بکارگیری افزودنی‌های معدنی و بازیافتی به‌منظور افزایش مقاومت لغزشی رنگ‌های دوجزئی خط‌کشی

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

امیر کاووسی (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

دریافت: ۱۳۹۳/۰۳/۰۲ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۴/۲۰

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 رنگ های دوجزئی پرمصرف در معابر شهر تهران مورد بررسی قرار گرفته است. برای این کار از افزودنی های 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 رنگ های خط کشی 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 نمونه های حاوی افزودنی‌های مختلف مشخص شد که خرده شیشه ضمن افزایش مقاومت لغزشی رنگ عملکرد بهتری نسبت به دیگر افزودنی‌ها داشته و تاثیرات 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 خط کشی، می توان 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 گونه ای که در دیگر ویژگی های رنگ خط کشی تاثیرات منفی چندانی نداشته باشد. مشخص گردید که استفاده از افزودنی‌های یاد شده سبب کاهش مقاومت سایشی رنگ خط‌کشی می‌گردند.

واژه های کلیدی: رنگ های ترافیکی دو جزئی، مقاومت لغزشی، مقاومت سایشی، مقاومت بازتابندگی، مقاومت چسبندگی

۱. مقدمه

بطور کلی رنگهای دوجزئی، مواد مایعی هستند که از دو جزء اصلی رزین و عامل سخت کننده تشکیل شده‌اند. این رنگ‌ها از لحاظ ماهیت و نحوه اجرا (براساس استاندارد EN 1871: 2000)، به گروه رنگهای سرد تعلق دارند. به دلیل کارآیی و عمر مفید طولانی، از رنگهای دو جزئی 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 [Carlos, 2004]. مصرف این رنگها در کشور ما عمدتا در خطوط عابر پیاده است.

رزینهای دوجزئی مورد مصرف در خط‌کشی راهها عبارتند از: اپوکسی، پلی استر، پلی اوره، و پلی یورتان. رنگدانه های مورد استفاده در رنگهای دو جزئی مانند دیگر رنگهای 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 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 درصد جامد هستند و نیازی به استفاده از حلال یا تینر ندارند[Mirabedini, 2007].

مقاومت لغزشی رنگ های خط کشی دو جزئی یکی از پارامترهای موثر در جلوگیری از تصادفات جاده‌های 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 مکانهایی که سطح بیشتری از روسازی با رنگ پوشیده شده است (نظیر محل عبور عابرین پیاده) می‌گردد. 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.

مطالعات متعددی در زمینه مقاومت لغزشی رنگ های ترافیکی انجام شده است که از جمله این مطالعات می‌توان به تحقیقات لودویگ [Ludwig, 1976] اشاره نمود. وی نقش دانه های شیشه‌ای در مقاومت لغزشی رنگ را مورد ارزیابی قرار داد که در نتیجه گزارش آمده است که دانه های شیشه‌ای علاوه بر بهبود قدرت بازتابندگی می‌تواند مقاومت لغزشی را بهبود بخشد. ریچاردز [Richards, 1997] نقش دانه‌های شیشه‌ای 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 دانه‌های شیشه ای به صورت روپاشی می‌تواند مقاومت لغزشی را بهبود بخشد (از SRV=۲۴ به SRV=۴۰). تیو [Thew, 1997] نقش دانه‌های شیشه‌ای پیش مخلوط را مورد ارزیابی قرار داد که به این نتیجه رسید که دانه های شیشه‌ای پیش مخلوط در رنگ، می-تواند مقاومت لغزشی را به اندازه ۹ تا ۱۳ واحد بهبود بخشند. 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 شیشه‌ای مقاومت لغزندگی را ۱۰ واحد افزایش می دهند. همچنین در این تحقیق آمده است که استفاده از دانه‌های تیز گوشه (نظیر دانه‌های کوارتز و دانه‌های سیلیسی) می‌توانند 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 افرودنی‌ها 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 ویژگی‌های رنگ خط‌کشی(نظیر مقاومت لغزندگی، مقاومت سایشی، مقاومت چسبندگی و مقاومت بازتابندگی) است.

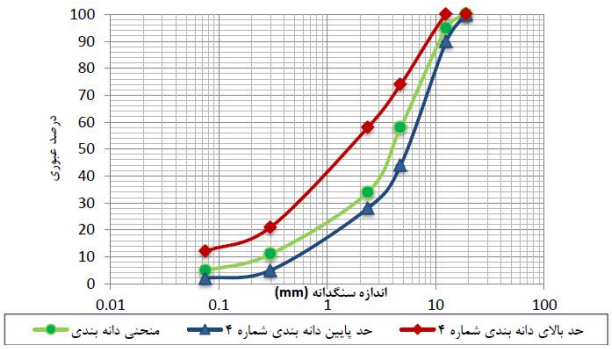
۲. مصالح سنگی مورد استفاده

مصالح مورد استفاده در ساخت دال‌های آسفالتی در این تحقیق از یکی از معادن اطراف شهر تهران تهیه 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 است. 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. 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.

