مطالعه مقاومت فشاری بتن‌های فوق توانمند ساخته شده در ایران با افزایش سن

الیار آصفی

گروه عمران، واحد مراغه، دانشگاه آزاد اسلامی، مراغه، ایران

مسعود پوربابا*

گروه عمران، واحد مراغه، دانشگاه آزاد اسلامی، مراغه، ایران
mpourbaba@yahoo.com

چکیده :

بتن با کارایی بسیار بالا که در ایران به عنوان بتن‌های توانمند یا فوق توانمند نیز شناخته می‌شوند دارای طرح اختلاط شامل آب، میکروسیلیس، الیاف فلزی، سیمان، ماسه ریزدانه، فوق روان‌کننده و پودر سنگ‌هایی مانند کوارتز می‌باشد که در این تحقیق با استفاده از مصالح محلی و بومی کشور ایران ساخته شده و افزایش مقاومت فشاری آن مورد به مرور زمان مورد بررسی قرار گرفته است. در ساخت این نوع بتن از آب به سیمان پایین استفاده می‌شود که در نتیجه به مخلوط‌هایی با چگالی بالا و مقاومت فشاری بالا (بیش از ۱۳۰ مگاپاسکال) دست یافته می‌شود. افزودن الیاف فولادی جهت بهبود رفتار کششی و همچنین رفتار پس از ترک بتن می‌باشد. در این راستا الیاف برای پل زدن و بستن ترکها در مراحل مختلف شروع تا رشد ترک و همچنین استفاده از میکروسیلیس با انرژی سطحی و واکنش‌پذیری بالا می‌تواند مورد توجه قرار گرفته است. در این مقاله، ۱۱۲ نمونه مکعبی در ابعاد ۱۰×۱۰×۱۰ سانت بتن توانمند با درصدهای مختلف الیاف فولادی ساخته شده و مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. از نمونه‌های مکعبی در سنین مختلف آزمایش تعیین مقاومت بعمل آمده است. نتایج نشان دادند که با افزایش درصد الیاف مقاومت فشاری نمونه‌ها افزایش می‌یابند ولی افزایش بیش از ۶ درصد آن، کارایی آن را بشدت پایین آورده و ساخت این نوع بتن‌ها را با مشکل اجرایی مواجه می‌کند و همچنین نمونه‌های ساخته شده با این نوع بتن در حدود سن ۱۸ روزه به ۹۰ درصد مقاومت نهایی خود رسیدند.

کلید واژگان: بتن فوق توانمند، کارایی بتن، میکرو سیلیس، الیاف فولادی، سن بتن

۱- مقدمه

امروزه پیشرفت شتابان و فزاینده تکنولوژی ودستیابی به نوآوری های روز در زمینه تکنولوژی بتن، تولید بتن با مقاومت بالا را میسر ساخته است. در اکثر موارد به بتن ماده‌ای مقاوم در برابر نیروهای فشاری نگریسته می‌شود. مقاومت فشاری به هیچ وجه تنها مشخصه اصلی بتن سخت شده نمی‌باشد، ولی عموما مقاومت بتن مهمترین عامل نشان دهنده کیفیت آن است این موضوع بدان علت است که میزان مقاومت، مستقیما به کیفیت خمیر سیمان سخت شده مربوط می‌شود، بعنوان مثال اگرچه مقاومت مستقیماً نشان دهنده میزان دوام بتن و یا ایستادگی آن در برابر تغییر شکل نیست، اما شدیداً به نسبت آب به سیمان بستگی دارد، این نسبت نیز با کنترل میزان تخلخل بتن بر روی دوام و مقاومت در برابر تغییر شکل آن تاثیرمی‌گذارد [۱]. بتن با کارایی بسیار بالا دارای مشخصات مکانیکی و دوام عالی بوده و یکی از پیشرفت‌های اخیر در تکنولوژی بتن محسوب می‌شود [۲]. این نوع بتن دارای مقاومت فشاری، مقاومت کششی، چسبندگی و شکل‌پذیری بسیار بالا و نسبت آب به سیمان و نفوذپذیری بسیار کم و در نتیجه دوام بسیار زیاد می‌باشد [۳]. معیار اصلی در ساخت بتن UHPC [1] بر این اساس استوار است که بتوان با کاهش ترک‌های ریز و مویی به نسبت‌های مخلوط با چگالی بالا دست یافت. جهت رفع مشکل شکل‌پذیری پایین و افزایش مقاومت کششی معمولا از انواع الیاف‌ها در بتن‌های با مقاومت بالا و بتن با کارایی بالا استفاده می‌گردد[۴] و در این تحقیق از الیاف‌های فلزی مستقیم به طول ۱۳ میلیمتر و قطر ۰/۱۶ میلیمتر استفاده شده است.

