

تأثیر جایگزینی حجمی سنگ‌دانه آسفالت بازیافتی بر مقاومت سایشی و ارزیابی دوام بتن غلتکی با آزمون مهاجرت سریع یون کلراید

محمدامین عابدزاده

کارشناس ارشد عمران گرایش مهندسی و مدیریت ساخت، دانشکده‌ی عمران، دانشگاه صنعتی شریف (پردیس کیش)، کیش، ایران.

لیلا شهریاری *

استادیار، گروه مهندسی عمران، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران.

حسین زارعی

کارشناس ارشد، گروه مهندسی عمران، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران.

چکیده

از دیرباز تاکنون ساخت مسیرهای آسفالتی در ایران رواج داشته و امروزه حجم قابل توجهی از پسماند و ضایعات آسفالت ناشی از فرسودگی و تخریب این راه‌ها انباشته می‌شود. این ضایعات اغلب به حواشی شهرها منتقل شده و سازوکار مشخصی برای بازیافت آن‌ها در صنعت وجود ندارد. ادامه این روند، علاوه بر افزایش هزینه‌های ساخت، موجب تخریب منابع طبیعی و معادن خواهد شد. در حالی که می‌توان بخش قابل توجهی از راه‌ها و مسیرهایی که در معرض عوامل محیطی مهاجم و خورنده قرار ندارند، با استفاده از مصالح بازیافتی اجرا کرد. در راستای این هدف، در تحقیق حاضر از درصد‌های مختلف حجمی سنگ‌دانه آسفالت بازیافتی (شامل ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰٪) به عنوان جایگزین درشت‌دانه طبیعی در تولید بتن غلتکی استفاده شد. سایر الزامات ساخت نیز بر مبنای استاندارد ملی شماره ۱۴۸۳۰ رعایت گردید. همچنین به منظور ارتقای تراکم و بهبود کیفیت بتن، از میکروسیلیس معادل ۱۰٪ وزنی سیمان استفاده شد. آزمایش‌های انجام شده در این تحقیق شامل اندازه‌گیری وزن مخصوص، آزمایش اسلامپ، تعیین مقاومت سایشی و ارزیابی دوام در برابر مهاجرت سریع یون کلراید (RCMT) بوده است. نتایج این تحقیق نشان داد که با افزایش درصد جایگزینی آسفالت بازیافتی، مقاومت سایشی بتن غلتکی کاهش می‌یابد. اما بتن حاوی ۱۰٪ آسفالت بازیافتی همچنان در محدوده قابل قبول آیین‌نامه برای روسازی مسیرهای سبک و کم‌تردد قرار دارد. همچنین، میزان مهاجرت سریع یون کلراید در نمونه‌های دارای ۱۰ و ۲۰٪ آسفالت بازیافتی، در محدوده مجاز شرایط محیطی XCD2,3 طبق مببحث نهم مقررات ملی قرار گرفت.

واژه‌های کلیدی: بازیافت آسفالت، بتن غلتکی، مقاومت سایشی، دوام بتن، نفوذ یون کلراید.

* نویسنده مسئول: Leila.shahryari@iau.ac.ir

۱- مقدمه

با رشد روزافزون جمعیت و توسعه سریع شهرها، نیاز به گسترش مسیرهای ارتباطی و زیرساخت‌های حمل و نقل همواره وجود داشته است. این فرایند، مصرف گسترده مصالح طبیعی را به دنبال دارد و به تدریج منابع ارزشمند شن و ماسه را با خطر تخریب و کاهش روبه‌رو می‌کند. از طرف دیگر، هر سال حجم قابل توجهی از ضایعات آسفالت حاصل از تعمیر و بازسازی جاده‌ها و خیابان‌ها تولید می‌شود که بیشتر اوقات بدون استفاده مناسب، دپو یا دفع می‌شوند. توجه به بازیافت و استفاده دوباره از این ضایعات، نه تنها گامی در جهت حفاظت از محیط زیست و مدیریت پسماند است، بلکه می‌تواند هزینه‌های ساخت‌وساز را نیز کاهش دهد [۱].

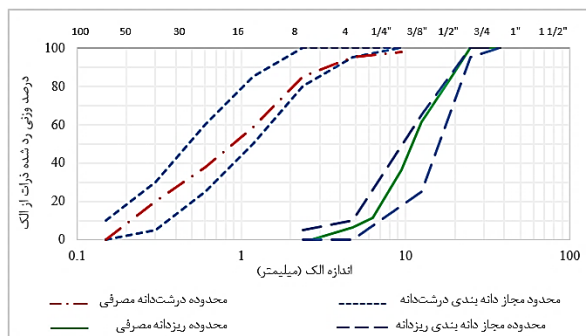
در میان انواع بتن‌های کاربردی در پروژه‌های راه‌سازی، بتن غلتکی به دلایلی هم‌چون سرعت اجرا، هزینه پایین‌تر و دوام قابل قبول، به طور ویژه مورد توجه قرار گرفته است. اما هر گونه جایگزینی یا تغییر در ترکیب این بتن ممکن است ویژگی‌های عملکردی آن را تحت تأثیر قرار دهد. یکی از مهم‌ترین دغدغه‌ها در این زمینه، اطمینان از مقاومت سایشی سطح بتن غلتکی است. مقاومتی که نقش مهمی در حفظ کیفیت و طول عمر روسازی زیر بار ترافیکی خودروها، حتی در مسیرهای کم‌تردد، ایفا می‌کند. از سوی دیگر، دوام بتن در برابر عوامل خوردنده محیطی، به خصوص نفوذ یون کلراید، حائز اهمیت است. یون کلراید عمدتاً در مناطق ساحلی یا مناطقی که مواد یخ‌زدا در زمستان استفاده می‌شود، سبب تسریع فرایند خوردگی میلگرد در بتن و کاهش عمر سازه می‌گردد [۲]. بنابراین، توجه به میزان نفوذ یون کلراید به‌عنوان شاخص کلیدی دوام و ماندگاری بتن غلتکی به‌شمار می‌رود.

