

بررسی تاثیر الیاف پلی پروپیلن (FRP) بر خصوصیات مکانیکی بتن غلتکی با

کاربرد سرعت امواج اولتراسونیک در مناطق سردسیر

سعید توتونچی، دانشجوی دکتری مهندسی عمران- مهندسی و مدیریت ساخت، گروه مهندسی عمران، واحد تبریز،

دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران

روزبه دبیری (مسئول مکاتبات)، استادیار، گروه مهندسی عمران، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران

E-mail: rouzbeh_dabiri@iaut.ac.ir

صمد دیلمقانی، استاد، گروه مهندسی عمران، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران

پذیرش: ۱۳۹۹/۱۲/۱۱

دریافت: ۱۳۹۹/۰۹/۲۴

چکیده

هدف اصلی از تحقیق حاضر، بررسی امکان ساخت بتن غلتکی جهت ساخت روسازی راه با مقاومت و توانایی باربری کافی و همزمان پایدار در برابر شرایط یخبندان براساس آزمون های غیر مخرب می باشد. بدین منظور از الیاف پلی پروپیلن که نسبت به عوامل خورنده و فعال محیط دارای حساسیت کمتر و مقاومت بالاتری می باشند استفاده شده است. الیاف پلی پروپیلن به میزان ۰/۱، ۰/۲، ۰/۳، ۰/۴، ۰/۵ و ۰/۶ درصد حجمی به نمونه های بتن غلتکی افزوده شده و خصوصیات مکانیکی آن در مناطق سردسیر ارزیابی شده است. در تحقیق حاضر، آزمون های آزمایشگاهی مقاومت های فشاری، کششی غیر مستقیم، خمشی، دوام (سیکل های ذوب و یخبندان)، جذب آب و سرعت امواج اولتراسونیک انجام گرفته است. نتایج بدست آمده نشان می دهد، افزودن ۰/۳ درصد الیاف پلی پروپیلن توانایی باربری نمونه های بتن غلتکی را افزایش داده و همچنین این مقدار الیاف پلی پروپیلن میزان درصد افت وزنی در نمونه های بتن غلتکی در سیکل های ذوب یخبندان به کمترین میزان رسانده است. همچنین، بین نتایج حاصل از آزمون سرعت امواج اولتراسونیک و دیگر آزمایش ها هماهنگی مناسب وجود داشته و امکان پیش بینی رفتار نمونه های بتن غلتکی با استفاده از این آزمون موجود است. بطوریکه سرعت اولتراسونیک نمونه های بتن غلتکی با افزایش تعداد سیکل های ذوب و یخبندان بدلیل بالا رفتن درصد افت وزنی کاهش یافته است.

واژه های کلیدی: بتن غلتکی، روسازی راه، الیاف پلی پروپیلن، مناطق سردسیر، سرعت امواج اولتراسونیک

به روش‌های غیر مخرب موسوم می‌باشند. از میان روش‌های غیر مخرب موجود، استفاده از امواج اولتراسونیک^۲ علاوه بر اینکه امکان سختی سنجی در مورد سازه واقعی را بدست می‌دهد، برخی از عیوب خطر ساز را نیز می‌تواند آشکار کند. به طور کلی زمان عبور، میان تضعیف و محتوای فرکانسی امواج گذرانده از داخل مواد، همبستگی نزدیکی با خواص الاستیکی آنها دارد [Nissoux, 1987]. استفاده از بتن غیر مسلح به جهت کیفیت شکنندگی آن عمدتاً، در سازه‌های وزنی کاربرد زیادی دارد. این عیب اساسی در عمل با تسلیح آن با استقرار میلگردهای فولادی در جهت نیروهای کششی برطرف می‌گردد. بررسی‌های بعدی نشان دادند که در محیط‌هایی با تهاجم کلریدی با نفوذ یون کلر به درون بتن، فولاد بتدریج خورده شده و با افت میزان درصد فولاد باعث کاهش مقاومت و دوام سازه می‌گردد. یکی از راه‌حل‌های مناسب برای کاهش خوردگی و آسیب‌های ناشی از تهاجم اسیدی، خوردگی کلریدی، تهاجم سولفات، کربوناسیون و واکنش‌های قلیایی استفاده از مواد و مصالحی است که نسبت به عوامل خورنده و فعال محیط حساسیت کمتر و مقاومت بالاتری داشته باشند و الیاف پلیمری از جمله الیاف پلی پروپیلنی می‌توانند انتخاب مناسب و موجهی در این مورد باشند [Brown, Shukla and Natarajan, 2002].

از سوی دیگر، از آنجا که اکثر روسازی‌های بتن غلتکی در معرض عوامل جوی و به خصوص رطوبت، یخبندان و بارهای ناشی از ترافیک قرار می‌گیرند به مرور زمان دچار استهلاک شده و بروز خرابی در آنها اجتناب ناپذیر می‌شود. در این تحقیق سعی شده است ابتدا، الیاف پلی پروپیلن^۳ به نمونه‌های بتن غلتکی افزوده شده تا تاثیرگذاری آن در خصوصیات مکانیکی نمونه‌های بتن غلتکی مناطق سردسیر که تحت شرایط ذوب و یخبندان قرار می‌گیرند ارزیابی شود. در ادامه، تلاش شده است تا با انجام آزمایش اولتراسونیک ارتباطی مناسب بین ویژگی‌های نمونه‌های بتن غلتکی و سرعت امواج در مناطق سردسیر تعیین شود تا بتوان تا حدودی رفتار روسازی‌های بتن غلتکی را با استفاده از آزمایش‌های غیر فصلنامه مهندسی حمل‌ونقل / سال سیزدهم / شماره سوم (۵۲) / بهار ۱۴۰۱

در سالهای اخیر کاربرد روسازی بتن غلتکی^۱ در بزرگراهها، باندهای فرودگاه و پایانه‌های کالا به دلیل اجرای آسان، ظرفیت توانایی باربری بالا و امکان بهره بردای سریع از راه جهت عبور وسائط نقلیه، کالا و مسافر نسبتاً افزایش یافته است. بتن غلتکی مشابه با بتن‌های معمولی از سیمان، آب و سنگدانه‌ها تشکیل شده است. با این تفاوت که میزان نسبت آب و سیمان کمتر بوده و مقدار اسلالمپ برابر صفر می‌باشد. از دیگر امتیازات بتن غلتکی می‌توان به این مورد اشاره کرد که به قالب بندی و آرماتور گذاری جهت مسلح سازی نیاز نداشته و سطح آنرا همانند بتن معمولی می‌توان بصورت مسطح و صاف اجرا نمود. لایه‌های روسازی در این نوع روسازی با استفاده از غلتک‌های ارتعاشی قابل اجرا می‌باشد [Vahedifard, Nili and Meehan, 2010]. بنابراین، وضعیت بتن غلتکی باید طوری باشد که بتواند در عین حال که وزن غلتک را تحمل می‌کند، میزان رطوبت بین مصالح نیز بگونه‌ای بایستی باشد تا سیمان مورد نیاز را جهت چسباندن سنگدانه‌ها بتواند منتقل نماید. در بتن‌های معمولی میزان توانایی باربری تابعی از میزان هیدراتاسیون سیمان می‌باشد در حالیکه در بتن غلتکی توانایی باربری همزمان متاثر از تراکم و هیدراتاسیون سیمان است. زیرا، افزایش اصطکاک بین مصالح مخلوط در بتن بدلیل تراکم و کاهش فضای خالی می‌تواند در توانایی باربری بتن غلتکی موثر بوده و همچنین تراکم کافی و حداکثر چگالی در رسیدن به حداکثر مقاومت و توانایی باربری بتن غلتکی می‌تواند تاثیرگذار باشد [Chohn, Hong and Lee, 2017]. امروزه به منظور تعیین مقاومت فشاری بتن غالباً از روش مغزه برداری استفاده می‌شود. این روش سازه را دچار آسیب می‌کند و سازه بازسازی شده مقاومت اولیه خود را باز نخواهد یافت. روش‌های دیگری نیز وجود دارند که بدون ایجاد آسیب فیزیکی و شیمیایی در سازه بتنی برخی از خواص الاستیک از جمله مقاومت فشاری آن را تخمین می‌زنند که

مخرب در میدان پیش بینی نمود. در ادامه به شرح مراحل انجام تحقیق پرداخت شده است.

۲. مرور مطالعات گذشته

امروزه با توسعه شبکه حمل و نقل، بخش اعظمی از درآمد کشورها صرف تعمیر و نگهداری راه‌ها می‌شود. روسازی‌های آسفالتی علاوه بر اجرای آسان آن، معایبی از قبیل تغییر خواص آن با دما و تغییر شکل‌های دائمی در سطح روسازی دارد. در مقابل، روسازی‌های بتنی هزینه‌های تعمیر و نگهداری کمتری در مقایسه با روسازی‌های آسفالتی داشته و عمر مفید استفاده از آن به مراتب بیشتر است. بنابراین، روسازی بتن غلتکی یکی از اقتصادی‌ترین و با دوام‌ترین انواع روسازی است که در سطح گسترده‌ای در روسازی‌های با ترافیک سنگین مورد استفاده قرار می‌گیرد، با توجه به اینکه روسازی‌های بتن غلتکی از سرعت بالاتر اجرایی و هزینه‌های به مراتب کمتری در مقایسه با روسازی‌های بتنی معمولی برخوردار بوده و نیاز به حداقل تعمیر و نگهداری را دارند، لذا می‌توانند جایگزین خوبی برای روسازی آسفالتی بوده و از هزینه‌های دولت برای تعمیر و نگهداری راه‌ها بکاهند [Taherkhani and Sazgar, 2019]. بتن‌های غلتکی با توجه به اینکه دارای میزان آب کمتری است و در مقایسه با بتن‌های معمولی دارای درجه تراکم بالایی می‌باشد، بنابراین انتظار می‌رود از نظر مقاومت در برابر شرایط ذوب و یخ رفتاری مشابه و یا بهتر از بتن معمولی داشته باشد [La Hucik and Roesler, 2018]. از آنجا که اکثر روسازی‌های بتن غلتکی در معرض عوامل جوی و بخصوص رطوبت، یخبندان و بارهای ناشی از ترافیک قرار می‌گیرند به مرور زمان دچار استهلاک شده و بروز خرابی در آنها اجتناب ناپذیر می‌شود. در حالت کلی، برای پیشگیری خرابی ناشی از یخ زدگی در بتن، استفاده از مواد هوازا در مخلوط بتن امری متداول است. مواد افزودنی هوازا کاربرد عملی محدودی در مخلوط‌های بتن غلتکی داشته‌اند [Yang, 1994]. مطالعات گذشته انجام یافته در

