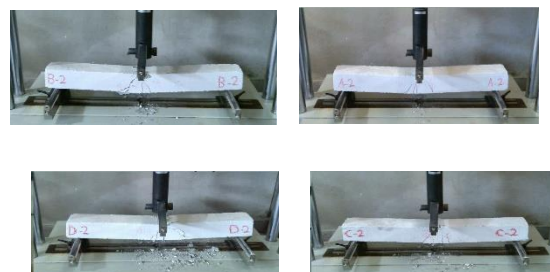
رضانیانپور ع، پیدایش م، میرولد س، آرامون ا، "نقش پوزولان‌های طبیعی در کاهش نفوذپذیری و افزایش دوام بتن‌ها در محیط‌های خورنده کلرایدی"، نشریه مهندسی عمران و محیط زیست امیرکبیر، ۱۳۸۹، شماره ۳، ۴۵-۵۳.

رضانیانپور ع، کله‌ری م، موسوی س، "خواص مهندسی و دوام بتن‌های ساخته شده از ژئولیت"، سومین کنفرانس بتن ایران- تهران، مهر ۱۳۹۰.

رضانیانپور ع، موسوی س، کله‌ری م، "بررسی اثر سیستم‌های عمل‌آوری در خواص مهندسی و دوام بتن‌های حاوی ژئولیت"، مجله عمران شریف، دوره ۲ (۱)، ۱۳۹۳، صفحه ۱۱۳-۱۱۸.

رنجبر م، مدن‌دوست ر، شریف‌جدیدی م، موسوی س، "تأثیر درجه حرارت‌های مختلف بر روی خواص بتن حاوی ژئولیت"، هفتمین کنگره مهندسی عمران، زاهدان، اردیبهشت ۱۳۹۲.

خوردگی ۱۵ درصد و شکل‌پذیری تا ۴ درصد کاهش داشته است. نمونه‌های حاوی ۷ درصد دوده سیلیس همراه با ۵ درصد ژئولیت نسبت به نمونه‌های حاوی ۱۰ درصد ژئولیت دارای افزایش ۲ درصدی ظرفیت باربری، کاهش ۸ درصدی بار ترک خوردگی و افزایش یک درصدی در شکل‌پذیری داشته است.



شکل ۸- مقایسه مراحل شکست تیرهای مسلح بتن معمولی، ژئولیتی، ژئولیتی- دوده سیلیسی

۵- نتیجه‌گیری

با ساخت بیش از صد نمونه با هشت طرح اختلاط، تأثیر افزودن ژئولیت به عنوان پوزولان به تنهایی و به همراه دوده سیلیسی بر خواص بتن در حالات فشاری، کششی، خمشی، و تیر سازه‌ای به صورت آزمایشگاهی انجام و نتایج ذیل حاصل گردید:

- مقاومت فشاری همه نمونه‌های حاوی ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد جایگزینی ژئولیت نسبت به نمونه مرجع به ترتیب ۷، ۱۰ و ۱۴ درصد افزایش یافته که درصد بهینه نمونه‌های ژئولیتی با ۱۰ درصد جایگزینی بود و مقاومت فشاری نمونه‌های با ۷ درصد دوده سیلیس دارای ۲۲ درصد افزایش و نمونه‌های با ۷ درصد دوده سیلیس همراه با ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد ژئولیت جایگزین به ترتیب ۱۶، ۱۸ و ۲۰ درصد افزایش داشته که نمونه‌هایی با ۵ درصد ژئولیت و ۷ درصد دوده سیلیس جایگزین، درصد بهینه را کسب کرد.

- مقاومت کششی نمونه‌های حاوی ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد جایگزینی ژئولیت نسبت به نمونه مرجع به ترتیب ۹، ۱۲ و ۲۰ درصد افزایش داشته و درصد بهینه نمونه‌های ژئولیتی با ۱۰ درصد جایگزینی بود و مقاومت کششی نمونه‌های با ۷ درصد دوده سیلیس دارای ۲۴ درصد افزایش و نمونه‌هایی با ۷ درصد.

- دوده سیلیس همراه با ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد ژئولیت جایگزین به ترتیب با ۱۵، ۲۰ و ۲۳ درصد افزایش بوده که در این بین نمونه‌هایی با ۵ درصد ژئولیت و ۷ درصد دوده سیلیس جایگزین، درصد بهینه را کسب کرد.