بررسی سوابق تحقیق نشان می‌دهد که اغلب مطالعات انجام شده در زمینه استفاده از ضایعات آسفالت در بتن، بیشتر بر جنبه‌های مکانیکی، اقتصادی و زیست‌محیطی متمرکز بوده‌اند و کمتر به بررسی دوام این مواد در شرایط محیطی گوناگون پرداخته‌اند. دبارماس و همکاران (۲۰۲۱) رفتار بتن غلتکی حاوی ضایعات آسفالت را ارزیابی کردند و دریافتند که درصد، اندازه، سن و نوع ضایعات آسفالت، تأثیر مستقیمی بر مقاومت و دوام بتن غلتکی دارد. آن‌ها نشان دادند که جایگزینی تا ۲۰٪ ضایعات آسفالت می‌تواند بدون کاهش شدید مقاومت، مزایای زیست‌محیطی و اقتصادی قابل توجهی به همراه داشته باشد [۶]. قاسم‌زاده.ح و

همکاران (۲۰۲۱) به بررسی رفتار بتن حاوی ضایعات آسفالتی با مقادیر مختلف لاتکس و دوده سیلیسی پرداختند و تأثیرات آن را بر خواص مکانیکی، نفوذپذیری و ریزساختار بتن ارزیابی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که افزودن لاتکس و دوده سیلیسی باعث افزایش مقاومت فشاری، کاهش نفوذپذیری و بهبود ساختار ریز متخلخل بتن می‌گردد [۷]. سلطانی.م و همکاران (۲۰۲۰) رفتار بتن با سنگ‌دانه ریز ضایعات آسفالت و دوده سیلیسی را بررسی کردند و دریافتند که وجود ضایعات آسفالت منجر به کاهش مقاومت فشاری و خمشی بتن می‌شود، اما استفاده از دوده سیلیسی می‌تواند کاهش مقاومت را جبران کند [۸]. عموزاده.م و همکاران (۱۴۰۱) به بررسی استفاده از ضایعات آسفالت و سرباره فولاد در بتن غلتکی پرداختند و نشان دادند که با افزایش میزان جایگزینی ضایعات آسفالت، مقاومت فشاری کاهش یافته ولی انعطاف‌پذیری و جذب انرژی (چقرمگی) افزایش می‌یابد و تنها تا ۲۵٪ جایگزینی می‌توان الزامات استاندارد مقاومت را تأمین نمود [۹]. کریمی.م و همکاران (۱۴۰۰) با بررسی درصدهای مختلف ضایعات آسفالت در بتن با نسبت آب به سیمان مختلف، نشان دادند که با افزایش میزان ضایعات آسفالت در بتن، مقاومت فشاری کاهش می‌یابد اما کارپذیری بتن عملاً بدون تغییر باقی می‌ماند [۱۰]. دیواندری و همکاران (۱۴۰۰) در یک مطالعه آزمایشگاهی، بتن غلتکی حاوی خرده آسفالت بازیافتی را به برای روسازی جاده‌های کم‌تردد، روستایی و پیاده‌روها معرفی کردند و با تعیین درصدهای بهینه خرده آسفالت بازیافتی (تا ۱۰٪) و میکروسیلیس (۸٪)، صرفه‌جویی اقتصادی و مزایای زیست‌محیطی را نشان دادند [۱۱].

جمع‌بندی تحقیقات پیشین نشان می‌دهد که افزودن ضایعات آسفالت به بتن غلتکی معمولاً باعث افزایش تخلخل و کاهش مقاومت‌های مکانیکی همچون مقاومت فشاری و کششی می‌گردد و این تغییرات می‌توانند بر خواص رفتاری دیگر مانند مقاومت سایشی و دوام بتن نیز اثرگذار باشند [۹-۱۲]. از آنجا که مقاومت سایشی نقش مهمی در حفظ کیفیت سطح و عملکرد روسازی جاده‌ها به‌ویژه تحت تردد، ایفا می‌کند و نفوذ یون کلراید نیز یکی از عوامل کلیدی کاهش دوام بتن در مناطق مرطوب و خوردنده است، بررسی اثر ضایعات آسفالت بر این دو ویژگی اهمیت ویژه‌ای دارد. به‌رغم این چالش‌ها، استفاده از ضایعات آسفالت در بتن غلتکی، به‌ویژه در شرایطی که نیاز به بازیافت مصالح و کاهش

یا حداکثر میزان مجاز دانه‌بندی سنگ‌دانه طبق استاندارد ASTM-C33 با منحنی آبی رنگ نمایش داده شده است.



شکل ۱- منحنی دانه بندی سنگ‌دانه مصرفی

سیمان مصرفی در این تحقیق تیپ ۲ فارس نو می‌باشد. چگالی این سیمان ۳/۱۰ گرم بر سانتیمتر مکعب است.

در این تحقیق، به منظور جبران افزایش تخلخل ناشی از افزودن آسفالت بازیافتی و ارتقای کیفیت بتن، از میکروسیلیس استفاده شد. میکروسیلیس یک پوزولان صنعتی است که به‌عنوان مکمل سیمان برای بهبود کیفیت بتن به کار می‌رود و محصول جانبی تولید فروسیلیسم در کوره‌های قوس الکتریکی است. این ماده با افزایش چسبندگی و کاهش اسلامپ، جداسازی بتن تازه را کم کرده و برای بتن غلتکی حاوی آسفالت بازیافتی اهمیت ویژه‌ای دارد.

مشخصات شیمیایی سیمان و میکروسیلیس مصرفی به شرح جدول شماره ۲ و مشخصات فیزیکی میکروسیلیس به شرح جدول ۳ می‌باشد. این اطلاعات بر اساس مشخصات منتشر شده توسط شرکت تولیدکننده ارائه شده است [۲۸].

جدول ۲- خواص سیمان و میکروسیلیس مصرفی		
نماد عنصر	سیمان	میکروسیلیس
SiO ₂	٪ ۲/۹	۹۳/۶
Fe ₂ O ₃	٪ ۳/۹	۰/۹
Al ₂ O ₃	٪ ۴/۷	۱/۳
CaO	٪ ۶۰/۴	۰/۵
MgO	٪ ۲/۲	۱
SO ₃	٪ ۱/۳	۰/۴
K ₂ O	-	۱
Na ₂ O ₃	-	۱/۳
C ₃ S	٪ ۲۲/۷	-
L.O.I	٪ ۲	-

هزینه‌ها مطرح است، یک گزینه قابل تأمل به شمار می‌رود. بنابراین انجام آزمایش‌های تخصصی برای ارزیابی مقاومت سایشی و میزان نفوذ یون کلراید کاملاً ضروری است. همچنین بررسی نقش مواد مکملی مانند میکروسیلیس در ارتقاء دوام و بهبود عملکرد بتن غلتکی حاوی ضایعات آسفالت باید مدنظر قرار گیرد.

۲- مواد و مصالح

۲-۱- مصالح

سنگ‌دانه مورد استفاده جهت ساخت بتن در این تحقیق، مخلوط نخودی و بادامی با حداکثر اندازه ۱۹ میلیمتر می‌باشد که از معدن منطقه دوکوهک استان فارس تهیه گردیده. مدول نرمی ماسه مصرفی نیز ۳/۱ می‌باشد. ضایعات آسفالت مورد استفاده در این تحقیق از محل دپو نخاله‌های ناشی از تخریب یک مسیر آسفالتی جمع‌آوری شد. در این تحقیق، سنگ‌دانه آسفالت بازیافتی بدون هیچ فرآوری خاص، به صورت جایگزین حجمی شن طبیعی در بتن به کار رفت تا شرایط واقعی بازیافت انبوه شبیه‌سازی شود. ضایعات آسفالت به دلیل فرسودگی دارای تخلخل بیشتر و چگالی کمتری نسبت به شن طبیعی است. سایر مشخصات سنگ‌دانه طبیعی و آسفالت ضایعاتی در جدول شماره ۱ ذکر شده است. لازم به ذکر است که آزمایش سایش سنگ‌دانه طبق استاندارد ملی ۴۸۸ به روش لس آنجلس و آزمایش جذب آب سنگ‌دانه طبق استاندارد ASTM-C128 انجام شد.

