

## تأثیر لایه تقویتی بر خواص مکانیکی و دوامی روسازی‌های بتن غلتکی مرکب حاوی مواد مکمل سیمانی

شهریار عبدالله زاده

دانشجوی دکتری سازه، گروه عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه بوعلی سینا

محمود نیلی\*

دانشیار، گروه عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه بوعلی سینا

### چکیده

علیرغم کاهش هزینه اجرا، نگهداری و ترمیم بتن‌های غلتکی در رویه‌های راه، استفاده از این نوع بتن در بزرگراه‌ها به علت ایجاد آلودگی صوتی ناشی از زبری لایه سطحی با محدودیت مواجه است. در تحقیق حاضر اضافه کردن لایه تقویتی بر روی بتن غلتکی جهت استفاده در بزرگراه‌ها در مناطق سرد پیشنهاد شده است. آزمون‌های بتن غلتکی با و بدون لایه تحت اثر سیکل‌های یخ زدن و آب شدن در مجاورت نمک‌های یخ‌زدا قرار گرفته‌اند. پس از اعمال سیکل‌ها آزمون‌ها تحت آزمایش‌های مقاومت فشاری، دوام، کشش غیرمستقیم و همچنین برش سطح مورب قرار گرفته‌اند. از سرباره و دوده سیلیسی به‌عنوان جایگزین بخشی از سیمان در تعدادی از آزمون‌ها استفاده شده است. نتایج حاکی از آن است که سرباره به‌تنهایی باعث افت دوام و مقاومت فشاری در همه سنین است؛ اما با افزودن دوده سیلیسی بهبود دوام و مقاومت فشاری حتی در سنین کوتاه‌مدت نیز حاصل می‌گردد. اعمال شرایط ذوب و انجماد در حضور نمک‌های یخ‌زدا، اتصال لایه آسفالتی و لایه بتن هوادار به بتن غلتکی را به ترتیب ۱۲ درصد و ۱۰ درصد کاهش داده است.

واژه‌های کلیدی: بتن غلتکی روسازی، مقاومت فشاری، سیکل‌های یخ زدن و آب شدن، مواد مکمل سیمانی، روسازی مرکب.

\* نویسنده مسئول: nili36@yahoo.co.uk

## ۱- مقدمه

عنوان شده است. تولید حباب هوای عمدی در بتن غلتکی کاری دشوار است و تحقیقات نشان می‌دهد که برای ایجاد حفرات هوای مورد نیاز در بتن غلتکی باید حدود ۵-۱۰ برابر مقدار مورد نیاز در بتن معمولی افزودنی مصرف شود [۱۴]. استفاده از مواد پوزولانی و جایگزین سیمان، به دلیل آلاینده‌گی صنعت تولید سیمان همواره مد نظر محققین بوده است. سرباره محصول جانبی و زائد در صنایع فولاد است که سالانه حدود ۱۷۰ تا ۲۵۰ میلیون تن سرباره در سطح جهان تولید می‌گردد [۱۵]؛ لذا استفاده از آن در ساخت بتن غلتکی در صورت تأمین مشخصات فنی لازم، از نظر فنی و اقتصادی بسیار قابل توجه است. امروزه برای بهبود کیفیت سطح رویه‌های بتنی و کاهش صدای ناشی از تردد روی آن‌ها استفاده از یک لایه روکش بر روی لایه بتنی توسط محققین پیشنهاد شده است. محل اتصال دولایه از آسیب‌پذیرترین نقاط در روسازی‌های مرکب است [۱۶]. معمولاً مضرس کردن سطح، راهی ساده و مؤثر برای افزایش مقاومت برشی اتصال در پروژه‌های تحقیقاتی و اجرایی است. سازگاری بین دولایه روسازی به منظور اتصال کافی از نظر فیزیکی (مانند اصطکاک و چسبندگی)، شیمیایی و الکتروشیمیایی باید تأمین گردد [۱۷ و ۱۸]. پیوستگی دو سطح با روش‌های مختلفی ارزیابی می‌گردد که برش سطح مورب، برش گیوتینی و کشش غیرمستقیم از کاربردی‌ترین روش‌ها هستند. به‌فونیا و همکاران [۱۹] در گزارش خود بیان کرده‌اند که با افزایش مدت عمل‌آوری ۸ درصد افزایش مقاومت برشی و با نفوذ مواد روغنی و یون سولفات، به ترتیب ۱۰ و ۲۳ درصد کاهش مقاومت برشی در اتصال رخ می‌دهد [۲۰]. در تحقیق حاضر پس از تعیین طرح مخلوط بتن آزمایش‌های مکانیکی و دوام یخ‌بندان بر روی نمونه‌های استوانه‌ای و دیسکی صورت گرفته است. در این تحقیق برای لایه فوقانی از آسفالت گرم و همچنین بتن هوادار استفاده شده است. اتصال بین دو لایه نیز توسط روش برش سطح مورب که کارآمد و متناسب با شرایط واقعی است ارزیابی شده است [۲۱].

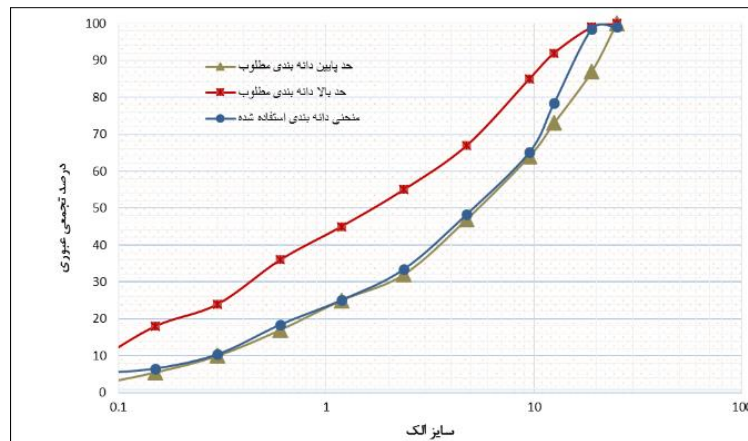
## ۲- مصالح مورد استفاده

در تحقیق حاضر پودر سنگ به میزان ۶ درصد وزن خشک ماسه برای تأمین ریزدانه کافی عبوری از الک ۲۰۰ به ماسه اضافه گردیده و ماسه با مدول نرمی ۳/۶ حاصل شده است. شکل ۱ منحنی دانه‌بندی سنگ‌دانه‌ها و محدوده پیشنهادی ACI 325 را

