

نهمین کنفرانس ملی بتن ایران
۱۶ و ۱۵ مهر ماه ۱۳۹۶
مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

بررسی آزمایشگاهی افزایش مقاومت فشاری بتن الیافی با کارایی بسیار بالا (UHPC)
ساخته شده در ایران با افزایش سن

مسعود پوربابا^۱، الیار آصفی^۲

۱- عضو هیات علمی دانشکده مهندسی عمران دانشگاه آزاد اسلامی واحد مراغه

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد خاک و پی دانشگاه آزاد اسلامی واحد مراغه

mpourbaba@yahoo.com

آدرس رایانامه نویسنده رابط

خلاصه

بتن با کارایی بسیار بالا (UHPC) که به عنوان بتن توانمند با کارایی بالا نیز شناخته می‌شود دارای نسبت‌های مخلوط 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 مطالعه قرار گرفته است. نکته اصلی در ساخت بتن UHPC بر این اساس استوار است که بتوان با کاهش ترک‌های ریز و مویی به نسبت‌های مخلوط‌هایی با چگالی بالا دست یافت. افزودن الیاف فولادی جهت بهبود رفتار پس از شکست بتن و مصالح پوزولانی برای افزایش مقاومت ناحیه انتقالی کاربرد دارد. 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 گیرد. استفاده همزمان از افزودنی‌های ذکر شده نیز می‌تواند در صورت ترکیب مناسب به مزایای ذکر شده در توانمندسازی بتن بیانجامد. در این مقاله، ۱۱۲ نمونه مکعبی در ابعاد ۱۰×۱۰×۱۰ سانت بتن الیافی با کارایی بسیار بالا با درصدهای مختلف الیاف شامل ۰، ۱، ۲، ۳، ۴، ۵ و ۶ درصد ساخته شده و مورد ارزیابی قرار گرفته است. نمونه‌های مکعبی در سنین مختلف از ۲، ۴، ۶، ۷، ۸، ۱۰، ۱۲، ۱۴، ۱۶، ۱۸، ۲۰، ۲۱، ۲۴، ۲۶، ۲۸ و ۴۲ روزه آزمایش تعیین مقاومت شدند. نتایج نشان دادند که با افزایش درصد الیاف مقاومت فشاری نمونه‌ها افزایش یافتند و همچنین نمونه‌های ساخته شده با این نوع بتن در حدود سن ۱۸ روزه به ۹۰ درصد مقاومت نهایی خود رسیدند.

کلمات کلیدی: بتن با کارایی بسیار بالا، بتن توانمند، الیاف فولادی، سن بتن

۱. مقدمه

امروزه پیشرفت شتابان و فزاینده تکنولوژی و دستیابی به نوآوری‌های 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 عموماً مقاومت بتن مهمترین عامل نشان دهنده کیفیت آن است این موضوع بدان علت است که میزان مقاومت، مستقیماً 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 تأثیر می‌گذارد [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^۱ 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

^۱ Ultra High Performance Concrete

نهمین کنفرانس ملی بتن ایران ۱۶ و ۱۷ مهر ماه ۱۳۹۶ مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

مقاومت کششی معمولاً 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 ۱۶/ میلی‌متر استفاده شده است.

نسبت‌های مخلوط بتن UHPC اغلب شامل آب، میکروسلیس، 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^۱ 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 استفاده شده است.

۲.۲. میکروسلیس

میکروسلیس 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^۲ 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 میکروسلیس به منظور حذف کلوخه‌های جزئی موجود در آن، قبل از استفاده در ساخت بتن را نشان می‌دهد. لازم بذکر است که میکروسلیس در حین دپو و نگهداری با جذب فوری رطوبت محیط بصورت کلوخه‌ای در می‌آید و حذف کلوخه‌های آن باعث ترکیب مناسب آن با دیگر مصالح ریزدانه می‌گردد که این مشکل با عبور آن از الک حل می‌گردد.



