

ترمیم سطحی بیولوژیکی 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

وجود منافذ در بتن مسلح به الیاف از مهم‌ترین عوامل ضعف دوام بتن است. منافذ بتن را می‌توان با استفاده از یک عامل ترمیمی ویژه پر کرد. بیش‌ترین روش‌هایی که برای افزایش ظرفیت ترمیمی بتن پیشنهاد شده‌اند اساس شیمیایی دارند. اگر چه تولیدات ارگانیک و غیر ارگانیک مختلفی برای محافظت سطح بتن وجود دارد هم‌چنان پیدا کردن روشی برای محافظت بتن که سازگار و دوست دار محیط زیست باشد موضوع مورد مطالعه‌ی تحقیقات است. استفاده از باکتری تولید کننده‌ی کلسیم کربنات در بتن یا روی بتن منجر به بهبود مقاومت و دوام بتن می‌شود. هدف این تحقیق بررسی ترمیم بیولوژیکی بتن است که با فراهم کردن محیطی برای باکتری‌ها روی سطح بتن انجام می‌شود. به منظور ترمیم سطحی بتن مسلح به الیاف پلی پروپیلن، الیاف پلی پروپیلن با طول ۶ میلی متر و میزان ۰/۳ درصد حجمی و باکتری با غلظت 10^7 سلول بر میلی لیتر در آب مقطر (حاوی محیط کشت نوترینت براث) استفاده شده است. این باکتری روی سطح بتن الیافی اسپری و یک لایه آگار که با کلسیم لاکتات و اوره و آب مقطر مخلوط شده، استفاده می‌شود. نمونه‌های ترمیم شده تحت آزمایش جذب آب و نفوذ پذیری در برابر آب قرار می‌گیرند. نتایج نشان داد که سطح نمونه‌های ترمیم شده در برابر جذب آب مقاوم‌تر و نفوذ پذیری در برابر آب این نمونه‌ها هم کاهش یافت.

کلمات کلیدی: بتن الیافی، باکتری، ترمیم سطحی، آگار، نوترینت براث.

۱. مقدمه

بتن یکی از مهم‌ترین مواد ساختمانی است و مصرف آن در همه‌ی کشورها و مناطق جهان، به دلایل متعدد در حال افزایش است. اجزای آن، همه جا در دسترس و نسبتاً ارزان هستند و تولید آن ممکن است نسبتاً ساده باشد. کاربرد آن، انواع مختلفی از ساختمان‌ها و زیر ساخت‌های زیر بنایی را پوشش می‌دهد [۱]؛ اما از جمله خصوصیات نامطلوب آن می‌توان به مقاومت کششی خیلی پایین و مقاومت کم در برابر ترک خوردگی اشاره کرد [۲]. استفاده از الیاف باعث افزایش مقاومت کششی، مقاومت خمشی، افزایش جذب انرژی، افزایش مقاومت در برابر ترک خوردگی و ... می‌گردد [۳]. امروزه استفاده از الیاف در بهبود عملکرد بتن در سازه‌ها از روش‌های مؤثر می‌باشد. ویژگی‌های مکانیکی بتن الیافی در مقایسه با بتن معمولی تغییرات قابل توجهی دارد [۴]. هم چنین ترک‌ها عمر سازه‌های بتنی را کم می‌کنند؛ پس می‌توان با افزودن عواملی به بتن از بزرگ شدن ترک‌های کوچک جلوگیری کرد؛ این دیدگاه، خود ترمیمی نامیده می‌شود [۵]. باید ترک‌ها ترمیم و تخلخل‌ها را برطرف کرد تا نفوذ پذیری بتن کاهش یابد زیرا نفوذ پذیری از شاخص‌های مهم دوام است [۶]. یک اقدام مهم دیگر برای حفاظت از بتن در مقابل آسیب، کاهش جذب آب است. بسیاری از مکانیزم‌های تخریب فیزیکی و شیمیایی بتن، مربوط به مواد مهاجم موجود در محلول‌های آبی است. روش ترمیم سطحی بتن، امکان جذب آب را کم می‌کند [۷].