جدول ۱- مشخصات شن و ماسه مصرفی

نوع سنگ‌دانه	حداکثر قطر سنگ‌دانه	سایش	وزن مخصوص خشک	جذب آب
	mm	٪	kg/m ³	٪
ماسه	۴/۷۵	-	۲۵۸۱	۲/۳
شن	۱۹	۱۷	۲۶۶۴	۱/۶
آسفالت		۴۲	۲۳۳۵	۲/۱

روش اجرا و طبقه‌بندی الک‌های شماره‌بندی شده، مطابق استاندارد ASTM-C136 انجام گرفت که در شکل شماره ۱ نمایش داده شده است. همچنین میزان وزن و اندازه سنگ‌دانه‌ها با الگوی پیشنهادی استاندارد ASTM-C33 مقایسه و تطبیق داده شد. در شکل شماره ۱ الگوی دانه‌بندی درشت‌دانه با منحنی قرمز رنگ، الگوی دانه‌بندی ریزدانه با منحنی سبز رنگ و تعیین حداقل

جدول ۳- خواص فیزیکی میکروسیلیس مصرفی

شکل ظاهری	پودر جامد پوزولان
رنگ	خاکستری روشن
خلوص	بالای ۹۰٪
حداکثر اندازه	$1 > \mu m$
وزن مخصوص	$2700 kg/m^3$
شکل ذرات	کروی و غیر کریستاله
کشور سازنده	ایران
نام شرکت ارائه دهنده محصول	صنایع فروآلیاژ ایران (I.F.I)

وزنی سیمان است [۹]. جزئیات مقدار مواد مصرفی برای ساخت هر متر مکعب بتن در جدول شماره ۴ ارائه شده است. آزمایش‌های صورت گرفته در این تحقیق شامل اسلامپ، وزن مخصوص، مقاومت سایشی و مقاومت در برابر نفوذ یون کلراید با استفاده از روش RCMT است. آزمایش اسلامپ طبق استاندارد ASTM-C143، آزمایش وزن مخصوص طبق استاندارد ASTM-C138، آزمایش مقاومت سایشی طبق استاندارد ملی ISIRI755-2 و آزمایش نفوذ یون کلراید در بتن طبق استاندارد ASHTO-T357 انجام شد.

۳- طرح مخلوط

به دلیل تفاوت جذب آب بین سنگ‌دانه‌های طبیعی و آسفالت بازیافتی، تمامی مصالح به‌صورت کاملاً خشک وارد میکسر شدند. ابتدا سنگ‌دانه‌های طبیعی و آسفالت بازیافتی به مدت ۳۰ ثانیه مخلوط گردیدند. سپس آب و سیمان افزوده و یک دقیقه مخلوط شدند. پس از آن، میکروسیلیس و باقی‌مانده آب اضافه شده و ترکیب به مدت ۴ دقیقه دیگر مخلوط شدند. پس از انجام آزمایش‌های وزن مخصوص و اسلامپ، نمونه‌گیری آغاز شد. در هر قالب، بتن در سه لایه ریخته و هر لایه با ۲۵ ضربه توسط رامر متراکم شد. با وجود نیاز معمول بتن غلتکی به تراکم شدید، برای جلوگیری از خرد شدن سنگ‌دانه‌های آسفالت و به دلیل دستیابی به چگالی بالا، از روش تراکم استاندارد استفاده شد. نمونه‌ها ابتدا ۲۴ ساعت در دمای ۲۰ تا ۲۳ درجه سانتی‌گراد و سپس ۲۸ روز در حوضچه آب با دمای ۲۳ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. در نهایت، به مدت ۵ ساعت در محیط بیرونی قرار گرفته و پس از خشک شدن سطحی، برای آزمایش‌های بعدی آماده شدند.

در این تحقیق، برای تهیه بتن غلتکی از مقادیر متفاوتی آسفالت بازیافتی به صورت حجمی بهره گرفته شد. زیرا وزن مخصوص سنگ‌دانه‌های طبیعی با آسفالت بازیافتی یکسان نمی‌باشد. بنابراین ابتدا جایگزینی درشت‌دانه‌ها به صورت پیمانه‌ای صورت پذیرفت و سپس وزن آن‌ها اندازه‌گیری شد. نسبت‌های جایگزینی آسفالت بازیافتی برابر با ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰٪ به صورت حجمی نسبت به درشت‌دانه طبیعی در نظر گرفته شد. سایر مشخصات و ضوابط بر اساس استاندارد ملی ۱۴۸۳۰ رعایت گردید. میزان سیمان مصرفی ۳۵۰ کیلوگرم در هر متر مکعب بتن تعیین شده و حداکثر اندازه اسمی درشت‌دانه ۱۹ میلی‌متر انتخاب شد. نسبت آب به مواد سیمانی (سیمان+میکروسیلیس) نیز ۰/۳۹ در نظر گرفته شد. همچنین، به منظور بهبود کیفیت بتن غلتکی و مطابق با توصیه‌ها، در این تحقیق از میکروسیلیس به‌عنوان فیلر استفاده گردید. مطابق با استاندارد مرجع، حداکثر میزان مجاز میکروسیلیس معادل ۱۰٪

جدول ۴- طرح اختلاط و مقادیر وزنی مصالح برای ساخت هر متر مکعب بتن

ردیف	نام	سیمان	شن	ماسه	میکروسیلیس	آسفالت ضایعاتی	آب	اسلامپ	وزن مخصوص
		kg/m^3	kg/m^3	kg/m^3	kg/m^3	kg/m^3	kg/m^3	cm	kg/m^3
۱	CONTROL	۳۵۰	۵۵۰	۱۳۵۰	۳۵	۰	۱۵۰	۰	۲۴۳۸
۲	AS-10%	۳۵۰	۴۹۵	۱۳۵۰	۳۵	۳۹	۱۵۰	۰	۲۴۱۷
۳	AS-20%	۳۵۰	۴۴۰	۱۳۵۰	۳۵	۷۸	۱۵۰	۰	۲۴۰۰
۴	AS-30%	۳۵۰	۳۸۵	۱۳۵۰	۳۵	۱۱۷	۱۵۰	۰	۲۳۸۵
۵	AS-40%	۳۵۰	۳۳۰	۱۳۵۰	۳۵	۱۵۶	۱۵۰	۰	۲۳۶۸
۶	AS-50%	۳۵۰	۲۷۵	۱۳۵۰	۳۵	۱۹۵	۱۵۰	۰	۲۳۵۱



شکل ۲- جایگزینی حجمی درشت‌دانه آسفالت ضایعاتی با شن طبیعی (تصویر شماره ۱ الی ۶ به ترتیب نسبت سنگ‌دانه طرح مخلوط CONTROL, AS10%, AS20%, AS30%, AS40%, AS50% را نشان می‌دهد).

