

## بکارگیری افزودنی‌های معدنی و بازیافتی به منظور افزایش مقاومت لغزشی رنگ‌های دوجزئی خط‌کشی

علی سیاهی، دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

امیر کاوسی (نویسنده مسئول)، دانشیار، دانشکده مهندسی عمران و محیط‌زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

امین میرزا بروجردیان، استادیار، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

E-mail: Kavussia@modares.ac.ir

پذیرش: ۱۳۹۵/۰۴/۲۰

دریافت: ۱۳۹۳/۰۳/۰۲

### چکیده

مقاومت لغزشی رنگ‌های خط‌کشی یکی از چالش‌های مهم ایمنی (بویژه ایمنی رانندگان وسایل نقلیه دوچرخ و عابرین) در سطوح معابر است. از میان انواع رنگ‌های خط‌کشی، کاربرد رنگ‌های دوجزئی در تقاطع‌ها و میدان‌ها بسیار گسترده است، بنابراین باید از رنگی استفاده شود که از مقاومت لغزشی قابل قبولی برخوردار باشد. در این پژوهش ارزیابی و بهبود مقاومت لغزشی یکی از رنگ‌های دوجزئی پرمصرف در معابر شهر تهران مورد بررسی قرار گرفته است. برای این کار از افزودنی‌های مختلف استفاده شده و آزمایش‌های تعیین مقاومت اصطکاکی، مقاومت سایشی، مقاومت چسبندگی و قدرت بازتابندگی بر روی نمونه‌ها انجام گرفت. بر پایه نتایج حاصل از آزمون‌ها نتیجه گردید که رنگ‌های خط‌کشی دوجزئی اجرا شده در سطح شهر، از مقاومت لغزندگی کمی برخوردارند. این مشکل می‌تواند با استفاده از مصالحی نظیر خرده شیشه ضایعاتی، دانه‌های سیلیسی و خرده لیکا (رس منبسط شده) برطرف شود. از مقایسه نتایج نمونه‌های حاوی افزودنی‌های مختلف مشخص شد که خرده شیشه ضمن افزایش مقاومت لغزشی رنگ عملکرد بهتری نسبت به دیگر افزودنی‌ها داشته و تأثیرات سوء بر عملکرد رنگ نداشته است. با انجام آزمایش آونگ انگلیسی و تعیین پارامتر ارزش مقاومت لغزندگی (SRV) مشخص شد که با افزودن خرده شیشه به میزان ۱۰٪ وزنی رنگ خط‌کشی، می‌توان اصطکاک سطح رنگ را در شرایط بارانی به اندازه ۲۱ واحد (از ۳۸ به ۵۹) و مقاومت بازتابندگی را به اندازه ۴۰ واحد (از ۲۳۹ به ۲۷۹) افزایش داد به گونه‌ای که در دیگر ویژگی‌های رنگ خط‌کشی تأثیرات منفی چندانی نداشته باشد. مشخص گردید که استفاده از افزودنی‌های یاد شده سبب کاهش مقاومت سایشی رنگ خط‌کشی می‌گردند.

واژه‌های کلیدی: رنگ‌های ترافیکی دو جزئی، مقاومت لغزشی، مقاومت سایشی، مقاومت بازتابندگی، مقاومت چسبندگی

## ۱. مقدمه

مطالعات متعددی در زمینه مقاومت لغزشی رنگ های ترافیکی انجام شده است که از جمله این مطالعات می توان به تحقیقات لودویگ [Ludwig, 1976] اشاره نمود. وی نقش دانه های شیشه ای در مقاومت لغزشی رنگ را مورد ارزیابی قرار داد که در نتیجه گزارش آمده است که دانه های شیشه ای علاوه بر بهبود قدرت بازتابندگی می تواند مقاومت لغزشی را بهبود بخشد. ریچاردز [Richards, 1997] نقش دانه های شیشه ای روپاشی شده بر روی رنگ در مقاومت لغزندگی سطح رنگ را مورد بررسی قرار داد. نتیجه به دست آمده به این صورت بوده که استفاده از دانه های شیشه ای به صورت روپاشی می تواند مقاومت لغزشی را بهبود بخشد (از  $SRV=24$  به  $SRV=40$ ). تیو [Thew, 1997] نقش دانه های شیشه ای پیش مخلوط را مورد ارزیابی قرار داد که به این نتیجه رسید که دانه های شیشه ای پیش مخلوط در رنگ، می تواند مقاومت لغزشی را به اندازه ۹ تا ۱۳ واحد بهبود بخشد. همچنین در زمینه نقش دانه های شیشه در مقاومت لغزشی تحقیقاتی توسط هارلو [Harlow, 2005] صورت گرفت که نتایج به این صورت بوده که دانه های شیشه ای مقاومت لغزندگی را ۱۰ واحد افزایش می دهند. همچنین در این تحقیق آمده است که استفاده از دانه های تیز گوشه (نظیر دانه های کوآرتز و دانه های سیلیسی) می توانند در بهبود مقاومت لغزشی موثر باشند که کاربرد این مواد فقط یک جنبه منفی دارد آن هم کاهش قدرت بازتابندگی رنگ است. در تحقیقات صورت گرفته شده بیشتر خود مقاومت لغزشی مد نظر بوده و اثر افزودنی ها در دیگر ویژگی های رنگ بررسی نشده است. همچنین برای بهبود مقاومت لغزندگی با استفاده از افزودنی ها نظیر ذرات سیلیس و خرده شیشه ضایعاتی تحقیقاتی صورت نگرفته است.

با توجه به گفته های فوق هدف از تحقیق در این مطالعه بررسی اثر افزودنی های مختلف بر ویژگی های رنگ خط کشی (نظیر مقاومت لغزندگی، مقاومت سایشی، مقاومت چسبندگی و مقاومت بازتابندگی) است.

## ۲. مصالح سنگی مورد استفاده

مصالح مورد استفاده در ساخت دال های آسفالتی در این تحقیق از یکی از معادن اطراف شهر تهران تهیه شده است. خصوصیات

بطور کلی رنگ های دوجزئی، مواد مایعی هستند که از دو جزء اصلی رزین و عامل سخت کننده تشکیل شده اند. این رنگ ها از لحاظ ماهیت و نحوه اجرا (بر اساس استاندارد EN 1871: 2000)، به گروه رنگ های سرد تعلق دارند. به دلیل کارایی و عمر مفید طولانی، از رنگ های دوجزئی عمدتاً برای خط کشی جاده های با تردد زیاد استفاده می شود. عمر مفید رنگ های دوجزئی سرد در جاده های با ترافیک قابل توجه، بین ۳ تا ۴ سال گزارش شده است [Carlos, 2004]. مصرف این رنگ ها در کشور ما عمدتاً در خطوط عابر پیاده است.