نسبت‌های مخلوط بتن UHPC اغلب شامل آب، میکروسیلیس، سیمان، ماسه ریزدانه، فوق روان‌کننده و پودر سنگ‌هایی مانند کوارتز می‌باشد. این نوع بتن دارای مقاومت فشاری بالایی می‌باشد ولی بالا بودن مقاومت فشاری دلیل بر عملکرد خوب بتن نبوده و این بتن از لحاظ شکل‌پذیری در مقایسه با سایر مشخصه‌های آن، دارای ضعف بوده و تردشکن می‌باشد. یکی از بهترین روش‌های جلوگیری از تردشکنی در بتن‌های UHPC، به کارگیری الیاف فولادی می‌باشد که منجر به ایجاد نسل دیگری از بتن به نام بتن الیافی با کارایی بسیار بالا یا UHPFRC [2] شده است[۵].

موضوع که این مقاله به آن پرداخته، اینست که مقدار الیاف مصرفی در نسبت‌های مخلوط بتن الیافی با کارایی بسیار بالا چه اثری بر مقاومت فشاری و نحوه رشد مقاومت فشاری در سنین مختلف به ازای مقدار الیاف دارد.

۲. مصالح مصرفی

۲. ۱. سیمان پرتلند

سیمان پرتلند، که از پودر کردن کلینکری که عمدتاً از اکسیدهای سیلیسی، آلومینیومی و آهنی که عامل تشکیل ترکیبات سیلیکاتی و آلومیناتی سیمان پرتلند می‌باشند، بدست می‌آید و دارای انواع مختلفی می‌باشد [۶]. سیمان پرتلند نوع II ، عمدتاً گرمای کمتری نسبت به نوع یک تولید می‌کند، استفاده از این نوع سیمان باعث کاهش بالا رفتن دمای بتن می‌شود و در این تحقیق از این نوع سیمان مربوط به کارخانه سیمان صوفیان تبریز استفاده شده است.

۲. ۲. میکروسیلیس

میکروسیلیس به کار رفته در این تحقیق از شرکت فروآلیاژ ایران تهیه شده و دارای بیشینه بعد ۲۲۹ نانومتر میلی‌متر می‌باشد این ماده که با نام‌های سیلیکا فوم [3] و دوده سیلیس نیز شناخته می‌شود، محصول فرعی کوره‌های قوس الکتریکی صنایع فروآلیاژ و فروسیلیس بوده و ماده‌ای است با فعالیت پوزولانی بسیار شدید که بیش از ۸۵ درصد سیلیس بلوری نشده دارد [۷]. شکل ۱ الک کردن میکروسیلیس به منظور حذف کلوخه‌های جزئی موجود در آن، قبل از استفاده در ساخت بتن را نشان می‌دهد. لازم بذکر است که میکروسیلیس در حین دپو و نگهداری با جذب فوری رطوبت محیط بصورت کلوخه‌ای در میاید و حذف کلوخه‌های آن باعث ترکیب مناسب آن با دیگر مصالح ریز دانه می‌گردد که این مشکل با عبور آن از الک حل می‌گردد.

شکل ۱ – الک کردن میکرو سیلیس جهت از بین بردن کلوخه‌های آن

[1] Ultra High Performance Concrete
[2] Ultra High Performance Fiber Reinforced Concrete
[3] Silica Fume

۲-۳- آب مصرفی

آب مصرفی در بتن می‌بایست دارای ویژگی‌های منحصر به فرد باشد و باید pH آب در بازه ۶ تا ۸ باشد. تقریباً تمام آب‌های طبیعی قابل آشامیدن و بدون طعم خاص، برای ساختن بتن قابل استفاده هستند [۵ و ۸]. در این تحقیق نیز از آب لوله‌کشی شهر تبریز (آب آشامیدنی) استفاده شد.