فصلنامه مهندسی حمل و نقل / سال سیزدهم / شماره سوم (۵۲) / بهار ۱۴۰۱

مورد رفتار بتن غلتکی تحت اثر شرایط ذوب و یخبندان توسط غفوری و کای، واحدی فرد و همکاران و لاهوسیک و روئسلر انجام یافته نشان دهنده آن است که نمونه‌های بتن غلتکی که در انتهای ۳۰۰ سیکل به مدول دینامیکی ۸۰ درصد و بالاتر می‌رسند [Ghafoori and Cai, 1998, Vahedifard, Nili and Meehan, 2010, La Hucik and Roesler, 2018] همچنین، دلالت و استوری در مطالعات خود مشاهده نمودند در نمونه‌های بتن غلتکی با عیار سیمان ۳۲۶ کیلوگرم بر متر مکعب در انتهای ۳۰۰ سیکل بیشترین افت وزنی بوقوع پیوسته است [Delatte and Storey, 2005]. همچنین مردانی آقابگلو و همکاران، چتان هزاره و همکاران در تحقیقات خود به این نتیجه رسیدند در نمونه‌های بتن غلتکی با عیار سیمان ۴۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب، بعد از ۳۰۰ سیکل میزان مدول الاستیسیته دینامیکی کمتر از ۸۰ درصد شده است [Mardani-Aghabaglou, Cakir and Ramyar, 2013; Hazare, Ceylan and Wang, 2011]. همچنین، چتان هزاره و همکاران در مطالعه تحقیقی دیگری، خاصیت موئینگی را که نقش مهمی در رفتار بتن در برابر سیکل یخبندان و ذوب دارد را با لحاظ نمودن متغیرهای مقدار سیمان، نسبت آب به سیمان، پرداخت سطحی هنگام بتن ریزی و سن بتن غلتکی مورد بررسی قرار داده و دریافتند رابطه معناداری بین متغیرهای مذکور و مقاومت بتن در برابر یخبندان و ذوب وجود دارد. بطور کلی مقدار جذب سطحی با بالا رفتن نسبت آب به سیمان افزایش یافته و با عملیات هیدراتاسیون سیمان و افزایش سن روند افزایش خواهد داشت. پرداخت سطحی اثر زیادی در جذب سطحی یا عدم وقوع آن نخواهد داشت [Hazare, Ceylan and Wang, 2011]. الکساندره و راموس مقایسه‌ای بین واکنش بتن با مقاومت نرمال و بتن با مقاومت بالا در مقابل سیکل‌های یخبندان و ذوب در جایگزینی افزودنی‌های نرم با تکه‌های بتن بازیافتی انجام داده‌اند که در آن خصوصیات زبری سطح، تغییر طول و سرعت امواج اولتراسونیک در درصدهای متنوع

[2009]. ولی تعیین طرح اختلاط نمونه های بتن غلتکی با الیاف هنوز در مرحله تحقیق و توسعه قرار دارد. بویژه هنگامیکه از این الیاف استفاده می گردد باعث بهبود دوام، توانایی باربری و مقاومت خمشی می گردد [Neocleous et al, 2011; Lin et al, 2013; Karadelis and Yougui, 2015; Fakhri, Amosoltani and Aliha, 2017]. اگرچه عملکرد الیاف در بتن غلتکی تابع میزان درصد حجمی، نوع، اندازه و مقاومت کششی آنها می باشد. الیاف مصنوعی از نظر جنس به چهار حالت آرامید، پلی الفین، آکرلیک و کربنی تقسیم می شوند. از نقطه نظر کاربرد و اندازه الیاف به دو بخش فرعی میکرو به طول (۵ تا ۳۰ میلیمتر) و ماکرو به طول (۳۰ تا ۶۰ میلیمتر) تقسیم می گردند. از الیاف میکرو بیشتر برای کاهش انقباض ها و ترک ها استفاده می گردد. در حالیکه از الیاف ماکرو برای بهبود مقاومت در برابر کشش و رفتار پس از ترک خوردگی بتن مورد استفاده قرار می گیرد [Rooholamini, Hassani and Aliha, 2018]. در زمینه کاربرد الیاف ماکرو در روسازی های بتنی و بویژه بتن غلتکی می توان به مطالعات انجام یافته توسط مدح خان و همکاران، لاهوسیک و همکاران در سال ۲۰۱۲ و آلگین و گرگینجی اشاره نمود [Madhkhan, Azizkhani and Harchegani, 2012; La Hucik and Roesler, 2018; Algin and Gerginci, 2020]. در زمینه استفاده از الیاف میکرو در بتن غلتکی مطالعات مختلفی انجام گرفته است. فروغی و نادری با افزودن الیاف پلی پروپیلن به نمونه های بتن غلتکی مشاهده کردند مقاومت فشاری و کششی غیر مستقیم نمونه ها به میزان ۲۰ درصد افزایش یافته است [Foroughi and Naderi, 2012]. سبحانی و همکاران در مطالعات خود دریافتند افزودن الیاف پلی پروپیلن باعث بهبود خواص مکانیکی، فیزیکی و مقاومت سایشی روسازی بتن غلتکی شده است [Sobhani et al, 2018]. علی و همکاران به بررسی مزایای اقتصادی و زیست محیطی الیاف فلزی، شیشه و میکرو پلی پروپیلن در قطعات سیمانی الیافی مورد استفاده در روسازی های بتنی درزدار ساده پرداخته و

جایگزینی سنجیده شد. نتیجه تحقیق در این مورد حاکی از کاهش مقاومت در اثر این جایگزینی در هردو بتن نرمال و بخصوص در بتن با مقاومت بالا بود. افزودنی های حباب زا اثر کمی در مقاومت بتن در برابر سیکل یخبندان و ذوب^۴ در بتن های با مقاومت بالا دارند [Alexandre and Ramos, 2016]. پورعبدا... و دبیری در مطالعه خود، تاثیر دوده سیلیسی به همراه ماده هواساز در خصوصیات مکانیکی روسازی بتن غلتکی در مناطق سردسیر مطالعه نمودند. نتایج بدست آمده نشان داد هنگامیکه ۳ درصد دوده سیلیسی به همراه ۲٪ ماده هوازا به مصالح بتن غلتکی افزوده می شود براساس نتایج آزمایشات ذکر شده بهترین کارایی را دارد [Pourabdollah and Dabiri, 2017]. از سوی دیگر، استفاده از بتن غیر مسلح به جهت کیفیت شکنندگی آن، عمدتاً در سازه های وزنی و روسازی های بتنی و بویژه بتن غلتکی کاربرد دارد. این عیب اساسی بتن، در عمل با تسلیح آن با استقرار میلگردهای فولادی در جهت نیروی کششی برطرف می گردد. بتن های مسلح در محیط های با تهاجم کلریدی، با نفوذ یون کلر به درون بتن، فولاد بتدریج خورده شده و با افت میزان درصد فولاد، باعث کاهش مقاومت دوام سازه می گردد. راه حل مناسب و بهتر برای کاهش خوردگی آسیب های ناشی از تهاجم اسیدی، خوردگی کلریدی، تهاجم سولفاته، واکنش های قلیایی استفاده از مصالحی است که نسبت عوامل خورنده و فعال محیط حساسیت کمتر و مقاومت بالاتری داشته باشند و الیاف پلیمری از جمله الیاف پلی پروپیلن می توانند انتخاب مناسب و موجهی در این مورد باشند. الیاف بصورت درصد حجمی از بتن، مورد استفاده قرار می گیرد و الیاف در کاهش جمع شدگی پلاستیک اولیه بتن نقش موثری دارند. در صورتیکه الیاف به مقدار مناسب به بتن افزوده شود، مقاومت ترک خوردگی افزایش یافته و عرض ترک نیز کاسته می شود [La Hucik and Roesler, 2018]. عموماً، طرح اختلاط نمونه های بتن غلتکی بر اساس آئین نامه های ۳۵۴ نشریه سازمان برنامه و بودجه یا ACI 325 انجام می گیرد [ACI 325.10, 2000; Code.354,

بررسی تاثیر الیاف پلی پروپیلن (FRP) بر خصوصیات مکانیکی بتن غلتکی با کاربرد سرعت امواج اولتراسونیک در مناطق سردسیر

شرایط مرطوب و یخبندان پژوهش‌های مختلف صورت گرفته نشان می‌دهد که استفاده از مواد هوازا به میزان ۲ درصد وزنی سیمان به همراه دوده سیلیسی را به صورت توام امکان پذیر بوده و سبب بهبود رفتار بتن می‌گردد. طبق استاندارد ACI C325 این ترکیب برای حداقل مقاومت فشاری ۲۸ روزه مورد نیاز برای مخلوط‌های بتن غلتکی مناسب می‌باشد. ماده هوازا^۶ بکار رفته در این تحقیق از نوع Conplast AEA شرکت فسراک [FOSROC] است. این ماده بصورت مایع به جهت مخلوط شدن یکنواخت تهیه شده و بر اساس استاندارد ASTM C260 که برای بتن معمولی بوده در تحقیق حاضر مورد استفاده قرار گرفته و مشخصات این ماده در جدول (۴) ارائه گردیده است.

جدول ۱. خصوصیات شیمیایی سیمان پرتلند نوع ۲ مورد استفاده

سیمان پرتلند نوع ۲	خصوصیات شیمیایی
21.7	SiO ₂
5.22	Al ₂ O ₃
3.74	Fe ₂ O ₃
2.22	MgO
0.58	K ₂ O
0.22	Na ₂ O
1.23	CaO
-	TiO ₂
-	MnO
48.48	C ₃ S
26.65	C ₂ S
7.49	C ₃ A
10.55	C ₄ AF

جدول ۲. آنالیز فیزیکی دوده سیلیسی مصرفی [Betonshimi Mahan]

ساختر	بی شکل
شکل ذرات	کروی
دانه بندی ذرات	۰/۳-۰/۲ میکرون
چگالی فله ای	۲۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب

نتیجه گرفتند با استفاده از الیاف و مقدار مصرف مناسب در قطعات سیمانی الیافی، می‌توان روسازی‌های اقتصادی تر و سازگار تر با محیط زیست، احداث کرد اشاره نمود [Ali, Qureshi and Kurda, 2020]. با مشاهده تحقیقات صورت گرفته می‌توان دریافت تاثیر شرایط مناطق سردسیر و ذوب و یخبندان بر روی نمونه‌های بتن غلتکی حاوی الیاف میکرو پلی پروپیلن مطالعه نگردیده است که از نوع آوری‌های تحقیق حاضر می‌باشد. همچنین در این مطالعه سعی شده تا با انجام آزمایش سرعت امواج اولتراسونیک یک ارتباط منطقی بین نتایج آزمون‌های غیر مخرب و خصوصیات بتن غلتکی در منطق سردسیر ارائه نمود که در ادامه به شرح آن پرداخته شده است.

۳. مواد و مصالح

در ساخت نمونه‌های این تحقیق از سیمان پرتلند نوع ۲ که از کارخانه سیمان صوفیان تهیه شده استفاده گردیده است. خصوصیات شیمیایی سیمان پرتلند نوع ۲ طبق جدول (۱) ارائه شده است. همچنین، آب مور نیاز از شبکه آبرسانی شهر تبریز تامین گردیده است. یکی از شیوه‌های متداول برای کاهش خرابی ناشی از ذوب و یخبندان در بتن غلتکی، استفاده از افزودنی اصلاح کننده چسبنده سیمانی در طرح اختلاط مخلوط بتن غلتکی است. یکی از این نوع افزودنی‌ها دوده سیلیسی است که هدف از اضافه کردن آن، کاهش نفوذپذیری آب به داخل مخلوط بتن است و اینکه خطر رسیدن مخلوط به حد اشباع بحرانی کاهش یابد. در صورتیکه بتن غلتکی تا حد بحرانی اشباع نشود، در معرض خرابی ناشی از یخبندان قرار نمی‌گیرد. در این پژوهش، پودر دوده سیلیسی تولیدی از شرکت شیمی بتن ماهان (Betonshimi Mahan) تهیه گردیده و با استاندارد ASTM C618^۵ مطابقت دارد. مشخصات دوده سیلیسی در جدول‌های (۲) و (۳) قابل مشاهده است. برای پیشگیری خرابی ناشی از یخ زدگی در بتن، استفاده از مواد هوازا در مخلوط بتن امری متداول است. در مناطق سردسیر و دارای فصلنامه مهندسی حمل و نقل / سال سیزدهم / شماره سوم (۵۲) / بهار ۱۴۰۱

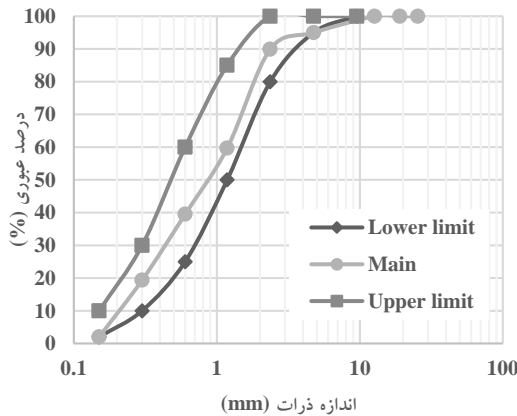
جدول ۳. آنالیز شیمیایی دوده سیلیسی مصرفی [Betonshimi Mahan]

ترکیب	درصد
C	۰/۶-۱/۵
MnO	۰/۱-۰/۹
Al ₂ O ₃	۰/۵-۱/۷
SiO ₂	۸۵-۹۵
CaO ₂	۲-۲/۳
Fe ₂ O ₃	۰/۴-۲

جدول ۴. مشخصات هوازا [FOSROC] Conplast AEA

شکل ظاهری	مایع کهربایی رنگ
وزن مخصوص	۰/۹۸ تا ۱/۰۳ گرم در سانتیمتر مکعب
عدد قلیایی	۱۰/۵ تا ۱۲/۵
مقدار کلر	فاقد کلر
درجه اشتعال	غیر آتشزا
درجه انجماد	۰ درجه سانتیگراد

۳۲۵.۱۰R^۷ انتخاب شده است. مصالح مورد استفاده دارای ارزش ماسه‌ای برابر ۸/۳ درصد بوده و مدول نرمی آن برابر ۳/۶۱ برآورد گردید که نشان می‌دهد دارای ریزدانه کافی نیست. بنابراین با افزودن فیلر به میزان ۱۴ درصد حجمی ریزدانه به مخلوط، طبق نشریه ۳۵۴ مدول نرمی به ۲/۹ کاهش داده شد. منحنی دانه بندی مصالح طبق نمودارهای شکل (۱) قابل مشاهده بوده و مشخصات فیزیکی مصالح مصرفی در جدول (۵) ارائه گردیده است.