رزین های دوجزئی مورد مصرف در خط کشی راهها عبارتند از: اپوکسی، پلی استر، پلی اوره، و پلی یورتان. رنگدانه های مورد استفاده در رنگ های دوجزئی مانند دیگر رنگ های سرد ترافیکی است که در هنگام ساخت رنگ در جزء حاوی رزین پخش می شود و وظیفه ایجاد فام رنگی و پیوستگی رنگ را بر عهده دارند. علاوه بر رنگدانه از مواد پرکننده (فیلرها) نیز برای کاهش قیمت و ایجاد خواص فیزیکی و مکانیکی در رنگ استفاده می شود که از جمله این مواد می توان به ترکیبات خنثی معدنی از قبیل کربنات کلسیم و ترکیبات سیلیکا اشاره نمود. رنگ های ترافیکی دوجزئی عمدتاً موادی ۱۰۰ درصد جامد هستند و نیازی به استفاده از حلال یا تینر ندارند [Mirabedini, 2007].

مقاومت لغزشی رنگ های خط کشی دوجزئی یکی از پارامترهای موثر در جلوگیری از تصادفات جاده های برون شهری و معابر درون شهری (به خصوص در ورودی و خروجی تقاطع ها و میدان ها) می باشد. پایین بودن اصطکاک سطح رنگ های خط کشی باعث بروز تصادفات زیادی در مکان هایی که سطح بیشتری از روسازی با رنگ پوشیده شده است (نظیر محل عبور عابرین پیاده) می گردد. از جمله این تصادفات می توان به برخورد خودرو با عابر پیاده و سرخوردن وسایل نقلیه دو چرخ اشاره نمود. با توجه به مشکلات ذکر شده ارزیابی و بهبود اصطکاک سطح رنگ های خط کشی امری ضروری است.

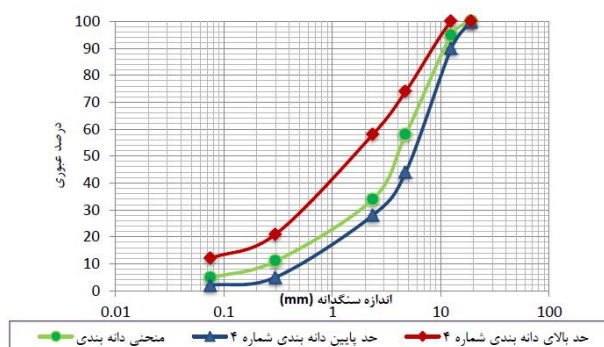
بکارگیری افزودنی‌های معدنی و بازیافتی به منظور افزایش مقاومت لغزشی رنگ‌های دوجزئی خط‌کشی

در این تحقیق در جداول ۱ و ۲ آورده شده است. از آنجا که خط-کشی بر روی قشر رویه آسفالتی اجرا می‌شود، برای تهیه نمونه مخلوط‌های آسفالتی در این تحقیق از دانه‌بندی پیوسته‌ی شماره‌ی ۴ نشریه ۲۳۴ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی، که مناسب اجرا در لایه‌های آستر و رویه روسازی است، استفاده شد که دانه بندی آن در شکل ۱ آمده است.

مربوط به مرغوبیت مصالح سنگی (درشت‌دانه و ریزدانه) شامل ارزش ماسه‌ای، درصد افت وزنی در مقابل سولفات سدیم، درصد افت وزنی در مقابل سایش لس‌آنجلس، درصد شکستگی (یک جبهه و دو جبهه)، دامنه‌ی خمیری و درصد سنگدانه‌های پهن و دراز است. برای کنترل کیفیت مصالح سنگی باید خصوصیات ذکر شده را مورد ارزیابی قرار داد که نتایج آن برای مصالح مورد استفاده

جدول ۱. وزن مخصوص مصالح سنگی مورد استفاده

درصد جذب آب	وزن مخصوص ظاهری ( $\text{g/cm}^3$ )	وزن مخصوص واقعی ( $\text{g/cm}^3$ )	مشخصه
۱/۲	۲/۶۲۸	۲/۴۶۸	مصالح سنگی ملته روی الک شماره ۸
۲/۶	۲/۶۵۰	۲/۴۷۷	مصالح سنگی رد شده از الک شماره ۸ و ملته روی الک شماره ۲۰۰
	۲/۶۲۰		مصالح سنگی رد شده از الک شماره ۲۰۰



شکل ۱. نمودار دانه بندی مصالح مورد استفاده در محدوده نشریه ۲۳۴ (نشریه‌ی شماره‌ی ۲۳۴، ۱۳۹۰)

است. زمان خشک شدن این رنگها در شرایط عادی بین ۱۰ تا ۲۰ دقیقه و ضخامت فیلم خشک رنگ بین ۴۰۰ میکرون تا چند میلی متر می تواند باشد [Hajmohammadi, 2006]

### ۳. رنگ های ترافیکی دو جزئی

رنگ مورد استفاده در این تحقیق رنگ اکریلیک دو جزئی است که جزء نخست آن حاوی رزین اکریلیک (که قبلاً با یک تسریع کننده مخلوط شده است) و ما بقی ترکیبات و جزء دوم شامل پر اکساید

## ۴. مواد افزودنی

در این تحقیق برای کاهش درصد دانه‌های افزوده شده تصمیم به استفاده از دانه‌های تیز گوشته گرفته شد. هم چنین با توجه به توصیه تحقیقات گذشته در خصوص استفاده از دانه‌های تیز گوشه سیلیسی و کوارتزی برای افزایش مقاومت لغزشی، بکارگیری دانه

از آنجا که در تحقیقات گذشته برای بهبود مقاومت لغزشی از دانه‌های گرد شیشه‌ای در درصد‌های بالا استفاده شده است که این درصد بالا دیگر ویژگی‌های رنگ را زیاد تحت تاثیر قرار می‌دهد.

