ارزیابی عملکرد رنگ‌های خط‌کشی دوجزئی در روسازی‌های مختلف با استفاده از دستگاه Pull-off

علی سیاهی*، دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران و محیط‌زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران
امیر کاووسی، دانشیار، دانشکده مهندسی عمران و محیط‌زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران
امین‌میرزا بروجردیان، استادیار، دانشکده مهندسی عمران و محیط‌زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

E-mail: A_siyahi@yahoo.com
دریافت: ۱۳۹۳/۰۹/۰۸ – پذیرش: ۱۳۹۴/۱۰/۱۳

چکیده

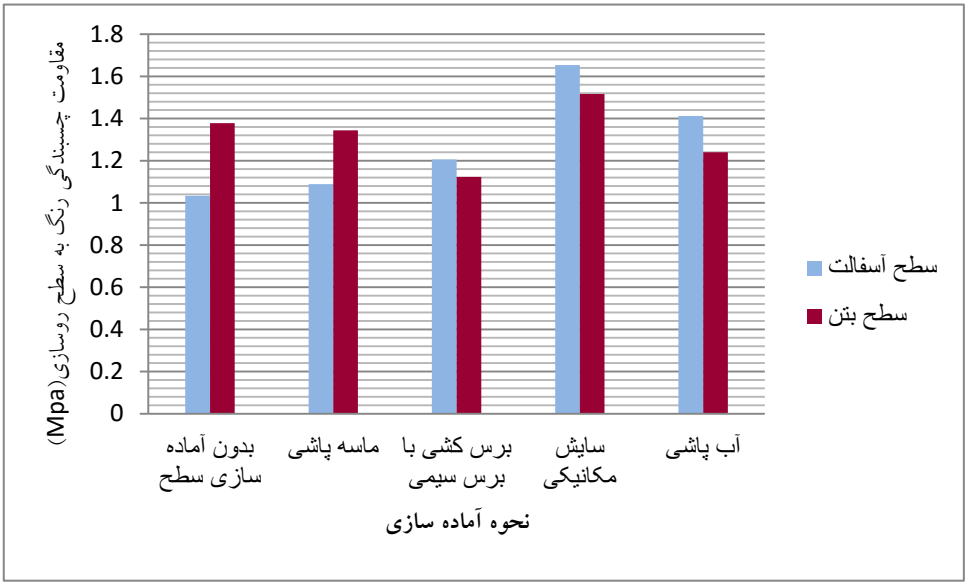
عملکرد رنگ‌های خط‌کشی یکی از پارامترهای مهم در ارزیابی آنها می‌باشد. عملکرد رنگ‌های خط‌کشی به عوامل متعددی وابسته می‌باشد که از مهمترین آنها می‌توان به نوع روسازی، نوع آماده‌سازی و نوع رنگ مصرفی اشاره نمود. در این پژوهش، عملکرد یکی از رنگ‌های دوجزئی پُرمصرف در معابر شهر تهران مورد بررسی قرار گرفته است. برای این کار، از دستگاه تست چسبندگی استفاده شده است. در این پژوهش، اهدافی چون: بهترین زمان اجرای رنگ خط‌کشی دوجزئی روی آسفالت تازه اجرا شده، نقش جنس مصالح آسفالت در اندرکنش رنگ با سطح روسازی، اصلاح پرایمر مورد استفاده در سطح آسفالت و بررسی نقش پرایمر در اندرکنش رنگ خط‌کشی دوجزئی با سطوح روسازی مختلف مد نظر بوده است. بر پایه نتایج حاصل از آزمون‌ها مشخص گردید که ماندگاری رنگ خط‌کشی دوجزئی در روسازی‌های آهکی بیشتر از روسازی‌های سیلیسی می‌باشد. همچنین، بهترین زمان اجرای رنگ خط‌کشی دوجزئی، ۱۵ روز بعد از اجرای آسفالت تعیین شد. در ارزیابی‌ها، همچنین مشخص گردید که اجرای یک لایه پرایمر در روسازی‌های بتنی و سطح رنگ قبلی سبب افزایش مقاومت چسبندگی رنگ‌های خط‌کشی دوجزئی به سطوح یاد شده می‌گردد (در حدود ۱۰٪). بالعکس، اجرای پرایمر در روسازی آسفالتی تمیز و عاری از گرد و غبار سبب کاهش مقاومت چسبندگی رنگ خط‌کشی دوجزئی می‌گردد (در حدود ۳۵٪).

واژه‌های کلیدی: رنگ‌های ترافیکی دوجزئی، روسازی آسفالتی، روسازی بتنی، پرایمر، مقاومت چسبندگی.

۱. مقدمه

عدم چسبندگی رنگ‌های خط‌کشی به سطح روسازی یکی از مشکلات عمده در صنعت خط‌کشی می‌باشد. دوام رنگ‌های خط‌کشی بستگی کامل به عواملی چون نوع روسازی، نوع رنگ مورد استفاده، کیفیت سطح روسازی، شرایط آب و هوایی منطقه، آماده‌سازی سطح

رویه، حجم ترافیک، فعالیت‌های برف‌روب‌ها و سازگاری مواد در خط‌کشی‌های مجدد دارد (صحرائی و طهماسبی‌پور، ۱۳۹۲). تحقیقات زیادی در این راستا انجام شده که می‌توان به مطالعات ایرتشاد و همکاران (۲۰۰٤) اشاره نمود. آنان تأثیر آماده‌سازی سطوح قبل از اجرای رنگ را مورد بررسی قرار دادند. برای این کار از چهار نوع آماده‌سازی سطح استفاده نمودند که عبارتند از: شن‌پاشی[1]، برس‌کشی با برس سیمی[2]، سایش مکانیکی[3] و آب‌پاشی[4]. نتایج آزمایش Pull-off این بررسی‌ها در شکل ۱ آورده شده است.



شکل ۱. تأثیر آماده‌سازی سطح بر قدرت چسبندگی رنگ به سطوح مختلف (ایرتشاد و همکاران، ۲۰۰۴)

1- Sand blasting
2- Wire brushing
3- Grinding
4- Hydroblasting

با توجه به شکل ۱، در روسازی بتنی، آماده‌سازی سطوح به روش سایش مکانیکی باعث بهبود مقاومت چسبندگی شده و دیگر آماده‌سازی‌ها بهبودی در چسبندگی رنگ به سطح بتنی نداشته‌اند. در روسازی آسفالتی، آماده‌سازی سطوح به روش‌های سایش مکانیکی، آب‌پاشی و برس‌کشی با برس سیمی به ترتیب بهترین نتایج را می‌دهند.

همچنین، تحقیقاتی توسط گیتز و همکاران (۲۰۰۳) در تگزاس در زمینه چسبندگی رنگ خط‌کشی به سطح روسازی‌های مختلف انجام شده است. در گزارش این تحقیقات آمده که استفاده از یک لایه آستر اپوکسی، قبل از اجرای رنگ، باعث بهبود چسبندگی می‌گردد، که این بهبود در روسازی‌های بتنی بیشتر خودش را نشان می‌دهد.

