



بررسی تاثیر پودر شیشه بر خواص مکانیکی بتن خودتراکم

ناصر شابختی^۱، محمد رضا سهرابی^۲، شاهین کاظمی بندپی^۳

۱- استادیار دانشکده مهندسی دانشگاه سیستان و بلوچستان، تلفن (۰۵۴۱) ۲۴۴۴۵۹۱

۲- استادیار دانشکده مهندسی دانشگاه سیستان و بلوچستان، تلفن (۰۵۴۱) ۲۴۴۴۵۹۱

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه دانشگاه سیستان و بلوچستان، تلفن (۰۵۴۱) ۲۴۴۴۵۹۱

پست الکترونیکی shabakhty@yahoo.com

خلاصه

بتن یکی از مهمترین مصالح مصرفی در احداث سازه هایی عمرانی از قبیل پل ها، سوله ها و ساختمانها می باشد که به علت دارا بودن خواص مناسب، استفاده از آن در حال افزایش است. یکی از مهمترین اهداف محققین دستیابی به طرحی جدید با ویژگی های برتر است. از آنجایی که مهمترین و گرانترین بخش های بتن سیمان است اگر بتوان درصدی از آن را توسط مصالحی از قبیل پودر شیشه جایگزین نمود علاوه بر کاهش قیمت نهایی با استفاده از ضایعات شیشه می توان در ایجاد یک محیط زیست سبز نیز کمک کرد.

مشکلات مربوط به متراکم نمودن بتن یعنی استفاده از ویبراتورها مسائل متعددی از جمله جداشدگی دانه ها و شن نما شدن مصالح را ممکن است ایجاد نماید. در بعضی موقعیت ها مانند بتن ریزی در ارتفاعات و مکانهایی با تراکم بالای آرماتورها، ویرنه زدن بتن امکان پذیر نبوده و یا می تواند مخاطره آمیز باشد. در این مقاله با علم بر موارد فوق و از آنجایی که تحقیقات گسترده و قابل قبولی بر روی اثرات پودر شیشه بر روی بتن خود تراکم انجام نگرفته است مطالعه بر روی آن را ضروری تشخیص داده و انجام شده است.

به منظور بررسی تاثیر میزان ترکیبات پودر شیشه بر روی مشخصات مکانیکی بتن خود تراکم، چهار مخلوط ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درصد پودر شیشه به عنوان جایگزین درصدی از سیمان مصرفی در بتن، با یک طرح اختلاط ثابت، ۶۰ نمونه مکعبی و ۶۰ نمونه استوانه ای ساخته و در سنین ۷ و ۲۸ و ۹۰ روزه پارامترهای مقاومت فشاری و کششی مورد ارزیابی قرار گرفت. بعلاوه ۱۵ نمونه مکعبی و ۱۵ نمونه استوانه ای بدون هیچگونه پودر شیشه جهت نمونه های شاهد ساخته و در سنین ۷ و ۲۸ و ۹۰ روزه مقاومت فشاری و کششی آن جهت مقایسه با درصدهای فوق تعیین گردید. نتایج حاصل بیانگر تاثیر کاهش مقاومت با افزایش درصد پودر شیشه در درصدهای بالای ۱۰ درصد می باشد ولی نمونه های با ۱۰ درصد پودر شیشه به عنوان جایگزین سیمان اثرات مطلوبی بر روی مقاومت بتن خود تراکم در مقایسه با نمونه های بدون پودر شیشه داشته است.

کلید واژه ها: بتن خودتراکم، پودر شیشه، مقاومت فشاری، مقاومت کششی

مقدمه:

مقاومت مهمترین خاصیت و مشخصه بتن نزد طراحان و مهندسان کنترل کیفیت بتن می باشد. در جامدات رابطه معکوس بین تخلخل و مقاومت یک اصل است. تکنولوژی موجود در بتن های معمولی برای کاهش تخلخل و برای ایجاد یک بتن متراکم و همگن استفاده از ویبراتور می باشد. سر و صدای فراوان حاصل از ویرنه کردن بتن های معمولی باعث ایجاد ناراحتی برای همسایگان می شود. همچنین استفاده از نیروی های انسانی کاربرد به منظور بتن ریزی و هزینه بالای بکارگیری آنها، شرکت های ساختمانی را به سمت نسل جدیدی از