شکل ۱ - الک کردن میکروسلیس جهت از بین بردن کلوخه‌های آن

^۱ Ultra High Performance Fiber Reinforced Concrete

^۲ Silica Fume

نهمین کنفرانس ملی بتن ایران
۱۶ و ۱۷ مهر ماه ۱۳۹۶
مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

۳.۲. آب مصرفی

آب مصرفی در بتن می بایست دارای ویژگی های منحصر به فرد باشد و باید pH آب در بازه ۶ تا ۸ باشد. تقریباً تمام آب های طبیعی قابل آشامیدن و بدون طعم خاص، برای ساختن بتن قابل استفاده هستند [۵ و ۸].

۴.۲. فوق روان کننده

به دلیل نسبت آب به سیمان کم در بتن با کارایی بسیار بالا، استفاده از فوق روان کننده نقش تعیین کننده ای در رسیدن به کارایی مورد نظر دارد بطوریکه توسعه بتن UHPFRC بدون استفاده از فوق روان کننده امکان پذیر نمی باشد. در این پژوهش از فوق روان کننده AURAMIX 4450 استفاده شده است که از شرکت فسروک تهیه شده، که در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲ - فوق روان کننده مصرفی برای ساخت بتن توانمند

۵.۲. سنگدانه

برای انتخاب نوع سنگدانه از مصالح بومی استان آذربایجان شرقی (ماسه سرام) استفاده شده است. به منظور دست یابی به ابعاد و دانه بندی مورد نظر از ماسه رد شده از الک استاندارد ۱۶ و مانده بر روی الک استاندارد نمره ۲۰۰ استفاده شده است.

۶.۲. پودر کوارتز

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

۷.۲. الیاف فولادی

الیاف به کار رفته در این تحقیق از نوع الیاف فولادی مستقیم و بدون خم می باشد. الیاف فولادی دارای مدول الاستیسیته و کرنش بالایی می باشند که با توجه به قابلیت شکل پذیری مناسب و مقاومت کششی بالا از مناسب ترین و اقتصادی ترین نوع الیاف به شمار می آیند. این نوع الیاف به اشکال ظاهری گوناگون و در ابعاد مختلف جهت بهبود رفتار بتن ساخته می شوند. الیاف به کار رفته در این تحقیق از نوع مستقیم و در ابعاد میکرو (قطر ۰/۱۶ و طول ۱۳ میلی متر) بوده و از کشور چین تهیه شده اند که در شکل ۳ نشان داده شده است [۵].

نهمین کنفرانس ملی بتن ایران
۱۶ و ۱۵ مهر ماه ۱۳۹۶
مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی



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 روان کننده از مصالح بومی ایران تهیه شده است. نسبت‌های مخلوط اولیه بر اساس نسبت‌های مخلوط پیشنهادی گریبل^۱ و اصلاحی جغتایی و پوربابا در ایران در استفاده شده است [7,8]. 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 ۱، ۲، ۳، ۴، ۵ و ۶ درصد از الیاف فولادی استفاده شده است. هر یک از این طرح‌ها به ترتیب به نام نسبت‌های مخلوط سری A تا F نام‌گذاری شده‌اند که در جدول ۱ نشان داده شده‌اند. برای هر نسبت‌های مخلوط ۱۶ نمونه مکعبی با ابعاد ۱۰×۱۰×۱۰ سانتی-متر 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
Superplasticizer	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 میکروسلیس و ماسه ریزدانه به مدت تقریبی ۵ دقیقه مخلوط می-شوند. سپس قبل از افزودن آب، سیمان و پودر کوارتز اضافه شده و حداقل به مدت ۵ دقیقه در حالت کاملاً خشک با یکدیگر مخلوط می‌شوند [10,11]. سپس به روش پیشنهادی تیو و همکاران در سال ۲۰۰۸ به منظور بهبود روانی و کارایی، فوق روان کننده مرحله به مرحله افزوده می‌شود [12] پس از اندازه

^۱ Graybeal

نهمین کنفرانس ملی بتن ایران ۱۶ و ۱۵ مهر ماه ۱۳۹۶ مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

گیری مصالح یاد شده در ظرف‌های تعیین شده مطابق شکل ۴، مصالح با بهره‌گیری از توصیه‌های فوق‌الذکر در داخل دیگ میکسر قرار می‌گیرد. فوق روان‌کننده در ظرفی با آب مخلول شده و در هنگام هم‌زدن میکسر مطابق شکل ۵ به مصالح خشک اضافه می‌شود. 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 در حین 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 و عمل ویریه 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 [۱۳]. 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 ۵- مخلول روان‌کننده و آب برای ساخت بتن [۱۳].