در این راستا، مطالعاتی نیز در دانشگاه تربیت مدرس تهران توسط انصاری (۱۳۸۸) صورت گرفته است. هدف، بررسی اندرکنش رنگ‌های گرم خط‌کشی با مصالح سنگی با جنس‌های متفاوت بوده است. در نتیجه این گزارش آمده که نمونه‌های ساخته شده با مصالح معادن غرب تهران چسبندگی بهتری با آسفالت داشته و علت اصلی جداشدگی رنگ از سطح آسفالت، چسبندگی ضعیف قیر به سنگدانه بوده که باعث شده سنگدانه از سطح آسفالت جدا شده و به همراه آن رنگ نیز جدا شود. اما در نمونه‌های ساخته شده با مصالح معادن شرق تهران چسبندگی قیر به سنگدانه‌ها بهتر بوده و عمدتاً خود رنگ از سطح آسفالت جدا شده است. بر این اساس، می‌توان گفت که ماندگاری رنگ در مصالح معادن غرب بیشتر از مصالح معادن شرق می‌باشد.

از میان انواع رنگ‌های خط‌کشی، کاربرد رنگ-های دوجزئی در تقاطع‌ها و میدان‌ها بسیار گسترده است. به همین دلیل، بررسی پارامترهای رنگ یاد شده امری ضروری می‌باشد که در این تحقیق عملکرد رنگ-های خط‌کشی دوجزئی در حالت‌های مختلف مورد ارزیابی قرار گرفته است. برای ارزیابی یاد شده، از آزمایش تعیین میزان چسبندگی رنگ خط‌کشی به سطح روسازی با دستگاه Pull-off و مطابق با استاندارد ACI 503: 2003 استفاده شده که در ادامه آورده شده است.

۲. مصالح سنگی و آسفالت رویه

آسفالت رویه، آخرین قشر بتن آسفالتی است که در تماس مستقیم با بارهای وارده از ترافیک و عوامل جوی محیط قرار می‌گیرد. آسفالت رویه به گونه‌ای طراحی و اجرا می‌گردد که تحمل بارهای وارده را داشته و در مقابل اثرهای سوء آب، یخبندان و تغییرات دما، مقاومت داشته و دوام آورد. قشر رویه نسبت به قشرهای آستر و اساس قیری، دارای دانه‌بندی ریزتری بوده و سنگدانه های آن سطح مخصوص بیشتری دارند؛ در نتیجه، قیر آنها بیشتر از دو لایه دیگر می‌باشد. حداکثر اندازه سنگدانه‌ها در این قشر بین ۹/۵ تا ۱۹ میلی‌متر می‌باشد که با توجه به بافت سطحی مورد نیاز، نوع ترافیک و شرایط آب و هوایی، انتخاب می‌شود (سازمان مدیریت، ۱۳۹۰) . مصالح سنگی از سه قسمت درشت‌دانه (مصالح مانده روی الک شماره ۸)، ریزدانه (مصالح عبور کرده از الک شماره ۸ و مانده روی الک شماره ۲۰۰) و فیلر(عبور کرده از الک شماره ۲۰۰) تشکیل شده است. خصوصیات 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 می‌باشد. برای کنترل کیفیت مصالح سنگی باید خصوصیات ذکر شده را مورد ارزیابی قرار داد که نتایج آن برای مصالح مورد استفاده در این تحقیق در جداول ۱ و ۲ آورده شده است. این مصالح از جنس سیلیس و آهک بوده که مصالح سیلیسی از معادن شرق تهران و مصالح آهکی از معادن

اطراف یزد تهیه شده است. از آنجا که خط‌کشی روی قشر رویه آسفالتی اجرا می‌شود، برای تهیه نمونه مخلوط‌های آسفالتی در این تحقیق از دانه‌بندی پیوسته-ی شماره‌ی ٤ نشریه ٢٣٤ سازمان مدیریت و برنامه-ریزی (١٣٩٠)، که مناسب اجرا در لایه‌های آستر و رویه روسازی می‌باشد، استفاده شد (جدول ٣). قیر مورد استفاده، قیر ٧٠-٦٠ پالایشگاه اصفهان می‌باشد.

جدول ١. وزن مخصوص مصالح سنگی مورد استفاده

شرح	روش آزمایش	مصالح شرق تهران	مصالح یزد
خصوصیات مصالح درشت‌دانه			
وزن مخصوص واقعی (g/cm^3)	ASTM C127	٢/۴۶٨	٢/۶۴٨
وزن مخصوص ظاهری (g/cm^3)	ASTM C127	٢/۶٢٨	٢/۶٩١
درصد جذب آب	ASTM C127	١/٢٠	٠/۶
خصوصیات مصالح ریزدانه			
وزن مخصوص واقعی (g/cm^3)	ASTM C128	٢/۴٧٧	٢/۶٣٣
وزن مخصوص ظاهری (g/cm^3)	ASTM C128	٢/۶۵٠	٢/٧١٧
درصد جذب آب	ASTM C128	٢/۶٠	١/٢
خصوصیات فیلر			
وزن مخصوص ظاهری (g/cm^3)	ASTM C188	٢/۶٢٠	٢/٧١٢

جدول ٢. مشخصات مصالح سنگی مورد استفاده

شرح	روش آزمایش	مقدار مجاز آیین‌نامه		مصالح سنگی	
		حداکثر	حداقل	شرق تهران	یزد
خصوصیات مصالح درشت‌دانه					
سایش به روش لس آنجلس (درصد)	ASTM C131	٢۵	-	٢٩	٢٠
افت وزنی ناشی از سولفات سدیم (درصد)	ASTM C88	٨	-	٠/۶٢	٨
درصد شکستگی	ASTM D5821	-	۶٠	٩١	١٠٠
درصد سنگدانه‌های پهن و دراز	ASTM D4791	١۵	-	٢۵	٩
خصوصیات مصالح ریزدانه					
دامنه خمیری PI (درصد)	ASTM D4318	NP*	NP	NP	NP
افت وزنی ناشی از سولفات سدیم (درصد)	ASTM C88	١٢	-	١/١٧	٠/٧
ارزش ماسه‌ای (درصد)	ASTM D2419	-	۵٠	۶٩	٧٠

*NP= خاک غیر پلاستیک

جدول ٣. دانه‌بندی مصالح مورد استفاده (سازمان مدیریت، ١٣٩٠)

اندازه الک	١٩ میلی‌متر	١٢/۵ میلی‌متر	شماره ٤	شماره ٨	شماره ۵٠	شماره ٢٠٠
محدوده درصد عبوری مجاز	١٠٠	٩٠-١٠٠	٤٤-٧٤	٢٨-۵٨	۵-٢١	٢-١٠
درصد وزنی عبوری از هر الک	١٠٠	٩۵	۵٩	٤٣/۵	١١/۵	٦

۳. رنگ‌های ترافیکی دوجزئی

به‌طور کلی، رنگ‌های دوجزئی مواد مایعی هستند که از دو جزء اصلی رزین و عامل سخت‌کننده تشکیل شده‌اند. این رنگ‌ها از لحاظ ماهیت و نحوه اجرا (براساس استاندارد EN 1871:2000)، به گروه رنگ‌های سرد تعلق دارند. به دلیل کارایی و عمر مفید طولانی، از رنگ‌های دوجزئی عمدتاً برای خطکشی جاده‌های با تردد زیاد استفاده می‌شود. عمر مفید رنگ‌های دوجزئی سرد در جاده‌های با ترافیک قابل توجه، بین ۳ تا ۴ سال گزارش شده است (لوپز، ۲۰۰۴). مصرف این رنگ‌ها در ایران عمدتاً در خطوط عابر پیاده می‌باشد.