۲. تاریخچه

گولاپودی و همکاران (۱۹۹۵) اولین کسانی بودند که از باکتری به منظور جلوگیری از ترک خوردن دیواره‌ی تونل‌ها و نفوذ آب به داخل آن استفاده کردند [۸]. استاکس فیشر و همکاران (۱۹۹۹) در تحقیقات خود به این نتیجه رسیده‌اند که اوره در فرآیند رسوب کلسیم کربنات توسط باکتری، می‌تواند نقش کاتالیزور را ایفا کند؛ به این صورت که با هیدرولیزه شدن آنزیم اوره به کربن دی‌اکسید و آمونیا، pH محیط بالا می‌رود و کلسیم کربنات بیش‌تری در محیط رسوب می‌کند [۹].

کیم و همکاران (۲۰۱۳) اثر دو باکتری *Sporosarcina Pasteurii* و *Bacillus Sphaericus* را به روش ترمیم سطحی بر نمونه‌های بتن معمولی و بتن سبک آزمایش کردند که باکتری جذب آب را در هر دو نوع بتن کاهش داد [۱۰].

مستوفی‌نژاد و همکاران (۲۰۱۵) با استفاده از کلسیم کربنات رسوب شده توسط باکتری‌ها، به ترمیم سطحی بتن برای جلوگیری از نفوذ یون سولفات پرداختند؛ به این منظور، پس از ساخته شدن و عمل آوری نمونه‌ها با استفاده از باکتری‌های *Sporosarcina pasteurii* و *Bacillus subtilis* و *Bacillus sphaericus*، سطح بتن را ترمیم کردند. آن‌ها نشان دادند که نمونه‌های ترمیم شده توسط باکتری‌ها، مقاومت بیش‌تری در برابر حمله‌ی سولفات‌ها دارند و نیز از دوام بهتری در برابر شرایط محیطی برخوردار هستند [۱۱ و ۱۲].

مستوفی‌نژاد و نصوحیان (۲۰۱۶) با کربنات تولید شده توسط باکتری *Sporosarcina pasteurii* و با ژل ترمیمی، نمونه‌هایی را ترمیم کردند که روی نمونه‌های ترمیم شده آزمایش جذب آب و نفوذ کلرید را انجام دادند. نتایج این تحقیق نشان داد که ترمیم سطحی نمونه‌ها باعث کاهش ۷ درصدی جذب آب و کاهش ۱۲ درصدی نفوذ کلرید شد [۱۱ و ۱۳].

کلهری و باقرپور (۱۳۹۶) از باکتری‌ها در طرح اختلاط و محلول مراقبت، به منظور بررسی تأثیر هر یک از دیدگاه‌ها بر مقاومت فشاری، مقاومت کششی، نفوذ پذیری، تخلخل و ترمیم شدن نمونه‌های شاتکریت، استفاده کردند. نتایج آزمایش مقاومت فشاری نشان داد که در مقایسه با نمونه‌های کنترل، مقاومت فشاری نمونه‌های شاتکریت تحت تأثیر باکتری تا ۳۰ درصد افزایش یافته است. این افزایش مقاومت فشاری در نمونه‌های شاتکریت ۱۰ درصد بیش‌تر از نمونه‌های معمول بتن با طرح اختلاط مشابه بود. حضور باکتری‌ها، هم در مخلوط بتن و هم محلول مراقبت (روشی از ترمیم سطحی)، افزایش استحکام کششی و کاهش جذب آب و تخلخل شاتکریت را نشان داد. حداکثر کاهش نفوذ پذیری آب در نمونه‌های ۲۸ روزه که در محلول حاوی باکتری نگه‌داری شدند، مشاهده شد. توانایی باکتری‌ها برای ترمیم ترک‌های ایجاد شده در نمونه‌ها نیز در این مقاله مورد ارزیابی قرار گرفته است. رسوب باکتریایی کربنات کلسیم در منافذ نمونه‌ها با استفاده از روش SEM و XRD تأیید شد. نتایج، شواهدی روشن از حمایت باکتری‌های رسوب کننده‌ی کربنات کلسیم برای ترمیم ترک‌ها و بهبود دوام شاتکریت دارند [۱۴].