۲- ۴- فوق روان‌کننده

به دلیل نسبت آب به سیمان کم در بتن با کارایی بسیار بالا، استفاده از فوق روان‌کننده نقش تعیین‌کننده‌ای در رسیدن به کارایی مورد نظر دارد بطوریکه توسعه بتن UHPFRC بدون استفاده از فوق روان کننده امکان‌پذیر نمی‌باشد. در این پژوهش از فوق روان‌کننده AURAMIX 4450 استفاده شده است که از شرکت فسروک کشور فرانسه تهیه شده بود (شکل ۲).

شکل ۲ – فوق روان‌کننده مصرفی برای ساخت بتن توانمند

۲- ۵- سنگدانه

برای انتخاب نوع سنگدانه چند نوع ماسه و از مصالح بومی استان آذربایجان‌شرقی از جمله ماسه سرام و ماسه رودخانه آذرشهر استفاده شد. با توجه به اینکه ساختار مصالحی بتن‌های توانمند ریزدانه می باشد لذا به منظور دست‌یابی به ابعاد و دانه‌بندی مورد نظر، از ماسه رد شده از الک استاندارد ۱۶ و مانده بر روی الک استاندارد نمره ۲۰۰ استفاده شده است.

۲-۶- پودر کوارتز

استفاده از پوزولان‌های طبیعی در سیمان یا بتن باعث ایجاد نتایج مفیدی در خواص آن می‌شود که برخی از آن‌ها عبارتند از کاهش حرارت هیدراسیون، افزایش مقاومت نهایی، کاهش نفوذپذیری، افزایش مقاومت در برابر سولفات وکاهش فعالیت قلیایی سیلیکا[۹]. در تحقیق حاضر در نسبت‌های مخلوط بتن الیافی با کارایی بسیار بالا از پودر کوارتز شرکت معادن اصفهان استفاده شده است.

۲- ۷- الیاف فولادی

الیاف به کار رفته در این تحقیق از نوع الیاف فولادی مستقیم و بدون خم می‌باشد. الیاف فولادی دارای مدول الاستیسیته و کرنش بالایی می‌باشند که با توجه به قابلیت شکل‌پذیری مناسب و مقاومت کششی بالا از مناسب‌ترین و اقتصادی‌ترین نوع الیاف به شمار می آیند. این نوع الیاف به اشکال ظاهری گوناگون و در ابعاد مختلف جهت بهبود رفتار بتن ساخته می‌شوند. الیاف به کار رفته در این تحقیق از نوع مستقیم و در ابعاد میکرو (قطر ۰/۱۶ و طول ۱۳ میلیمتر) بوده و از کشور چین تهیه شده‌اند که در شکل ۳ نشان داده شده است[۵].

شکل ۳ – میکرو الیاف فولادی مصرفی در ساخت UHPFRC

۳- روند انجام آزمایش

مراحل اولیه این تحقیق به منظور ساخت بتن UHPFRC در ایران و با مصالح بومی انجام پذیرفته است. بر این اساس، تمامی مصالح مصرفی در بتن به غیر از الیاف فولادی و فوق روان‌کننده از مصالح بومی ایران تهیه شده است. نسبت‌های مخلوط اولیه بر اساس نسبت های مخلوط پیشنهادی گریبل[1] و اصلاحی جغتایی و پوربابا در ایران در استفاده شده است [۷ و ۸]. در این تحقیق به منظور بررسی رشد مقاومت فشاری نمونه‌ها در سنین ۲ تا ۴۲ روز در بتن با کارایی بسیار بالا ، هفت نوع نسبت‌های مخلوط مختلف با درصدهای وزنی ۰، ۱، ۲، ۳، ۴، ۵ و ۶ درصد از الیاف فولادی استفاده شده است. هریک از این طرح‌ها به ترتیب به نام نسبت‌های مخلوط سری A تا F نام گذاری شده‌اند که در جدول ۱ نشان داده شده‌اند. برای هر نسبت‌های مخلوط ۱۶ نمونه مکعبی با ابعاد ۱۰×۱۰×۱۰ سانتی‌متر مکعب (جمعا ۱۱۲ نمونه مکعبی) ساخته شده است.

جدول ۱- نسبت‌های مخلوط مختلف (بصورت درصدی) در ساخت نمونه‌های بتنی UHPFRC.