رزین‌های دوجزئی مورد مصرف در خطکشی راه‌ها عبارتند از: اپوکسی، پلی‌استر، پلی‌اوره و پلی‌یورتان. رنگدانه‌های مورد استفاده در رنگ‌های دوجزئی مانند دیگر رنگ‌های سرد ترافیکی می‌باشد که در هنگام ساخت رنگ در جزء حاوی رزین پخش می‌شوند و وظیفه ایجاد فام رنگی و پیوستگی رنگ را بر عهده دارند. علاوه بر رنگدانه، از مواد پُرکننده (فیلرها) نیز برای کاهش قیمت و ایجاد خواص فیزیکی و مکانیکی در رنگ استفاده می‌شود که از جمله این مواد می‌توان به ترکیبات خنثی معدنی از قبیل کربنات کلسیم و ترکیبات سیلیکا اشاره نمود. رنگ‌های ترافیکی دوجزئی عمدتاً موادی ۱۰۰٪ جامد هستند و نیازی به استفاده از حلال یا تینر ندارند (میرعابدینی، ۱۳۸۶). رنگ مورد استفاده در این تحقیق، رنگ اکریلیک دوجزئی می‌باشد که جزء نخست آن حاوی رزین اکریلیک (که قبلاً با یک تسریع کننده مخلوط شده است) و بقیه ترکیبات و جزء دوم شامل پراُکساید می‌باشد. زمان خشک شدن این رنگ‌ها در شرایط عادی بین ۱۰ تا ۲۰ دقیقه و ضخامت فیلم خشک رنگ می‌تواند بین ۴۰۰ میکرون تا چند میلی‌متر باشد.

۳-۱. مشخصات رنگ خطکشی دوجزئی بر اساس آزمایش XRF

رنگ خطکشی دوجزئی مورد استفاده در این تحقیق از کارخانه شرکت عرف ایران تهیه شده است. مشخصات این رنگ با استفاده از روش XRF تعیین گردید. روش XRFیا طیف‌سنجی فلورسانس اشعه X، روشی کمّی و کیفی برای تجزیه عنصری عناصر مجهول در سنگ‌های معدنی فلزها، آلیاژها و مانند آن می‌باشد. اساس کار دستگاه بدین صورت است که هرگاه الکترون‌های دارای انرژی کافی به ماده برخورد کنند، پرتو X با طیف پیوسته‌ای از انرژی و طول موج‌ها تولید می‌شود. پرتو X می‌تواند حاصل بمباران ماده مورد سنجش(توسط جریان پرتو X اولیه که خودش حاصل بمباران الکترونی است) باشد. پرتو X ثانویه را فلورسانس می‌نامند. در این روش، برای تشخیص و اندازه‌گیری میزان تمرکز عناصر موجود در نمونه‌ها (تعیین درصد عناصر) ابتدا نمونه سازی با اجرای رنگ مورد نظر روی یک سطح پلاستیکی انجام می‌گیرد. پس از آن، نمونه را به شکل دایره‌ای به قطر ۲/۵ تا ۳/۷۵ سانتی‌متر بریده تا بتوان در محفظه دستگاه قرار داد. پس از قرار گرفتن نمونه در محفظه، با تابش اشعه X در طی فرایند خاصی به نمونه‌ها، تغییرات انجام شده به عنوان XRF ثبت می‌شود. نتیجه تحلیل برای عناصر اصلی به صورت اکسید و بر حسب درصد و برای عناصر فرعی به صورت عنصری گزارش می‌شود که نتایج برای رنگ خطکشی مورد استفاده در تحقیق در جدول ۴ آورده شده است.

جدول ٤. نتایج XRF برای رنگ دوجزئی

نام عنصر	Na_2O	MgO	Al_2O_3	SiO_2	P_2O_5	SO_3	LOT
(درصد)	۰/۳۲۷	۰/۸۸۴	۰/۲۸۱	۰/۴۰۴	۰/۰۳۴	۱/۶۹۷	۵۹/۳
نام عنصر	Cl	CaO	TiO_2	Zn	Sr	Zr	Ba
(درصد)	۱/۲۷	۲۹/۳۶۶	۴/۲۳۳	۰/۶۷۸	۰/۰۱۵	۰/۰۱۴	۰/۴۹۵

۳-۲. پرایمر

پرایمر یک نوع رزین می‌باشد که برای افزایش چسبندگی رنگ‌های ترافیکی به سطح روسازی استفاده می‌شود. بعد از آماده‌سازی سطح مورد نظر، ابتدا یک لایه نازک از پرایمر را بر سطح اسپری نموده و سپس رنگ مورد نظر اجرا می‌شود. با بررسی‌های صورت گرفته در آزمایشگاه مشخص گردید که پرایمر خود حلالی مناسب برای قیر می‌باشد که قیر را در خود حل کرده و قیر ویژگی‌های خود را از دست داده و در رنگ مصرفی نفوذ کرده و باعث کاهش راندمان رنگ می‌گردد. برای جلوگیری از این مشکل باید پرایمر مورد استفاده اصلاح گردد. برای اینکار از فیلر مصالح سنگی استفاده گردید که به پرایمر مصرفی، درصدی فیلر اضافه گردید تا مانع نفوذ قیر به رنگ گردد.

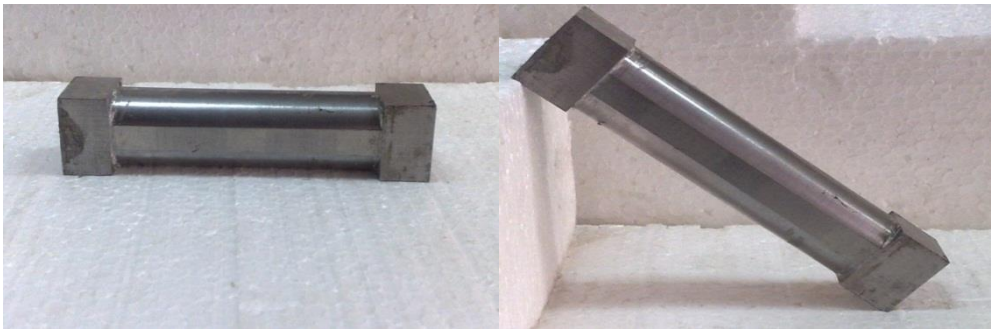
۳-۳. آزمایش‌ها

پس از ساخت نمونه‌های آسفالتی به ابعاد ۳×۳۰×۳۰ سانتی‌متر به تعداد ۲۵ عدد، رنگ سرد دوجزئی با ضخامت ۸۰۰ میکرون، روی نمونه‌های آسفالتی اجرا شد (شکل ۲). برای اجرای رنگ با ضخامت یکسان روی نمونه‌های آزمایشگاهی، از ابزار اعمال لایه رنگ در مقیاس آزمایشگاهی استفاده شد (شکل ۳). نحوه کار پخش رنگ به این صورت است که پس از انتخاب ضخامت مورد نظر برای اجرای رنگ سرد دوجزئی، این ابزار 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 اجرای رنگ خط‌کشی 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.

