

تأثیر باکتری بر مقاومت فشاری و جذب آب بتن مسلح به الیاف پلی پروپیلن

کد مقاله: C

نسرین کریمی^۱، داود مستوفی نژاد^۲

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد عمران - سازه، دانشگاه صنعتی اصفهان

۲- عضو هیأت علمی دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان

Email: nasrin.k1991@gmail.com

Email: dmostofi@cc.iut.ac.ir

چکیده

بتن یکی از مهم‌ترین مواد ساختمانی است ولی به کارگیری بتن غیر مسلح، به علت تردی و ضعف در برابر نیروهای کششی عملاً کاربرد چندانی ندارد. این عیب بزرگ بتن را با مسلح کردن آن به میلگردهای فولادی برطرف می‌کنند اما در بعضی مقاطع استفاده از میلگرد غیر ممکن است که برای رفع این مشکل از الیاف استفاده می‌کنند. از جمله عیوب چشم گیر بتن مسلح به الیاف، میزان تخلخل زیاد آن است که اثرات منفی بر مقاومت فشاری بتن دارد. هم چنین در بتن ریز ترک‌هایی ایجاد می‌شود که در طول زمان این ریز ترک‌ها بزرگ‌تر شده و دوام بتن را به خطر می‌اندازند. یکی از روش‌های کارآمد و دوست دار محیط زیست برای بستن منافذ و ترک‌ها در بتن، استفاده از باکتری در آب اختلاط بتن است. بعضی از باکتری‌ها در حضور اوره و منبع کلسیم توانایی تشکیل رسوب کلسیم کربنات را دارند. در این تحقیق از الیاف پلی پروپیلن با درصد حجمی ۰/۳ و نوعی از باکتری از خانواده‌ی باسیلوس‌ها با غلظت 10^7 سلول بر میلی لیتر در آب اختلاط بتن استفاده شده است. برای عمل آوری نمونه‌ها از محیط آب حاوی اوره و کلسیم لاکتات استفاده شده و در دو سن ۲۸ و ۹۰ روز این عمل آوری انجام شده است. استفاده از باکتری کاهش جذب آب را نسبت به نمونه‌های شاهد نشان داده است. هم‌چنین استفاده از باکتری باعث افزایش مقاومت فشاری بتن شده است. استفاده از باکتری در کنار منبع کلسیم باعث کاهش تخلخل بتن الیافی شده است و به دنبال آن افزایش مقاومت فشاری و کاهش جذب آب مشاهده شده است.

کلمات کلیدی: بتن الیافی، باکتری، کلسیم لاکتات، جذب آب، مقاومت فشاری.

۱. مقدمه

بتن به علت سهولت دسترسی به مواد اولیه آن، ساخت آسان و شکل‌گیری آن در هر قالبی، از پر مصرف‌ترین مصالح ساختمانی است [۱]. از ضعف‌های عمده در بتن مقاومت کششی پایین آن است که این مسأله باعث ایجاد ترک در بارگذاری‌های کم می‌شود. برای کاهش این ضعف تا حد ممکن، در چند دهه‌ی اخیر از رشته‌های نازک و کوتاه به نام الیاف استفاده کردند که به طور همگن و به صورت تصادفی در بتن پراکنده می‌شوند [۲]. کاربرد الیاف برای بهبود بخشیدن به ویژگی‌های بتن کاربرد گسترده‌ای در سازه‌های بتنی پیدا کرده است. استفاده از الیاف باعث افزایش مقاومت کششی، مقاومت خمشی، افزایش جذب انرژی، افزایش مقاومت در برابر ترک خوردگی و ... می‌گردد [۳]. در سال‌های اخیر از بتن حاوی الیاف پلی پروپیلن در سازه‌هایی مانند روسازی راه‌ها و فرودگاه‌ها، پی‌های عظیم با تغییر شکل‌های زیاد و در تونل‌ها به وفور استفاده شده است. اما استفاده از الیاف منافذی را در بتن ایجاد می‌کند که بر خصوصیات مکانیکی بتن تأثیر منفی می‌گذارد. منافذ به وجود آمده باعث ضعف دوام و یکپارچگی در بتن می‌شوند. به مرور زمان نیز ترک‌های ریز ایجاد شده در بتن این مشکل را بیش‌تر می‌کند.

