

مطالعه آزمایشگاهی پیرامون تأثیر استفاده از مخلوط‌های سه جزئی حاوی دوده سیلیس و زئولیت بر دوام بتن خودتراکم جواد برنجیان^۱، محمدرضا مداحیان^۲، امید لطفی عمران^۳

۱- استادیار، رئیس مؤسسه آموزش عالی طبری بابل

۲- مدرس مؤسسه آموزش عالی طبری بابل، مهندسی مدیریت و ساخت، دانشکده مهندسی عمران

۳- دانشجوی دکتری سازه

۱- M.maddahian@yahoo.com

کد D

کد انجمن F-۱۳۴

چکیده

حجم مواد پودری مورد استفاده در بتن خودتراکم نسبت به سایر انواع بتن بیشتر است و این موضوع اهمیت جنس مواد پودری مورد استفاده در این بتن را پررنگ‌تر می‌کند. مواد پودری مورد استفاده در این بتن علاوه بر تأثیر بر خواص پایداری بتن خودتراکم، تأثیر قابل توجهی نیز بر خواص سخت شده بتن خواهد گذاشت. در این تحقیق سعی شده ضمن بررسی تأثیر استفاده از دوده سیلیس و زئولیت در مخلوط‌های دو جزئی تأثیر مواد یاد شده به صورت سه جزئی نیز بررسی شود و ضمن مقایسه نتایج، عملکرد مخلوط‌های سه جزئی نسبت به مخلوط‌های دو جزئی و مخلوط شاهد (فاقد پوزولان) مورد ارزیابی قرار گیرد. بدین منظور در مجموع ۱۰ مخلوط با مقادیر مختلف جایگزینی از هر یک از پودرهای یاد شده استفاده شد و آزمایش‌های نفوذ تسریع شده یون کلر (RCPT)، جذب آب و مقاومت الکتریکی بر روی نمونه‌ها انجام شد. نتایج حاکی از بهبود نتایج در آزمایش‌های دوام مخلوط‌های سه جزئی نسبت به مخلوط دو جزئی می‌باشد.

کلمات کلیدی

بتن خودتراکم، مخلوط سه جزئی، پوزولان، دوام

۱. مقدمه

بتن خودتراکم، یکی از انواع بتن توانمند است که نخستین بار در سال ۱۹۸۶ میلادی توسط *okamura* در کشور ژاپن پیشنهاد شد و در سال ۱۹۸۸ این نوع بتن در کارگاه ساخته شد. مطالعات اولیه در این خصوص توسط *okamura* و *ozawa* در دانشگاه توکیو انجام گرفت. [۱-۳] و به سرعت در کشورهای دیگر گسترش یافت. مهم‌ترین ویژگی بتن خودتراکم که آن را از بتن‌های معمولی متمایز می‌کند، روانی زیاد آن است که موجب می‌شود بتن خودتراکم به راحتی تحت اثر وزن خود جاری شده و بدون نیاز به هیچگونه انرژی اضافی متراکم شود. استفاده از بتن خودتراکم مزایای زیادی را مانند افزایش سرعت اجرای سازه‌های بتنی، کاهش نیروی انسانی موردنیاز، کاهش آلودگی صوتی و ... به همراه دارد. همچنین در برخی موارد، استفاده از تکنولوژی بتن خودتراکم تنها راهکار اجرای سازه‌های بتنی است. به عنوان مثال، در اجرای مقاطع بتنی پیرامون‌ر که بر اساس آیین‌نامه‌های جدید لرزه‌ای طراحی شده‌اند، به دلیل اطمینان از پرشدن قالب از بتن و دستیابی به تراکم کافی، استفاده از بتن خودتراکم ضروری است. به علاوه، در مواردی که به دلیل عدم دسترسی امکان تراکم بتن وجود ندارد مانند برخی پایه پل‌های زیر آب و لاینینگ تونل‌ها، استفاده از بتن خودتراکم اجتناب‌ناپذیر است. در مورد بتن‌های تزئینی نیز، استفاده از بتن خودتراکم امکان دستیابی به سطوح پیچیده صاف و زیبا را فراهم می‌آورد.

حجم پودر استفاده شده در بتن خود تراکم در مقایسه با سایر انواع بتن بیشتر است و این موضوع اهمیت جنس پودرهای مورد استفاده در بتن خود تراکم را آشکار می‌سازد. [۴] در دهه های اخیر به علت بالا بودن قیمت انرژی، استفاده از پوزولانها رو به افزایش است. انواع پوزولانهای مصنوعی نظیر خاکستر بادی، سرباره کوره آهن گدازی، دوده سیلیس و خاکستر پوسته برنج و همچنین پوزولانهای طبیعی مانند خاکستر پومیس و توف های آتشفشانی از جمله پوزولانهای پر مصرف در بتن می باشند. استفاده از انواع پوزولان به عنوان ماده جایگزین سیمان در بتن علاوه بر کمک به کاهش مصرف سیمان و ذخیره کردن مقدار قابل توجهی انرژی در فرآیند تولید سیمان و مشارکت در توسعه پایدار از طریق کاهش انتشار گازهای گلخانه ای در فرآیند تولید کلینکر، خواص مکانیکی مانند مقاومت فشاری در سنین بالا و دوام بتن نظیر نفوذپذیری را بهبود می بخشد. [۵و۶]