شکل ۱. منحنی دانه بندی مصالح مورد استفاده در تحقیق حاضر

جدول ۵. مشخصات فیزیکی مصالح در تحقیق حاضر

مصلح ریز دانه	رطوبت در حالت SSD (gr/cm ³)	وزن مخصوص در حالت SSD (gr/cm ³)	مصلح درشت دانه	رطوبت در حالت SSD (gr/cm ³)	وزن مخصوص در حالت SSD (gr/cm ³)
ماسه	۲/۶	۲/۶۳	شن نخودی	۱/۱۸۱	۲/۵۱
فیلر	۲/۶۳	-	شن بادامی	۰/۸۹	۲/۶۱
دوده سیلیسی	-	۲/۴۱	ماکادام	۲/۵	۲/۵
سیمان	-	۳/۱۳			

همچنین، الیاف پلی پروپیلن^۳ مورد استفاده در تحقیق حاضر از کارخانه فورتا (Forta-FI HMA) تهیه گردیده است که بمنظور تثبیت رویه‌های آسفالتی در مناطق سرد مورد استفاده قرار می‌گیرد.

بررسی تاثیر الیاف پلی پروپیلن (FRP) بر خصوصیات مکانیکی بتن غلتکی با کاربرد سرعت امواج اولتراسونیک در مناطق سردسیر

ثابت انتخاب گردیده و الیاف پلی پروپیلن به میزان ۰/۱، ۰/۲، ۰/۳، ۰/۴، ۰/۵ و ۰/۶ درصد حجمی در نظر گرفته شده است. بنابراین مقدار سیمان از ۳۰۰ تا ۲۸۲ کیلوگرم در مترمکعب در تعیین شده است. همچنین براساس مطالعات موجود، اگر مقدار سیمان بسیار کم و از سوی دیگر نسبت آب به سیمان بسیار بالا بدست آید، بتن توسط عوامل نامناسب موجود در هوا مورد تحت تاثیر قرار خواهد گرفت و در برابر سیکل ذوب و یخبندان و اثرات ناشی از کرناسیون دچار آسیب می شود [Neville, 1981; Waddell et al, 1993]. در روند اختلاط ابتدا سنگدانه و سپس سیمان و در نهایت ماده هواز که با آب اضافه شده به مخلوط اثر داده شده است. طرح اختلاط مورد مطالعه در تحقیق حاضر طبق جدول (۷) قابل مشاهده است.

جدول ۶. خصوصیات مکانیکی الیاف پلی پروپیلن مورد استفاده

[Forta-FI HMA]	
توصیف	خصوصیات
الیاف پروپیلن	مواد
۱/۴۵	چگالی ویژه
۳۰۰۰	مقاومت کششی (MPa)
۱۹/۰۵	طول (mm)
عالی	مقاومت در برابر محیط های اسیدی و بازی
> ۴۵۰	دمای تجزیه (C°)
۱۱	قطر (micron)

در تحقیق حاضر، طرح اختلاط مورد استفاده براساس نشریه ۳۵۴ سازمان برنامه و بودجه تعیین گردیده و میزان نسبت آب به سیمان

جدول ۷. نسبت های اختلاط بتن غلتکی در تحقیق حاضر

کد نمونه	آب (kg/m ³)	سیمان (kg/m ³)	نسبت آب به سیمان (w/c)	درصد دوده سیلیسی افزوده	سنگدانه ترکیبی (kg/m ³)
C-100	118	300	0.39	0	1960
C-FRP 0.1%	118	297	0.39	1	1960
C- FRP 0.2%	118	294	0.39	2	1960
C- FRP 0.3%	118	290	0.39	3	1960
C- FRP 0.4%	118	288	0.39	4	1960
C- FRP 0.5%	118	285	0.39	5	1960
C- FRP 0.6%	118	282	0.39	6	1960

و یک وسیله اندازه گیری زمان الکترونیکی برای اندازه گیری فاصله زمانی بین شروع حرکت یک پالس تولید شده در مولد فرستنده و رسیدن آن به مولد گیرنده می باشد. تجهیزات باید توانایی اندازه گیری انتقال زمان بیشتر از طول موج در محدوده از حدود ۱۰۰ میلیمتر تا حداکثر ضخامت را با دقت ۱٪± داشته باشند. معمولا مولدها باید در محدوده فرکانس ۲۰ الی ۱۵۰ کیلوهرتز باشند. فرکانس کمتر از ۱۰ کیلوهرتز ممکن است برای بتن با طول مسیر خیلی بلند استفاده شود، و فرکانس بیش از یک مگاهرتز برای ملاتها و گروتها یا برای طول مسیر کوتاه استفاده می شود. پالسهای با

۴. برنامه آزمایشگاهی

در این تحقیق، به منظور بررسی کارایی طرح اختلاطها، آزمایش وی بی (Vebe) طبق استاندارد ASTM C1170 و نشریه ۳۵۴ انجام گردید. زمان وی بی برابر ۳۵ ثانیه تعیین شده که پیشنهاد استاندارد زمانی بین ۳۰ تا ۴۵ ثانیه است. در ادامه، آزمایش سرعت موج اولتراسونیک (UPV) براساس استاندارد ASTM C597-16 صورت گرفت. تجهیزات مورد نیاز برای آزمایش سرعت امواج اولتراسونیک، یک جفت مبدل، یک آمپلیفایر (تقویت کننده)

فصلنامه مهندسی حمل و نقل / سال سیزدهم / شماره سوم (۵۲) / بهار ۱۴۰۱

مخصوص نمونه بتن غلتکی بوده که واحد آن (Kg/m^3) و V ، سرعت موج امواج اولتراسونیک با واحد (Km/sec) می‌باشد. در ادامه، آزمایش مقاومت فشاری بر اساس استاندارد ASTM C39 با سرعت بارگذاری 0.3 MPa/sec انجام شده است. در این آزمایش از یک دستگاه آزمایش فشاری دیجیتال با ظرفیت 1000 کیلونیوتن استفاده شد. مقاومت فشاری بر اساس رابطه (۳) محاسبه گردید که در آن، σ_c مقاومت فشاری، P حداکثر نیروی فشاری تحمل شده توسط نمونه و A سطح مقطع نمونه است (شکل ۲-ب).

$$\sigma_c = \frac{P}{A} \quad (3)$$

آزمایش مقاومت کششی غیر مستقیم بر اساس ASTM C496 با سرعت بارگذاری 0.05 MPa/sec صورت گرفت. مقاومت کششی نمونه‌ها بر اساس رابطه (۴) محاسبه شده که در آن، σ_t مقاومت کششی، P نیروی اعمال شده، D قطر و L طول نمونه استوانه‌ای می‌باشد (شکل ۲-ج).

$$\sigma_t = \frac{2P}{\pi \cdot L \cdot D} \quad (4)$$

آزمایش خمش سه نقطه‌ای مطابق با ASTM C1609 انجام گرفته و مقاومت خمشی تیرها با استفاده از رابطه (۵) محاسبه گردید که در آن، σ_f مقاومت خمشی، F نیروی خمشی اعمال شده، L طول دهانه، b عرض و h ارتفاع تیر می‌باشد (شکل ۲-د).

$$\sigma_f = \frac{3FL}{2b \cdot h^2} \quad (5)$$

همچنین، به منظور ارزیابی دوام یخ زدن و آب شدن نمونه‌ها در آب بر اساس استاندارد ASTM C666 روش A که شامل یخ زدن و آب شدن سریع در آب می‌باشد انجام گرفته و نمونه‌های منشوری شکل با ابعاد $70 \times 10 \times 40$ سانتیمتر ساخته شدند. در این روش نمونه‌ها در هر دوره در حالت غرقاب از 4 به 18 - درجه سانتیگراد یخ زده و بالعکس یخ‌زدگی نمونه‌ها از دمای 18 - تا 4 درجه در مجاورت هوا آب می‌شوند. مدت زمان هر دوره یخ زدن و آب شدن 3 ساعت در نظر گرفته شده است. منشورها پس از هر

فصلنامه مهندسی حمل‌ونقل / سال سیزدهم / شماره سوم (۵۲) / بهار ۱۴۰۱

فرکانس بالا خیلی خوب شروع می‌شوند، اما با عبور در بتن خیلی سریعتر از پالسهای با فرکانس پایین تر تضعیف می‌شوند. پس می‌توان نتیجه گرفت از مولدهای تولید کننده فرکانس بالا برای طول مسیر کوتاه و از مولدهای تولید کننده فرکانس پایین برای طول مسیر بلند استفاده نمود. مولدهای با فرکانس 50 الی 60 کیلوهرتز مناسب برای اکثر کاربردهای معمول می‌باشند. آزمون سرعت امواج اولتراسونیک برای ارزیابی مقاومت بتن به یکی از سه روش انتقال مستقیم، انتقال نیمه مستقیم و انتقال غیر مستقیم (سطحی) انجام می‌گیرد. در این مطالعه، آزمون مذکور با استفاده از دستگاه پاندیت و با فرکانس 54 کیلوهرتز به روش انتقال مستقیم (آرایش مولدها در دو وجه روبرویی نمونه‌ها) انجام گرفت و سرعت موج در این آزمایش از طریق رابطه (۱) محاسبه گردید.

$$V=L/t \quad (1)$$

که در آن، V سرعت موج بر حسب Km/sec ، L فاصله بین دو مبدل بر حسب mm و t زمان انتقال موج بر حسب μsec می‌باشد (شکل ۲-الف).