Material	Series A	Series B	Series C	Series D	Series E	Series F	Series G
Portland cement	۲۷/۸۸	۲۸/۱۷	۲۸/۴۷	۲۸/۷۷	۲۹/۰۷	۲۹/۳۷	۲۹/۶۷
Fine sand	۳۹/۸۹	۴۰/۳	۴۰/۷۳	۴۱/۱۶	۴۱/۵۹	۴۲/۰۲	۴۲/۴۵
Silica fume	۹/۱۶	۹/۲۶	۹/۳۵	۹/۴۵	۹/۵۵	۹/۶۵	۹/۷۵
Ground quartz	۸/۲۹	۸/۳۸	۸/۴۷	۸/۵۵	۸/۶۴	۸/۷۳	۸/۸۲
Super plasticizer	۱/۵۶	۱/۵۸	۱/۵۹	۱/۶۱	۱/۶۳	۱/۶۴	۱/۶۶
Steel fibers	۶/۰۴	۵/۰۶	۴/۰۶	۳/۰۴	۲/۰۳	۱/۰۲	۰
Water	۷/۱۸	۷/۲۵	۷/۳۳	۷/۴۱	۷/۴۹	۷/۵۶	۷/۶۴

بر اساس توصیه‌های ویل و همکاران در سال ۲۰۱۱ و گزارش‌های گریبل در سال ۲۰۱۳ ابتدا میکروسیلیس و ماسه ریزدانه به مدت تقریبی ۵ دقیقه مخلوط می‌شوند. سپس قبل از افزودن آب، سیمان و پودر کوارتز اضافه شده و حداقل به مدت ۵ دقیقه در حالت کاملا خشک با یکدیگر مخلوط می‌شوند [۲ و ۱۰]. سپس به روش پیشنهادی تیو و همکاران در سال ۲۰۰۸ به منظور بهبود روانی و کارایی، فوق روان‌کننده مرحله به مرحله افزوده می‌شود [۱۱] . پس از اندازه گیری مصالح یاد شده در ظرف‌های تعیین شده مطابق شکل۴، مصالح با بهره‌گیری از توصیه های فوق‌الذکر در داخل دیگ میکسر قرار می‌گیرد. فوق روان‌کننده در ظرفی با آب محلول شده و در هنگام هم‌زدن میکسرمطابق شکل ۵ به مصالح خشک اضافه می شود . با توجه به سعی خطاهای انجام گرفته در ساخت، بهترین حالت زمانی اتفاق می‌افتد که حدود ۷۰ درصد آب و فوق روان‌کننده به مصالح اضافه می‌گردد سپس مخلوط به حالت دانه‌های نخودی نیمه اشباع در می‌آید که در این وضعیت در حدود ۵ دقیقه بدون اضافه کردن آب و فوق روان‌کننده، عمل اختلاط به وسیله میکسر صورت می‌گیرد، مابقی آب و فوق روان‌کننده به مخلوط اضافه شده تا بتن به حالت خمیری و چسبنده تبدیل گردد، میکرو الیاف درحین اختلاط با میکسر با الک کردن و یا پخش آرام دستی به بتن اضافه می‌گردد همان‌گونه که در شکل ۶ نشان داده شده است که برای ریختن میکرو الیاف حدود ۵ دقیقه زمان صرف می‌شود سپس بتن در داخل قالب‌ها ریخته شده وعمل ویبره زدن به منظور قرارگیری بتن به صورت لرزش قالب با توجه به خصوصیت خودتراکمی این نوع از بتن انجام می‌پذیرد. شکل ۷ نحوه قرارگیری بتن در داخل نمونه‌های مکعبی ۱۰ سانتی‌متری را نمایش می‌دهد[۱۲].

نمونه‌های ساخته شده پس از عمل‌آوری مطابق شکل ۸ در دستگاه پرس استاندارد طبق شکل ۹ مورد بارگذاری فشاری قرار می‌گیرند و مقاومت فشاری در سنین مختلف بدست می‌آید.

شکل ۴– میکسر مورد استفاده و مصالح مصرفی برای ساخت بتن[۱۲].

شکل ۵– محلول روان‌کننده وآب برای ساخت بتن[۱۲].

