نشریه مهندسی عمران امیرکبیر

نشریه مهندسی عمران امیرکبیر، دوره ۵۲ شماره ۱۰، سال ۱۳۹۹، صفحات ۲۵۹۳ تا ۲۶۰۶
DOI: 10.22060/ceej.2019.15840.6052

تأثیر ابعاد و مقدار الیاف پلیمری در استقامت و دوام روسازی بتن غلتکی در برابر چرخه‌های یخ زدن و آب شدن

ابوذر شفیع پور[1*]، شاهین شعبانی[2]، سید فرزین فائزی[3]

[1] دانشجو دکتری راه و ترابری، دانشکده عمران، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران
[2] استادیار، دانشکده عمران، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران
[3] استادیار، دانشکده عمران، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

خلاصه: در سال‌های اخیر استفاده از بتن غلتکی در روسازی راه‌ها به دلیل مزایای بسیار آن افزایش یافته است. همچنین با اضافه کردن الیاف به بتن‌های غلتکی می‌توان برخی خواص بتن، از جمله ظرفیت خمشی، مقاومت در برابر خستگی، نرخ رشد ترک و انتقال برش در طول ترک‌ها و درزها را بهبود داد. آزمایش‌های بسیاری، مزایای استفاده از بتن‌های مسلح شده با الیاف در روسازی‌های بتن غلتکی را نشان داده‌اند، اما اطلاعات بیشتری از رفتار آن‌ها در مناطق با آب و هوای سرد و شرایط یخبندان و به خصوص در معرض قرار گرفتن چرخه‌های یخ زدن و آب شدن نیاز است. هدف از انجام این پژوهش، بررسی و مقایسه تأثیر ابعاد و میزان الیاف ماکروسنتتیک بر استقامت و دوام رویه‌های بتن غلتکی در برابر چرخه های یخ زدن و آب شدن است. بدین منظور آزمونه‌های بتن غلتکی با مقادیر مختلفی از الیاف (۱،۵/۲ و ۴ درصد وزنی سیمان) با طول های مختلف (۵، ۲۰ و ۴۰ میلیمتری) ساخته شد و آزمایش مقاومت فشاری ۷، ۲۸ و ۹۰ روزه و آزمایش دوام در برابر چرخه های یخ زدن و آب شدن تا ۳۰۰ چرخه انجام شد. تحلیل نتایج نشان می‌دهد که اضافه کردن الیاف باعث افزایش مقاومت فشاری بتن غلتکی می‌شود اما از طرف دیگر میزان دوام آن را در برابر چرخه های یخ زدن و آب شدن کاهش می یابد بنابراین برای استفاده از الیاف در بتن غلتکی مخصوصاً در مناطق سردسیر باید دقت بیشتری شود.

تاریخچه داوری:
دریافت: ۲۸-۱۱-۱۳۹۷
بازنگری: ۱۴-۰۲-۱۳۹۸
پذیرش: ۰۶-۰۴-۱۳۹۸
ارائه آنلاین: ۰۳-۰۶-۱۳۹۸

کلمات کلیدی:
روسازی بتن غلتکی
الیاف پلیمری
مقاومت فشاری
امواج آلتراسونیک
چرخه های یخ زدن و آب شدن

۱- مقدمه

بتن غلتکی[1] مخلوطی سفت و خشک و با اسلامپ صفر است که عمدتاً با استفاده از غلتک برای رسیدن به تراکم مورد نظر فشرده می‌شود. بتن غلتکی معمولاً در دو حوزه ساخت سد و روسازی راه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. مزایای استفاده از بتن غلتکی شامل کاهش چشمگیر هزینه‌های ساخت و افزایش سرعت اجرا موجب افزایش استفاده از بتن غلتکی در سال‌های اخیر شده است. طراحی روسازی‌های بتن غلتکی[2] شبیه به طراحی روسازی بتنی غیرمسلح درزدار با درز انبساط یا درزهای اجرایی بدون میلگرد اتصال است. روسازی بتن غلتکی نسبت به بتن معمولی متفاوت بوده و به دلیل پایین بودن نسبت آب به سیمان کارایی آن به مراتب کمتر است[۱]

بتن غلتکی را می‌توان با استفاده از الیاف کوتاهی که به صورت تصادفی در حجم آن پراکنده شده اند، مسلح نمود و بدین ترتیب مقاومت فشاری، مقاومت خمشی، مقاومت کششی و دوام را بهبود داد. از الیاف با جنس‌های مختلفی برای مسلح کردن بتن غلتکی استفاده می‌شود که الیاف های پلیمری بیشترین استفاده را دارند. ابعاد و درصد حجمی الیاف استفاده شده در مخلوط اهمیت زیادی دارد، چرا که بیشتر بودن درصد حجمی الیاف ممکن است منجر به اثرات معکوس گردد [۲] همچنین مطالعات کمی در مورد دوام بتن‌های غلتکی مسلح شده با الیاف موجود است. در این پژوهش سعی شده است علاوه بر اندازه گیری مقاومت فشاری بتن‌های غلتکی حاوی الیاف با استفاده از آزمایش مخرب مقاومت فشاری و آزمایش

1 Roller compacted concrete (RCC)
2 Roller compacted concrete Pavements (RCCP)

* نویسنده عهده‌دار مکاتبات: abouzarshafiepour@yahoo.com

حقوق مؤلفین به نویسندگان و حقوق ناشر به انتشارات دانشگاه امیرکبیر داده شده است. این مقاله تحت لیسانس آفرینندگی مردمی (Creative Commons License) در دسترس شما قرار گرفته است. برای جزئیات این لیسانس، از آدرس https://www.creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode دیدن فرمائید.

غیرمخرب آلتراسونیک در سنین ۲۸،۷ و ۹۰ روزه، دوام بتن غلتکی در برابر چرخه های یخ زدن و آب شدن نیز اندازه گیری شود.

۲- پیشینه تحقیق

پژوهش‌های متعددی در بررسی خصوصیات بتن‌های غلتکی حاوی الیاف انجام شده است. رضایی و همکاران (۱۳۹۵)، اثر استفاده از الیاف پروپیلن، نایلون و شیشه به میزان ۰/۶ درصد وزنی سیمان در عملکرد فشاری و کششی بتن غلتکی را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج آزمون‌های مقاومت فشاری و کششی غیرمستقیم افزایش ۱۰ تا ۱۵ درصدی مقاومت فشاری و کششی را در نمونه‌های با الیاف مختلف نشان داد که در این میان الیاف نایلون و پلی‌پروپیلن با افزایش ۱۵ درصدی مقاومت، به ترتیب بهترین عملکرد فشاری و کششی را داشته‌اند [۳] طاهری و همکاران در پژوهش دیگری، تاثیر استفاده از الیاف پلی‌پروپیلن بر روی روسازی بتن غلتکی را بررسی کردند. آن‌ها نتیجه گرفتند که استفاده از الیاف پلی پروپیلن منجر به یک سطح مناسب با مقاومت سایشی بالا بوده و همچنین از نفوذپذیری بتن کاسته و نفوذ عوامل خورنده را به داخل بتن به حداقل می رساند و دوام بتن را افزایش می دهد[۴] نادری (۱۳۹۳)، نیز پژوهش مشابهی در تاثیر استفاده از الیاف پلی‌پروپیلن بر بتن غلتکی انجام دادند که افزایش ۲۰ درصدی مقاومت کششی در نمونه‌های الیافی را مشاهده کردند[۵]. مدح‌خوان و همکاران نیز روش ابداعی استفاده از شبکه‌های بافته شده از الیاف شیشه جهت بالا بردن مدول گسیختگی بتن غلتکی روسازی را مورد بررسی قرار دادند [۶]. روح الامینی در سال ۲۰۱۷ با افزودن الیاف ماکروسنتتیکی به مخلوط بتن غلتکی، نتیجه گرفت که این نوع الیاف ها باعث افزایش انرژی مورد نیاز برای تراکم مخلوط بتن غلتکی می شوند. همچنین افزودن الیاف به بتن غلتکی باعث کاهش زمان وب در مخلوط می شود. از سوی دیگر افزودن الیاف ماکروسنتتیکی به مخلوط بتن غلتکی تاثیر چشمگیری در مقاومت فشاری ندارد ولی در بهبود مقاومت خمشی موثر بوده است[۷]. در سال ۲۰۱۷ جف لاهوکیک و همکارانش، آزمایش هایی در مورد تاثیر مثبت الیاف فولادی ماکرو روی روسازی بتن غلتکی و اندازه گیری تغییرات در خواص مکانیکی آن و مقایسه ی آن با روسازی بتنی معمولی انجام دادند. در این آزمایشات شش نوع الیاف شامل چهار نوع آن الیاف سنتتیکی و دو نوع الیاف فولادی با شکل هندسی متفاوت در دو مقدار ۰/۲ و ۰/۴ درصد حجمی استفاده کردند. نتایج نشان داد که نمونه هایی که شامل الیاف سنتتیکی بودند افزایش قابل توجه ای در حداکثر چگالی خشک و مقاومت فشاری نمونه داشتند. نمونه های مسلح شده با الیاف فولادی، مقاومت کششی بیشتری نسبت به نمونه های مسلح شده با الیاف سنتتیکی داشته اند. همینطور هیچ گونه تفاوتی در مدول الاستیسیته بین نمونه های بتن غلتکی الیافی دیده نشد. در خصوص آزمایش خمشی با افزایش مقدار الیاف، مقاومت خمشی افزایش یافته است. نمونه های با الیاف فولادی سر قلاب شده مقاومت خمشی بیشتری نسبت به نمونه های با الیاف سنتتیکی نشان می دهد. همچنین آزمایش شکست نشان داد که بتن غلتکی همراه با الیاف خواص مقاومت شکست بیشتری نسبت به بتن معمولی الیاف دارد. به دلیل این افزایش در مقاومت و خواص شکست، مقاومت خستگی و عمر بهره برداری روسازی بتن غلتکی افزایش می یابد[۸].