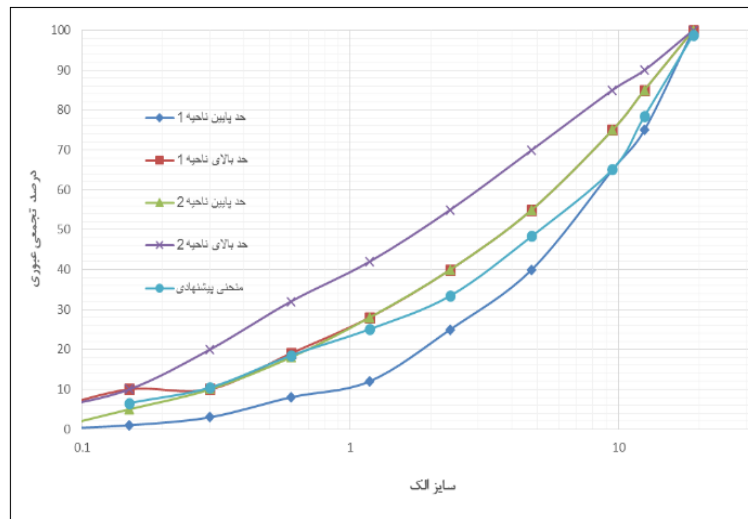
بتن غلتکی، بتنی با اسلامپ صفر است که برای تراکم آن از غلتک‌های روسازی استفاده می‌گردد [۱]. استفاده از بتن غلتکی روسازی به تدریج از سال ۱۹۷۰ به‌طور گسترده در مناطق مختلف دنیا و در راه‌های با ترافیک سنگین و سرعت کم مورد استفاده بوده است [۲ و ۳]. از خواص این نوع بتن، نسبت آب به سیمان کم و کاهش ترک خوردگی ناشی از خشک شدن و خزش است [۴]. بررسی‌ها نشان می‌دهد که هزینه‌های استفاده از این نوع بتن در روسازی راه، به دلیل عدم نیاز به قالب‌بندی و آرماتورگذاری حدود ۱۵-۳۰ درصد، نسبت به بتن معمولی کاهش می‌یابد [۶]. در مقایسه با آسفالت رویه‌های بتن غلتکی آسیب کمتری به محیط‌زیست وارد می‌کند و همچنین عملکرد بهتری در شیب‌های کوهستانی مناطق سرد دارد [۷]. بتن غلتکی در حالت تازه باید در حدی خشک باشد که قابلیت تحمل وزن غلتک را جهت تراکم داشته باشد و در حدی هم رطوبت داشته باشد تا با غلتک تراکم یافته و سنگ‌دانه‌ها از زیر غلتک خارج نشوند [۸]. یکی از اهداف مهم در طراحی بتن غلتکی، مقاومت فشاری است. استفاده از مواد مکمل سیمانی از جمله دوده سیلیسی در میزان کم باعث افزایش مقاومت فشاری ۲۸ و ۲۰۰ روزه در بتن غلتکی شده است [۹]. مدرس و حسینی [۱۰] در بررسی‌های خود نشان داده‌اند که بهره‌گیری از خاکستر پوسته‌ی برنج اثرات مثبتی در رشد مقاومت فشاری دارد. طبق ACI 325.10R، در صورت استفاده از بتن غلتکی در رویه راه حداقل مقاومت فشاری ۲۸ روزه ۲۷/۶ مگا پاسکال باید تأمین گردد [۲]. یکی دیگر از عوامل طراحی روسازی‌های بتن غلتکی، دوام در برابر سیکل‌های ذوب و انجماد در حضور نمک‌های یخ‌زدا است در مطالعاتی افزایش عیار سیمان و افزایش درصد درشت‌دانه بهبود دوام را در پی داشته است [۱۱]. نیلی و ظاهری [۱۲] در گزارش خود بیان کرده‌اند که استفاده از دوده سیلیسی باعث افزایش دوام سیکل‌های ذوب و انجماد در حضور نمک‌های یخ‌زدا گردیده در حالی که خاکستر بادی و پوزولان طبیعی بعد از ۵۰ سیکل موجب ضعیف شدن نمونه‌ها در برابر سیکل‌های اعمالی شده است. در تحقیق تالبوت و همکاران [۱۳] عملکرد بتن‌های حاوی خاکستر بادی و سرباره تحت سیکل‌های ذوب و انجماد در حضور مواد یخ‌زدا به دلیل نبود شبکه‌ی حفرات مرتبط و نفوذپذیری کمتر و اشباع شدن حفرات، ضعیف

دانه‌بندی سنگ‌دانه در بتن هوادار روکش در شکل ۲ آمده است. بتن هوادار با درصد هوای ۴ درصد استفاده گردیده است. آسفالت از نوع توپکا ۱۹-۰ و قیر مصرفی از نوع ۱۰۰-۸۵ پالایشگاه اراک بوده است. در روکش آسفالتی، درصد قیر ۴/۷ درصد نسبت به وزن مخلوط آسفالتی استفاده شده است. نسبت‌های اختلاط، دانه‌بندی مصالح سنگی، وزن مخصوص مصالح سنگی مخلوط آسفالتی، به ترتیب در جدول‌های ۱ و ۲ آمده است.

شان داده است. حداکثر اندازه دانه شن ۱۹ میلی‌متر، چگالی ظاهری ماسه و شن در حالت اشباع با سطح خشک نیز ۲/۴۹ و ۲/۷۰ اندازه‌گیری شده است. سیمان مورد استفاده سیمان پرتلند تیپ ۲ کارخانه سیمان هگمتان، سرباره با مدول نرمی ۳۰۰۰ گرم در سانتی‌متر مربع، محصول فرعی از کوره بلند ذوب آهن اصفهان و دوده سیلیسی محصول کارخانه فرو سیلیس ایران بوده است. برای مصالح روکش از بتن هوادار و آسفالت ساخته شده در کارخانه آسفالت شهرداری همدان استفاده شده است. منحنی



شکل ۱- منحنی دانه‌بندی سنگ‌دانه و محدوده پیشنهادی ACI 325



شکل ۲- منحنی دانه‌بندی سنگ‌دانه بتن هوادار و محدوده پیشنهادی آبا

جدول ۱- نسبت‌های اختلاط مصالح سنگی مخلوط آسفالتی

درصد اختلاط مصالح سنگی	مشخصات مصالح سنگی
7	شن متوسط 19 میلی‌متر
39	شن ریز 12/5 میلی‌متر
48	ماسه 4/75 میلی‌متر
6	فیلر

جدول ۲- دانه بندی مخلوط سنگی در مقایسه با فرمول کارگاهی و حدود مشخصات در آسفالت مصرفی

اندازه الک	حدود مشخصات ستون 4 جدول 1-20 نشریه 101	نیانگین ستون 4 جدول 20-1 نشریه 101	درصد وزنی عبوری حاصل از اختلاط در کارگاه
اینچ 3/4	100	100	100
اینچ 1/2	90-100	95	95
شماره 4	44-74	59	63
شماره 8	28-58	43	43
شماره 50	5-21	13	12
شماره 200	2-10	6	7

جدول ۳- وزن مخصوص و درصد جذب آب مصالح سنگی آسفالت

درصد جذب آب	وزن مخصوص gr/cm <sup>2</sup>		مشخصه
	ظاهری	حقیقی	
0/45	2/71	2/68	مصالح سنگی مانده روی الک شماره 8
0/78	2/72	2/67	مصالح سنگی رد شده از الک شماره 8 و مانده روی الک شماره 200
-	2/68	-	مصالح سنگی رد شده از الک شماره 200
	2/68		وزن مخصوص حقیقی مخلوط مصالح سنگی Gsb

### ۳- طرح مخلوط و نحوه ساخت آزمون‌ها

۰/۴۵ ساخته شده است. نسبت‌های مصالح مورد استفاده در طرح‌های مخلوط بتن غلتکی و طرح مخلوط بتن هوادار در جدول ۴ آمده است. لازم به ذکر است در طرح مخلوط‌های حاوی دوده سیلیسی برای ساخت ژل میکرو سیلیس، میزان ۰/۳ درصد مواد سیمانی فوق روان کننده ساخت کارخانه شیمی ساختمان استفاده گردیده است. جهت تعیین مقاومت فشاری در سنین مختلف نیز دو آزمون استوانه‌ای ۱۰۰×۲۰۰×۱۰۰ میلی‌متر و طبق استاندارد ASTM C1176 با استفاده از میز لرزان ساخته شده است.