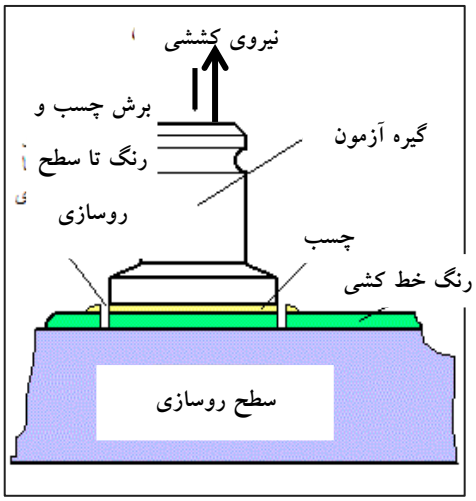
۳-۴. آزمایش تعیین میزان چسبندگی

برای انجام این آزمایش، ابتدا روی سطوح مورد نظر رنگ را اجرا نموده و نمونه به مدت ۷۲ ساعت در محیط آزمایشگاه نگه‌داری می‌شود. سپس، سطح نمونه را با پَد مخصوص تمیز کرده تا سطح برای چسبانیدن گیره آزمون دستگاه آماده شود. حال باید چسب مخصوص را پس از آماده کردن به کف گیره آزمون مالیده و سپس گیره را بر سطح نمونه چسبانید. زمان انجام آزمایش چسبندگی بعد از گذشت ۲۴ ساعت از چسبانیدن گیره آزمون می‌باشد. برای شروع، ابتدا با ابزار خراش‌انداز، دور گیره آزمون را بریده تا به سطح روسازی رسید. حال، نمونه آماده قرارگیری در دستگاه Pull-off می‌باشد تا بتوان با آن قدرت چسبندگی رنگ به سطح نمونه را اندازه‌گیری نمود (شکل ۴).

شکل ۲. قالب و غلتک تراکم



شکل ۱. ابزار اعمال لایه رنگ در ضخامت‌های مورد نظر



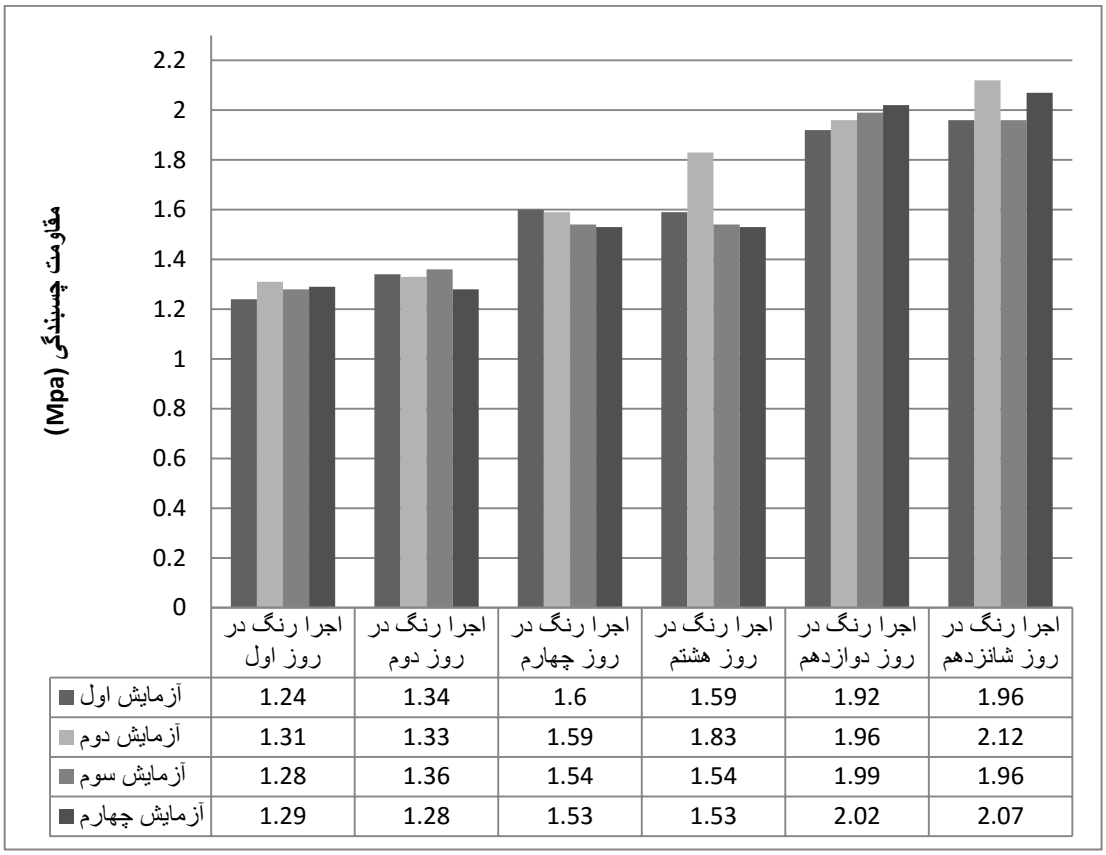
شکل ٤. نحوه‌ی اعمال نیرو توسط دستگاه Pull-off

۴. نتایج و بحث

هدف از انجام این آزمایش، مواردی چون بررسی نقش پرایمر در مقاومت چسبندگی رنگ به سطح روسازی، به‌دست آوردن بهترین زمان اجرای رنگ دوجزئی روی سطح آسفالت تازه اجرا شده، بررسی نقش مصالح سنگی در اندرکنش رنگ دوجزئی با آسفالت و بررسی مشکل قیر زدگی در موقع استفاده از پرایمر و ارائه راه-حل می‌باشد.

۴-۱. بهترین زمان خط‌کشی روی آسفالت تازه اجرا شده

برای به‌دست آوردن بهترین زمان خط‌کشی روی آسفالت تازه اجرا شده، نمونه‌های آسفالتی ساخته شده را در محیط آزمایشگاه نگه داشته و در روزهای معین (۱، ۲، ۴، ۸، ۱۲ و ۱۶روز بعد از ساخت) رنگ را روی آن‌ها اجرا کرده تا بتوان تأثیر مواد فرار بر چسبندگی رنگ به سطح آسفالت را مورد ارزیابی قرار داد. برای اینکار، از دستگاه Pull-off استفاده شد که برای هر روز مشخص چهار بار آزمایش تکرار گردیده است (آزمایش اول تا چهارم) که نتایج به‌دست آمده در شکل ۵ آورده شده است.