مسئله دیگری که در استفاده از روسازی بتن غلتکی حاوی الیاف خصوصاً در مناطق سرد باید مورد توجه قرار گیرد، مقاومت آن‌ها در برابر چرخه های یخ زدن و آب شدن است. در این راستا، ژانگ و همکاران در پژوهشی، تاثیر استفاده از الیاف فلزی و ذرات پلاستیک را در مقاومت یخزدگی بتن غلتکی تحت ۳۰۰ چرخه یخ زدن و آب شدن بررسی کردند و نتیجه گرفتند که استفاده از این الیاف در بهبود مقاومت یخزدگی بتن غلتکی نقشی ندارد[۹]. آقای هزاری و همکاران در سال ۲۰۱۱ به بررسی اثرات مخلوط انجام گرفته بر روی خصوصیات و مقاومت یخبندان و ذوب بتن غلتکی پرداختند. اهداف اصلی این تحقیق اثرات مختلف میزان سیمان و هوای موجود بر روی خصوصیات پایه ای فیزیکی، مکانیکی و مقاومت های یخبندان- ذوب مخلوط های بتن غلتکی است. میزان هوای مخلوط نشان از تاثیر بر روی مقاومت و دوام در چرخه های یخ زدن و آب شدن را داشته است[۱۰]. آقای دلاته و همکاران در سال ۲۰۰۵ به بررسی اثرات چگالی و خصوصیات مخلوط بر روی دوام در برابر یخبندان و ذوب روسازی های بتن غلتکی پرداختند[۱۱]. آقای احدی و همکاران در سال ۱۳۹۱، به مطالعه آزمایشگاهی دوام روسازی های بتن غلتکی در مقابل دوره های یخ و ذوب شدن پرداختند. در این مطالعه تحقیقاتی ۱۲ نمونه که شامل ۳ طرح مخلوط بوده است و با متراکم کننده دورانی متراکم شده است. از میان سه طرح مخلوط، فقط یک مخلوط

۳۰۲ دوره یخ و ذوب شدن را با ۹ درصد کاهش وزن کامل نمود که دارای نسبت آب به سیمان ۰/۴ و در مقایسه با نمونه های دیگر دارای چگالی بیشتر بوده است. مقاومت در برابر دوره های یخبندان به ترتیب به حجم خمیر سیمان موجود در بتن، نسبت آب به سیمان و سپس به تعداد دوران تراکم بستگی دارد[۱۲]. آقای سیامردی و همکاران در سال ۱۳۹۲، به ارزیابی تأثیر حجم خمیر سیمان برمقاومت مخلوط های بتن غلتکی روسازی ها بدون افزودنی های شیمیایی حباب زا تحت دوره های یخندان پرداختند. نتایج نشان می دهد که کاهش وزن در اثر دوره های یخبندان با افزایش نسبت آب به سیمان نیز افزایش می‌یابد و مقاومت در برابر دوره‌های یخبندان به ترتیب به حجم خمیر سیمان موجود در بتن، نسبت آب به سیمان و سپس به تعداد دوران تراکم بستگی دارد به طوریکه نمونه ای با نسبت آب به سیمان ۰/۴، با چگالی بیشتر قادر به تحمل ۳۰۰ دوره یخبندان با ۹ درصد کاهش وزن شد[۱۳].

۳- برنامه آزمایشگاهی

در این پژوهش، مقاومت فشاری آزمونه های بتن غلتکی حاوی مقادیر مختلفی از الیاف ماکروسنتتیک با طول‌های مختلف با استفاده از جک هیدرولیکی و مدول دینامیکی با استفاده از دستگاه آلتراسونیک مطابق با استاندارد ASTM C597 و دوام آزمونه ها تحت چرخه های یخ زدن و آب شدن تا ۳۰۰ چرخه مطابق با استاندارد ASTM C666 تعیین شده است. در این بخش ابتدا نحوه انجام آزمایش ها تشریح می‌شود و سپس مشخصات مصالح مصرفی و طرح مخلوط شرح داده شده است.

۳-۱- شرح آزمایش ها

مقاومت فشاری در این تحقیق از دو روش مخرب و غیر مخرب محاسبه شده است. برای انجام آزمایش مقاومت فشاری می توان از دستگاه جک فشاری به صورت مخرب استفاده کرد. بعد از ساخت آزمونه ها و پس از گذشت ۲۰ الی ۴۸ ساعت، آن ها را در هوای آزاد قرار داده و سپس آزمونه ها را از قالب خارج کرده، وزن و ابعاد آن ها را اندازه گیری می شود و در ادامه در حوضچه آب و آهک قرار داده می شوند. آزمایش مقاومت فشاری در سنین ۷ ، ۲۸ و ۹۰ روز انجام شده است. قبل از انجام آزمایش در زمان مقرر آزمونه ها را از حوضچه خارج کرده و دوباره وزن و ابعاد آن ها اندازه گیری می شود.

هنگام آزمایش دستگاه را تحت بارگذاری یکنواخت قرار داده و به محض ترک خوردن قسمتی از نمونه، بارگذاری دستگاه متوقف شده و حداکثر نیروی وارده بر سطح تماس نمونه با صفحات فلزی روی نمایشگر دستگاه بر حسب تن(ton) نشان داده می شود، با داشتن حداکثر نیروی وارده و سطح بارگذاری شده می توان مقاومت فشاری نمونه را تعیین کرد. اغلب نمونه های مکعبی دارای ابعاد ۱۵ و ۲۰ سانتی متری می باشند و برای تبدیل نمونه مکعبی به نمونه استاندارد مطابق مبحث نهم مقررات ملی ساختمان ایران، باید از ضریب ۰/۸۳ برای نمونه های با ابعاد ۱۵*۱۵*۱۵ استفاده شود.

