Archive of SID

تحقیقات بتن
سال هفتم، شمارهٔ اوّل
بهار و تابستان ۹۳
ص ۲۲-۷
تاریخ دریافت: ۱۹ /۹۳/۸
تاریخ پذیرش: ۹۴/۲/۹

رابطهٔ مقاومت فشاری با مقاومت کششی و ضریب کشسانی در بتن خودتراکم حاوی سنگ‌دانه بازیافتی و زئولیت طبیعی

محمد اسماعیل‌نیا عمران*
استادیاردانشکده مهندسی دانشگاه کردستان
مجتبی فریدی
دانش آموختهٔ کارشناسی ارشد مهندسی عمران -سازه دانشگاه کردستان

چکیده

در سال‌های اخیر توسعه در فنّاوری بتن این امکان را فراهم نموده تا بتوان بتن‌های توانمندی تولید نمود که کارایی و مقاومت آن فراتر از بتن معمولی باشد. امروزه استفاده از مواد بازیافتی و پوزولان‌های طبیعی در راستای کاهش هزینه‌های جاری و همچنین کاهش یا حذف مشکلات زیست محیطی به یکی ار مباحث مورد علاقه اکثر محققین تبدیل شده است. در این پژوهش امکان استفاده از زئولیت به عنوان یک پوزولان طبیعی و همچنین سنگ‌دانه بازیافتی بتن به عنوان یک ماده بازیافتی در بتن خودتراکم مطالعه شده است. برای این منظور از طرح اختلاط بهینه بتن خود تراکم بازیافتی استفاده شده و نقش جای‌گزینی درصدهای متفاوت از سیمان با زئولیت (۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ درصد) بر روی خواص مقاومتی و مکانیکی آن ارزیابی شده است. در نهایت بر اساس مقاومت فشاری، مقاومت کششی و ضریب کشسانی اندازه‌گیری شده در بتن خودتراکم حاوی سنگ‌دانه بازیافتی و زئولیت، رابطه‌ای تجربی بین مقاومت فشاری با دو پارامتر یاد شده به‌دست آمده است.

واژگان کلیدی: زئولیت، سنگ‌دانه بازیافتی، مقاومت فشاری، مقاومت کششی، ضریب کشسانی، بتن خودتراکم.

*نویسنده مسئول:m.esmaeilniauok.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه

بتن از جمله پرمصرف‌ترین مصالح ساختمانی در دنیا شناخته شده است. با گسترش استفاده از بتن ویژگی‌هایی همچون دوام، کیفیت، تراکم و بهینه‌سازی آن از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌شوند. بتن خودتراکم بتنی بسیار سیال، روان و مخلوطی همگن است که بسیاری از مشکلات بتن معمولی نظیر جداشدگی، آب اندازی، جذب آب، نفوذپذیری و ... را مرتفع نموده و علاوه بر آن بدون هیچ لرزاننده داخلی یا ویبره بدنه قالب، تحت اثر وزن خود متراکم می‌شود. توانایی پرکردن و پایداری این نوع بتن را در حالت تازه می‌توان با چهار مشخصه کلیدی توانایی جریان یافتن، لزجت، توانایی گذر و مقاومت در برابر توده شدن تعریف کرد.

از طرف دیگر از آن جا که مساله از بین بردن ضایعات یک مساله زیست محیطی مهم است و نظر به اینکه مقادیر بتن قدیمی زیادی اغلب در مناطق شهری وجود دارد در بسیاری از کشورهای پیشرفته و آگاه از محیط زیست به بازیافت این مواد توجه زیادی شده است تا با از بین بردن بتن ضایعاتی، ماسه‌های بازیافتی را فراهم و در ساخت و ساز از آن بهره گیرند. کمبود منابع طبیعی در محیط‌های شهری و افزایش فاصله‌ی بین منابع طبیعی و مناطق ساخت و ساز، سازندگان را وادار ساخته است که استفاده از مواد بازیافتی را مدنظر قرار دهند[۱].

یکی از پوزولان‌های طبیعی که در ایران به وفور یافت می‌شود و به راحتی قابل استخراج و فرآوری است زئولیت است . وجود زئولیت در مناطقی از سمنان، میانه، ورامین، رودهن، طالقان و قلعه عسگر و کرمان گزارش شده است. زئولیت‌ها به خاطر ویژگی‌های خاص خود از جمله توان تبادل یونی، چگالی پایین و روزنه‌های فراوان، امروزه کاربرد گسترده‌ای در فنّاوری پیدا کرده‌اند[۲]. تحقیقات انجام شده روی تأثیر زئولیت بر بتن نشان می‌دهد که این ماده می‌تواند از آب اندازی و جداشدگی بتن تازه جلوگیری کند، فرآیند پمپاژ را آسان‌ترکند، نفوذپذیری بتن سخت شده را کاهش دهد، پایایی بتن رابه‌خصوص مقاومت در برابر واکنش قلیایی سنگ‌دانه‌ها را افزایش دهد و سبب افزایش مقاومت بتن شود[۳]. مقادیر زیاد Al_2O_3 و SiO_2 در زئولیت با هیدروکسیدکلسیم هیدراته واکنش می‌دهد که محصول آن ژل C-S-H و آلومینات‌های اضافه بر محصولات هیدراتاسیون سیمان است و در نتیجه ریز ساختار بتن سخت شده به‌خصوص در ناحیه انتقالی خمیر سیمان و سنگ‌دانه بهبود می‌یابد [۵،۴]. نتایج تحقیقات انجام شده توسط فنگ و همکاران در سال ۱۹۹۰ نشان داد با جای‌گزینی بخشی از سیمان با زئولیت می‌توان مقاومت بتن را افزایش داد. به طوری‌که استفاده از زئولیت به میزان کمتر از ۱۰ الی ۱۵ درصد باعث افزایش مقاومت در همه سنین بتن می‌شود. در حالی‌که استفاده از زئولیت به میزان بیشتر از ۱۵ الی ۲۰ درصد سبب کاهش مقاومت اولیه (کمتر از ۲۸ روز) و جبران مقاومت در سنین بالاتر (۹۰ و ۱۸۰ روز) می‌شود [۶]. سامی و همکاران در سال ۱۹۹۹ مقدار بهینه استفاده از زئولیت را برای افزایش مقاومت ۲۸ روزه بتن، ۱۰ الی ۱۵ درصد عنوان کردند و افزایش مقاومتی تا حدود ۱۵ درصد را برای آزمونه‌ی شاهد گزارش دادند[۷]. اوزال و همکاران در سال ۲۰۰۷ در تحقیقی نشان دادند که بتن سازه‌ای با جای‌گزینی ۵۰ درصد زئولیت قابل ساخت است[۸]. نتایج مطالعه انجام پذیرفته توسط احمدی و شکرچی در سال ۲۰۱۰ نشان می‌دهد که استفاده از زئولیت در بتن معمولی توانسته است باعث افزایش مقاومت فشاری بتن در تمامی سنین شود[۹]. در مطالعه‌ای دیگر چان و ژی در سال ۱۹۹۹ به این نتیجه رسیدند که زئولیت در درصد بهینه به بتن معمولی باعث افزایش ۱۴ درصدی مقاومت فشاری ۲۸ روزه بتن شده است[۱۰].

امروزه استفاده از مواد بازیافتی در راستای کاهش هزینه‌های جاری و همچنین کاهش یا حذف مشکلات زیست محیطی به یکی از مباحث مورد علاقه اکثر محققین تبدیل شده است.تحقیقات درباره زمینه استفاده دوباره از بتن تخریب شده و مصالح ساختمانی، به عنوان سنگدانه‌هایی برای بتن جدید، به پایان جنگ جهانی دوم باز می‌گردد [۱۱]. از حدود ۲۰ سال پیش، بتن حاصل از تخریب شاهراه‌ها و ساختمان‌های بتن‌آرمه در آمریکا و اروپا وارد صنعت بازیافت شده است. بتن بیشترین حجم را در میان زباله‌های ساختمانی دارد. در آمریکا ۶۷ درصد کل زباله‌های ساختمانی را بتن تشکیل می‌دهد [۱۲]. در جوامع اقتصادی اروپا سالانه حدود ۵۰ میلیون تن بتن تخریب می‌شود. حدود ۱۱ میلیون تن بتن در انگلستان و حدود ۶۰ میلیون تن بتن در آمریکا سالانه به محل انباشت نخاله‌های ساختمانی حمل می‌شود. در عین حال، در هر سال در آمریکا می‌توان حدود ۱۰ تا ۱۲ میلیون تن بتن را به

www.SID.ir

Archive of SID

نحوی مورد استفاده مجدد قرار داد [۱۳].