- مقاومت خمشی تیر غیر مسلح در نمونه‌های حاوی ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد جایگزینی ژئولیت نسبت به نمونه مرجع به ترتیب ۸، ۱۰ و ۵ درصد افزایش داشته و درصد بهینه در نمونه‌های خمشی ژئولیتی با ۱۰ درصد جایگزینی بود و مقاومت خمشی نمونه‌های

- ASTM C78/C78M-16, Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading), ASTM International, West Conshohocken, PA, 2016, www.astm.org.
- BS 1881-122, 2011 Testing concrete, Method for determination of water absorption.
- Cioffi R, Colangelo F, Caputo D, Liguori B, "Influence of High Volumes of Ultra-Fine Additions on Self Compacting Concrete", *Advances in Cement Research*, 2007.
- Feng N, Peng G, "Applications of natural zeolite to construction and building materials in China", *Construction and Building Materials*, 2005, 19 (8), 579-584.
- Feng, N, Li, QG, Zang, XW, "High-Strength and flowing Concrete with zeolitic mineral admixtures", *Cement, Concrete and Aggregates*, 1990, 12 (2), 61-69.
- Feng NQ, Hao T, "Mechanism of natural zeolite powder in preventing alkali-silica reaction in concrete", *Advances in Cement Research*, 1998, 10 (3), 101-108.
- Feng NQ, Hongwei J, Enyi Ch, "Study on the suppression effect of natural zeolite on expansion of concrete due to alkali-aggregate reaction", *Magazine of Concrete Research*, 1998, 50 (1), 17-24.
- Feng NQ, Feng X, Hao T, Xing F, "Effect of ultrafine mineral powder on the charge passed of the concrete", *Cement and Concrete Research*, 2002, 32 (4), 623-627.
- Karakurt C, Topçu IB, "Effect of blended cements produced with natural zeolite and industrial byproducts on alkali-silica reaction and sulfate resistance of concrete", *Construction and Building Materials*, 2011, 25, 1789-1795.
- Mehta PK, "Siliceous ashes and hydraulic cements prepared therefrom", US Patent, 4105459, August 1978.
- Poon CS, Lam L, Kou SC, Lin ZS, "A study on the hydration rate of natural zeolite blended cement pastes", *Construction and Building Materials*, 13 (8), 1999.
- Sammy YN, Chan, Xihuang Ji, "Comparative Study of the Initial Surface Absorption and Chloride Diffusion of High Performance Zeolite, Silica Fume and PFA Concretes", *Cement and Concrete Composites*, 1990, 21 (4), 293-300.
- Türkmen I, Aydın A, Aydın AC, "Characteristics of workability, strength, and ultrasonic pulse velocity of SCC containing zeolite and slag", *Science Research Essays*, 2010, 5, 2055-2064.
- Uzal B, Turanlı L, Mehta, PK, "High-Volume natural pozzolan concrete for structural applications", *ACI Materials Journal*, 2007, 104 (5), 535-538.
- شایگی نیک س، "بررسی بعضی از خصوصیات پودر پوزولان پومیس تفتان به عنوان جایگزین بخشی از سیمان"، پایان-نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ۱۳۸۵.
- شکرچی زاده م، ولی پور م، پرگر ف، "بررسی تأثیر استفاده از پوزولان های میکروسیلیس، متاکائولن و زئولیت و الیاف پلی-پروپیلن بر مقاومت در برابر نفوذ یون کلر در بتن در شرایط محیطی جزیره قشم"، نشریه مهندسی عمران، ۱۳۸۹، سال ۲۲، (۱)، ۸۳-۹۶.
- صداقت دوست آ، خرازیان ح، نیکوان پ، "بررسی تأثیر زئولیت بر مقاومت فشاری سبک"، اولین کنفرانس ملی صنعت بتن، ۱۳۹۱.
- فامیلی ه، باقری ع، ایراجیان م، "مواد پوزولانی و سرباره های کشور و کاربرد آنها در صنعت سیمان و بتن"، اولین کنفرانس بین-المللی بتن و توسعه، تهران، ۱۳۸۰.
- مدندوست ر، موسوی س ی، "تأثیر زئولیت بر خواص بتن تازه و سخت شده خود متراکم"، چهارمین کنفرانس ملی سالیانه بتن ایران-تهران، مهرماه ۱۳۹۱.
- مهتا م ن، "تکنولوژی بتن پیشرفته"، مترجم: علی اکبر رمضانپور، پرویز قدوسی، اسماعیل گنجیان، انتشارات صنعتی امیرکبیر ۱۳۸۸.
- ولی پور م، پرگر ف، "بررسی امکان استفاده از پوزولان طبیعی جهت اصلاح الگوی مصرف سیمان و بهبود دوام بتن در شرایط محیطی خلیج فارس"، دومین کنفرانس ملی بتن ایران، ۱۳۸۹.
- ACI 224, "Protection of metals in concrete against corrosion", 2001.
- Ahmadi B, Shekarchi M, "Use of natural zeolite as a supplementary cementitious material", *Cement & Concrete Composites*, 2010, 201, 32 (2), 134-141.
- ASTM C143/C143M-15a, Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2015, www.astm.org.
- ASTM C39/C39M-17b, Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017, www.astm.org.
- ASTM C496/C496M-11, Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2004, www.astm.org.