ترک‌ها خود قدرت ساختار را به خطر نمی‌اندازند؛ اما به آرامی رشد می‌کنند. برخی مواقع نیز آب و نمک را به فولاد می‌رسانند که این منجر به خوردگی و نهایتاً شکست سازه می‌شود. به همین علت، محققان هلندی برای توسعه‌ی بتن خود ترمیم، به دنبال یک ماده که آسیب‌های خودش را تعمیر کند، بودند. در جستجو برای بهترین افزودنی به استفاده از یک افزودنی که به نظر بعید می‌رسید، دست یافتند که چیزی نیست جز باکتری [۴]. گروهی از باکتری‌ها توانایی تشکیل رسوب کربنات کلسیم را دارند که این رسوبات ایجاد شده توانایی خود ترمیمی از عمق ترک تا سطح بتن را دارند [۵].

۲. مروری بر تحقیقات انجام شده

۲-۱. تحقیقات انجام شده بر روی بتن مسلح به الیاف پلی پروپیلن

کورتز و بالاگورو (۲۰۰۰) در تحقیق خود با بررسی اثر الیاف پلی پروپیلن مشاهده کردند که شکست و ترک خوردگی به ۰/۱ درصد ترک خوردگی در بتن بدون الیاف کاهش پیدا کرده است [۶].

هوا و ژئو (۲۰۰۹) به رفتار بتن حاوی الیاف به عنوان پوشش تونل‌ها اشاره کردند. استفاده از الیاف پلی پروپیلن باعث افزایش ۲۳ درصدی مقاومت کششی و هم‌چنین کاهش ۱۰ درصدی جذب آب در بتن شد [۷].

موراهاری و رائو در تحقیقی در سال ۲۰۱۳ از الیاف پلی پروپیلن با درصد‌های حجمی ۰/۱، ۰/۱۵، ۰/۲، ۰/۲۵ و ۰/۳ و درصد‌های مختلف خاکستر بادی در بتن استفاده کردند که با افزایش میزان الیاف از ۰/۱۵ تا ۰/۳ درصد افزایش مقاومت فشاری را مشاهده کردند [۸].

افروغ ثابت و ازبک اغلو در سال ۲۰۱۵ با الیاف پلی پروپیلن بتن را مسلح کردند که از درصد‌های حجمی ۰/۱۵، ۰/۳ و ۰/۴۵ استفاده کردند که با افزایش میزان الیاف کاهش جذب آب را مشاهده کردند. هم‌چنین با افزایش میزان الیاف از ۰/۱۵ تا ۰/۳ افزایش در مقاومت فشاری دیده شد و از میزان الیاف ۰/۳ تا ۰/۴۵ درصد افزایش بسیار کمی را گزارش دادند [۹].

۲-۲. تحقیقات انجام شده بر روی بتن باکتریایی

فیچر و همکاران (۱۹۹۹) [۱۰]، اعلام کردند کربنات کلسیم حاصل از باکتری می‌تواند خلل و فرج محیط‌های متخلخل را پر کند. در سال ۲۰۰۱ رامچاندرا ن از باکتری برای بهبود مقاومت فشاری ملات تهیه شده با سیمان پرتلند معمولی استفاده کرد. باکتری‌های *S.pasteurii* و *P.aeruginosa* را به خمیر سیمان اضافه کردند تا تأثیرشان را بررسی کند. در نمونه‌های حاوی *S.pasteurii* در غلظت پایین، افزایش مقاومت فشاری نسبت به نمونه‌ی شاهد مشاهده شد. به طوری که مقاومت فشاری ۲۸ روزه نمونه‌ی شاهد ۵۵ مگا پاسکال و نمونه‌ی حاوی باکتری مقاومت فشاری ۶۵ مگا پاسکال را نشان داد. این افزایش مقاومت ناشی از افزایش رسوب میکروبی در ملات بود [۱۱].

