نهمین کنفرانس ملی مصالح و سازه های نوین در مهندسی عمران
دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل
بهمن ۱۴۰۱

بررسی ارتباط بین خصوصیات مقاومتی روسازی های بتنی خود متراکم حاوی ماده ی حباب ساز و الیاف میکرو پلی پروپیلن

پویا مهدیقلی[1]، آرمین سیاه منصور [2]

1- دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی عمران-راه و ترابری، دانشکده مهندس عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران-شمال، تهران، ایران

2- کارشناس، مهندسی مکانیک، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران

p_mehdigholi@yahoo.com

خلاصه

تحقیق حاضر به بررسی ارتباط بین خصوصیات مقاومتی روسازی های بتنی خود متراکم حاوی ماده ی حباب ساز و الیاف میکرو پلی پروپیلن می پردازد. الیاف میکرو پلی پروپیلن در مقادیر 0.6 و 0.9 کیلوگرم بر متر مکعب و ماده ی حباب ساز در مقدار 0.025 و 0.050 درصد به مخلوط بتنی شاهد افزوده شد. خصوصیات مقاومتی روسازی های بتنی خود متراکم شامل مقاومت فشاری، کششی دو نیم شدن و مقاومت خمشی ارزیای گردید. دیده شد که الیاف و ماده ی حباب ساز باعث کاهش خصوصیات مقاومتی شده، اما الیاف باعث افزایش مقاومت کششی و خمشی می گردد.

کلمات کلیدی: روسازی بتنی خود متراکم، خصوصیات مقاومتی، ماده ی حباب ساز، الیاف میکرو پلی پروپیلن.

1. مقدمه

روسازی های ساخته شده با مصالح بتنی به دلیل مقاومت بالاتر، دوام بیشتر و عملکرد مناسب تر از طول عمر بیشتری نسبت به روسازی های آسفالتی دارد. از آن جا که روسازی های بتنی نیاز کمتری به عملیات تعمیر و نگهداری، نسبت به روسازی آسفالتی داشته، علی رغم هزینه ی اولیه ی بالاتر، هزینه ی نهایی اجرای این نوع روسازی می تواند کمتر از اجرای روسازی آسفالتی باشد. استفاده از روسازی بتنی در محل هایی که توقف خدمت دهی روسازی به دلیل انجام عملیات تعمیر و نگهداری، با تبعات اقتصادی بالایی بر خوردار بوده، اهمیت می یابد چرا که نیاز کمتری به بازسازی در این نوع روسازی وجود دارد. در این مورد، می توان به روسازی های مورد استفاده در سطوح پروازی (باند های پرواز، محل خزش و اپرون) اشاره کرد که با انجام عملیات تعمیر و نگهداری در این سطوح، خدمت دهی فرودگاه و برنامه ی پروازی دستخوش تغییر می گردد. روسازی بتنی از یک دال بتنی به صورت ساده و یا مسلح تشکیل شده، که به صورت مستقیم بر روی سطح خاک بستر اجرا شده و یا برو روی سطح اساس دانه ای و تثبیتی قرار داده می شود[1,2].

روسازی های بتنی خود متراکم، یکی از روسازی های بتنی نوین در صنعت روسازی بتنی که درسال های اخیر توجه محققان و متولیان صنعت راهسازی را به خود جلب کرده است. این نوع روسازی، با استفاده از مخلوط های بتنی خود متراکم ساخته می گردد. مخلوط های بتنی خود متراکم، از انواع مخلوط های بتنی نوین بوده که با توجه به خصوصیات رئولوژی منحصر به فرد خود، نیاز به عملیات تراکم ندارد. این مخلوط های بتنی پس از ساخت و ریختن در قالب بتنی، تحت اثر وزن خود جریان یافته و در داخل قالب جای می گیرد. از این جهت، نیاز به استفاده از متراکم کننده و انجام عملیات تراکم در سازه های بتنی ساخته شده با این نوع مخلوط بتنی وجود نداشته، و مخلوط بتنی خود متراکم در بین میلگرد ها و دیگر عناصر تشکیل دهنده ی سازه جای می گیرد. استفاده از این مخلوط های بتنی خود متراکم در ساخت روسازی های بتنی نیز باعث کاهش زمان ساخت و افزایش کیفیت روسازی شده و در موارد می تواند هزینه ی نهایی پروژه را کاهش دهد[3–5].