برای اندازه گیری مقاومت فشاری به صورت غیرمخرب از دستگاه آلتراسونیک استفاده شده است. در این دستگاه سرعت پالس عبور داده شده از آزمونه اندازه‌گیری می‌شود و بر طبق آن مشخصات آزمونه تعیین می‌گردد. سرعت موج، مدول الاستیک و چگالی بتن طبق رابطه ۱ به یکدیگر مرتبط می‌شوند.

$$V = \sqrt{\frac{KE_d}{\rho}} \qquad (۱)$$

که در این رابطه V سرعت موج طولی (فشاری)، E_d مدول الاستیسیته دینامیکی، ρ چگالی و K ضریبی است که تابعی از ضریب پواسون بتن (μ) می‌باشد و از طریق رابطه زیر تعیین می‌شود:

$$K = \frac{(1-\mu)}{(1+\mu)(1-2\mu)} \qquad (۲)$$

جهت بررسی دوام آزمونه‌ها تحت چرخه‌های یخ زدن و آب شدن متوالی، آزمونه‌ها مطابق با استاندارد ASTM C666 مورد آزمایش قرار گرفته اند. این آزمایش بر اساس دو روش انجام می‌گیرد که در روش اول یخ زدن و ذوب شدن در آب و در روش دوم یخ زدن در هوا و ذوب شدن در آب صورت می‌پذیرد. در این تحقیق از روش دوم استفاده شده است. دستگاه یخ زدن و ذوب شدن باید دارای محفظه ای باشد که بتواند آزمونه ها را در معرض سیکل‌های یخ زدن و ذوب شدن قرار دهد و باید دارای یک وسیله سرمایش و گرمایش به همراه کنترل‌هایی جهت انجام پیوسته و اتوماتیک چرخه‌ها در دمای مورد نیاز باشد. در مخزن این دستگاه آزمونه‌ها باید به گونه‌ای قرار گیرند که انتقال حرارت از کف آزمونه‌ها صورت نگیرد بلکه این انتقال حرارت باید بصورت همگن در کل آزمونه صورت گیرد و نباید در

تماس مستقیم قرار گیرد. سیکل‌های یخ زدن و ذوب شدن شامل کاهش دما از۴/۴درجه به۱۷/۸- درجه سانتی‌گراد و افزایش دما از۱۷/۸- درجه به۴/۴درجه سانتی‌گراد می‌باشد. که این امر بطور متناوب در مدت زمان بین ۲ الی ۵ ساعت انجام می‌گیرد. دراین روش زمان لازم برای افزایش دمای آزمونه، از ۲۰ درصد زمان لازم برای گرم شدن نمونه نباید کمتر باشد. در پایان هر چرخه دمای آزمونه باید در حدود۱/۷±۴/۴درجه سانتی‌گراد باشد و دمای آزمونه‌ها نباید از ۱۹/۴- درجه سانتی‌گراد کمتر و از۶/۱ درجه سانتی‌گراد بیشتر باشد. همچنین در این آزمایش اختلاف دما بین مرکز آزمونه و سطح آن نباید بیشتر از۲۷/۸درجه سانتی‌گراد باشد.

در این آزمایش از آزمونه های منشوری و یا استوانه‌ای استفاده می‌شود. شعاع، عمق یا عرض آزمونه‌ها نباید کمتر از ۷۶ میلی‌متر و بیشتر از ۱۲۷ میلی‌متر باشد و طول این آزمونه‌ها نباید کمتر از۲۷۹ میلی‌متر و بیشتر از ۴۰۶میلی متر باشد. نمونه‌های قالب‌گیری شده برای این آزمایش باید به مدت ۱۴ روز قبل از آزمایش در آب آهک عمل آوری شوند و بمدت ۴۸ساعت قبل از انجام آزمایش در شرایط مرطوب نگهداری شوند. آزمایش چرخه ذوب وانجماد را ابتدا با قرار دادن آزمونه‌ها در آب گرم و در چرخه ذوب شدن آغاز کرده و در فواصل زمانی حدود۳۶ چرخه آزمونه‌ها را از دستگاه خارج نموده و تحت آزمایش آلتراسونیک و امواج فراصوتی قرار می‌گیرند. آزمایش روی آزمونه‌ها را تا آنجا ادامه داده می شود که آزمونه در معرض ۳۰۰ چرخه یخبندان قرار گیرند یا اینکه مدول الاستیسیته دینامیکی آنها به ۶۰ درصد مدول اولیه برسد.

در این آزمایش با اتمام هر ۳۶چرخه، وضعیت ظاهری، مدول الاستیسیته دینامیکی و شاخص دوام با استفاده از روابط ۳ و ۴ محاسبه می‌گردند[۱۶]

رابطه (۳) $$P_n = 100 \times \frac{f_1^2}{f^2}$$

رابطه (۴) $$D_f = \frac{P_n \times N}{M}$$

که در این روابط P_n، f_1 و f به ترتیب مدول الاستیسیته دینامیکی نسبی در n چرخه بر حسب درصد، فرکانس طبیعی عرضی در c چرخه یخ زدن و آب شدن و فرکانس طبیعی عرضی در صفر چرخه هستند. همچنین، D_f شاخص دوام، N تعداد سیکل‌هایی که در آن P به حداقل مقدار مشخص شده برسد و M تعداد سیکل‌هایی که آزمایش خاتمه می‌یابد (در اینجا برابر با ۳۰۰ است)، می‌باشد.

۲-۳- مصالح مصرفی

مصالح مصرفی در بتن غلتکی شامل سنگدانه، سیمان، آب و الیاف است.

۱-۲-۳- سنگدانه

دانه‌بندی مورد استفاده در این پژوهش جهت ساخت آزمونه ها مطابق با متداول ترین دانه بندی های مصرفی در روسازی بتن غلتکی با توجه به نشریه ۳۵۴ و استانداردهای موجود (ACI 325.10R, SCDOT, 2001) انتخاب شده است که در شکل ۱ ارائه شده است[۱۵،۱۴]

۲-۲-۳- سیمان

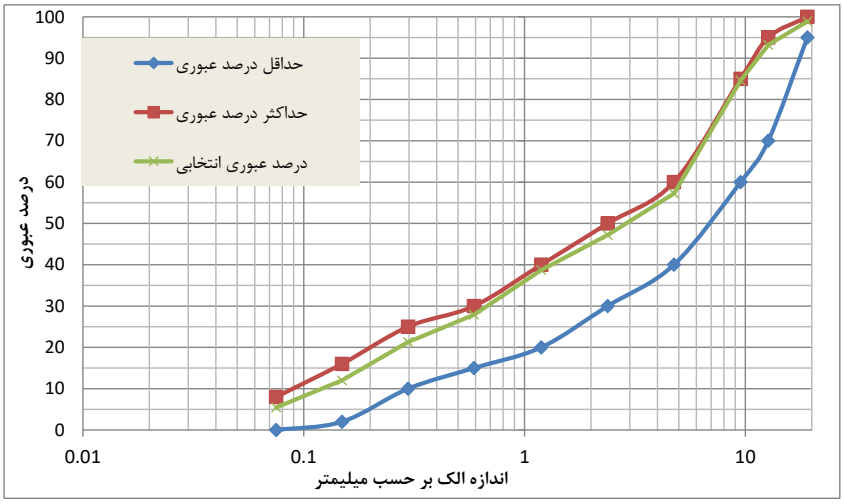
سیمان مصرفی در این تحقیق سیمان تیپ ۲ فیروزکوه است که مشخصات فنی آن در جدول ۱ آورده شده است. همچنین، مقدار سیمان مصرفی با توجه به طرح مخلوط برابر ۳۰۵ کیلوگرم بر متر مکعب بدست آمده است.

۳-۲-۳- الیاف پلیمری ماکروسنتتیک

در این پژوهش از الیاف پلیمری تک رشته‌ای پلی‌اولفین با مقاومت بالا و ماکروفایبر (Mex.۲۰۰) که دارای وزن مولکولی بالا و مستحکم می باشد، با مقادیر ۱، ۲/۵ و ۴ درصد وزن مصالح سیمانی استفاده شده است. این الیاف از شرکت میسون تهیه شده و دارای مشخصات ارائه شده در جدول ۲ هستند. الیاف استفاده شده و ابعاد آن‌ها در شکل ۲ نشان داده شده است.