در سال ۲۰۰۵ گوش و همکاران با استفاده از باکتری *Shewanella* در بتن، مقاومت فشاری آن را سنجیدند. آن‌ها برای نمونه‌های ۲۸ روزه، افزایش مقاومت فشاری را برای نمونه‌های حاوی باکتری مشاهده کردند [۱۲].

جونکرز و همکاران در سال ۲۰۱۰ عملکرد بتن را به عنوان ماده‌ی خود ترمیم در بتن بررسی کردند. آن‌ها با افزودن اسپور باکتری به بتن مشاهده کردند که قطر منافذ کاهش می‌یابد. از دیگر نتایج این تحقیق بررسی مقاومت فشاری نمونه‌های حاوی باکتری در حضور مواد مغذی پیتون، کلسیم لاکتات، کلسیم استات و شیرهی مخمر است. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد در نمونه‌های حاوی باکتری در حضور کلسیم لاکتات مقاومت فشاری تا ۱۰ درصد افزایش داشت و در حضور سه ماده‌ی مغذی دیگر کاهش مقاومت فشاری مشاهده شد [۱۳].

ونگ و همکاران از میکروکپسول‌ها برای محافظت از *Bacillus sphaericus* در محیط بتن استفاده کردند. نتایج نشان داده است بتن حاوی باکتری می‌تواند تا عرض ترک ۹۷۰ میکرومتر را ترمیم کند. در حالی که نمونه‌های شاهد توانایی ترمیم یک چهارم این مقدار را دارند (حداکثر ۲۵۰ میکرومتر). هم‌چنین جذب آب نمونه‌های حاوی باکتری، یک دهم جذب آب نمونه‌های شاهد است [۱۴].

نصوحیان و همکاران (۲۰۱۵) آزمایش‌های تغییر جرم و حجم، درصد جذب آب، مقاومت فشاری و نفوذ پذیری یون کلرید را در بتن حاوی باکتری، تحت حمله‌ی سولفات‌ها بررسی کردند. نتایج نشان دادند که نمونه‌های حاوی باکتری جذب آب کم‌تر، تغییرات جرم و حجم کم‌تر (در سنین بالا)، افزایش مقاومت فشاری و کاهش نفوذ یون کلرید را در مقایسه با نمونه‌های شاهد دارند [۱۵].

۳. مصالح مورد نیاز و روش انجام کار

۳-۱. باکتری و محیط کشت آن

در این پژوهش، از باکتری باسیلوس سوبتیلیس^۱ با غلظت ثابت 10^7 cell/ml استفاده می‌گردد؛ که می‌توان باکتری را به صورت آمپول‌های لیوفیلیزه از مرکز کلکسیون قارچ‌ها و باکتری‌های صنعتی ایران با شماره شناسایی PTCC 1254 تهیه نمود. محیط کشت و دمای مورد نیاز برای رشد این باکتری در جدول شماره ۱ ذکر شده است. کشت این باکتری در محل شهرک علمی و تحقیقاتی اصفهان انجام می‌گیرد. این باکتری همراه با محیط کشت مایع خود با غلظت ذکر شده، به بتن به عنوان آب اختلاط اضافه می‌شود.

جدول ۱- محیط کشت و دمای نگه‌داری باکتری مورد نظر

نام میکرو ارگانیسم	ترکیبات محیط کشت	مقدار مصرف	دمای نگه‌داری
باسیلوس سوبتیلیس	آب مقطر	۱ لیتر	۳۰ درجه سانتی‌گراد
	نوترینت برات ^۲	۱۳ گرم	

۳-۲. الیاف مورد استفاده

الیاف مورد استفاده در این تحقیق الیاف پلی پروپیلن است که با درصد حجمی ۰/۳ در بتن استفاده می‌شود. مشخصات این الیاف در جدول ۲ ذکر شده است. در شکل ۱ الیاف استفاده شده در این تحقیق مشاهده می‌شود.