روسازی های بتنی در طول عمر خدمت دهی خود، تحت تاثیر بارگذاری ها و تنش های مختلفی قرار دارد. عبور وسایل نقلیه به طور عمده باعث ایجاد تنش های فشاری و خمشی در روسازی می گردد. از این نظر، مقاومت فشاری و خمشی مخلوط های بتنی مورد استفاده در روسازی بتنی اهمیت می یابد. میزان تنش فشاری، علاوه بر آن که در باربری فشاری روسازی حائز اهمیت بوده، به طور غیر مستقیم بر دیگر خصوصیات روسازی های بتنی تاثیر گذار است. از این جهت، مقاومت فشاری مخلوط های بتنی مورد استفاده در روسازی های بتنی اهمیت می یابد. با این وجود، میزان تنش های فشاری ایجاد شده

از طرف جریان ترافیکی در مقایسه با تنش های خمشی، ناچیز است. به عبارت دیگر، عمده تنش های ایجاد شده در روسازی بتنی ناشی از عبور وسایل نقلیه، به صورت خمشی است. از این جهت، میزان مقاومت خمشی مخلوط بتنی مورد استفاده در روسازی بتنی در عملکرد روسازی تاثیر زیادی داشته به طوری که در روش های طراحی روسازی بتنی، مقاومت خمشی بتن به صورت مستقیم بر طراحی جاده تاثیر می گذارد. وسایل نقلیه و عوامل محیطی می تواند علاوه بر ایجاد تنش های فشاری و خمشی، تنش های کششی در روسازی نیز ایجاد کند. در صورت تجاوز میزان این تنش ها از مقاومت کششی روسازی بتنی، ترک خوردگی در بتن به وجود آمده که می تواند باعث کاهش سطح خدمت دهی و شکست روسازی گردد. از این جهت، مقاومت کششی مخلوط بتنی مورد استفاده در روسازی بتنی در عملکرد و دوام جاده تاثیر گذار است[6,7].

با توجه به اهمیت مشخصات مقاومت مخلوط های بتنی مورد استفاده در روسازی های بتنی، همواره سعی بر آن بوده تا با استفاده از مواد و مصالح نوین، این مشخصات مقاومتی بهبود یابد. یکی از این مواد، مواد افزودنی حباب ساز بوده که به منظور افزایش دوام و کاهش خصوصیات مقاومتی بتن در برابر چرخه های ذوب و یخبندان در روسازی بتنی استفاده می گردد. از آنجا که بیشتر روسازی های بتنی در محل هایی مورد استفاده قرار می گیرند که به طور مداوم در برابر چرخه های ذوب و یخبندان بوده، در نتیجه خصوصیات مقاومتی این روسازی پس از تجربه ی این چرخه های ذوب و یخ، تحت تاثیر قرار می گیرد. مواد افزودنی حباب ساز، با ایجاد حباب های ریز در مخلوط بتنی، دوام بتن در برابر چرخه های ذوب و یخ را افزایش داده و از کاهش چشمگیر مشخصات مقاومتی روسازی بتنی جلوگیری می کند. از این جهت، استفاده از این مواد نوین در روسازی بتنی اهمیت دارد[13–8].

یکی دیگر از مواد نوین مورد استفاده در روسازی های بتنی، الیاف های مختلف بوده که مورد توجه محققان صنعت بتن بوده است. الیاف در بتن باعث افزایش مقاومت کششی و بهبود جذب انرژی در آن می گردد. همچنین، الیاف با قرار گرفتن در محل ترک خوردگی و پل زدن در این محل، از گسترش بیشتر ترک در بتن جلوگیری کرده و باعث افزایش مقاومت پس از ترک خوردگی بتن می گردد. الیاف های مورد استفاده در روسازی های بتنی به طور کلی شامل الیاف های فلزی و مصنوعی می گردد. الیاف های مصنوعی به دلیل مقاومت بالاتر، دوام بیشتر و میزان مصرف کمتر نسبت به الیاف های فلزی، مورد توجه بیشتری واقع شده است. در بین الیاف های مصنوعی، الیاف های مصنوعی بر پایه پلی پروپیلن، از خصوصیات مقاومتی و دوامی بیشتری برخوردار بوده و امکان تهیه ی آن در مقیاس انبوه، جهت استفاده در پروژه های واقعی، فراهم است. از این جهت، از اهمیت بیشتری نسبت به دیگر الیاف های مصنوعی برخوردار است.[22–14]