نتایج بررسی‌های کو و پون در سال ۲۰۰۹ حاکی از این بود که ویژگی‌های بتن خودتراکم ساخته شده از ماسه رودخانه‌ای و ماسه بازیافتی (با ۱۰۰درصد درشت دانه‌های بازیافتی برای هر دو) تفاوت ناچیزی با هم دارند، یعنی می‌توان از ۱۰۰درصد درشت دانه و ریزدانه بازیافتی در بتن خودتراکم استفاده کرد[۱۴]. تابش و عبدالفتاح در سال ۲۰۰۹ به این نتیجه رسیدندکه مقاومت بتن بازیافتی ۱۰-۲۵ درصد کمتر از بتن اولیه ساخته شده از سنگ‌دانه‌های درشت طبیعی است[۱۵]. زوران و همکاران در سال ۲۰۱۰ به بررسی ویژگی‌های بتن خودتراکم دارای درشت دانه‌های بازیافتی بتن پرداختند. در این تحقیق سه طرح اختلاط بتن ساخته شد که سنگ‌دانه‌های درشت بازیافتی با ۰٪، ۵۰٪ و ۱۰۰٪ سنگ‌دانه‌های درشت طبیعی جای‌گزین شدند، در همه مخلوط‌های بتن درصدها ثابت بودند. نتایج به‌دست آمده نشان داد که خصوصیات هر سه طرح اختلاط بتن خودتراکم ساخته شده، تفاوت ناچیزی با هم دارند و سنگ‌دانه‌های درشت بازیافتی می‌تواند در بتن خودتراکم مورد استفاده قرار گیرد [۱۶].

با توجه به نوپا بودن صنعت بتن خودتراکم در کشورمان از یک سو و افزایش مصرف بتن در ساخت سازه‌ها (با توجه به زلزله خیز بودن کشورمان) و یا تخریب بناهای مختلف به خصوص سازه‌های فرسوده از سوی دیگر، امکان‌سنجی ساخت بتن خودتراکم با استفاده از این مصالح هم به لحاظ هزینه و هم از جهت حفاظت از محیط زیست و حفظ انرژی دارای توجیه خواهد بود. بر همین اساس همخوانی دو عامل خودتراکمی و استفاده از این مصالح بازیافتی قابل توجه است.

همچنین برای کاهش عیار سیمان در بتن خود متراکم می‌توان از پوزولان زئولیت طبیعی استفاده کرد تا بتوان این بتن را به‌عنوان یک محصول کم هزینه و کاربردی برای انجام پروژه‌های عمرانی در کشور توصیه نمود.

هدف از انجام این تحقیق، ضمن مطالعه رفتار بتن خودتراکم بازیافتی حاوی زئولیت، دستیابی به یک رابطهٔ تجربی بین مقاومت فشاری با دو مقاومت کششی و ضریب کشسانی است.

۲- برنامه آزمایشگاهی

۲-۱- مواد و مصالح مصرفی

شکل ۱ منحنی استاندارد دانه بندی مصالح بتن خودتراکم در کشورهای مختلف را نشان می‌دهد [۱۷]. در این پژوهش سعی شده است منحنی دانه‌بندی درشت دانه و ریزدانه مورد استفاده بین منحنی دانه‌بندی سوئد (حد بالا) و آلمان (حد پایین) باشد (شکل‌های ۲ و ۳). نمودار دانه‌بندی مورد استفاده در این تحقیق به صورت توپر در شکل‌های مذکور نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود حداکثر مصالح درشت دانه ۱۹ میلی‌متر است. ماسه مورد استفاده از نوع ماسه شسته با مدول نرمی ۲/۷۴ می‌باشد. سیمان مصرفی از نوع پرتلند با چگالی نسبی ۳/۱۵ (ASTM-C150) و پوزولان زئولیت طبیعی از شرکت افرند توسکا که معدن آن در منطقه سمنان می‌باشد، تهیه شده است. فوق‌روان‌کننده مصرفی بر پایه کربوکسیلات، قابل استفاده در بتن‌های خودتراکم می‌باشد (ASTM-C494). در جداول ۱ و۲ مشخصات فیزیکی سنگدانه طبیعی و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی سیمان و پوزولان زئولیت طبیعی ارائه شده است.

در این تحقیق مصالح اولیه جهت ساخت بتن مادر (بتن تخریب شده) و نیز مصالح ساخت بتن‌های خودتراکم از یک نوع بوده است، مقاومت مشخصه بتن مادر ۳۰ مگاپاسکال بوده و حداقل ۲۸ روز زمان از ساخت تمامی نمونه‌ها سپری شده است. سپس بتن معمولی ساخته شده با استفاده از چکش به سنگ‌دانه‌های ریز و درشت تبدیل شدند. جدول ۳ مشخصات فیزیکی سنگ‌دانه‌های بازیافتی را نشان می‌دهد.

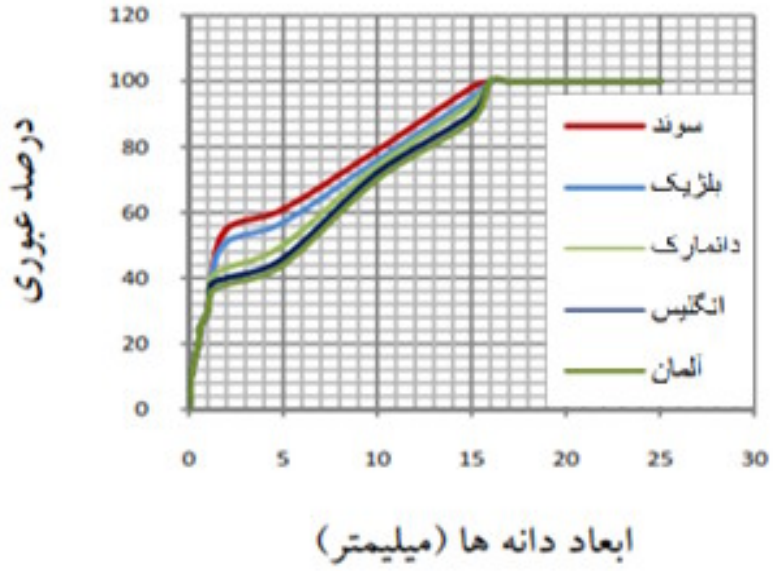
۲-۲- طرح اختلاط بهینه بتن خودتراکم بازیافتی

این طرح اختلاط بر اساس روش تاگوچی توسط عمران و فریدی [۱۸] در آزمایشگاه دانشگاه کردستان ساخته و بهینه شد. مقاومت به‌دست آمده از آزمایشگاه با مقاومت پیش‌بینی شده روش تاگوچی، تفاوت ناچیزی داشت که این نشان از درستی روش تاگوچی بود. سنگدانه‌های درشت بازیافتی با محتوای صفر، ۲۰، ۴۰، ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ درصد جای‌گزین سنگ‌دانه‌های درشت طبیعی و سنگ‌دانه‌های ریز بازیافتی با محتوای صفر، ۲۰، ۴۰، ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ درصد جای‌گزین سنگ‌دانه‌های ریز طبیعی شدند. برای این منظور تعداد ۳۶ طرح اختلاط آزمایشگاهی با درصدهای مختلف سنگ‌دانه بازیافتی ساخته شدند. آزمایش‌های رئولوژیکی شامل آزمایش اسلامپ فلو،آزمایش حلقه J ، قیف V شکل، جعبه U