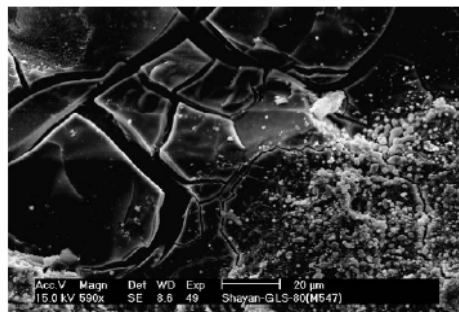


بتن سوق داد که بتواند بسیاری از مشکلات اشاره شده را حل نماید. همچنین تمایل زیاد این کمپانیها به منظور ساخت بتن هایی که دارای مقاومت فشاری مطلوب باشند به خصوص در محلهایی که به علت تراکم زیاد آرماتورها ضعف در مقاومت بتن به چشم می خورد ، آنها را وا داشت تا این نسل جدید بتن را بپذیرند. اهمیت ولزوم استفاده از این بتن توسط اکامورا (Okamura) در سال ۱۹۸۶ [۳] کشف شد. اولین نمونه ساخته شده از بتن خود تراکم در سال ۱۹۸۸ به اتمام رسید که در آن از مصالح معمولی موجود استفاده شده بود . همچنین پیشرفت صنعت و گرایش کشورها به صنعتی شدن علاوه بر محاسنی که این پیشرفت در رشد اقتصادی کشورها داشته است، مشکلاتی از جمله افزایش ضایعات بجا مانده ناشی از تولیدات صنعتی را به ارمغان آورده است که عدم توجه به این امر معضلات بزرگی را راجع به محیط زیست بوجود خواهد آورد. از جمله این ضایعات ، ضایعات بجا مانده از محصولات شیشه ای می باشد . امروزه با توجه به هزینه بالای انرژی و از آنجا که عملیات بازیافت شیشه نیز همراه با مصرف هزینه و انرژی می باشد محققین را بر آن داشت که با کمترین هزینه و مصرف انرژی، استفاده بهینه را از این ضایعات انجام دهند. از آنجا که مقادیر زیادی از این ضایعات را می توان در بتن جایگزین نمود، استفاده از ضایعات شیشه در بتن معمولی مورد توجه محققین مختلف قرار گرفته است . ریندل Reindel [۷] راجع به این موضوع نقل می کند که پودر شیشه GLP (Glass Powder) (اندازه رد شده از الک با سایز ۲۰۰)، می تواند همانند یک ماده پوزولانیک عمل نماید تا تمایل مصالح دانه بندی شده واکنش پذیر را در مقابل عکس العمل آلکالین - سیلیکا (Alkali-Silica Reaction) کاهش دهد. بعلاوه شایان و زو Shayan, Aimin Xu [۲] نشان داده اند که حداکثر ۳۵٪ از براده شیشه می تواند به همراه سیمانی با قلیایی پایین ، بدون تاثیرات زیان آور در بتن مورد استفاده قرار گیرد. اخیرا مرکز توسعه و تحقیق انرژی ایالت نیویورک [۸] تامین کننده مالی تحقیقی راجع به استفاده از شیشه باز یافت شده در بلو کهای بنایی بتنی بوده که نتایج این تحقیق نشان می دهد که ضایعات شیشه می تواند به عنوان هر دو مصالح درشت دانه و ریز دانه در تهیه بتن مورد استفاده قرار بگیرد به این شرط که بعضی از شرایط مهیا شود.

لذا از آنجا که تا کنون هیچگونه پژوهشی در مورد تاثیر ضایعات شیشه (بخصوص پودر شیشه) در بتن خود متراکم صورت نگرفته است ما را بر آن داشت که در این تحقیق استفاده از ضایعات شیشه در بتن خود متراکم مورد توجه قرار داده و تاثیر آن را بر روی این نوع بتن مورد پژوهش قرار دهیم. در این قسمت از پژوهش با تکیه بر نتایج بدست آمده از انجام آزمایشات وبا استفاده از جایگزینی درصدهای وزنی مختلف پودر شیشه بجای سیمان پرتلند، مقاومت مکانیکی حاصل را برای نمونه های ساخته شده با عیار سیمان ۴۰۰ و نسبت آب به سیمان ۰/۴۴ در سنین مختلف مورد بررسی قرار داده ایم .