یکی از نتایج مهم حاصل از آزمون امواج اولتراسونیک در نمونه های بتنی مورد مطالعه مدول الاستیسیته دینامیکی می‌باشد. از این پارامتر جهت ارزیابی و کیفیت و همسانی نمونه‌های بتنی مورد استفاده قرار می‌گیرد. مقادیر مدول الاستیسیته دینامیکی نمونه‌های مکعبی بتن غلتکی که حاوی الیاف پلی پروپیلن می‌باشند و در مدت 28 روز عمل آوری شده‌اند براساس رابطه (۲) که توسط توپجو [Topcu, 2006] و توپجو و همکاران [Topcu et al, 2009] برآورد شده است.

$$E_d = \frac{V \cdot c^2 \cdot (1 + \mu) \cdot (1 - 2\mu)}{(1 - \mu)} \quad (2)$$

در رابطه فوق، E_d مدول الاستیسیته دینامیکی که واحد آن (GPa) ، μ ضریب پواسون است که عموماً مقدار آن برای نمونه های بتن غلتکی برابر 0.23 در نظر گرفته می‌شود. ρ جرم

بررسی تاثیر الیاف پلی پروپیلن (FRP) بر خصوصیات مکانیکی بتن غلتکی با کاربرد سرعت امواج اولتراسونیک در مناطق سردسیر

گردیدند. برای برآورد مقاومت خمشی نمونه‌ها تیر بتنی به طول ۳۲ سانتیمتر، عرض ۶ سانتیمتر و ارتفاع ۸ سانتیمتر تهیه گردید. تمامی نمونه‌ها بعد از مدت ۲۴ ساعت از قالب جدا شده و بمدت ۱، ۳، ۷، ۱۴، ۲۸ و ۹۰ روز در حوضچه آب عمل آوری شدند و سپس تحت آزمایش قرار گرفتند. در انتها، بر روی نمونه‌های مورد مطالعه آزمایش چگالی بتن طبق استاندارد ASTM C1170 و آزمون جذب آب براساس استاندارد ASTM C642 انجام گردید. نتایج بدست آمده به شرح ذیل بیان می‌گردد.

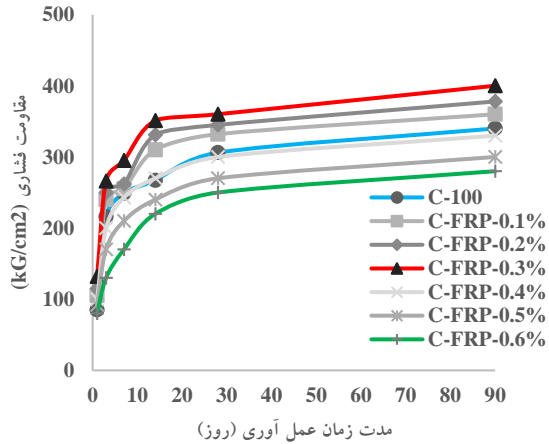
۳۵ دوره یخ زدن و آب شدن توزین شدند و نتایج در مقایسه با نمونه اولیه قبل از آزمون محاسبه و درصد کاهش وزن ناشی از سست شدن و از دست رفتن تکه‌های نمونه در اثر یخ زدن و آب شدن مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج حاصل از آزمون ذوب و یخبندان در برابر دوره‌های یخ زدن آب شدن در ۳۵، ۷۰، ۱۰۵، ۱۴۰، ۱۷۵، ۲۴۵، ۲۱۰، ۲۸۰ و ۳۰۰ سیکل ارائه شده است (شکل ۲- و). البته در این مطالعه، نمونه‌های ساخته شده شامل نمونه‌های مکعبی به ابعاد ۱۵×۱۵×۱۵ سانتیمتر برای انجام آزمون تعیین مقاومت فشاری، نمونه‌های استوانه‌ای به قطر ۱۵ سانتیمتر و ارتفاع ۳۰ سانتیمتر برای آزمون برآورد مقاومت کششی غیر مستقیم آماده



شکل ۲. تصاویر دستگاه‌های مورد استفاده در تحقیق حاضر، الف- تعیین سرعت امواج اولتراسونیک، ب- تعیین مقاومت فشاری، ج- تعیین مقاومت کششی غیر مستقیم، د- تعیین مقاومت خمشی، و- بررسی رفتار نمونه در سیکل های ذوب و یخبندان

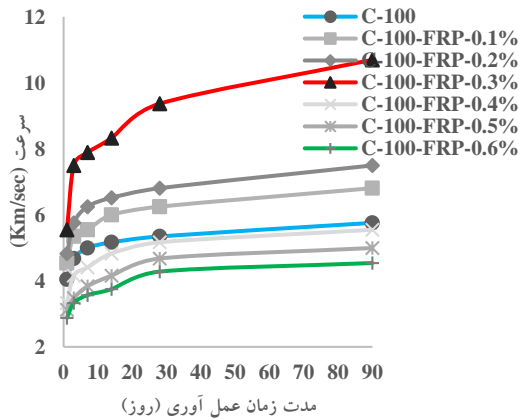
۵. نتایج و بحث

۵-۱ نتایج حاصل از آزمون مقاومت فشاری



شکل ۳. تاثیر مدت زمان عمل آوری و الیاف پلی پروپیلن بر روی

مقاومت فشاری نمونه‌های مورد مطالعه



شکل ۴. تاثیر مدت زمان عمل آوری و الیاف پلی پروپیلن بر روی

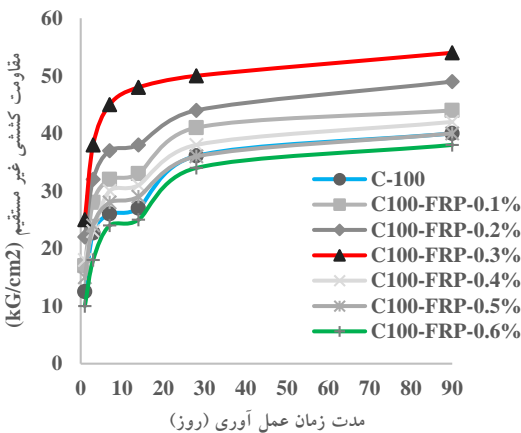
سرعت امواج اولتراسونیک نمونه‌های مقاومت فشاری مورد مطالعه

مطابق شکل (۵) نتایج حاصل از آزمون‌های مقاومت فشاری نمونه‌های مکعبی ۲۸ روزه و آزمون اولتراسونیک مورد مقایسه قرار گرفتند. با توجه به نتایج بدست آمده می‌توان بیان نمود ۰/۳ درصد الیاف پلی پروپیلن بیشترین تاثیر را بر روی نمونه‌های بتنی دارد. اگرچه تغییرات مقاومت فشاری در مقایسه با سرعت امواج اولتراسونیک با شیب تند تری انجام می‌گیرد. بنابراین می‌توان نتیجه گیری کرد مقدار بهینه الیاف برابر ۰/۳ درصد می‌باشد. زیرا بالا رفتن میزان الیاف در نمونه‌های مورد مطالعه باعث ایجاد فضای خالی

نتایج بدست آمده از آزمون مقاومت فشاری نمونه‌های بتن غلتکی مورد مطالعه حاوی الیاف پلی پروپیلن با درصدهای ۰/۱، ۰/۲، ۰/۳، ۰/۴، ۰/۵ و ۰/۶ درصد در شکل (۳) ارائه شده و مقادیر سرعت امواج اولتراسونیک نمونه‌های فوق در شکل (۴) می‌توان مشاهده نمود. با توجه به نمودارهای شکل (۳) می‌توان دریافت اولاً، در تمامی نمونه‌ها با افزایش مدت زمان عمل آوری مقاومت فشاری افزایش یافته و زمانیکه ۰/۳ درصد الیاف به آنها افزوده می‌شود، مشاهده گردید مقاومت فشاری نمونه‌ها در تمامی مدت زمان‌های عمل آوری بطور میانگین ۲۳ درصد افزایش یافته است. هنگامیکه میزان الیاف در نمونه‌ها به ۰/۶ درصد می‌رسد مقاومت فشاری روند کاهندگی طی نموده و بطور میانگین ۲۲ درصد کاسته شده است. با توجه به شکل (۴) می‌توان مشاهده کرد، سرعت امواج اولتراسونیک در نمونه‌های بتن غلتکی حاوی ۰/۳ درصد الیاف دارای بیشترین میزان بوده و مدت زمان عمل آوری نیز بر میزان سرعت امواج تاثیر گذار است. بطوریکه، میزان سرعت در این شرایط بطور میانگین ۳۹ درصد افزایش یافته و هنگامیکه ۰/۶ درصد الیاف به نمونه افزوده می‌شود، مقدار سرعت امواج اولتراسونیک به میزان ۲۵ درصد کاهش می‌یابد. براساس این نتایج می‌توان بیان نمود علت افزایش مقاومت فشاری با حضور ۰/۳ درصد الیاف پلی پروپیلن ناشی از کاهش ترک خوردگی و افزایش مقاومت آن در اثر اتصالی است که توسط الیاف در ملات بتن بوجود آمده می‌باشد. البته با افزایش میزان درصد الیاف، مشاهده گردید پدیده جمع شدگی بوقوع پیوسته که سبب ایجاد ناپیوستگی و فضای خالی گردیده و الیاف در یک طرف ملات جمع شده‌اند.

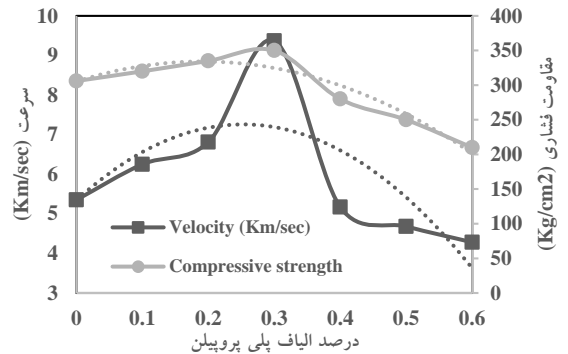
بررسی تاثیر الیاف پلی پروپیلن (FRP) بر خصوصیات مکانیکی بتن غلتکی با کاربرد سرعت امواج اولتراسونیک در مناطق سردسیر

۰/۳، ۰/۴، ۰/۵ و ۰/۶ درصد الیاف پلی پروپیلن که در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد عمل آوری شده‌اند در شکل‌های (۷) و (۸) قابل مشاهده است. در این حالت نیز هنگامیکه ۰/۳ درصد الیاف پلی پروپیلن به نمونه‌های بتن غلتکی اضافه می‌شود، مقاومت کششی غیر مستقیم نمونه‌ها در تمامی مدت زمانهای عمل آوری بیشترین میزان را دارد. ۰/۳ درصد الیاف پلی پروپیلن تقریباً مقاومت کششی غیر مستقیم را در تمامی مدت زمان‌های عمل آوری بطور میانگین ۵۸ درصد بهبود بخشیده است. ولی با افزایش میزان الیاف پلی پروپیلن مقاومت کششی غیر مستقیم یک روند نزولی را طی نموده است. همچنین در شکل (۸) دیده می‌شود حضور ۰/۳ درصد الیاف پلی پروپیلن بر میزان سرعت امواج اولتراسونیک می‌تواند تاثیر گذار باشد و مقدار سرعت موج را بطور میانگین در تمام مدت زمان‌های عمل آوری را بطور میانگین ۳۷ درصد افزایش داده است. این نتایج نشان می‌دهد که مقدار بهینه ۰/۳ درصد الیاف پلی پروپیلن باعث عدم افزایش ترک‌ها در نمونه شده و یکپارچگی مناسب بین ملات و مصالح بوجود آورده است.



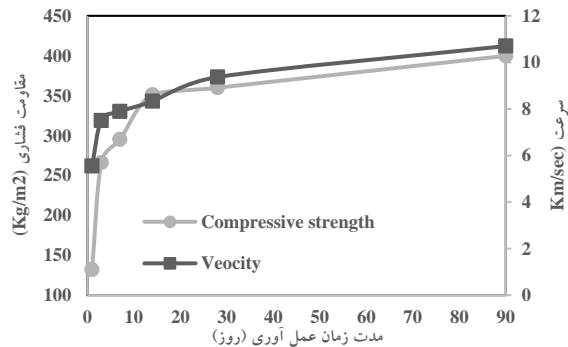
شکل ۷. تاثیر مدت زمان عمل آوری و الیاف پلی پروپیلن بر روی مقاومت کششی غیر مستقیم نمونه‌های بتن غلتکی مورد مطالعه

ناشی از جمع شدگی گردیده و نتیجه آن کاهش میزان سرعت موج اولتراسونیک و توانایی باربری شده است.