استفاده از مواد نوین به منظور افزایش و بهبود خصوصیات مقاومتی روسازی های بتنی همواره مورد توجه محققان واقع گردیده است. برخی از محققان، با توجه به اهمیت ماده ی حباب ساز در روسازی های بتنی، اثر افزودن این ماده در مخلوط های بتنی مورد استفاده در روسازی های بتنی را مورد توجه قرار دادند. برخی دیگر از محققان صنعت روسازی، به بررسی اثر این ماده در روسازی های بتنی خود متراکم پرداختند، به عنوان مثال، زیاری و همکاران[1] اثر استفاده از ماده ی حباب ساز بر خصوصیات مقاومتی و دوامی مخلوط های بتنی خود متراکم جهت استفاده در سطوح پروازی را مورد بررسی قرار داده و مشاهده کردند که ماده ی حباب ساز باعث افزایش دوام روسازی بتنی در برابر چرخه های ذوب و یخ شده اما خصوصیات مقاومتی آن را کاهش می دهد[23]. آنان در تحقیقی دیگر نیز به نتیجه ی مشابه رسیدند[24]. برخی دیگر از محققان، اثر افزودن الیاف مصنوعی بر پایه ی پلی پروپیلن بر خصوصیات مقاومتی روسازی بتنی را بررسی نموده، و عنوان کردند که افزودن این الیاف در مقدار مصرف مناسب، می تواند باعث افزایش مقاومت کششی و خمشی روسازی گردد[25].

با وجود انجام برخی از مطالعات در زمینه ی استفاده از مواد نوین حباب ساز و الیاف مصنوعی در روسازی های بتنی، جای خالی تحقیقی که به بررسی همزمان اثر افزودن ماده ی حباب ساز و الیاف میکرو پلی پروپیلن و تاثیر آن بر ارتباط بین خصوصیات مقاومتی روسازی های بتنی خود متراکم بپردازد، احساس می گردد. بررسی اثر ماده ی حباب ساز در مقادیر مصرف مختلف بر ارتباط بین خصوصیات مقاومتی روسازی بتنی خود متراکم کمتر مورد توجه واقع شده است. همچنین، اثر الیاف مصنوعی بر پایه ی پلی پروپیلن در مقادیر مصرف مختلف بر رابطه ی بین خصوصیات مقاومتی روسازی های بتنی خود متراکم، نیازمند بررسی های بیشتر است. بررسی موارد فوق به منظور شناخت بهتر رفتار روسازی های بتنی خود متراکم به منظور ساخت یک روسازی با دوام و عملکرد بالا اهمیت می یابد. از این جهت تحقیق حاضر به بررسی ارتباط بین خصوصیات مقاومتی روسازی های بتنی خود متراکم حاوی ماده ی حباب ساز و الیاف میکرو پلی پروپیلن می پردازد.

2. روش تحقیق

مصالح سنگی مورد استفاده در این تحقیق، مصالح آهکی با حداکثر اندازه ی 19 میلیمتر و پودر خاک سنگ استفاده شد. مصالح سنگی در سه گروه دانه بندی شامل مصالح سنگی ریزدانه با اندازه ی 5-0 میلیمتر، مصالح سنگی درشت دانه با اندازه ی 12-5 میلیمتر و با اندازه ی 19-12 میلیمتر استفاده گردید. جذب آب، مدول نرمی و چگالی نسبی مصالح سنگی ریزدانه به ترتیب به میزان 1.08 درصد، 3.46 و 2.63 بود. مصالح سنگی درشت دانه 12-

[1] Ziari et al

5 میلیمتر دارای جذب آب و چگالی نسبی به ترتیب به میزان 0.70 درصد و 2.63 و مصالح سنگی درشت دانه 19-12 میلیمتر دارای جذب آب و .چگالی نسبی به ترتیب به میزان 0.51 درصد و 2.62 بود. پودر خاک سنگ مورد استفاده در این تحقیق در ابعاد 0-0.6 میلیمتر مورد استفاده قرار گرفت سیمان مورد استفاده در این تحقیق سیمان پرتلند تیپ 425-1 کارخانه سیمان شرق مشهد با وزن مخصوص 3150 کیلوگرم بر متر مکعب بود. نتایج آنالیز شیمیایی سیمان مورد استفاده، ارائه شده توسط آزمایشگاه کنترل و کیفیت کارخانه تولید کننده در جدول 1 آورده شده است.

جدول 1: مشخصات شیمیایی سیمان پرتلند تیپ دو مورد استفاده در این تحقیق

مشخصه ی شیمیایی	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	L.O.I	SO_3	IR	Na_2O	K_2O
مقدار (٪)	21.0	4.6	3.9	62.5	2.9	1.4	2.0	0.3	0.50	0.45
مقدار الزامات مقرارت ملی ایران شماره ی 389	>20.0	<6	<6	-	<5	<3	<3	<0.75	-	-

جهت ایجاد هوای عمدی در مخلوط های بتنی، از ماده ی حباب ساز استفاده گردید. مشخصات فنی این ماده در جدول 2 دیده می شود.