تاثیر ضایعات شیشه بر بتن خود تراکم:

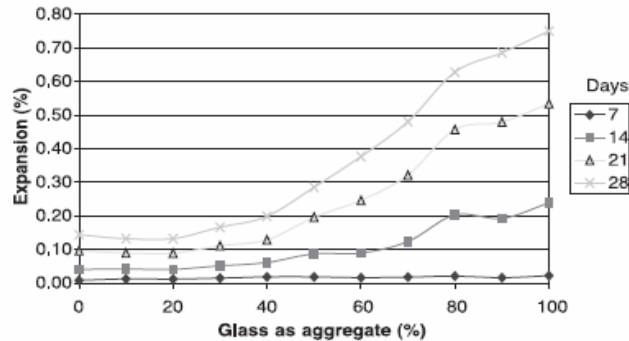
تاثیر مشخصه های شیمیایی شیشه مثل ایجاد تغییر تدریجی بر روی مشخصه های مخلوط بتن می تواند تعیین کننده باشد. شیشه به خاطر داشتن طبیعت غنی از سیلیس و ساختار غیر متبلور نسبت به حمله شیمیایی تحت شرایط قلیایی شدید که در فاز سیمان هیدراته شده در بتن ایجاد می شود حساس می باشد. این حمله شیمیایی روی شیشه می تواند باعث شکل گیری ژل ASR گردد [۲]. شکل ۱ نمونه ای از ایجاد این ژل را در ترکیب بتن نشان می دهد. این ژل که انبساط پذیر بوده و می تواند باعث ترک خوردگی زود هنگام در بتن شود ، مگر اینکه اقدامات احتیاطی لازم برای کاهش یا کنترل آن صورت گیرد. چنین اقدامات احتیاطی می تواند شامل اضافه نمودن مواد پوزولانی مناسب از قبیل خاکستر بادی (fly ash) ، سیلیکا فوم (Silica fume) یا تفاله های کوره های بلند به نسبت مناسب در بتن می باشد.



شکل ۱ (تشکیل ژل ASR در بتن حاوی ذرات شیشه [۲])



تأثیر مشخصه های فیزیکی همانند میزان ضایعات پودر شیشه بر روی مخلوط بتن معمولی نیز بررسی گردیده است. نتایج حاصل شده در آزمایشات مختلف نشان می دهد هر چه محتوای شیشه در قالب های تهیه شده در ملات بتنی بیشتر باشد موجب ایجاد انبساط بیشتری می گردد. شکل ۲ نحوه انبساط قالب های تهیه شده از ملات بتن معمولی را با توجه به درصد ضایعات شیشه نشان می دهد.



شکل ۲) تأثیر میزان ضایعات شیشه بر انبساط بتن [۲]

همچنین، این انبساط به میزان متقابل محتوای شیشه، اندازه ذره و محتوای قلیایی بتن نیز بستگی دارد. نتایج آزمایشات انجام شده بر روی بتن معمولی با ترکیبات پودر شیشه توسط محققان نشان می دهد که شیشه می تواند با سیمان واکنش نشان داده و ژل ASR را تولید کند هر چند که چنین واکنشی به اندازه ذرات شیشه بستگی داشته تا بتواند مانند ماده ای پوزولانی عمل کند [۲].