شکل ۵. تاثیر الیاف پلی پروپیلن بر مقاومت فشاری و سرعت امواج اولتراسونیک نمونه‌های مورد مطالعه ۲۸ روزه

تاثیر مدت زمان عمل آوری بر روی مقاومت فشاری و سرعت امواج اولتراسونیک نمونه‌های بتن غلتکی حاوی میزان بهینه الیاف پلی پروپیلن ۰/۳ درصد در شکل (۶) قابل مشاهده است. با توجه نمودار می‌توان دریافت بالا رفتن مدت زمان عمل آوری تاثیر غیر قابل پیش بینی بر روی نمونه بتنی دارای الیاف نداشته و یک هماهنگی مناسب بین نتایج دو آزمون موجود مشاهده می‌شود.



شکل ۶. تاثیر مدت زمان عمل آوری بر روی مقاومت فشاری و

سرعت امواج اولتراسونیک نمونه بتن غلتکی حاوی ۰/۳ درصد الیاف پلی پروپیلن

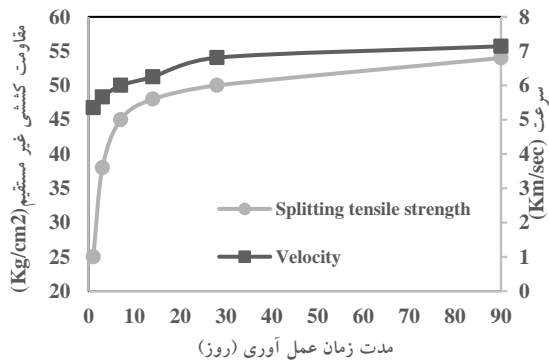
۲-۵ نتایج حاصل از آزمون مقاومت کششی غیر مستقیم

نتایج آزمونهای مقاومت کششی غیر مستقیم و اندازه گیری سرعت امواج اولتراسونیک بر روی نمونه‌های بتن غلتکی حاوی ۰/۱، ۰/۲،

فصلنامه مهندسی حمل و نقل / سال سیزدهم / شماره سوم (۵۲) / بهار ۱۴۰۱

شکل ۹. تاثیر الیاف پلی پروپیلن بر روی مقاومت کششی غیر مستقیم و سرعت امواج اولتراسونیک نمونه های بتن غلتکی مورد مطالعه عمل آوری شده ۲۸ روزه

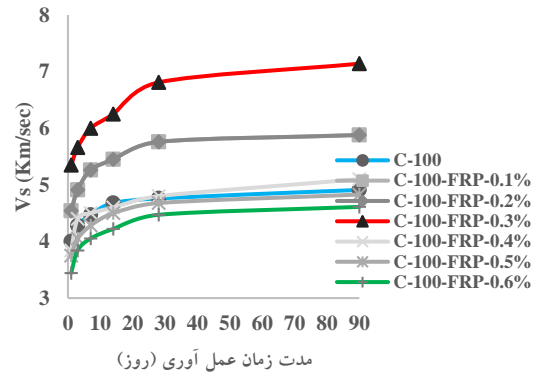
با توجه نمودارهای شکل (۱۰) می توان دریافت با افزایش مدت زمان عمل آوری نمونه بتن غلتکی حاوی ۰/۳ درصد الیاف تغییر محسوسی در رفتار مکانیکی آن مشاهده نمی گردد و یک هماهنگی مناسب بین نتایج دو آزمون موجود می باشد.



شکل ۱۰. تاثیر مدت زمان عمل آوری بر روی مقاومت کشش غیر مستقیم و سرعت امواج اولتراسونیک نمونه بتن غلتکی حاوی ۰/۳ درصد الیاف پلی پروپیلن در مدت زمان عمل آوری ۲۸ روزه

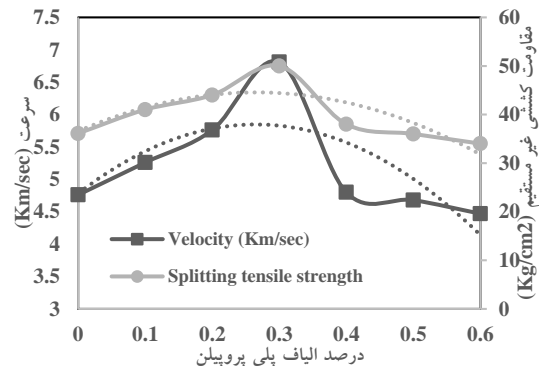
۳-۵ نتایج حاصل از آزمون مقاومت خمشی

نتایج آزمون های مقاومت خمشی و اندازه گیری سرعت امواج اولتراسونیک بر روی نمونه های بتن غلتکی حاوی ۰/۱، ۰/۲، ۰/۳، ۰/۴، ۰/۵ و ۰/۶ درصد الیاف پلی پروپیلن که در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد عمل آوری شده اند در شکل های (۱۱) و (۱۲) ارائه شده است. همانند حالت های قبل هنگامیکه ۰/۳ درصد الیاف پلی پروپیلن به نمونه های بتن غلتکی افزوده می گردد، مقاومت خمشی در تمامی مدت زمان های عمل آوری دارای بیشترین مقدار بوده و تقریباً بطور میانگین ۷۸ درصد بهبود بخشیده است. ولی با افزایش درصد الیاف پلی پروپیلن، مقاومت خمشی یک روند نزولی را طی نموده است. همچنین طبق شکل (۱۱) مشاهده می شود، حضور ۰/۳ درصد الیاف پلی پروپیلن بر میزان سرعت امواج اولتراسونیک تاثیر فصلنامه مهندسی حمل و نقل / سال سیزدهم / شماره سوم (۵۲) / بهار ۱۴۰۱



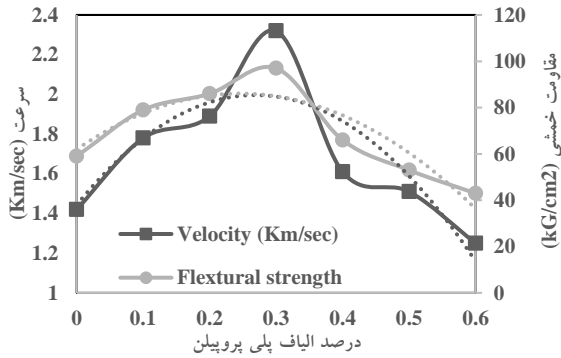
شکل ۸. تاثیر مدت زمان عمل آوری و الیاف پلی پروپیلن بر روی سرعت امواج اولتراسونیک نمونه های بتن غلتکی مقاومت کششی غیر مستقیم مورد مطالعه

همانطور که در شکل (۹) دیده می شود، بین نتایج هر دو آزمایش مقاومت کششی غیر مستقیم و سرعت امواج اولتراسونیک هماهنگی مناسب موجود بوده و ۰/۳ درصد الیاف پلی پروپیلن می تواند تاثیر مناسبی بر روی مقاومت نمونه های بتن غلتکی در مدت زمان عمل آوری ۲۸ روزه ارائه نماید. زیرا، همانطور که در بخش گذشته اشاره گردید، هنگامیکه میزان الیاف در نمونه ها تا ۰/۳ درصد می رسند یکپارچگی و همگنی نسبی بین مصالح و ملات بوجود می آید که نتیجه آن بهبود رفتار مکانیکی در نمونه ها می باشد. البته با بالا رفتن میزان حضور الیاف، عکس این روند مشاهده شده و از توانایی باربری کاسته می شود.

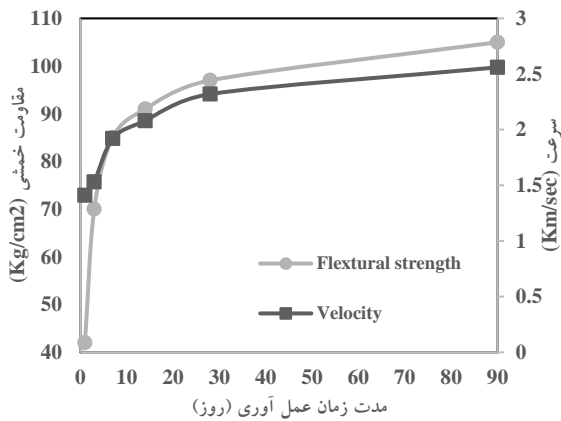


بررسی تاثیر الیاف پلی پروپیلن (FRP) بر خصوصیات مکانیکی بتن غلتکی با کاربرد سرعت امواج اولتراسونیک در مناطق سردسیر

مطابق شکل‌های (۱۳) و (۱۴)، می‌توان مشاهده نمود بین نتایج آزمون‌های مقاومت کششی غیر مستقیم و سرعت امواج اولتراسونیک نمونه حاوی ۰/۳ درصد الیاف پلی پروپیلن ارتباط و هماهنگی مناسب وجود دارد. بطوریکه با کاسته شدن فضای خالی بین مصالح در اثر حضور الیاف تا ۰/۳ درصد میزان سرعت موج اولتراسونیک به بیشترین مقدار خود رسیده است.



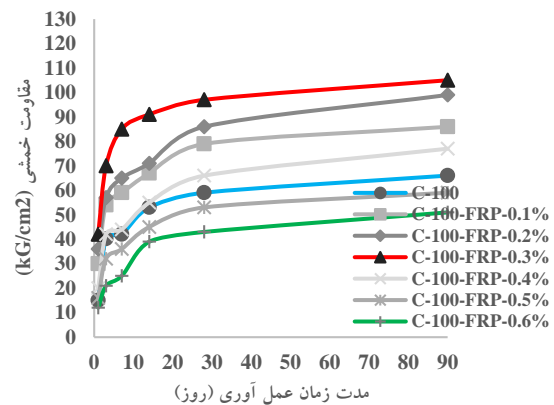
شکل ۱۳. تاثیر الیاف پلی پروپیلن بر روی مقاومت خمشی و سرعت امواج اولتراسونیک نمونه های بتن غلتکی مورد مطالعه عمل آوری شده ۲۸ روزه



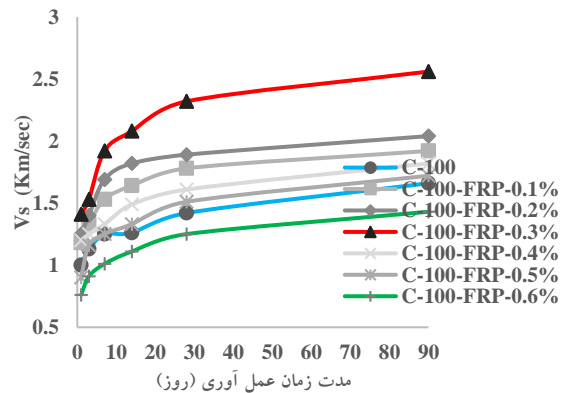
شکل ۱۴. تاثیر مدت زمان عمل آوری بر روی مقاومت خمشی و سرعت امواج اولتراسونیک نمونه بتن غلتکی حاوی ۰/۳ درصد الیاف پلی پروپیلن در مدت زمان عمل آوری ۲۸ روزه

۵-۴ نتایج حاصل از آزمون دوام در برابر سیکل‌های ذوب و یخبندان

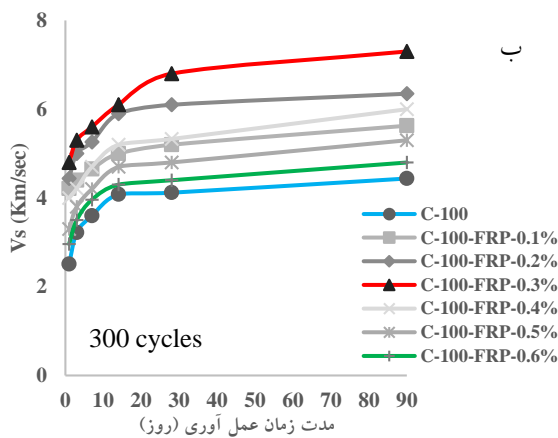
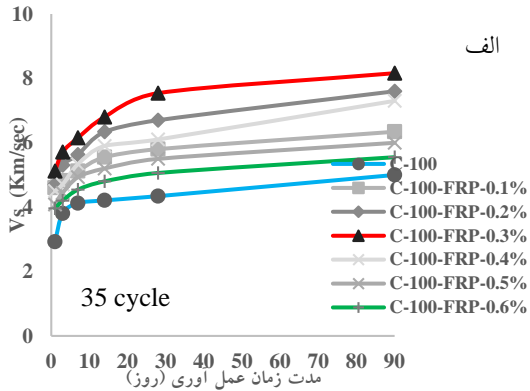
گذار بوده و مقدار سرعت موج را بطور میانگین در تمام مدت زمان های عمل آوری بطور میانگین ۵۳ درصد افزایش می‌دهد. براساس نتایج بدست آمده می‌توان مشاهده نمود وجود الیاف پلی پروپیلن به میزان بهینه ۰/۳ درصد در نمونه‌های مورد مطالعه سبب شده است در هنگام انجام آزمون ترک‌ها به سختی باز شده و یکپارچگی و چسبندگی بین مصالح با ملات بصورت مناسب حفظ شود و در نتیجه آن مقاومت و توانایی باربری افزایش یابد. ولی در ادامه، با افزایش مقدار درصد الیاف و وقوع جمع شدگی، فضای خالی بین مصالح افزایش یافته که باعث کاهش مقاومت گردیده است.