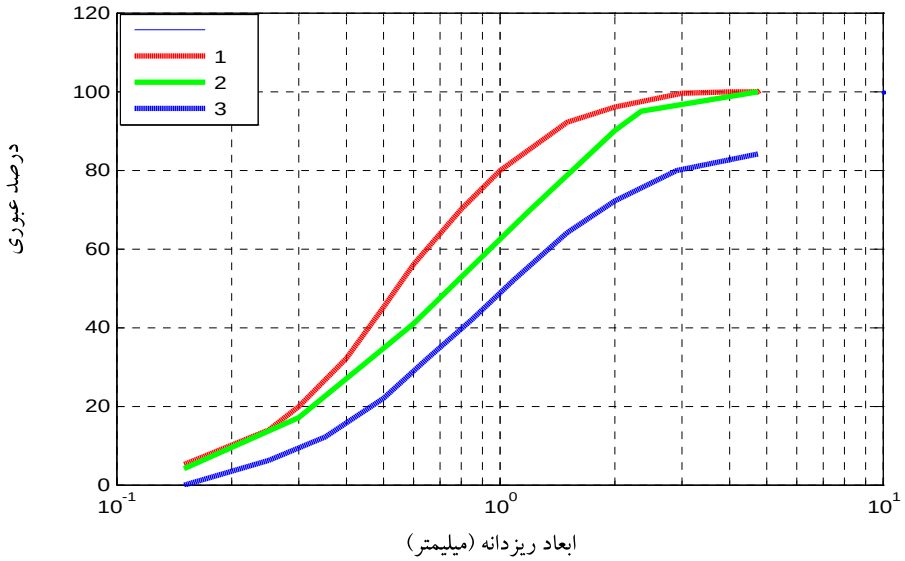
www.SID.ir

Archive of SID

شکل و جعبه L شکل برای حصول اطمینان از بتن خودتراکم انجام شد و همچنین در فاز سخت شده، میزان مقاومت فشاری در سن ۷ روزه اندازه‌گیری شد. در نهایت درصد بهینه سنگ‌دانه‌های درشت و ریز دانه در طرح اختلاط بتن خودتراکم بازیافتی مطابق جدول ۴ به‌دست آمد [۱۸].



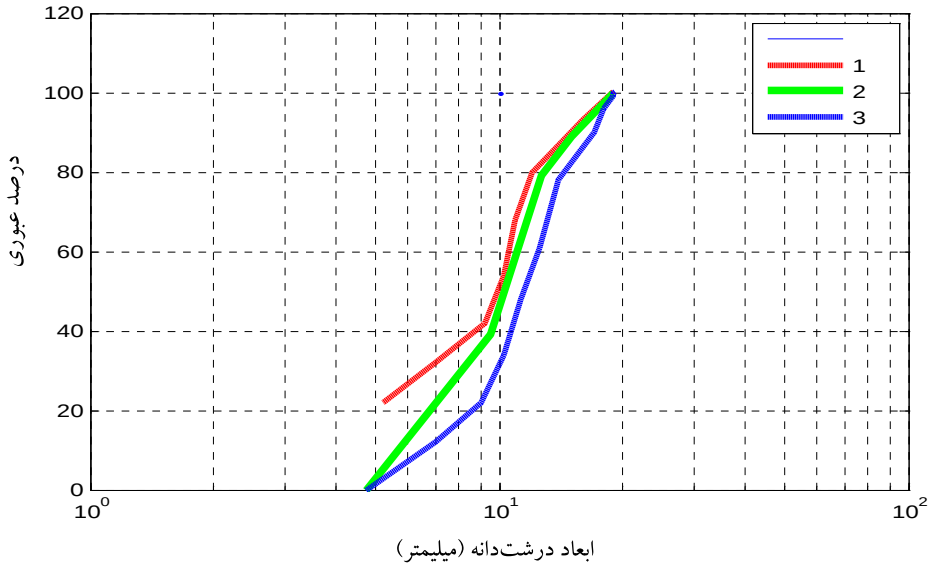
شکل۱- نمودار دانه‌بندی بتن خودتراکم در برخی از کشورها [۴]



شکل۲- نمودار دانه‌بندی ماسه

www.SID.ir

Archive of SID



شکل۳- نمودار دانه‌بندی شن

جدول۱- مشخصات فیزیکی سنگ‌دانه طبیعی

سنگدانه	جذب آب(٪)	چگالی	مدول نرمی ماسه	حداکثر قطر سنگدانه(mm)
شن طبیعی	۱/۴۶	۲/۶۵	۲/۷	۱۹
ماسه طبیعی	۲/۷۲	۲/۵۷		

جدول۲- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی سیمان و پوزولان

ترکیبات شیمیایی(٪)	سیمان	پوزولان زئولیت طبیعی
SiO_2	۲۲/۴۳	۶۷/۷۹
AL_2O_3	۲/۷	۱۳/۶۶
Fe_2O_3	۲/۷۲	۱/۴۴
CaO	۶۰/۴۶	۱/۶۸
SO_3	۰	۰/۵
MgO	۳/۹	۱/۲
Na_2O	۰/۱۴	۲/۰۴
K_2O	۰/۶۲	۱/۴۲
LOI	۲/۳۶	۱۰/۲۳
خصوصیات فیزیکی		
وزن مخصوص(kg/m^3)	۳/۱۵	-
بلین(cm^2/gr)	۳۳۰۰	-

www.SID.ir

Archive of SID

جدول۳- مشخصات فیزیکی سنگدانه بازیافتی

حداکثر قطر سنگدانه(mm)	مدول نرمی ماسه	چگالی	جذب آب(٪)	سنگدانه
۱۹	۲/۷	۲/۳۱	۴/۳۸	شن بازیافتی
		۲/۰۵	۶/۸۹	ماسه بازیافتی

جدول ۴- طرح اختلاط بهینه بتن خودتراکم ساخته شده از سنگدانه بازیافتی

فوق‌روان‌کننده (kg/m^3)	پودرسنگ (kg/m^3)	سیمان (kg/m^3)	آب (lit)	ماسه بازیافتی (kg/m^3)	ماسه طبیعی (kg/m^3)	شن بازیافتی (kg/m^3)	شن طبیعی (kg/m^3)
۸/۵	۱۰۳	۴۶۴	۱۹۰	۴۹۹	۳۳۳	۱۴۴	۵۷۴

جدول۵- طرح اختلاط‌های مورد استفاده در آزمایش

فوق‌روان‌کننده (kg/m^3)	پودرسنگ (kg/m^3)	زئولیت (kg/m^3)	سیمان (kg/m^3)	آب (lit)	ماسه بازیافتی (kg/m^3)	ماسه طبیعی (kg/m^3)	شن بازیافتی (kg/m^3)	شن طبیعی (kg/m^3)	طرح اختلاط
۸/۵	۱۰۳	۰	۴۶۴	۱۹۰	۴۹۹	۳۳۳	۱۴۴	۵۷۴	R
۸/۵	۱۰۳	۴۶/۴	۴۱۷/۶	۱۹۰	۴۹۹	۳۳۳	۱۴۴	۵۷۴	Z -۱۰
۸/۵	۱۰۳	۶۹/۶	۳۹۴/۴	۱۹۰	۴۹۹	۳۳۳	۱۴۴	۵۷۴	Z -۱۵
۸/۵	۱۰۳	۹۲/۸	۳۷۱/۲	۱۹۰	۴۹۹	۳۳۳	۱۴۴	۵۷۴	Z -۲۰
۸/۵	۱۰۳	۱۱۶	۳۴۸	۱۹۰	۴۹۹	۳۳۳	۱۴۴	۵۷۴	Z -۲۵
۸/۵	۱۰۳	۱۳۹/۲	۳۲۴/۸	۱۹۰	۴۹۹	۳۳۳	۱۴۴	۵۷۴	Z -۳۰

جدول۶- نتایج آزمایش‌ها روی بتن تازه برای درصدهای مختلف پوزولان

نتایج آزمایش‌ها روی بتن تازه					
جعبه L شکل	جعبه U شکل (Cm)	قیف V شکل (S)	حلقه J (Cm)	جریان اسلامپ (Cm)	طرح اختلاط
۰/۹۶	۱/۴	۸	۰/۷	۷۵/۵	R
۰/۹۲	۱/۷	۹	۱/۱	۷۴	Z -۱۰
۰/۸۹	۱/۸	۹	۱/۲	۷۳	Z -۱۵
۰/۸۸	۲/۱	۱۲	۱	۷۴/۵	Z -۲۰
۰/۸۶	۲/۱	۱۳	۰/۹	۷۴/۵	Z -۲۵
۰/۸۳	۲/۳	۱۴/۵	۰/۹	۷۵	Z -۳۰