۴-۲-۳- آب

کیفیت و الزامات آب مورد استفاده در بتن غلتکی مشابه آب مصرفی در بتن معمولی می‌باشد. میزان مواد قلیایی، اسیدی و آلی در آب بایستی از حداکثر مجاز در آیین نامه ها کمتر باشد در غیر



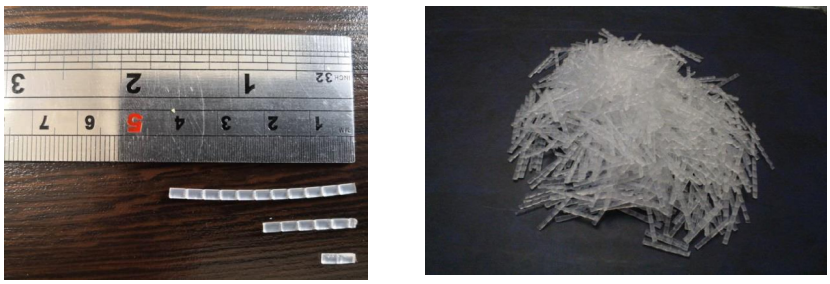
شکل ۱. دانه‌بندی سنگدانه‌های مورد استفاده در ساخت آزمونه¬ها (ACI 325.10R)

Fig. 1. Gradations of aggregate used in preparing concrete specimens

جدول ۱. مقدار اجزا در سیمان پرتلند تیپ ۲ مصرفی

Table 1. Components in Portland Cement Type 2

Main Element Composition (%)	FIKCC	Main Element Composition (%)	FIKCC
SiO_2	20.7±0.3	Insoluble Residue (I.R)	0.6±0.05
Al_2O_3	5±0.2	Free Lime (CaO)	1.7±0.2
Fe_2O_3	3.8±0.2	Ca_2S	59±3
CaO_2	63.2±0.3	Ca_3S	22.5±3
MgO_2	2.3±0.3	C_3A	6.4±1.3
SO_3	2.1±0.4	$C_3A + C_2A$	60.4±3
Na_2O	0.33±0.06	$CaSo_3$	-
Na_2O Equivalent	0.53±	Loss On Ignition	2.2±0.4
Cl	0.04		



شکل ۲. الیاف ماکروسنتتیک و ابعاد آن‌ها

Fig. 2. Macrosynthetic fibers and their dimensions

اینصورت باعث کاهش کیفیت مقاومت لازم بتن غلتکی می شود[۱۴] در این پژوهش نسبت آب به سیمان بر اساس آزمایش وب (Vebe) مطابق استاندارد ASTM C۱۱۷۶ برای کلیه آزمونه ها انجام و از آب شهری دماوند جهت ساخت آزمونه ها استفاده شده است.

۳-۳- طرح مخلوط

در این پژوهش، طرح مخلوط بتن بمنظور آزمایش قوام بتن بر اساس استاندارد ASTM C۱۱۷۰ انجام گرفته است. این روش برای رسیدن به کارایی بهینه، مقاومت مورد نظر بتن غلتکی و با استفاده از دستگاه وب (Vebe) انجام می شود. آزمونه های در نظر گرفته شده با درصد و ابعاد مختلف الیاف به صورت نشان داده شده در جدول ۳ نام‌گذاری شده است. همچنین در این جدول نتایج طرح مخلوط از جمله میزان سیمان، آب و زمان وب ارائه شده است. آزمونه‌های مکعبی با ابعاد ۱۵۰×۱۵۰×۱۵۰ میلیمتر جهت آزمایش آلتراسونیک و مقاومت

جدول ۲. مشخصات فنی الیاف پلیمری ماکروسنتتیک(Mex.200)
Table 2. Specifications of macrosynthetic fibers

نوع مواد اولیه	پلیمری ترموپلاستیک
رنگ	سفید شفاف
شکل	بصورت عاج دار
طول الیاف	۴۰ میلیمتر
قطر الیاف	۰/۳ میلیمتر
رزین پایه	اولفین اصلاح شده
چگالی نسبی	۰/۹۱ گرم بر سانتی متر مکعب
مقاومت کششی	۴۵۰ مگاپاسکال
مدول الاستیسیته	۱۳/۶ گیگا پاسکال
درجه ذوب	۱۶۰ درجه سانتیگراد
درجه احتراق	۴۵۰ درجه سانتیگراد
مقاومت قلیایی	عالی
جذب آب	صفر

جدول ۳. نام‌گذاری طرح مخلوط‌های مختلف در نظر گرفته شده برای درصد وزنی و ابعاد مختلف الیاف
Table 3. label of different mix designs intended for various weight amount and dimensions of fibers

نام آزمونه	نوع طرح مخلوط	میزان سیمان (کیلوگرم بر مترمکعب)	میزان آب (کیلوگرم بر مترمکعب)	زمان وب(Vebe) (ثانیه)
A	بتن غلتکی فاقد افزودنی	۳۰۵	۱۲۲	۳۰
B-1	بتن غلتکی حاوی ۱٪ وزن سیمان الیاف پلیمری ۰/۵ سانتی‌متری	۳۰۵	۱۳۸	۳۵
B-2	بتن غلتکی حاوی ۲٫۵٪ وزن سیمان الیاف پلیمری ۰/۵ سانتی‌متری	۳۰۵	۱۳۸	۳۵
B-3	بتن غلتکی حاوی ۴٪ وزن سیمان الیاف پلیمری ۰/۵ سانتی‌متری	۳۰۵	۱۳۸	۳۰
C-1	بتن غلتکی حاوی ۱٪ وزن سیمان الیاف پلیمری ۲ سانتی‌متری	۳۰۵	۱۳۸	۳۶
C-2	بتن غلتکی حاوی ۲٫۵٪ وزن سیمان الیاف پلیمری ۲ سانتی‌متری	۳۰۵	۱۳۸	۳۶
C-3	بتن غلتکی حاوی ۴٪ وزن سیمان الیاف پلیمری ۲ سانتی‌متری	۳۰۵	۱۳۸	۳۷
D-1	بتن غلتکی حاوی ۱٪ وزن سیمان الیاف پلیمری ۴ سانتی‌متری	۳۰۵	۱۳۸	۳۳
D-2	بتن غلتکی حاوی ۲٫۵٪ وزن سیمان الیاف پلیمری ۴ سانتی‌متری	۳۰۵	۱۳۸	۳۲
D-3	بتن غلتکی حاوی ۴٪ وزن سیمان الیاف پلیمری ۴ سانتی‌متری	۳۰۵	۱۳۸	۳۴

فشاری در سنین ۷، ۲۸ و ۹۰ روز و آزمونه‌های منشوری ۳۰۰*۱۰۰*۷۵ میلیمتری که از برش نمونه های استوانه‌ای با ابعاد ۳۰۰×۱۵۰ میلیمتر بدست می آید جهت آزمایش چرخه های یخ زدن و آب شدن تهیه شده است. همچنین از هر طرح مخلوط دو آزمونه مشابه ساخته می‌شود. شکل ۳ نمایی از آزمونه های ساخته شده را نشان می‌دهد.

۴- بیان و تحلیل نتایج

۴-۱- نتایج آزمایش مقاومت فشاری

مقاومت فشاری آزمونه‌های مکعبی با طول ضلع ۱۵ سانتی‌متر با استفاده از جک هیدرولیکی به دست آمده است. همچنین، وزن آزمونه ها قبل و بعد از انجام آزمایش اندازه‌گیری می‌شود. همچنین،

شکل ۳. آزمونه‌های ساخته شده در آزمایشگاه
Fig. 3. Specimens made in the laboratory

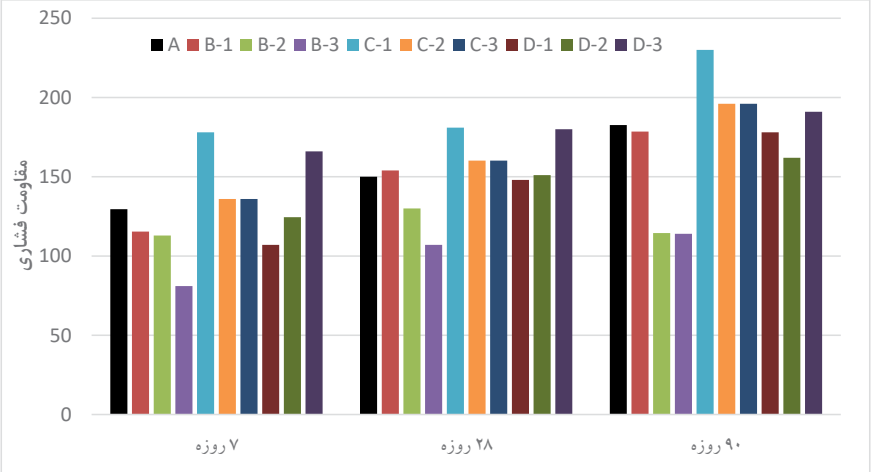
جدول ۴. نتایج آزمایش مقاومت فشاری برای آزمونه مرجع A
Table 4. Results of compressive strength test for reference specimen A