جدول ۲. مشخصات مصالح سنگی مورد استفاده

خصوصیات مصالح درشت‌دانه				
شرح	روش آزمایش	مقلار مجزا آیین نامه		نتایج آزمایش
		حداکثر	حداقل	
سایش به روش لس آنتجلس (درصد)	ASTM C131	۲۵	-	۲۹
افت وزنی ناشی از سولفات سدیم (درصد)	ASTM C88	۸	-	۰/۶۲
درصد شکستگی	ASTMD5821	-	۶۰	۹۱
درصد سنگدانه‌های پهن و دراز	ASTM D4791	۱۵	-	۲۵
خصوصیات مصالح ریزدانه				
شرح	روش آزمایش	مقلار مجزا آیین نامه		نتایج آزمایش
		حداکثر	حداقل	
(درصد) PI دامنه خمیری	ASTM D4318	NP	NP	NP
افت وزنی ناشی از سولفات سدیم (درصد)	ASTM C88	۱۲	-	۱/۱۷
ارزش ماسه‌ای (درصد)	ASTMD2419	-	۵۰	۶۹

## ۵. آزمایشها

پس از ساخت نمونه‌های آسفالتی، رنگ سرد دوجزئی با ضخامت 800 میکرون، بر روی نمونه‌های آسفالتی اجرا شد. برای اجرای رنگ با ضخامت یکسان روی نمونه‌های آزمایشگاهی، از ابزار اعمال لایه رنگ در مقیاس آزمایشگاهی استفاده شد. نحوه کار پخش رنگ به این صورت است که پس از انتخاب ضخامت

های سیلیسی، خرده شیشه‌های ضایعاتی و لیکای خرد شده مدنظر قرار گرفت. برای دانه بندی مواد افزودنی حداکثر اندازه ذرات ۷۵ درصد ضخامت رنگ خط کشی انتخاب گردید. به ذرات خرده شیشه چهار نوع دانه‌بندی مطابق ضخامت‌های رنگ مندرج در جدول ۳ انتخاب شد. در شکل ۲ افزودنی‌های مورد استفاده قبل و بعد از دانه بندی نشان داده شده است.

بکارگیری افزودنی‌های معدنی و بازیافتی به منظور افزایش مقاومت لغزشی رنگ‌های دوجزئی خط‌کشی

اجرای رنگ خط‌کشی بر روی نمونه‌های آسفالتی، نمونه‌ها به مدت ۷۲ ساعت در دمای ۲۵ درجه آزمایشگاه نگهداری شدند تا رنگ کاملاً خشک شود. سپس آزمایشها به شرح زیر روی آنها انجام شد.

موردنظر برای اجرای رنگ سرد دو جزئی، این ابزار بر روی سطح نمونه قرار می‌گیرد. رنگ به میزان مورد نیاز و به طور تقریباً یکنواخت روی سطح ریخته شده و سپس با این وسیله با سرعت یکنواخت و به آرامی روی سطح نمونه کشیده می‌شود تا این که تمامی سطح نمونه به طور یکسان به رنگ آغشته شود. پس از

جدول ۳. دانه بندی های مختلف ذرات خرده شیشه

شماره دانه بندی	درصد مورد استفاده از سایز ذرات خرده شیشه			
	زیر ۰.۲۵٪ ضخامت رنگ	۰.۲۵٪ ضخامت رنگ	۰.۵۰٪ ضخامت رنگ	۰.۷۵٪ ضخامت رنگ
۱	۰	۰	۰	۱۰۰
۲	۰	۰	۵۰	۵۰
۳	۲۵	۲۵	۲۵	۲۵



شکل ۲. شکل مواد افزودنی قبل و بعد از خرد کردن

#### ۵-۲ آزمایش سایش در شرایط مرطوب

آزمایش سایش بر روی نمونه‌های آسفالت رویه (قشرتوپکا) پوشیده شده با رنگ سرد دوجزئی، مطابق با استاندارد ASTM D3910:2005 توسط دستگاه آزمایش سایش (WTAT<sup>1</sup>) در شرایط مرطوب انجام گرفت. طریقه آزمایش طبق استاندارد ذکر شده به این ترتیب است که ابتدا نمونه به مدت ۶۰ الی ۷۵ دقیقه در حمام آب ۲۵ درجه سانتی گراد به صورت مستغرق قرار داده می‌شود. سپس از حمام آب خارج شده و درون دستگاه WTAT

#### ۵-۱ مقاومت لغزندگی

برای ارزیابی مقاومت لغزندگی نمونه‌ها، از دستگاه آونگ انگلیسی استفاده و آزمایش بر حسب استاندارد ASTM E 303: 2007 روی نمونه‌ها انجام شد. برای آزمایش رنگ‌ها از کفشک بزرگ دستگاه که دارای ابعاد  $۷۵/۷۵ * ۲۵/۴ * ۶/۳۵$  میلی متر است، استفاده می‌شود. طول مسیر حرکت لغزنده بر سطح، باید برابر با ۱۲۵ میلی متر باشد. قبل از آزمایش لازم است سطح نمونه‌ها کاملاً تمیز و همراه با کفشک لاستیکی خیس شود.

علی سیاهی، امیر کاوسی، امین میرزا بروجردیان



شکل ۴. تصاویر مرجع استاندارد AS/NZS 4049 بر حسب درصد رنگ باقیمانده

۳-۵ آزمایش بازتابندگی

انجام این آزمایش مطابق با استاندارد EN 1436:2003 و با استفاده از دستگاه سنجنش بازتاب نور صورت می‌گیرد. روش کار با این دستگاه به این صورت است که ابتدا نمونه های خط کشی به ابعاد ۱۰×۵ سانتی متر تهیه شده (شکل ۶-الف) و بعد از گذشت ۷۲ ساعت از اجرای رنگ، نمونه مطابق شکل ۶ زیر دستگاه قرار می‌گیرد، تا قدرت بازتابندگی آن مورد سنجنش قرار بگیرد.