۳-۲- نتایج آزمایش بتن سخت شده

۳-۲-۱-آزمایش مقاومت فشاری

در این تحقیق، مقاومت فشاری نمونه‌های استوانه‌ای پس از ساخت و عمل آوری در سنین ۷، ۲۸ و ۹۰ روز در آب، مطابق استاندارد ASTM-C39 اندازه‌گیری شد. برای هر یک از طرح‌های اختلاط سه نمونه ساخته شده و میانگین مقاومت فشاری این سه نمونه در ارائه نتایج استفاده شد. نتایج حاصل از مقاومت فشاری در جدول ۷ و شکل ۴ ارائه شده است. با توجه به نتایج،

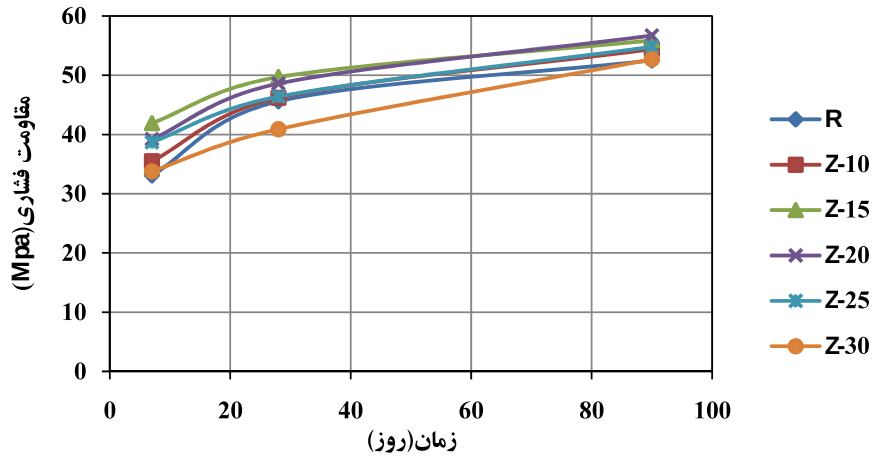
www.SID.ir

Archive of SID

کلیه طرح اختلاهای بتن خودتراکم ساخته شده از سنگ‌دانه بازیافتی حاوی پوزولان زئولیت، در همه سنین به جز طرح اختلاط حاوی ۳۰ درصد پوزولان در سن ۲۸ روز، مقاومتی بیشتر از بتن شاهد(R) داشته‌اند. از عواملی که می‌توان در این مورد ذکر کرد تأخیر در واکنش شیمیایی پوزولان زئولیت ۳۰ درصد در سنین اولیه بتن می‌باشد، اما با افزایش سن نمونه به ۹۰ روز شاهد افزایش چشمگیر مقاومت بتن هستیم، به‌طوری‌که افزایش مقاومتی از سن ۲۸ روز به سن ۹۰ روز در این طرح اختلاط (۱۱/۸ مگاپاسکال) از همه طرح اختلاط‌ها بیشتر است و در سن ۹۰ روزه مقاومت آن بیش از مقاومت بتن شاهد می باشد. از عوامل تاثیر گذار در بروز این رفتار می‌توان به کاهش فضاهای خالی بتن همراه با افزایش این پوزولان در ترکیب طرح اختلاط بتن اشاره نمود. حل شدن هیدروکسیدکلسیم و مواد قابل حل و مهاجرت آن‌ها به سطح بتن نقش زیادی در تشکیل فضاهای خالی در بتن دارد. علاوه بر آن، آبی که به صورت آزاد در بتن وجود دارد نیز باعث می‌شود که فضاهای خالی در بین ذرات بتن بوجود آید. ذرات پوزولان می‌توانند با هیدروکسیدکلسیم واکنش نشان داده و تشکیل ژل سیلیکات کلسیم هیدراته شده دهند و از فرار ترکیبات قابل حل به سطح بتن جلوگیری کنند و موجب افزایش وزن مخصوص بتن و کاهش در فضاهای خالی بتن شوند. کاهش فضاهای خالی، خود منجر به افزایش مقاومت بتن می‌شود و در دراز مدت می‌تواند اثرات مطلوبی بر روی مقاومت بتن داشته باشد و دوام بتن را با کاهش این خلل و فرج بهبود بخشد. با توجه به شکل ۵ مقدار جایگزینی بهینه پوزولان زئولیت برای مقاومت ۷ و ۲۸ روزه برابر ۱۵ درصد و برای مقاومت ۹۰ روزه برابر ۲۰ درصد است.

جدول۷- نتایج آزمایش مقاومت فشاری بتن خودتراکم ساخته شده از سنگدانه بازیافتی

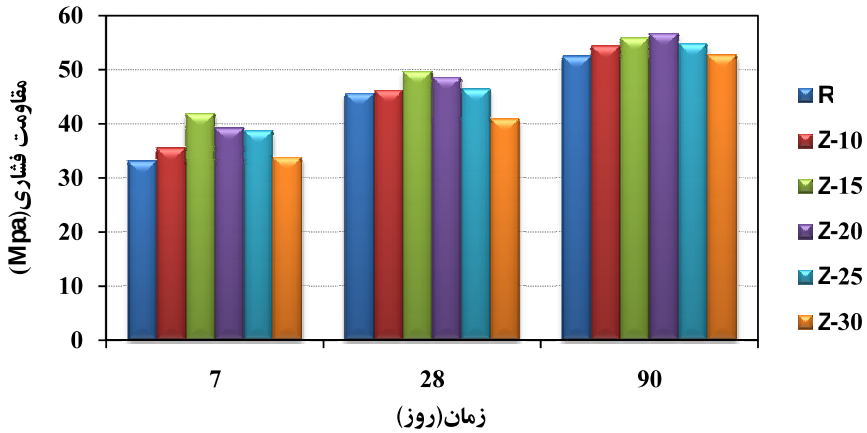
مقاومت فشاری(Mpa)			
نمونه	۷ روزه	۲۸ روزه	۹۰ روزه
R	۳۳/۱	۴۵/۶	۵۲/۵
Z -۱۰	۳۵/۵	۴۶/۲	۵۴/۴
Z -۱۵	۴۱/۹	۴۹/۷	۵۵/۹
Z -۲۰	۳۹/۲	۴۸/۶	۵۶/۷
Z -۲۵	۳۸/۷	۴۶/۴	۵۴/۸
Z -۳۰	۳۳/۸	۴۰/۹	۵۲/۷



شکل ۴- نتایج آزمایش مقاومت فشاری بتن خودتراکم ساخته شده از سنگدانه بازیافتی نسبت به زمان

www.SID.ir

Archive of SID



شکل۵- مقایسه آزمایش مقاومت فشاری بتن خودتراکم ساخته شده از سنگدانه بازیافتی در سنین مختلف

۳-۲-۲ - آزمایش مقاومت کششی

مقاومت کششی نمونه‌ها پس از ساخت و عمل آوری در سنین ۷، ۲۸ و ۹۰ روز در آب، مطابق استاندارد ASTM-C496 اندازه گیری شد. برای هر یک از طرح‌های اختلاط، سه نمونه ساخته شده و میانگین مقاومت کششی این سه نمونه در ارائه نتایج مورد استفاده قرار گرفت. نتایج حاصل از مقاومت کششی در جدول ۸ و شکل‌های ۶ و ۷ ارائه گردیده است. این نتایج بیانگر رفتاری مشابه با نمونه‌های آزمایش مقاومت فشاری است. با توجه به نتایج، در اکثر طرح اختلاهای بتن خودتراکم ساخته شده از سنگدانه بازیافتی حاوی پوزولان زئولیت، مقاومتی بیشتر یا مساوی از بتن شاهد(R) داشته‌اند. با توجه به حساسیت بیشتر مقاومت کششی نمونه‌ها نسبت به تخلخل خمیر و ناحیه انتقال، وضعیت ساختاری ناحیه انتقال و وجود بلورهای پرتلندایت، چنین به نظر می‌رسد که زئولیت با بلورهای پرتلندایت و تشکیل محصولات ژل مانند و محصولات کریستالی ثانویه، ساختار ناحیه را به طور اساسی بهبود بخشیده که این امر افزایش مقاومت را به همراه داشته است. بیشترین مقاومت در بین پوزولان‌ها مربوط به پوزولان ۱۰درصد است و با افزایش درصد پوزولان، مقاومت کششی کاهش پیدا می‌کند؛ به طوریکه طرح اختلاط حاوی ۲۵ درصد پوزولان در سن ۷ روزه و طرح اختلاط حاوی ۳۰ درصد پوزولان در همه سنین مقاومتی کمتر از مقاومت بتن شاهد را نشان داده‌اند.