جدول 2: مشخصات فنی و ظاهری ماده ی حباب ساز مورد استفاده در این تحقیق

حالت فیزیکی	مایع
رنگ	سفید
وزن مخصوص	1.02 گرم بر سانتی متر مکعب
قابلیت انحلال	در آب
مقدار کلر	فاقد کلر
مقدار مصرف پیشنهادی (توسط عرضه کننده)	0.01-0.03 وزن مواد سیمانی

الیاف مورد استفاده در این تحقیق، الیاف مصنوعی میکرو پلی پروپیلن مطابق با استاندارد ASTM C1116 و ASTM D7508 بود. در شکل 1 الیاف مورد استفاده در این تحقیق دیده می گردد. مشخصات مکانیکی و فیزیکی این الیاف در جدول 3 مشاهده می گردد.

جدول 3: مشخصات فیزیکی و مکانیکی الیاف میکرو پلی پروپیلن مورد استفاده در این تحقیق

نوع الیاف	ماکرو مصنوعی
جنس الیاف	پلی پروپیلن خالص
شکل ظاهری	تک رشته ای
طول (mm)	12
قطر (mm)	0.03
مقاومت کششی (Mpa)	345
مدول الاستیسیته (Gpa)	3.5
جذب آب	ندارد
وزن مخصوص (gr/cm^3)	0.91

شکل 1: شکل ظاهری الیاف میکرو پلی پروپیلن مصنوعی مورد استفاده در این تحقیق

از ماده ی فوق روان کننده بر پایه ی پلی کربوکسیلات اتر در ساخت مخلوط های بتنی خود متراکم استفاده گردید. ماده ی افزودنی مورد استفاده توانایی ایجاد روانی مورد نیاز در ساخت مخلوط های بتنی خود متراکم را دارا بود.آب آشامیدنی سیستم لوله کشی آزمایشگاه جهت ساخت مخلوط های بتنی خود متراکم مورد استفاده قرار گرفت.

طرح اختلاط بتن خود متراکم روسازی مطابق با ضوابط ذکر شده در ضابطه ی 731، دستور العمل طراحی، اجرا و نگهداری روسازی بتنی راه ها، انجام گرفت. نسبت های اختلاط بتن خود متراکم به گونه ای تعیین گردید تا الزامات مورد نظر در طرح اختلاط بتن روسازی بتنی رعایت گردد. این الزامات در جدول 4 دیده می گردد.

جدول 4: معیار های تعیین نسبت های اختلاط بتن روسازی بتنی مطابق با ضابطه ی 731

معیار	مقدار	روش آزمایش
مقاومت فشاری	30.3	ASTM C39
مقاومت خمشی (به روش تیر ساده بارگذاری در یک سوم دهانه)	4.1	ASTM C78
حداقل سیمان (Kg/m^3)	320- در شرایط بدون چرخه های ذوب و یخبندان	-
	335- در شرایط با چرخه های ذوب و یخبندان	-
حداکثر نسبت آب به مواد سیمانی (W/CM)	0.53	-
هوای بتن	5 تا 8 درصد	ASTM C231

بدین ترتیب نسبت های اختلاط بتن خود متراکم مورد استفاده در روسازی بتنی به گونه ای تعیین گردید تا معیار های جدول 4 رعایت گردد. میزان مصرف ماده ی حباب ساز با توجه به مقادیر پیشنهاد شده توسط آزمایشگاه کنترل و کیفیت کارخانه تولید کننده، طوری انتخاب گردید تا امکان بررسی تغییر میزان هوای بتن بر خصوصیات مقاومتی مورد نظر در این تحقیق وجود داشته باشد. از این جهت، مقادیر 0.025 و 0.05 کیلوگرم در متر مکعب بتن تازه انتخاب گردید. در انتخاب این مقادیر، حداکثر میزان هوای مجاز در بتن روسازی بتنی (جدول 4) نیز در نظر گرفته شد. الیاف میکرو پلی پروپیلن در مقادیر 0.6 و 0.9 کیلوگرم بر متر مکعب بتن تازه استفاده شد تا تغییر میزان مصرف الیاف بر خصوصیات مورد نظر بتن سخت شده امکان پذیر باشد. بدین ترتیب تعداد 1 طرح اختلاط بتن شاهد و 4 طرح اختلاط بتن حاوی ماده ی حباب ساز و الیاف میکرو پلی پروپیلن در این تحقیق مد نظر قرار گرفت. جدول 5، نسبت های وزنی طرح های اختلاط مورد بررسی در این تحقیق را نشان می دهد.