در سه دهه اخیر استفاده اقتصادی از زئولیت در صنایع مختلف جایگاه ویژه ای را بخود اختصاص داده است. زئولیت یک کانی متبلور با ترکیبی از سیلیکات آلومینیوم هیدراته از عناصر قلیائی و قلیائی خاکی می باشد. در نیم قرن اخیر با بهره گیری از روشها و ابزار پیشرفته در مطالعات کانی شناسی، نظیر X-Ray Diffraction (XRD) و میکروسکوپ الکترونیکی، شناسایی و بررسی تعداد زیادی از کانیهای متبلور بسیار ریز (Cryptocrystalline) زئولیت میسر گردیده است [۷]

تحقیقات متعددی نشان می دهد که زئولیت خواص پوزولانی قابل توجهی دارد فعالیت پوزولانی زئولیتها بستگی به ترکیبات شیمیایی و کانی شناسی آنها دارد. خواص پوزولانی زئولیتها به علت وجود SiO_2 و Al_2O_3 در ترکیب شیمیایی آنها می باشد این ترکیبات با $Ca(OH)_2$ ایجاد شده در طول هیدراتاسیون سیمان واکنش می دهند و آن را تبدیل به $C-S-H$ و آلومینوسیلیکاتهای هیدراته می کنند. در نتیجه ریز ساختار بتن سخت شده بهبود می یابد و بتن نفوذناپذیرتر می شود. [۸،۹]

۲. تعریف پوزولان

پوزولان‌ها مواد سیلیسی یا سیلیسی-آلومینی هستند که به خودی خود خاصیت چسبانندگی کمی داشته و یا ندارند ولی به صورت گرد نرم در مجاورت رطوبت و در دمای معمولی با هیدروکسید کلسیم واکنش شیمیایی نشان داده و ترکیباتی با خواص سیمان بوجود می‌آورند بنابراین، پوزولان یک ماده طبیعی یا مصنوعی است که حاوی سیلیس فعال است. لازم است که ماده پوزولانی به شکل پودر شده باشد، زیرا فقط در این صورت سیلیس می‌تواند در حضور آب با آهک که می‌تواند بر اثر هیدراتاسیون سیمان پرتلند بوجود آمده باشد سیلیکاتهای کلسیم پایدار را که دارای خواص چسبندگی اند، تشکیل دهد. [۱۰]

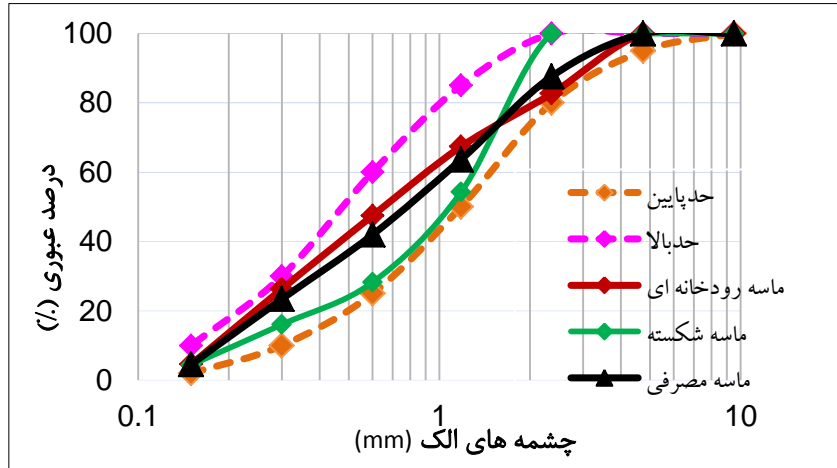
۳. برنامه آزمایشگاهی

۳-۱ مشخصات مصالح مصرفی

سنگدانه

شن و ماسه به کار رفته بر اساس ASTM C33 می باشد شن مورد استفاده در این تحقیق از نوع شکسته دولومیتی با حداکثر قطر سنگدانه ۱۲/۵ میلیمتری می باشد ماسه مصرفی از ترکیب ماسه شسته رودخانه ای و شکسته دولومیتی حاصل شد که این ترکیب بر اساس تجارب آزمایشگاهی مداحیان و همکاران در آزمایشگاه مصالح ساختمانی دانشگاه طبری انتخاب شد.

جهت ساخت نمونه های آزمایشی از ترکیب ماسه شسته رودخانه ای و شکسته دولومیتی استفاده گردید. تجارب آزمایشگاهی حاکی از آن است که ترکیب ۶۰٪ ماسه شسته رودخانه ای با ۴۰٪ ماسه شکسته با منحنی دانه بندی که در شکل (۱) نشان داده شده است تأثیر مطلوبی بر روی خواص تازه و سخت شده بتن خودتراکم خواهد گذاشت. در جدول (۱) مشخصات فیزیکی سنگدانه آورده شده است .



شکل (۱) منحنی دانه بندی ماسه

جدول (۱) مشخصات فیزیکی سنگدانه

| سنگدانه | درصد جذب آب | چگالی | جنس | حداکثر قطر سنگدانه mm |
|---------|-------------|-------|--------------------------------|-----------------------|
| شن | ۱/۸ | ۲/۶۰ | شکسته دولومیت آمل | ۱۲/۵ |
| ماسه | ۲/۳ | ۲/۵۸ | شکسته دولومیتی+شسته رودخانه ای | |

سیمان و زئولیت و دوده سیلیس

سیمان مورد استفاده، سیمان تیپ II نکا می باشد که آنالیز شیمیایی آن به همراه زئولیت و دوده سیلیس در جدول (۲) نشان داده شده است. دوده سیلیس به کار رفته از شرکت تولیدی آلیاژ فرو- سیلیکون ازنا ، با چگالی ویژه ۲ و طوسی رنگ می باشد و همچنین منع زئولیت استفاده شده در این تحقیق (نوع کلینوتیپولیت) از معادن شمال سمنان می باشد.