الیاف از دیرباز برای تقویت ماتریس‌های شکننده استفاده شده است؛ برای مثال، کاه و موی اسب را با خاک رُس برای ساختن آجر و کف پوش مخلوط می‌کردند [۱]. الیاف پلی پروپیلن در بتن، اولین بار، سال ۱۹۶۵ برای ساخت سازه‌های مقاوم در برابر انفجار برای نیروی انسانی ایالات متحده پیشنهاد شد [۱۵].

استروین و کیان (۲۰۰۰)، با الیاف پلی پروپیلن در بتن، آن را مسلح نمودند و گزارش دادند علاوه بر اینکه الیاف پلی پروپیلن به دلیل انقباض، میکرو ترک‌ها را کنترل می‌کنند، در نتیجه طول عمر سازه را افزایش می‌دهد [۱۶].
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 [۱۷].
طبق تحقیقی در سال ۲۰۱۱، الیاف پلی پروپیلن در دماهای بالا توانایی بهبود پایداری بتن را دارند و در بتن خود متراکم مسلح به این الیاف نیز، الیاف به کار رفته توانستند نفوذ پذیری بتن را به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش دهند [۱۸].
کاکویی و همکاران (۲۰۱۲) تحقیقاتی را بر روی بتن مسلح به الیاف پلی پروپیلن انجام دادند و آزمایش‌های مقاومت فشاری، نفوذ پذیری و مقاومت الکتریکی را انجام دادند. در این آزمایش‌ها در میزان الیاف ۱/۵ کیلوگرم در متر مکعب بهترین نتایج به دست آمد [۱۹].
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 [۲۰].

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 ۱۰^۷ 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.

جدول ۱- محیط کشت و دمای نگه داری باکتری مورد نظر

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

۳-۲. نحوه‌ی تهیه‌ی ژل ترمیم سطحی و استفاده از آن

در این تحقیق با استفاده از آگار^۳ به همراه کلسیم لاکتات و اوره و آب مقطر ماده‌ای که حالت ژلاتینه دارد، تهیه می‌شود. نحوه‌ی ترمیم سطحی نمونه‌ها هم به این صورت است که پس از ۷ روز عمل آوری نمونه‌ها در دو محیط مختلف، باکتری با غلظت تعیین شده همراه با محیط کشت مایع، بر سطح بتن اسپری می‌شود و بلافاصله ژل حاوی منبع کلسیم و اوره روی سطح بتن کشیده می‌شود و داخل پلاستیک قرار داده می‌شود و تا سن آزمایش زیر پلاستیک قرار می‌گیرد تا رطوبت خود را از دست ندهد (شکل ۱).

^۱ Bacillus subtilis

^۲ Nutrient Broth

^۳ Agar



شکل ۱- الف) ژل ترمیم سطحی و؛ ب) نگه داری نمونه‌های ترمیمی

۳-۳. الیاف مورد استفاده

الیاف مورد استفاده در این تحقیق الیاف پلی پروپیلن است که یکی از انواع شناخته شده الیاف و از پر مصرف ترین الیاف مصنوعی هستند. در این تحقیق با درصد حجمی ۰/۳ در بتن استفاده می‌شود. مشخصات این الیاف در جدول ۲ ذکر شده است. در شکل ۲ الیاف استفاده شده در این تحقیق مشاهده می‌شود که از شرکت نانو نخ و گرانول سیرجان خریداری شده‌اند.