۴- یافته‌ها

۴-۱- مقاومت سایشی

به قیر چسبندگی مناسبی به خمیره سیمان را نخواهد داشت و باعث جداشدگی زودرس و پوسته شدن سطح بتن در اثر اصطکاک خواهد شد. بطوریکه میزان مقاومت بتن در برابر سایش در طرح CONTROL, 10%, 20%, 30%, 40%, 50% AS نسبت به نمونه CONTROL به ترتیب به میزان ۷/۳٪، ۱۷/۸٪، ۲۲/۴٪، ۲۸/۴٪، ۳۷/۱٪ کاهش یافته است. طبق نتایج بدست آمده از طرح CONTROL می‌توان در انواع کف‌های طبقه‌بندی شده در دسته ۱، ۲، ۳ و ۴ استفاده کرد. از طرح 10% AS می‌توان در کف‌های طبقه‌بندی شده در دسته ۱، ۲ و ۳ استفاده کرد. از طرح 20%، 30% AS می‌توان در کف‌های طبقه‌بندی شده در دسته ۱ و ۲ استفاده کرد. از طرح 40% AS می‌توان در کف‌های طبقه‌بندی شده در دسته ۱ استفاده کرد و در نهایت طرح 50% AS مناسب کف‌سازی بتنی نخواهد بود. البته قابل ذکر است که معیار بر اساس ضوابط پذیرش مبحث نهم مقررات ملی ساختمان بوده و معیار سایر دستورالعمل‌ها به‌ویژه دستورالعمل راهسازی ممکن است متفاوت باشد. شکل شماره ۳ میزان مساحت ساییده شده سطح نمونه‌ها پس از انجام تست سایش را مقایسه می‌کند.

در این روش عملیات سایش به وسیله چرخ دوار و پودر کوراندوم انجام شد. بدین ترتیب نمونه بتنی در درون محفظه دستگاه قرار گرفت و به آرامی پودر کوراندوم^۱ به مابین سطح بتن و چرخ دوار ریخته شد. مدت چرخش دستگاه چرخ دوار با سرعت ثابت بر روی ۵۰۰ دور تنظیم و سپس نمونه، مورد سایش قرار گرفت. در انتها میزان مساحت ساییده شده اندازه‌گیری شد. در مبحث نهم مقررات ملی ساختمان ویرایش ۱۳۹۹ طبقه‌بندی انواع کف‌های بتنی و دوام سایشی آن به شرح جداول ۵ و ۶ تعریف شده است [۲۳]. جدول ۷ و شکل ۳ نتایج بدست آمده از این آزمایش را نشان می‌دهند.

طبق نتیجه به‌دست آمده مشخص گردید که استفاده هر چه بیشتر از آسفالت بازیافتی در بتن، مقاومت را در برابر سایش کاهش می‌دهد. از یک طرف تخلخل بالای آسفالت بازیافتی موجود در بتن و از طرف دیگر پوشش قیر روی سنگ‌دانه آسفالت باعث کاهش مقاومت بتن در برابر سایش می‌شود. زیرا سنگ‌دانه بازیافتی آلوده

^۱ Corundum

جدول ۵- طبقه بندی انواع کف‌های بتنی طبق مبحث نهم مقررات ملی ساختمان ویرایش ۱۳۹۹ [۲۳]

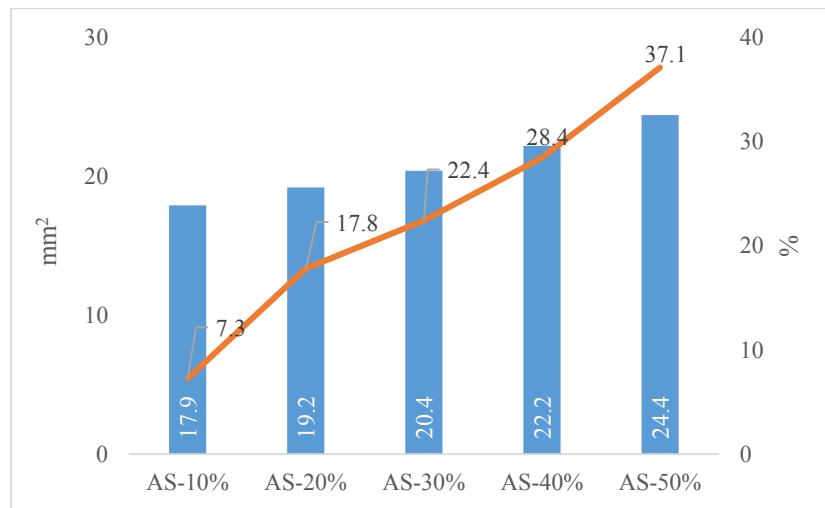
طبقه‌بندی	نوع ترافیک عبوری	مورد استفاده	تمهیدات خاص	پرداخت سطحی
۱	ترافیک انسانی	ادارات فضاهای تجاری آموزشی مسکونی و موارد مشابه	پرداخت سطحی یکنواخت و مناسب، سنگ‌دانه‌ی طبیعی با سختی سایشی LA40 عمل‌آوری رده‌ی ۲	ماله‌ی معمولی
۲	ترافیک انسانی و ترافیک ماشینی سبک	پارکینگ‌های طبقاتی، فضاهای مذهبی، اداری و خدماتی	تسطیح کامل سطحی سنگ‌دانه‌ی معمولی با سختی سایشی LA35 عمل- آوری رده‌ی ۳ پر کردن درزها با پر- کننده و درزگیر مناسب	ماله‌ی مکانیکی معمولی
۳	ترافیک ماشین‌آلات صنعتی با چرخ لاستیکی متوسط	کف‌های صنعتی معمولی	زیر اساس آماده شده، سنگ‌دانه با سختی سایشی A30 پر کردن درزها با پرکننده و درزگیر مناسب مقاومت در برابر سایش عمل‌آوری رده‌ی ۳	ماله‌ی مکانیکی معمولی با تیغه‌های فلزی سخت
۴	ترافیک ماشین با چرخ لاستیکی سنگین یا چرخ فولادی	کف‌های صنعتی با ترافیک سنگین و بارهای ضربه‌ای پارکینگ‌های روباز ماشین‌آلات	زیر اساس آماده شده، سنگ‌دانه با سختی سایشی LA25 پر کردن درزها با پرکننده و درزگیر مناسب انتقال بارهای سنگین مقاومت در برابر سایش عمل- آوری رده‌ی ۴	سخت‌کننده‌های فولادی یا معدنی برای سطح بتن و ماله‌کشی مکانیکی با تیغه‌های فلزی سخت

جدول ۶- حداکثر سایش قابل قبول در انواع کف‌های بتنی طبق مبحث نهم مقررات ملی ساختمان ویرایش ۱۳۹۹ [۲۳]