روش تحقیق و آزمایشات انجام شده:

در این پژوهش کلا ۶۰ نمونه مکعبی برای تعیین مقاومت فشاری و ۶۰ نمونه استوانه ای برای تعیین مقاومت کششی در قالب ۵ طرح اختلاط که در جدول ۱ ارائه شده ساخته شده است. در هر نمونه در صد های مختلف پودر شیشه را جایگزین سیمان نموده ایم و تأثیر این جایگزینی را مورد بررسی قرار داده ایم. سیمان مورد استفاده در این پژوهش سیمان پرتلند قاین تیپ ۲ می باشد. عیار سیمان در ۴۰۰ کیلوگرم در متر مکعب و نسبت آب به سیمان ۴۴ در صد در مخلوط های بتنی می باشد. مدول نرمی ماسه ۲/۶۵ و اندازه بزرگترین اندازه مصالح درشت دانه به ۱۸ میلیمتر محدود گردیده است. درصدهای جایگزینی پودر شیشه به ترتیب ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۹۰ وزن مصالح سیمانی می باشد. مشخصات شیمیایی پودر شیشه مورد استفاده در این پژوهش را ارائه می دهد. نمونه های مورد آزمایش در قالبهای مکعبی ۱۰×۱۰×۱۰ برای نمونه های فشاری و ۳۰×۱۵ برای نمونه های کششی ساخته شده اند و عمل آوری آنها در سنین ۷ و ۲۸ و ۹۰ روزه صورت گرفته است. جدول زیر طرح اختلاط های تهیه شده در این تحقیق را ارائه میدهد.

جدول ۱- طرح اختلاط های بتن خود تراکم و پودر شیشه تهیه شده در این تحقیق

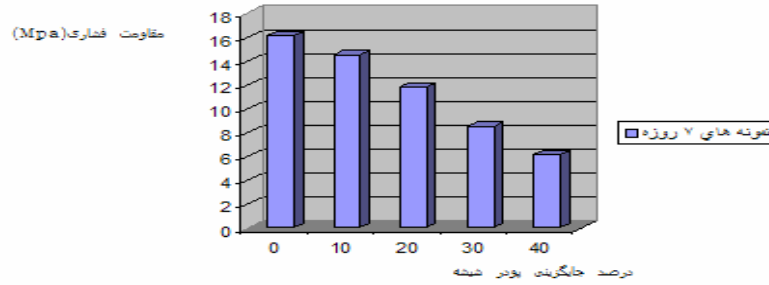
طرح اختلاط	ماسه (kg)	شن (kg)	پودر سنگ (kg)	سیمان (kg)	پودر شیشه (kg)	آب (Liter)	فوق روان کننده (Liter)	قوام دهنده (Liter)
GLP0	۹۲۰	۷۰۵	۲۰۰	۴۰۰	۰	۱۷۶	۸	۴
GLP1	۹۲۰	۷۰۵	۲۰۰	۳۶۰	۴۰	۱۷۶	۸	۴
GLP2	۹۲۰	۷۰۵	۲۰۰	۳۲۰	۸۰	۱۷۶	۸	۴
GLP3	۹۲۰	۷۰۵	۲۰۰	۲۸۰	۱۲۰	۱۷۶	۸	۴
GLP4	۹۲۰	۷۰۵	۲۰۰	۲۲۰	۱۶۰	۱۷۶	۸	۴



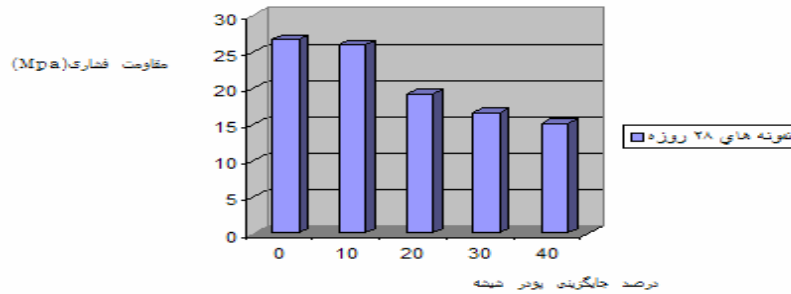
نتایج حاصله و تفسیر آنها:

الف) بررسی نتایج آزمایش مقاومت فشاری در بتن خودتراکم به ازای در صد های مختلف پودر شیشه به عنوان جایگزین سیمان :