جدول ۲- مشخصات الیاف پلی پروپیلن

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



پلی پروپیلن

شکل ۲- الیاف پلی پروپیلن

۳-۴. نسبت وزنی مصالح و طرح اختلاط بتن

مصالح سنگی طبق ASTM C33 [۲۱] انتخاب می‌شود. درشت دانه (شن) دانه‌هایی با بعد ۴/۷۵ تا ۱۲/۵ میلی‌متر و ریز دانه‌ی مصرفی (ماسه) ۰ تا ۴/۷۵ میلی‌متر می‌باشد.

طرح اختلاط طبق استاندارد ACI 211.2 [۲۲] و از روش حجمی استفاده می‌شود. بزرگ‌ترین بعد دانه‌ها ۱۲/۵ میلی‌متر و به منظور کسب مقاومت ۳۰ مگا پاسکال برای نمونه‌های کنترل، نسبت آب به سیمان ۰/۵۵ در نظر گرفته شده و اسلامپ بتن مورد نظر ۹ سانتی‌متر است. در جدول ۳ نسبت وزنی مصالح بیان شده است. قابل ذکر است که برای ساخت آزمون‌ها، برای همه‌ی آزمایش‌ها، از مصالح یکسان استفاده می‌شود.

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	ریز دانه
۲/۷۳	الیاف
۱/۰۶	فوق روان کننده (پایه پلی کربوکسیلات)

۳-۵. 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.

۳-۶. 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 به بتن اضافه می‌شود. سپس الیاف را تا جایی که امکان دارد از هم جدا کرده و آرام آرام به مخلوط اضافه می‌شوند؛ باید توجه شود که اضافه کردن الیاف به صورت تدریجی باشد. در همین حین یک سوم آب اختلاط باقیمانده با فوق روان کننده مخلوط و به مصالح داخل مخلوط کن اضافه می‌شود.

پس از مخلوط شدن کامل مصالح، بتن آماده‌ی قالب گیری می‌شود. قالب مورد استفاده در این تحقیق، قالب استوانه‌ای با قطر ۱۰ میلی‌متر و ارتفاع ۲۰ میلی‌متر می‌باشد. قالب‌ها از قبل تمیز و چرب می‌شوند و مخلوط بتن داخل آن‌ها ریخته می‌شود و توسط ویبره متراکم می‌شوند.

در این تحقیق نمونه‌های کنترل بدون ترمیم سطحی و بدون الیاف به مدت ۲۸ و ۹۰ روز در هر دو محیط عمل آوری می‌شوند. دسته‌ای دیگر از نمونه‌های با الیاف و بدون الیاف در هر دو محیط به مدت ۷ روز عمل آوری شده و سپس ترمیم سطحی می‌شوند.

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	ترمیم سطحی	محیط عمل آوری	
			آب معمولی	آب با کلسیم لاکتات و اوره
C-W-N	-	-	*	-
C-CU-N	-	-	-	*
T-W-N	-	*	*	-
T-CU-N	-	*	-	*
T-W-PP	*	*	*	-
T-CU-PP	*	*	-	*

۴. آزمایشات انجام شده

۴-۱. درصد جذب آب

نحوه‌ی انجام آزمایش مطابق با استاندارد ASTM C642-13 [۲۳]، می‌باشد. این آزمایش در زمان‌های ۲۸ و ۹۰ روز بر روی نمونه‌ها انجام می‌شود. نمونه‌ها در زمان آزمایش از محیط عمل آوری خارج می‌شوند، رطوبت سطح آن‌ها با حوله گرفته و جرم آن‌ها را اندازه می‌گیریم (B). سپس نمونه‌ها را به مدت ۲۴ ساعت داخل گرم کن در دمای 5 ± 110 درجه سانتی گراد قرار داده و پس از ۲۴ ساعت، در هوای خشک (ترجیحاً در دسیکاتور) دمای نمونه‌ها را به ۲۰ تا ۲۵ درجه‌ی سانتی گراد می‌رسانیم و جرم آن‌ها را اندازه می‌گیریم (A). درصد جذب آب در هر طرح، براساس رابطه‌ی (۱) به دست می‌آید.