شش طرح مخلوط بتن غلتکی در این تحقیق مدنظر بوده است. طرح اول شاهد (C10) و حاوی ۱۰۰ درصد سیمان بوده و طرح C9SF1 شامل ۱۰ درصد دوده سیلیسی جایگزین سیمان، طرح‌های C7SL3 و C8SL2 به ترتیب شامل ۲۰ و ۳۰ درصد سرباره و طرح‌های C6SL3SF1 و C7SL2SF1 حاوی ۱۰ درصد دوده سیلیسی و به ترتیب ۲۰ و ۳۰ درصد سرباره داشته است. همچنین طرح بتن هوادار (AEC) با ۱۰۰ درصد سیمان و عیار سیمان ۳۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب و نسبت آب به سیمان

جدول ۴- طرح مخلوط بتن‌های غلتکی و بتن هوادار

شماره	کد طرح	نسبت آب به مواد سیمانی	(kg/m <sup>3</sup> )							
			سیمان	دوده سیلیسی	سرباره	آب	ماسه	پودر سنگ	شن نخودی	شن بادامی
۱	C10	۰/۴۱	۳۲۵	-	-	۱۳۳	۱۰۱۸	۶۱	۴۳۸	۴۶۵
۲	C9SF1	۰/۴۱	۲۹۲	۳۲	-	۱۳۳	۱۰۱۲	۶۱	۴۳۶	۴۶۲
۳	C8SL2	۰/۴۱	۲۶۰	-	۶۵	۱۳۳	۱۰۱۷	۶۱	۴۳۸	۴۶۴
۴	C7SL3	۰/۴۱	۲۲۷	-	۹۷	۱۳۳	۱۰۱۶	۶۱	۴۳۷	۴۶۴
۵	C7SL2SF1	۰/۴۱	۲۲۷	۳۲	۶۵	۱۳۳	۱۰۱۱	۶۱	۴۳۶	۴۶۲
۶	C6SL3SF1	۰/۴۱	۱۹۵	۳۲	۹۷	۱۳۳	۱۰۱۰	۶۱	۴۳۵	۴۶۱
۷	AEC	۰/۴۵	۳۵۰	۰	۰	۱۴۶	۹۶۴	۵۸	۴۱۵	۴۴۰

مقاومت فشاری پس از عمل‌آوری آزمون‌ها در آب با دمای متوسط ۲۰±۳°C تعیین شده‌اند. برای تعیین مقاومت در برابر پوسته شدگی طبق ASTM C672 از هر طرح مخلوط دو آزمون دیسکی شکل ۷۵×۲۴۱ میلی‌متر و سربار با جرم کل معادل

مارشال، انجام گرفته است که ۱۱۰ ضربه برای هر لایه در آزمون-های برش سطح مورب و ۷۳ ضربه برای آزمون‌های مکعبی کشش غیرمستقیم، وارد شده است. شکل ۴ آزمون‌های مرکب ساخته شده نهایی آمده است.



شکل ۴- آزمون‌های مرکب بتن غلتکی همراه با لایه روکش

آزمایش مقاومت فشاری در سنین ۷، ۲۸ و ۹۱ روز و پس از کلاهک‌گذاری با گوگرد مذاب صورت گرفته است. به منظور آزمایش مقاومت در برابر پوسته شدگی سطح مطابق ASTM C672 سطح آزمون‌ها با محلول آب و نمک کلرید سدیم با غلظت ۳ درصد وزنی، مطابق شکل ۵ در تماس قرار داده شده پس از هر ۵ سیکل، ارزیابی و رتبه‌بندی شده است. البته این استاندارد معیار کمی برای سنجش سطح آزمون‌ها ارائه نکرده است و تنها به طور کیفی رتبه‌بندی را پیشنهاد داده است. در تحقیق حاضر میزان ذرات جدا شده از سطح نیز در هر ۵ سیکل اندازه‌گیری شده است. همچنین اثر اعمال سیکل‌های ذوب و انجماد در حضور نمک‌های یخ‌زدا در مرز بین دو لایه آزمون‌های مرکب در سیکل‌های صفر، ۲۵ و ۵۰ اندازه‌گیری شده‌اند. برای آزمون‌های مکعبی ۱۰۰ میلی‌متری، میزان تغییرات چسبندگی بین دو لایه با آزمایش کشش غیرمستقیم طبق BS 1881 و برای آزمون‌های اصلاح شده ۳۰۰×۱۰۰×۱۰۰ میلی‌متر، با استفاده از آزمایش برش سطح مورب طبق ASTM C882-99 ارزیابی شده‌اند. آزمون‌های مرکب پس از ساخت مطابق شکل ۵ در محلول آب و نمک به غلظت ۳ درصد وزنی قرار گرفته و به مدت ۱۸ ساعت در دمای C ۱۸<sup>o</sup> و ۶ ساعت در دمای C ۲۱±۳ تا ۵۰ سیکل، قرار داده شده و میزان باربری اتصال در سیکل‌های ۲۵ و ۵۰ تعیین گردیده است. برای این منظور با قرار دادن عمودی آزمون‌های ۳۰۰×۱۰۰×۱۰۰ میلی‌متر، در دستگاه جک هیدرولیکی و اعمال نیروی محوری (مشابه با انجام آزمایش مقاومت فشاری)، آزمون‌ها از محل اتصال بتن غلتکی و لایه روکش، روی

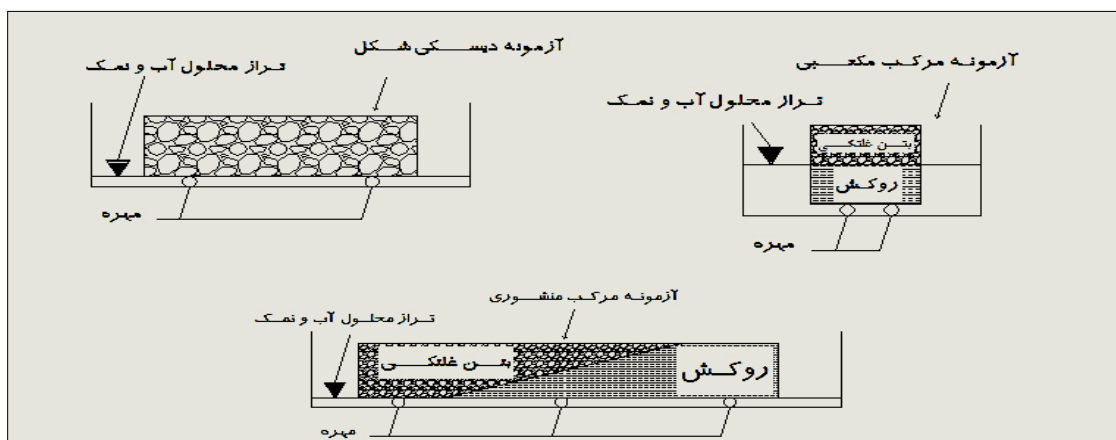
۲۲/۷±۰/۵ کیلوگرم و با استفاده از میز لرزان تهیه شده است. برای ساخت آزمون‌های مرکب نیز ابتدا بتن غلتکی با طرح مخلوط C9SF1 که بهترین نتایج دوامی و مقاومتی را داشته، درون نیمه‌ی خالی قالب‌های ۱۰۰×۱۰۰×۳۰۰ میلی‌متر و قالب‌های مکعبی با بعد ۱۰۰ میلی‌متر، ریخته شده است. سپس با سرباره‌هایی که تنشی برابر با تنش لازم برای ساخت آزمون‌های مقاومت فشاری ایجاد کند (معادل ۰/۰۵ کیلوگرم در سانتی‌متر مربع)، تراکم بتن غلتکی با مقطع‌های دوزنقه‌ای و مربعی انجام گرفته است. پس از بیرون آوردن از قالب، چهار روز عمل‌آوری در حوضچه آب به منظور کسب مقاومت لازم برای افزودن روکش بتن هوادار و آسفالتی صورت گرفته است. سطح آزمون‌های بتن غلتکی ساخته شده آزمایش برای کشش غیرمستقیم مضرس بوده است. لئو و همکاران [۱۸] اجرای روکش در فاصله زمانی بین گیرش اولیه و ثانویه بتن غلتکی زیرین را به منظور ارتقا مقاومت برشی اتصال، در روسازی مرکب توصیه کرده‌اند. اما در تحقیق حاضر به دلیل اجرای روکش آسفالتی با استفاده از دستگاه مارشال و به منظور عدم تضعیف لایه زیرین، چهار روز فاصله زمانی برای اجرای روکش در نظر گرفته شده است. به منظور تقویت سطح محل اتصال با روکش در نیمه‌ی بتن غلتکی آزمون‌های مرکب برای آزمایش برش سطح مورب، پس از مضرس شدن با برس سیمی، شیارهایی با عمق برش حدود ۵ میلی‌متر و عرض حدود ۳ میلی‌متر با دستگاه برش آماده گردیده‌اند. سطح نهایی بتن زیرین، قبل از اضافه شدن مصالح روکش در شکل ۳ آمده است.