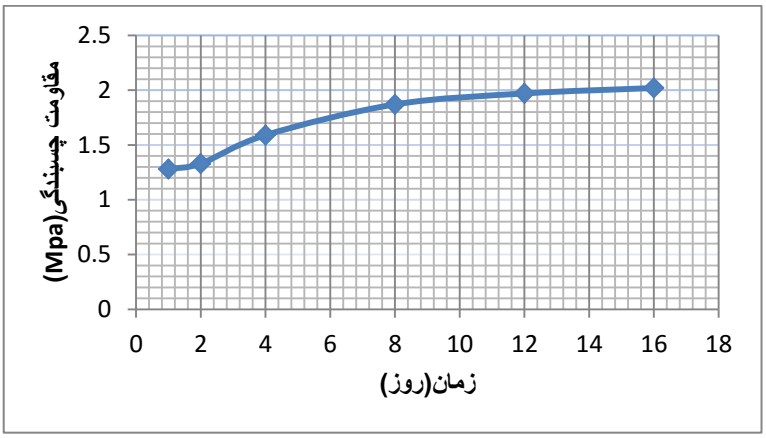


	اجرا رنگ در روز اول	اجرا رنگ در روز دوم	اجرا رنگ در روز چهارم	اجرا رنگ در روز هشتم	اجرا رنگ در روز دوازدهم	اجرا رنگ در روز شانزدهم
آزمایش اول	1.24	1.34	1.6	1.59	1.92	1.96
آزمایش دوم	1.31	1.33	1.59	1.83	1.96	2.12
آزمایش سوم	1.28	1.36	1.54	1.54	1.99	1.96
آزمایش چهارم	1.29	1.28	1.53	1.53	2.02	2.07

شکل ۵. نتایج Pull-off در روزهای مختلف

در این آزمایش، به دلیل اینکه جداشدگی از خود آسفالت می‌باشد (شکل ۶) نمی‌توان در مورد چسبندگی رنگ به آسفالت بحث نمود. از آنجا که در صورت اجرای رنگ در روزهای اولیه پس از اجرای آسفالت، مواد فرار در زیر رنگ محبوس شده و ممکن است موجب کاهش مقاومت سطحی نمونه شوند، باید چند روز از اجرای آسفالت بگذرد تا بتوان رنگ را اجرا نمود. برای به‌دست آوردن بهترین زمان اجرای رنگ می‌توان از شکل ۷ استفاده نمود.

شکل ٦. جداشدگی گیره آزمون از بافت آسفالت در بررسی اندرکنش رنگ و آسفالت

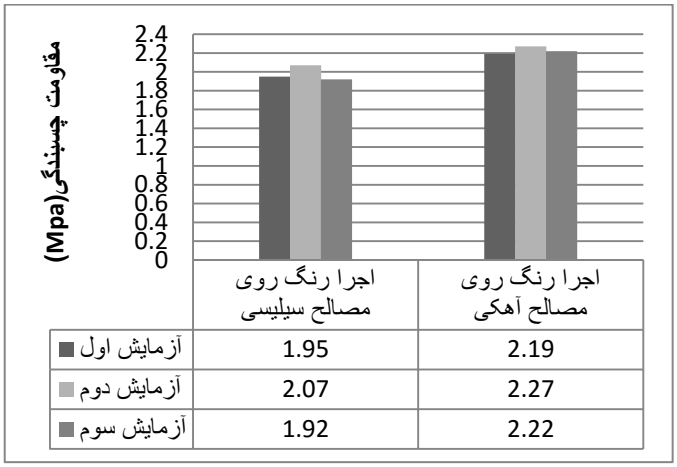


شکل ۷. تأثیر مواد فرار آسفالت تازه اجرا شده بر اندرکنش رنگ با سطح آسفالت

با توجه به شکل ۷، بهترین زمان خط‌کشی رنگ-های دوجزئی روی آسفالت تازه اجرا شده، حداقل ۱۲روز بعد از اجرای آسفالت است که برای ایجاد فاصله اطمینان بهترین روز، ۱۵روز بعد از اجرای آسفالت می‌باشد.

۶-۲. تأثیر نوع سنگدانه در اندرکنش بین رنگ خط‌کشی و سطح آسفالت

هدف از انجام این آزمایش، بررسی اندرکنش رنگ‌های خط‌کشی دوجزئی با سطح آسفالت ساخته شده از سنگدانه‌های مختلف می‌باشد. در این آزمایش، از دو نوع سنگدانه مختلف (آهکی و سیلیسی) برای ساخت نمونه‌های آسفالتی استفاده شده است. بعد از ساخت نمونه‌های آسفالتی و گذشت مدت زمان مقرر (بهترین زمان اجرای رنگ = ۱۵روز بعد ساخت آسفالت)، رنگ دوجزئی روی نمونه‌ها اجرا شده و بعد از سه روز، نمونه‌ها توسط دستگاه Pull-off مورد آزمایش قرار گرفت که نتایج آن در شکل ۸ آورده شده است.



شکل ۸. نتایج آزمایش Pull-off رنگ‌های اجرا شده روی مصالح مختلف

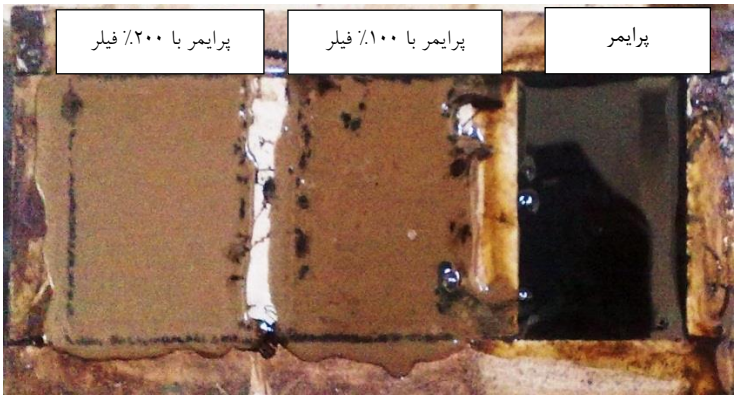
از آنجا که جداشدگی در بافت آسفالت رخ می‌دهد پس نمی‌توان روی چسبندگی رنگ وآسفالت اظهار نظر نمود. ولی از آنجا که چسبندگی قیر به مصالح آهکی نسبت به مصالح سیلیسی بیشتر است (انصاری، ۱۳۸۸) می‌توان اختلاف مقاومت به دست آمده در آزمایش Pull-off را با تکیه بر این مورد توجیه نمود. بنابراین، ماندگاری رنگ در روسازی‌هایی که از مصالح آهکی ساخته شده‌اند بیشتر از مصالح سیلیسی می‌باشد.

۶-۳. بررسی مشکل قیرزدگی در شرایط استفاده از پرایمر

در خط‌کشی معابری که دچار قیرزدگی شده‌اند و یا در محل درزگیری قرار گرفته‌اند مشکل نفوذ قیر روی سطح به درون لایه خط‌کشی، تغییر رنگ و کاهش راندمان خط‌کشی مشاهده می‌گردد. همان‌طور که گفته شد، پرایمر حلال قیر می‌باشد که نفوذ قیر به رنگ خط‌کشی را آسان می‌کند. برای جلوگیری از این مشکل باید پرایمر مورد استفاده اصلاح گردد (جدول ۵). برای این کار از فیلر مصالح آهکی در دو میزان ۱۰۰٪ و ۲۰۰٪ وزنی پرایمر استفاده شد. برای اینکه بتوان عملکرد پرایمر اصلاحی را کنترل و بررسی نمود، در سه قالب به ابعاد ۱/۵×۵×۷ سانتی‌متر قیر ریخته شد و سپس روی آنها پرایمر و پرایمرهای اصلاح شده اجرا گردید. پس از گذشت ۲۰ روز، مورد بازدید قرار گرفت که پرایمر-های اصلاح شده تا حدودی توانسته از نفوذ قیر به سطح بالایی جلوگیری نمایند (شکل ۹). بنابراین، با اضافه کردن فیلر می‌توان از نفوذ قیر به سطح بالایی جلوگیری کرد.