شکل ۱۱. تاثیر مدت زمان عمل آوری بر روی مقاومت خمشی نمونه های مورد مطالعه



شکل ۱۲. تاثیر مدت زمان عمل آوری بر روی سرعت امواج اولتراسونیک نمونه‌های مورد مطالعه

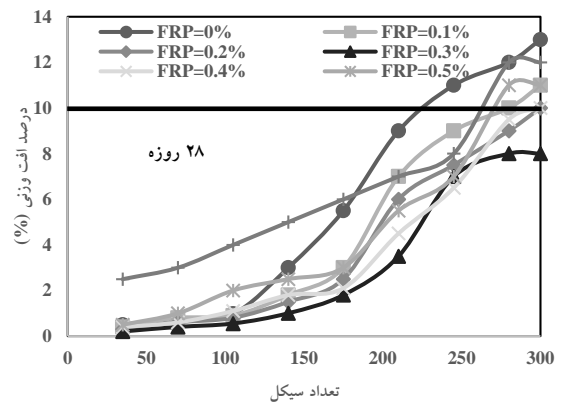


شکل ۱۶. تاثیر مدت زمان عمل آوری و الیاف پلی پروپیلن بر روی سرعت امواج اولتراسونیک نمونه‌های بتن غلتکی، الف- بعد از ۳۵ سیکل ذوب و یخبندان، ب- ۳۰۰ سیکل ذوب یخبندان

در ادامه، بمنظور مقایسه بهتر بین مقادیر سرعت موج اولتراسونیک و درصد افت وزنی نمونه‌های بتن غلتکی حاوی الیاف پلی پروپیلن در اثر شرایط ۳۵ و ۳۰۰ سیکل ذوب و یخبندان که در مدت ۲۸ روز عمل آوری شده‌اند، نمودارهایی مطابق شکل‌های (۱۷-الف و ب) قابل مشاهده می‌باشد. همانطور که در شکل (۱۷-الف) می‌توان مشاهده نمود، زمانیکه درصد الیاف پلی پروپیلن تا ۰/۳ درصد افزایش می‌یابد، سرعت موج اولتراسونیک نیز یک روند افزایشی را طی می‌نماید و همزمان بعد ۳۵ سیکل آزمایش ذوب و یخبندان افت وزنی نیز در نمونه‌ها با شیب ملایم بوقوع می‌پیوندد. در ادامه، با افزایش درصد الیاف سرعت امواج اولتراسونیک کاهش و درصد افت وزنی در نمونه‌ها با شیب تندتری افزایش می‌یابد. این شرایط

فصلنامه مهندسی حمل و نقل / سال سیزدهم / شماره سوم (۵۲) / بهار ۱۴۰۱

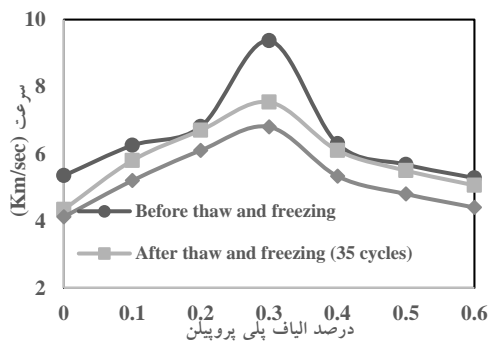
نتایج حاصل از آزمون ذوب و یخبندان نمونه‌های بتن غلتکی مورد مطالعه حاوی ۰/۱، ۰/۲، ۰/۳، ۰/۴، ۰/۵ و ۰/۶ درصد الیاف پلی پروپیلن بعد از عمل آوری ۲۸ روز به شرح شکل (۱۵) ارائه شده است. براساس نمودارهای رسم شده می‌توان دریافت، وجود ۰/۳ درصد الیاف پلی پروپیلن باعث تاثیرگذاری مثبت در کاهش درصد افت وزنی دارد. بعبارت دیگر، میزان ۰/۳ درصد الیاف سبب شده است تا با تشکیل یکپارچگی مناسب بین ملات و مصالح تشکیل دهنده نمونه‌های بتنی، در اثر سیکل‌های ذوب و یخبندان ترک‌های بیشتری ایجاد نشده و در نتیجه آن افت وزنی بیشتری بوجود نمی‌آید. در ادامه، با افزایش درصد حضور الیاف در نمونه‌ها بدلیل ایجاد ناپیوستگی بالا و فضای خالی گسترده در بین مصالح و ذرات، افت وزنی بیشتری اتفاق می‌افتد. در نمودارهای شکل (۱۶-الف و ب) تاثیر مدت زمان عمل آوری بر روی مقادیر سرعت امواج اولتراسونیک برای نمونه‌های حاوی الیاف پلی پروپیلن که به تعداد سیکل‌های ۳۵ و ۳۰۰ تحت تاثیر ذوب و یخبندان قرار گرفته‌اند قابل مشاهده است. در این شرایط نیز مشاهده می‌گردد نمونه‌های بتنی حاوی ۰/۳ درصد الیاف پلی پروپیلن دارای بیشترین مقدار سرعت موج اولتراسونیک و کمترین افت وزنی است.



شکل ۱۵. تاثیر الیاف پلی پروپیلن بر درصد کاهش وزن ناشی از سیکل‌های یخبندان و ذوب نمونه‌های بتن غلتکی ۲۸ روزه

بررسی تاثیر الیاف پلی پروپیلن (FRP) بر خصوصیات مکانیکی بتن غلتکی با کاربرد سرعت امواج اولتراسونیک در مناطق سردسیر

حاوی الیاف مطابق شکل (۱۸) می‌توان دریافت هنگامیکه نمونه‌های بتن غلتکی وارد سیکل های ذوب و یخبندان می‌شوند و در آنها افت وزنی بوقوع می‌پیوندد، سرعت موج اولتراسونیک در آنها کاهش می‌یابد. اگرچه با افزایش حضور الیاف تا ۰/۳ درصد تا حدودی سبب بهبود سرعت موج و درصد افت وزنی گردیده ولی در نهایت با افزایش درصد الیاف پلی پروپیلن بدلیل وقوع ناپیوستگی بین مصالح و ایجاد ترک‌های بیشتر مقدار سرعت موج اولتراسونیک همزمان با بالا رفتن تعداد سیکل های ذوب و یخبندان کاهش می‌یابد.

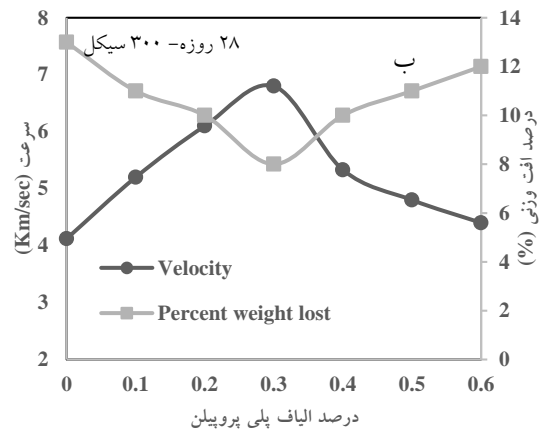
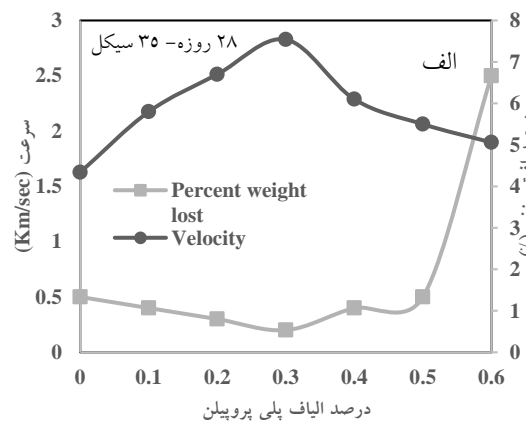


شکل ۱۸. تاثیر تعداد سیکل‌های ذوب و یخبندان بر سرعت امواج اولتراسونیک نمونه‌های بتن غلتکی ۲۸ روزه حاوی الیاف پلی پروپیلن

۵-۵ نتایج حاصل از آزمون چگالی

همچنانکه در بخش‌های گذشته اشاره گردید، آزمایش چگالی بتن طبق استاندارد ASTM C1170 بر روی نمونه‌های مختلف بتن غلتکی حاوی درصد‌های ۰/۱، ۰/۲، ۰/۳، ۰/۴، ۰/۵ و ۰/۶ درصد حاوی الیاف پلی پروپیلن انجام گرفت و ارتباط آن با سرعت امواج اولتراسونیک همان نمونه‌های ۲۸ روز عمل‌آوری شده در شکل (۱۹) ارائه شده است. همانگونه که مشاهده می‌شود، حضور ۰/۳ درصد الیاف باعث کاهش فضای خالی بین ذرات شده و با ایجاد یکپارچگی بین ملات بتن و مصالح سبب تراکم پذیری بیشتر گردیده و در نتیجه آن سبب بوجود آمدن بالاترین چگالی شده است. با توجه به این شرایط، بیشترین سرعت موج اولتراسونیک

بیان کننده آن است که وجود ۰/۳ درصد الیاف باعث ایجاد چسبندگی مناسب بین ذرات بتن شده و فضای خالی بین ذرات را به حداقل رسانده که نتیجه آن بالا رفتن میزان سرعت موج و پایین آمدن میزان درصد افت وزنی می‌باشد. در شکل (۱۶-ب) نیز مشاهده می‌گردد، بعد از ۳۰۰ سیکل ذوب و یخبندان نمونه بتونی ۲۸ روزه الیاف رفتارهای افت وزنی و سرعت امواج اولتراسونیک معکوس یکدیگر هستند. از سویی، در این حالت نیز مخلوط کردن ۰/۳ درصد الیاف پلی پروپیلن باعث کاهش درصد افت وزنی و بالا رفتن سرعت امواج اولتراسونیک می‌گردد.