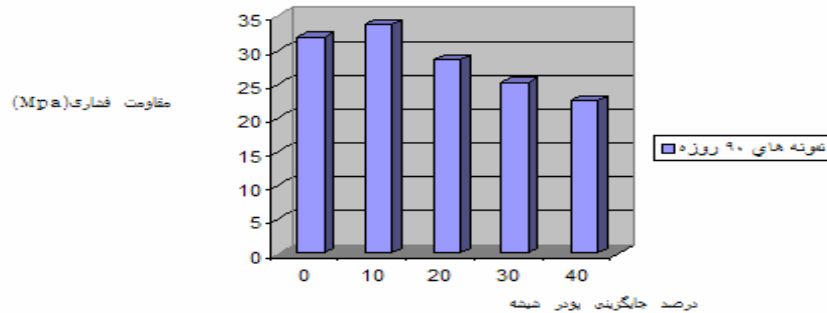
نتایج آزمایش مقاومت فشاری قالبهای مکعبی برای بتن های حاوی مصالح پودر شیشه در سنین ۷ و ۲۸ و ۹۰ روزه به ترتیب در شکلهای زیرارایه شده است.



شکل ۳) مقاومت فشاری نمونه های مکعبی بتنی خود تراکم عمل آوری شده ۷ روزه به ازای در صد های مختلف پودر شیشه جایگزین سیمان



شکل ۴) مقاومت فشاری نمونه های مکعبی بتنی خود تراکم عمل آوری شده ۲۸ روزه به ازای در صد های مختلف پودر شیشه جایگزین سیمان



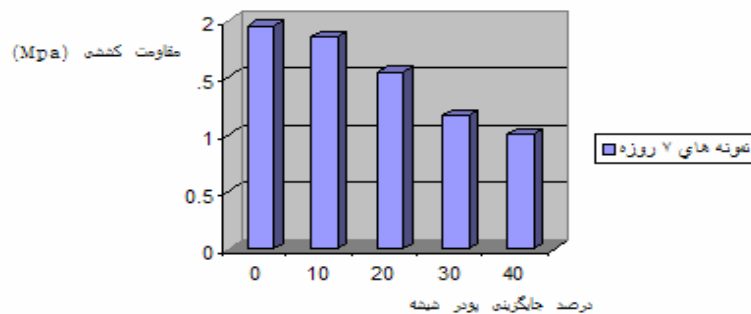
شکل ۵) مقاومت فشاری نمونه های مکعبی بتنی خود تراکم عمل آوری شده ۹۰ روزه به ازای در صد های مختلف پودر شیشه جایگزین سیمان



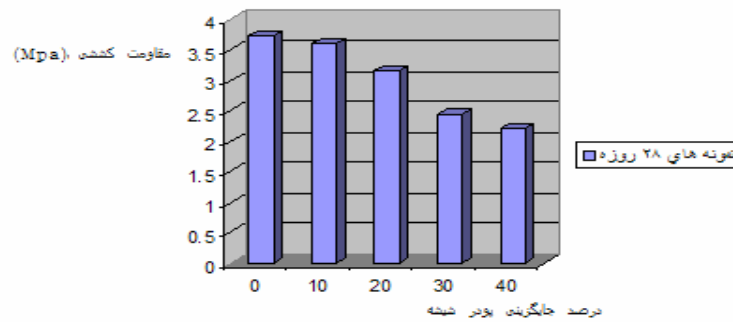
همانطور که ملاحظه میشود، بتن های ۷ روزه شامل پودر شیشه با نسبت های اختلاط ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۱۰ درصد افتی را در مقاومت فشاری بتن نشان می دهند. از عواملی که می توان در این مورد ذکر کرد تاخیر در آغاز واکنش های شیمیایی پودر شیشه در سنین اولیه بتن می باشد. اما با افزایش سن نمونه به ۲۸ و سپس به ۹۰ روز شاهد افزایش چشمگیر مقاومت بتن هستیم ، بطوریکه نمونه هایی بتنی خود تراکم که شامل ۱۰ درصد پودر شیشه می باشند مقاومت مشابه با نمونه های بتن های شاهد را بعد از ۲۸ روز عمل آوری کسب نموده اند و در سنین عمل آوری ۹۰ روزه حتی این بتن ها مقاومتی بیش از بتن شاهد را ارایه نموده اند. از عواملی که باعث بروز چنین رفتاری می شود می توان به کاهش فضا های خالی بتن همراه با افزایش پودر شیشه در ترکیب اختلاط بتن اشاره نمود . همانطور که می دانید حل شدن هیدروکسید کلسیم و مواد قابل حل و مهاجرت آنها به سطح بتن نقش زیادی در تشکیل فضا های خالی در بتن دارند . علاوه بر آن، آبی که بصورت آزاد در بتن وجود دارد نیز باعث می شود که فضا های خالی در بین ذرات بتن بوجود آید . ذرات ریز شیشه می توانند با هیدروکسید کلسیم واکنش نشان داده و تشکیل ژل H-S-C (سیلیکات کلسیم هیدراته شده) دهند و از فرار ترکیبات قابل حل به سطح جلوگیری کنند و موجب افزایش دانسیته سیمان ، کاهش در فضاهای خالی بتن شوند. کاهش فضاهای خالی خود منجر به افزایش مقاومت بتن می شود و در دراز مدت می تواند اثرات مطلوبی بر روی مقاومت بتن داشته باشد و دوام بتن را با کاهش این خلل و فرج بهبود بخشد .