شکل ۳- سطح نیمه بتن غلتکی آزمون‌های مرکب

آزمون‌های مرکب به نحوی تهیه شده‌اند که لایه روکش به بتن غلتکی اضافه شده‌اند و پس از ۱ روز از قالب خارج و به مدت ۷ روز درون آب و ۸ روز در محیط آزمایشگاه عمل‌آوری شده‌اند. تراکم آسفالت (در دو لایه) با استفاده از چکش مارشال و شابلون‌های فلزی و با توجه به انرژی تراکمی ساخت آزمون‌های آسفالتی

یکدیگر لغزش داشته و آزمون شکسته می‌شود. در مورد آزمون‌های مکعبی  $100 \times 100$  میلی‌متر نیز پس از اعمال سیکل‌های ذوب و انجماد، آزمون‌ها مطابق آزمایش کشش غیرمستقیم در دستگاه جک



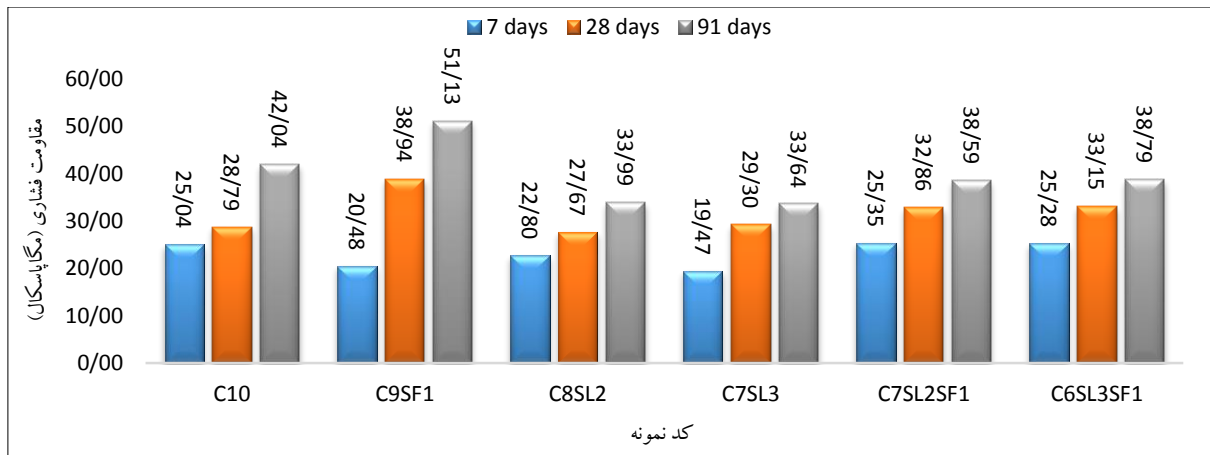
شکل ۵- نحوه قرارگیری آزمون‌های دیسکی شکل و مرکب در محلول آب و نمک

اطراف ذرات سرباره تجمع کرده و ادامه فرایند واکنش را مختل می‌کند که این روند اختلال در فعالیت سرباره، با افزایش بیشتر درصد سرباره نیز رخ داده است [۲۳]. افزودن دوده سیلیسی جایگزین سیمان به طرح‌های حاوی سرباره، به دلیل مصرف یون‌های  $Ca^{2+}$  و  $Ca(OH)_2$  حاصل از هیدراسیون سیمان، ژل ثانویه تولید و افت مقاومت فشاری ناشی از حضور سرباره را جبران می‌کند. در جدول ۵ نیز اثر سن آزمون‌ها و همچنین اثر افزودن مواد مکمل سیمانی به صورت درصد افزایش مقاومت فشاری هر طرح مخلوط آمده است. بیشترین نرخ کسب مقاومت فشاری از سن ۷ تا ۲۸ روزه مربوط به طرح C9SF1 است. افزودن دوده سیلیسی با افت حدود ۱۸/۲ درصدی مقاومت فشاری تا سن ۷ روزه نسبت به طرح شاهد همراه بوده است. استفاده از سرباره روند کسب مقاومت فشاری را نسبت به طرح شاهد در سنین مختلف کاهش داده است. در طرح‌های حاوی ۲۰ و ۳۰ درصد سرباره همراه با دوده سیلیسی، روند تغییرات تقریباً مشابه هم بوده و استفاده از درصد‌های بیشتر سرباره همراه با دوده سیلیسی در طرح‌های مخلوط را امکان‌پذیر نموده است. نکته قابل توجه درافت مقاومت فشاری ۷ روزه در طرح‌های C9SF1، C8SL2 و C7SL3 و البته رشد مقاومت فشاری ۷ روزه طرح‌های C6SL3SF1 و C7SL2SF1 است. در فرایند ترکیب سرباره با آب و همچنین حضور دوده سیلیسی، حتی در سن ۷ روز نیز مقاومت‌های فشاری نسبت به نمونه شاهد حدود ۱ درصد رشد داشته است.

#### ۴- نتایج، بحث و بررسی

##### ۴-۱- مقاومت فشاری

نتایج مقاومت فشاری در نمودار شکل ۶ آمده است. جایگزینی ۱۰ درصدی دوده سیلیسی در طرح مخلوط C9SF1 گرچه در سنین اولیه نسبت به طرح شاهد (C10)، مقاومت فشاری کمتری را داشته اما با توجه به ادامه فرایند هیدراسیون سیمان و تولید هیدروکسید کلسیم، عملکرد دوده سیلیسی آغاز شده و به تدریج ژل ثانویه C-(S-H) تشکیل و منجر به رشد حدود ۳۵/۳ درصدی و ۲۱/۶ درصدی در مقاومت فشاری آزمون‌های بتنی به ترتیب در سنین ۲۸ و ۹۱ روزه گردیده است و بیشترین مقاومت فشاری بین طرح‌های بتن غلتکی در سنین ۲۸ و ۹۱ روزه را به دنبال داشته است. افزودن سرباره به دلیل رفتار شبه سیمان آن و فعالیت بسیار کمتر آن نسبت به سیمان، افت مقاومت فشاری در سنین مختلف را در بر داشته است. یکی از عوامل مهم در رفتار سرباره‌ها مدول نرمی این ماده است. جایگزینی ۲۰ درصد سرباره با مدول نرمی ۴۵۰۰ گرم در سانتی‌متر مربع، مقاومت فشاری ۲۸ روزه را ۳ درصد نسبت به نمونه‌های بدون سرباره، ارتقا داده است [۲۲]. در تحقیق حاضر به دلیل برابر بودن تقریبی مدول نرمی سرباره مصرفی با سیمان مصرفی، افت مقاومت فشاری مشهود است. البته عامل مهم دیگر در افت مقاومت فشاری در طرح‌های حاوی سرباره، واکنش بسیار کند سرباره و همچنین تولید یون  $Ca^{2+}$  در هنگام برخورد ذرات سرباره با آب است. که مانعی برای ادامه فرایند واکنش سرباره است؛ زیرا یون‌های  $Ca^{2+}$  در