^۱ *Bacillus subtilis*

^۲ Nutrient Broth

جدول ۲- مشخصات الیاف پلی پروپیلن

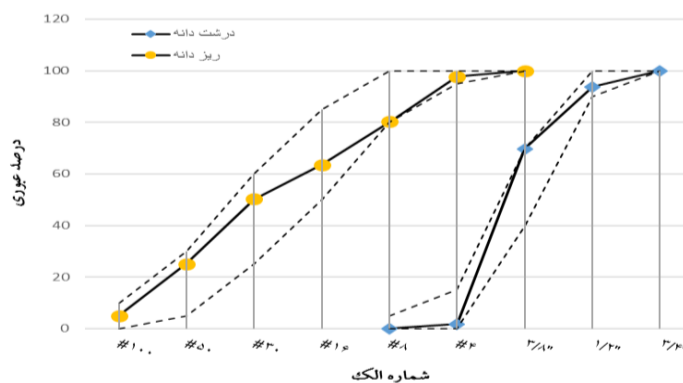
نوع الیاف	پلی پروپیلن
چگالی (kg/m^3)	۹۱۰
طول (mm)	۶
جذب آب (%)	۰/۰۲ تا ۰/۰۳
درصد حجمی مورد استفاده	۰/۳ درصد
محل خریداری	نانونخ و گرانول سیرجان



شکل ۱- الیاف پلی پروپیلن

۳-۳. نسبت وزنی مصالح و طرح اختلاط بتن

مصالح سنگی طبق ASTM C33 [۱۶] انتخاب می شود و شکل ۲ دانه بندی درشت دانه و ریز دانه مورد استفاده در این تحقیق را نشان می دهد که با استاندارد ASTM C33 مقایسه شده است. درشت دانه (شن) دانه هایی با بعد ۴/۷۵ تا ۱۲/۵ میلی متر و ریز دانه ی مصرفی (ماسه) ۰ تا ۴/۷۵ میلی متر می باشد.



شکل ۲- دانه بندی شن و ماسه

طرح اختلاط طبق استاندارد ACI 211.2 [۱۷] و از روش حجمی استفاده می شود. بزرگ ترین بعد دانه ها ۱۲/۵ میلی متر و نسبت آب به سیما ۰/۵۵ در نظر گرفته شده و اسلامپ بتن مورد نظر ۹ سانتی متر است. در جدول ۳ نسبت وزنی مصالح بیان شده است.

جدول ۳- نسبت وزنی مصالح

مقدار مصرف (kg/m ³)	مصالح مصرفی
۱۹۴/۴	آب
۳۵۳/۵	سیمان تیپ ۱-۴۲۵
۷۹۲	درشت دانه
۱۰۵۶	ریزدانه
۲/۷۳	الیاف
۱/۰۶	فوق روان کننده (پایه پلی کربوکسیلات)

۳-۴. محیط عمل آوری

در این تحقیق از دو محیط عمل آوری آب معمولی و آب همراه با درصد مشخصی کلسیم لاکتات و اوره استفاده می‌شود. استفاده از کلسیم لاکتات و اوره به این علت است که باکتری مورد نظر برای تشکیل رسوب کلسیم کربنات نیاز به منبع کلسیم و اوره دارد.

۳-۵. ساخت بتن و قالب مورد نیاز

ابتدا مصالح دانه‌ای داخل مخلوط کن ریخته شده و به مدت ۲ دقیقه مخلوط می‌شوند سپس سیمان اضافه می‌شود و تا یک دست شدن مصالح موجود در مخلوط کن این کار ادامه می‌یابد. پس از آن دو سوم آب اختلاط همراه با باکتری به بتن اضافه می‌شود. سپس الیاف را تا جایی که امکان دارد از هم جدا کرده و آرام آرام به مخلوط اضافه می‌شوند در همین حین یک سوم آب اختلاط باقیمانده با فوق روان کننده مخلوط و به مصالح داخل مخلوط کن اضافه می‌شود. باید توجه شود که اضافه کردن الیاف به صورت تدریجی باشد و بهترین کار برای مخلوط شدن یکنواخت الیاف در بتن این است که کمی الیاف و کمی آب اختلاط بتن اضافه شود.

