

## بررسی عملکرد مقاومت و سایش و اصطکاک سطحی روسازی بتن غلتکی پلیمری حاوی رزین آکرلیک (رزین پایه آب)

مقاله علمی - پژوهشی

علی اسدی مشیزی، دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه یزد، یزد، ایران

محمد مهدی خیبری\*، دانشیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه یزد، یزد، ایران

\*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: mkhabiri@yazd.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۲/۰۲/۲۰ - پذیرش: ۱۴۰۲/۰۷/۲۵

صفحه ۹۹-۱۱۰

### چکیده

رزین آکرلیک پایه آبی بعنوان یکی از مواد اولیه با سیمان، آب و دیگر مواد در تهیه مخلوط بتنی مورد استفاده قرار می‌گیرد. رزین آکرلیک قابلیت ترکیب در هر نوع ملاتی را دارا بوده و با انواع رنگ‌های آکرلیک نیز سازگار است. همچنین در مقابل مواد شیمیایی و املاح و نمک‌ها به شدت مقاوم است و اجازه رشد و تجمع میکروارگانیسم‌ها را در سطح نمی‌دهد. این ماده اجازه تنفس سازه‌ای را فراهم و تنش‌های منفی و مثبت آب را به راحتی تحمل می‌نماید و به عنوان ماده‌ای پرکاربرد در صنعت ایزولاسیون شناخته می‌شود. طبق خواص شیمیایی بیان شده، نوآوری تحقیق حاضر، بدست آوردن درصد بهینه از رزین آکرلیک در مخلوط بتنی خواهد بود. در این تحقیق، ابتدا نمونه‌های بتنی با درصد‌های وزنی (۵ و ۱۰ و ۱۵ درصد) رزین آکرلیک ساخته شده و تعداد نمونه‌های ساخته شده متناسب با تعداد آزمایش‌های قابل انجام بر روی نمونه‌ها بوده است؛ به گونه‌ای که برای هر آزمایش ۳ نمونه ساخته شده است. پس از ساخت نمونه‌ها، آزمایش‌های: مقاومت فشاری، خمشی، آزمایش جذب آب، آزمایش سایش و اصطکاک سطحی بر روی نمونه‌ها بصورت جداگانه انجام شده است. نتایج این تحقیق حاکی از آن است که استفاده از رزین آکرلیک بطور قابل ملاحظه ای میزان مقاومت خمشی و مقاومت سایشی نمونه‌های بتن روسازی بتن غلتکی را افزایش می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: بتن غلتکی، رزین آکرلیک، مقاومت خمشی و فشاری، اصطکاک، مقاومت سایشی

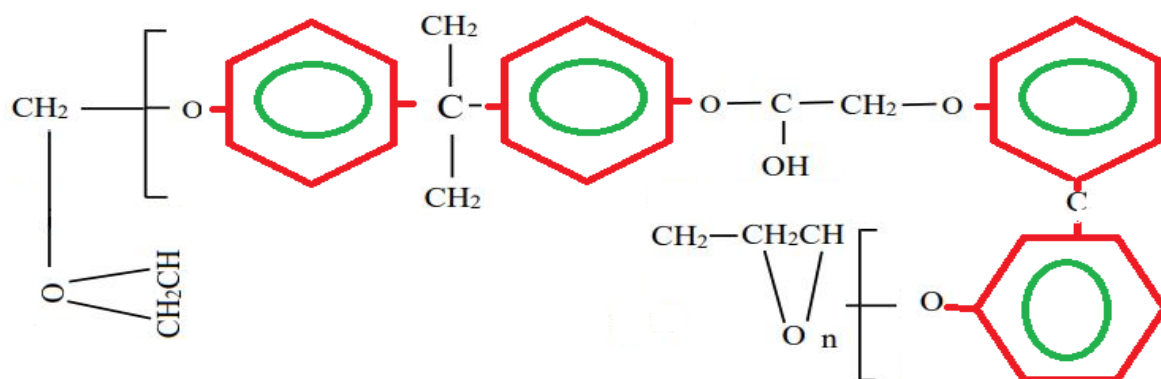
### ۱- مقدمه

استر، می‌توانند به عنوان چسب در بتن تازه و همچنین در تعمیر و تقویت بتن سخت شده در بخش ساخت و ساز روسازی و راه استفاده شوند [Biswal, BadJena, and Pradhan, 2020]. قابلیت ترکیب در هر نوع ملاتی توسط رزین آکرلیک فراهم است و همراه با انواع رنگ‌های آکرلیک نیز قابل استفاده است. این ماده اجازه تنفس سازه‌ای را فراهم و فشارهای منفی و مثبت آب را به راحتی تحمل می‌نماید و به عنوان ماده‌ای همه کاره در صنعت ایزولاسیون شناخته می‌شود مقاومت بالایی در برابر اشعه یو.وی، مواد شوینده و گاز دی اکسید کربن داراست. رزین آکرلیک ضد باکتری، خزه و جلبک است و اجازه تجمع و نمو این مواد را در سطح

در مخلوط‌های بتنی، رزین آکرلیک<sup>۱</sup> پایه آبی بعنوان یکی از مواد اولیه با سیمان، آب و دیگر مواد افزودنی بکاربرده می‌شود. پیش‌بینی می‌شود که بتن، چسبندگی<sup>۲</sup> و مقاومت زیادی در مقابل نفوذ آب و دیگر عوامل مهاجم دارد. همچنین از روش‌های متداول برای کاهش ویسکوزیته، تامین مقاومت آبی و نهایی مخلوط بتنی، جذب آب کمتر و پایداری در برابر عوامل محیطی، استفاده از رزین آکرلیک در مخلوط بتنی می‌باشد [Kharazian, et. al., 2019]. سطح بتن غلتکی پس از گیرش نیز، بصورت پوسته‌پوسته شده تبدیل می‌شود که پیش‌بینی بر آن است که افزودن رزین آکرلیک بتواند این مشکل را نیز برطرف کند. پلیمرها، منحصراً رزین‌های اپوکسی و پلی

یکنواخت توزیع شده، به عنوان مانعی برای عبور رطوبت و گونه‌های مهاجم به سطح بتن عمل می‌کند و در نتیجه دوام بتن را افزایش می‌دهد [Basha, et. al., 2021]. مخلوط آسفالت اپوکسی<sup>۲</sup>، یک فناوری نسبتاً جدید برای استفاده به عنوان یک ماده روسازی در روسازی‌های انعطاف‌پذیر است. مطابق شکل ۱، ترکیبات مختلف اپوکسی رزینها، کارهای تحقیقاتی مختلفی در مورد عملکرد آزمایشگاهی و میدانی آن انجام شده است. با این حال، تحقیقات جامعی که عملکرد عملکردی و میدانی پوشش می‌دهد، وجود ندارد، علاوه بر این، استفاده از رزین اپوکسیدر ساختار روسازی‌ها در تونل‌ها و روی عرشه پل سودمند است. در نتیجه، عملکرد بالاتر آن از توسعه روسازی با عملکرد بهتر برای کاربردهای مختلف پشتیبانی می‌کند [Jamshidi, White, Kurumisawa, 2023].