جدول ۱. وزن مخصوص مصالح سنگی مورد استفاده

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



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

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 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]

۴. مواد افزودنی

از آنجا که در تحقیقات گذشته برای بهبود مقاومت لغزشی از دانه-های گرد شیشه ای در درصدهای بالا استفاده شده است که این درصد بالا دیگر ویژگی‌های رنگ را زیاد تحت تاثیر قرار می‌هد، 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

جدول ۲. **مشخصات مصالح سنگی مورد استفاده**

خصوصیات مصالح درشت‌دانه				
شرح	روش آزمایش	مقدار مجاز آیین نامه		نتایج آزمایش
		حداکثر	حداقل	
سایش به روش لس آنجلس (درصد)	ASTM C131	۲۵	–	۲۹
افت وزنی ناشی از سولفات سدیم (درصد)	ASTM C88	۸	–	۰/۶۲
درصد شکستگی	ASTM D5821	–	۶۰	۹۱
درصدسنگدانه های پهن و دراز	ASTM D4791	۱۵	–	۲۵
خصوصیات مصالح ریزدانه				
شرح	روش آزمایش	مقدار مجاز 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 ماسه ای (درصد)	ASTM D2419	–	۵۰	۶۹

های سیلیسی، خرده شیشه های 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 افزودنی های مورد استفاده قبل و بعد از دانه بندی نشان داده شده است.

۵. آزمایشها

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

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 اجرای رنگ خط کشی بر روی نمونه های آسفالتی، نمونه ها به مدت ۷۲ ساعت در دمای ۲۵ درجه آزمایشگاه نگهداری شدند تا رنگ کاملاً خشک شود. سپس ازمایشها به شرح زیر روی آنها انجام شد.

جدول ۳. دانه بندی های مختلف ذرات خرده شیشه

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

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

۵-۱ مقاومت لغزندگی

برای ارزیابی مقاومت لغزندگی نمونه ها، از دستگاه آونگ انگلیسی استفاده و آزمایش بر حسب استاندارد ASTM E 303: 2007 روی نمونه ها 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 نمونه ها کاملاً تمیز و همراه با کفشک لاستیکی خیس شود.

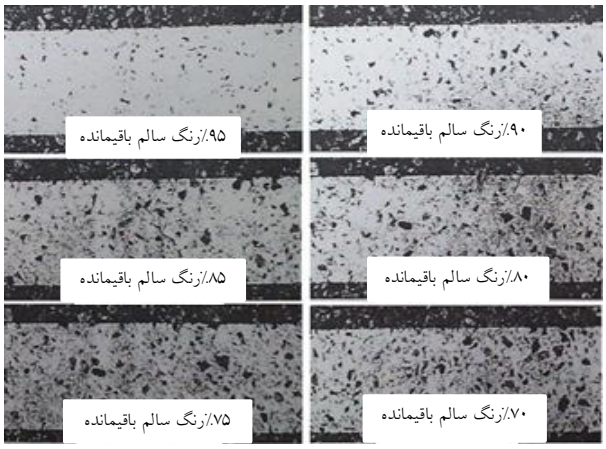
۵-۲ آزمایش سایش در شرایط مرطوب

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[1]) 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 می شود. سپس از حمام آب خارج شده و درون دستگاهWTAT

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 می کند. (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 نظرشستشو داده شده و سپس توسط برس نرم تمیز و خشک می شود. 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 می شود(شکل۵).

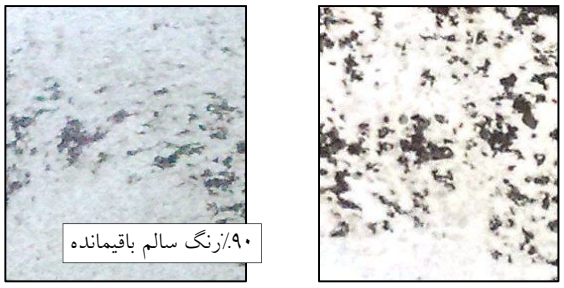
شکل ۳. نحوه اعمال سایش توسط دستگاه WTAT



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

۵-۳ آزمایش بازتابندگی

انجام این آزمایش مطابق با استاندارد EN 1436:2003 و با استفاده از دستگاه سنجش بازتاب نور صورت می‌گیرد. روش کار با این دستگاه به این صورت است که ابتدا نمونه های خط کشی به ابعاد ۵۰X۱۰ سانتی متر تهیه شده (شکل۶-الف) و بعد از گذشت ۷۲ ساعت از اجرای رنگ، نمونه مطابق شکل۶ زیر دستگاه قرار می گیرد، تا قدرت بازتابندگی آن مورد سنجش قرار بگیرد.