مقاومت فشاری										
شماره آزمونه	سن آزمونه	ابعاد (میلیمتر)			وزن (گرم)		F_{max} حداکثر بار محوری (kg)	T تنش $(\frac{kg}{cm^2})$	L_{VDT} حداکثر جابجایی کناره ها (mm)	نسبت پواسون
		طول	عرض	ارتفاع	اولیه	ثانویه				
IAUD-RCC-003	۷	۱۵۰	۱۵۰	۱۵۱	۷۸۸۶	۷۹۶۸	۳۶۹۰۰	۱۶۴	۱/۹۸۱	۰/۱۳۳
IAUD-RCC-003	۷	۱۵۱	۱۵۰	۱۵۰	۷۱۱۶	۷۱۹۰	۳۳۳۰۰	۱۴۸	۱/۸۶۱	۰/۱۲۵
IAUD-RCC-004	۲۸	۱۵۰	۱۵۱	۱۵۱	۷۳۴۲	۷۴۱۱	۳۹۸۰۰	۱۷۸	۲/۹۲۰	۰/۲۰۴
IAUD-RCC-004	۲۸	۱۵۱	۱۵۰	۱۵۱	۷۵۶۰	۷۵۹۰	۴۲۲۰۰	۱۸۴	۳/۴۴۰	۰/۲۲۴
IAUD-RCC-005	۹۰	۱۵۰	۱۵۰	۱۵۱	۷۴۹۵	۷۵۲۸	۴۷۹۰۰	۲۰۵	۳/۱۵۱	۰/۲۲۷
IAUD-RCC-005	۹۰	۱۵۱	۱۵۰	۱۵۰	۷۶۷۳	۷۷۵۲	۵۱۵۰۰	۲۳۵	۳/۷۶۷	۰/۲۳۷

تنش و نسبت پواسون نیز محاسبه می‌گردد. به عنوان نمونه نتایج به دست آمده برای آزمونه مرجع A در جدول ۴ ارائه شده است. در ادامه جهت محاسبه مقاومت فشاری آزمونه ها مطابق مبحث نهم مقررات ملی ساختمان ایران، ضریب تصحیح برای آزمونه استاندارد که برای آزمونه های مکعبی با طول ضلع ۱۵ سانتی‌متر مقدار ۰/۸۳ است، اعمال می‌گردد. مقدار مقاومت فشاری برای آزمونه ها با طرح مخلوط مختلف که ۷، ۲۸ و ۹۰ روز عمل‌آوری شده‌اند، به صورت شکل ۴ به دست آمده است. همچنین شکل ۵ و ۶ به صورت خاص مقاومت فشاری ۹۰ روزه آزمونه ها و درصد تغییرات آن‌ها نسبت به آزمونه مرجع A، نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، افزایش الیاف با طول ۰/۵ سانتی‌متر به طور کلی کاهش مقاومت فشاری نسبت به آزمونه مرجع را نتیجه داده است در حالی که آزمونه های حاوی الیاف ۲ سانتی‌متری در درصدهای مختلف ۱، ۲/۵ و ۴ درصد به ترتیب ۲۶، ۳۳ و ۷ درصد مقاومت فشاری را بهبود داده‌اند. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که طرح مخلوط با ۲/۵ درصد الیاف ماکروسنتتیک با طول ۲ سانتی‌متر طبق نتایج مقاومت فشاری، طرح مخلوط بهینه است.

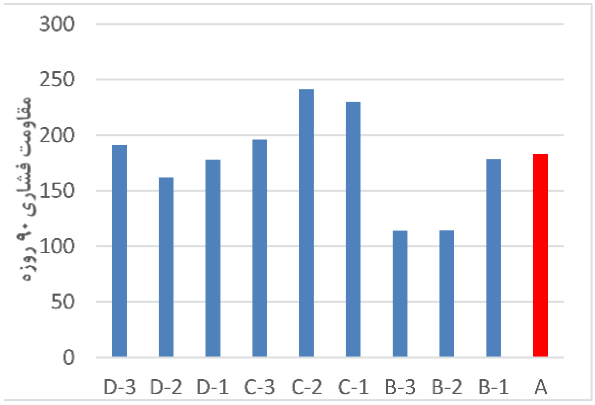
۲-۴- نتایج آزمایش آلتراسونیک

مدول دینامیکی آزمونه‌های بتن غلتکی توسط دستگاه آلتراسونیک اندازه‌گیری می‌شود. گزارش مقدماتی نتایج مربوط به آزمونه مرجع A به عنوان نمونه در جدول ۵ ارائه شده است. با استفاده از روابط ۱



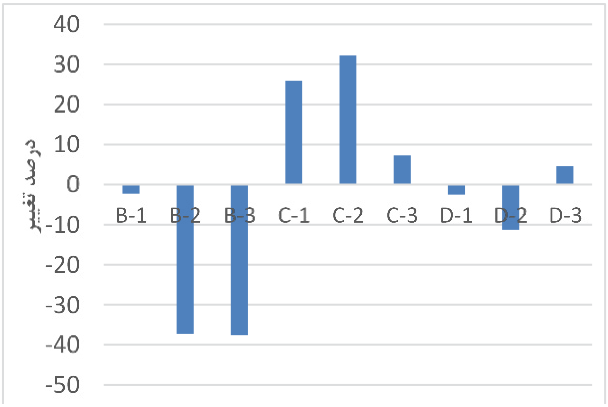
شکل ۴. مقاومت فشاری آزمونه¬های مختلف عمل‌آوری شده در طی ۷، ۲۸ و ۹۰ روز

Fig. 4. Compressive strength of the specimens¬ made in 28 ,7 and 90 days



شکل ۵. تغییرات مقاومت فشاری برای آزمونه¬ها مختلف

Fig. 5. Compressive strength changes in different specimens



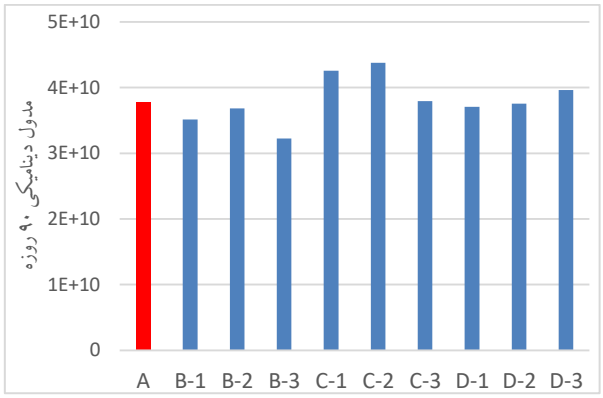
شکل ۶. درصد تغییر مقاومت فشاری ۹۰ روزه نسبت به آزمونه مرجع

Fig. 6. The Percentage of the changes in the compressive strength compared to the reference specimen

جدول ۵. نتایج آزمایش آلتراسونیک برای آزمونه مرجع A

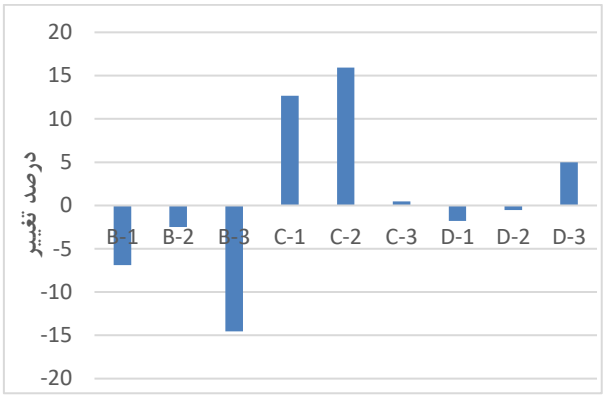
Table 5. Ultrasonic test results for reference specimen A