جدول 5: نسبت های وزنی طرح های اختلاط مورد بررسی در این تحقیق

طرح اختلاط	معرف طرح اختلاط	سیمان (Kg/m^3)	مصالح سنگی ریزدانه (0-5 mm) (Kg/m^3)	مصالح سنگی درشت دانه ریز (5-12 mm) (Kg/m^3)	مصالح سنگی درشت دانه متوسط (12-19 mm) (Kg/m^3)	پودر خاک سنگ (Kg/m^3)	آب (Kg/m^3)	فوق روان کننده (Kg/m^3)	حباب ساز (Kg/m^3)	الیاف (Kg/m^3)
شاهد	RE	400	953	347	173	267	196	3.8	0.046	0
الیافی هودار	FRC0.6-AEA0.025	400	953	347	173	267	196	3.8	0.025	0.6
الیافی هودار	FRC0.6-AEA0.050	400	953	347	173	267	196	3.8	0.050	0.6
الیافی هودار	FRC0.9-AEA0.025	400	953	347	173	267	196	3.8	0.025	0.9
الیافی هودار	FRC0.9-AEA0.050	400	953	347	173	267	196	3.8	0.050	0.9

مقاومت فشـاری مخلوط های بتنی با اسـتفاده از روش ASTM C39 و آزمایش بر روی آزمونه های اسـتوانه ای تعیین گردید. در این تحقیق از استوانه ای 200*100 میلیمتر استفاده شد. تعداد 3 استوانه از هر طرح اختلاط ساخته شده و تا زمان رسیدن به سن 28 روزه، در حوضچه های عمل

آوری مطابق با شرایط استاندارد نگهداری گردید. اعمال بارگذاری بر روی آزمونه های استوانه ای، با استفاده از دستگاه جک فشاری با ظرفیت 200 تن، صورت گرفت. در شکل 2، آزمونه های استوانه ای جهت ارزیابی مقاومت فشاری مخلوط های بتنی خود متراکم دیده می گردد.

شکل 2: ارزیابی مقاومت فشاری مخلوط های بتنی خود متراکم مطابق با استاندارد ASTM C39

مقاومت کششی غیر مستقیم مخلوط های بتنی خود متراکم با استفاده از روش آزمایش استاندارد ASTM C496 تعیین گردید. در این روش آزمونه های استوانه ای 200*100 میلیمتر ساخته شده و سپس تا زمان رسیدن به سن 28 روزه در شرایط استاندارد نگهداری گردید. تعداد 3 آزمونه از هر طرح اختلاط ساخته شده و میانگین نتایج مد نظر قرار گرفت. بارگذاری بر روی آزمونه های استوانه ای به منظور تعیین مقاومت کششی غیر مستقیم با استفاده از دستگاه جک فشاری، همانند آزمایش ارزیابی مقاومت فشاری، صورت گرفت. در شکل 3، آزمونه های استوانه ای و ارزیابی مقاومت کششی غیر مستقیم مخلوط های بتنی مورد نظر در این تحقیق را نشان می دهد.

شکل 3: ارزیابی مقاومت کششی دو نیم شدن مخلوط های بتنی خود متراکم مطابق با استاندارد ASTM C496

مقاومت خمشی (مدول گسیختگی خمشی) مخلوط های بتنی خود متراکم با استفاده از روش استاندارد ASTM C78 ارزیابی گردید. در این روش تیر های بتنی با ابعاد 100*100*350 میلیمتر و با طول موثر 300 میلیمتر ساخته شده و به مدت 28 روز در شرایط استاندارد عمل آوری گردید. تعداد 3 تیر از هر طرح اختلاط ساخته شده و میانگین نتایج مد نظر قرار گرفت. بارگذاری خمشی با استفاده از دستگاه جک خمشی با ظرفیت 60 تن انجام گرفت