شکل ۵. نمونه‌های سایش یافته و مقایسه شده با تصاویر مرجع

قرار می‌گیرد (طوری که حداقل ۶ میلیمتر آب سطح آن را فرا گرفته باشد). ساینده دستگاه به محور دستگاه متصل شده و شروع به اعمال سایش بر روی نمونه می‌کند. (شکل) سپس نمونه از درون محفظه دستگاه خارج شده و بعد از پاک کردن مصالح زائد مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

برای بررسی مقاومت سایشی در آزمون های آزمایشگاهی و یا در شرایط واقعی جاده می‌توان از مقیاس های تصویری ارایه شده در استاندارد AS/NZS 4049:2007 استفاده نمود. این استاندارد میزان رنگ سالم باقیمانده را روی سطح روسازی به کمک مقایسه تصاویر گرفته شده از ناحیه مورد نظر با عکسهای مرجع (شکل) تعیین می‌کند. شیوه ارزیابی به این صورت است که ابتدا ناحیه مورد نظر شستشو داده شده و سپس توسط برس نرم تمیز و خشک می‌شود. سپس از ناحیه مورد نظر عکس برداری به عمل آمده و این عکسها با تصاویر مرجع استاندارد یاد شده مقایسه شده و درصد رنگ سالم باقیمانده بر سطح روسازی تعیین می‌شود (شکل ۵).



شکل ۳. نحوه اعمال سایش توسط دستگاه WTAT



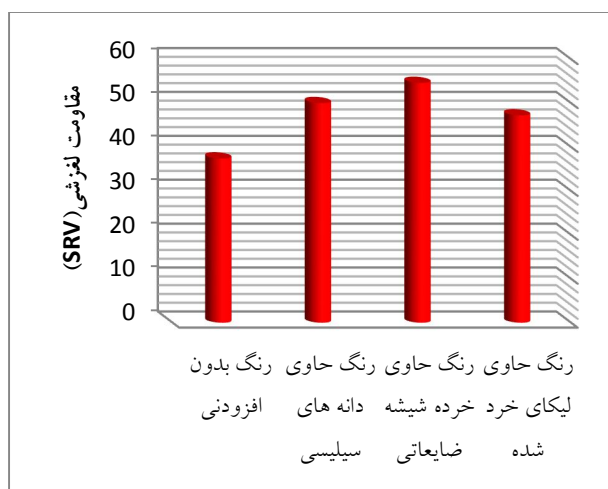
الف: نمونه های تهیه شده برای انجام آزمایش بازتابندگی  
ب: نحوه قرار گیری نمونه در دستگاه سنجنش بازتاب نور

بکارگیری افزودنی‌های معدنی و بازیافتی به منظور افزایش مقاومت لغزشی رنگ‌های دوجزئی خط‌کشی

برای بررسی تاثیرات افزودنی‌های ذکر شده (دانه‌های سیلیسی، خرده شیشه ضایعاتی و لیکای خرد شده) در ویژگیهای رنگ خط از افزودنی‌هایی با دانه بندی شماره ۱ جدول ۴ استفاده شد. برای تهیه رنگ حاوی افزودنی، میزان افزودنی ۵ درصد وزنی رنگ انتخاب و با رنگ مخلوط شدند. رنگ‌های تهیه شده بر روی نمونه های مربوطه اجرا شدند تا بتوان آزمایشهای مربوط را بر روی آنها انجام داد.

#### ۶-۱-۱ نتایج آزمایش اصطکاک

آزمایش اصطکاک با بکارگیری آونگ انگلیسی بر روی رنگ های حاوی افزودنی های مختلف انجام گرفت که نتایج SRV آن در شکل ۸ آورده شده است.



شکل ۸. مقاومت لغزشی رنگ های حاوی افزودنی های

مختلف (میزان افزودنی ۵٪ وزن رنگ)

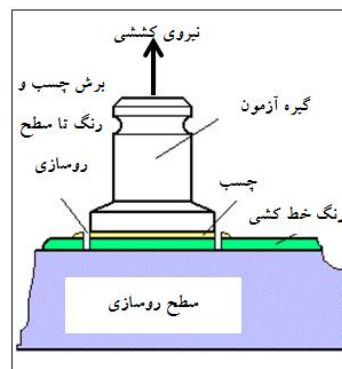
با توجه به نتایج این شکل، افزودن مصالحی نظیر خرده شیشه، دانه‌های سیلیسی و خرده لیکا به رنگ خط کشی مقاومت رنگ خط کشی را به ترتیب ۴۶٪، ۳۳٪ و ۲۶٪ مقاومت لغزشی رنگ خط کشی را بهبود بخشید

#### ۶-۱-۲ نتایج آزمایش سایش

شکل ۶. نحوه ارزیابی قدرت بازتابندگی توسط دستگاه سنجش نور بازتابی

#### ۴-۵ آزمایش تعیین میزان چسبندگی

آزمایش تعیین میزان چسبندگی رنگ خط کشی به سطح روسازی با دستگاه Pull-off و مطابق با استاندارد ۲۰۰۳: ACI 503 انجام می‌گیرد. برای انجام این آزمایش ابتدا بر روی سطوح مورد نظر رنگ را اجراء نموده و نمونه به مدت ۷۲ ساعت در محیط آزمایشگاهی نگه داری می‌شود. سپس سطح نمونه را با پد مخصوص تمیز کرده تا سطح برای چسباندن گیره های آزمون دستگاه آماده شود. حال باید چسب مخصوص را پس از آماده کردن به کف گیره های آزمون مالید و سپس گیره آزمون را بر سطح نمونه چسبانید. زمان انجام آزمایش چسبندگی بعد از گذشت ۲۴ ساعت از چسباندن گیره آزمون است. برای شروع ابتدا با ابزار خراش انداز دور گیره آزمون را بریده تا به سطح روسازی رسیده شود. حال نمونه آماده قرار گیری در دستگاه Pull-off است تا بتوان با آن قدرت چسبندگی رنگ به سطح نمونه را اندازه گیری نمود (شکل ۷).



شکل ۷. نحوه اعمال نیرو توسط دستگاه Pull-off

#### ۶. نتایج آزمایشها

نتایج آزمایشهای انجام شده در این تحقیق به تفکیک نوع آزمایش به شرح موارد زیر است.