جدول (۲) ترکیبات شیمیایی سیمان نکا و زئولیت و دوده سیلیس [۱۱]

| ماده | SiO ₂ % | Al ₂ O ₃ % | Fe ₂ O ₃ % | CaO % | MgO % | SO ₃ % | Na ₂ O % | %K ₂ O | L.O.I % |
|------------|--------------------|----------------------------------|----------------------------------|-------|-------|-------------------|---------------------|-------------------|---------|
| سیمان | ۲۱,۲۵ | ۴,۹۵ | ۳/۱۹ | ۶۴,۰۷ | ۱/۲ | ۲,۰۴ | ۰,۳۸ | ۰,۶۳ | ۱,۰۵ |
| زئولیت | ۶۷,۷۹ | ۱۳,۶۶ | ۱,۴۴ | ۱,۶۸ | ۱,۲ | ۰,۵ | ۲,۰۴ | ۱,۴۲ | ۱۰,۲۳ |
| دوده سیلیس | ۹۳/۱۶ | ۱/۱۳ | ۰/۷۲ | - | ۱/۶ | ۰/۰۵ | - | - | ۱/۵۸ |

آب و مواد افزودنی

در ساخت مخلوط‌های بتنی از آب آشامیدنی بابل استفاده شده است همچنین جهت ثابت نگه داشتن اسلامپ مخلوط‌ها از فوق‌روان‌کننده پایه پلی‌کربکسیلاتی استفاده شده است.

۲-۳ طرح اختلاط

در این تحقیق به منظور بررسی تأثیر استفاده از زئولیت و دوده سیلیس بر خواص پایداری مخلوط‌های دو جزئی و سه جزئی بتن خودتراکم ۱۰ طرح مخلوط با مقادیر و ترکیب‌های مختلف پوزولان‌های یاد شده پیش‌بینی شد. مقادیر استفاده شده از زئولیت و دوده سیلیس هرکدام به صورت وزنی جایگزین بخشی از سیمان شده‌اند. در تمامی مخلوط‌ها نسبت آب به مواد پودری ثابت (۰/۳۴) می‌باشد. با توجه به اینکه جایگزین کردن مقادیر مختلف از پودرهای یاد شده تغییرات قابل توجهی بر خواص تازه بتن خودتراکم می‌گذارد [۱۲] و این تغییرات باعث تأثیرپذیری بر خواص سخت شده خواهد داشت بنابراین در ساخت مخلوط‌های بتن ، اسلامپ مخلوط بوسیله مقدار فوق روان‌کننده مصرفی در محدوده ۶۰ تا ۷۰ سانتی متر ثابت نگه داشته شده است.

جدول (۳) طرح اختلاط

| کد طرح | نسبت آب به پودر | سیمان kg/m ³ | زئولیت kg/m ³ | دوده سیلیس kg/m ³ | آب kg/m ³ | درشت دانه kg/m ³ | ریزدانه رودخانه‌ای kg/m ³ | ریزدانه شکسته kg/m ³ | فوق روان‌کننده % |
|-------------|-----------------|----------------------------|-----------------------------|---------------------------------|-------------------------|--------------------------------|---|------------------------------------|------------------|
| C | 0.34 | 500 | 0 | 0 | 170 | 833 | 550 | 367 | 1 |
| 5ZE | 0.34 | 475 | 25 | 0 | 170 | 824 | 544 | 363 | 1.1 |
| 10ZE | 0.34 | 450 | 50 | 0 | 170 | 820 | 542 | 361 | 1.3 |
| 15ZE | 0.34 | 425 | 75 | 0 | 170 | 817 | 539 | 360 | 1.6 |
| 5SF | 0.34 | 475 | 0 | 25 | 170 | 822 | 543 | 362 | 1.1 |
| 10SF | 0.34 | 450 | 0 | 50 | 170 | 816 | 539 | 359 | 1.2 |
| 15SF | 0.34 | 425 | 0 | 75 | 170 | 810 | 535 | 357 | 1.5 |
| 5ZE5S F | 0.34 | 450 | 25 | 25 | 170 | 818 | 541 | 360 | 1.2 |
| 10ZE5S F | 0.34 | 425 | 50 | 25 | 170 | 816 | 537 | 358 | 1.5 |
| 5ZE10S F | 0.34 | 425 | 25 | 50 | 170 | 814 | 537 | 357 | 1.4 |

۳-۳ آزمایش‌های انجام شده

۳-۳-۱ آزمایش بتن خودتراکم در حالت تازه

به منظور اطمینان از ساخت بتن خودتراکم و کنترل رواداری‌های معمول، آزمایش‌های جریان اسلامپ، T₅₀، قیف V شکل و جعبه L شکل انجام شده است و نتایج به صورت نمودار در ادامه این تحقیق آورده شده است.

۳-۳-۲ آزمایش بتن خودتراکم در حالت سخت شده

در این قسمت آزمایش‌های انجام شده بر بتن خودتراکم در حالت سخت شده آورده شده‌اند.