EXTENDED ABSTRACT

Improved Compressive, Tensile and Flexural Strength of Non-Reinforced Specimens and Reinforced Beams Including Zeolite

Mohammad Kazem Sharbatdar *, Majid Oruhi

Faculty of Civil Engineering, Semnan University, Semnan, Iran

Received: 17 February 2017; Accepted: 09 December 2017

Keywords:

Concrete strength, Mineral materials, Pozzolan, Mechanical, Structural properties.

1. Introduction

In recent years the natural zeolite as a supplementary cementitious material (Ahmadi, Shekarchi, 2010) and natural zeolite as construction materials were used in different countries and for different special concretes (Feng, Peng, 2005; Türkmen, Aydin, 2010; and Uzal, Turanli, Mehta, 2007). In the present paper, results of experimental investigations on using zeolite and silica fume as two pozzolane materials in concrete mixes at two different cases of separately and mixed together and their effects on compressive, tensile and flexural strengths are presented. In this research program, experimental study was followed by selecting and designing eight different concrete mixes containing constant water-cement ratio equal 0.5 with reference mix without any mineral material. Then zeolite and silica fume were added separately and mixed together to concrete replacing with percentage of cement weight. Zeolite with three percent of 5, 10, 15 percent and silica fume with 7% were considered. Two different mechanical and structural specimens were casted, 48 compressive cubic and 24 tensile strength cylinder and 24 non-reinforce flexural strength beams as mechanical specimens were cast. And also 8 structural reinforced beam specimens were cast based for measuring flexural capacity.

2. Experimental study

Generally, 104 small and large concrete specimens including 48 compressive 10 centimeter cubic, 24 tensile 20 centimeter cylinder, 24 non-reinforce flexural 50 centimeter beams, and 8 large reinforced (with tensile and compressive longitudinal bars and stirrups) flexural 90 centimeter beam were cast with 8 different mix designs with and without zeolite (at 5, 10, 15%) and silica fume (at only 7%) separately or mixed together. Compressive, tensile, and flexural specimens were tested based on Standards ASTM C39, ASTM C496, and ASTM C78 with load control system. The general view and details of tested specimens were shown in Fig. 1.

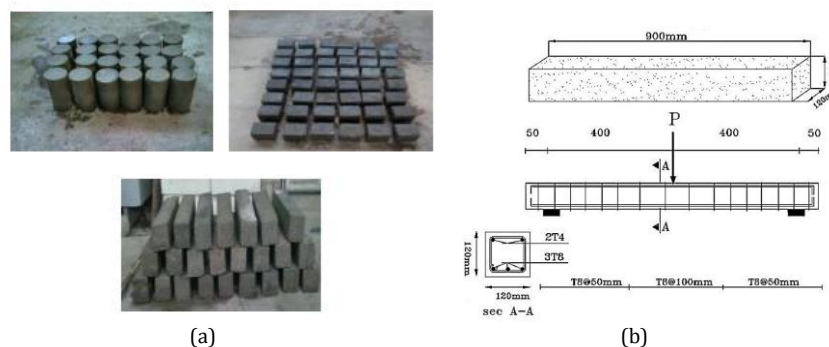


Fig. 1. Different Test specimens (mechanical and structural): a) Non-reinforced mechanical strength specimens, b) Structural flexural beam specimen details

* Corresponding Author

E-mail addresses: msharbatdar@semnan.ac.ir (Mohammad Kazem Sharbatdar), m.oruhi@gmail.com (Majid Oruhi).

3. Results and discussion

In order to investigate the effects of adding zeolite and silica fume on plain concrete, several tables and curves were obtained and plot from test results. The compressive strengths of all specimens with related average and standard deviation and also the ration of each specimen strength to that of reference specimen are shown in Fig. 2, indicating the positive effects of adding zeolite and silica fume to plain concrete and increasing up to 22%.