جدول ۵. مشخصات فنی پرایمر مورد استفاده

نوع پرایمر	رزین بر پایه استرهای اسید اکریلیک و متااکریلیک (REEFACRYL, AC-200)
درصد جامد	۳۰-۳۵
ویسکوزیته	۹-۱۲ ثانیه (دما ۲۵ درجه سانتی‌گراد)
درصد غیر فرار	۹۹
دانسیته	۰/۹۱-۰/۹۸ گرم بر سانتی‌متر مکعب



شکل ۹. بررسی عملکرد پرایمرهای اصلاح شده (حاوی درصدهای مختلف فیلر آهکی)

باید بررسی نمود که اضافه کردن فیلر به پرایمر در نقش اصلی پرایمر (چسبندگی) چه تأثیراتی داشته است. برای این کار، در یک سطح سنگی (سنگ نما) که پرایمر در ویژگی‌های آن تأثیر نمی‌گذارد، پرایمر و پرایمرهای اصلاح شده اجرا شد و پس از گیرش با دستگاه تست چسبندگی مورد آزمایش قرار گرفت. نتایج به‌دست آمده در شکل ۱۰ آورده شده است. با توجه به این شکل، افزودن ۲۰۰٪ فیلر به پرایمر باعث کاهش ۲۷ درصدی در مقاومت چسبندگی پرایمر می‌گردد. در مقابل، افزودن ۱۰۰٪ فیلر به پرایمر باعث کاهش ۶ درصدی در مقاومت چسبندگی پرایمر می‌گردد. پس استفاده از پرایمر اصلاح شده با ۱۰۰٪ فیلر باعث جلوگیری از پدیده قیرزدگی می‌شود، به گونه‌ای که در مقاومت چسبندگی تأثیر قابل ملاحظه‌ای نداشته باشد.

۶-۴. تأثیر پرایمر بر چسبندگی رنگ دوجزئی

در این بخش، هدف بررسی تأثیر پرایمر بر چسبندگی رنگ دوجزئی در سطوح مختلف (سطح بتنی، سطح آسفالت تازه اجرا شده، سطح آسفالت قدیمی و سطح رنگ قدیمی) می‌باشد.

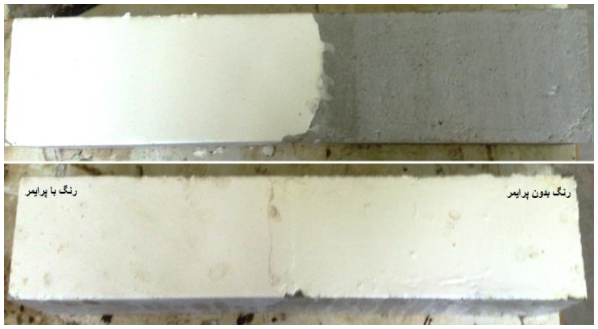
الف: سطح بتنی

برای اینکار، ابتدا سطح یک تیر بتنی را با یک برس سیمی خراش داده و کاملاً تمیز نموده تا آماده اجرای رنگ باشد (شکل ۱۱). حال، به نصف سطح نمونه، پرایمر اسپری نموده و سپس رنگ روی آن اجرا گردید (شکل ۱۲). بعد از گذشت سه روز، نمونه با دستگاه تست چسبندگی مورد آزمایش قرار داده شد که نتایج آزمایش در شکل ۱۳ آورده شده است.

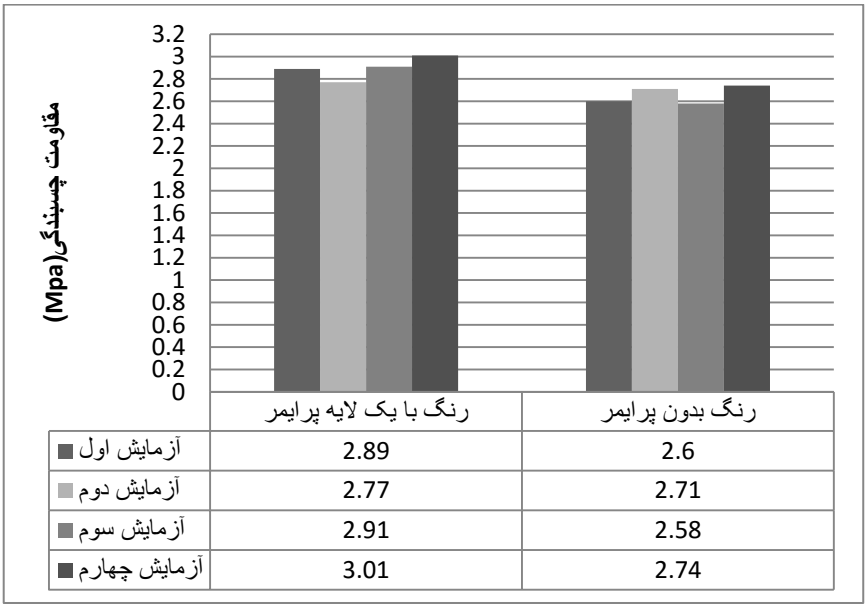
	پرایمر	پرایمر با 100% فیلر	پرایمر با 200 % فیلر
آزمایش اول	3.37	3.24	2.59
آزمایش دوم	3.56	3.28	2.63
آزمایش سوم	3.42	3.13	2.37

شکل ۱۰. نتایج آزمایش Pull-off پرایمرهای اصلاح شده با فیلر آهکی

شکل ۱۱. تیر بتنی مورد استفاده



شکل ۱۲. نحوه‌ی اجرای رنگ بر سطوح بتنی



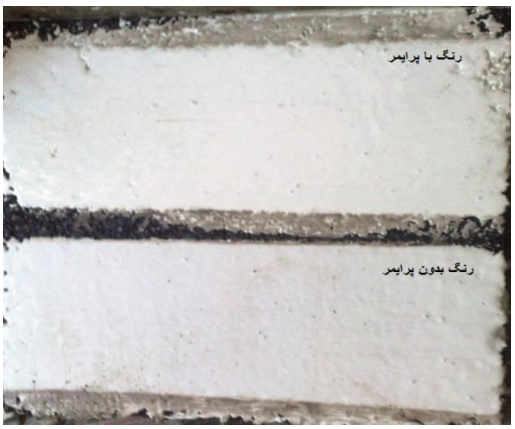
	رنگ با یک لایه پرایمر	رنگ بدون پرایمر
آزمایش اول	2.89	2.6
آزمایش دوم	2.77	2.71
آزمایش سوم	2.91	2.58
آزمایش چهارم	3.01	2.74