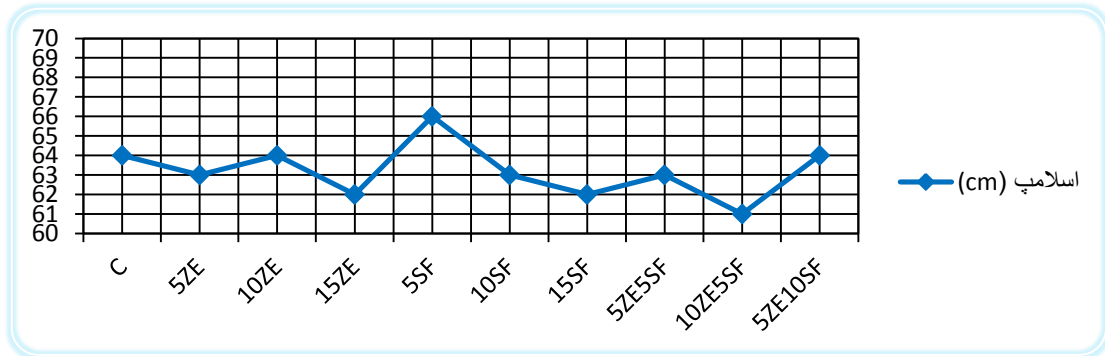
پس از اختلاط بتن و کنترل رواداری‌های بتن خودتراکم در حالت تازه و قالب‌بندی نمونه‌ها و نگهداری در آب با دمای $20 \pm 5^\circ C$ نمونه‌ها در سن ۲۸ روز مورد آزمایش‌های نفوذ تسریع شده یون کلر (RCPT)، جذب آب ۷۲ ساعته و مقاومت الکتریکی قرار گرفتند.

۴. بررسی و تحلیل نتایج

۴-۱ نتایج آزمایش بتن خودتراکم در حالت تازه

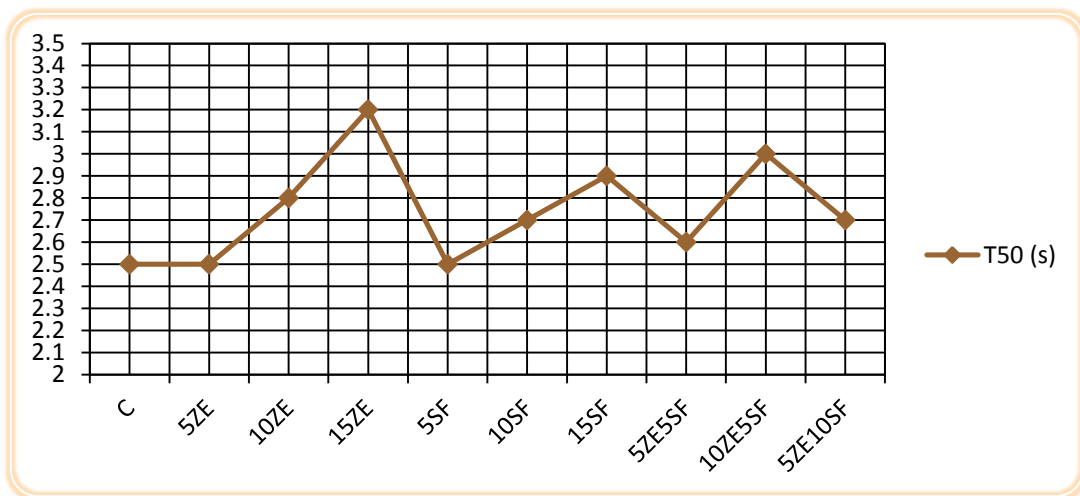
در شکل‌های (۲) تا (۵) نتایج آزمایش‌های جریان اسلامپ، T_{50} ، قیف V شکل و جعبه L شکل آورده شده است. همان طور که گفته شد سعی شده است به منظور مقایسه بهتر نتایج سخت شده بتن خودتراکم، قطر جریان اسلامپ توسط میزان فوق‌روان کننده مصرفی در محدوده ۶۰ تا ۷۰ سانتی متر ثابت نگه داشته شود این نتایج در شکل آورده شده است.