3. نتایج و بحث

در این قسمت نتایج به دست آمده از آزمایش های ارزیابی خصوصیات مقاومتی مخلوط های بتنی شاهد و حاوی الیاف میکرو پلی پروپیلن و ماده ی حباب ساز در مقادیر مصرف مختلف آورده شده و مورد تجزیه و تحلیل قرار می گیرد. در جدول 6 نتایج مقاومت فشاری، کششی دو نیم شدن و خمشی مخلوط های بتنی شاهد و حاوی الیاف میکرو پلی پروپیلن و ماده ی حباب ساز در مقادیر مصرف مختلف را نشان می دهد. با توجه به نتایج به دست آمده مشاهده می گردد که ارتباط بین مقاومت فشاری با مقاومت کششی دو نیم شدن و مقاومت خمشی مخلوط های بتنی متفاوت است. به عنوان مثال، با کاهش مقاومت فشاری در طرح اختلاط FRC0.6-AEA0.025، مقاومت کششی دو نیم شدن و مقاومت خمشی این طرح اختلاط افزایش می یابد. به طور کلی، مقاومت فشاری مخلوط بتنی با مقاومت کششی آن ارتباط مستقیم داشته، به طوری که با افزایش مقاومت فشاری آن، مقاومت کششی دو نیم شدن بتن افزایش می یابد. با این حال، در طرح های اختلاط بتن حاوی الیاف میکرو پلی پروپیلن و ماده ی حباب ساز، با کاهش مقاومت فشاری بتن، مقاومت کششی دو نیم شدن آن افزایش می یابد. علت این موضوع را در دو قسمت تشریح کرد. در ابتدا، با افزودن ماده ی حباب ساز و الیاف میکرو پلی پروپیلن به مخلوط بتنی شاهد، مقاومت فشاری آن کاهش می یابد. علت کاهش مقاومت فشاری، ناشی از افزایش میزان تخلخل و کاهش مقاومت ماتریس سیمان ناشی از افزودن الیاف میکرو پلی پروپیلن و ماده ی حباب ساز است. این مواد، با ایجاد تخلخل در مخلوط بتنی، قابلیت باربری بتن تحت تنش های فشاری را کاهش می دهد. در نتیجه، با افزودن ماده ی حباب ساز و الیاف میکرو پلی پروپیلن، مقاومت فشاری بتن کاهش می یابد. با توجه به نتایج جدول 6، مشاهده می گردد که با افزودن بیشتر الیاف میکرو پلی پروپیلن و ماده ی حباب ساز، مقاومت فشاری مخلوط های بتنی بیشتر کاهش می یابد. به عبارت

دیگر روند کاهش مقاومت فشاری با افزایش الیاف میکرو پلی پروپیلن و ماده ی حباب ساز ادامه دارد. علت این امر، ناشی از افزایش تخلخل و کاهش بیشتر مقاومت ماتریس سیمان و سنگدانه، ناشی از افزودن بیشتر این مواد است. همانطور که نتایج جدول 6 نشان می دهد، بیشترین کاهش مقاومت فشاری در طرح اختلاط FRC0.9-AEA0.050 رخ داده، به طوری که مقاومت فشاری این طرح اختلاط تا میزان 25 درصد نسبت به طرح اختلاط بتن شاهد کاهش می یابد. این موضوع می تواند اثباتی بر اثر منفی حداکثری ماده ی حباب ساز و الیاف میکرو پلی پروپیلن در کاهش مقاومت فشاری بتن باشد.

جدول 6: نتایج خصوصیات مقاومتی مخلوط های بتنی شاهد و حاوی الیاف میکرو پلی پروپیلن و ماده ی حباب ساز در مقادیر مصرف مختلف

معرف طرح اختلاط	مقاومت فشاری (مگاپاسکال)	مقاومت کششی دو نیم شدن (مگاپاسکال)	مقاومت خمشی (مگاپاسکال)
RE	40.4	3.6	4.3
FRC0.6-AEA0.025	35.6	4.0	4.7
FRC0.6-AEA0.050	33.8	3.2	4.2
FRC0.9-AEA0.025	34.7	4.3	4.9
FRC0.9-AEA0.0.50	30.2	3.4	4.2

در طرف مقابل، با افزودن الیاف میکرو پلی پروپیلن و ماده ی حباب ساز، تغییر رفتار مقاومت کششی دو نیم شدن و خمشی بتن متفاوت است. همانطور که در قسمت قبل گفته شد، با افزودن ماده ی حباب ساز، میزان تخلخل مخلوط بتنی افزایش یافته، در نتیجه خصوصیات مقاومتی آن تحت تاثیر قرار می گیرد. این موضوع در مورد مقاومت کششی دو نیم شدن و مقاومت خمشی بتن نیز صادق بوده، به طوری که با افزودن ماده ی حباب ساز به مخلوط بتنی، این دو مشخصه ی مقاومتی کاهش می یابد. از طرفی، افزودن الیاف میکرو پلی پروپیلن باعث افزایش مقاومت کششی و خمشی بتن می گردد. الیاف میکرو پلی پروپیلن با افزایش قابلیت جذب انرژی و مقاومت کششی بتن، طاقت کششی و خمشی مخلوط بتنی تحت تنش های کششی و خمشی را افزایش می دهد. از این جهت، مقاومت کششی دو نیم شدن و خمشی بتن با افزودن الیاف میکرو پلی پروپیلن افزایش می یابد. همانطور که از نتایج جدول 6 پیداست، در مخلوط های بتنی با میزان ماده ی حباب ساز 0.025 درصد، اثر مثبت الیاف میکرو پلی پروپلین در افزایش مقاومت کششی دو نیم شدن و مقاومت خمشی بر اثر منفی ماده ی حباب ساز در کاهش این دو مشخصه ی مقاومتی غلبه کرده، و باعث می گردد تا مقاومت کششی دو نیم شدن و مقاومت خمشی این مخلوط های بتنی افزایش یابد. بیشترین میزان افزایش مقاومت کششی دو نیم شدن و مقاومت خمشی در طرح اختلاط FRC0.9-AEA0.025 به ترتیب به میزان 18 و 16 درصد رخ می دهد. اما، در مخلوط های بتنی با میزان ماده ی حباب ساز 0.050 درصد، اثر منفی ماده ی حباب ساز بر اثر مثبت الیاف میکرو پلی پروپیلن برتری یافته، در نتیجه، مقاومت کششی دو نیم شدن و مقاومت خمشی این طرح مخلوط های بتنی، نسبت به بتن شاهد کاهش می یابد. بیشترین میزان کاهش مقاومت کششی دو نیم شدن و مقاومت خمشی در طرح اختلاط FRC0.6-AEA0.050 به ترتیب 11 و 2 درصد اتفاق می افتد.