پس از مخلوط شدن کامل مصالح، بتن آماده‌ی قالب گیری می‌شود. قالب مورد استفاده در این تحقیق، قالب استوانه‌ای با قطر ۱۰ میلی متر و ارتفاع ۲۰ میلی متر می‌باشد. قالب‌ها از قبل تمیز و چرب می‌شوند و مخلوط بتن داخل آن‌ها ریخته می‌شود و توسط ویریه متراکم می‌شوند. در این تحقیق دو دسته نمونه ساخته می‌شود، دسته اول شامل نمونه‌ی شاهد که در آب اختلاط آن باکتری ریخته نمی‌شود و از آب معمولی در آن استفاده می‌شود و در دو محیط عمل آوری ذکر شده در بخش ۳-۵ به مدت ۲۸ روز و ۹۰ روز عمل آوری می‌شوند و دسته دوم نمونه الیافی حاوی باکتری که در محیط آب همراه با کلسیم لاکتات و اوره به مدت ۲۸ و ۹۰ روز عمل آوری می‌شود. نام گذاری نمونه‌های ساخته شده در جدول ۴ نشان داده شده است. تمامی مراحل ذکر شده، در آزمایشگاه تکنولوژی بتن و مصالح دانشکده‌ی مهندسی عمران دانشگاه صنعتی اصفهان انجام شده است.

جدول ۴- نام گذاری نمونه‌ها

نام نمونه	حضور الیاف	حضور باکتری	محیط عمل آوری	
			آب معمولی	آب با کلسیم لاکتات و اوره
C-W-N	-	-	*	-
C-CU-N	-	-	-	*
B-CU-N	-	*	-	*
C-W-PP	*	-	*	-
C-CU-PP	*	-	-	*
B-CU-PP	*	*	-	*

۴. آزمایشات انجام شده

۴-۱. درصد جذب آب

نحوه‌ی انجام آزمایش مطابق با استاندارد ASTM C642-13 [۱۸]، می‌باشد. این آزمایش در زمان‌های ۲۸ و ۹۰ روز بر روی نمونه‌ها انجام می‌شود. نمونه‌ها در زمان آزمایش از محیط عمل‌آوری خارج می‌شوند، رطوبت سطح آن‌ها با حوله گرفته و جرم آن‌ها را اندازه می‌گیریم (B). سپس نمونه‌ها را به مدت ۲۴ ساعت داخل گرم‌کن در دمای 110 ± 5 درجه سانتی‌گراد قرار داده و پس از ۲۴ ساعت، در هوای خشک (ترجیحاً در دسیکاتور) دمای نمونه‌ها را به ۲۰ تا ۲۵ درجه‌ی سانتی‌گراد می‌رسانیم و جرم آن‌ها را اندازه می‌گیریم (A). درصد جذب آب در هر طرح، براساس رابطه‌ی (۱) به دست می‌آید.

$$\text{درصد جذب آب} = \{(B-A)/A\} \times 100 \quad (1)$$

که در این رابطه، B جرم نمونه در حالت مرطوب با سطح خشک و A جرم خشک نمونه در همان سن است.