۶-۱ اثر افزودنی‌های مختلف در ویژگی‌های رنگ خط‌کشی

## علی سیاهی، امیر کاوسی، امین میرزا بروجردیان

F	میانگین توانهای دوم	درجه آزادی	مجموع توانهای دوم	منبع تغییرات
۳۲	۲۶۶/۶۷	۱	۲۶۶/۶۷	تیمارها
	۸/۳۳	۴	۳۳/۳۳	خطاها

جدول ۶. آماره تحلیل واریانس‌ها برای رنگ حاوی لیکای خرد شده و رنگ بدون افزودنی

F	میانگین توانهای دوم	درجه آزادی	مجموع توانهای دوم	منبع تغییرات
۹۸	۸۱۶/۶۶	۱	۸۱۶/۶۶	تیمارها
	۸/۳۳	۴	۳۳/۳۳	خطاها

جدول ۷. آماره تحلیل واریانس‌ها برای رنگ حاوی خرده شیشه ضایعاتی و رنگ بدون افزودنی

F	میانگین توانهای دوم	درجه آزادی	مجموع توانهای دوم	منبع تغییرات
۱۲/۵۰	۱۰۴/۱۷	۱	۱۰۴/۱۷	تیمارها
	۸/۳۳	۴	۳۳/۳۳	خطاها

مرحله سوم: مقدار بحرانی

برای حساب کردن مقدار بحرانی بازه اطمینان را ۹۹ درصد در نظر گرفته که مقدار بحرانی برای تحلیل های صورت گرفته شده عبارت است از:

این آزمایش به مدت ۵ دقیقه بر روی هر یک از نمونه های رنگ حاوی افزودنی‌ها انجام شد. در حین آزمایش مشاهده گردید که مصالح اضافه شده به رنگ در زمانهای اولیه سایش از رنگ جدا شده و باعث کاهش مقاومت سایشی رنگ خط کشی گردد. از آنجا که مصالح به بخش مایع رنگ مورد نظر اضافه شده بود امکان پیوستگی و چسبندگی خوب رنگ با مصالح اضافه شده وجود نداشت. برای رفع این مشکل افزودنی‌ها در زمان اجرا و پس از اختلاط جزء سخت کننده رنگ، به رنگ اضافه شد. بعد از آماده کردن نمونه‌ها، آزمایش سایش در شرایط مرطوب انجام گرفت که نتایج به دست آمده در جدول ۴ آورده شده است.

جدول ۴: نتایج آزمایش سایش رنگ های حاوی افزودنی های مختلف (درصد رنگ باقیمانده)

میانگین	شماره نمونه			مصالح اضافه شده
(%)	۳	۲	۱	
۹۲	۹۰	۹۰	۹۵	رنگ بدون افزودنی
۷۸	۷۵	۸۰	۸۰	رنگ حاوی مواد سیلیسی
۶۸	۷۰	۶۵	۷۰	رنگ حاوی لیکای خرد شده
۸۴	۸۰	۸۵	۸۵	رنگ حاوی خرده شیشه ضایعاتی

برای اینکه بتوان نتایج ذکر شده در جدول ۴ را مورد ارزیابی قرار داد باید تحلیل واریانس‌ها را انجام داد که این تحلیل در چهار مرحله زیر انجام می‌گیرد:

مرحله اول: فرضها

میانگینها برابر نیستند:  $H_1$  میانگینها برابرند:  $H_0$

مرحله دوم: آماره آزمون

آماره مربوط به تحلیل واریانسها در جداول ۵ تا ۷ برای مصالح مختلف آورده شده است.

جدول ۵. آماره تحلیل واریانس‌ها برای رنگ حاوی مصالح

سیلیسی و رنگ بدون افزودنی



بکارگیری افزودنی‌های معدنی و بازیافتی به منظور افزایش مقاومت لغزشی رنگ‌های دوجزئی خط‌کشی

شکل ۹. نمودار ارزیابی قدرت بازتابندگی رنگ‌های حاوی افزودنی

های مختلف

با توجه به نتایج مندرج در شکل ۹ مشاهده می‌گردد که دانه‌های سیلیسی و لیکای خرد شده در اندازه و ابعاد افزوده شده در این تحقیق قدرت بازتابندگی رنگ خط‌کشی را در حدود ۱۵ درصد کاهش می‌دهند و بالعکس خرده شیشه موجب بهبود قدرت بازتابندگی رنگ تا ۱۲ درصد می‌شود.

با توجه به نتایج مندرج در جدول ۴ و نمایش داده شده در شکل‌های ۸ و ۹ می‌توان نتیجه گرفت که مصالح سیلیسی و لیکای خرد شده مقاومت سایشی و قدرت بازتابندگی را کاهش می‌دهند بنابراین نمی‌توانند به عنوان مواد افزودنی مناسب برای بهبود مقاومت لغزندگی رنگ مورد استفاده قرار گیرند. در مقابل خرده شیشه ضایعاتی علاوه بر بهبود مقاومت لغزندگی، قدرت بازتابندگی را نیز بهبود می‌بخشد.

۶-۲ نتایج رنگ‌های حاوی خرده شیشه با دانه بندی‌های

مختلف

با توجه به نتایج به دست آمده فوق و مشخص شدن مناسب بودن خرده شیشه، تحقیق بیشتر روی کاربرد این ماده صورت گرفت. برای این کار دانه‌بندی‌های دیگر این ماده (مندرجه در جدول ۳) نیز مورد استفاده قرار گرفت و نمونه‌های رنگی حاوی خرده شیشه در اندازه‌های دیگر این جدول تهیه گردید. میزان افزایش افزودنی در این سری نمونه‌ها ۱۰٪ وزنی رنگ بود. نتایج آزمایش‌های این نمونه‌ها به شرح زیر است.