طبقه‌بندی کف‌ها	حداکثر سایش قابل قبول (mm)، به روش چرخ پهن استاندارد ملی ۲۰۱۸۵ و	حداکثر سایش قابل قبول (cm ³ /50 cm ²)، به روش بوهم	حداکثر سایش قابل قبول (mm)، بر اساس روش A آزمایش استاندارد ملی شماره ۱۷۳۰۸
۱	۷۵۵-۲	استاندارد ملی ۲۰۱۸۵ و ۷۵۵-۲	۱
۲	۲۶	۲۰	۰/۸
۳	۲۳	۱۸	۰/۶
۴	۲۰	۱۶	۰/۴

جدول ۷- میزان مساحت ساییده شده سطح نمونه‌ها پس از تست سایش

نام طرح	مساحت سایش mm ²	تغییرات %	نتیجه بر اساس معیار ارزیابی مبحث نهم مقررات ملی ساختمان ویرایش ۱۳۹۹
CONTROL	۱۶/۶	-	قابل قبول در کف‌های طبقه بندی شده ۴و۳و۲و۱
AS-10%	۱۷/۹	-۷/۳	قابل قبول در کف‌های طبقه بندی شده ۳و۲و۱
AS-20%	۲۰/۲	-۱۷/۸	قابل قبول در کف‌های طبقه بندی شده ۲و۱
AS-30%	۲۱/۴	-۲۲/۴	قابل قبول در کف‌های طبقه بندی شده ۲و۱
AS-40%	۲۳/۲	-۲۸/۴	قابل قبول در کف‌های طبقه بندی شده ۱
AS-50%	۲۶/۴	-۳۷/۱	غیر قابل پذیرش



شکل ۳- میزان مساحت ساییده شده سطح نمونه‌ها پس از انجام تست سایش

طوری قرار داده شوند که هر دو سطح نمونه‌ها در فضای خالی قرار گیرند. نمونه‌ها پس از اشباع شدن با آب درون غلاف لاستیکی قرار داده شده و سطح پیرامونی آن‌ها ایزوله می‌شود. سپس محلول سدیم هیدروکسید با آنولیت با غلظت ۰/۳ داخل غلاف لاستیکی ریخته شده و با قسمت بالایی نمونه بتنی در تماس قرار می‌گیرد. در نهایت درون ظرف حاوی محلول نمک با غلظت ۱۰٪ قرار داده می‌شود به نحوی که وجه پایینی نمونه‌ها در تماس با محلول نمک باشد. شروع آزمایش، الکترودها به دستگاه مولد جریان مستقیم متصل می‌شوند. در آغاز ولتاژ اعمالی برابر ۶۰ ولت تنظیم شده و جریان عبوری از هر آزمونه اندازه‌گیری می‌شود. در صورت کم‌یا زیاد بودن جریان اولیه عبوری ولتاژ اعمالی کاهش یا افزایش داده می‌شود تا نرخ جریان کاهش پیدا کرده و از گرم شدن آزمونه جلوگیری شود. پس از گذشت مدت زمان تقریباً ۱۸ ساعت دستگاه خاموش و نمونه‌ها از درون غلاف لاستیکی خارج می‌گردند [۲۲]. ضریب مهاجرت را مطابق رابطه (۱) محاسبه کرد.

$$D_{nssm} = \frac{0.0239 \times (273 + T)^L}{(U - 2) \times t} \times \left[(X_d - 0.0238) \times \sqrt{\frac{(273 + T) \times d}{U - 2}} \right]$$

D_{nssm} : ضریب مهاجرت حالت غیر پایدار

U : ولتاژ اعمال شده

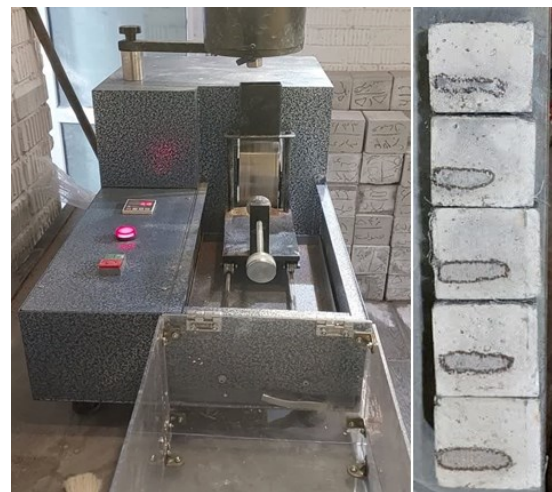
T : مقدار میانگین دمای اولیه و نهایی در محلول آنولیت بر حسب

سانتی‌گراد

L : ضخامت نمونه بر حسب میلیمتر

X_d : مقدار میانگین عمق نفوذ بر حسب میلیمتر

t : مدت زمان انجام آزمایش بر حسب ساعت



شکل ۴- برخی از تصاویر مربوط به انجام تست سایش بتن

۴-۲- نفوذ یون کلراید

آزمایش نفوذ یون کلراید یک روش غیرمخرب و تسریع شده برای سنجش نفوذپذیری و دوام بتن در محیط‌های حاوی کلراید است. هرچند بتن غلظتی عمدتاً غیرمسلح است، ارزیابی نفوذ کلراید به‌منظور بررسی دوام میلگردهای انتقال بار در درزها و همچنین تعیین نفوذپذیری کلی ماتریس بتن اهمیت دارد.

در این تحقیق آزمایش به روش RCMT انجام شد که در آن نمونه‌های بتنی بصورت استوانه‌ای مطابق استاندارد-ASHTO T357 در ابعاد به قطر ۱۰ سانتیمتر و ضخامت ۵ سانتیمتر مورد

آزمایش قرار گرفتند. در تست RCMT نمونه‌ها ابتدا باید کاملاً شسته و تمیز شوند که هیچ‌گونه آلودگی بر روی آن‌ها باقی نماند. سپس سطح نمونه‌ها کاملاً خشک گردد و در درون محفظه خلاء

در ادامه برای آنکه عمق نفوذ کلراید اندازه گیری شود، نمونه ها را پس از اتمام آزمایش به دو نیم تقسیم کرده، سپس محلول نیترات نقره ۰/۱ N بر روی سطح شکسته شده اسپری گردید. بنابراین عمق بتن که تغییر رنگ پیدا می کند به عنوان عمق نفوذ کلراید با استفاده از رابطه (۲) بدست می آید [۲۲].

$$M = \frac{h}{V \times t} \quad (2)$$

رابطه M نرخ نفوذ یون کلر بر حسب میلیمتر بر ولت ساعت، h میانگین عمق نفوذ یون کلر بر حسب میلیمتر، V ولتاژ اعمال شده به آزمونه ها بر حسب ولت، t مدت زمان آزمایش بر حسب ساعت می باشد [۲۲].

در مبحث نهم مقررات ملی ساختمان ویرایش ۱۳۹۹ مقادیر مجاز مشخصه از آزمایش های نفوذ پذیری بتن برای اعمال دوام در شرایط محیطی به شرح جدول شماره ۸ تعیین شده است [۲۳].