۴-۲. مقاومت فشاری

این آزمایش بر روی نمونه‌ها در سنین ۲۸ و ۹۰ روزه انجام می‌گیرد. طبق استاندارد ASTM C 39 [۱۹]، در این روش آزمایش با اعمال بار محوری فشاری بر نمونه‌ی استوانه‌ای تا لحظه‌ی شکست نمونه، میزان مقاومت فشاری با تقسیم نیرو بر سطح مقطع نمونه به دست می‌آید. با توجه به توضیحات ذکر شده در استاندارد آزمایش را بر روی نمونه‌های استوانه‌ای به قطر ۱۵۰ میلی‌متر و ارتفاع ۳۰۰ میلی‌متر انجام می‌دهند؛ اما چون در این تحقیق هدف ما تأثیر حضور باکتری بر مقاومت فشاری است و از نمونه‌های استوانه‌ای با قطر ۱۰۰ و ارتفاع ۲۰۰ میلی‌متر استفاده می‌کنیم. برای انجام آزمایش باید نمونه‌ها در حالت اشباع باشند و فقط آب اضافی روی سطح آن‌ها نباشد. سطح نمونه‌ها نیز باید صاف باشد چون در صورت صاف نبودن آن تمرکز تنش در قسمتی از نمونه ایجاد شده و مقاومت اصلی را نشان نمی‌دهد پس اگر سطح نمونه صاف نباشد می‌توان با کپینگ^۱ کردن آن را مسطح کرد. بارگذاری بر روی نمونه باید پیوسته و بدون ایجاد شوک یا تنش به نمونه انجام شود. این آزمایش توسط دستگاهی با ظرفیت حداکثر ۳۰۰۰ کیلونیوتن و نرخ بارگذاری ثابت 0.05 ± 0.25 مگاپاسکال بر ثانیه که استاندارد مربوطه مشخص کرده است، انجام می‌شود. دستگاه آزمایش مقاومت فشاری را در شکل ۳ می‌بینید.



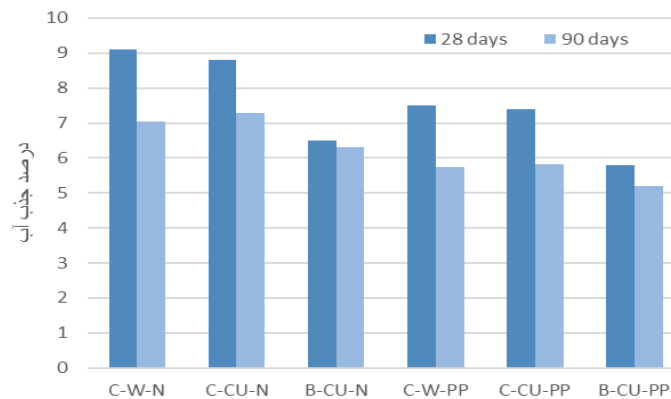
شکل ۳- دستگاه آزمایش مقاومت فشاری

¹ Capping

۵. نتایج آزمایش‌ها

۵-۱. درصد جذب آب

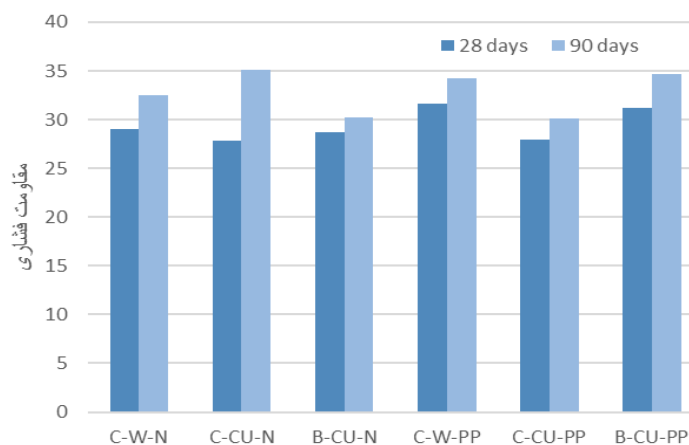
با توجه به شکل ۴، در نمونه‌های حاوی باکتری چه در سن ۲۸ روز و چه در سن ۹۰ روز کاهش جذب آب مشاهده می‌شود. علت این کاهش جذب آب می‌تواند حضور باکتری در کنار منبع کلسیم و اوره باشد که این باکتری با تولید آنزیم اوره آز و آمونیوم توانسته با استفاده از کلسیم لاکتات رسوبات کلسیم کربنات تولید کند و این رسوبات منافذ را پر کند و جذب آب را کاهش دهد.