[1] Graybeal

شکل ۶– میکرو الیاف برای ساخت بتن[۱۲]

شکل ۷– قرارگیری بتن درون قالبهای استاندارد [۱۲].

شکل ۸– عمل آوری بتن ساخته شده [۱۲].

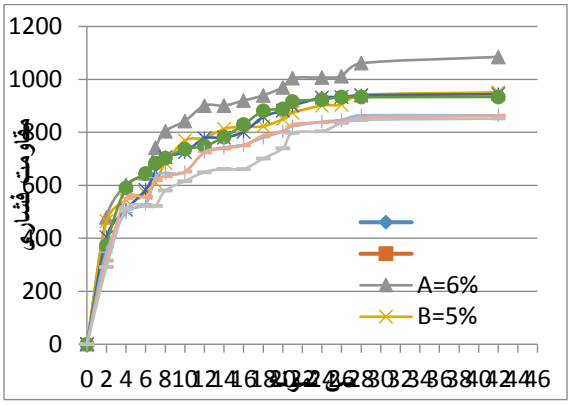
شکل ۹– بارگذاری نمونه‌های ساخته شده [۱۲].

۴- ارزیابی نتایج آزمایشگاهی حاصل

در این تحقیق نتایج حاصل از آزمایش مقاومت فشاری بر روی نمونه های مکعبی ۱۰×۱۰×۱۰ سانتی‌متر مکعب در سن ۲ تا ۴۲ روزه در هفت نسبت‌های مخلوط (با درصدهای متفاوت الیاف فولادی) و ۱۶ نمونه از هر نسبت‌های مخلوط در جدول ۲ و همچنین نمودار مربوطه در شکل ۱۰ نشان داده شده است.

جدول ۲– مقاومت فشاری نمونه‌های مکعبی UHPC در آزمایشگاه
برحسب کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع.

سن نمونه	۶%A=	۵%B=	۴%C=	۳%D=	۲%E=	۱%F=	۰ %G=
۲	۴۷۹	۴۶۵	۴۰۴	۳۷۳	۳۴۷	۳۱۶	۲۹۲
۴	۶۰۲	۵۴۴	۵۰۸	۵۹۰	۴۹۷	۵۵۲	۵۱۲
۶	۶۴۶	۵۷۱	۵۸۳	۶۴۴	۵۳۰	۵۵۶	۵۲۲
۷	۷۴۳	۶۱۱	۶۵۲	۶۸۴	۶۲۹	۶۱۹	۵۲۲
۸	۸۰۴	۶۸۴	۷۰۶	۷۰۲	۶۴۷	۶۳۵	۵۸۰
۱۰	۸۴۳	۷۶۹	۷۲۶	۷۳۷	۶۴۹	۶۵۲	۶۱۶
۱۲	۹۰۱	۷۷۹	۷۷۷	۷۴۸	۷۲۶	۷۲۴	۶۵۰
۱۴	۹۰۱	۸۱۳	۷۸۰	۷۸۲	۷۴۳	۷۳۹	۶۶۲
۱۶	۹۲۰	۸۲۲	۸۰۲	۸۲۹	۷۵۳	۷۵۱	۶۶۲
۱۸	۹۴۰	۸۲۳	۸۵۸	۸۸۱	۷۸۰	۷۸۸	۷۰۱
۲۰	۹۷۰	۸۵۰	۸۸۳	۸۸۹	۸۰۴	۸۰۳	۷۴۰
۲۱	۱۰۰۵	۸۷۴	۹۰۱	۹۱۷	۸۲۳	۸۳۰	۷۹۸
۲۴	۱۰۰۷	۹۰۱	۹۳۱	۹۲۴	۸۴۰	۸۳۸	۸۰۴
۲۶	۱۰۱۲	۹۰۵	۹۳۳	۹۳۴	۸۴۷	۸۴۲	۸۳۵
۲۸	۱۰۶۱	۹۴۱	۹۴۰	۹۳۳	۸۶۴	۸۵۵	۸۴۷
۴۲	۱۰۸۵	۹۵۱	۹۴۴	۹۳۴	۸۶۴	۸۶۳	۸۵۲



شکل۱۰ – نمودار مقاومت فشاری نمونه‌های مکعبی UHPC مربوط به جدول ۲.