۶-۲-۱ نتایج آزمایش سایش

آزمایش سایش بر روی نمونه‌های رنگی حاوی خرده شیشه به میزان ۱۰٪ وزنی رنگ و در دانه بندی‌های مختلف خرده شیشه انجام شد که نتایج آن در جدول ۸ آورده شده است. جدول ۸ نتایج آزمایش سایش رنگ‌های حاوی ۱۰٪ خرده شیشه با دانه بندی‌های مختلف (درصد رنگ سالم باقیمانده)

$$F_{0.1,1,4}=21/20$$

(۱)

مرحله چهارم: تصمیم‌گیری

بر اساس جداول ۵ و ۶ چون  $F=32$  (برای مصالح سیلیسی) و  $F=98$  (برای لیکای خرد شده) از مقدار بحرانی در سطح معناداری ۹۹ درصد بیشتر است فرض یک (عدم تساوی میانگینها) را نمی‌توان رد نمود و اختلاف در میانگینها شانسی و تصادفی نیست. پس مصالح سیلیسی و لیکای خرد شده (به اندازه ۵٪ وزن رنگ) با اینکه مقاومت لغزندگی را در حدود ۳۵٪ بهبود می‌بخشند، ولی مقاومت سایشی را به ترتیب به اندازه ۱۵٪ و ۲۶٪ کاهش می‌دهند، به همین دلیل نمی‌توانند مصالح مناسبی برای بهبود مقاومت لغزندگی باشند. بر اساس جدول ۷ چون  $F=12/5$  (برای خرده شیشه ضایعاتی) از مقدار بحرانی در سطح معناداری ۹۹ درصد کمتر است، فرض صفر (تساوی میانگینها) را نمی‌توان رد نمود و اختلاف در میانگینها شانسی و تصادفی است. پس اضافه کردن خرده شیشه ضایعاتی (به اندازه ۵٪ وزن رنگ) به رنگ می‌تواند باعث بهبود مقاومت لغزندگی (۳۵٪ بهبود) گردد به گونه‌ای که در مقاومت سایشی رنگ تاثیرات زیادی داشته باشد.

۶-۱-۳ نتایج آزمایش بازتابندگی

نمونه‌های رنگی حاوی افزودنی توسط دستگاه سنجش بازتاب نور مورد آزمایش قرار گرفتند که نتایج حاصله در شکل ۹ آورده شده است.



جدول ۹. نتایج آزمایش سایش رنگ‌های حاوی خرده شیشه با دانه بندی شماره ۳ و درصد‌های وزنی مختلف (درصد رنگ سالم باقیمانده)

میانگین	شماره نمونه			درصد وزنی افزودنی
	۳	۲	۱	
(%)	۳	۲	۱	
۹۲	۹۰	۹۰	۹۵	رنگ بدون افزودنی
۸۸	۸۵	۹۰	۹۰	رنگ حاوی ۵٪ خرده شیشه
۸۴	۸۰	۸۵	۸۵	رنگ حاوی ۱۰٪ خرده شیشه
۷۸	۸۰	۷۵	۸۰	رنگ حاوی ۲۰٪ خرده شیشه

بر اساس تحلیل یاد شده بر روی نتایج جدول ۹ چون  $F=104/20$  (برای دانه بندی شماره ۱) و  $F=49$  (برای دانه بندی شماره ۲) از مقدار بحرانی در سطح معنای ۹۹ درصد ( $F=13/75$ ) بیشتر است فرض یک (عدم تساوی میانگینها) را نمی‌توان رد کرد و اختلاف در میانگینها شانس و تصادفی نیست. بر همین اساس افزودن خرده شیشه به اندازه ۲۰ درصد نمی‌تواند مقاومت چسبندگی رنگ های خط کشی را کنترل نماید. همچنین چون  $F=12/71$  (برای خرده شیشه ۱۰ درصد) و  $F=8/37$  (برای خرده شیشه ۵ درصد) از مقدار بحرانی در سطح معنای ۹۹ درصد ( $F=13/75$ ) کمتر است، فرض صفر (تساوی میانگینها) را نمی‌توان رد کرد و اختلاف در میانگینها شانس و تصادفی است. با توجه به تحلیل صورت گرفته شده می‌توان نتیجه گرفت که رنگ حاوی خرده شیشه با درصد‌های ۵ و ۱۰ مقاومت چسبندگی را به اندازه ۵ درصد کاهش می‌دهد، در حالی که رنگ حاوی خرده شیشه با درصد ۲۰ مقاومت چسبندگی را به اندازه ۱۳ درصد کاهش می‌دهد. بنابراین درصد‌های ۵ و ۱۰ می‌تواند درصد مناسبی باشد.

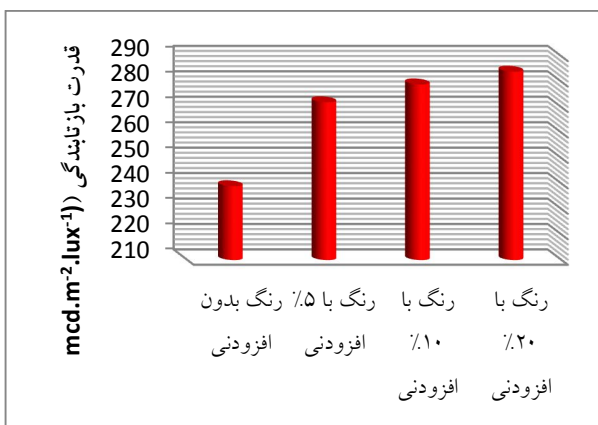
میانگین	شماره نمونه			شماره دانه بندی
	۳	۲	۱	
(%)	۳	۲	۱	
۹۲	۹۰	۹۰	۹۵	رنگ بدون افزودنی
۸۰	۸۰	۷۵	۸۰	رنگ حاوی خرده شیشه با دانه بندی شماره ۱
۸۲	۸۰	۸۰	۸۰	رنگ حاوی خرده شیشه با دانه بندی شماره ۲
۸۴	۸۰	۸۵	۸۵	رنگ حاوی خرده شیشه با دانه بندی شماره ۳

بر اساس تحلیل واریانس نتایج جدول ۸ چون  $F=32$  (برای دانه بندی شماره ۱) و  $F=49$  (برای دانه بندی شماره ۲) از مقدار بحرانی در سطح معنای ۹۹ درصد ( $F=21/20$ ) بیشتر است، فرض یک (عدم تساوی میانگینها) را نمی‌توان رد نمود و اختلاف در میانگینها شانس و تصادفی نیست. پس دانه بندی های شماره ۱ و ۲ برای کنترل مقاومت سایشی نمی‌توانند مناسب باشند. همچنین چون  $F=12/5$  (برای خرده شیشه ضیاعاتی) از مقدار بحرانی در سطح معنای ۹۹ درصد ( $F=21/20$ ) کمتر است فرض صفر (تساوی میانگینها) را نمی‌توان رد نمود و اختلاف در میانگینها شانس و تصادفی است. بر همین اساس دانه بندی مناسب برای کنترل مقاومت سایشی دانه بندی شماره ۳ انتخاب می‌گردد. از آنجا که دانه بندی شماره ۳ مقاومت سایشی را کمتر تحت تاثیر خود قرار می‌دهد، می‌توان از آن برای بهبود مقاومت لغزشی استفاده نمود. حال باید درصد‌های مختلف وزنی از دانه بندی مذکور را در ساخت نمونه‌ها استفاده نمود تا بتوان درصد بهینه به دست آورد. برای این کار، نمونه‌های رنگی در درصد‌های وزنی ۰،۵ و ۱۰ ساخته شدند و آزمایش سایش بر روی آنها انجام گردید. نتایج آزمایش روی این نمونه‌ها در جدول ۹ آورده شده است.