جدول ۸- مقادیر مجاز مشخصه از آزمایش های نفوذ پذیری بتن برای اعمال در شرایط محیطی [۲۳]

محدوده ی مجاز مقادیر مشخصه (دوام)			
۴	۳	۲	۱
شرایط XCS4	شرایط XCS3 و XCD4	شرایط XCD2 و XCS2 و XCD3	شرایط XCD1 و XCS1
۲	۲,۵	۳	۳,۵
۱. حداکثر جذب آب نیم ساعته در سن ۲۸ روز درصد استاندارد ملی ۱۲۲-۱۶۰۸			
۲۰	۳۰	۴۵	۶۰
۲. حداکثر عمق نفوذ آب تحت فشار در سن ۲۸ روز، واحد میلیمتر، طبق استاندارد ملی ۳۲۰۱-۵			
۱۵۰۰	۲۵۰۰	۳۵۰۰	-
۳. حداکثر نفوذ پذیری کلرید به روش تسریع شده RCPT در سن ۲۸ روز (کولن استاندارد ملی ۲۰۷۹۳)			
۰,۰۲	۰,۰۳	۰,۰۴۵	-
۴. مهاجرت کلرید RCMT (در سن ۲۸ روز) روش الف) استاندارد ملی ۲۱۴۷۹، حداکثر، میلیمتر بر ولت ساعت. روش ب) استاندارد ملی ۲۱۴۷۹، حداکثر، مترمربع بر ثانیه			
6×10^{-12}	12×10^{-12}	18×10^{-12}	-
۱۷۵	۱۲۵	۱۰۰	۷۵
۵. حداقل مقاومت الکتریکی چهار نقطه ای و نر (سن ۲۸ روز)، اهم - متر AASHTO T 358 [1]			
۸	۱۲	۱۵	۲۰
۶. حداکثر هدایت الکتریکی (در سن ۲۸ روز) میلی زیمنس بر متر (ms/s)، استاندارد ملی ۱۵۴۲۸ [۲]			

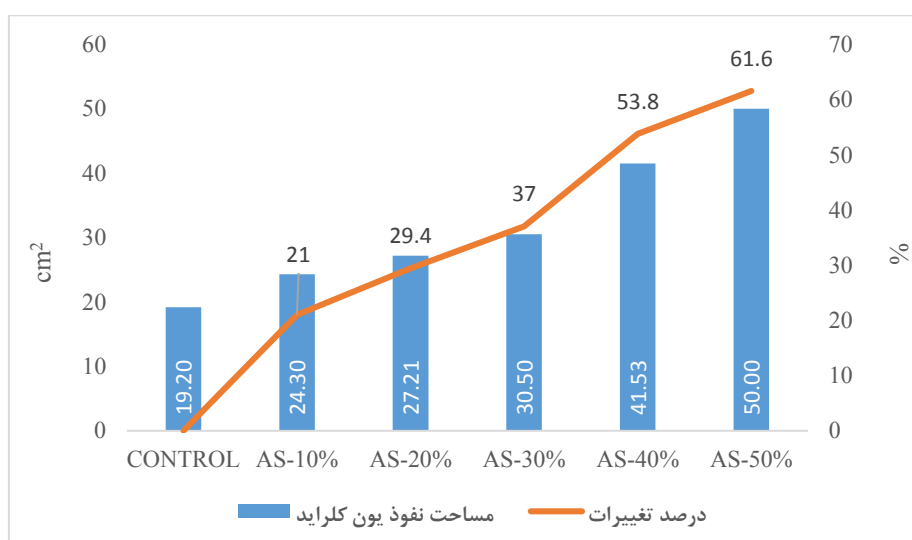
طبق نتایج به دست آمده مشخص گردید که مساحت آلوده شده به یون کلراید در طرح AS-10%, 20%, 30%, 40%, 50% نسبت به نمونه CONTROL به ترتیب به میزان ۹/۲، ۱۱/۸، ۱۳/۵، ۱۵/۲، ۱۸/۶، ۲۰ می باشد. مطابق مبحث نهم مقررات ملی ویرایش ۱۳۹۹، جدول شماره ۹ پ ۱- ۴ صفحه ۵۰۶ [۲۳] مقدار مجاز نفوذ یون کلراید در بتن برای دوام در شرایط محیطی (XCD2,3) برابر با ۰/۰۴۵ و در شرایط محیطی

یون کلراید در طرح AS-10%, 20%, 30%, 40%, 50% نسبت به نمونه CONTROL به ترتیب به میزان ۲۱٪، ۲۹/۴٪، ۳۷٪، ۵۳/۸٪، ۶۱/۶٪ افزایش یافته است. همچنین میزان ضریب انتشار نفوذ یون کلراید در بتن در طرح AS-10%, 20%, 30%, 40%, 50% نسبت به نمونه CONTROL به ترتیب به میزان ۲۱٪، ۲۹/۴٪، ۳۷٪، ۵۳/۸٪، ۶۱/۶٪ افزایش یافته است. همچنین میزان ضریب انتشار نفوذ یون کلراید در بتن در طرح AS-10%, 20%, 30%, 40%, 50% نسبت به نمونه CONTROL به ترتیب به میزان ۲۱٪، ۲۹/۴٪، ۳۷٪، ۵۳/۸٪، ۶۱/۶٪ افزایش یافته است.

(XCD4, XCS4) به ترتیب برابر با ۰/۰۳ و ۰/۰۲ می‌باشد. بنابراین 20% , AS-10% با نرخ نفوذ کلراید به میزان به ترتیب ۰/۰۳۶۴ و ۰/۰۳۸۴ در شرایط محیطی XCD2,3 مجاز می‌باشد.^۱ با توجه به نتایج به دست آمده مشخص گردید که استفاده از طرح

جدول ۹- میزان ضریب انتشار، نرخ نفوذ، عمق نفوذ و مساحت نفوذ یون کلراید در نمونه‌ها [۲۳]

نام طرح	ضریب انتشار یون کلراید	نرخ نفوذ یون کلراید	میانگین عمق نفوذ یون کلراید	مساحت نفوذ یون کلراید	تغییرات	نتیجه
	M ² /S (10 ⁻¹²)	mm/V hr	cm	cm ²	%	
CONTROL	۹/۲	۰/۰۳۲۵	۱/۸	۱۹/۲۰	-	قابل قبول
AS-10%	۱۱/۸	۰/۰۳۶۴	۳/۲	۲۴/۳۰	۲۱/۰	قابل قبول
AS-20%	۱۳/۵	۰/۰۳۸۴	۳	۲۷/۲۱	۲۹/۴	قابل قبول
AS-30%	۱۵/۲	۰/۰۴۵۸	۳/۵	۳۰/۵۰	۳۷/۰	رد پذیرش
AS-40%	۱۸/۶	۰/۰۵۲۶	۴/۱	۴۱/۵۳	۵۳/۸	رد پذیرش
AS-50%	۲۰	۰/۰۶۲۴	۵	۵۰/۰۰	۶۱/۶	رد پذیرش



شکل ۵- مقایسه میزان مساحت نفوذ یون کلراید در نمونه‌ها

۵- بحث

اضافه کردن ضایعات آسفالتی، به ویژه در مقادیر بیشتر از ۱۰٪، موجب کاهش استحکام سطحی بتن می‌شود که می‌تواند کارایی چنین بتن‌هایی را در مسیرهای پرتراфик یا محیط‌های صنعتی با بارگذاری سنگین محدود کند.