شکل (۲) نتایج آزمایش جریان اسلامپ

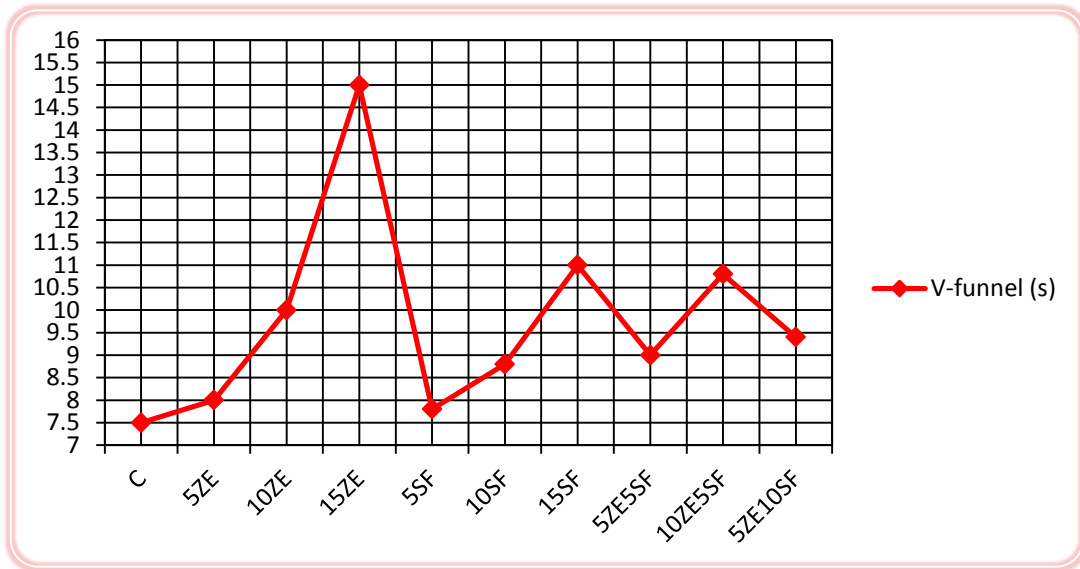


حین انجام آزمایش جریان اسلامپ نتایج T_{50} نیز ثبت شده است، این نتایج در شکل (۳) آورده شده است، بر اساس این نتایج جایگزین کردن مقادیر مختلف زئولیت و دوده سیلیس باعث افزایش لزجت نسبت به مخلوط شاهد شده است مشاب این نتایج در نتایج آزمایش قیف V نیز به چشم می‌رسد. (شکل ۴)

شکل (۳) نتایج آزمایش T_{50}

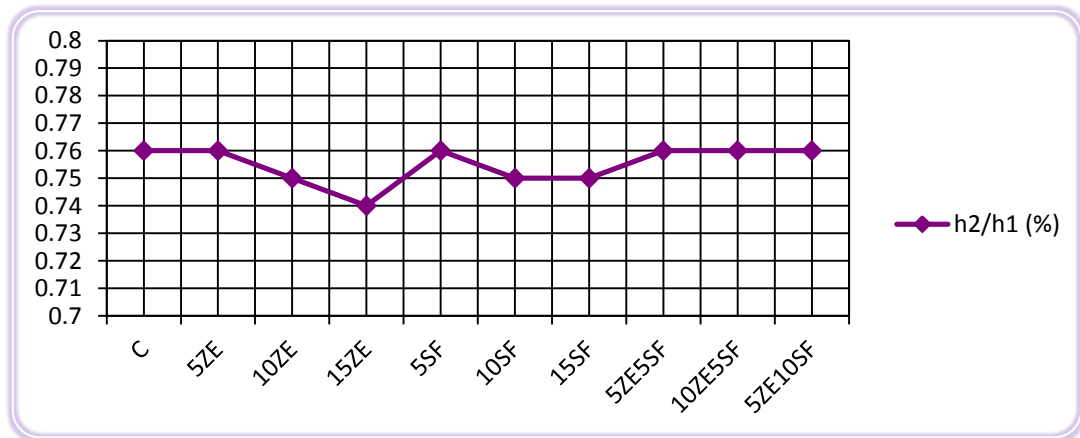


شکل (۴) نتایج آزمایش قیف V



نتایج آزمایش جعبه L در شکل (۵) آورده شده است در این آزمایش توانایی عبورپذیری مخلوط‌های بتن خودتراکم بررسی شده است بر اساس این نتایج جایگزین کردن مقادیر مختلف زئولیت و دوده سیلیس تا حدودی خواص عبورپذیری مخلوط‌های بتن خودتراکم را نسبت به مخلوط شاهد کاهش داده است.

شکل (۵) نتایج آزمایش جعبه L



بر اساس نتایج ثبت شده در این قسمت جایگزین کردن مقادیر مختلف زئولیت و دوده سیلیس خواص روانی و جریان پذیری بتن خودتراکم را کاهش داده است این نتیجه به دلیل خواص جذب آب بسیار بالای زئولیت و دوده سیلیس می‌باشد. ذرات زئولیت به دلیل ساختار درون شبکه‌ای سه بعدی خاصی علاوه بر سطح مخصوص خارجی سطح مخصوص خارجی نیز داشته که این موضوع باعث خواص جذب آب بسیار بالای آن شده است و همچنین دوده سیلیس به دلیل نرمی بسیار بالا و سطح مخصوص بسیار بالای ذرات، از خواص جذب آب بسیار بالا برخوردار است.

۴-۱ نتایج آزمایش بتن خودتراکم در حالت سخت شده

در شکل (۷) نتایج آزمایش نفوذ تسریع شده یون کلراید آورده شده است. مقایسه نتیجه این آزمایش در مخلوط شاهد با مخلوط‌های حاوی پوزولان نشان می‌دهد استفاده از پوزولان تأثیر بسیار مناسبی بر کاهش نفوذپذیری یون کلراید در پی داشته است. همچنین مقایسه نتایج مربوط به مخلوط‌های دو جزئی نشان می‌دهد مخلوط‌های دو جزئی حاوی دوده سیلیس عملکرد بهتری نسبت به مخلوط‌های دو جزئی حاوی زئولیت از خود نشان داده است.

مقایسه نتایج ثبت شده در این آزمایش برای مخلوط‌های سه جزئی و دو جزئی نشان می‌دهد که استفاده از دوده سیلیس در کنار زئولیت، در مخلوط‌های سه جزئی باعث بهبود در نتایج نسبت به مخلوط‌های دو جزئی حاوی زئولیت شده است. مقایسه نتایج مخلوط‌های 5ZE5SF و 10ZE و گویای مطلب یاد شده می‌باشد. ولی نتایج نفوذ یون کلراید برای مخلوط‌های 5ZE5SF و 10SF نشان می‌دهد عملکرد مخلوط 10SF نسبت به مخلوط دیگر بهتر بوده است. همچنین مخلوط‌های 10ZE5SF و 5ZE10SF عملکرد بهتری نسبت به مخلوط 15ZE در این آزمایش نشان داده است. ولی نتایج آزمایش نفوذ تسریع شده یون کلراید برای مخلوط‌های 5ZE5SF و 10ZE5SF و 5ZE10SF نشان می‌دهد عملکرد مخلوط‌های یاد شده نسبت به مخلوط‌های دو جزئی حاوی دوده سیلیس با مقادیر مشترک مواد جایگزین شده ضعیف‌تر می‌باشد.