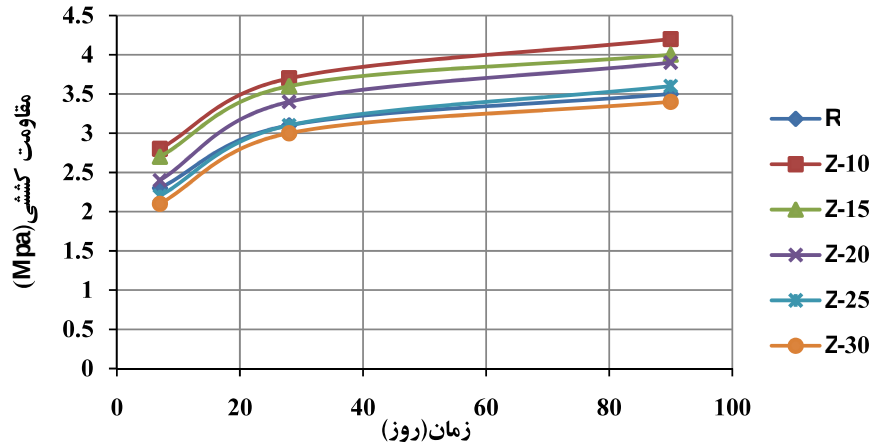
مطابق شکل ۶ با افزایش سن نمونه‌ها، مقاومت افزایش پیدا می‌کند. از آنجا که مقاومت فشاری و کششی بتن رابطهٔ مستقیم غیرخطی با هم دارند عواملی که باعث بروز چنین رفتاری می‌شود همانند عواملی است که در مقاومت فشاری قبلاً اشاره گردید. یعنی می‌توان به کاهش فضاهای خالی بتن همراه با افزایش پوزولان در ترکیب طرح اختلاط بتن اشاره نمود.

جدول ۸- نتایج آزمایش مقاومت کششی بتن خودتراکم ساخته شده از سنگدانه بازیافتی

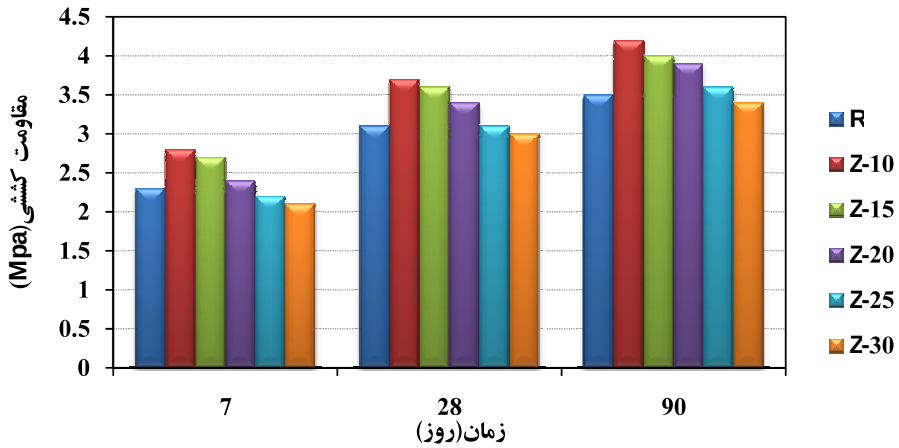
	مقاومت کششی(Mpa)		
نمونه	۷ روزه	۲۸ روزه	۹۰ روزه
R	۲/۳	۳/۱	۳/۵
Z -۱۰	۲/۸	۳/۷	۴/۲
Z -۱۵	۲/۷	۳/۶	۴
Z -۲۰	۲/۴	۳/۴	۳/۹
Z -۲۵	۲/۲	۳/۱	۳/۶
Z -۳۰	۲/۱	۳	۳/۴

www.SID.ir

Archive of SID



شکل۶- نتایج آزمایش مقاومت کششی بتن خودتراکم ساخته شده از سنگدانه بازیافتی نسبت به زمان



شکل۷ - مقایسه آزمایش مقاومت کششی بتن خودتراکم ساخته شده از سنگدانه بازیافتی در سنین مختلف

۳-۲-۳- آزمایش ضریب کشسانی

در این آزمایش، نمونه‌ها پس از ساخت و عمل آوری در سنین ۲۸ و ۹۰ روز در آب، ضریب کشسانی هر یک از آنها به دست آمد. برای هر یک از طرح‌های اختلاط، سه نمونه ساخته شده و میانگین ضریب کشسانی این سه نمونه در ارائه نتایج مورد استفاده قرار گرفت. در جدول ۹ و شکل ۸ نتایج حاصل از این آزمایش ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، نمونه‌های بتنی حاوی پوزولان زئولیت دارای ضریب کشسانی بیشتر از بتن شاهد هستند. ضریب کشسانی معمولاً با تغییر و افزایش مقاومت، افزایش پیدا می‌کند. این امر را می‌توان با بافت متراکم بتن و ایجاد پیوندهای مولکولی بهتر توجیه کرد. بیشترین ضریب کشسانی در نمونه‌های حاوی پوزولان، مربوط به زئولیت ۲۰ درصد و کمترین مقدار مربوط به زئولیت ۳۰ درصد است. دلیل کم بودن مقادیر ضریب کشسانی در جدول ۹ نسبت به مقادیر آیین‌نامه‌ای را اولاً به حجم کمتر سنگدانه‌های درشت و حجم بیشتر مصالح پودری در بتن‌های خودتراکم نسبت به بتن معمولی و ثانیاً به استفاده از سنگدانه‌های بازیافتی به دلیل کاهش مقاومت بنا به دلایلی که قبلاً به آن اشاره شد، می‌توان نسبت داد.

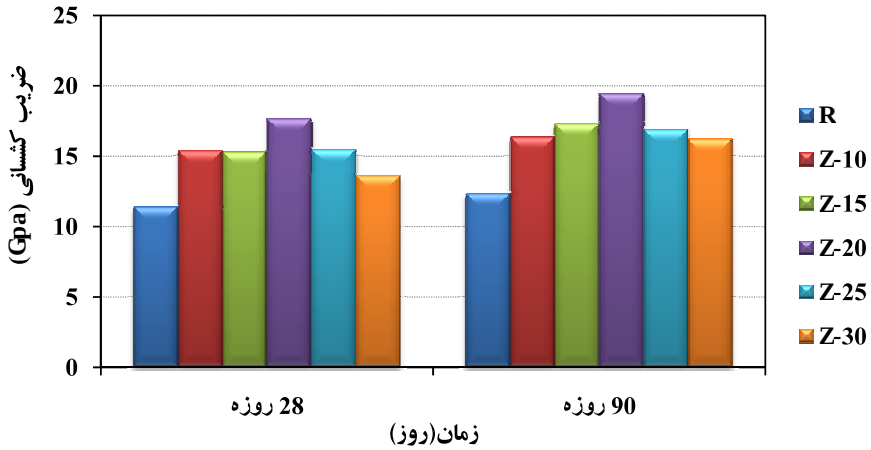
شکل‌های ۹ و ۱۰ نمودارهای تنش-کرنش را در سنین ۲۸ و ۹۰ روزه نشان می‌دهند. منحنی‌های تنش-کرنش به‌دست آمده، معمولاً در قسمت ابتدایی نمودار، دارای یک انحنای اولیه هستند. این مسئله به شکست‌های اولیه نمونه وجابجایی صفحات بالا و پایین مربوط به اندازه‌گیری کرنش مرتبط است.