شکل ۴- میکسر مورد استفاده و مصالح مصرفی برای ساخت بتن [۱۳].



شکل ۷- قرارگیری بتن درون قالبهای استاندارد [۱۳].



شکل ۶- میکرو الیاف برای ساخت بتن [۱۳].

نهمین کنفرانس ملی بتن ایران
۱۶ و ۱۵ مهر ماه ۱۳۹۶
مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی



شکل ۹- بارگذاری نمونه‌های ساخته شده [۱۳].



شکل ۸- عمل آوری بتن ساخته شده [۱۳].

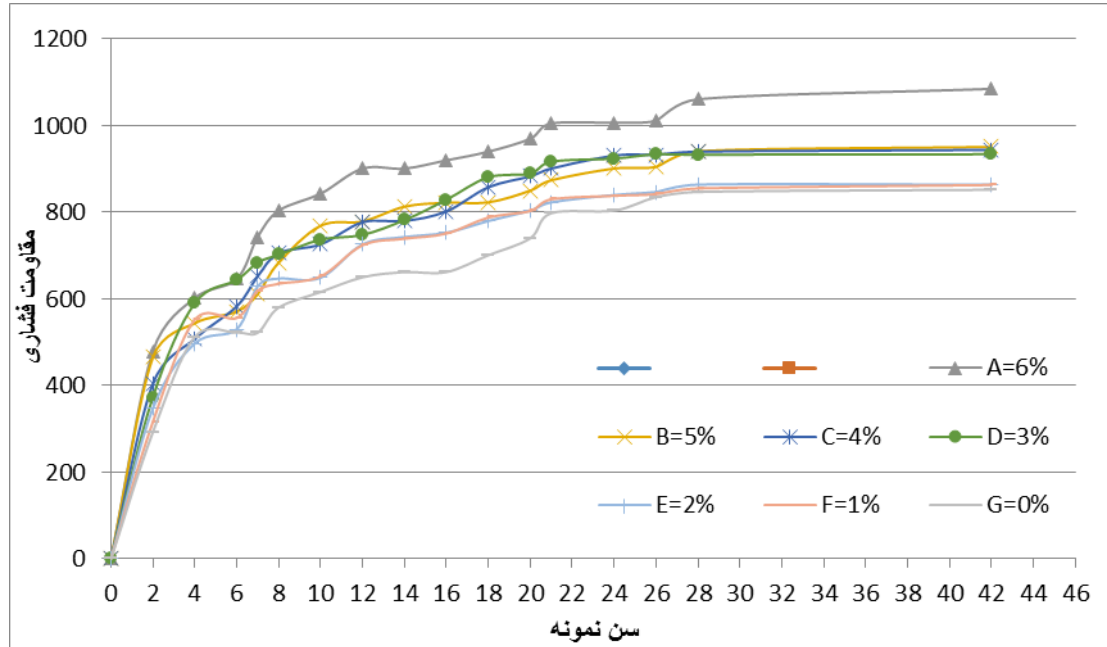
۴. ارزیابی نتایج آزمایشگاهی حاصل

در این تحقیق نتایج حاصل از آزمایش مقاومت فشاری بر روی نمونه‌های مکعبی $10 \times 10 \times 10$ 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	A=۶٪	B=۵٪	C=۴٪	D=۳٪	E=۲٪	F=۱٪	G=۰٪
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

نهمین کنفرانس ملی بتن ایران
۱۶ و ۱۵ مهر ماه ۱۳۹۶
مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی



شکل ۱۰ نمودار مقاومت فشاری نمونه‌های مکعبی UHPC مربوط به جدول ۲.

برخی از نمونه‌های شکسته شده پس از آزمایش مقاومت فشاری در شکل ۱۰ نشان داده شده است.