مدول دینامیکی توسط دستگاه آلتراسونیک							
شماره آزمونه	سن آزمونه	مدول دینامیکی در جهت طولی			مدول دینامیکی در جهت عرضی		
		زمان انتقال(μs)	سرعت پالس($\frac{m}{s}$)	سطح سیگنال(٪)	زمان انتقال(μs)	سرعت پالس($\frac{m}{s}$)	سطح سیگنال(٪)
IAUD-RCC-003	۷	۳۵/۹	۴۲۳۱	۹۵	۳۵/۴	۴۲۴۹	۹۶
IAUD-RCC-003	۷	۳۵/۵	۴۱۶۹	۱۰۰	۳۵/۴	۴۱۹۲	۱۰۰
IAUD-RCC-004	۲۸	۳۳/۱	۴۲۸۵	۷۹	۳۵/۳	۴۳۰۵	۷۵
IAUD-RCC-004	۲۸	۳۴/۴	۴۳۰۵	۱۰۰	۳۵/۳	۴۳۲۱	۷۹
IAUD-RCC-005	۹۰	۳۲/۷	۴۳۸۹	۷۰	۳۳/۵	۴۳۷۵	۱۰۰
IAUD-RCC-005	۹۰	۳۵/۱	۴۴۵۲	۸۵	۳۵/۳	۴۴۶۹	۸۸



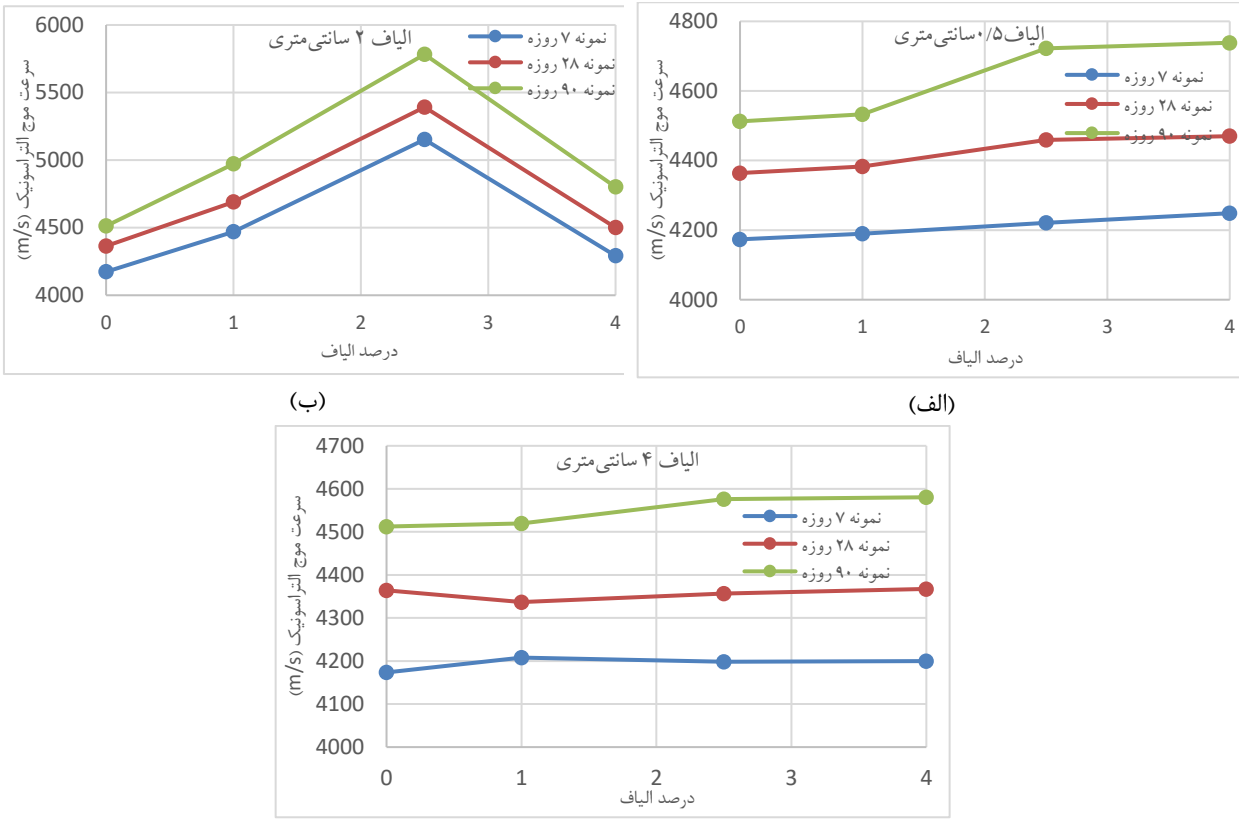
شکل ۷. مدول دینامیکی آزمونه‌های ۹۰ روزه با درصدها و طول‌های مختلف الیاف محاسبه شده با دستگاه آلتراسونیک

Fig. 7. Dynamic modulus of -90day specimens with different percentages and lengths of the fibers computed by the ultrasonic device



شکل ۸. درصد تغییرات مدول دینامیکی محاسبه شده با دستگاه آلتراسونیک نسبت به آزمونه مرجع

Fig. 8. The percentage of the changes in the dynamic modulus computed by the ultrasonic device compared to the reference specimen

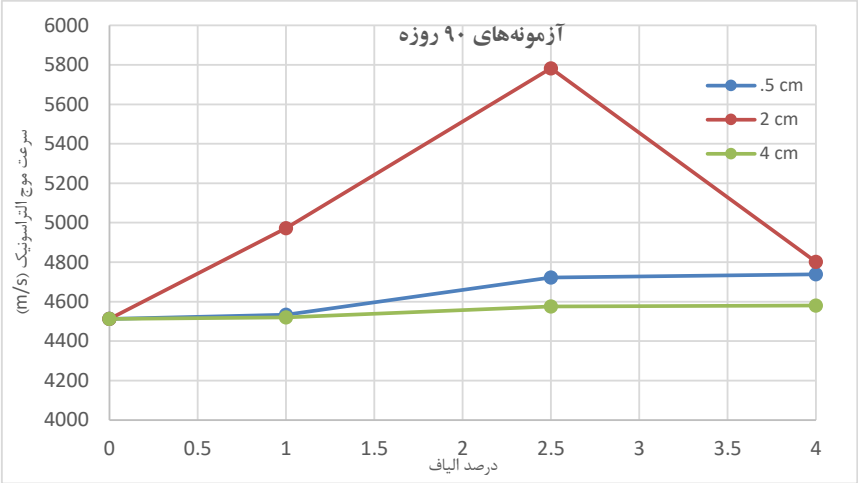


شکل ۹. سرعت امواج آلتراسونیک برای آزمونه‌های ۷، ۲۸ و ۹۰ روزه و حاوی الیاف (الف) ۰/۵، (ب) ۲ و (ج) ۴ سانتی‌متری

Fig. 9. Ultrasonic Wave Velocity for 7, 28 and 90 day specimens containing (a) 5, (b) 20 (c) 40 mm long fibers

و ۲ مدول دینامیکی آزمونه‌های بتن غلتکی محاسبه می‌شوند. مدول دینامیکی برای آزمونه های ۹۰ روزه و درصد تغییر آن‌ها نسبت به آزمونه مرجع A در شکل‌های ۷ و ۸ ارائه شده است. مطابق نتایج به دست آمده که همسو با نتایج مقاومت فشاری است، آزمونه حاوی ۲/۵ درصد الیاف ۲ سانتی‌متری بهترین عملکرد را از خود نشان داده است.

سرعت امواج آلتراسونیک در آزمونه را نیز می‌توان مورد ارزیابی قرار داد که برای الیاف با طول‌های مختلف به صورت شکل ۹ است.