شکل ۱۳. نتایج آزمایش Pull-off رنگ اجرا شده روی سطح بتنی

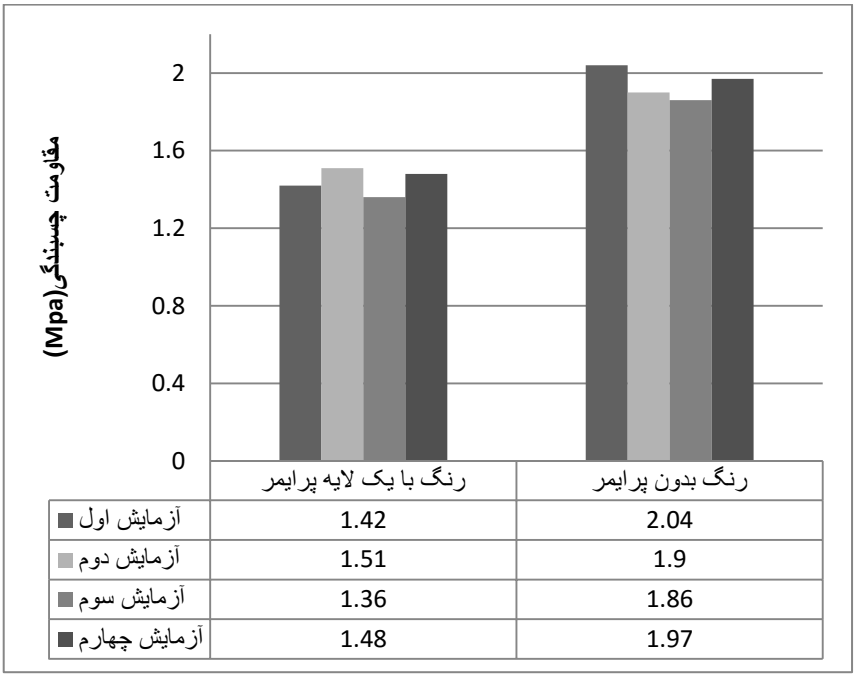
با توجه به نتایج این شکل، اجرای یک لایه پرایمر در روسازی‌های بتنی می‌تواند باعث افزایش ۱۰ درصدی مقاومت چسبندگی رنگ دوجزئی به سطح روسازی گردد.

ب: سطح آسفالت تازه اجرا شده

برای اینکار، در آزمایشگاه، یک دال آسفالتی ساخته و بعد از گذشت ۱۵ روز، نصف سطح را با پرایمر اسپری کرده و رنگ اجرا شد (شکل ۱۴). بعد از گذشت سه روز، تست چسبندگی انجام گرفت که نتایج آن در شکل ۱۵ آورده شده است. با توجه به نتایج این شکل، چنانچه فقط نتایج آزمایش Pull-off مد نظر باشد و به این آزمایش اکتفا شود، می‌توان نتیجه گرفت که اجرای یک لایه پرایمر در رویه‌های آسفالتی تازه اجرا شده می‌تواند باعث کاهش ۲۵ درصدی مقاومت چسبندگی رنگ دوجزئی به سطح روسازی گردد.



شکل ١٤. رنگ اجرا شده روی نمونه آسفالتی تازه ساخته شده



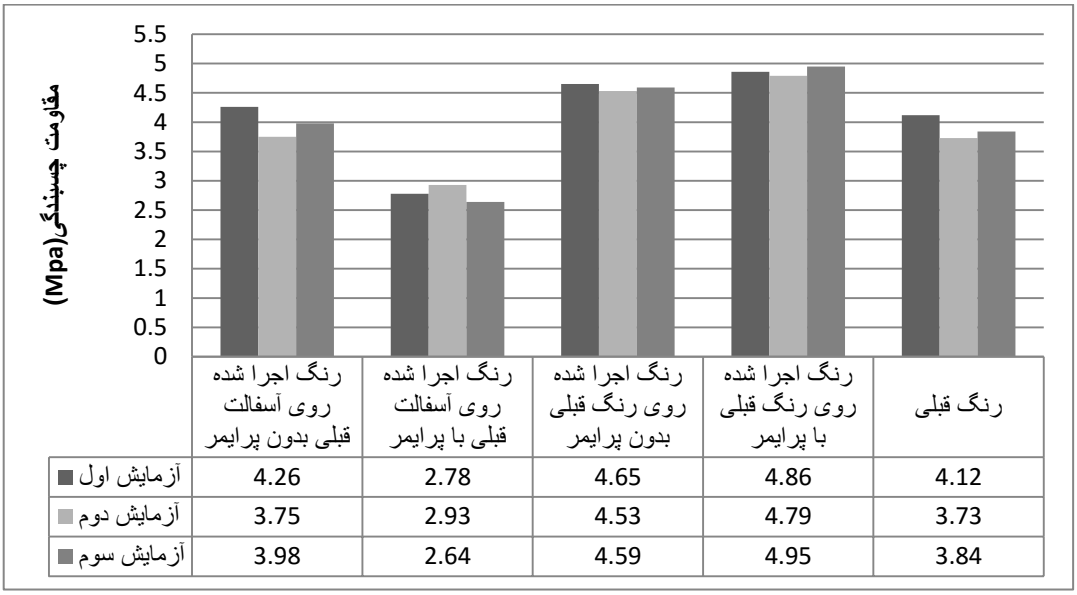
	رنگ با یک لایه پرایمر	رنگ بدون پرایمر
آزمایش اول	1.42	2.04
آزمایش دوم	1.51	1.9
آزمایش سوم	1.36	1.86
آزمایش چهارم	1.48	1.97

شکل ۱۵. نتایج آزمایش Pull-off رنگ اجرا شده روی سطح آسفالتی تازه اجرا شده

پ: سطح آسفالت قدیمی و سطح رنگ قدیمی

در شکل ۱۶، رنگ اجرا شده در سطح خیابان نشان داده شده است. بعد از گذشت سه روز، روی نمونه رنگی اجرا شده، تست چسبندگی انجام شد که نتایج آن در شکل ۱۷ آورده شده است.

شکل ۱۶. رنگ اجرا شده در محیط دانشگاه تربیت مدرس



	رنگ اجرا شده روی آسفالت قبلی بدون پرایمر	رنگ اجرا شده روی آسفالت قبلی با پرایمر	رنگ اجرا شده روی رنگ قبلی بدون پرایمر	رنگ اجرا شده روی رنگ قبلی با پرایمر	رنگ قبلی
آزمایش اول	4.26	2.78	4.65	4.86	4.12
آزمایش دوم	3.75	2.93	4.53	4.79	3.73
آزمایش سوم	3.98	2.64	4.59	4.95	3.84

شکل ۱۷. نتایج آزمایش Pull-off رنگ اجرا شده روی سطح آسفالت و رنگ قدیمی

با توجه به نتایج شکل ۱۷، اجرای یک لایه پرایمر در رویه‌های آسفالتی دارای سطح تمیز می‌تواند باعث کاهش ۳۰ درصدی مقاومت چسبندگی رنگ دوجزئی به سطح روسازی گردد و در مقابل، اجرای لایه پرایمر روی رنگ قبلی می‌تواند مقاومت چسبندگی را ۶٪ افزایش دهد.