نتایج این تحقیق نشان داد که جایگزینی بخشی از شن طبیعی با ضایعات آسفالتی در بتن غلتکی تأثیر مستقیمی بر دوام و خواص عملکردی بتن دارد. بررسی داده‌های مقاومت سایشی نشان داد که

شرایط محیطی XCD4: در تماس با چرخه‌ی تر و خشک شدن مانند روسازی محوطه ساختمان و پارکینگ‌ها.

شرایط محیطی XCS4: نواحی در معرض پاشش جزر و مد

شرایط محیطی XCS2: بطور دائم غرقاب یا درون خاک خیس یا مرطوب قرار دارند.

شرایط محیطی XCD2: مرطوب به ندرت خشک.

شرایط محیطی XCD3: بتن مستقیم در تماس با خاک دارای یون کلراید



شکل ۶- مقایسه میزان نفوذ یون کلراید در نمونه‌ها به تفکیک هر طرح

بالای بازیافتی افزایش چشمگیری داشت. به‌طوری که برای طرح ۵۰٪، مساحت نفوذ بیش از ۶۰٪ بیش‌تر از نمونه شاهد بود.

۷. نتایج نشان داد که استفاده از آسفالت بازیافتی در بتن غلتکی (تا ۱۰٪)، نه تنها موجب کاهش هزینه‌های ساخت و مصرف منابع طبیعی می‌شود، بلکه بتن نهایی همچنان می‌تواند شاخص‌های مقاومتی و دوام مورد نظر در روسازی مسیرهای کم‌تردد را تأمین کند.

۸. استفاده از درصد‌های بالاتر از ۲۰٪ آسفالت بازیافتی، تنها در شرایط کاملاً کنترل‌شده یا پروژه‌هایی با حساسیت دوام و مقاومت پایین‌تر توصیه می‌شود و لازم است با احتیاط و مطالعات تکمیلی همراه باشد.

۷- مراجع

- [1] Golafshani, S., & Ghalenoei, M. (2023). Green concrete: Use of environmentally friendly materials for sustainable development. In 3rd International Conference on New Findings in Civil Engineering, Architecture, and Building Industry of Iran.
- [2] Goldoost Rezaei, M., & Taravirdizadeh. (2021). Investigation of advantages and disadvantages of green and recycled concrete. In 14th International Congress on Civil Engineering, Tehran, Iran.
- [3] Ghadim Takmeh Dash, F., Sadeghi, A. M., & Afshin, H. (2022). Investigation of some durability properties of concrete pavements containing rubber powder. Scientific and Research Journal of Azerbaijan University, Tabriz, Iran.
- [4] Esmaeili, J., Andaleibi, K., & Kasaei, J. (2020). Investigating the effect of adding recycled aggregates on the mechanical properties of concrete. 10th International Congress on Civil Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tabriz, Iran.
- [5] Adresi, F., Ghanbari, N., & Omidi, D. (2020). Investigation of the effect of mixture type and coarse texture on the skid resistance of roller compacted concrete pavement. Civil Infrastructure Research, 7(1), 111-129.
- [6] Debbarma, S., Ransinchung RN, G. Singh, S. (2021). Suitability of various supplementary cementitious admixtures for RAP inclusive RCCP mixes. International Journal of Pavement Engineering, 22(12), 1568-1581.
- [7] Ghasemzadeh Mousavinejad, Shadmani, Tahmoursi. (2021). Mechanism of the effect of SBR latex on mechanical strength, permeability and

با این حال، در نمونه‌های حاوی حداکثر ۱۰٪ ضایعات آسفالت، سطح سایش بتن همچنان در محدوده مجاز برای روسازی‌های نیمه‌سبک و مسیرهای کم‌تردد باقی می‌ماند. از سوی دیگر، نتایج آزمون نفوذ یون کلراید بیانگر آن است که اگرچه افزایش درصد ضایعات آسفالتی سبب افزایش میزان نفوذ و انتشار یون کلراید می‌شود، اما در طرح‌های دارای ۱۰٪ و ۲۰٪ جایگزینی، مقدار نفوذ همچنان داخل محدوده مجاز آیین‌نامه برای محیط‌های متوسط تا نیمه‌خورنده قرار دارد. این مسأله اهمیت کنترل مقدار مصرف مصالح بازیافتی و رعایت سقف‌های آیین‌نامه‌ای جهت حفظ دوام مطلوب بتن را نشان می‌دهد و همچنین نقش استفاده از مکمل‌های معدنی مانند میکروسیلیس را در ارتقای دوام و مقاومت این نوع بتن برجسته می‌کند.

۶- نتیجه‌گیری

- برخی از مهم‌ترین نتایج این تحقیق به شرح ذیل می‌باشد:
۱. با افزایش درصد جایگزینی سنگ‌دانه آسفالت بازیافتی، وزن مخصوص بتن کاهش یافت که این موضوع به دلیل چگالی پایین‌تر آسفالت بازیافتی نسبت به شن طبیعی می‌باشد.
 ۲. مقاومت سایشی بتن غلتکی با افزایش درصد جایگزینی آسفالت بازیافتی کاهش یافت. اما بتن حاوی ۱۰٪ بازیافتی همچنان در محدوده کفایت آیین‌نامه‌ای برای روسازی مسیرهای سبک و کم‌تردد قرار دارد.
 ۳. در نمونه‌هایی که ۳۰٪ یا بیش‌تر از شن طبیعی با ضایعات آسفالت جایگزین شده بود، علاوه بر کاهش مقاومت سایشی، نشانه‌های شن‌ما شدن سطح و تغییرات ظاهری شدید مشاهده گردید.
 ۴. میزان نفوذ یون کلراید (در آزمون RCMT) در نمونه‌های دارای ۱۰ و ۲۰٪ آسفالت بازیافتی در محدوده مجاز شرایط محیطی XCD2,3 قرار گرفت، اما در درصد‌های بالاتر مقدار نفوذ فراتر از حد استاندارد مشاهده شد.
 ۵. ضریب انتشار یون کلراید با افزایش درصد ضایعات آسفالتی به‌صورت افزایشی معنادار تغییر کرد. ضریب انتشار در بتن شاهد 10^{-12} تا 9×10^{-12} و در طرح حاوی ۵۰٪ آسفالت بازیافتی به 10^{-12} تا 2×10^{-12} مترمربع بر ثانیه رسید.
 ۶. عمق و مساحت نفوذ یون کلراید در نمونه‌های دارای درصد

Advances in Civil Engineering, Amol, Iran. <https://civilica.com/doc/727023>

[17] Ghasemzadeh Mousavinezhad, S., Shadmani, T., & Tahmooressi. (2021). Mechanism of SBR latex effect on mechanical strength, permeability, and microstructure of concrete containing asphalt waste. *Modares Civil Engineering*, 17(6), 159-170.