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

۴-۲. نفوذ پذیری در برابر آب

در این آزمایش آزمونه‌های $200 \times 200 \times 120$ میلی متری را پس از ۹۰ روز عمل آوری و خشک کردن در آون، در دستگاهی (شکل ۳)، که با فشار ۵ بار تنظیم گردیده، قرار داده می‌شود و نمونه‌ها توسط کمپرسور هوا تحت فشار آب قرار می‌گیرند. سپس طبق استاندارد EN 12390-8 [۲۴]، به مدت سه روز در دستگاه قرار می‌گیرند و سپس بعد از ۷۲ ساعت حجم آب کاهش یافته را قرائت کرده و بلافاصله نمونه را از دستگاه خارج می‌کنیم. نمونه را دو نیم کرده و با کولیس عمق آب نفوذی را اندازه گیری می‌کنیم.

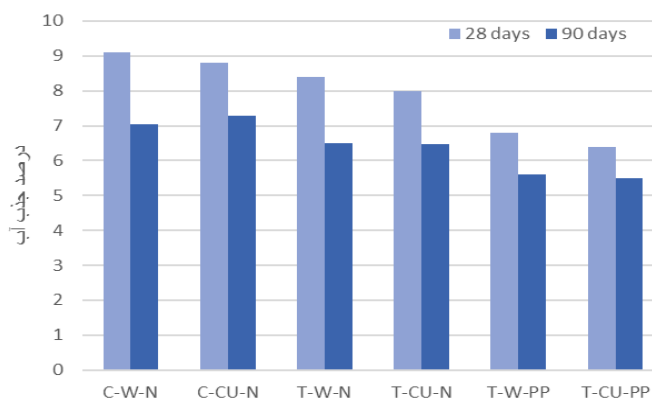


شکل ۳- دستگاه نفوذ پذیری در برابر آب (آزمایشگاه بتن و مصالح دانشگاه صنعتی اصفهان)

۵. نتایج آزمایش‌ها

۵-۱. درصد جذب آب

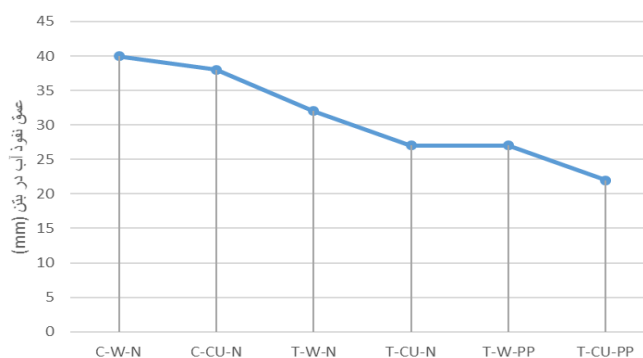
طبق آن چه در شکل ۳ می‌بینید، استفاده از الیاف و ترمیم سطحی باکتریایی باعث کاهش درصد جذب آب شده است که در نمونه‌هایی که در منبع کلسیم عمل آوری شده‌اند این کاهش کمی بیش‌تر از نمونه‌های عمل آوری شده در آب هستند. علت کاهش درصد جذب آب در دو سن ۲۸ و ۹۰ روزه وجود الیاف و باکتری است که الیاف با ایجاد پلی روی ترک‌های سطحی بتن، ورود آب را به بتن محدود کرده و جذب آب را کم می‌کند. باکتری در حضور کلسیم لاکتات توانایی تشکیل رسوبات جامد آهکی دارد. استفاده از باکتری به عنوان عامل ترمیم سطحی نیز با تشکیل رسوبات کلسیم کربنات، از ورود آب به بتن تا حدی جلوگیری می‌نماید.