در جمع‌بندی تحلیل‌های صورت گرفته (شکل ۱۸)، نتایج زیر به‌دست می‌آید:

– از آنجا که پرایمر خود می‌تواند نوعی حلال برای قیر محسوب شود، اگر در سطوح آسفالتی که سطح تمیزی دارند استفاده گردد باعث می‌شود که بافت سطحی آسفالت ضعیف شده و زمینه را برای سست شدن بافت آسفالت، خوردگی آسفالت و ایجاد چاله‌های اطراف رنگ آماده نماید. پس، استفاده از پرایمر وقتی مناسب است که سطح روسازی دارای گرد و غبار باشد.

– در سطوح بتنی و روی رنگ‌های قبلی، استفاده از پرایمر باعث افزایش مقاومت چسبندگی رنگ می‌گردد.

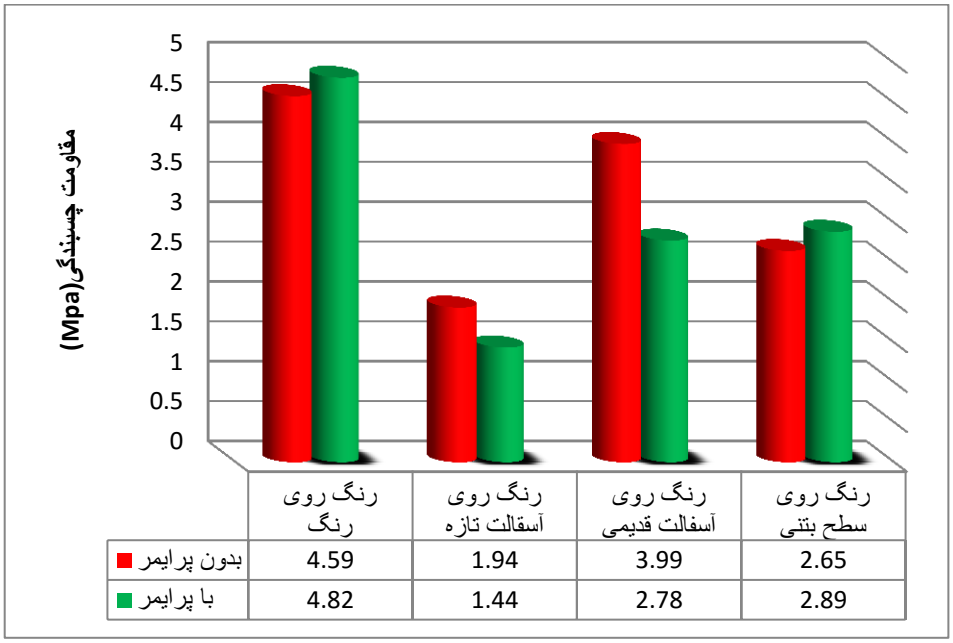
۷. نتیجه‌گیری

از تحلیل نتایج آزمایش‌های انجام شده و ارزیابی‌های به عمل آمده روی نمونه‌های رنگ خطکشی دوجزئی، نتایج زیر حاصل شد:

۱– بهترین زمان خطکشی رنگ‌های دوجزئی روی آسفالت تازه اجرا شده، حداقل ۱۲ روز بعد از اجرای آسفالت می‌باشد که برای ایجاد فاصله اطمینان بهترین روز، ۱۵ روز بعد از اجرای آسفالت در نظر گرفته شود.

۲– مقاومت ماندگاری رنگ در روسازی‌هایی که از مصالح آهکی ساخته شده‌اند بیشتر از مصالح سیلیسی می‌باشد.

۳– پرایمر، خود حلالی مناسب برای قیر می‌باشد که قیر را در خود حل کرده و قیر ویژگی‌های خود را از دست داده، در رنگ خطکشی نفوذ می‌کند و باعث کاهش راندمان رنگ می‌گردد.



	رنگ روی رنگ	رنگ روی آسفالت تازه	رنگ روی آسفالت قدیمی	رنگ روی سطح بتنی
بدون پرایمر	4.59	1.94	3.99	2.65
با پرایمر	4.82	1.44	2.78	2.89

شکل ۱۸. تأثیر پرایمر بر مقاومت چسبندگی در سطوح مختلف

۴- افزودن فیلر به پرایمر مانع از نفوذ قیر به سطح رنگ خط‌کشی دوجزئی می‌شود؛ ولی در مقابل، باعث کاهش مقاومت چسبندگی پرایمر می‌گردد.

۵- اجرای یک لایه پرایمر در روسازی‌های بتنی می‌تواند باعث افزایش مقاومت چسبندگی رنگ دوجزئی به سطح روسازی گردد.

۶- اجرای یک لایه پرایمر در رویه‌های آسفالتی تازه اجرا شده می‌تواند باعث کاهش مقاومت چسبندگی رنگ دوجزئی به سطح روسازی گردد.

۷- اجرای یک لایه پرایمر در رویه‌های آسفالتی قدیمی که سطح تمیزی دارند می‌تواند باعث کاهش مقاومت چسبندگی رنگ دوجزئی به سطح روسازی گردد.

۸- اجرای یک لایه پرایمر روی رنگ قبلی می‌تواند مقاومت چسبندگی رنگ جدید به رنگ قبلی را افزایش دهد.

۹- ماندگاری رنگ‌های دوجزئی در سطح روسازی آسفالتی به مراتب بیشتر از روسازی بتنی می‌باشد.

۸. مراجع

انصاری، د. ۱۳۸۸. "بررسی اندرکنش رنگ‌های گرم خط‌کشی با مصالح سنگی با جنس‌های متفاوت". پایان‌نامه کارشناسی ارشد، گروه راه و ترابری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.

صحرائی، ا. و طهماسبی‌پور، ر. ۱۳۹۲. "عوامل مهم در کیفیت و دوام خط‌کشی راه‌ها". مجموعه مقالات سومین همایش ملی رنگ‌های ترافیکی، خط‌کشی و ایمنی راه‌ها، پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران.

میر عابدینی، م. ۱۳۸٦. "راهنمای طراحی و اجرای خط‌کشی راه‌ها". انتشارات پژوهشکده حمل و نقل.

سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور. ۱۳۹۰. "آئین‌نامه روسازی آسفالت راه‌های ایران". دفتر امور فنی و تدوین معیارها، نشریه‌ی شماره ۲۳۴.

ACI 503.6R-97. 2003. "Guide for the Application of Epoxy and Latex Adhesives for Bonding Freshly Mixed and Hardened Concretes". American Concrete Institute.

Lopez, C. A. 2004. "Pavement Marking Handbook". Texas Department of Transportation, Texas, USA, Available at (http://onlinemanuals.txdot.gov/txdotmanuals/pmh/pmh.pdf), Last visit (2014/11/06).

Gates, T. J., Hawkins, H. G. and Rose, E. R. 2003. "Effective Pavement Marking Materials and Applications for Portland Cement Concrete Roadways". Texas Transportation Institute, Project No. 0-4150, Report No. FHWA/TX-03/4150-2.

Irtshad, A., 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.