شکل ۶- مقاومت فشاری طرح مخلوط‌های مختلف در سنین ۷، ۲۸، و ۹۱ روز

جدول ۵- تأثیر سن آزمون‌ها و نوع مواد سیمانی و افزودن دوده سیلیسی بر نتایج مقاومت فشاری

شماره طرح	کد طرح مخلوط	اثر سن آزمون <sup>۱</sup> (%)			اثر نوع مواد سیمانی <sup>۲</sup> (%)			اثر افزودن دوده سیلیسی <sup>۳</sup> (%)		
		7-28	7-91	28-91	7 روزه	28 روزه	91 روزه	7 روزه	28 روزه	91 روزه
1	C10	15	67/9	46						
2	C9SF1	90/1	149/7	31/3	-18/2	35/3	21/6	-18/2	35/3	21/6
3	C8SL2	21/4	49/1	22/8	-8/9	-3/9	-19/2			
4	C7SL3	50/5	72/8	14/8	-22/2	1/8	-20			
5	C7SL2SF1	29/6	52/2	17/4	1/2	14/2	-8/2	11/2	18/8	13/6
6	C6SL3SF1	31/1	53/4	17	1	15/2	-7/7	29/8	13/1	15/3

۱- نرخ کسب مقاومت فشاری از سن 7 تا 28 روزه، 7 تا 91 روزه و 28 تا 91 روزه برای طرح مخلوط‌های مختلف (مثال: اثر سن بین 7 تا 28 روزه هر طرح برابر است به مقاومت فشاری 7 روزه / (مقاومت فشاری 7 روزه - مقاومت فشاری 28 روزه))

۲- تغییر در مقاومت فشاری ناشی از تغییر در مواد سیمانی در سنین 7، 28 و 91 روزه برای طرح مخلوط‌های مختلف نسبت به طرح شاهد شماره 1 در سن مورد نظر (مثال: اثر تغییر در مواد سیمانی هر طرح در سن 7 روز برابر است به: مقاومت فشاری 7 روزه طرح شاهد / (مقاومت فشاری 7 روزه طرح شاهد - مقاومت فشاری 7 روزه هر طرح مخلوط طرح))

۳- تغییر در مقاومت فشاری ناشی از افزودن دوده سیلیسی در سنین 7، 28 و 91 روزه برای طرح مخلوط‌های مختلف نسبت به طرح‌های مشابه اما بدون دوده سیلیسی (مثال: اثر افزودن دوده سیلیسی در طرح شماره 5 در سن 7 روز برابر است به: مقاومت فشاری 7 روزه طرح شماره 3 / (مقاومت فشاری 7 روزه طرح شماره 3 - مقاومت فشاری 7 روزه طرح شماره 5))

#### ۴-۲- دوام یخ‌بندان

شده است. امادر طرح‌های C7SL2SF1 و C6SL3SF1.

به‌وضوح مشخص است که افزودن دوده سیلیسی در طرح‌های مخلوط حاوی سرباره، موجب بهبود عملکرد آزمون‌ها در شرایط اعمال سیکل‌های ذوب و انجماد داشته و در واقع خرابی سطح آزمون‌ها کنترل شده است. به‌عنوان نمونه درصد تجمعی ذرات جدا شده از سطح نمونه‌های طرح C7SL2SF1 از سیکل ۵ تا ۱۰ به میزان ۱۶ درصد و از سیکل ۱۰ تا ۱۵ به میزان ۱۴ درصد تغییر داشته است. درحالی‌که طرح C8SL2 در همین تعداد سیکل‌ها، به ترتیب به میزان ۱۷ و ۲۰ درصد خرابی به دنبال داشته است. دلیل این عملکرد را می‌توان کاهش تخلخل در سطح آزمون‌های بتنی سخت شده، با بهره‌گیری از افزودن دوده سیلیسی و در واقع تشکیل ریزساختاری متراکم‌تر و البته مقاوم‌تر نسبت به آزمون‌های ساخته شده از طرح‌های مخلوط بدون دوده سیلیسی دانست.

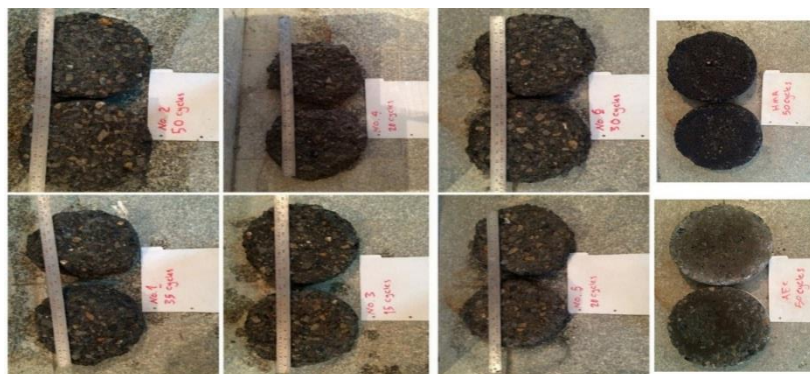
نتایج ارزیابی دوام یخ‌بندان در جدول ۶ آمده است. نتایج حاکی از آن است که وجود سرباره در طرح‌های مخلوط موجب کاهش شدید در کیفیت سطح آزمون‌ها نسبت به طرح شاهد (C10) گردیده درحالی‌که استفاده از دوده سیلیسی دوام آزمون‌ها را نسبت به C10 بهبود بخشیده است؛ به‌طوری‌که طرح مخلوط C9SF1 بهترین عملکرد دوامی را در برابر خرابی تحت اعمال سیکل‌های ذوب و انجماد در حضور نمک‌های یخ‌زدا داشته و حتی پس از ۵۰ سیکل نیز کیفیت متوسطی در سطح آزمون‌های این طرح مخلوط گزارش شده است. اما طرح مخلوط‌های C8SL2 و C7SL3 پس از اعمال حدود ۲۰ سیکل کاملاً دچار خرابی شدیدی شده‌اند. طرح C10 نیز عملکرد دوامی مطلوبی نداشته و پس از اعمال حدود ۲۵ سیکل، خرابی شدیدی در آزمون‌های این طرح مخلوط گزارش