برخی از نمونه‌های شکسته شده پس از آزمایش مقاومت فشاری در شکل ۱۱ نشان داده شده است.

شکل ۱۱– نمونه‌های مکعبی UHPC تست شده مربوط به جدول ۲

مقادیر مقاومت فشاری جدول ۲، برای هر سری از بتن UHPC با نسبت آب به سیمان ۰/۱۹ بدست آمده است. نسبت مقاومت ۱۴ روزه به ۷ روزه، ۲۱ روزه به ۱۴ روزه، ۲۸ روزه به ۲۱ روزه و ۲۸ روزه به۴۲ روزه به ترتیب در جدول ۳ برای مشخص شدن روند رشد این نوع بتن محاسبه شده است.

همچنین در آخرین ستون جدول ۳ میانگین درصد افزایش رشد بتن UHPC برای نسبت روزهای فوق‌الذکر آورده شده آست.

جدول ۳– درصد افزایش رشد بتن UHPC در سنین مختلف

نسبت پیشرفت در هر هفته	A= ۶٪	B= ۵٪	C= ۴٪	D= ۳٪	E= ۲٪	F= ۱٪	G= ۰٪	میانگین درصد افزایش
۱- مقاومت(۱۴/۷)	۲۱	۳۳	۲۰	۱۴	۱۸	۱۹	۲۷	۲۲
۲- مقاومت(۲۱/۱۴)	۱۲	۸	۱۶	۱۷	۱۱	۱۲	۲۱	۱۴
۳- مقاومت(۲۸/۲۱)	۶	۸	۴	۲	۵	۳	۶	۵
۴- مقاومت(۴۲/۲۸)	۲	۱	۰	۰	۰	۱	۱	۱

۵- نتیجه‌گیری

طبق آزمایش‌های انجام شده در این تحقیق نتایج زیر حاصل شده‌اند:

۱- با عنایت به جدول ۳ میانگین درصد افزایش مقاومت بتن UHPC از سنین ۷ به۱۴ روزه برابر ۲۲ درصد، ۱۴ به ۲۱ روزه برابر با ۱۴ درصد، از ۲۱ به ۲۸ روزه برابر ۵ درصد و از ۲۸ به ۴۲ روزه برابر با ۱ درصد افزایش پیدا می‌یابد.

۲- با توجه به جدول ۳ و بند قبلی نتیجه می‌شود، از سن ۷ روز مجموع میانگین افزایش درصدها تا سن ۴۲ روز برابر با ۴۲ درصد می‌باشد، که مابقی ۵۸ درصد میانگین مقاومت بتن UHPC تا سن ۷ روز بدست می‌آید.

۳- بتن UHPC با میانگین درصدهای بدست آمده برای هر سری نشان می‌دهد، تا سن ۲۱ روزه‌گی با جمع کردن درصدها به مقاومت ۹۴ درصدی خود می‌رسد، که مابقی درصد افزایش مقاومت تا سن ۲۸ روزه به ۹۹ درصد افزایش پیدا می‌کند و ۱ درصد دیگر در سن ۴۲ روزگی به آن اضافه می شود، که قابل صرف‌نظر می‌باشد، که با این توضیح در سن ۲۱ روزگی می توان به مقاومت فشاری حدود ۹۵ درصد از بتن دست یافت.

۴- با مقایسه مقدار مصرف میکروالیاف صفر و شش درصد همانطور که در شکل۱۰ نشان داده شده است، نمونه دارای الیاف فولادی بیشتر، حداقل ۲۰ درصد مقاومت فشاری بیشتری در سنین ۲ تا ۴۲ روز از خود نشان می‌دهد که از سن شش روز به بعد با توجه به نحوه رشد مقاومت فشاری ملموس می‌باشد.

۶- مراجع

۱- مظلوم، م، مقاومت مدول الاستیسیته سکانتی در بتن‌های با مقاومت زیاد دارای میکرو سیلیس، اولین کنگره ملی مهندسی عمران، تهران، ایران، اردیبهشت، ۱۳۸۳ .

2- Ahmad, S., Hakeem, I., Maslehuddin, M., Development of UHPC Mixtures Utilizing Natural and Industrial Waste Materials as Partial Replacements of Silica Fume and Sand, Hindawi, The Scientific World Journal, Volume 2014, Article ID 713531.