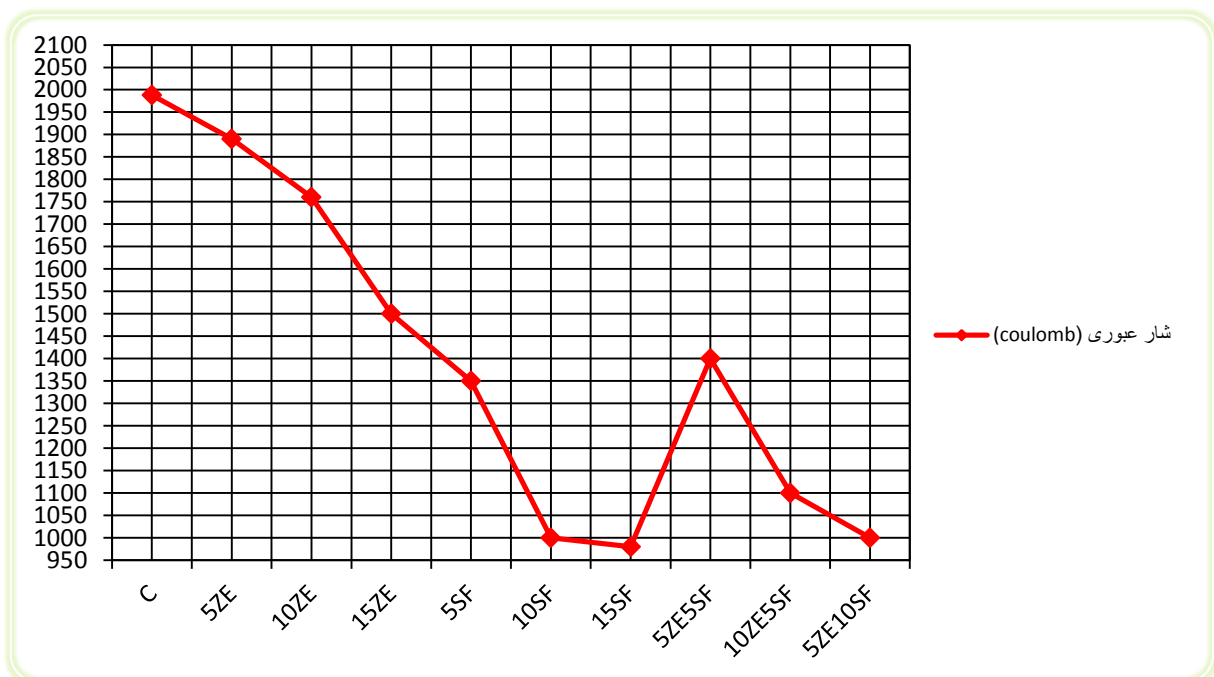


شکل (۶) آزمایش تسریع شده نفوذ یون کلراید

جدول (۴) طبقه بندی میزان نفوذ یون کلراید (ASTM C1202)

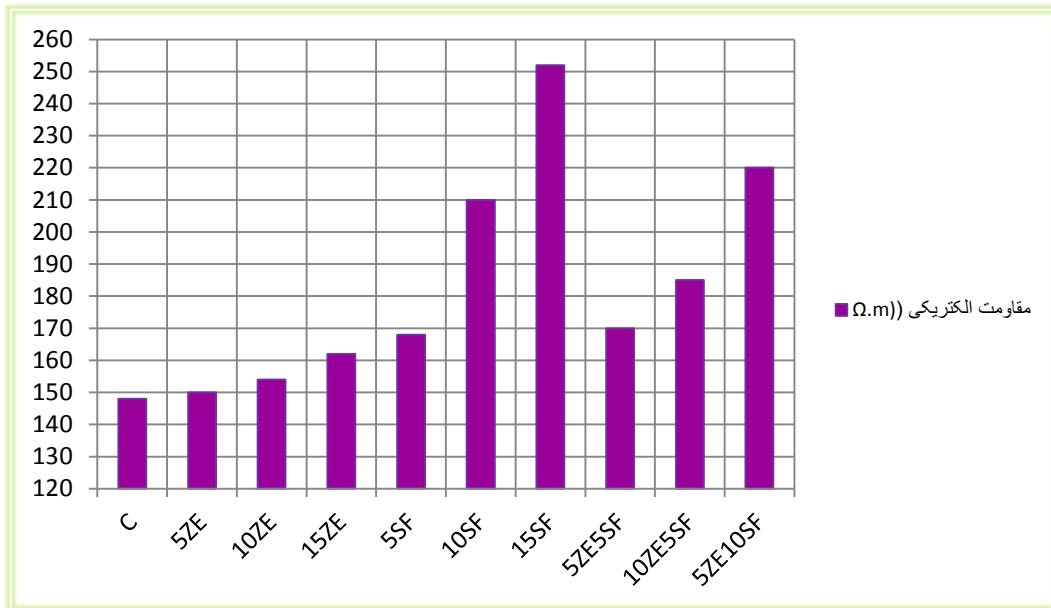
| شار عبور (کلمب) | > ۴۰۰۰ | ۲۰۰۰-۴۰۰۰ | ۱۰۰۰-۲۰۰۰ | ۱۰۰-۱۰۰۰ | < ۱۰۰ |
|---------------------|--------|-----------|-----------|----------|---------------|
| قابلیت نفوذ یون کلر | زیاد | متوسط | کم | خیلی کم | غیر قابل نفوذ |