شکل ۱۰. سرعت امواج آلتراسونیک برای ۹۰ روزه حاوی ابعاد و درصدهای مختلف الیاف ماکروسنتتیک

Fig. 10. Ultrasonic Wave Velocity for 90 day specimens containing different dimensions and percentages of macrosynthetic fibers

جدول ۶. نتایج آزمایش یخ زدن و آب شدن مربوط به آزمونه مرجع A

Table 6. Results of the freeze and thaw test for reference specimen A

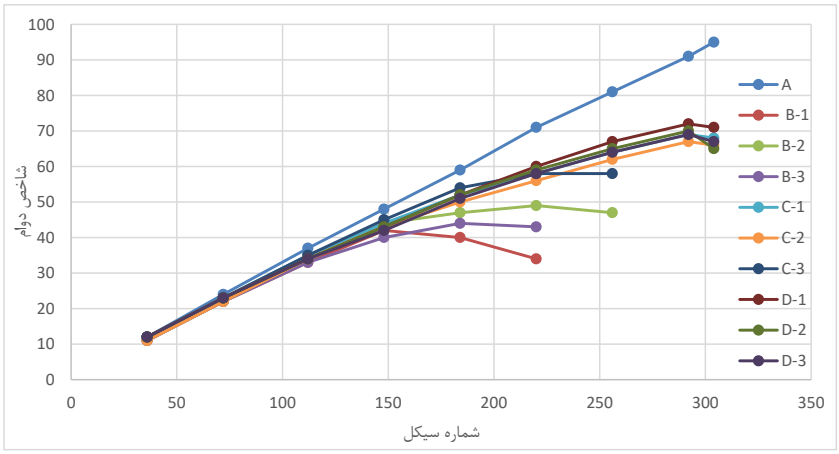
شماره آزمونه	فرکانس اولیه (f)	شماره سیکل (N)	فرکانس طولی اصلی بعد از N سیکل (f1)	مدول الاستیسیته دینامیکی نسبی	شاخص دوام	توضیحات (وضعیت ظاهری آزمونه)
A	۶۴۶۷	۳۶	۶۴۴۵	۹۹	۱۲	سالم، حفظ وضعیت کلی قبل از آزمایش
		۷۲	۶۴۳۳	۹۹	۲۴	سالم، حفظ وضعیت کلی قبل از آزمایش
		۱۱۲	۶۴۱۲	۹۸	۳۷	سالم، حفظ وضعیت کلی قبل از آزمایش
		۱۴۸	۶۳۸۹	۹۸	۴۸	سالم، حفظ وضعیت کلی قبل از آزمایش
		۱۸۴	۶۳۶۳	۹۷	۵۹	سالم، حفظ وضعیت کلی قبل از آزمایش
		۲۲۰	۶۳۴۲	۹۶	۷۱	سالم، حفظ وضعیت کلی قبل از آزمایش
		۲۵۶	۶۲۹۹	۹۵	۸۱	سالم، حفظ وضعیت کلی قبل از آزمایش
		۲۹۲	۶۲۸۲	۹۴	۹۱	سالم، حفظ وضعیت کلی قبل از آزمایش
		۳۰۴	۶۲۷۸	۹۴	۹۵	سالم، کمی ریزش دانه در گوشه‌ها و لبه‌های آزمونه

همچنین سرعت امواج آلتراسونیک در آزمونه‌های ۹۰ روزه برحسب مقدار الیاف موجود در آزمونه ها به صورت شکل ۱۰ است. مشابه با نتایج پیشین، طبق سرعت موج آلتراسونیک نیز می‌توان نتیجه گرفت که افزودن ۲/۵ درصد الیاف ماکروسنتتیک ۲ سانتی‌متری موجب بیشترین بهبود در بتن غلتکی می‌شود.

۳-۴- نتایج آزمایش یخ زدن و آب شدن

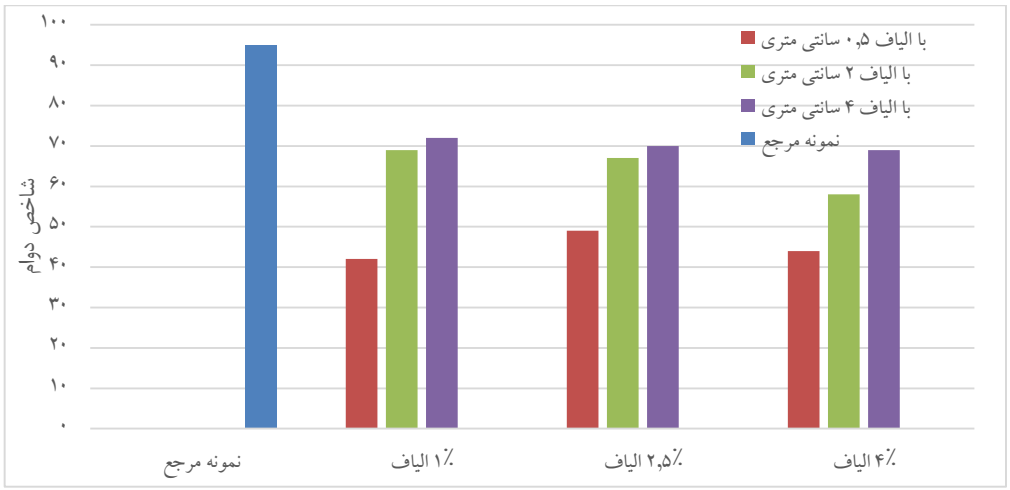
جدول ۶ نمونه‌ای از نتایج به دست آمده از آزمایش چرخه یخ زدن و آب شدن برای آزمونه مرجع A نشان می‌دهد.

در ادامه جهت بررسی اثر الیاف بر مقاومت آزمونه تحت چرخه‌های یخ زدن و آب شدن، شاخص دوام آزمونه‌ها مورد مقایسه. شکل۱۱ شاخص دوام آزمونه‌های با درصدها و طول‌های مختلف الیاف بر حسب شماره سیکل و شکل ۱۲ مقدار نهایی شاخص دوام آزمونه ها را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود به طور کلی، مقادیر شاخص دوام برای آزمونه بدون الیاف (طرح مخلوط A)، بیشتر از شاخص دوام سایر آزمونه‌ها می‌باشد و در واقع می‌توان نتیجه گرفت که افزودن الیاف موجب کاهش مقاومت بتن غلتکی در برابر چرخه‌های یخ زدن و آب شدن می‌شود. البته درصد بیشتر الیاف ماکروسنتتیک نسبت به درصدهای کمتر آن، بهبود نسبی دوام آزمونه ها را نتیجه داده است (در هر سه اندازه استفاده شده برای



شکل ۱۱. شاخص دوام آزمونه‌های بتن غلتکی برحسب تعداد چرخه‌های یخ زدن و آب شدن

Fig. 11. Durability Index of RCC specimens in terms of the number of freezing-thawing cycles



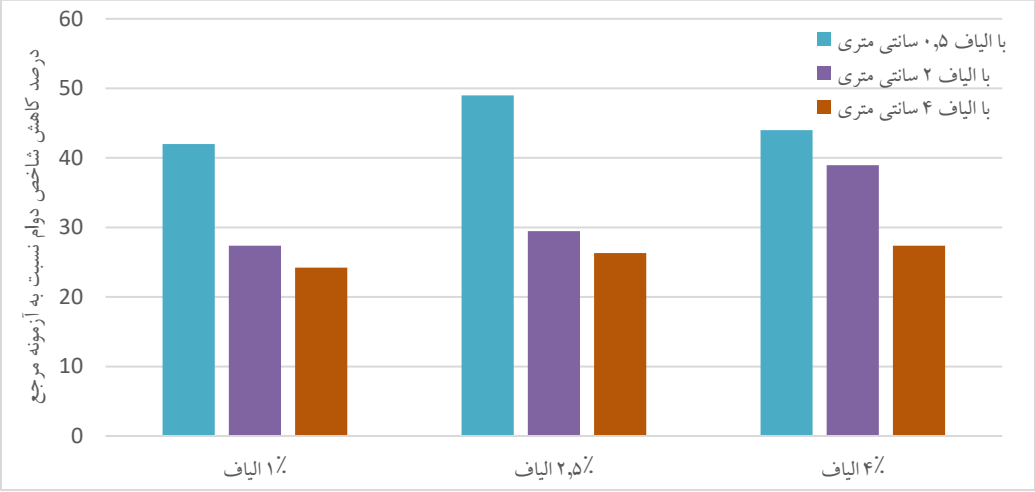
شکل ۱۲. شاخص دوام آزمونه¬های بتن غلتکی بر حسب درصد و طول الیاف ماکروسنتتیک به کار رفته در آن‌ها

Fig. 12. Durability Index of RCC specimens in terms of percentage and length of macrosynthetic fibers

الیاف درصد بیشتر الیاف نسبت به درصدهای کمتر آن شاخص دوام بیشتر را نتیجه داده است). شکل ۱۳ درصد کاهش شاخص دوام آزمونه ها نسبت به آزمونه بدون الیاف (A) را نشان می‌دهد. مطابق با نتایج نشان داده شده در این شکل، به طور میانگین، افزودن الیاف ماکروسنتتیک، کاهش ۳۰ درصدی شاخص دوام آزمونه های بتن غلتکی را به همراه داشته است. این مساله می‌تواند به دلیل عدم پخش یکنواخت الیاف در تمام بتن و تجمع آن‌ها در برخی نقاط باشد. جهت بررسی بیشتر نیاز است تا نحوه پراکندگی الیاف در درون آزمونه های بتن غلتکی مورد ارزیابی قرار گیرند.