شکل ۳- درصد جذب آب

۵-۲. نفوذ پذیری در برابر آب

نفوذ آب به داخل بتن باعث می‌شود هنگام تغییر دما و سرد و گرم شدن بتن، ترک خوردگی در آن ایجاد شود که این باعث کاهش دوام بتن می‌گردد؛ بنابراین تعیین عمق نفوذ آب به داخل بتن موضوع مهمی است. استفاده از ترمیم سطحی باکتریایی در بتن باعث کاهش زیادی در نفوذ پذیری آب در بتن شده است. الیاف نیز خودشان کمی نفوذ پذیری را کاهش داده‌اند. الیاف با مهار ترک‌ها مانع افزایش رشد آن‌ها شده و هم چنین با ایجاد پلی بین مصالح دانه‌ای بتن، باعث کاهش عمق نفوذ آب شدند و باکتری هم روی سطح بتن رسوبات آهکی تولید کرده است که عمق نفوذ آب به داخل بتن را کاهش داده است. همان‌طور که در شکل ۴ مشخص است، استفاده‌ی هم‌زمان از ترمیم سطحی باکتریایی و الیاف نتیجه‌ی بسیار خوبی برای این آزمایش را نشان داده است.



شکل ۴- نفوذ پذیری آب در بتن

۶. نتیجه گیری

- ۱- استفاده از الیاف پلی پروپیلن با درصد حجمی ۰/۳ در بتن باعث کاهش جزئی جذب آب می شود.
- ۲- نفوذ آب به داخل بتن هم، مانند درصد جذب آب، با وجود الیاف کاهش می یابد.
- ۳- عملکرد باکتری باسیلوس سوبتیلیس (به صورت ژل ترمیم سطحی)، باعث کاهش درصد جذب آب در بتن شده است. بیشترین کاهش درصد جذب آب مربوط به بتن الیافی ترمیم شده با باکتری است که در کلسیم لاکتات و اوره عمل آوری شده است. نفوذ آب نیز با ترمیم باکتریایی کاهش می یابد و بیشترین کاهش در نمونه الیافی است. علت این امر تشکیل رسوبات کلسیم کربنات بر سطح بتن و نفوذ آن به داخل بتن است.
- ۴- میزان کاهش نفوذ آب در بتن بسیار چشم گیرتر از کاهش درصد جذب آب است. پس می توان گفت ترمیم سطحی باکتریایی می تواند ویژگی نفوذ را که یکی از معیارهای سنجش دوام بتن است، بهبود بیش تری ببخشد.

۷. مراجع

- [1] Brandt, A.M. (2008). "Fibre reinforced cement-based (FRC) composites after over 40 years of development in building and civil engineering". Composite structures, Vol. 86(1-3), pp 3-9.
 - [2] Chahal, N., Siddique, R., & Rajor, A. (2012). "Influence of Bacteria on the Compressive Strength, Water Absorption and Rapid Chloride Permeability of Fly Ash Concrete". Construction and Building Materials, Vol. 28(1), pp 351-356.
 - [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] کیوانی، ع. (۱۳۸۴). "بتن الیافی و کاربرد آن در سازه های بتنی". کارگاه های تخصصی بتن: بتن های ویژه، ص ۲۳-۳۶.
 - [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] Chahal, N., & Siddique, R. (2013). "Permeation Properties of Concrete Made With Fly Ash and Silica Fume: Influence of Ureolytic Bacteria". Construction and Building Materials, Vol. 49(1), pp 161-174.
 - [7] Siddique, R., & Chahal, N. K. (2011). "Effect of Ureolytic Bacteria on Concrete Properties". Construction and Building Materials, Vol. 25(10), pp 3791-3801.
 - [8] Gollapudi, U.K., Knutson, C.L., Bang, S.S., & Islam, M.R. (1995). "A New Method for Controlling Leaching Through Permeable Channels". Chemosphere, Vol. 30(4), pp 695-705.
 - [9] Stocks-Fischer, S., Galinat, J. K., & Bang, S. S. (1999). "Microbiological Precipitation of CaCO₃". Soil Biology and Biochemistry, Vol. 31(11), pp 1563-1571.
 - [10] Kim, H.K., Park, S.J., Han, J.I., & Lee, H.K. (2013). "Microbially mediated calcium carbonate precipitation on normal and lightweight concrete". Construction and Building Materials, Vol. 38, pp 1073-1082.
- [۱۱] نصوحیان، ف. (۱۳۹۲). "افزایش دوام بتن در محیط سولفاتی به کمک باکتری". دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان، پایان نامه کارشناسی ارشد.