4. نتیجه گیری

تحقیق حاضر به بررسی ارتباط بین خصوصیات مقاومتی روسازی های بتنی خود متراکم حاوی ماده ی حباب ساز و الیاف میکرو پلی پروپیلن پرداخت. مهم ترین نتایج به دست آمده از این تحقیق به شرح زیر است:

- ارتباط بین مقاومت فشاری با مقاومت کششی دو نیم شدن و مقاومت خمشی مخلوط های بتنی حاوی الیاف میکرو پلی پروپیلن و ماده ی حباب ساز در مقادیر مصرفم مختلف، مستقیم نبوده و متفاوت است.
- با افزودن الیاف میکرو پلی پروپیلن و ماده ی حباب ساز، مقاومت فشاری مخلوط های بتنی تا میزان حداکثر 25 درصد نسبت به طرح اختلاط شاهد کاهش می یابد. افزودن بیشتر این مواد، باعث کاهش بیشتر مقاومت فشاری مخلوط های بتنی می گردد.
- رفتار تغییر مقاومت کششی دو نیم شدن و مقاومت خمشی مخلوط های بتنی حاوی الیاف میکرو پلی پروپیلن و ماده ی حباب ساز، وابسته به میزان مصرف هر یک از این مواد است.
- در طرح های اختلاط با ماده ی حباب ساز به میزان پایین تر (0.025 درصد) اثر مثبت الیاف میکرو پلی پروپیلن بر اثر منفی ماده ی حباب ساز غلبه کرده و باعث افزایش مقاومت کششی دو نیم شدن و مقاومت خمشی مخلوط های بتنی به ترتیب حداکثر تا میزان 18 و 16 درصد گردد.

- در طرح های اختلاط با ماده ی حباب ساز بالاتر (0.050 درصد) اثر منفی ماده ی حباب ساز بر اثر مثبت الیاف میکرو پلی پروپیلن برتری یافته و منجر به کاهش مقاومت کششی دو نیم شدن و مقاومت خمشی مخلوط های بتنی به ترتیب حداکثر تا میزان 11 و 2 درصد اتفاق می افتد.

5. مراجع

[1] R. Goyena, A.. Fallis, Pavement Engineering - Principles and Practice, 2019. https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004.

[2] N.J. Delatte, Concrete pavement design, construction, and performance, Crc Press, 2014.

[3] B. Ayobami, A. Joseph, D. Bamidele, O. Tokunbo, N. Ben, International Journal of Advanced and Applied Sciences Pavement construction using self-compacting concrete : Mechanical properties, Int. J. Adv. Appl. Sci. 4 (2017) 50–55.

[4] A.A. Busari, J.O. Akinmusuru, B.I.O. Dahunsi, A.S. Ogbiye, J.O. Okeniyi, Self-compacting concrete in pavement construction: Strength grouping of some selected brands of cements, Energy Procedia. 119 (2017) 863–869. https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.07.139.

[5] A.P. Akgungor, O. Sevim, I. Kalkan, I. Demir, Restrained shrinkage cracking of self-consolidating concrete roads, IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron. 25 (2018) 1021–1030. https://doi.org/10.1515/secm-2017-0146.

[6] M. Khan, A. Rehman, M. Ali, Efficiency of silica-fume content in plain and natural fiber reinforced concrete for concrete road, Constr. Build. Mater. 244 (2020) 118382. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118382.

[7] M. Khan, M. Ali, Effectiveness of hair and wave polypropylene fibers for concrete roads, Constr. Build. Mater. 166 (2018) 581–591. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.01.167.

[8] H.A. Shah, Q. Yuan, S. Zuo, Air entrainment in fresh concrete and its effects on hardened concrete-a review, Constr. Build. Mater. 274 (2021) 121835. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121835.