۵- نتیجه‌گیری

در این پژوهش، اثر استفاده از الیاف ماکروسنتتیک با طول‌ها و مقادیر وزنی مختلف بر مقاومت فشاری و دوام بتن‌های غلتکی در برابر چرخه‌های یخ زدن و آب شدن مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور، ۱۰ طرح مخلوط مختلف، که در آن‌ها ۱، ۲/۵ و ۴ درصد وزنی سیمان الیاف با طول‌های ۰/۵، ۲ و ۴ سانتی‌متری در نظر گرفته شد. جهت تعیین مقاومت فشاری آزمونه ها جک هیدرولیکی و دستگاه آلتراسونیک استفاده شدند. همچنین، آزمونه ها تحت ۳۰۰ چرخه یخ زدن و آب شدن قرار داده شدند. برخی از نتایج به دست آمده از این تحقیق عبارتند از:



شکل ۱۳. درصد کاهش شاخص دوام آزمونه‌های حاوی مقادیر و طول‌های مختلف الیاف نسبت به آزمونه بدون الیاف ماکروسنتتیک

Fig. 13. Percentage of decrease in durability index of specimens containing different values and lengths of fibers compared to macrosynthetic fibers

- با انجام آزمایش مقاومت فشاری با استفاده از جک هیدرولیکی مشاهده شد که افزودن الیاف ۰/۵ سانتی‌متری منجر به کاهش مقاومت فشاری و الیاف‌های ۲ و ۴ سانتی‌متری افزایش مقاومت فشاری می‌شود.
- آزمونه حاوی ۲/۵ درصد الیاف ماکروسنتتیک با طول ۲ سانتی‌متر طبق نتایج مقاومت فشاری، که افزایش ۳۳ درصدی مقاومت فشاری را نتیجه داده است، به عنوان طرح مخلوط بهینه معرفی می‌گردد.
- ارزیابی نتایج مدول دینامیکی به دست آمده از آزمایش آلتراسونیک و سرعت موج آلتراسونیک در آزمونه ها نیز نتایجی مشابه با آزمایش مقاومت فشاری نشان داده است.
- مطابق با آزمایش آلتراسونیک نیز آزمونه حاوی ۲/۵ درصد الیاف ماکروسنتتیک با طول ۲ سانتی‌متر، به عنوان طرح مخلوط بهینه انتخاب می‌شود.
- کاهش مقاومت فشاری آزمونه های حاوی الیاف ۰/۵ سانتی‌متری می‌تواند ناشی از تجمع الیاف و عدم پخش یکنواخت آن‌ها در آزمونه باشد.
- نتایج آزمایش‌های چرخه یخ زدن و آب شدن نشان می‌دهد که به طور کلی افزودن الیاف ماکروسنتتیک منجر به کاهش دوام آن‌ها در برابر چرخه‌های یخ زدن و آب شدن می‌شود.
- در حالت استفاده از الیاف، افزایش درصد الیاف در آزمونه های دارای الیاف ۴ سانتیمتری تأثیری در دوام نداشته است و الیاف ۲ سانتیمتری کاهش داشته است و در الیاف ۰/۵ سانتیمتری به صورت کاهشی وافزایشی بوده است.
- هر چه طول الیاف به کار رفته در آزمونه های بتن غلتکی کوچکتر باشد، میزان کاهش شاخص دوام در برابر چرخه‌های یخ زدن و آب شدن بیشتر است.
- کاهش دوام آزمونه های بتن غلتکی حاوی الیاف ماکروسنتتیک را می‌توان به علت عدم قرارگیری همگن الیاف در آزمونه ها دانست.

۶- مراجع

[1] Harrington, F. Abdo, W. Adaska, C.V. Hazaree, H. Ceylan, F. Bektas, Guide for roller-compacted concrete pavements,(2010).

[2] Ministry of Industry and Mines Deputy Development, Planning and Technology, Technical knowledge codification of polypropylene fiber reinforced concrete mixture design in order to achieve lighter and more resistant concrete pavement, (2009) (in Persian)

[3] A. Rezaei, M.R. Keymanesh, Investigating the effect of different fibers on tensile and compressive strength of roller-compacted concrete pavement, in: International conference on civil engineering, Permanent secretariat of

the conference, Tehran, 2016. (in Persian)

[4] N. Taheri, S. Ahmadi, M. Malekiha, The effect of using polypropylene fibers on concrete pavement, in: third international conference on new achievements in civil engineering, University of Applied Sciences and Technology, 2016. (in Persian)

[5] V. Naderi Zarnaghi, A. Eftekhari, A. Foroghi Asl, Improvement of mechanical properties of roller-compacted concrete pavement using polymeric fibers, in: 6th National Conference of Concrete, Tehran, 2014. (in Persian)

[6] M. Madhkhan, S. Nouruzi, Reinforcing roller-compacted concrete pavement with woven glass fiber networks, in: 9th International Congress on Civil Engineering, Isfahan university of technology, 2012. (in Persian)

[7] H. Rooholamini, A. Hassani, M. Aliha, Evaluating the effect of macro-synthetic fibre on the mechanical properties of roller-compacted concrete pavement using response surface methodology, Construction and Building Materials, 159 (2018) -517-529.

[8] J. LaHucik, S. Dahal, J. Roesler, A.N. Amirkhanian, Mechanical properties of roller-compacted concrete with macro-fibers, Construction and Building Materials, 135 (2017) 440-446.

[9] F. ZHANG, S.-c. LI, S.-k. LI, Three-dimensional Random Damage Prediction Model of Concrete Caused by Freeze-thaw, Journal of Civil, Architectural & Environmental Engineering, 1. (2011)

[10]C. Hazaree, H. Ceylan, K. Wang, Influences of mixture composition on properties and freeze–thaw resistance of RCC, Construction and Building Materials, 25(1) (2011) 313-319.

[11]N. Delatte, C. Storey, Effects of density and mixture proportions on freeze–thaw durability of roller-compacted concrete pavement, Transportation research record, 1914(1) (2005) 45-52

[12]M. R. Ahadi, K. Siamardi, Laboratory study of durability of roller-compacted concrete pavement under freezing and melting cycles, Journal of management system 26(70), (2012). (in Persian)

[13]K. Siamardi, O. Taherianpour, Evaluation of the effect of cement paste volume on the resistance of roller-compacted concrete pavement mixtures without chemical air entrainment additives under freezing cycles, in: urban management and sustainable development, Islamshahr, 2013. (in Persian)

[14]Vice president of Strategic Planning and supervision, guideline for design and construction of rolled compacted concrete pavements, 2009. (In Persian)

[15]ACI, Report on roller compacted concrete pavement, in: Farmington Hills, MI: American Concrete Institute, 1995, pp15-3.

[16]ASTM. Committee C-9 on Concrete Aggregates, Standard test method for resistance of concrete to rapid freezing and thawing, ASTM International, 2008.

چگونه به این مقاله ارجاع دهیم

A. *Shafiepour, SH. Shabani, F. Faezi, Effects of Dimensions and Amount of Polymer Fibers on the Strength and Durability of Roller-Compacted Concrete under Freeze-Thaw cycling, Amirkabir J. Civil Eng., 52(10) (2021) 2593-2606.*

DOI: 10.22060/ceej.2019.15840.6052

این صفحه عمداً خالی است