نمی‌دهد [Fan, et. al., 2022]. طبق خواص شیمیایی گفته شده از رزین آکرلیک، نوآوری تحقیق حاضر بدست آوردن بهینه‌ترین درصد از رزین آکرلیک در مخلوط بتنی بوده است. در مطالعات قبلی در رابطه با اثربخشی پوشش‌های رزین اپوکسی اصلاح شده توسط ذرات کربن نانو، با ضایعات سوخت نفت سنگین را در افزایش دوام بتن ارائه شد [Dorado, et. al., 2023]، که یک ماده ضایعاتی تولید شده از احتراق نفت کوره سنگین در نیروگاه‌ها، برای تهیه ذرات کربن که با اپوکسی در درصدهای وزنی مختلف برای ایجاد پوشش کامپوزیت مخلوط می‌شود. داده‌های تجربی نشان داد که عملکرد پوشش کامپوزیت با ۱٪ نانوکربن با مقاومت در برابر نفوذ یون‌های کلرید، حملات اسیدی و سولفات، و برای افزایش استحکام پیوند دارای بهترین عملکرد است. نانوکربن



شکل ۱. ساختار شیمیایی معمول رزین اپوکسی رزین اپوکسی (حاصل از واکنش آبی)

بتن رزینی اپوکسی نوعی از بتن پلیمری است که ویژگی‌های عالی مانند استحکام بالا، زمان عمل‌آوری کوتاه، دوام بهبود یافته و مقاومت در برابر یخ زدگی-ذوب را نشان می‌دهد [Lokuge, and Aravinthan, 2013] بتن رزینی اپوکسی در روسازی عرشه پل، تعمیر سریع روسازی، روسازی‌های رنگی و روسازی‌های با کاربرد خاص استفاده می‌شود [Huang, & Chen, 2021]. بتن پلیمری از دوام خوبی برخوردار است و تحت انتخاب چسب خوب، پتانسیل پایداری در دمای بالا و مقاومت در برابر ترک در دمای پایین را بهتر از بتن آسفالتی دارد [Li, & Yu, 2022] بتن پلیمری می‌تواند به خوبی با ساختار اصلی روسازی پیوند بخورد و از یک سری خرابی‌های ناشی از اتصال بین لایه‌ای ناکافی جلوگیری کند [Chen, et. al., 2022]. محققین رفتارهای تریبولوژیکی

رزین اپوکسی تقویت شده توسط نیتريد بور را بررسی کرده‌اند و گزارش کرده‌اند که ضریب اصطکاک و افت سایش کاهش یافته است [pan., et. al., 2014]. رفتارهای اصطکاک و تریبولوژی نانولوله‌های کربنی چند جداره و رزین اپوکسی اصلاح شده با نیتريد بور توسط دیگر پژوهشگران مورد بررسی قرار گرفته است. آنها رزین اپوکسی را با سه پیکربندی نانوذرات مختلف به صورت اصلاح کردند. آنها نشان دادند که اصلاح ذرات نانو منجر به کاهش ضریب اصطکاک و کاهش سایش شده است [Duzcukoglu, et. al., 2015]. هدف از این تحقیق افزایش کارایی مخلوط روسازی بتنی شامل: افزایش ویسکوزیته، افزایش مقاومت فشاری و خمشی، افزایش مقاومت سایشی و اصطکاک سطحی و بررسی میزان پوسته شدن مخلوط پس از گیرش و در نتیجه کاهش ترک

گسترده‌ای از مصالح و مواد کاربردی به دلیل خصوصیات و ساختار شیمیایی خاص و ویژگی زیباشناختی آن بکار می‌رود. رزین آکرلیک اصلاح کلی برای هر یک از رزین‌های تولید شده از طریق واکنش شیمیایی با استفاده از کاتالیزور و آغازگر، پلیمریزاسیون و گرما به یک مونومر است. اغلب لاتکس‌های پرکاربرد بر اساس پلی‌متیل متاکرلیلیت که لاتکس‌های اکریلیکی نیز نامیده می‌شوند نظیر پلاستیک‌های طبیعی، پلاستیک‌های نیتریل، وینیل کلراید، و پلی وینیل استات هستند و هر یک از این پلیمرها خصوصیات فیزیکی مخصوص به خود را دارا هستند. در بتن از رزین آکرلیک به عنوان افزودنی استفاده می‌شود که با فناوری نانو تولید شده‌است و بتن سطحی را پوشش داده و ضد باکتری و جلبک، خزه و سایر بیومتریال می‌کند. با این شرایط می‌تواند در اجراء سازه‌های هیدرولیکی بسیار پرکاربرد باشد. خصوصیات بتن دو جزئی پلیمر-سیمان تولید شده با انواع پلیمرها از سست تا کاملاً مقاوم و مناسب تغییر می‌کند. ویژگی ناپایداری و سستی محصولات در ناسازگاری بین اغلب پلیمرها و مونومرها با قسمتی از جزء ترکیبی بتن نسبت داده می‌شود. رزین آکرلیک، برای بهبود خصوصیات مهندسی برای کاربرد در ساخت و ساز استفاده می‌شود. رزین آکرلیک گروهی از رزین‌های ترموپلاستیک می‌باشند که از طریق پلیمرزاسیون استرها و یا آمیدهای اسیدهای اکریلیک بدست می‌آیند و در بتن‌های پلیمری و بتن‌های پلیمری اصلاحی، کاربرد دارد. در این مطالعه از رزین آکرلیک تولیدی شرکت شورلول ایران، استفاده شد، که مایع پلیمری است و که در آب‌بندی و بالا بردن مقاومتی و خواص مکانیکی روسازی بتنی بکاربرده می‌شود و مشخصات آن در جدول ۲ آورده شده‌است.

خوردگی در روسازی بتنی، با تعیین درصد بهینه از رزین آکرلیک در مخلوط بتنی می‌باشد.

با توجه به این موضوع، در این تحقیق با تغییر در میزان رزین آکرلیک در آزمایشگاه و بررسی ویسکوزیته، اصطکاک و مقاومت سایشی، افزایش مقاومت سایشی و اصطکاک روسازی مدنظر تحقیق خواهد بود.