بکارگیری افزودنی‌های معدنی و بازیافتی به منظور افزایش مقاومت لغزشی رنگ‌های دوجزئی خط‌کشی

## ۲-۲-۶ نتایج آزمایش بازتابندگی

رنگ‌های حاوی خرده شیشه با درصد‌های مختلف تحت آزمایش بازتابندگی قرار گرفتند که نتایج آنها در شکل ۱۰ آورده شده است.



شکل ۱۰. نمودار ارزیابی قدرت بازتابندگی رنگ‌های حاوی خرده شیشه در درصد‌های مختلف

با توجه به این شکل درصد‌های وزنی ۵، ۱۰ و ۲۰ توانسته‌اند قدرت بازتابندگی رنگ را به ترتیب به میزان ۱۴٪، ۱۷٪ و ۱۹٪ بهبود بخشند.

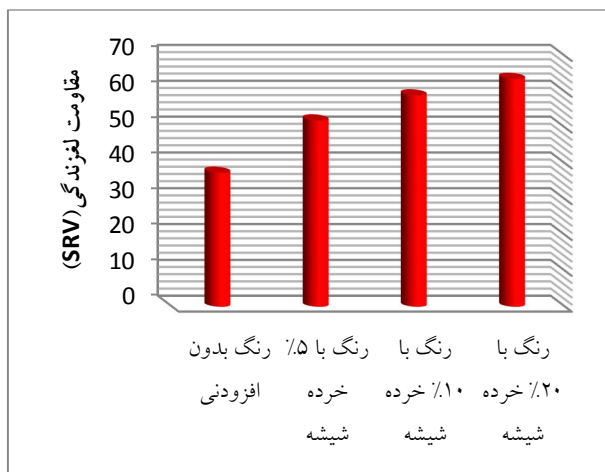
## ۳-۲-۶ نتایج آزمایش چسبندگی

از آنجا که در انجام آزمایش چسبندگی بر روی رنگ اجرا شده در سطح آسفالت، جدا شدگی از بافت خود آسفالت اتفاق می‌افتد، نمی‌توان در مورد چسبندگی رنگ به سطح آسفالت اظهار نظر نمود. به این دلیل و برای اینکه بتوان نتایج دقیقی در آزمایش چسبندگی به روش Pull-off به دست آورد، رنگ‌های حاوی خرده شیشه بر روی سطح یک سنگ نما اجرا شدند تا بتوان آنها را با رنگ شاهد (بدون افزودنی) مقایسه نمود. نمونه‌های مربوطه تحت آزمایش چسبندگی قرار گرفتند که نتایج به دست آمده در شکل ۱۱ آورده شده است.

با توجه به نتایج این شکل درصد‌های وزنی ۵، ۱۰ و ۲۰ مقاومت چسبندگی رنگ را به ترتیب به میزان ۳/۵٪، ۴/۳٪ و ۱۴٪ کاهش داده‌اند که براساس این نتایج می‌توان نتیجه گرفت که درصد‌های ۵ و ۱۰ می‌توانند برای بهبود مقاومت لغزشی رنگ مورد استفاده قرار گیرند و کاربرد بیش از این مقادیر اثرات سوء در خصوص چسبندگی رنگ به سطح روسازی دارد.

## ۴-۲-۶ نتایج آزمایش اصطکاک

آزمایش اصطکاک بر روی رنگ‌های حاوی خرده شیشه با درصد‌های مختلف انجام شد، که نتایج آن در شکل ۱۲ آورده شده است.



شکل ۱۲. نتایج آونگ انگلیسی بر روی رنگ‌های حاوی خرده شیشه در درصد‌های مختلف

با توجه به این شکلمشخص می‌شود که هر چقدر درصد خرده شیشه بیشتر باشد، به موازات آن مقاومت لغزندگی سطح رنگ نیز افزایش می‌یابد. با توجه به تحلیل این بخش می‌توان به این نتیجه رسید که افزودن خرده شیشه به میزان ۵ و ۱۰ درصد وزنی رنگ با دانه بندی شماره ۳ به ترتیب باعث افزایش ۳۹ و ۵۸ درصدی مقاومت لغزندگی سطح رنگ گردید، به گونه‌ای که اثرات سوئی بر دیگر ویژگی‌های رنگ نداشت. اما از آنجا که افزودن خرده شیشه به اندازه ۱۰ درصد وزنی رنگ در مقایسه با ۵ درصد بهبود بهتری

## علی سیاهی، امیر کاوسی، امین میرزا بروجردیان

۳. مصالح لیکای خرد شده و مصالح سیلیسی (به اندازه ۵ درصد وزنی رنگ) نمی توانند موادی مناسب برای افزایش مقاومت سایشی باشند.

۴. مصالح سیلیسی و لیکای خرد شده (به اندازه ۵٪ وزنی رنگ) با اینکه مقاومت لغزندگی را بهبود می بخشد ولی مقاومت سایشی را به ترتیب به اندازه ۱۵٪ و ۲۶٪ کاهش می دهند. به این دلیل شاید نمی توانند مواد مناسبی برای بهبود مقاومت لغزندگی رنگ‌های خط‌کشی باشند.

۵. استفاده از خرده شیشه با دانه بندی شماره ۳ باعث بهبود مقاومت لغزندگی سطح رنگ می‌گردد، به گونه ای که اثرات سوء نیز در دیگر ویژگی های رنگ خط‌کشی دوجزئی نداشت.

۶. برای افزایش و بهبود اصطکاک سطح رنگ خط‌کشی دوجزئی می توان از خرده شیشه های ضایعاتی با دانه بندی شماره ۳ و به مقدار ۱۰٪ وزنی رنگ در زمان اجرا استفاده نمود تا مقاومت لغزندگی افزایش ۵۸ درصدی (۲۶ واحد) از خود نشان دهد.