ب) بررسی نتایج آزمایش مقاومت کششی در بتن خود تراکم به ازای در صد های مختلف پودر شیشه به عنوان جایگزین سیمان :

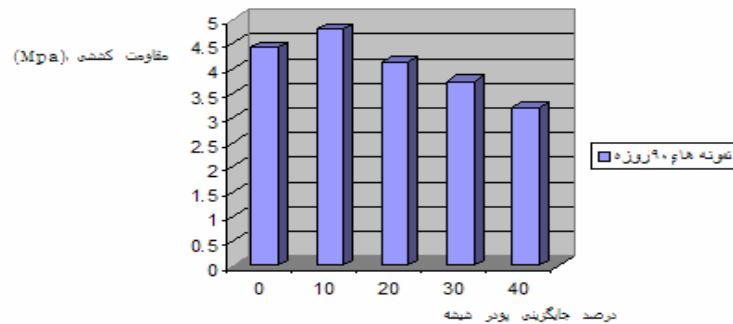
نتایج آزمایش مقاومت کششی قالبهای استوانه ای برای بتن های خود تراکم حاوی مصالح پودر شیشه در سنین ۷ و ۲۸ و ۹۰ روزه به ترتیب در شکلهای زیر ارایه شده است.



شکل ۶) مقاومت کششی نمونه های استوانه ای بتنی خود تراکم عمل آوری شده ۷ روزه به ازای در صد های مختلف پودر شیشه جایگزین سیمان



شکل ۷) مقاومت کششی نمونه های استوانه ای بتنی خود تراکم عمل آوری شده ۲۸ روزه به ازای در صد های مختلف پودر شیشه جایگزین سیمان



شکل ۸) مقاومت کششی نمونه های استوانه ای بتنی خود تراکم عمل آوری شده ۹۰ روزه به ازای در صد های مختلف پودر شیشه جایگزین سیمان

نتایج آزمایش مقاومت کششی در بتن خود تراکم حاوی پودر شیشه بیان کننده رفتاری مشابه با نمونه های مکعبی آزمایشات مقاومت فشاری بودند. بتن های ۷ روزه شامل پودر شیشه با نسبت های اختلاط ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درصد همانند رفتاری که برای نمونه های مکعبی نیز دیده شده است اکتی را در مقاومت کششی بتن نشان می دهند. اما با افزایش سن عمل آوری نمونه ها به ۲۸ روز شاهد افزایش چشمگیر مقاومت هستیم، بطوریکه نمونه هایی که شامل ۱۰ درصد پودر شیشه هستند مقاومت مشابه بتن شاهد کسب نموده اند و این افزایش مقاومت با افزایش سن عمل آوری همانطوریکه از نمودار ۸ ملاحظه می گردد ادامه پیدا می نماید بطوریکه در عمر ۹۰ روزه بتن مقاومتی بیشتر از مقاومت بتن شاهد را پیدا می نمایند. از آنجاکه واکنش پوزولانی به آهستگی صورت میگیرد بنابر این سرعت تولید و کسب مقاومت کند می باشد که همه اینها اشاره به خاصیت پوزولانی پودر شیشه می باشد.