## ۲- مصالح و روش‌ها

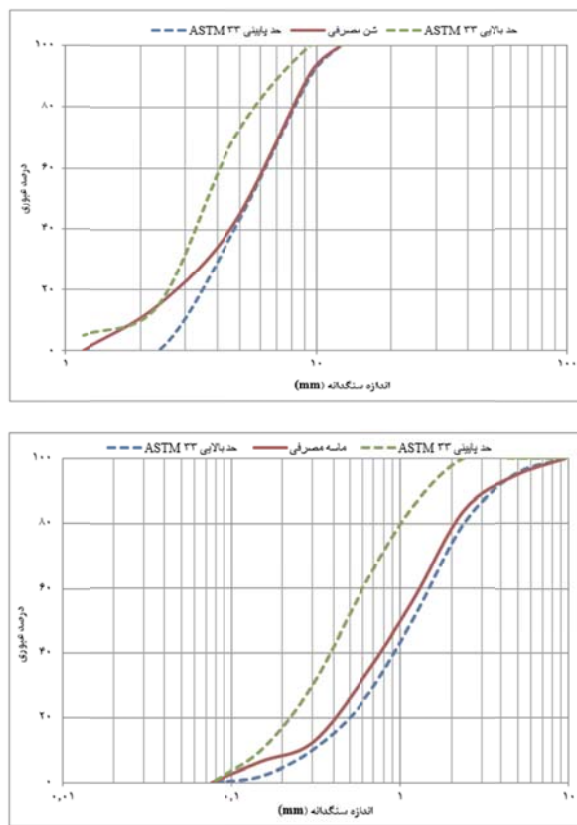
### ۲-۱- مصالح بکاررفته

مشخصات مکانیکی مصالح شن و ماسه مصرفی، شامل وزن مخصوص و درصد جذب آب سنگدانه‌ها برای در جدول ۱ آورده شده‌است. اندازه‌گیری میزان جذب آب سنگدانه برای تعیین میزان دقیق آب مصرفی در ساخت روسازی بتنی مورد استفاده قرار می‌گیرد. دانه‌بندی مصالح سنگی بکاررفته در شکل ۲، براساس استاندارد ASTM C136 مطابق با نشریه ۷۳۱، ارایه شده‌است.

رزین آکرلیک؛ یک ماده پلیمری<sup>۴</sup> حاوی مونومرهای اکریلیک است. این مونومرها معمولاً استرهای اسیدهای اکریلیک، متاکریلیک یا مشتقات آنها هستند و با معرفی گروه‌های شیمیایی مختلف، می‌توان آنها را فعال کرد. مونومرهای دیگر نیز می‌توانند در زنجیره‌های پلیمری گنجانده شوند تا رزین‌هایی با خواص متفاوت یا هزینه کمتری بدست‌آورد. به‌طورکلی رزین‌های آکرلیک مقاومت شیمیایی و فتوشیمیایی خوبی از خود نشان می‌دهند. این رزین‌ها معمولاً در بسیاری از کاربردهای مختلف از جمله صنعت پوشش، رنگ‌های ترفیکی، صنعت ساختمانی، ساخت آکواریوم‌ها، وان‌های حمام و غیره استفاده می‌شوند. در این تحقیق، ابتدا نمونه‌های بتنی با درصد‌های وزنی (۵ و ۱۰ و ۱۵ درصد) رزین آکرلیک ساخته می‌شوند. طبق روش استاندارد ASTM D6440 رزین اکریلیک در تولید رنگ‌ها و چسب، مواد اولیه کفپوش و اجراء سقف‌سبک کاربرد دارند. این نوع رزین‌ها در دسته‌ی

جدول ۱. مشخصات فیزیکی مصالح سنگی مصرفی مطابق با استاندارد نشریه ۷۳۱

شرح آزمایش	شماره استاندارد	شن	ماسه
چگالی تن بر مترمکعب	شن: ASTM C-127 ماسه: ASTM C-128	۲/۶۵	۲/۷۵
ضربه و خرد شدن (%)	BS812-P. 13	۲۱/۶	۱۵/۹
جذب آب (%)	شن: ASTM C-127 ماسه: ASTM C-128	۲/۰	۲/۲
تخلخل سنگدانه‌ها	ASTM C97	۹/۲	۴/۵
درصد شکستگی (یک جهت) (%)	ASTM D5821	۱۰۰	۹۹
درصد شکستگی (دو جهت) (%)	ASTM D5821	۹۸	۹۶



شکل ۲. منحنی دانه بندی شن و ماسه بکاررفته در ساخت روسازی بتنی

جدول ۲. مشخصات فیزیکی رزین آکرلیک

سفید شیری	رنگ
۱/۰۶ گرم بر سانتی متر مکعب	وزن مخصوص
۵۰۰-۴۵۰ Cps	ویسکوزیته در ۲۰ درجه
۸	PH

## ۲-۲- طرح اختلاط و ساخت نمونه‌ها

می‌باشد. در تمامی طرحها نسبت آب به سیمان ثابت و به مقدار ۰/۵ می‌باشد. همچنین در همه‌ی طرح‌ها از سیمان با عیار ۳۶۰ کیلوگرم بر متر مکعب استفاده شده‌است. درصد‌های انتخابی برای رزین آکرلیک به منظور کاهش اثر آب و عوامل محیطی بر سایش، مقادیر ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد می‌باشد که براساس تحقیقات گذشته [Gan et. al., 2022, shi, et.al., 2022] انتخاب شده‌است. طرح اختلاط‌های این تحقیق در جدول ۳ ارائه شده‌است.

در این تحقیق ابتدا، با سعی و خطا طرح اختلاط‌های متفاوتی برای مخلوط روسازی بتنی با درصد‌های مختلف رزین آکرلیک مورد بررسی قرار گرفت و طرح‌های گوناگونی ساخته شد و براساس نتایج آزمایش جریان اسلامپ (نزدیک به صفر) و شکل ظاهری (آب‌انداختگی و جدایی دانه‌ها) قضاوت صورت گرفت و طرح اختلاط نهایی حاصل گردید که در ادامه به آن پرداخته می‌شود. در این پژوهش ۴ طرح اختلاط مورد بررسی قرار گرفته است که مبنای تعیین نسبت اجزای روسازی بتنی در همه آنها روش ملی طرح مخلوط بتن