[9] J. Hu, F. Zhao, Y. Kuang, D. Yang, M. Zheng, L. Zhao, Microscopic characteristics of the action of an air entraining agent on cemented paste backfill pores, Alexandria Eng. J. 59 (2020) 1583–1593. https://doi.org/10.1016/j.aej.2020.04.005.

[10] S.Y. Chung, P. Sikora, T. Rucinska, D. Stephan, M. Abd Elrahman, Comparison of the pore size distributions of concretes with different air-entraining admixture dosages using 2D and 3D imaging approaches, Mater. Charact. 162 (2020) 110182. https://doi.org/10.1016/j.matchar.2020.110182.

[11] X. Li, H. Wang, Effect of air-entraining agent on durability of high performance concrete based on sulphur aluminate cement under microscope, Acta Microsc. 29 (2020) 650–657.

[12] M. Khanzadeh Moradllo, C. Qiao, R.M. Ghantous, M. Zaw, H. Hall, M.T. Ley, W.J. Weiss, Quantifying the freeze-thaw performance of air-entrained concrete using the time to reach critical saturation modelling approach, Cem. Concr. Compos. 106 (2020) 103479. https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2019.103479.

[13] J. Ma, Y. Shang, C. Peng, H. Liu, S. Zheng, H. Zhao, S. Qi, Q. Ran, Synthesis, characterization, and performance of novel phosphate-modified polymers as air-entraining agents, Constr. Build. Mater. 232 (2020) 117231. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117231.

[14] A. Zarei, H. Rooholamini, T. Ozbakkaloglu, Evaluating the Properties of Concrete Pavements Containing Crumb Rubber and Recycled Steel Fibers Using Response Surface Methodology, Int. J. Pavement Res. Technol. (2021). https://doi.org/10.1007/s42947-021-00049-7.

[15] D. Ding, Bending fatigue characteristics of fiber grid reinforced cement concrete pavement, J. Appl. Sci. Eng. 24 (2021) 99–104. https://doi.org/10.6180/jase.202102_24(1).0013.

[16] F.M.T. Alireza Miri, Rojina Ehsani, A Numerical Simulation of the Electrical Resistivity of Concrete Pavements Containing Steel Fibers, Airf. Highw. Pavements. (2021) 356–364.

[17] G.A. Arce, H. Noorvand, M.M. Hassan, T. Rupnow, N. Dhakal, Feasibility of low fiber content PVA-ECC for jointless pavement application, Constr. Build. Mater. 268 (2021) 121131. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121131.

[18] M.S. Eisa, M.E. Basiouny, A.M. Youssef, Effect of macro-synthetic fibers on the drying shrinkage performance of rigid pavement, Innov. Infrastruct. Solut. 6 (2021). https://doi.org/10.1007/s41062-021-00577-y.

[19] X. Meng, E. Bai, W. Xia, Z. Huang, Z. Wang, Effect of Carbon Fiber on Microwave Deicing Efficiency of

Pavement Concrete, in: IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci., 2021. https://doi.org/10.1088/1755-1315/719/3/032086.

[20] M. A. Abdulridha, M. M. Salman, Q. S. Banyhussan, EFFECT POLYPROPYLENE OF FIBER ON DRYING SHRINKAGE CRACKING OF CONCRETE PAVEMENT USING RESPONSE SURFACE METHODOLOGY, J. Eng. Sustain. Dev. 25 (2021) 10–21. https://doi.org/10.31272/jeasd.25.3.2.

[21] L. Chintea, A. Mishutin, I. Grynyova, M. Zavoloka, Experimental statistical models for the study of cement-concrete for road pavements, IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng. 1141 (2021) 012014. https://doi.org/10.1088/1757-899x/1141/1/012014.

[22] J. Blazy, R. Blazy, Polypropylene fiber reinforced concrete and its application in creating architectural forms of public spaces, Case Stud. Constr. Mater. 14 (2021) e00549. https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00549.

[23] H. Ziari, P. Hayati, J. Sobhani, Airfield self-consolidating concrete pavements (ASCCP): Mechanical and durability properties, Constr. Build. Mater. 72 (2014) 174–181. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.08.047.

[24] H. Ziari, P. Hayati, J. Sobhani, Air-Entrained Air Field Self-Consolidating Concrete Pavements : Strength and Durability, Int. J. Civ. Eng. (2016). https://doi.org/10.1007/s40999-016-0104-4.

[25] M. Ahmadi, G.A. Shafabakhsh, A. Hassani, Fracture and mechanical performance of Two-Lift Concrete Pavements made of Roller Compacted Concrete and Polypropylene Fibers, Constr. Build. Mater. (2020) 121144. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121144.