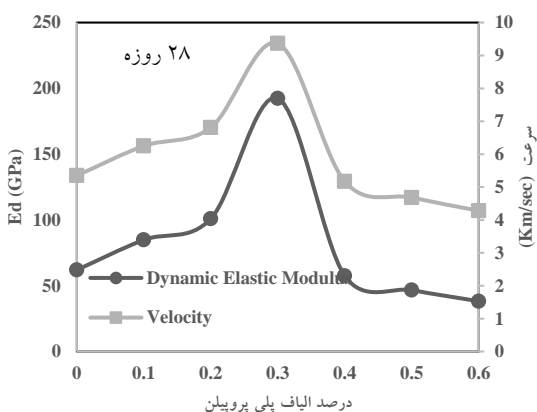


شکل ۱۷. تاثیر الیاف پلی پروپیلن بر درصد افت وزنی و سرعت امواج اولتراسونیک نمونه‌های بتن غلتکی ۲۸ روزه، الف- بعد از ۳۵ سیکل ذوب و یخبندان، ب- بعد از ۳۰۰ سیکل ذوب و یخبندان

به‌منظور بررسی تاثیرگذاری سیکل‌های ذوب و یخبندان بر روی تغییرات مقادیر سرعت امواج اولتراسونیک نمونه‌های بتن غلتکی فصلنامه مهندسی حمل‌ونقل / سال سیزدهم / شماره سوم (۵۲) / بهار ۱۴۰۱

۵-۷ مدول الاستیسیته دینامیکی

در تحقیق حاضر، مقادیر مدول الاستیسیته دینامیکی نمونه‌های مکعبی بتن غلتکی که حاوی الیاف پلی پروپیلن می‌باشند و در مدت ۲۸ روز عمل آوری شده‌اند اندازه گیری شده و نتایج آن در شکل (۲۱) ارائه شده است. براین اساس می‌توان دریافت، زمانیکه ۰/۳ درصد الیاف پلی پروپیلن در نمونه بتن غلتکی موجود است میزان مدول الاستیسیته دینامیکی و سرعت موج دارای حداکثر میزان بوده است. این شرایط بیان کننده آن است ۰/۳ درصد الیاف باعث می‌گردد که تغییرشکل های برشی در نمونه بتن غلتکی به حداقل میزان برسد.

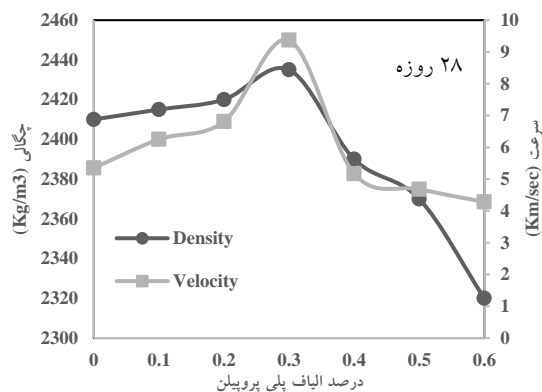


شکل ۲۱. تاثیر الیاف پلی پروپیلن بر مدول الاستیسیته دینامیکی و سرعت موج اولتراسونیک نمونه‌های بتن غلتکی با عمل آوری ۲۸ روزه

به منظور بررسی تاثیر گذاری شرایط مناطق سردسیر بر میزان مدول الاستیسیته دینامیکی نمونه‌های بتن غلتکی حاوی الیاف پلی پروپیلن، می‌توان مطابق شکل (۲۲-الف وب) ارتباط بین درصد افت وزنی نمونه‌های بتنی غلتکی حاوی الیاف با مدت زمان عمل آوری ۲۸ روزه و مدول الاستیسیته دینامیکی را برای ۳۵ و ۳۰۰ سیکل ذوب و یخبندان را مشاهده نمود. با توجه به نمودارها می‌توان دریافت، اولاً با افزایش تعداد سیکل‌های ذوب و یخبندان به دلیلی بالا رفتن درصد افت وزنی، مقدار مدول الاستیسیته دینامیکی

فصلنامه مهندسی حمل و نقل / سال سیزدهم / شماره سوم (۵۲) / بهار ۱۴۰۱

در نمونه بتن غلتکی حاوی ۰/۳ درصد الیاف قابل مشاهده است.



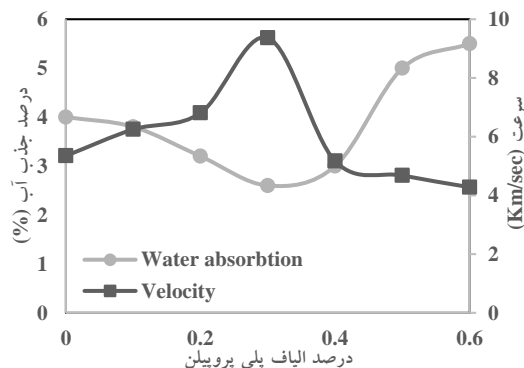
شکل ۱۹. تاثیر الیاف پلی پروپیلن بر چگالی و سرعت موج

اولتراسونیک نمونه‌های بتن غلتکی با مدت زمان عمل آوری ۲۸ روزه

۵-۶ نتایج حاصل از آزمون جذب آب بتن

در این تحقیق، آزمون جذب آب بر اساس استاندارد ASTM C642 بر روی نمونه های بتن غلتکی مورد مطالعه انجام گردید. براساس استاندارد نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت درون گرمخانه در دمای 10.5 ± 0.5 درجه سانتیگراد خشک شده و سپس به وسیله ترازو وزن خشک (W_d) آنها ثبت می‌شود. سپس نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در آب ۲۰ درجه سانتیگراد قرار داده می‌شوند و وزن اشباع آنها (W_s) اندازه‌گیری می‌شود. در نهایت میزان جذب آب طبق رابطه (۶) محاسبه می‌شود.

$$WA(\%) = \frac{W_s - W_d}{W_d} \times 100 \quad (6)$$



شکل ۲۰. تاثیر الیاف پلی پروپیلن بر میزان جذب آب و سرعت

امواج اولتراسونیک نمونه‌های بتن غلتکی ۲۸ روزه

بررسی تاثیر الیاف پلی پروپیلن (FRP) بر خصوصیات مکانیکی بتن غلتکی با کاربرد سرعت امواج اولتراسونیک در مناطق سردسیر

در خصوصیات مکانیکی نمونه‌های بتن غلتکی مناطق سردسیر که تحت شرایط ذوب و یخبندان قرار می‌گیرند ارزیابی شود و در ادامه، تلاش گردید تا با انجام آزمایش غیر مخرب سرعت امواج اولتراسونیک ارتباطی مناسب بین ویژگی‌های نمونه‌های بتن غلتکی و سرعت امواج در مناطق سردسیر تعیین شود تا بتوان تا حدودی رفتار روسازی‌های بتن غلتکی را با استفاده از آزمایش مذکور در میدان پیش بینی نمود. نتایج بدست آمده از تحقیق حاضر به شرح موارد ذیل می‌باشد:

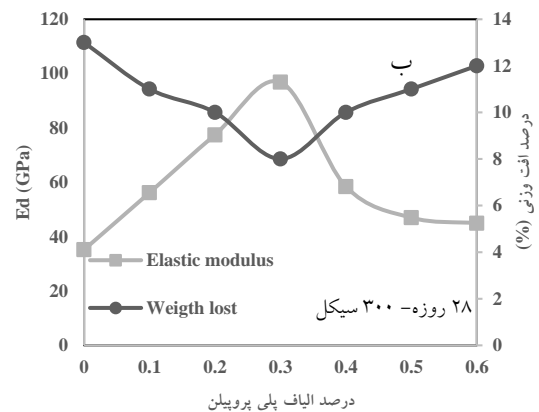
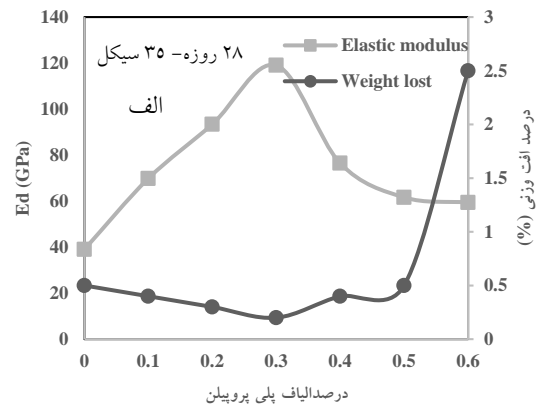
۱- نتایج حاصل از آزمون مقاومت فشاری نشان داده وجود ۰/۳ درصد الیاف سبب افزایش توانایی برابری نمونه‌های بتن غلتکی به میزان ۲۳ درصد بطور میانگین در تمامی مدت زمان‌های عمل آوری گردیده است. همچنین، در نمونه‌های مشابه سرعت موج اولتراسونیک بطور میانگین ۳۹ درصد افزایش یافته است.

۲- با توجه به نتایج حاصل از آزمون مقاومت کششی غیر مستقیم نمونه‌های بتن غلتکی حاوی ۰/۳ درصد الیاف پلی پروپیلن سبب شده‌اند میانگین توانایی برابری در تمام مدت زمان عمل آوری به مقدار ۵۸ درصد افزایش یافته و مقدار سرعت امواج اولتراسونیک در همان شرایط مشابه بطور میانگین ۳۷ درصد روند افزایشی طی نماید.

۳- یکی از آزمون‌های مهم در روسازی‌های بتن غلتکی، آزمایش مقاومت خمشی است. نتایج این آزمون نشان داده است که مخلوط کردن ۰/۳ درصد الیاف پلی پروپیلن در نمونه‌ها سبب افزایش مقاومت خمشی بطور میانگین به میزان ۷۸ درصد و سرعت موج اولتراسونیک به مقدار ۵۳ درصد گردیده است.

۴- نتایج حاصل از آزمون دوام بر روی نمونه‌های بتن غلتکی حاوی الیاف میکرو پلی پروپیلن که در ۲۸ روز عمل آوری شده‌اند نشان داده است که ۰/۳ درصد الیاف مذکور باعث وقوع کمترین افت وزنی در نمونه‌ها شده و نتایج بدست آمده از ارتباط بین سرعت امواج اولتراسونیک و دوام بیان کننده آن است مقادیر سرعت بعد از سیکل‌های ذوب و یخبندان نسبت به

کاهش می‌یابد. ثاباً، حضور ۰/۳ درصد الیاف تاثیر مثبت در شرایط درصد افت وزنی و مقدار مدول الاستیسیته دینامیکی دارد.



شکل ۲۲. تاثیر الیاف پلی پروپیلن بر درصد افت وزنی و مدول الاستیسیته دینامیکی نمونه‌های بتن غلتکی ۲۸ روزه، الف- بعد از ۳۵ سیکل ذوب و یخبندان، ب- بعد از ۳۰۰ سیکل ذوب و یخبندان

۶. جمع بندی و نتیجه گیری

امروزه با توسعه شبکه حمل و نقل، بخش اعظمی از درآمد کشورها صرف تعمیر و نگهداری راه‌ها می‌شود. روسازی‌های بتنی همچون روسازی بتن غلتکی هزینه‌های تعمیر و نگهداری کمتری در مقایسه با روسازی‌های آسفالتی داشته و عمر مفید استفاده از آن به مراتب بیشتر است. در این تحقیق سعی شده است ابتدا، الیاف پلی پروپیلن به میزان‌های ۰/۱، ۰/۲، ۰/۳، ۰/۴، ۰/۵ و ۰/۶ درصد حجمی بطول ۱۹ میلی‌متر به نمونه‌های بتن غلتکی افزوده شده تا تاثیرگذاری آن فصلنامه مهندسی حمل‌ونقل / سال سیزدهم / شماره سوم / (۵۲) / بهار ۱۴۰۱

- 5- American society for testing and materials
- 6- air-entraining admixture
- 7- American concrete institute

۸. منابع

- پورعبدا...، هومن، دبیری، روزبه (۱۳۹۶) "تاثیر میکروسیلیس بر مشخصات مکانیکی روسازی بتن غلتکی (RCCP) در مناطق سردسیر"، مصالح و سازه های بتنی، دوره دوم، شماره یک، بهار و تابستان ۱۳۹۶، ص ۴۸-۶۴.

- فروغی اصل، علی، نادری زرنقی، وهاب (۱۳۹۱) "بررسی عملکرد الیاف پلی پروپیلنی در ساختار بتن غلتکی"، نشریه مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تبریز، جلد ۴۲، شماره ۶۹، ص ۱۵-۲۴.