www.SID.ir

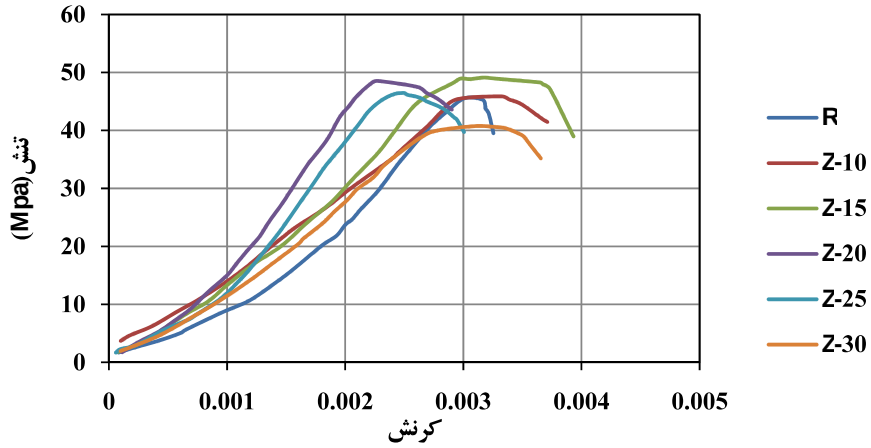
Archive of SID

جدول ۹- نتایج آزمایش ضریب کشسانی بتن خودتراکم ساخته شده از سنگدانه بازیافتی

ضریب کشسانی(Gpa)		
نمونه	۲۸ روزه	۹۰ روزه
R	۱۱/۴	۱۲/۳۶
Z -۱۰	۱۵/۴	۱۶/۶۳
Z -۱۵	۱۵/۲۹	۱۷/۳۱
Z -۲۰	۱۷/۶۷	۱۹/۴۵
Z -۲۵	۱۵/۴۷	۱۶/۹۰
Z -۳۰	۱۳/۶۳	۱۶/۲۲



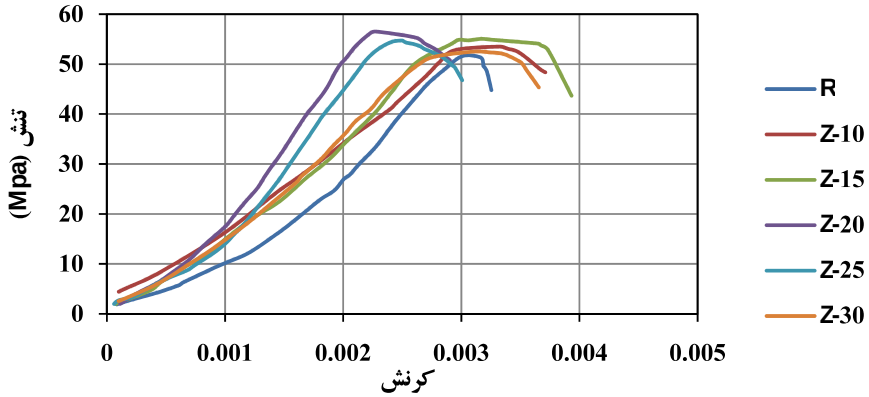
شکل ۸- نتایج آزمایش ضریب کشسانی نمونه‌های بتنی نسبت به زمان



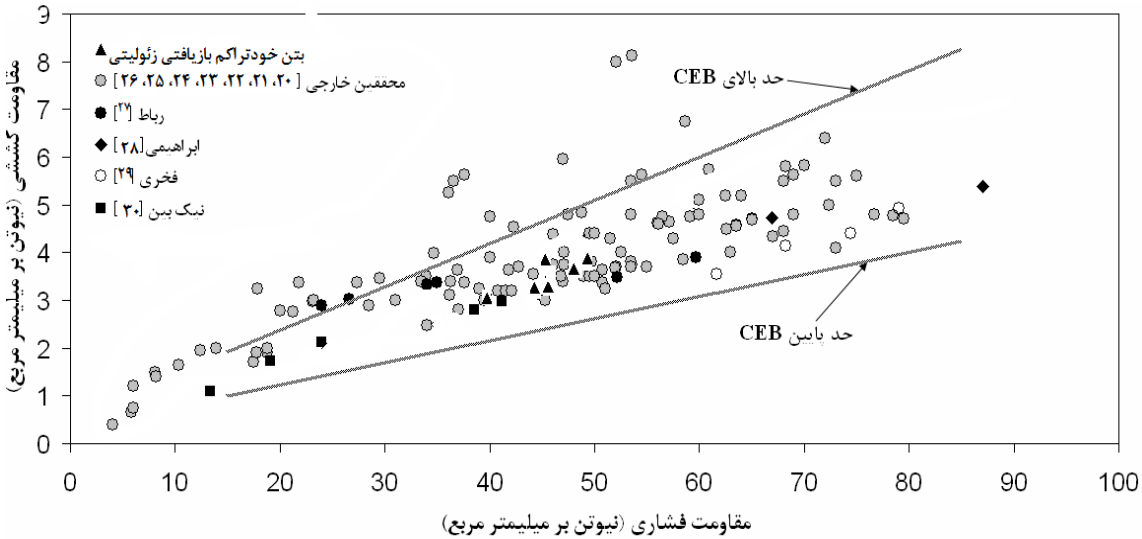
شکل۹- نمودارهای تنش-کرنش نمونه‌های بتنی در سن ۲۸ روزه

www.SID.ir

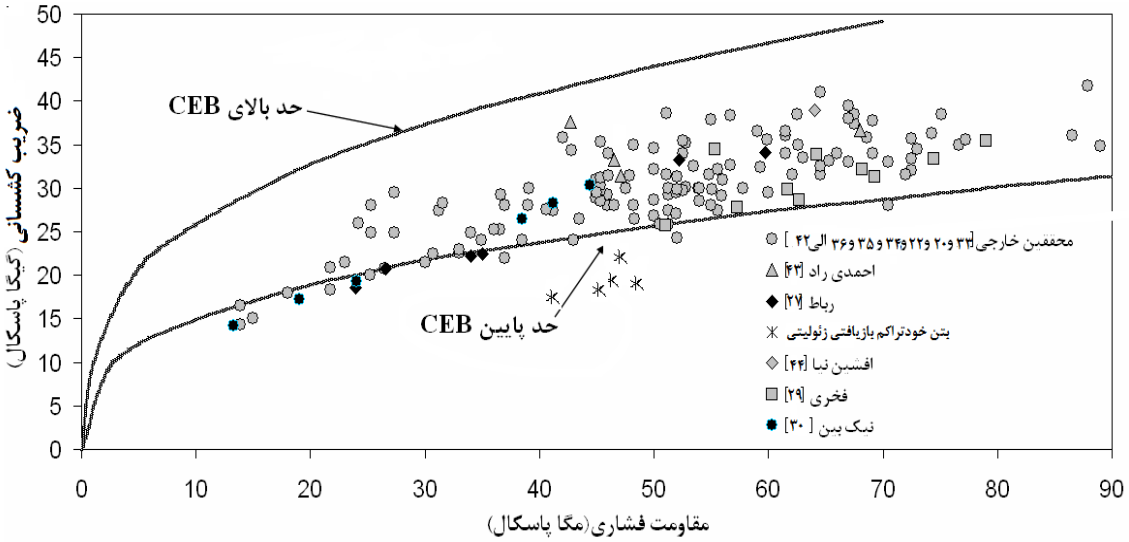
Archive of SID



شکل ۱۰- نمودارهای تنش-کرنش نمونه‌های بتنی در سن ۹۰ روزه



شکل ۱۱- مقایسه نتایج رابطهٔ بین مقاومت فشاری و کششی بتن خودتراکم بازیافتی حاوی زئولیت در سن ۲۸ روز با حدود آیین نامه‌ای و نتایج سایر محققین



شکل۱۲ - مقایسه نتایج رابطهٔ بین مقاومت فشاری و ضریب کشسانی بتن خودتراکم بازیافتی حاوی زئولیت در سن ۲۸ روز با حدود آیین نامه‌ای و نتایج سایر محققین

www.SID.ir

Archive of SID

٤- رابطهٔ بین مقاومت فشاری و کششی

رابطهٔ بین مقاومت فشاری و کششی یکی از خواص مهم بتن است. در بتن خودتراکم بازیافتی حاوی زئولیت با توجه به مقاومت کششی و مقاومت فشاری به‌دست آمده از آزمایش رابطهٔ ۱ پیشنهاد می‌شود. رابطهٔ بین مقاومت فشاری و کششی برای بتن خودتراکم بازیافتی حاوی زئولیت و همچنین نتایج سایر محققین داخلی و خارجی بر بتن خودتراکم و مقادیر پیشنهادی آیین نامه CEB [۳۱] در شکل ۱۱ نشان داده شده است.

$$f_t = 0.5\sqrt{f_c} \quad (۱)$$

که در آن:

f_t: مقاومت کششی بر حسب مگاپاسکال

f_c: مقاومت فشاری بر حسب مگاپاسکال

این رابطه در آیین نامه بتن ایران برای بتن معمولی به صورت رابطهٔ ۲ می‌باشد.

$$f_t = 0.55\sqrt{f_c} \quad (۲)$$

همان‌طور که در شکل ۱۱ مشخص است، نتایج مقاومت کششی بتن خودتراکم بازیافتی دارای زئولیت در محدوده پیشنهادی آیین‌نامه CEB قرار می‌گیرد.با وجود پراکندگی بین داده‌ها که می‌تواند ناشی از تفاوت در نوع فیلرهای مصرفی باشد، تنها حدود ۱۵درصد داده‌های محققین مختلف بالاتر از محدوده پیشنهادی آیین‌نامه CEB می‌باشد.