شکل ۳. رزین آکرلیک مصرفی و نمونه‌های ساخته شده روسازی بتنی

جدول ۳. طرح اختلاط بهینه برای مخلوط‌ها برای یک متر مکعب

طرح اختلاط	W/C	آب (کیلوگرم)	رزین آکرلیک (کیلوگرم)	سیمان (کیلوگرم)	ماسه (کیلوگرم)	شن (کیلوگرم)	توصیف مخلوط
BC	۰/۵	۱۸۰	۰	۳۶۰	۶۸۱	۱۱۴۰	روسازی بتنی معمولی بدون رزین آکرلیک.
RA5%	۰/۵	۱۸۰	۹	۳۶۰	۶۸۱	۱۲۹۵	روسازی بتنی حاوی ۵٪ رزین آکرلیک جایگزین آب
RA10%	۰/۵	۱۸۰	۱۸	۳۶۰	۶۸۱	۱۲۶۶	روسازی بتنی حاوی ۱۰٪ رزین آکرلیک جایگزین آب
RA15%	۰/۵	۱۸۰	۲۷	۳۶۰	۶۸۱	۱۰۴۳	روسازی بتنی حاوی ۱۵٪ رزین آکرلیک جایگزین آب

## ۲-۲- روش آزمایش

حداکثر ضخامت آن برای اجراء هر لایه ۲۰ سانتی‌متر است. در روند طراحی ضخامت روسازی بتن غلتکی، به مقاومت خمشی، کنترل نسبت کنش خمشی به کنش خمشی بحرانی، خستگی ناشی از کنشهای خمشی برای روشهای استاندارد مطابق نشریه ۷۳۱ نیاز توجه شود. تعداد نمونه‌های ساخته شده متناسب با تعداد آزمایش‌ها قابل انجام بر روی نمونه‌ها خواهد بود. به‌گونه‌ای که برای هر آزمایش ۳ نمونه ساخته خواهد شد. پس از ساخت نمونه‌ها، آزمایش‌های مقاومت فشاری و خمشی (استاندارد ملی شماره ۳۹۳ تجدیدنظر دوم)، آزمایش جذب آب (ASTM C20 ASTM C642) و

وقتی بتن غلتکی سخت شد، در اصل ویژگی‌های بتن رایج را داراست، وقتی که به صورت درجا ریخته شده باشد، در هر حال جزء بتن‌های معمولی شناخته می‌شود. ویژگی پلاستیکی و روانی نهایی بتن غلتکی در حالت خشک نشده، با بتن معمولی از نظر خواص پلاستیک و روانی متفاوت است. در این نوع بتن اسلامپ در حد صفر به طوری که بایست بتواند وزن چرخ را غلتک را تحمل کند. روش اجراء بتن غلتکی مانند روسازی آسفالتی داغ است. در این نوع روسازی بتنی، ضخامت تابع بارگذاری و مشخصات مکانیکی و فیزیکی خاک و بتن است. ضخامت حداقل پس از تراکم در بتن غلتکی ۱۰ سانتی‌متر و

توزین شدند و اختلاف وزن نهایی و اولیه ثبت گردید و کاهش حجم نمونه‌ها محاسبه شد و کاهش ارتفاع نمونه‌ها با توجه به کاهش حجم نمونه‌ها به دست آمده که در نهایت میزان سایش برحسب میلی‌متر به دست آمد. برای اندازه‌گیری میزان مقاومت لغزندگی از آونگ اصطکاک انگلیسی طبق استاندارد ASTM 303 بر روی نمونه‌های مکعبی ۱۵ سانتی‌متری انجام می‌شد. چرا که حداقل فاصله عبور کفشک پاندول ۱۲/۵ سانتی‌متر است. نمونه ای از تصاویر این تجهیزات مطابق شکل ۴ است، که عموماً در آزمایشگاه‌ها (آزمایشگاه روسازی دانشکده عمران) از آن استفاده می‌شود.

آزمایش سایش و اصطکاک سطحی بر روی نمونه‌ها بصورت جداگانه انجام خواهد شد. در مطالعه حاضر بر اساس روش استاندارد اروپایی EN-134، مقاومت سایشی و با کمک دستگاه بوهم ساخت کمپانی Matest ایتالیا، بر روی نمونه‌های مکعبی بتنی با ابعاد ۱۰ سانتی‌متر انجام شد. که برای جای دهی در قالب از فوق روان کننده استفاده شد.

قطر صفحه فلزی مدور ۷۵ سانتی‌متر که سرعت چرخش آن (مناطق شکل ۴) به ۳۰ دور در دقیقه می‌رسد. برای مدلسازی ذرات سطحی، از پودر سایش ۲۰ گرم آلومینا برای هر نمونه استفاده شده و نمونه‌ها هرکدام در ۲۲ چرخه و بعد ۱۶ تکرار مورد سایش قرار گرفتند و نمونه‌ها پس از تکمیل سایش

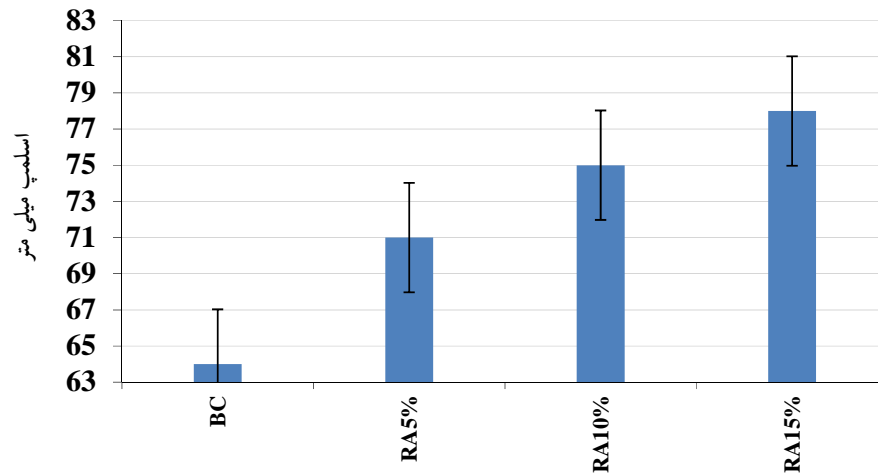


شکل ۴. نمونه‌ای از تصاویر دستگاه سایش بوهم و دستگاه پاندول اصطکاک (نمونه‌های مکعبی ۱۰ سانتی‌متر)