جدول ۶- نتایج بررسی کیفی سطح آزمون‌های دیسکی شکل طی آزمایش ASTM C672

کد نمونه	تعداد سیکل										مجموع وزن ذرات جدا شده از سطح (kg/m <sup>2</sup> )
	وزن تجمعی در هر سیکل (%)										
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	
C10	1	3	3	4	5						12/22
	(%)	16	34	57/27	79/64	100					
C9SF1	1	2	2	2	3	3	3	3	3	3	6/91
	(%)	13/83	29/26	42/44	52/73	66/88	76/85	82/96	91	96/78	100
C8SL2	3	4	4	5							14/59
	(%)	39/22	56/28	77/30	100						
C7SL3	3	4	4	5							16/42
	(%)	41/41	57/78	77/67	100						
C7SL2SF1	2	2	3	3	3	3	3	3	3	4	11/75
	(%)	26/94	42/63	56/62	65/78	75/61	82/99	90/55	95/46	98/49	100
C6SL3SF1	2	2	3	3	3	3	3	3	3	4	12/95
	(%)	24/10	40/91	54/29	64/29	72/98	78/90	87/82	93/83	96/91	100

با توجه به نتایج جدول ۶، کاهش حدود ۶۰ درصدی میزان ذرات جدا شده از سطح در صورت استفاده ۱۰ درصدی از دوده سیلیسی قابل استنتاج است. میزان ذرات جدا شده در صورت استفاده از ۳۰ درصد سرباره نیز حدود ۱۲ درصد بیشتر از طرح حاوی ۲۰ درصد سرباره گزارش شده است اما در صورت استفاده از ۱۰ درصد دوده سیلیسی در طرح‌های C6SL3SF1 و C7SL2SF1، با وجود افزایش ۱۰ درصدی سرباره در طرح C7SL2SF1 نسبت به C6SL3SF1، نتیجه حاکی از تأثیر مثبت دوده سیلیسی در بهبود دوام طرح‌های مخلوط است. با توجه به نتایج مقاومت فشاری، دوام و البته تحقیقات گذشته افزودن دوده سیلیسی موجب بهبود مقاومت فشاری و دوام به‌طور هم‌زمان گردیده است [۱۲]. بهبود مقاومت سطح آزمون‌ها و کاهش نفوذپذیری مهم‌ترین عامل کاهش در افت مقاومت فشاری در سیکل‌های ذوب و انجماد است [۲۴]. در گزارش حاضر همچنین به‌منظور مقایسه فنی از دیدگاه دوام بین بتن غلتکی و مصالح روکش مورد استفاده در روسازی‌های مرکب، آزمون‌هایی از روکش بتن هوادار و روکش آسفالتی نیز پس از ساخت، طبق استاندارد ASTM C672 مورد ارزیابی بوده‌اند. نتایج حاکی از آن است که مصالح روکش نشان داده است.

کیفیت سطح بتن هوادار پس از اعمال ۵۰ سیکل ذوب و انجماد در حضور نمک‌های یخ‌زدا، طبق رده‌بندی دوام، رتبه ۳ را داشته که حاکی از خرابی متوسط بوده. میزان ذرات جدا شده از سطح آن نیز حدود ۳۷ کیلوگرم در مترمربع بوده است. آزمون‌های روکش آسفالتی نیز پس از اعمال ۵ سیکل، دچار یک ترک سطحی گردیده و به تدریج با اعمال سیکل‌های بیشتر، تورم نیز در آزمون‌های آسفالتی دیسکی شکل گزارش شده است؛ اما جدا شدن ذرات از سطح آزمون‌های آسفالتی حتی پس از اعمال ۵۰ سیکل نیز تقریباً رخ نداده است، که این امر به دلیل چسبندگی و انعطاف‌پذیری قیر و البته بافت ریزتر آسفالت نسبت به بتن است. البته لازم به ذکر است بررسی دوام آسفالت معمولاً تحت آزمایش‌هایی از قبیل آزمایش جوشان تگزاس، مدول برجهندگی و حساسیت رطوبتی انجام می‌گیرد اما در این گزارش، بررسی طبق شرایط ASTM C672 روی آزمون‌های آسفالتی، به‌منظور مقایسه عملکرد روکش بتنی و آسفالتی در شرایط یکسان بوده است. شکل ۷ سطح آزمون‌های دیسکی شکل را طی انجام آزمایش ASTM C672 برای طرح مخلوط‌های مختلف و مصالح روکش نشان داده است.

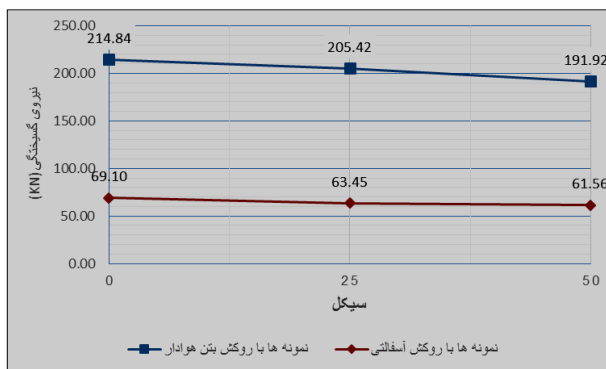


شکل ۷- تغییر در سطح آزمون‌های دیسکی شکل تحت آزمایش ASTM C672





شکل ۸- میزان باربری اتصال آزمون‌های مرکب طی آزمایش برش سطح مورب با روکش بتنی و آسفالتی



شکل ۹- نحوه شکست آزمون‌های مرکب طی آزمایش برش سطح مورب با روکش بتنی و آسفالتی

### ۴-۳-۲- آزمایش کشش غیرمستقیم

مطابقت بین دولایه روسازی و نوع مصالح روکش مقاومت کشش غیرمستقیم را تا دو برابر افزایش می‌دهد و نوع شکست آزمون مرکب می‌تواند با تغییر در نوع مصالح روکش و تغییر در کیفیت سطح بین دو لایه تغییر داد [۲۷]. مشابه با قسمت ۵-۳-۱ آزمون‌های ساخته شده با شرایط اعمالی ذوب و انجماد در حضور نمک‌های یخ‌زدا، مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. اعمال سیکل‌های ذوب و انجماد موجب کاهش ۲۰ درصدی مقاومت کشش غیرمستقیم بین روکش بتنی لایه بتن زیرین می‌گردد [۲۰]. نتیجه حاصل شده، از شکست آزمون‌ها طی این آزمایش در شکل ۱۰ آمده است. با توجه به نتایج حاصل شده، پس از اعمال ۵۰ سیکل ذوب و انجماد در حضور نمک‌های یخ‌زدا، میزان کشش بین لایه‌ها که در واقع همان چسبندگی بین دو لایه است، برای آزمون‌های با روکش آسفالتی حدود ۱۳٪ و برای آزمون‌های با روکش بتن حدود ۹/۸٪ کاهش را نشان داده است؛ که دلیل آن را می‌توان تماس بیشتر