شکل ۴- درصد جذب آب

۵-۲. مقاومت فشاری

نمونه‌ی بدون باکتری که در آب و کلسیم لاکتات و اوره عمل‌آوری شده، کاهش مقاومت فشاری را نشان می‌دهد. حضور باکتری در کنار منبع کلسیم و اوره توانسته این کاهش مقاومت فشاری را جبران کند. حضور باکتری در بتن باعث کاهش مقاومت فشاری شده (نسبت به نمونه‌ی شاهد که در آب عمل‌آوری شده است)؛ این کاهش احتمالاً به دلیل حضور مواد نوترینت براث در آب اختلاط است اما زمانی که الیاف به بتن اضافه شده هم این کاهش مقاومت فشاری کم‌تر شده است. به‌طور کلی نمونه‌ی حاوی الیاف و باکتری مقاومت بیش‌تری نسبت به نمونه‌ی بدون الیاف و حاوی باکتری دارد (شکل ۵).



شکل ۵- مقاومت فشاری

۶. نتیجه گیری

- ۱- استفاده از الیاف پلی پروپیلن در بتن باعث کاهش درصد جذب آب و افزایش مقاومت فشاری شده است و این به علت ایجاد پیوستگی بین اجزای بتن است.
- ۲- استفاده از باکتری در بتن کاهش درصد جذب آب را داشته است که دلیل آن افزایش رسوبات کلسیم کربنات ناشی از فعالیت باکتری در کنار منبع کلسیم است. کاهش درصد جذب آب در سن ۲۸ روزه بیش تر ۹۰ روزه است که این به دلیل کاهش رشد باکتری است.
- ۳- استفاده از باکتری در کنار منبع کلسیم باعث بهبود مقاومت فشاری بتن مسلح به الیاف پلی پروپیلن شده است.

۷. مراجع

- [۱] رمضانیان پور، ع.ا.، پیدایش، ا. (۱۳۸۹). "شناخت بتن (مصالح، خواص، تکنولوژی)". انتشارات جهاد دانشگاهی واحد دانشگاه صنعتی امیرکبیر.
- [2] Hajipour, A., Mahery, M. R., & Aram, M. (2010). "Producing High Strength Concrete Plates Reinforced to Steel Fibers to Protect Reinforced Concrete Construction". *ACI Journal*, Jul -Aug, Vol. 88(4), pp 384-389.
- [3] Felekoğlu, B., Türkel, S., & Altuntaş, Y. (2007). "Effects of steel fiber reinforcement on surface wear resistance of self-compacting repair mortars". *Cement and Concrete Composites*, Vol. 29(5), pp 391-396.
- [4] Knoblen, W. (2011). "Bacteria care for concrete". *Materials Today*, Vol. 14(9), pp 444.
- [5] Wang, J., Van Tittelboom, K., De Belie, N., & Verstraete, W. (2012). "Use of Silica Gel or Polyurethane Immobilized Bacteria for Self-Healing Concrete". *Construction and building materials*, Vol. 26(1), pp 532-540.
- [6] Kurtz, S., & Balaguru, P. (2000). "Postcrack creep of polymeric fiber-reinforced concrete in flexure". *Cement and Concrete Research*, Vol. 30(2), pp 183-190.
- [7] Zhou, T.Q., & Hua, Y. (2009). "Application Study of Polypropylene Fiber Reinforced Concrete Railway Tunnel Lining Structure within Hard Rock Mass Using Wet-Sprayed Technique". In *Materials Science Forum*, Vol. 610, pp 76-80, Trans Tech Publications.
- [8] Murahari, K., & Rao, R. (2013). "Effects of Polypropylene fibres on the strength properties Of fly ash based concrete". *International Journal of Engineering Science Invention*, Vol. 2(5), pp 13-19.
- [9] Afroughsabet, V., & Ozbakkaloglu, T. (2015). "Mechanical and durability properties of high-strength concrete containing steel and polypropylene fibers". *Construction and building materials*, Vol. 94(1), pp 73-82.
- [10] Stocks-Fischer, S., Galinat, J. K., & Bang, S. S. (1999). "Microbiological Precipitation of CaCO₃". *Soil Biology and Biochemistry*, Vol. 31(11), pp 1563-1571.
- [11] Ramachandran, S. K., Ramakrishnan, V., & Bang, S. S. (2001). "Remediation of concrete using microorganisms". *ACI Materials Journal*, Vol. 98, pp 3-9.
- [12] Ghosh, P., Mandal, S., Chattopadhyay, B.D., & Pal, S. (2005). "Use of microorganism to improve the strength of cement mortar". *Cement and Concrete Research*, Vol. 35(10), pp 1980-1983.