3- Jianxin, M., Schneider, H., Properties of ultra-high-performance concrete, Leipzig Annual Civil Engineering Report, 2002, no. 7, pp. 25–32.

۴- پورربابا، م، جغتائی، ع.ر، پناه‌پور، ح. و همابخت، م، بررسی آزمایشگاهی تاثیر پودر کوارتز در بتن الیافی با کارایی بسیار بالای ساخته شده با مصالح بومی، هشتمین کنفرانس ملی سالیانه بتن، تهران، ایران، مهرماه، ۱۳۹۵.

۵- جغتائی، ع، پوربابا، م، بررسی آزمایشگاهی تاثیر مقدار میکروالیاف فولادی بر مقاومت فشاری بتن الیافی با کارایی بسیار بالا با مصالح بومی (UHPFRC)، دهمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران، ۳۰ و ۳۱ فروردین، ۱۳۹۶ .

6-Bohnsdalen Eide, M., Hisdal, J.M., Ultra High Performance Fibre Reinforced Concrete (UHPFRC) – State of the art, COIN Project report, 2012, 44, pp. 4-20.

۷- وزارت راه و شهرسازی، معاونت مسکن و ساختمان، "مبحث نهم مقررات ملی ساختمان، طرح و اجرای ساختمان‌های بتن‌آرمه"، ویرایش چهارم، چاپ نهم، ۱۳۹۲.

۸- مستوفی‌نژاد، داود، تکنولوژی و طرح اختلاط بتن، اصفهان، انتشارات ارکان، چاپ ششم، ۱۳۸۲.

۹- صدر ممتازی، ع، سعیدی‌فر، ن، بلالایی، ف، بررسی تاثیر پودر کوارتز بر خصوصیات فیزیکی و مکانیکی ملات سیمان، کنفرانس بین‌المللی مهندسی عمران، معماری و زیرساخت‌های شهری، تهران، ایران، ۱۳۹۴.

10-Wille, K., Naaman, A.E., Parra-Montesinos, G.J. Ultra-High Performance Concrete With Compressive Strength Exceeding 150 MPa (22 ksi): A Simpler Way, ACI Materials Journal, Vol. 108, No. 1, January–February 2011, pp. 46–54.

11-Tue, N.V., Ma, J.و Orgass, M., Influence of Addition Method of Superplasticizer on the Properties of Fresh UHPC, Second International Symposium on Ultra High Performance Concrete, Kassel., Germany, pp. 93-100.

۱۲-آصفی، الیار، بررسی آزمایشگاهی تاثیر میکرو الیاف بر روی بتن های با مقاومت بسیار بالا (UHPC) ، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مراغه، ۱۳۹۶.

On the Influence of Age on Compressive Strength of UHPCs Constructed in Iran

Elyar Asefi
Department of Civil Engineering, Islamic Azad University, Maragheh Branch, Maragheh Iran
Masood Pourbaba
Department of Civil Engineering, Islamic Azad University, Maragheh Branch, Maragheh, Iran
mpourbaba@yahoo.com

Abstract:

The mix design of the Ultra-High-Performance Concrete (UHPC) consists of water, microsilica, steel fiber, cement, fine sand, superplasticizer and stone powders such as quartz. The intended UHPC will be constructed using the indigenous materials in Iran which will be subject to investigations regarding the influence of ageing on its compressive strength. Low water-to-cement ratios contribute to high-density concretes exceeding 130MPa in compressive strength. Incorporation of the steel fiber plays its role in enhancing the tensile strength and post-cracking behavior of concrete by bridging and closing the cracks from their initiation until their propagation. Attention should also be given to the application of the highly-reactive microsilica with its high surface energy feature should. In this study, 112 cubic specimens ($10\times 10 \times 10 cm^3$) with different steel fiber contents were investigated. Compressive strength tests were carried out on concrete during different stages of ageing. Results revealed an increasing trend for the compressive strength of concrete with the increase in fiber content (5). However, there is an upper limit for the fiber content, e.g. 6% which significantly degrades the performance of concrete beyond this limit, not to mention the challenges that occur in practice in this case. Finally, for specimens constructed with the aforementioned procedure, 90% of the ultimate strengths are obtained after 18 days.

Keywords: UHPC, Performance of concrete, Microsilica, Steel fiber, Age of concrete