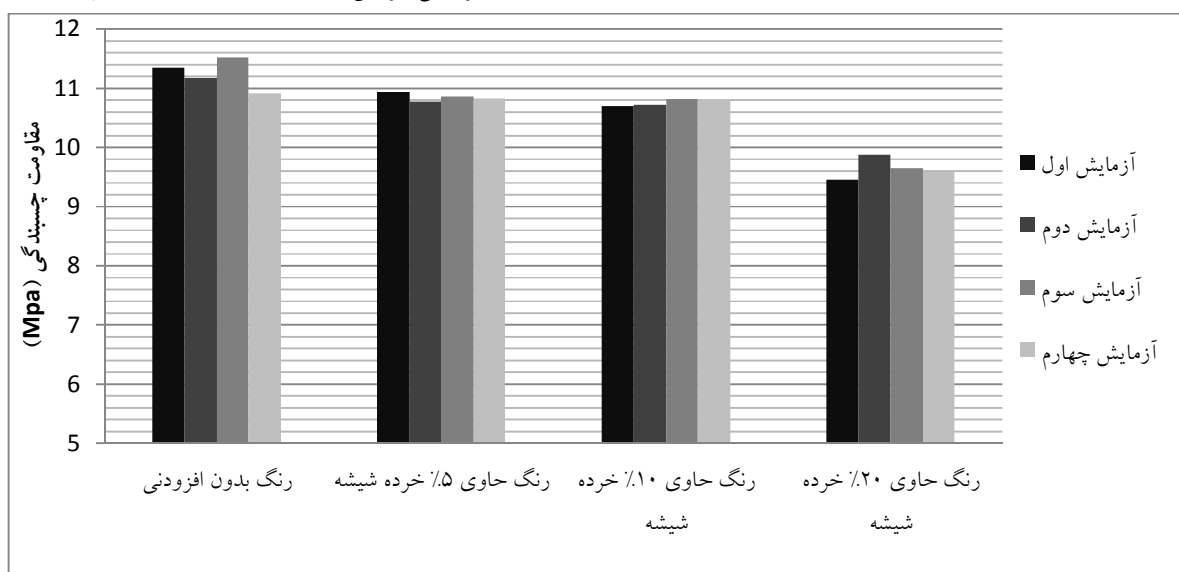
را از خود نشان می‌دهد، بنابراین می توان ۱۰ درصد را به عنوان درصد مناسب افزودنی خرده شیشه به رنگ مورد توصیه قرار داد.

## ۷. جمع بندی و نتیجه گیری

از تحلیل نتایج آزمایشهای آونگ انگلیسی، سایش با دستگاه WTAT، بازتابندگی و قدرت چسبندگی و ارزیابی های به عمل آمده روی یک نمونه رنگ خط‌کشی دوجزئی پرکاربرد در معابر شهر تهران نتایج زیر حاصل شد:

۱. افزودن موادی مانند ذرات سیلیس، خرده شیشه و خرده لیکا (با دانه بندی شماره ۱) به اندازه ۵ درصد وزنی رنگ، باعث افزایش مقاومت لغزشی به ترتیب به میزان ۱۳، ۱۷ و ۱۰ واحد می‌شوند.

۲. افزودن مصالح باید بعد از اختلاط دو جزء رنگ های دوجزئی در زمان اجرا باشد تا چسبندگی مصالح به رنگ بیشتر گردد.



شکل ۱۱. نتایج آزمایش چسبندگی بر روی رنگ های حاوی خرده شیشه در درصدهای مختلف

بکارگیری افزودنی‌های معدنی و بازیافتی به منظور افزایش مقاومت لغزشی رنگ‌های دوجزئی خط‌کشی

- Harlow, A. (2005) "Skid resistance and pavement marking materials", The New Zealand Roadmarkers Federation Inc

۸. پی نوشت

- Ludwig, E. (1976) "Aggregate elements for improving anti-skid and visibility properties of traffic regulating markings on roadway pavements", Patents with Publication number US3958891 A, Available at (<http://www.google.com/patents/US3958891>)

- Richards, D. (1997) "Improving the skid resistance of pavement markings", NZRF/RIAA Conference

-Thew, C and Dabic, T. (1999) "Alkyd v chlorinated rubber v waterbourne roadmarking paints", NZRF/RIAA Conference

- حاج محمدی.ب. و مهاجرانی.م. (۱۳۸۵) "بررسی فنی و اقتصادی رنگها و مصالح مصرفی در خط کشی ها"، اولین سمینار ملی رنگهای ترافیکی، خط کشی و ایمنی و راهها، پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران  
- میر عابدینی م. (۱۳۸۶) "راهنمای طراحی و اجرای خط کشی راهها"، انتشارات پژوهشکده حمل و نقل، وزارت راه و شهر سازی.

## 1. Wet Track Abrasion Tester

۹. مراجع

- Ahmad, I., Najafi, T. F., Benham, L. J., Lancaster, P. and Sadeghinia, M. (2004) "Methods of application and bonding strengths of thermoplastic pavement markings: a comparison between concrete and asphalt roadway surfaces", Departement of Civil and Environmental Engineering, Florida International University, U.S.A

-American Society for Testing and Material, ASTM D3910. (2007) "Standard practices for design, testing and construction of slurry seal", Annual Book of ASTM Standards

- American Society for Testing and Material, ASTM E303. (2007) "Test method for measuring surface frictional properties using the British Pendulum Tester", Annual Book of ASTM Standards

- Australian Standards, AS 4049(2005) "Paints and related materials - Pavement marking materials, Part3: Waterborne paint - For use with surface applied glass beads", Available at ([www.standards.com](http://www.standards.com))

- Carlos, A. and Lopez, P. E. (2004) "Pavement marking handbook", Texas Department of Transportation", Texas, USA, Available at (<http://onlinemanuals.txdot.gov/txdotmanuals/pmh/pmh.pdf>)

- Europion Committee for Standardization, EN 1436. (2003) "Road marking materials-road marking performance for road users", Available at ([www.cen.eu](http://www.cen.eu))

- Europion Committee for Standardization, EN 1871. (2000) "Road marking materials- physical properties" available at ([www.cen.eu](http://www.cen.eu))