- [12] Nosouhian, F., Mostofinejad, D., & Hasheminejad, H. (2015). "Influence of Biodeposition Treatment on Concrete Durability in a Sulphate Environment". *Biosystems Engineering*, Vol. 133, pp 141-152.
- [13] Nosouhian, F., & Mostofinejad, D. (2016). "Reducing Permeability of Concrete by Bacterial Mediation on Surface Using Treatment Gel". *ACI Materials Journal*, Vol. 113(3).
- [14] Kalhori, H., & Bagherpour, R. (2017). "Application of carbonate precipitating bacteria for improving properties and repairing cracks of shotcrete". *Construction and Building Materials*, Vol. 148, pp 249-260.
- [15] Madhavi, T.C., Raju, L.S., & Mathur, D. (2014). "Polypropylene fiber reinforced concrete-a review". *International journal of emerging technology and advanced engineering*, Vol. 4(4), pp 114-118.
- [16] Qian, C., & Stroeven, P. (2000). "Fracture properties of concrete reinforced with steel-polypropylene hybrid fibres" *Cement and Concrete Composites*, Vol. 22(5), pp 343-351.
- [17] 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.
- [18] Mazaheripour, H., Ghanbarpour, S., Mirmoradi, S.H., & Hosseinpour, I. (2011). "The effect of polypropylene fibers on the properties of fresh and hardened lightweight self-compacting concrete". *Construction and Building Materials*, Vol. 25(1), pp 351-358.
- [19] Kakooei, S., Akil, H.M., Jamshidi, M., & Rouhi, J. (2012). "The effects of polypropylene fibers on the properties of reinforced concrete structures". *Construction and Building Materials*, Vol. 27(1), pp 73-77.
- [20] 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.
- [21] ASTM C33, (2013). "Standard Specification for Concrete Aggregates". American Standard for testing and materials. West Conshohocken, PA.
- [22] 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..
- [23] ASTM C642. (2013). "Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete". American Standard for testing and materials, West Conshohocken, PA.
- [24] EN 12390-8. (2000). "Testing Hardened Concrete – Part 8: Depth of Penetration of Water Under Pressure", European Committee for Standardization.

Biological Surface Treatment of Polypropylene Fiber-reinforced Concrete

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

The existence of pores in fiber-reinforced concrete is one of the most important factors threats its durability. The pores may be filled using a specific healing agent in concrete matrix. Most of the various healing agents have been proposed for enhancing the healing capacity of concrete are chemical based. Although there are various types of organic and inorganic products to protect the surface of concrete, it is still a matter of research to find a more compatible and environmentally friendly method for defending the concrete. Bacterial carbonate precipitation has been turned into a promising technique in concrete technology. Using carbonate-producing bacteria in or on concrete has led to significant improvements in concrete strength and durability. The intention of this study is to investigate the improvement of concrete biological treatment providing a proper environment for bacteria cells applied on concrete surface. For surface treatment of polypropylene fiber-reinforced concret, Polypropylene fibers with a 6-mm length were used at the content of volume fraction 0.3% and bacteria was used at 10^7 cell/ml concentration in distilled water (containing nutrient broth medium). To do so, bacteria were sprayed on fiber-reinforced concrete and a layer of agar that was mixed calcium lactate, urea and water, was used on the surface of the specimens. These treated specimens were tested for water absorption and water permeability. The results indicated that surface of the biologically treated specimens are more resistant to ingress of water and also reduced the water permeability by surface treatment.

Keywords: fiber-reinforced concrete, bacteria, surface treatment, agar, nutrient broth.