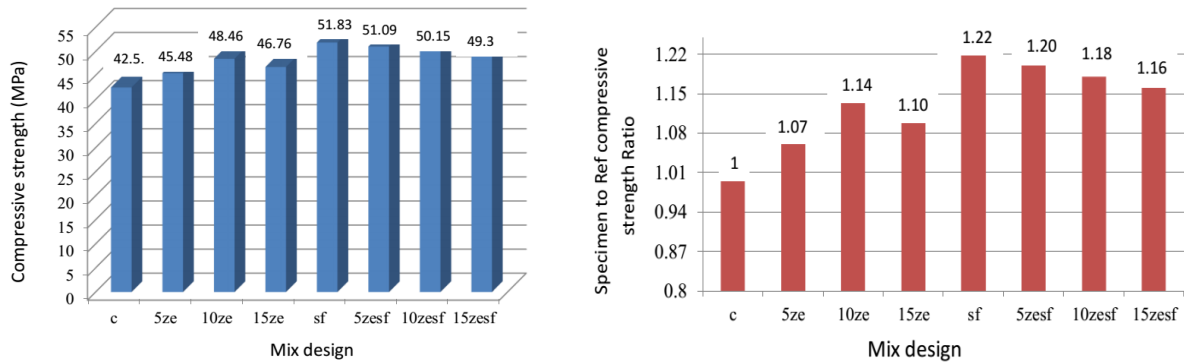


Fig. 2. The compressive strength results of tested specimens and related ratios

Eight reinforced beam were cast with four different mix design (A as ref, B with 10% zeolite, C with 7% silica fume, and D with 5% zeolite and 7% silica fume) to measure the yielding and maximum displacement and load and comparing the results together, the results of all specimens and the load-displacement curve of C specimen are shown in Fig. 3. and Table 1. Flexural capacity of reinforced beam mixed with zeolite and silica fume was increased compared to reference specimen.

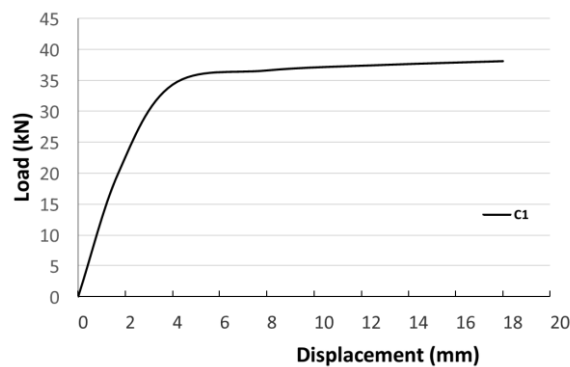


Fig. 3. Load-displacement curve of C specimen

Table 1. The flexural strength results of tested reinforced beam specimens

Ductility $\mu = \frac{\Delta u}{\Delta y}$	Δy (mm)	Δu (mm)	Yielding Load, P_y (kN)	Max Load, P_u (KN)	Specimen
6.06	3.05	18.5	31.85	34.5	A
6.52	3.05	20.5	33.25	36.6	B
6.32	3.25	20.55	35.35	38.5	C
6.61	3.15	21.5	34.85	37.4	D

4. Conclusions

The use of available mineral materials is required to eliminate defects and improve the properties of concrete such as strength and durability. In this paper, in order to evaluate the zeolite effect on concrete properties, 8 different concrete mixes containing water-cement ratio equal 0.5 and adding zeolite at three

percent of 5,10,15 percent with and without 7% silica fume were designed and two different mechanical and structural specimens were casted. Eight structural reinforced beam specimens for flexural capacity were cast based on optimal mix designs from 4 considered mix designs. Generally, 48 concrete cubic for compressive strength and 24 cylinder for tensile strength and 24 non-reinforce beams were cast. Experimental results showed that the compressive, tensile, flexural strengths of concrete specimens were increased by adding different amounts of zeolite. It is estimated that 10% was the optimal mixes. Moreover the 72-day compressive strength was 26 percent more than that of 28-day strength as concrete reference. In addition, the addition of silica fume in concrete had the better resistance comparing with that of to zeolite pozzolan effect. The 72-day flexural strengths of beam specimens with 10% zeolite and 7% silica were increased respectively 27% and 33% respect to flexural strength of reference sample.

5. References

- Ahmadi B, Shekarchi M, "Use of natural zeolite as a supplementary cementitious material", *Cement & Concrete Composites*, 2010, 201, 32 (2), 134-141.
- ASTM C39/C39M-17b, Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017.
- ASTM C496/C496M-11, Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2004.
- Feng N, Peng G, "Applications of natural zeolite to construction and building materials in China", *Construction and Building Materials*, 2005, 19 (8), 579-584.
- Türkmen I, Aydın A, Aydın AC, "Characteristics of workability, strength, and ultrasonic pulse velocity of SCC containing zeolite and slag", *Science Research Essays*, 2010, 5, 2055-2064.
- Uzal B, Turanlı L, Mehta PK, "High-Volume natural pozzolan concrete for structural applications", *ACI Materials Journal*, 2007, 104 (5), 535-538.