از آنجاکه مقاومت فشاری و کششی بتن رابطه مستقیم با هم دارند عواملی که باعث بروز چنین رفتاری می شود همانند عواملی که در مقاومت فشاری قبلا اشاره گردید در اینجا نیز صدق می کند یعنی می توان به کاهش فضا های خالی بتن همراه با افزایش پودر شیشه در ترکیب اختلاط بتن اشاره نمود. همانطور که می دانیم حل شدن هیدروکسید کلسیم و مواد قابل حل و مهاجرت آنها به سطح بتن نقش زیادی در تشکیل فضا های خالی در بتن دارند. علاوه بر آن آبی که بصورت آزاد در بتن وجود دارد نیز باعث شده که فضا های خالی در بین ذرات بتن بوجود آید. ذرات ریز پوزولان می توانند با هیدروکسید کلسیم واکنش دهند و تشکیل ژل سیلیکات کلسیم هیدراته دهند و از فرار ترکیبات قابل حل به سطح جلوگیری کنند و علاوه بر افزایش دانسیته سیمان، کاهش در فضاهای خالی بتن را منجر شده در نهایت به افزایش مقاومت بتن کمک نماید.

نتیجه گیری:

نتایج آزمایشات انجام شده در این تحقیق نشان می دهد که با افزایش درصد پودر شیشه در بتن خود تراکم، مقاومت فشاری و کششی بتن در سنین اولیه عمل آوری (۷ روزه) کاهش شدیدی پیدا می نماید اما با افزایش سن عمل آوری به ۲۸ روز، این کاهش رو به



افزایش نموده و در سن عمل آوری ۹۰ روز، حتی برای ۱۰ درصد پودر شیشه از مقاومت بتن شاهد خود تراکم (بدون پودر شیشه) نیز بیشتر می گردد. علت این پدیده را می توان در رفتار پوزلانی ترکیبات سیلیسی پودر شیشه در مخلوط بتنی تهیه شده دانست. ذرات ریز پوزولان پودر شیشه می توانند با هیدروکسید کلسیم واکنش نموده و تشکیل ژل H-S-C (سیلیکات کلسیم هیدراته شده) دهند و از فرار ترکیبات قابل حل به سطح جلوگیری کنند. بدین ترتیب علاوه بر افزایش دانسیته سیمان، کاهش در فضاهای خالی بتن را منجر شده و در نهایت به افزایش مقاومت بتن کمک نمایند.

مراجع

1. S. B. Park, B. C. Lee, (2004), J. H. Kim, "Studies on Mechanical Properties of Concrete, Waste Glass Aggregate", *Cement and Concrete Research*, 34, pp 2181-2189
2. A. Shayan, A. Xu, (2004), "Value-added Utilisation of waste glass in Concrete", *Cement and Concrete Research*, 34, pp 81-89
3. H. Okamura, M. Ouchi, (1999) , "Self-Compacting Concrete Development, Present use and future", *International RILEM symposium on SCC*, Stockholm, Sweden, Sep, pp 3-15
4. I. B. Topcu, M. Canbaz, (2004) , "Properties of concrete containing waste glass", *Cement and Concrete Research*, 34, pp 267-274
5. G. Hanns, E. Piiarinen., (1999) , "Properties of SCC, Especially Early age and long Term shrinkage and Salt Frost Resistance". *International RILEM symposium on SCC*, Stockholm, Sweden, pp 211-226
6. N. Su, K.C. Hsu, H .W. Chai, (2001), "A simple mix design method for self-compacting concrete", *Cement and Concrete Research* , 31, pp 1799-1807
7. J. Reindel, (1998), "Report by Recycling Manage", *Dane county*, Department of Public Works, Madison, USA, August
8. C. Meyer, S. Baxter, (1997) , "Use of Recycled Glass for Concrete Masonry Blocks", *New York State Energy and Research Development Authority*, NYSERDA, Report 97-15, November