شکل (۷) نتایج آزمایش نفوذ تسریع شده یون کلراید



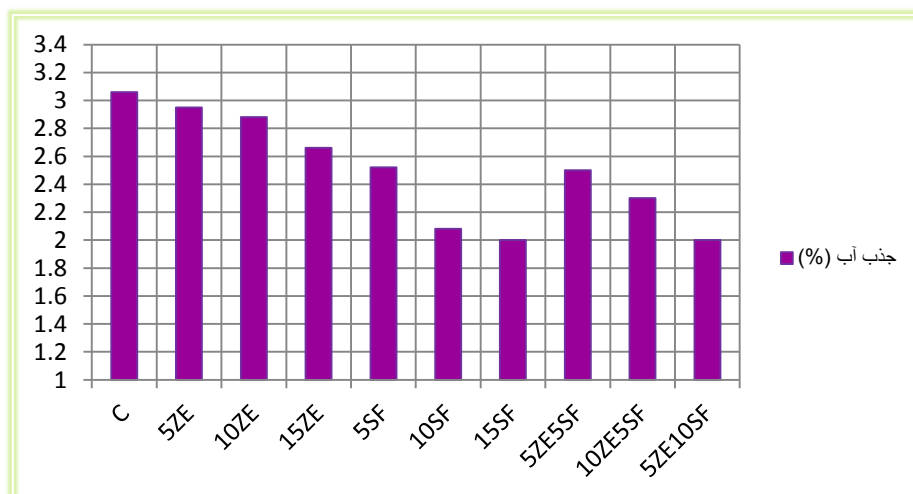
در شکل (۸) نتایج آزمایش مقاومت الکتریکی آورده شده است. بر اساس این نتایج جایگزین کردن بخشی از سیمان با مواد پوزولانی مورد استفاده در این تحقیق باعث افزایش مقاومت الکتریکی بتن نسبت به طرح شاهد شده است. مقایسه نتایج آزمایش مقاومت الکتریکی برای مخلوط‌های دو جزئی نشان می‌دهد مخلوط‌های حاوی دوده سیلیس نسبت به مخلوط‌های حاوی زئولیت عملکرد بهتری داشته‌اند. استفاده از دوده سیلیس در کنار زئولیت در مخلوط‌های سه جزئی باعث بهبود نتایج مخلوط‌های دو جزئی حاوی زئولیت شده است. مقایسه نتایج آزمایش بر مخلوط‌های 5ZE5SF و 10ZE و همچنین 10ZE5SF و 15ZE به خوبی گویای این موضوع است.

شکل (۸) نتایج آزمایش مقاومت الکتریکی



در مخلوط‌های حاوی پوزولان مخلوط‌های دو جزئی حاوی زئولیت کمترین مقاومت الکتریکی را به خود اختصاص دادند و بیشترین مقاومت الکتریکی مربوط به مخلوط‌های دو جزئی حاوی دوده سیلیس می‌باشد. نتایج آزمایش جذب آب ۷۲ ساعته بر روی نمونه‌های بتنی شکل (۹) آورده شده است. نتایج این آزمایش هماهنگی مناسبی با نتایج آزمایش‌های نفوذ تسریع شده یون کلراید و مقاومت الکتریکی دارند. بر اساس این نتایج مخلوط‌های حاوی دوده سیلیس کمترین میزان جذب آب را در پی داشته است. در این آزمایش نیز نتایج آزمایش جذب آب بر روی نمونه‌های بتنی حاوی زئولیت، بیشترین مقدار جذب آب را شامل شده است.

شکل (۹) نتایج آزمایش جذب آب



مقایسه نتایج آزمایش‌های انجام شده در این تحقیق نشان می‌دهد ارتباط نزدیکی بین نتایج آزمایش‌های مقاومت الکتریکی و نفوذ تسریع شده یون کلراید وجود دارد. از آنجایی که این آزمایش ارتباط نزدیکی با نفوذپذیری بتن داشته مورد استفاده قرار گرفت. به دلیل منافذ موجود در ساختار بتن یون‌های مختلف می‌توانند از محیط به داخل بتن نفوذ کرده و منافذ موجود در بتن عاملی جهت حرکت این یون‌ها به داخل بتن می‌شوند. در نتیجه به دلیل حرکت یون‌ها در داخل بتن، بتن دارای هدایت الکتریکی می‌باشد و این هدایت الکتریکی ارتباط مستقیم با نفوذپذیری دارد. هرچه نفوذپذیری بیشتر باشد بالتبع هدایت الکتریکی نیز بیشتر خواهد بود. در مورد آزمایش نفوذ تسریع شده یون کلراید نیز به همین صورت می‌باشد و اساس این آزمایش بر مبنای حرکت یون‌ها در منافذ داخل بتن می‌باشد. بنابراین ارتباط نزدیک نتایج این دو آزمایش بدین نحو تفسیر می‌شوند. ولی مطلبی که در انجام آزمایش‌های دوام و خصوصاً آزمایش‌هایی از قبیل آزمایش‌های که در این تحقیق انجام شده است باید مد نظر قرار داد این است که هیچ یک از آزمایش‌های انجام شده (خصوصاً آزمایش مقاومت الکتریکی) به تنهایی نمی‌تواند معرف خوبی از خواص واقعی بتن باشد و بایستی نتایج آزمایش در کنار سایر بررسی‌ها مورد تحلیل قرار گیرند. مورد یاد شده در مواقعی که بررسی‌ها در محیط‌هایی که در معرض حملات سولفات با کلرایدی هستند مهم‌تر می‌باشد.