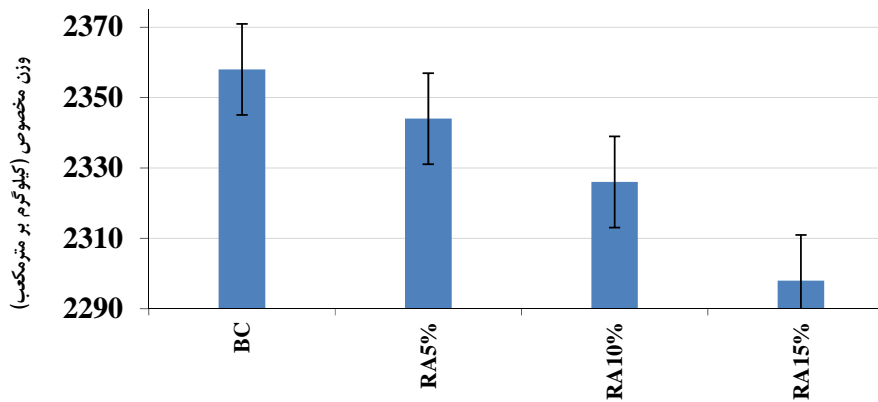
### ۳- نتایج و بحث

توسط رزین، اسلامپ بیشتری نسبت به روسازی بتنی معمولی مشاهده می‌شود. در نتیجه کار با این روسازی بتنی راحت شده‌است. نمودار میزان وزن مخصوص بتن روسازی‌های مختلف در شکل ۶ بیان گردیده است. همان‌طور که مقادیر وزن مخصوص نمونه‌ها نشان می‌دهد تمامی نمونه‌های اصلاح شده با رزین آکرلیک دارای وزن مخصوص‌های کمتر از نمونه کنترل می‌باشند. با اضافه کردن رزین آکرلیک به همراه سیمان به روسازی بتنی وزن مخصوص نمونه‌ها کاهش یافته و مقاومت فشاری افزایش پیدا کرده است. در نتیجه با وزن مخصوص کمتر میتوان به مقاومت بالاتری نسبت به نمونه شاهد رسید. میزان کاهش برای نمونه‌های حاوی RA5%، RA10% و RA15% به ترتیب ۵، ۱۳ و ۲۵ درصد می‌باشد.

در این تحقیق، به منظور اندازه‌گیری خصوصیات روسازی بتنی تازه، و برای جای دهی بتن در قالب از روان کننده استفاده شد که اسلامپ بتن را افزایش داد. از آزمایش‌ها اسلامپ، وزن مخصوص و درصد هوا استفاده شده‌است که شکل ۵ نتایج این آزمایش‌های بتن همراه با فوق روان کننده، را نشان می‌دهد. کارآیی بتن روسازی‌های ساخته شده با استفاده از آزمایش اسلامپ ارزیابی شده‌است. نتایج آزمایش تعیین اسلامپ بتن روسازی در دو گروه دسته بندی می‌شود. با توجه به نتایج ارتفاع اسلامپ در شکل ۵، مشهود است که در تمام طرح اختلاط‌ها، نمونه‌های حاوی رزین آکرلیک جایگزین آب قابلیت جریان پذیری بیشتری نسبت به نمونه شاهد دارند. در روسازی بتنی‌های حاوی رزین آکرلیک به دلیل بالا بردن چسبندگی خمیر سیمان و افزایش روانی در روسازی بتنی



شکل ۵. ارتفاع اسلالمپ مخلوط‌های مختلف روسازی بتنی غلتکی (با فوق روان کننده)



شکل ۶. وزن مخصوص مخلوط‌های مختلف روسازی بتنی

### ۳-۱- نتایج آزمایش‌های روسازی بتنی سخت شده

گرفته است. نتایج آزمایش‌ها روسازی بتنی سخت در جدول ۴ ارائه گردیده است.

بعد از انجام آزمایش‌ها روسازی بتنی تازه، نمونه‌های روسازی بتنی به منظور انجام آزمایش‌ها مقاومت فشاری، مقاومت خمشی، آزمایش جذب آب و آزمایش سایش انجام

جدول ۴. نتایج آزمایش‌ها روسازی بتنی سخت شده

نمونه	مقاومت فشاری ۷ روزه (مگاپاسکال)	مقاومت فشاری ۲۸ روزه (مگاپاسکال)	مقاومت فشاری ۹۰ روزه (مگاپاسکال)	مقاومت خمشی (مگاپاسکال)
BC	۱۶/۸	۲۰/۲	۲۳/۹	۲/۶
RA5%	۲۰/۶	۲۴/۶	۲۷/۵	۳/۵
RA10%	۲۸/۴	۳۲/۸	۳۵/۲	۱/۴
RA15%	۳۳/۴	۳۸/۹	۴۴/۸	۵/۱

افزایش مقاومت فشاری برای نمونه‌های RA5%، RA10% و RA15% برای سنین مختلف در جدول ۵ ارائه شده است.

براساس نتایج بدست آمده، جایگزینی آب روسازی بتنی با رزین آکریلیک باعث افزایش مقاومت فشاری می‌گردد. میزان

پیدا کرده است. مقاومت خمشی نمونه‌های روسازی بتنی از ویژگی‌های مهم آن محسوب می‌شود. همانطور که در فصل قبل نیز اشاره شد در این پژوهش مقاومت خمشی روسازی بتنی به صورت بارگذاری در وسط دهانه اندازه‌گیری شده است. نتایج آزمایش مقاومت خمشی سه نقطه‌ای نمونه‌های روسازی بتنی ۲۸ روزه برای مخلوط‌های ۸ گانه در جدول ۵ آورده شده است. مشاهده می‌گردد، استفاده از رزین آکرلیک بطور قابل ملاحظه‌ای میزان مقاومت خمشی نمونه‌های روسازی بتنی را افزایش می‌دهد. بطوری که میزان افزایش مقاومت خمشی برای نمونه‌های RA5%، RA10% و RA15% به ترتیب برابر با ۳۵، ۵۸ و ۹۶ درصد می‌باشد. دلیل این بهبود مقاومت این است که حضور رزین آکرلیک در ملات باعث استحکام پیوند ناحیه انتقالی بتن با سنگدانه‌های بتن گردیده و مقاومت روسازی بتنی در مقابل تنش کششی ناشی از خمش را بهبود می‌دهد.