[18] Planning and Strategic Supervision Deputy of the President. (2009). Guide for the design and execution of RCCP in road pavements (Publication No. 354).

[19] Bagheri Zanganeh, H. (2022). Comparison of RCMT and electrical resistance methods for rapid assessment of concrete resistance to chloride ion penetration. *Modares Civil Engineering*, 12(3), 103-112.

[20] Ameri, M., Shekarchizadeh, M., & Shahabi Shahmiri, H. (2021). Effect of Isfahan steel converter slag as aggregate replacement on RCC road pavement. 8th International Congress of Civil Engineering, Shiraz University, Shiraz, Iran.

[21] Ahmadi, S. E., Shah Hosseini, V., & Saeed Kia. (2020). Requirements for country pavements using RCCP concrete. *Journal of Supervision and Strategic Planning*, 56(3).

[22] Iranian Concrete Code (ABAA). (2023). Office of Technical Affairs and Standards Compilation, Management and Planning Organization, Publication No. 120, 2nd Revision.

[23] Regulations No. 723. (2016). Guide for the design of mass concrete gravity dams. Planning and Budget Organization.

[24] Regulations No. 120. (2004). Iranian Concrete Code. Management and Planning Organization.

[25] Iranian National Building Code, Part 9. (2020). Housing and Urban Development Research Center of Iran.

[26] Ministry of Roads & Urban Development News Portal. (2023). <http://news.mrud.ir/>

[27] Statistical Yearbook of Iranian Road Maintenance and Transportation Organization. (2024).

[28] Farsnov Cement Co. (2023). <https://www.farsnov.com>

[29] Iranian National Standard No. 14830. (2012). Guide for design and implementation of roller compacted concrete (RCC) for national pavements.

[30] Iranian National Standard No. 448. (2014). Resistance of coarse and fine aggregates against abrasion and impact in Los Angeles machine.

microstructure of concrete containing asphalt waste. *Modarres Civil Engineering*, 17(6), 159-170.

[8] Soltani, Arzoo-Mandi, Haj-Mehdi, & Yaghoubi. (2020). Properties of concrete containing recycled fine asphalt aggregate and silica fume. *Experimental Research in Civil Engineering*, 3(Autumn and Winter), 129-142.

[9] Amouzadeh Omrani, M., Hasannezhad, A., & Shahbazi, V. (2022). Possibility of utilizing reclaimed asphalt pavement and steel slag as partial replacement in roller compacted concrete pavements. *Concrete Materials and Structures*, 7(1), 5-22. <https://doi.org/10.30478/jcsm.2022.336813.1263>.

[10] Karimi Goghari, M., Hassani, A., Ahmadi, A., & Arab Ameri, H. (2021). Laboratory feasibility of using recycled asphalt as aggregate replacement in roller compacted concrete pavement mixes. *Transportation Engineering*, 3(1), 69-79. <https://sid.ir/paper/223884/fa>

[11] Divandari, H., & Bashkoul, Y. (2021). Determination of optimum amount of reclaimed asphalt and microsilica in roller compacted concrete pavement. *Jaddeh*, 4(19), 155-169. <https://sid.ir/paper/1052561/fa>

[12] Zargar, M., & Shariatmadar. (2022). Evaluation of the effect of aggregate gradation on Vebe time and bulk density of roller compacted concrete pavement. 1st National Conference on Applied Research in Structural Engineering and Construction Management, Sharif University of Technology.

[13] Ameri, M., Mansourian, A., & Shaker, A. (2021). Determining suitable amount of fine and coarse slag combination based on mechanical characteristics of asphalt mixtures using response surface methodology. *Transportation Infrastructure Engineering*, 7(3), 21-36.

[14] Ameli, A., Parvareshkaran, E., & Hashemi, S. A. H. (2020). Investigation of four-point bending test results of RCC beams containing crumb rubber and recycled asphalt. *Transportation Research Journal*, 16(2), 165-188. <https://sid.ir/paper/83890/fa>

[15] Biglari, M., Asgharzadeh, S. M., & Kavooosi, A. (2019). Investigation of factors affecting adherence between RCC pavement layer and sand-asphalt stress-absorbing interlayer. *Transportation Engineering*, 9(Special Issue), 89-104. <https://sid.ir/paper/223991/fa>

[16] Divandari, H., & Bashkoul, Y. (2021). Evaluation of using reclaimed asphalt pavement (RAP) in roller compacted concrete pavement (RCC). 1st International Conference on New

The Effect of Volumetric Replacement of Recycled Asphalt Aggregate on the Abrasion Resistance and Chloride Ion Penetration of RCCP Using the RCMT Method

Mohammadamin Abedzadeh

**M.Sc. in Civil Engineering (Construction Engineering and Management), Faculty of Civil Engineering,
Sharif University of Technology (Kish Campus), Kish, Iran.**

Leila Shahryari *

Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Shi.C., Islamic Azad University, Shiraz, Iran.

Hossein Zarei

Master's Degree, Department of Civil Engineering, Shi.C., Islamic Azad University, Shiraz, Iran.

Abstract

For many years, the construction of asphalt roads has been common in Iran, and today a significant volume of asphalt waste resulting from the aging and destruction of these roads is accumulating. These wastes are often transported to the outskirts of cities, and there is no specific mechanism in the industry for their recycling. Continuation of this trend, in addition to increasing construction costs, leads to the depletion of natural resources and quarries. However, a considerable portion of roads and pathways not exposed to aggressive and corrosive environmental factors can be constructed using recycled materials. In line with this goal, in the present study, various volumetric percentages of recycled asphalt aggregate (including 10, 20, 30, 40, and 50%) were used as a replacement for natural coarse aggregate in the production of RCCP. Other construction requirements were also applied according to National Standard No. 14830. Additionally, in order to enhance the compaction and quality of the concrete, microsilica equal to 10% by the cement weight was incorporated. The experiments conducted in this study included measurements of specific gravity, slump, abrasion resistance, and durability evaluation against chloride ion penetration using the RCMT method. The results indicated that as the replacement percentage of recycled asphalt increased, the abrasion resistance of RCCP decreased. However, RCCP containing 10% recycled asphalt still remained within the acceptable range of the code for light-duty and low-traffic pavements. Furthermore, the chloride ion penetration rate (by the RCMT method) in samples containing 10% and 20% recycled asphalt aggregate was within the permissible limits for XCD2,3 environmental conditions.

Keywords: Recycled asphalt, RCCP, abrasion resistance, concrete durability, RCMT chloride ion penetration.

* Corresponding Author: Leila.shahryari@iau.ac.ir