۵. نتیجه گیری

- استفاده از مقادیر مختلف ژئولیت و دوده سیلیس باعث کاهش روانی و افزایش لزجت بتن خودتراکم در مقایسه با طرح شاهد شد.
- جایگزین کردن مقادیر مختلف ژئولیت و دوده سیلیس خواص عبورپذیری بتن خودتراکم را در آزمایش جعبه L کاهش داد.
- استفاده از دوده سیلیس در کنار ژئولیت سبب کاهش نفوذپذیری یون کلراید در مخلوط‌های بتن خودتراکم حاوی ژئولیت شد.
- استفاده از ترکیب‌های دوتایی ژئولیت و دوده سیلیس در کنار یکدیگر در مقایسه با مخلوط‌های حاوی ژئولیت تنها، بهبود خواص دوام را در آزمایش‌های نفوذپذیری یون کلراید، مقاومت الکتریکی و جذب آب نشان داد.
- به طور کلی استفاده از ژئولیت و دوده سیلیس باعث بهبود خواص دوام شد ولی توصیه می‌شود به منظور ارتقای خواص دوام بتن، در کنار استفاده از ژئولیت، دوده سیلیس نیز به مخلوط بتن اضافه شود.
- توصیه می‌شود هنگام استفاده از نتایج آزمایش مقاومت الکتریکی از نتایج دیگر آزمایش‌های مرتبط نیز استفاده شود.

۶. مراجع

- [1] Ozawa K, Maekawa K, Okamura H. "Self-Compacting high performance concrete", Collected Papers (University of Tokyo: Department of Civil Engineering), 34, pp135-149, 1996.
- [2] Okamura H. Self Compacting High-Performance Concrete, Concrete International, PP 50-54,1997.
- [3] Okamura H, Ozawa K. Self-Compactable high performance concrete in japan, International Workshop on High Performance Concrete, SP 169, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, pp 31-44,1994.

[۴] برنجیان، جواد. مداحیان، محمدرضا. حسن‌نژاد، مرتضی. تاج‌الدین، عظیم " تأثیر جایگزینی متاکائولن بر خواص تازه و مقاومتی بتن خودتراکم " چهارمین کنفرانس ملی بتن ایران- تهران- ۱۵ مهر ۱۳۹۱

[5] P.K.Mehta " siliceous ashes and hydraulic cements prepared therefrom " , us patent , 4105459 , August 1978

[۶] رضانیانپور ، علی اکبر ؛ پیرایش ، منصور ؛ میرولد ، سجاد ؛ آرامون ، احسان ؛ " اثر انواع پوزولانهای طبیعی بر دوام بتن در برابر حمله کلرایدی " اولین کنفرانس ملی بتن ایران ، تهران ،

[7] ASTM C 618-00, "Standard specification for coal fly ash and raw or calcined natural pozzolan for use as a mineral admixture in concrete", 2000.

[8] C. S. Poon, L. Lam, S. C. Kou and Z. S. Lin, "A study on the hydration rate of natural Zeolite blended cement pastes", Construction and Building Materials, Volume 13, Issue 8 , Pages 427-432, 1999.

[9] N. Q. Feng, Y. Hsia-ming and Z. Li-Hong, "The strength effect of mineral admixture on cement concrete" Cement and Concrete Research, Volume 18, Issue 3, Pages 464- 472 , 1988.

[۱۰] استاندارد ملی ایران به شماره ۳۴۳۳ ، " ویژگیهای سیمان پرتلند پوزولانی."

[۱۱] محمدرضا مداحیان ، " بررسی تأثیر افزودنی‌های پودری بر خواص تازه و سخت شده بتن خودتراکم " پایان نامه کارشناسی ارشد ، دانشگاه غیرانتفاعی طبری بابل ، خرداد ۱۳۹۲.

[۱۲] برنجیان، جواد . شکرچی‌زاده، محمدرضا . مداحیان، محمدرضا . لطفی عمران ، امید " تأثیر جایگزینی پوزولان‌های مختلف بر خواص تازه و سخت شده بتن خودتراکم " چهارمین کنفرانس بین المللی بتن و توسعه- تهران- ۹ الی ۱۱ اردیبهشت ۱۳۹۲.

An experimental study on the effect of ternary mixtures containing silica fume and zeolite on durability of self-compacted concrete

Abstract

The Volume of powder materials used in self-compacted concrete is higher than other types, This issue highlights the importance of material powder is used in self-compacted concrete. Powder used in addition to the effects on the fresh properties of self-compacted concrete, will have a significant impact on hardened properties of concrete. In this study the effect of silica fume and zeolite in Binary and ternary mixtures of the self-compacted concrete studied. And compare the performance of Binary and ternary mixtures and control mixture (without pozzolan) evaluated. Therefore, 10 mixed with different powders amounts of each of the above alternatives were used. Rapid chloride permeability test (RCPT), water absorption and electrical resistivity of the samples was performed. The results show improve the results of durability tests in ternary mixture than Binary mixtures.

Keyword: self-compacted concrete , ternary , pozzolan , durability