همچنین می‌توان نتیجه‌گیری کرد که با افزایش مدت عمل آوری ۷ روز تا ۹۰ روز، افزایش مقاومت فشاری ناشی از جایگزینی آب با رزین آکرلیک، نمود کمتری دارد. به نظر می‌رسد علت وجود این تفاوت در روند نتایج سنین اولیه و نهایی ناشی از آن است که در سنین ابتدایی به دلیل توسعه واکنش‌های هیدراسیون و فراورده‌های ناشی از این واکنش‌ها که ارتقای سختی ساختار ماتریس روسازی بتنی را سبب می‌گردند، مقاومت ملات نگهدارنده سنگدانه‌ها حاکم بر مقاومت مجموعه نمونه روسازی بتنی که از دو بخش سنگدانه و ملات تشکیل می‌گردد، می‌باشد و قوی بودن ساختار ملات که در همه طرح‌ها با حجم مساوی و مشخصات یکسان ساخته شده است موجب کسب نتایج مقاومت فشاری مشابه می‌گردد اما با کم شدن واکنش‌های هیدراسیون با گذشت مدت زمان عمل‌آوری نمونه‌ها، و رسیدن مشخصات ملات به حالت آرمانی خود، اثرگذاری رزین آکرلیک نمود کمتری

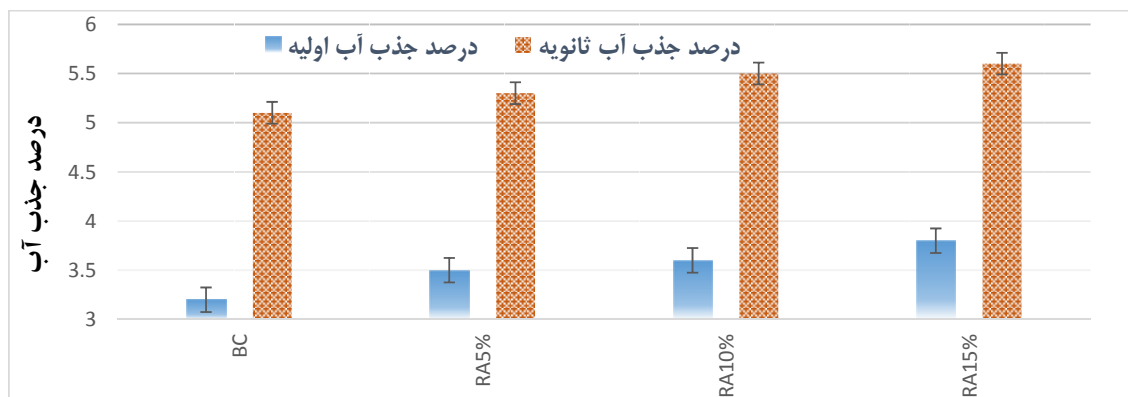
جدول ۵. درصد تغییرات مقاومت فشاری نمونه‌های اصلاح شده نسبت به نمونه شاهد

نمونه	۷ روزه	۲۸ روزه	۹۰ روزه
RA5%	۲۲	۲۱	۱۵
RA10%	۶۹	۶۲	۴۷
RA15%	۹۸	۹۲	۸۷

### ۳-۲- نتایج آزمایش جذب آب

افزایش میزان رزین با ایجاد تخلخل ناشی از تبخیر آب مازاد منجر به افزایش میزان جذب آب گردیده است. میزان افزایش درصد جذب آب اولیه برای طرح‌های RA5%، RA10% و RA15% به ترتیب ۹، ۱۲ و ۱۸ درصد و این میزان برای درصد جذب آب نهایی به ترتیب ۴، ۸ و ۱۰ درصد می‌باشد.

در نمودار شکل ۷ نتایج جذب آب اولیه و نهایی نمونه‌های روسازی بتنی ارائه شده است. همانگونه که مشاهده می‌شود، مقدار جذب آب اولیه ۳/۸ درصد و بعد از آن به میزان ۵/۸ درصد می‌رسد و کمترین جذب آب نمونه‌ها برای حالت اولیه ۳/۲ است که در حالت نهایی به ۵/۱ درصد افزایش می‌یابد.



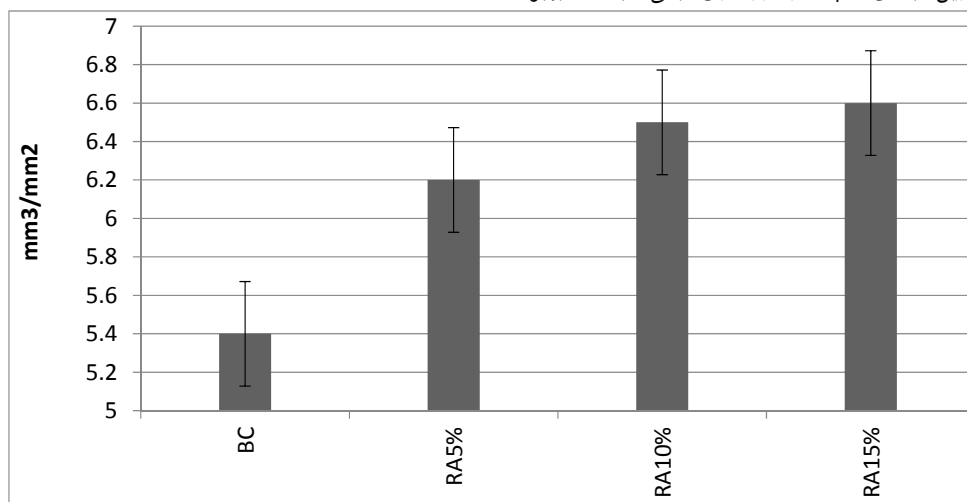
شکل ۷. نتایج جذب آب اولیه و نهایی برای طرح‌های روسازی بتنی



### ۳-۳- نتایج آزمایش سایش

چسبندگی در ریزساختار خمیر سیمان و چسبندگی با سنگدانه‌ها می‌گردد. قلوه کن شدن یا کنده شدن سنگدانه‌ها، یکی از موارد مهم است که در ناحیه انتقالی یا اتصالی سنگدانه‌ها اتفاق می‌افتد و یکی از ضعف‌های بتن غلتکی دارای این افزودنی است. میزان افزایش مقاومت سایش نمونه‌های RA5%، RA10% و RA15% به ترتیب ۱۴، ۲۰ و ۲۲ درصد می‌باشد.