٥- رابطهٔ بین مقاومت فشاری و ضریب کشسانی

ضریب کشسانی بتن، به نسبت ضریب کشسانی ترکیبات و درصد آن‌ها در حجم بتن وابسته است. بنابراین از آن‌جایی که سنگ‌دانه‌های معمولی، ضریب کشسانی بالاتری از خمیر هیدراته شده سیمان دارند، حجم بالاتری از سنگ‌دانه‌ها نتایج بالاتری از ضریب کشسانی را برای بتن در مقابل مقاومت فشاری نشان خواهد داد. در بتن خودتراکم بازیافتی حاوی زئولیت با توجه مقاومت فشاری و ضریب کشسانی به‌دست آمده از آزمایش رابطهٔ (۳) پیشنهاد می‌شود:

$$E = 2275\sqrt{f_c} \quad (۳)$$

که در آن:

E:ضریب کشسانی بر حسب مگاپاسکال

f_c: مقاومت فشاری بر حسب مگاپاسکال

این رابطهٔ در آیین نامه بتن ایران برای بتن معمولی به صورت زیر ارائه شده است:

$$E = 5000\sqrt{f_c} \quad (۴)$$

در کل نظرهای متفاوتی در زمینه ضریب کشسانی بتن‌های خودتراکم مطرح است. نمودار ارتباط بین مقاومت فشاری و ضریب کشسانی برای بتن‌های خودتراکم معمولی و بتن خودتراکم بازیافتی حاوی زئولیت به همراه حدود ارائه شده آیین نامه CEB [۳۱] برای نتایج ارائه شده توسط محققین داخلی و خارجی در شکل ۱۲ آمده است. نتایج ضریب کشسانی بتن خودتراکم بازیافتی حاوی زئولیت در نزدیکی حد پایین آیین نامه CEB قرار گرفته است. البته علت این موضوع را می‌توان در حجم کمتر سنگ‌دانه‌های درشت و حجم بیشتر مصالح پودری در بتن‌های خودتراکم جستجو کرد. از طرف دیگر سنگ‌دانه‌های بازیافتی به دلیل داشتن لایه‌ای از خمیر سیمان، ضریب کشسانی کمتری نسبت به سنگدانه‌های معمولی دارند. نتایج گزارش شده در زمینه ضریب کشسانی در بتن‌های خودتراکم توسط محققین خارجی با حد پیشنهادی آیین‌نامهٔ EC2 نیز نشان داده است که ضریب کشسانی در بتن‌های خودتراکم در حدود ۴۰ درصد کمتر از ضریب کشسانی بتن‌های معمولی است. البته این مقدار در مقاومت‌های پایین گزارش شده و در بتن‌های با مقاومت بالا این مقدار به ۵ درصد کاهش می‌یابد [۳۲].

٦- نتیجه‌گیری

در این مطالعه ضمن بررسی مقاومت‌های فشاری و کششی و ضریب کشسانی بر بتن خودتراکم بازیافتی حاوی زئولیت، سعی شد یک رابطهٔ تجربی بین مقاومت فشاری با دو پارامترمقاومت کششی و ضریب کشسانی به‌دست آید. با توجه به بررسی‌های انجام شده، نتایج زیر حاصل شده است:

۱- نتایج آزمایش‌ها روی بتن خودتراکم بازیافتی تازه با درصدهای متفاوت پوزولان زئولیت طبیعی نشان می‌دهد با افزایش درصد جای‌گزینی سیمان با زئولیت، چسبندگی و لزجت مخلوط افزایش می‌یابد و سبب کاهش روانی بتن می‌شود.

www.SID.ir

Archive of SID

همچنین این نتایج حاکی از این است که همه طرح اختلاط‌ها با درصدهای جای‌گزینی زئولیت ۱۰ تا ۳۰ درصد در محدوده ایمنی بتن خودتراکم قرار می‌گیرند.

۲- با بررسی نتایج آزمایش‌ها به نظر می‌رسد که درصد بهینه استفاده از پوزولان زئولیت طبیعی در بتن خودتراکم بازیافتی بین ۱۰ تا ۲۰ درصد است.

۳- نتایج آزمایش‌ها روی بتن خودتراکم بازیافتی سخت شده نشان می‌دهد که نمونه‌های حاوی پوزولان زئولیت طبیعی، عملکرد بهتری نسبت به بتن خودتراکم بازیافتی بدون پوزولان (بتن شاهد) دارند.

۴- نتایج بین مقاومت فشاری و کششی در محدوده پیشنهادی آیین‌نامهٔ CEB قرار دارند و رابطهٔ پیشنهادی به رابطهٔ ارائه شده در آیین نامه بتن ایران نزدیک است.

۵- نتایج بین مقاومت فشاری و ضریب کشسانی به دلیل استفاده از سنگ‌دانه‌های بازیافتی در نزدیکی حد پایین آیین‌نامهٔ CEB قرار گرفته است.

۷- مراجع

[۱]. شربتدار، محمدکاظم.، حمزه نژادی،ابوذر.، قاسمیان بالف، محمد.، "بررسی خواص بتن خودتراکم طبیعی و بتن خودتراکم تهیه شده از مصالح بازیافتی"، کنگره ملی بتن خودتراکم، مرکز بین المللی علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی،۱۳۹۱.

[۲]. صداقت دوست، آرش.، اخوان خرازیان، حمید.، نیکوان، پیمان.، "بررسی تأثیرات زئولیت بر مقاومت فشاری بتن سبک"، اولین کنفرانس ملی صنعت بتن، مرکز بین المللی علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی، خرداد ۱۳۹۱.

[3]. Feng, N. Q , Peng, G. F., "Applications of natural zeolite to construction and building materials in China," Construction and Building Materials, Volume 19, Issue 8, Pages 579,2005.

[4]. Poon, C. S., Lam, L., Kou, S. C , Lin Z. S., "A Study on the Hydration Rate of Natural Zeolite Blended Cement Pastes," Construction and Building Materials, Volume 13, Issue 8, Pages 427-432, 1999.

[5]. Perraki, Th., Kakali, G, Kontoleon, F., "The Effect of natural zeolites on the early hydration of Portland cement ," Microporous and Mesoporous Materials, Volume 61, Issues 1-3, Pages 205-212, 18, 2003.

[6]. Feng, N. Q., Li, G. Z., Zang, X. W., "High-Strength and flowing Concrete with zeolitic mineral admixtures, Cement, Concrete and Aggregates," Volume 12, Issue 2, Pages 61-69,1990.

[7]. Sammy, Y. N. Chan, XihuangJi, "Comparative Study of the Initial Surface Absorption and Chloride Diffusion of High Performance Zeolite, Silica Fume and PFA Concrete," Cement and Concrete Composites, Volume 21, Issue 5, Pages 293-300, 1999.

[8]. Uzal, B., Turanl, L.i, Mehta, P.K., " High-volume natural pozzolan concrete for structural applications," ACI Materials Journal, Volume 104, Issue 5, Pages 535-538, 2007.

[9]. Ahmadi, Babak., Shekarchi, Mohammad., "Use of natural zeolite as a supplementary cementitious material," Cement& Concrete Composites, 32, 134-141, 2010.

[10]. Chan, SYN., Ji, X., " Comparative study of the initial surface absorption and chloride diffusion of high performance zeolite, silica fume and PFA concrete," Cement& Concrete Composites, 21, 293-300, 1999.