شکل ۱۰ نمونه‌های مکعبی UHPC تست شده مربوط به جدول ۲.

نهمین کنفرانس ملی بتن ایران ۱۶ و ۱۵ مهر ماه ۱۳۹۶ مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

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 ۴۲ روزه به ۲۸ 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 فوق الذکر آورده شده است.

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. نتیجه گیری

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

- با عنایت به جدول ۳ میانگین درصد افزایش مقاومت بتن UHPC از سنین ۷ به ۱۴ 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.
- 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.
- بتن UHPC با میانگین درصدهای بدست آمده برای هر سری نشان می‌دهد، تا سن ۲۱ روزه گی 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 می‌شود، که قابل صرف نظر می‌باشد، که با این توضیح در سن ۲۱ روزگی می‌توان به مقاومت فشاری حدود ۹۵ درصد از بتن دست یافت.
- با مقایسه مقدار مصرف میکروالیاف صفر و شش درصد همانطور که در شکل ۱۰ 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

- مظلوم، م. (۱۳۸۳)، مقاومت مدول الاستیسیته سکانتی در بتن‌های با مقاومت زیاد دارای میکرو سیلیس، اولین کنگره ملی مهندسی عمران، تهران، اردیبهشت ۸۳.
- Ahmad, S., Hakeem, I., Maslehuddin, M. (2014) 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.
- Jianxin, M., Schneider, H. (2002) Properties of ultra-high-performance concrete, Leipzig Annual Civil Engineering Report, no. 7, pp. 25-32.

نهمین کنفرانس ملی بتن ایران
۱۶ و ۱۵ مهرماه ۱۳۹۶
مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

۴. پوربابا، م.، جغتائی، ع.ر.، پناه پور، ح. و همایخت، م. (۱۳۹۵) بررسی آزمایشگاهی تاثیر پودر کوارتز در بتن الیافی با کارایی بسیار بالای ساخته شده با مصالح بومی، هشتمین کنفرانس ملی سالیانه بتن ایران، تهران، مهرماه.
۵. جغتائی، ع.، پوربابا، م. (۱۳۹۶) بررسی آزمایشگاهی تاثیر مقدار میکروالیاف فولادی بر مقاومت فشاری بتن الیافی با کارایی بسیار بالا با مصالح بومی (UHPC)، دهمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف، ۳۰ و ۳۱ فروردین.
6. Bohnsdalen Eide, M., Hisdal, J.M. (2012) Ultra High Performance Fibre Reinforced Concrete (UHPC) – State of the art, COIN Project report 44, pp. 4-20.
۷. وزارت راه و شهرسازی، معاونت مسکن و ساختمان، (۱۳۹۲)، "مبحث نهم مقررات ملی ساختمان، طرح و اجرای ساختمان‌های بتن‌آرمه"، ویرایش چهارم، چاپ نهم.
۸. مستوفی نژاد، داود، (۱۳۸۲)، تکنولوژی و طرح اختلاط بتن، چاپ ششم، انتشارات ارکان، اصفهان.
۹. صدر ممتازی، ع.، سعیدی‌فر، ن. و بلالایی، ف.، (۱۳۹۴)، "بررسی تاثیر پودر کوارتز بر خصوصیات فیزیکی و مکانیکی ملات سیمان"، کنفرانس بین‌المللی مهندسی عمران، معماری و زیرساخت‌های شهری.
10. Ahmad, S., Hakeem, I., Maslehuddin, M. (2014) 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.
11. Wille, K., Naaman, A.E., and Parra-Montesinos, G.J. (2011) Ultra-High Performance Concrete With Compressive Strength Exceeding 150 MPa (22 ksi): A Simpler Way, ACI Materials Journal, Vol. 108, No. 1, January–February, pp. 46–54.
12. [30] Tue, N.V., Ma, J. and Orgass, M. (2008) 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.
۱۳. آصفی، الیار، ۱۳۹۶، بررسی آزمایشگاهی تاثیر میکروالیاف بر روی بتن‌های با مقاومت بسیار بالا (UHPC)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مراغه.