- [13]Jonkers, H., Thijssen, A., Muyzer, G., Copuroglu, O., & Schlangen, E. (2010). "Application of bacteria as self-healing agent for the development of sustainable concrete". Ecological Engineering, Vol. 36, pp 230-235.
- [14]Wang, J. Y., Soens, H., Verstraete, W., & De Belie, N. (2014). "Self-healing Concrete by Use of Microencapsulated Bacterial Spores". Cement and Concrete Research, Vol. 56, pp 139-152.
- [15]Nosouhian, F., Mostofinejad, D., & Hasheminejad, H. (2015). "Concrete durability improvement in a sulfate environment using bacteria". Journal of Materials in Civil Engineering, Vol. 28(1), pp 04015064.
- [16]ASTM C33, (2013). "Standard Specification for Concrete Aggregates". American Standard for testing and materials, West Conshohocken, PA.
- [17]ACI Committee 211. (1998). "Standard practice for selecting proportions for structural lightweight concrete". (ACI 211.2-98), American Concrete Institute, Detroit, Michigan, U.S.A..
- [18]ASTM C642, (2013). "Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete". American Standard for testing and materials, West Conshohocken, PA.
- [19]ASTM C 39, (2014). "Standard test method for compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens". American Standard for testing and materials, West Conshohocken, PA.

Influence of bacteria on compressive strength and water absorption of concrete reinforced by polypropylene fibers

Code: C

Nasrin Karimi¹, Davood Mostofinejad²

1- Graduate Student, Civil-Structural Engineering, Isfahan University of Technology (IUT)

2- Professor, Department of Civil Engineering, Isfahan University of Technology (IUT)

Abstract

One of the most important construction materials is Concrete, but the use of unreinforced concrete is practically lack due to tightness and weakness facing tensile forces. This great shortage removes by reinforcing steel bars, but in some sections, it is impossible to use fibers to correct the problem. One of the major defects in fiber-reinforced concrete is high porosity, which has a negative effect on the compressive strength of concrete. Also, it creates cracks in concrete which, through time, these micro-cracks rise and threaten the durability of concrete. One of the most efficient and environmentally friendly methods for decreasing pores and cracks in concrete is the use of bacteria in concrete mixing water. Some bacteria in the presence of urea and calcium source have the potential to form calcium carbonate precipitations. In this research has been used polypropylene fibers volume fraction of 0.3% and a kind of bacteria of the Bacillus strain with a concentration of 10^7 cells /ml in concrete mixing water. Curing the specimens was done, the water containing urea and calcium lactate used at the various ages of 28 and 90 days. Use of bacteria has shown a reduced water absorption in comparison of control specimens. Also, bacteria has increased the compressive strength of concrete. The bacteria in the presence of calcium source reduces the porosity of the fiber-reinforced concrete which leads to an increase in compressive strength and a reduction in the water absorption.

Keywords: fiber-reinforced concrete, bacteria, calcium lactate, water absorption, compressive strength.