### ۴-۳-۱- آزمایش برش سطح مورب

نتایج حاصل از بارگذاری بر آزمون‌های مرکب، بارگذاری و شکست آزمون‌ها طی این آزمایش به ترتیب در شکل‌های ۸ و ۹ آمده است. نتایج حاکی از آن است که استفاده از بتن هوادار به‌عنوان روکش، اتصالی تا حدود ۶۷ درصد قوی‌تر را نسبت به اتصال روکش آسفالت و بتن لایه زیرین داشته است. نتایج نشان می‌دهد که اتصال بین لایه بتنی و روکشی از جنس بتن، مقاومت پیوستگی بیشتری را به دلیل سازگاری دو لایه در پی دارد [۲۵]. ممیز و همکاران [۲۶] اثر افزودن ۵ درصد دوده سیلیسی در ترکیب روکش را موجب بهبود حدود ۱۶ درصدی اتصال در آزمایش برش سطح مورب دانسته‌اند. لذا سطح لایه زیرین قابلیت واکنش با لایه روکش را دارد. ماهیت مشابه دو لایه بتن غلتکی زیرین و روکش بتن هوادار و اتصال حاصل از رخداد واکنش شیمیایی و تولید ژل سیمانی بین دو سطح بتنی را می‌توان عامل مهمی در این اختلاف باربری بین اتصال روکش بتن هوادار نسبت به روکش آسفالتی، با بتن غلتکی زیرین دانست؛ زیرا اجزای آسفالت و بتن زیرین واکنش شیمیایی با یکدیگر نداشته و اتصال حاصل تنها ناشی از چسبندگی قیر موجود در آسفالت بوده است و واکنشی بین قیر و سطح بتن زیرین انجام نمی‌گیرد. همچنین طبق نتایج حاصل شده، میزان تغییرات در باربری اتصال بین بتن غلتکی و مصالح روکش پس از اعمال سیکل‌های ذوب و انجماد در حضور نمک‌های یخ‌زدا تقریباً برای هر دو نوع روکش بتن هوادار و آسفالتی مشابه بوده است؛ به طوری که باربری اتصال آزمون‌های با روکش بتن هوادار حدود ۱۰/۶۸ درصد و در آزمون‌های با روکش آسفالتی حدود ۱۰/۹۱ درصد افت را پس از ۵۰ سیکل ذوب و انجماد نشان داده است. در مورد شکست آزمون‌های مرکب در این آزمایش، شکست آزمون‌های با روکش آسفالتی از نزدیک محل اتصال و در بخش آسفالت بوده است و پس از شکست آزمون‌ها بخشی از آسفالت به بتن زیرین همچنان چسبیده است. لذا با توجه به عدم واکنش بین بتن و قیر موجود در آسفالت، وجود شیار و مضرس بودن سطح دو آزمون مهم‌ترین عامل اتصال لایه روکش و بتن زیرین بوده است. همچنین شکست آزمون‌ها از ناحیه آسفالت نشان دهنده کیفیت مناسب بتن غلتکی در محل اتصال بوده است.

روزه نمونه‌ها، حدود ۲۰ درصد کاهش مقاومت فشاری را به دنبال داشته است.

۲- جایگزینی ۱۰ درصدی دوده سیلیسی در طرح‌های مخلوط گرچه موجب افت ۱۸ درصدی مقاومت فشاری در سنین اولیه شده اما به دلیل خاصیت پوزولانی دوده سیلیسی و تشکیل تدریجی ژل ثانویه پس از هیدراسیون اولیه سیمان، موجب شده تا بیشترین مقاومت فشاری در سنین بالاتر نمونه‌ها و بهترین عملکرد دوامی را در بین همه طرح‌ها دارا باشد.

۳- تغییرات نتایج مقاومت فشاری و دوام روند مشابهی باهم داشته به طوری که طرح‌هایی که بهترین مقاومت فشاری را داشته‌اند بهترین عملکرد دوامی را نیز از خود نشان داده‌اند. البته بررسی دوام طبق ASTM C672 به دلیل شرایط سخت‌گیرانه در اعمال سیکل‌ها تنها برای مقایسه بین طرح‌های مخلوط توصیه می‌شود و نه برای تخمین کیفیت روسازی‌ها در شرایط واقعی.

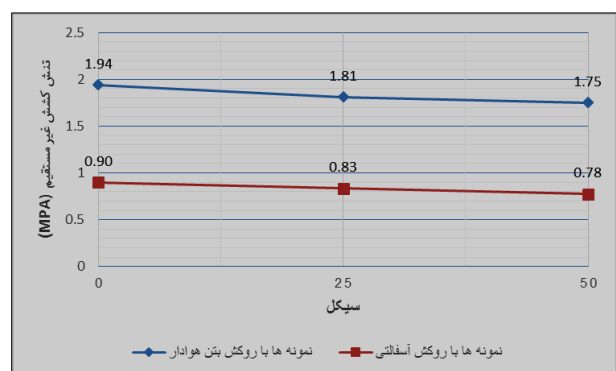
۴- استفاده از روسازی‌های مرکب شامل بتن غلتکی و یک لایه روکش در کنار بهبود کیفیت سطح روسازی، اتصال و عملکرد مناسبی نیز در شرایط اعمال سیکل‌های ذوب و انجماد داشته و حتی پس از ۵۰ سیکل ذوب و انجماد اعمالی نیز به طور میانگین حدود ۱۲ درصد کاهش باربری اتصال رخ داده است.

۵- استفاده از روکش بتن هوادار باربری اتصال در روسازی مرکب را تا ۶۷ درصد نسبت به اتصال با روکش آسفالتی بیشتر نشان داده است البته روند تغییرات در باربری اتصال تحت اعمال سیکل‌های ذوب و انجماد در هر دو نمونه‌های مرکب با روکش بتن هوادار و روکش آسفالتی تقریباً یکسان است.

## ۶- مراجع

- [1]-ACI 207.5R-11, Report on Roller Compacted Mass Concrete, ACI Manual of Concrete Practice USA, p. 71, 2011.
- [2]-Tayabji, S.D., Sherman, T.W., Keifer, O., Nanni, A., Piggott, R.W., Pittman, D., Ragan, S.A. and Scott, J.A., State of The Art Report on Roller Compacted Concrete Pavements (No. ACI325.10R-95), 1995
- [3]-Piggott, R.W., Roller-compacted Concrete Pavements: A Study of Long Term Performance. PCA., 1999.
- [4]-Chang, Ping-Kun, Chao-Lung Hwang, and Yaw-Nan Peng. "Application of high-performance concrete to high-rise building in Taiwan." Advances

آزمونه‌های مرکب مکعبی با ابعاد  $100 \times 100$  میلی‌متر دانست. مضرس بودن سطح به روش‌های مکانیکی در کارهای اجرایی ساده‌ترین راه ایجاد اتصال بهتر دو لایه است. همچنین با تغییر نوع بتن در لایه روکش و امکان ایجاد واکنش شیمیایی بین دو سطح روسازی، تغییر ۵۵ درصدی در میزان باربری اتصال گزارش شده است [۲۸]. اتصال روکش آسفالتی نیز حدود ۵۲ درصد از اتصال روکش بتن هوادار با لایه زیرین ضعیف‌تر است. اما نکته حائز اهمیت شکست نرم‌تر آزمونه‌های با روکش آسفالتی بوده است که پس از اعمال بار، اندکی تغییر شکل در لایه آسفالتی ایجاد شده و سپس گسیختگی رخ داده است که این موضوع می‌تواند یک مزیت برای استفاده از این طرح در روسازی‌ها باشد چراکه با اعمال نیروهای برشی و کششی حرکت وسایل نقلیه بر روسازی‌ها، جداشدگی بین دو لایه با تحمل تغییر شکل، احتمالاً دیرتر رخ می‌دهد، درحالی‌که استفاده از روکش بتن هوادار، شکست نسبتاً تدریجی را به همراه داشته است که این امر در حضور بارهای سیکلی و نیروهای برشی و کششی بزرگ ناشی از تردد وسایل نقلیه سنگین، مشکل‌ساز است. در شکست آزمونه‌های مرکب با روکش آسفالتی نیز همانند آزمایش برش سطح مورب، بخشی از روکش آسفالتی به بتن زیرین پس از شکست چسبیده است که حاکی از عملکرد مهم و مؤثر در مضرس کردن سطح محل اتصال است.