- سبحانی، جعفر، پورخورشیدی، علیرضا، رضانیانپور، علی اکبر، نعمتی چاری، مهدی و لطفی، محمد مهدی (۱۳۹۷) "بررسی آزمایشگاهی تاثیر استفاده از الیاف های میکرو و ماکرو پلیمری بر مشخصات فیزیکی، مکانیکی و سایش روسازی بتن غلتکی"، تحقیقات بتن، سال ۱۲، شماره اول، ص ۵-۱۳.

- طاهرخانی، حسن، سازگار، حیدر (۱۳۹۸) "بررسی خصوصیات مکانیکی بتن غلتکی حاوی سنگدانه های بازیافتی"، فصلنامه مهندسی حمل و نقل، جلد ۴۱، شماره ۴، ص ۷۸۷-۸۰۶.

- ACI 325.10. (2000) "State of art Report on Roller Compacted Concrete Pavements" American Concrete Institute.

- Ali, B., Qureshi, L. A. and Kurda, R. (2020) "Environmental and economic benefits of steel, glass, and polypropylene fiber reinforced cement composite application in jointed plain concrete

فصلنامه مهندسی حمل و نقل / سال سیزدهم / شماره سوم (۵۲) / بهار ۱۴۰۱

حالت قبل از آزمایش کاسته شده است. بعبارتی، هرچه میزان درصد افت وزنی افزایش یابد، مقدار سرعت موج اولتراسونیک در نمونه ها کاهش یافته است.

با توجه به نتایج بدست آمده می توان بیان نمود مقادیر بدست آمده آزمون امواج اولتراسونیک هماهنگی مناسب با آزمون های آزمایشگاهی انجام یافته نشان می دهد. استفاده از الیاف میکرو پلی پروپیلن در بتن غلتکی به میزان ۰/۳ درصد باعث می شود میزان ترک خوردگی کاهش داده و در اثر اتصالی که بوجود می آورد مقاومت و توانایی باربری را بهبود می دهد. افزایش میزان الیاف باعث بوجود آمدن فضای خالی بیشتر و ناپوستگی بین مصالح شده که سبب کاهش میزان توانایی باربری می گردد که نتایج آزمایشات بدست آمده تایید کننده این موضوع است. از سوی دیگر، بین مدول الاستیسیته دینامیکی حاصل از آزمایش سرعت موج اولتراسونیک و درصد افت وزنی بدست آمده از آزمون دوام ارتباط مناسبی موجود است. بطوریکه هرچه میزان افت وزنی کاهش یافته، مقدار مدول الاستیسیته دینامیکی روند صعودی طی نموده است. این شرایط بیان کننده آن است الیاف چسبندگی مفیدی را بین ذرات و مصالح بتن غلتکی را بوجود آورده که نتیجه آن کاهش جذب آب بدلیل کاسته شدن منافذ بین ذرات و مصالح بتن و بالا رفتن توانایی باربری است. در انتها، با توجه به مقادیر مدول الاستیسیته دینامیکی می توان اشاره کرد وجود ۰/۳ درصد الیاف پلی پروپیلن در نمونه های بتن غلتکی از وقوع تغییر شکل های برشی غیر مجاز ناشی از وسایل نقلیه در راهها و روسازی ها می تواند پیشگیری نماید و پیشنهاد می گردد، در ارزیابی آسیب های مربوط به روسازی بتنی حتما از آزمون های غیر مخرب بهره گرفته شده و با انجام مطالعات گسترده تر معیاری مناسب از دیدگاه آئین نامه ای ارائه شود.

۷. پی نوشت ها

- 1- Roller compacted concrete
- 2- Ultrasonic pulse velocity
- 3- Fiber reinforced polymer
- 4- Freezing and thaw cycle

- ASTM C1609-10. (2010) "Standard Test Method for Flexural Performance of Fiber-Reinforced Concrete (Using Beam With Third-Point Loading)", Annual book of ASTM standards.
- ASTM C666-03. (2003) "Standard Test Method for Resistance of Concrete to Rapid Freezing and Thawing", Annual book of ASTM standards.
- ASTM C642-13. (2013) "Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete", Annual book of ASTM standards.
- Brown, R., Shukla, A. and Natarajan, K. R. (2002) "Fiber Reinforcement Concrete Structure", University of Rhode Island.
- Betonshimi Mahan Company, www.bsm.pcn.ir
- Chhorn, C., Hong, S. J. and Lee, S. (2017) "A study on performance of roller-compacted concrete for pavement", Construction and Building Material, Vol.153, pp.535-543.
- Code 354. (2009), "Guideline for design and construction of rolled compacted concrete pavements, Ministry of Roads and Transportation Bureau of Technical Execution Systems Deputy of Training; Research and Information Technology, Iran.
- Delatte, N., and Storey, C. (2005) "Effects of density and mixture proportions on freeze-thaw durability of roller-compacted concrete pavement, Transport. Res. Rec. Journal of Transportation Researches Board, pp.45-52.
- Fakhri, M., Amoosoltani, E. and Aliha, M. R. M. (2017) "Crack behavior analysis of roller compacted concrete mixtures containing reclaimed asphalt pavement and crumb rubber", pavement", Composites Communications, Vol.22, pp.100420-100437
- Alexandre, B. J. and Ramos, D. J. (2016) "Freeze-thaw resistance of concrete produced with fine recycled concrete aggregates", Journal of Cleaner Production, Vol.115, No.1, pp.294-306.
- Algin, Z. and Gerginci, S. (2020) "Freeze-thaw resistance and water permeability properties of roller compacted concrete produced with macro synthetic fiber, Construction and Building Materials, Vol.234, pp.2-8.
- ASTM C618. (2008) "American Society for Testing and Materials, Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete", Annual book of ASTM standards.
- ASTM C260-1. (2001) "Standard Specification for Air-Entraining Admixtures for Concrete", Annual book of ASTM standards.
- ASTM C1170. (2000) "Standard Test Method for Determining Consistency and Density of Roller-Compacted Concrete Using a Vibrating Table", Annual book of ASTM standards.
- ASTM C597-16. (2016) "Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete", Annual book of ASTM standards.
- ASTM C39-01. (2001) "Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens", Annual book of ASTM standards.
- ASTM C496-17. (2017) "Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens", Annual book of ASTM standards.

compacted concrete designed by maximum density method”, *Cement and Concrete Composite*, Vol.37, pp.259–266

- Nissoux, J. E. (1987) “The use of roller compacted concrete for road-building”, Report of the PIARC Technical Committee on Concrete Roads, XVIIIth World Road Congress, Brussels, 13-19 September 1987. PIARC, Paris, France.

- Neocleous, K., Angelakopoulos, H., Pilakoutas, K., and Guadagnini, M., (2011) “Fibre reinforced roller-compacted concrete transport pavements”, *Proceed. ICE–Transportation*, Vol.164, pp.97–109, <https://doi.org/10.1680/tran.9.00043>.

- Neville, A. M. (1981) “Properties of Concrete”, 3rd edition, Longman, London.

- Rooholamini, H., Hassani, A., and Aliha, M.R.M. (2018) “Evaluating the effect of macrosynthetic fibre on the mechanical properties of roller-compacted concrete pavement using response surface methodology”, *Construction and Building Material*, Vol.159, pp.517–529.

- Topcu I. B. (2006), “Statistics in Civil Engineering”, *Eskisehir*, pp.153-162.

- Topcu, B. I., Bilir, T., and Uygunoğlu T. (2009), “Effect of 564 waste marble dust content as filler 565 on properties of self-compacting concrete”, *Construction and Building Materials*, Vol.23, No.5, 1947-1953.

- Vahedifard, F., Nili, M. and Meehan, C. L. (2010) “Assessing the effects of supplementary cementitious materials on the performance of low-cement roller compacted concrete pavement”, *Construction and Building Material*, Vol.24, pp.2528–2535,

Engineering of Fracture Mechanics, Vol.180, pp.43–59.

- FOSROC Company, www.fosroc.com, Conplast AEA.

- Ghafoori, N. and Cai, Y. (1998) “Laboratory-made roller compacted concretes containing dry bottom ash: Part II—long-term durability”, *Material Journal*, Vol.95, pp.244–251.

- Hazaree, C., Ceylan, H. and Wang, K. (2011) “Influences of mixture composition on properties and freeze-thaw resistance of RCC”, *Construction and Building Material*, Vol.25, pp.313–319.

- Karadelis, J. N. and Yougui, L. (2015) “Flexural strengths and fiber efficiency of steel fiber reinforced, roller-compacted, polymer modified concrete”, *Construction and Building Material*, Vol.93, pp.498–505.

- La Hucik, J. R., and Roesler, J. R. (2018) “Material constituents and proportioning for roller compacted concrete mechanical properties”, <https://www.ideals.illinois.edu/handle/2142/100878>.

- Lin, Y., Karadelis, J. N. and Xu, Y. (2013) “A new mix design method for steel fibre-reinforced, roller compacted and polymer modified bonded concrete overlays”, *Construction and Building Material*, Vol.48, pp.333–341.

- Madhkhan, M., Azizkhani, R. and Harchegani, M.E.T. (2012) “Effects of pozzolans together with steel and polypropylene fibers on mechanical properties of RCC pavements”, *Construction and Building Material*, Vol.26, pp. 102–112.

- Mardani-Aghabaglou, A., Andiç-Çakir, Ö., and Ramyar, K. (2013) “Freeze–thaw resistance and transport properties of high-volume fly ash roller

بررسی تاثیر الیاف پلی پروپیلن (FRP) بر خصوصیات مکانیکی بتن غلتکی با کاربرد سرعت امواج اولتراسونیک در مناطق سردسیر

- Waddell, Joseph J. and Joseph A. Dobrowolski, "Concrete Construction Handbook," 3rd edition, McGraw-Hill, Inc., 1993.

- Yang .H. Huang, (1994) "Pavement Analysis and Design", 2nd Edition, University of Kentucky, Pearson publication.

سعید توتونچی، درجه کارشناسی در رشته عمران را در سال ۱۳۷۹ از دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز و درجه کارشناسی ارشد در رشته شهرسازی گرایش برنامه ریزی شهری و منطقه ای در سال ۱۳۸۴ را از دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی اخذ نمود. در سال ۱۳۹۴ موفق به ورود به دوره دکتری در رشته عمران گرایش مهندسی و مدیریت ساخت در دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز گردید. زمینه‌های پژوهشی مورد علاقه ایشان مباحث مربوط به تکنولوژی بتن، روشهای تولید بتن، مصالح جایگزین سیمان در بتن و مباحث برنامه ریزی تولید بوده و در حال حاضر دانشجوی دوره دکتری است.



روزبه دبیری، درجه کارشناسی در رشته مهندسی عمران- عمران را در سال ۱۳۷۹ از دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز و درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی عمران- مهندسی زلزله در سال ۱۳۸۲ را از دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران اخذ نمود. در سال ۱۳۸۸ موفق به کسب درجه دکتری در رشته مهندسی عمران- ژئوتکنیک از دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران گردید. زمینه‌های پژوهشی مورد علاقه ایشان ژئوتکنیک لرزه‌ای، بهسازی خاک‌ها، اصلاح مصالح لایه‌های روسازی راه، ژئوتکنیک زیست محیطی، مهندسی پی و ابنیه‌های ژئوتکنیکی بوده و در حال حاضر عضو هیات علمی با مرتبه استادیار (پایه ۱۴) در دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز است.



صمد دیلمقانی، درجه کارشناسی و کارشناسی ارشد در رشته مهندسی عمران را در سال ۱۳۴۳ از دانشگاه فنی استانبول ترکیه اخذ نموده و در سال ۱۳۵۵ موفق به کسب درجه دکترا (Ph.D.) در رشته ترابری و برنامه‌ریزی محیط از دانشگاه بیرمنگهام انگلستان گردید. زمینه های پژوهشی مورد علاقه ایشان عمدتاً در رابطه با تکنولوژی نوین بتن و فیزیک خاک بوده و در حال حاضر با مرتبه استادی بازنشسته دانشگاه- های تبریز و آزاد اسلامی واحد تبریز است.