برای بررسی دوام از فاکتور سایش استفاده می‌شود و مقاومت سرخوردگی یا اصطکاکی نمونه‌های روسازی بتنی دارای درصد‌های مختلف رزین آکرلیک لازمست بررسی شود و میزان کاهش مقاومت‌ها سنجیده شود. در شکل ۸ نمودار تغییرات مقاومت سایشی برای مخلوط‌های مختلف آورده شده است. با بررسی نتایج مشاهده می‌گردد که رزین آکرلیک مقاومت سایشی را به مقداری قابل قبولی افزایش داده است که دلیل این تغییر تاثیر ناحیه انتقالی (ناحیه بین سنگدانه و خمیر سیمان) مستحکم‌تر نمونه‌های اصلاح شده می‌باشد. چون وجود رزین بجای آب در روسازی بتنی، باعث بهبود

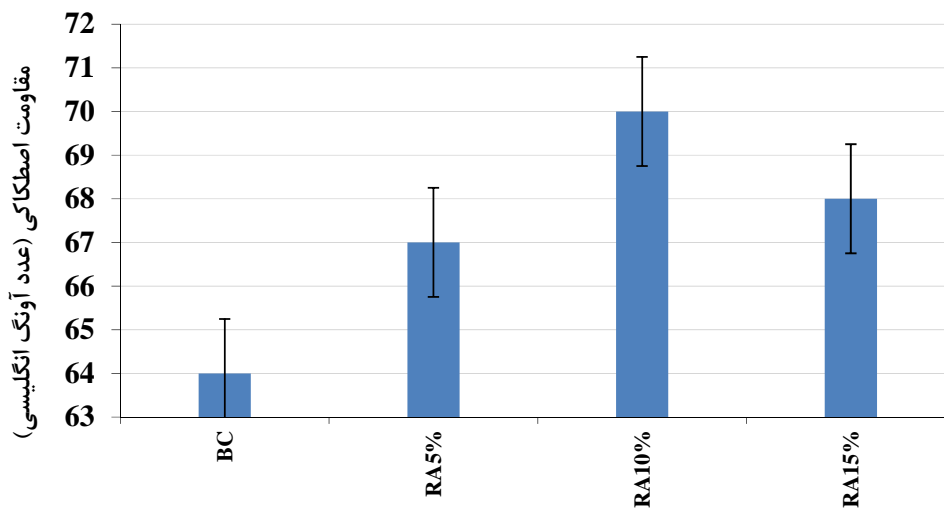


شکل ۸. نتایج آزمایش مقاومت سایشی برای طرح‌های روسازی بتنی

### ۳-۴- نتایج آزمایش سایش سطحی

رزین آکرلیک جایگزین آب بر اساس آزمایش آونگ انگلیسی ارائه شده است.

در شکل ۹ نتایج اصطکاک استاتیکی نمونه‌های بتن مرجع (بدون افزودنی جایگزین آب) و نمونه‌های حاوی



شکل ۹. نتایج آزمایش پاندول اصطکاکی

انگلیسی به طور متوسط در جاده‌ها از ۵۴ نیاز است بیشتر باشد که به راحتی با این روسازی، یعنی رویه بتن غلتکی حاوی رزین آکرلیک این مقدار استاندارد قابل دستیابی است و در محدوده مجاز می‌باشد. با توجه به چسبندگی عالی رزین اپوکسی، ملات حاوی اپوکسی دارای استحکام برشی و استحکام کشش خوبی در هنگام استفاده در لایه پیوند می‌باشد [Giménez, et al., 2022]. علاوه بر این، ملات با سیمان اپوکسی دارای خواص مطلوبی مانند محدوده دمایی وسیع، مقاومت در برابر رطوبت خوب و پایداری حرارتی بالا به دلیل هیدراتاسیون سیمان و واکنش رزین اپوکسی در حضور یون‌های هیدروکسیل می‌باشد [Wang, Liu, 2021].

در نمونه‌های مختلف بتن غلتکی در بررسی مقاومت اصطکاکی استاتیکی، اختلاف معناداری بین اصطکاک‌ها ملاحظه نشد. در این نوع بتن بیشترین و کمترین عدد اصطکاک یا ندول عدد ۶ را داشت که با توجه به دقت دستگاه امکانات اندازه‌گیری می‌توان چشم‌پوشی نمود، هرچند برای دستگاه اندازه‌گیری اصطکاک عدد دقت  $\pm 1/2$  ذکر شده است. به عبارتی تفاوت کران بالا و پائین در هر اندازه‌گیری  $2/4$  خواهد بود، که این مقدار را می‌توان خطای اندازه‌گیری آونگ انگلیسی منظور نمود. علاوه بر این در نتایج کامل مشاهدات که افزایش رزین آکرلیک به بتن غلتکی میزان اصطکاک افزایش می‌یابد و با افزایش این مقدار مقاومت لغزندگی نیز اضافه می‌شود. طبق توصیه نامه‌های ایمنی و استانداردهای بین‌المللی عدد آونگ

#### ۴- نتیجه‌گیری

هدف از انجام این مطالعه، بررسی تأثیر جایگزینی آب با رزین آکرلیک پایه آبی در بهبود خصوصیات مکانیکی و روسازی بتنی غلتکی می‌باشد. نمونه‌های روسازی بتنی تازه طرح اختلاط‌های ساخته شده ابتدا تحت آزمایش اسلامپ و وزن مخصوص قرار گرفت و سپس آزمایش‌ها مقاومت فشاری، مقاومت خمشی، جذب آب و مقاومت سایشی انجام شد. بر اساس نتایج بدست آمده موارد زیر قابل استنتاج می‌باشد:

-در تمام طرح اختلاط‌ها، نمونه‌های حاوی رزین آکرلیک جایگزین آب قابلیت جریان‌پذیری بیشتری نسبت به نمونه شاهد دارند. در روسازی بتنی‌های حاوی رزین آکرلیک به دلیل بالا بردن چسبندگی خمیر سیمان و افزایش روانی در روسازی بتنی توسط رزین، اسلامپ بیشتری نسبت به روسازی بتنی معمولی مشاهده می‌شود. در نتیجه کار با این روسازی بتنی راحت شده‌است.

-تمامی نمونه‌های اصلاح شده با رزین آکرلیک دارای وزن مخصوص‌های کمتر از نمونه کنترل می‌باشند. با اضافه کردن رزین آکرلیک به همراه سیمان به روسازی بتنی وزن مخصوص نمونه‌ها کاهش یافته و مقاومت فشاری افزایش پیدا کرده است. میزان کاهش برای نمونه‌های حاوی RA5%، RA10% و RA15% به ترتیب ۵، ۱۳ و ۲۵ درصد می‌باشد.

-استفاده از رزین آکرلیک بطور قابل ملاحظه‌ای میزان مقاومت خمشی نمونه‌های بتن روسازی را افزایش می‌دهد. بطوری که میزان افزایش مقاومت خمشی برای نمونه‌های RA5%، RA10% و RA15% به ترتیب برابر با ۳۵، ۵۸ و ۹۶ درصد می‌باشد.

-بیشترین مقدار جذب آب مربوط به طرح به میزان برای جذب آب اولیه  $3/8$  درصد و  $5/8$  درصد برای جذب آب نهایی بوده و کمترین میزان جذب آب نیز به طرح نمونه شاهد به میزان  $5/1$  درصد برای جذب نهایی و  $3/2$  درصد برای جذب اولیه است. میزان افزایش درصد جذب آب اولیه برای طرح‌های RA5%، RA10% و RA15% به ترتیب ۹، ۱۲ و ۱۸ درصد و این میزان برای درصد جذب آب نهایی به ترتیب ۴، ۸ و ۱۰ درصد می‌باشد.