شکل ۱۰- باربری اتصال آزمونه‌های مرکب طی آزمایش کشش غیرمستقیم با روکش بتنی و آسفالتی

## ۵- نتیجه‌گیری

نتایج کلی حاصل از تحقیق حاضر به شرح زیر است:

- ۱- افزودن سرباره جایگزین سیمان افت دوام و مقاومت فشاری در سنین مختلف نسبت به طرح شاهد را نشان داده و حتی در سن ۹۱

- [18]-Liu, Guohua, Wenbin Lu, Yadong Lou, Wenna Pan, and Zhenyu Wang. "Interlayer shear strength of Roller compacted concrete (RCC) with various interlayer treatments." *Construction and Building Materials* 166 (2018): 647-656.
- [19]-Behfarnia, K., Jon-nesari, H. and Mosharaf, A., The bond between repair materials and concrete substrate in marine environment. *Asian Journal of Civil Engineering (Building and Housing)*, 6(4), pp.267-272, 2005.
- [20]-Jang, Seok-Joon, Keitetsu Rokugo, Wan-Shin Park, and Hyun-Do Yun. "Influence of rapid freeze-thaw cycling on the mechanical properties of sustainable strain-hardening cement composite (2SHCC)." *Materials* 7, no. 2 (2014): 1422-1440.
- [21]-Mansi, Aseel S. "Bond Strength Assessment for Different Types of Repair Materials." *Engineering and Technology Journal* 28, no. 21 (2010): 6325-6336.
- [22]-Ghahari, S. A., A. Mohammadi, and A. A. Ramezaniapour. "Performance assessment of natural pozzolan roller compacted concrete pavements." *Case studies in construction materials* 7 (2017): 82-90.
- [23]-Taylor, Harry FW. *Cement chemistry*. Thomas Telford, 1997.
- [24]-Bilodeau, A., and V. M. Malhotra. "Deicing salt scaling resistance of concrete incorporating supplementary cementing materials: CANMET research." *RILEM PROCEEDINGS 30. FREEZE-THAW DURABILITY OF CONCRETE* (1997).
- [25]-Qian, Jueshi, Chao You, Qingzhen Wang, Hongtao Wang, and Xingwen Jia. "A method for assessing bond performance of cement-based repair materials." *Construction and Building Materials* 68 (2014): 307-313. [30]-Momayez, A., M. R. Ehsani, A. A. Ramezaniapour, and H. Rajaie. "Comparison of methods for evaluating bond strength between concrete substrate and repair materials." *Cement and concrete research* 35, no. 4 (2005): 748-757.
- [26]-Momayez, A., M. R. Ehsani, A. A. Ramezaniapour, and H. Rajaie. "Comparison of methods for evaluating bond strength between concrete substrate and repair materials." *Cement and concrete research* 35, no. 4 (2005): 748-757.
- [27]-Gadri, Karima, and Abdelhamid Guettala. "Evaluation of bond strength between sand concrete as new repair material and ordinary concrete substrate (The surface roughness effect)." *Construction and Building Materials* 157 (2017): 1133-1144.
- [28]- Ray, Indrajit, Julio F. Davalos, and Shiwei Luo. "Interface evaluations of overlay- concrete bi-layer composites by a direct shear test method." *Cement and Concrete Composites* 27, no. 3 (2005): 339-347.
- in *Structural Engineering* 4, no. 2 (2001): 65-73.
- [5]- Pittman, D., Factors affecting joint efficiency of roller-compacted concrete pavement joints and cracks. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (1525), pp.10-20, 1996.
- [6]- Ramezaniapour, Ali Akbar, Ahmad Mohammadi, Erfan Riahi Dehkordi, and Qasem Bagheri Chenar. "Mechanical properties and durability of roller compacted concrete pavements in cold regions." *Construction and Building Materials* 146 (2017): 260-266.
- [7]-[راهنمای طراحی و اجرای بتن غلتکی در روسازی راه‌های کشور، نشریه سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، شماره ۳۵۴، ۱۳۸۸.
- [8]-Amer, N., Delatte, N. and Storey, C, Using Giratory Compaction to Investigate Density and Mechanical Properties of RCC, 2003.
- [9]-Portland Cement Association, Frost durability of roller compacted concrete pavements. RD 135, 150., 2004.
- [10]- Modarres, A. and Hosseini, Z., Mechanical properties of roller compacted concrete containing rice husk ash with original and recycled asphalt pavement material. *Materials & Design*, 64, pp.227-236, 2014.
- [11]-Ghafoori, N. and Cai, Y., Laboratory-made roller compacted concretes containing dry bottom ash: Part ii—long-term durability. *Materials Journal*,95(3), pp.244-251, 1998.
- [12]-Nili M, Zaheri M., Deicer salt-scaling resistance of non-air-entrained roller compacted concrete pavements. *Construction and Building Materials*. Apr 30;25(4):1671-6., 2011.
- [13]-Talbot, C., Pigeon, M. and Marchand, J., Influence of fly ash and slag on deicer salt scaling resistance of concrete. In *Fifth CANMET/ACI International Conference on Durability of Concrete* (No. SP-192-39), 2000.
- [14]-S. Remzi, A. Mehmet, G. Rüstem, C. Cafer, Determination of the optimum conditions for de-icing salt scaling resistance of concrete by visual examination and surface scaling, *J. Constr. Build. Mater.* 24 353–360, 2010. [18]-Tilton, John E., and Juan Ignacio Guzmán. *Mineral economics and policy*. Routledge, 2016.
- [15]-Tilton, John E., and Juan Ignacio Guzmán. *Mineral economics and policy*. Routledge, 2016.
- [16]-Aysha, H., Ramsundar, K. R., Arun, M., Velraj Kumar, G., An Overview of Interface Behaviour between Concrete to Concrete. Department of Civil Engineering, Bannari Amman Institute of Technology, Sathy, Tamil Nadu, India, 2014.
- [17]-Morgan, D. R. "Compatibility of concrete repair materials and systems." *Construction and building materials* 10, no. 1 (1996): 57-67.

## **The influence of compound layers on the mechanical properties and frost resistance of roller compacted concrete pavement**

**Shahriar Abdolazade**

**Ph. D. Student, Department of Civil Engineering, Abu-Ali Sina University, Hamedan, Iran**

**Mahmoud Nili \***

**Associate Professor, Department of Civil Engineering, Abu-Ali Sina University, Hamedan, Iran**

### **Abstract**

Nowadays, roller compacted concrete pavement, (RCCP), is becoming popular due to the lower cost of construction, repair, and maintenance compared with those for normal concrete. However, due to the roughness of the RCCP surface, its use in highway roads is limited. In the present paper, the effects of two different compound layers on mechanical and frost resistance of RCCP were investigated. Slag and silica fume as two supplementary cementitious materials were used as a partial replacement for cement in the predetermined mixtures. Hot mix asphalt (HMA) and air-entrained concrete (AEC) were used as compound layer. The mixtures were suffered under freeze-thaw cycles in the present of de-icing salt. The compressive strength and the connection resistance between the compound layers and RCCP after freeze-thaw cycles were evaluated via slant shear and splitting tensile tests. The results indicated that the addition of slag reduced both compressive strength and salt scaling resistance. On the contrary, silica fume improved compressive strength and particularly salt scaling resistance of the specimens. The results also showed that the connection resistance of the specimens was reduced, due to freeze-thaw cycles in the presence of the de-icing agent, about 12% and 10% for HMA and AEC layers, respectively.

**Keywords:** Roller compacted concrete pavement, compressive strength, freeze-thaw cycles, supplementary cementitious material, compound layer.

---

\* Corresponding Author: nili36@yahoo.co.uk