[11]. Malhortra, V.M., Neville, A., "Symposium on concrete thechnologi in the use of demolition waste in concrete," bywain Wright, Pj26,pp.179-197,1995.

[12]. Frondistion, K.,Yannas, S., "Economics of concrete Recycing in the united sates, Advanced Research institute problems in the Recycling concrete," France, Nov.25-28, pp.163-186,1980.

[13]. Hansen, T.C., (Editor), "Recycling of Demolition and Masonry, RLLEM (The intemational union of testing and Research laboratories for materials and structures)," Reports, 1992.

[14]. Kou, S.C.,Poon, C.S., "Properties of self-compacting concrete prepared with coarse and fine recycled concrete aggregates," Department of Civil and Structural Engineering The Hang Kong Polytechnic University, Hong Kong, China, Cement&Concrete Composites Vol.31, pp.622-627, 2009.

[15]. Sami, W.Tabsh. ,Akmal, S., Abdelfatah, "Influence of recycled concrete aggregates on strength properties of concrete," Construction and Building Materials Vol.23,pp.1163-1167, 2009.

[16]. Zoran , Jure, Grdic., Gordana, A., Toplicic-Curcic, Despotovic, M. Iva., S. Ristic, Nenad., "Properties of self-compacting concrete prepared with coarse recycled concrete aggregate," Faculty of civil Engineering and Architecture of Nis, Serbia, Construction and Building Materials Vol.24,2010, pp.1129-1133, 2010.

www.SID.ir

Archive of SID

[17]. Tine, Aarre ., Danskbeton ,Teknik Ais., Denmark ,Peter Domone , University College London UK, "Reference Concrete for Evaluation of test Method for SCC ," pp.495-502 , August , 2003.

[۱۸]. اسماعیل‌نیا عمران، محمد.، فریدی، مجتبی.، "بهینه‌سازی بتن خودتراکم ساخته شده از سنگدانه بازیافتی بتن" ، هفتمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشکده مهندسی شهید نیکبخت، زاهدان۱۷ و ۱۸ اردیبهشت ماه۱۳۹۲.

[19]. EFNARK, "Specification and Guidelines for Self Compacting Concrete," European Federation,2002.

[20]. Konig, G., Holschemacher, K., Dehn, F., Weibe, D., "Self compacting concrete time development of material properties and bond behaviour," secondd RILEM sym on scc,japan596-605,2001.

[21]. Klug, Y., Holschemacher, K., "Comparison of the hardened properties of self compacting concrete and normal vibrated concrete," third RILEM Intsymp on scc , Icland 15-22,2003.

[22]. Felekoglu, B., Turkel, S., Baradan, B., "Effect of water/cement ratio on the fresh and hardened properties of self compacting concrete," Bulding and Environment, 2006.

[23]. Sonebi, M., Bartos, Zhu, PJM., Gibbs, W., Tamimi, J., A, "Properties of hardened concrete," Task4, Brite Euram , 2000.

[24]. Sukumar, B., Nagumani, K., Srinivasa, R., "Evaluation of strength at early ages of self compacting concrete with high volume fly ash ," Con&Buld Mat,2007.

[25]. Bosiljkov, V.B., "scc mixes with poorly graded aggregate and high volume of limestone filler ," cem&con res , 1279-1286,2003.

[26]. Brouwers, H., Radix, H., "self compacting concrete," theoretical and experimental study, Cem&Con, 2005.

[۲۷]. رباط سرپوشی، رضا.، "بررسی تعیین نوع مواد پرکننده مناسب برای ساخت بتن خودتراکم" ، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، گیلان،۱۳۸۵.

[۲۸]. ابراهیمی، حمیدرضا.، " ارزیابی رفتار برشی تیرهای بتن مسلح ساخته شده با SCC مقاومت بالا و مقایسه آن با بتن معمولی" ، پایان‌نامه کارشناسی ارشد،دانشگاه مازندران،۱۳۸۴.

[۲۹]. فخری،یاشار.، " بررسی خواص فیزیکی و مکانیکی بتن خودتراکم " ،پایان‌نامه کارشناسی ارشد،دانشگاه مازندران،۱۳۸۵.

[۳۰].محمدپورنیک‌بین،ایمان.، "بررسی خواص مکانیکی بتن خودتراکم حاوی سنگدانه معمولی و سبک"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد،دانشگاه گیلان،۱۳۸۶.

[31]. CEB-FIP,Model Code 1990,London,1993.

[32]. Domone, P.L.," A review of the hardened mechanical properties of self compacting concrete," Cemand con composites vol.29 Issuel 1-12,2007.

[۳۳]. برزگر،مازیار.، "بررسی اثرات جمع‌شدگی و خزش در بتن خودتراکم" ،پایان‌نامه کارشناسی ارشد،دانشگاه مازندران،۱۳۸۶.

[34]. Turcry, P., Loukili, A., Haidar, K., "Mechanical properties, plastic shrinkage and free deformation of self compacting concrete," First American Conference on the design and use of scc,335-40,2002.

[35]. Fava C.,Bergol L., Fornasia G.," Fracture behavior of self compactingconcrete,third RILEM Scc," 2003.

[36]. Issa M ., Alhassan M.," Labratoary performance evaluation of self compacting concrete,Scc," 2005.

[37]. Vieira M.,Bettencourt A.,"Deformability of hardened scc,thid RILEM IntSym on Scc,"Iceland,637-44, 2003.

[38]. Brunner M.,"Durability of scc with high water content, Procceding of Scc 2005,"333-40,2005.

[39]. Almeida Filho, Narden F., Cresce S., Debs A., "Evaluation of the bound strength of self compacting concrete in pull out tests, Procceding of Scc 2005,"953-8,2005.

[40]. Khayat K.,Terembley S.,"Structural response of self consolidating columns, First IntSym on Scc,"355,1999.

[41]. Pons G.,Proust E.,Assie S.," Creep and shrinkage behavior of self compacting concrete a different behavior compared with vibrated concrete," Third RILEM IntSym on Scc,Iceland,645-54,2003.

[42]. Khayat K.,Petroy N.,Attiogbe E.,See H.,"Uniformity of bond strength of prestressed strands in conventional flowable and self consolidating concrete mixtures," Third RILEM IntSym on Scc,Iceland,703-12,2003.

[۴۳]. احمدی راد، میر احمد.، " بررسی و مقایسه پتانسیل خوردگی میلگردهای مدفون در بتن‌های خودتراکم SCC حاوی پودرسنگ، خاکستر پوستهٔ شلتوک برنج و دودهٔ سیلیس"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه گیلان،۱۳۸۵.

www.SID.ir

Archive of SID

[۴۴]. افشین‌نیا، کاوه.،"اختلاط بتن خودتراکم با استفاده از خاکستر پوستهٔ شلتوک برنج، بررسی مقاومت فشاری، کششی، انبساط و انقباض آنها و مقایسه آن با بتن معمولی" ، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه گیلان، ۱۳۸۵.

www.SID.ir

Archive of SID

Relationship Between Compressive Strength and Tensile Strength, and Modulus of Elasticity in Self compacting Concrete Containing Recycled Aggregates and Natural Zeolite

M. Esmaeilnia Omran *
Assistant Professor, Faculty of Engineering, University of Kurdistan,
M. Faridi
M.Sc. Faculty of Eng., University of Kurdistan

(Received: 2014/11/10 - Accepted: 2015/4/29)

Abstract

In recent years developments in technology have made it possible to make high strength concrete with higher workability and strength compared with conventional concrete. Now a day, in order to reduce current costs and reduce or eliminate the environmental problems the use of recycled materials and natural Pozzolan have become one of the topics of interest to many researchers. In this study, the use of zeolite as natural pozzolan and recycled aggregate concrete as recycled material in self-compacting concrete was investigated. For this purpose recycled self compacting concrete mix design was optimized and different percentages of cement was replaced with zeolite (0%, 10%, 15%, 20%, 25% and 30%). In this study, after studying the compressive strength, tensile strength and modulus of elasticity in self-compacting concrete containing recycled aggregates and zeolite, empirical relations between compressive strength, tensile strength and modulus of elasticity have been established.

Keywords: Zeolite, Recycled aggregate, Compressive Strength, Tensile Strength, Modulus of Elasticity,Self Compacted Concrete.

*Corresponding author: m.esmaeilnia@uok.ac.ir

www.SID.ir