-رزین آکرلیک مقاومت سایشی را به مقداری قابل قبولی افزایش داده است، میزان افزایش مقاومت سایش نمونه‌های RA5%، RA10% و RA15% به ترتیب ۱۴، ۲۰ و ۲۲ درصد می‌باشد.

-نتایج مقاومت اصطکاکی نشان داد که با رزین آکرلیک میزان اصطکاک روسازی بتنی غلتکی را افزایش می‌دهد و می‌توان از آن به منظور بهبود اصطکاک رویه‌های خیس و شیب‌دار استفاده کرد.

coatings. *Progress in Organic Coatings*, 163, 106685.

-Jamshidi, A., White, G., & Kurumisawa, K. (2023). Functional and field performance of epoxy asphalt technology—state-of-the-art. *Road Materials and Pavement Design*, 24(4), 881-918.

-Gan, Y., Li, C., Ke, W., Deng, Q., & Yu, T. (2022). Study on pavement performance of steel slag asphalt mixture based on surface treatment. *Case Studies in Construction Materials*, 16, e01131.

-Giménez, R., Serrano, B., San-Miguel, V., & Cabanelas, J. C. (2022). Recent advances in MXene/epoxy composites: trends and prospects. *Polymers*, 14(6), 1170.

-Huang, Q., & Chen, F. (2021). Design and Performance of Ultrathin Overlay Epoxy-Rubber Concrete. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2021, 1-9.

-Kharazian, H. A., Zare, M. R., Noktehdan, M., & Sedaghatdoost, A. (2019). Effect of water-based acrylic copolymer on void systems of cementitious repair mortar. *Case Studies in Construction Materials*, 11, e00261.

-Li, L., & Yu, T. (2022). Curing comparison and performance investigation of polyurethane concrete with retarders. *Construction and Building Materials*, 326, 126883.

-Lokuge, W., & Aravinthan, T. (2013). Effect of fly ash on the behaviour of polymer concrete with different types of resin. *Materials & Design*, 51, 175-181.

-Pan, B. L., Li, N., Chu, G. C., Wei, F. J., Liu, J. C., Zhang, J. K., and Zhang, Y. Z., (2014), "Tribological Investigation of MC PA6 Reinforced by Boron Nitride of Single Layer," *Tribol Lett*, 54(2), 161-170.

-Shi, W., Wang, M., Wu, L., Xie, X., Wang, M., & Lu, T. (2022). Study of Concrete Crack Repair using *Bacillus megaterium*. *Advances in Materials Science and Engineering*.

-Wang, Y., & Liu, Q. (2021). Investigation on fundamental properties and chemical characterization of water-soluble epoxy resin modified cement grout. *Construction and Building Materials*, 299, 123877.

۵- پی نوشت ها

1. Acrylic Resin
2. Resin Adhesion
3. Epoxy Asphalt Mix
4. Polymer Material
5. Aggregate Separation

۶- مراجع

-Basha, S. I., Kumar, A. M., Maslehuddin, M., Ahmad, S., Rahman, M. M., Shameem, M., & Aziz, M. A. (2021). Preparation of submicron/nano-carbon from heavy fuel oil ash and its corrosion resistance performance as composite epoxy coating. *Journal of Cleaner Production*, 319, 128735.

-Biswal, T., BadJena, S. K., & Pradhan, D. (2020). Synthesis of polymer composite materials and their biomedical applications. *Materials Today: Proceedings*, 30, 305-315.

-Chen, Z., Xu, W., Zhao, J., An, L., Wang, F., Du, Z., & Chen, Q. (2022). Experimental Study of the Factors Influencing the Performance of the Bonding Interface between Epoxy Asphalt Concrete Pavement and a Steel Bridge Deck. *Buildings*, 12(4), 477.

-Dorado, F., Toledo, L., de la Osa, A. R., Esteban-Arranz, A., Sacristan, J., Pellegrin, B., & Sanchez-Silva, L. (2023). Adhesion enhancement and protection of concrete against aggressive environment using graphite-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> modified epoxy coating. *Construction and Building Materials*, 379, 131179.

-Duzcukoglu, H., Ekinci, S., Sahin, O. S., Avci, A., Ekrem, M., and Unaldi, M., (2015). Enhancement of Wear and Friction Characteristics of Epoxy Resin by Multiwalled Carbon Nanotube and Boron Nitride Nanoparticles, *Tribol T*, 58(4), 635-642.

-Fan, X., Xia, Y., Wu, S., Zhang, D., Oliver, S., Chen, X. & Shi, S. (2022). Covalently immobilization of modified graphene oxide with waterborne hydroxyl acrylic resin for anticorrosive reinforcement of its

# **Evaluation of Strength, Abrasion and Skid Performance of Polymer Roller Concrete Containing Acrylic Resin (Water-Based Resin)**

*Ali Asadi Mashizi, M.Sc., Grad., Engineering Faculty, Yazd University, Yazd, Iran.*

*Mohammad Mehdi Khabiri, Associated Professor, Engineering Faculty, Yazd University, Yazd, Iran.*

*E-mail: mkhabiri@yazd.ac.ir*

Received: June 2023- Accepted: November 2023

## **ABSTRACT**

Water-based acrylic resin is used as one of the raw materials with cement, water, and other materials in the preparation of concrete mix. Acrylic resin has the ability to be mixed in any type of mortar and is compatible with all types of acrylic colors. It is also highly resistant to detergents, UV rays, and CO<sub>2</sub> gas. It is anti-moss, algae, and bacteria and does not allow the growth and accumulation of these substances on the surface. This material allows structural breathing and easily tolerates negative and positive water pressures and is known as a versatile material in the insulation industry. According to the mentioned chemical properties, the innovation of the present research will be to obtain the most optimal percentage of acrylic resin in the concrete mixture. In this research, first, concrete samples were made with weight percentages (5, 10, and 15%) of acrylic resin and the number of samples was proportional to the number of tests that could be performed; therefore 3 samples were made for each test. After making the samples, the tests: compressive strength, Flexural strength, water absorption test, abrasion test, and surface friction test were done separately on the samples. The results of this research indicate that the use of acrylic resin significantly increases the Flexural strength and abrasion resistance of roller concrete pavement samples.

**Keywords:** Roller Concrete Pavement, Acrylic Resin, Compressive and Flexural Strength, Skid, Abrasion Resistance