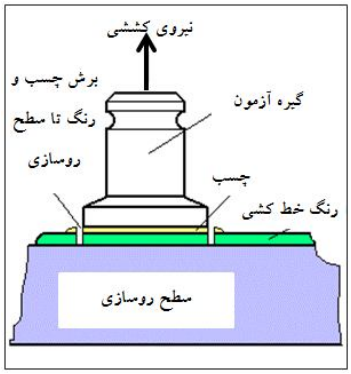
شکل ۵. نمونه‌های سایش یافته و مقایسه شده با تصاویر مرجع

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

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

۵-۴ آزمایش تعیین میزان چسبندگی

آزمایش تعیین میزان چسبندگی رنگ خط کشی به سطح روسازی با دستگاه Pull-off و مطابق با استاندارد ACI 503 :2003 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 می شود. 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 چسبانیدن 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).



شکل ۷. نحوه اعمال نیرو توسط دستگاه Pull-off

۶. نتایج آزمایشها

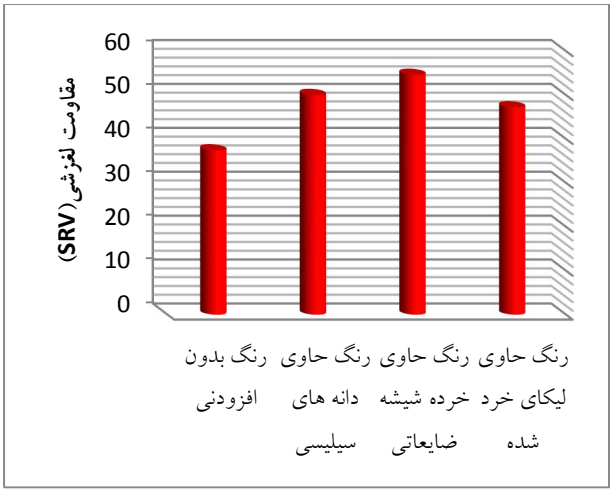
نتایج آزمایشهای انجام شده در این تحقیق به تفکیک نوع آزمایش به شرح موارد زیر است.

۶-۱ اثر افزودنی‌های مختلف در ویژگی‌های رنگ خط‌کشی

برای بررسی تاثیرات افزودنی های 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

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 افزودنی ها در زمان اجرا و پس از اختلاط جزء سخت کننده رنگ، به رنگ اضافه شد. بعد از آماده کردن نمونه ها، 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)

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

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 می گیرد:

مرحله اول: فرضها

میانگینها برابر نیستند:H_1 میانگینها برابرند :H_0

مرحله دوم: آماره آزمون

آماره مربوط به تحلیل واریانسها در جداول۵ تا ۷ برای مصالح مختلف آورده شده است.

جدول ۵. آماره تحلیل واریانس‌ها برای رنگ حاوی مصالح سیلیسی و رنگ بدون افزودنی

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

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

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

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

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

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:

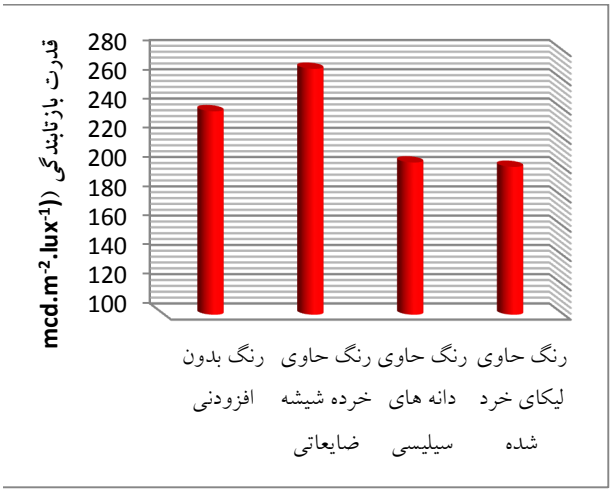
$$F_{.01,1,4}=21/20 \qquad (۱)$$

مرحله چهارم: تصمیم گیری

بر اساس جداول ۵ و۶ چون F=۳۲ (برای مصالح سیلیسی) و F=۹۸ (برای لیکای خرد شده) از مقدار بحرانی در سطح معنا داری 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 می بخشند، ولی مقاومت سایشی را به ترتیب به اندازه ۱۵٪ و ۲۶٪ کاهش می‌دهند، به همین دلیل نمی توانند مصالح مناسبی برای بهبود مقاومت لغزندگی باشند. بر اساس جدول ۷ چون F=۱۲/۵ (برای خرده شیشه ضایعاتی) از مقدار بحرانی در سطح معنا داری ۹۹ درصد کمتر است، فرض صفر (تساوی میانگینها) را نمی توان رد نمود و اختلاف در میانگینها شانسی و تصادفی است. پس اضافه کردن خورده شیشه ضایعاتی(به اندازه ۵٪ ورن رنگ) به رنگ می‌تواند باعث بهبود مقاومت لغزندگی(۳۵٪ بهبود) گردد به گونه ای که در مقاومت سایشی رنگ تاثیرات زیادی داشته باشد.

۶-۱-۳ نتایج آزمایش بازتابندگی

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



شکل ۹. نمودار ارزیابی قدرت بازتابندگی رنگ های 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 خط کشی 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 نمی توانند 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 (مندرج در جدول ۳) نیز مورد استفاده قرار گرفت و نمونه‌های رنگی حاوی خرده شیشه در اندازه های دیگر این جدول تهیه گردید. میزان افزایش افزودنی در این سری نمونه‌ها ۱۰٪ وزنی رنگ بود. نتایج آزمایشهای این نمونه-ها به شرح زیر است.

۶-۲-۱ نتایج آزمایش سایش

آزمایش سایش بر روی نمونه های رنگی حاوی خرده شیشه به میزان۱۰٪ وزنی رنگ و در دانه بندی های مختلف خرده شیشه انجام شد که نتایج آن در جدول ۸ آورده شده است.جدول ۸. نتایج آزمایش سایش رنگ های حاوی ۱۰٪ خرده شیشه با دانه بندی های مختلف(درصد رنگ سالم باقیمانده)

شماره دانه بندی	شماره نمونه			میانگین
	۱	۲	۳	(٪)
رنگ بدون افزودنی	۹۵	۹۰	۹۰	۹۲
رنگ حاوی خرده شیشه با دانه بندی شماره۱	۸۰	۷۵	۸۰	۸۰
رنگ حاوی خرده شیشه با دانه بندی شماره۲	۸۰	۸۰	۸۰	۸۲
رنگ حاوی خرده شیشه با دانه بندی شماره۳	۸۵	۸۵	۸۰	۸۴

بر اساس تحلیل واریانس نتایج جدول۸ چون F=۳۲ (برای دانه بندی شماره۱) و F=۴۹ (برای دانه بندی شماره ۲) از مقدار بحرانی در سطح معنا داری ۹۹ درصد(F=۲۱/۲۰) بیشتر است، فرض یک (عدم تساوی میانگینها) را نمی‌توان رد نمود و اختلاف در میانگینها شانسی و تصادفی نیست. پس دانه بندی های شماره ۱ و ۲ برای کنترل مقاومت سایشی نمی‌توانند مناسب باشند. همچنین چون F=۱۲/۵ (برای خرده شیشه ضایعاتی) از مقدار بحرانی در سطح معنا داری ۹۹ درصد (F=۲۱/۲۰) کمتر است فرض صفر (تساوی میانگینها) را نمی توان رد نمود و اختلاف در میانگینها شانسی و تصادفی است. بر همین اساس دانه بندی مناسب برای کنترل مقاومت سایشی دانه بندی شماره ۳ انتخاب می‌گردد.

از آنجا که دانه بندی شماره۳ 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 نمونه ها استفاده نمود تا بتوان درصد بهینه به دست آورد. برای این کار، نمونه‌های رنگی در درصدهای وزنی ۵، ۱۰و۲۰ ساخته شدند و آزمایش سایش بر روی آنها انجام گردید. نتایج آزمایش روی این نمونه ها در جدول 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)

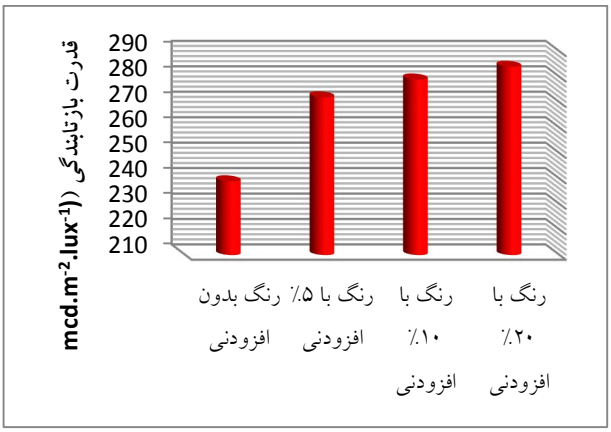
درصد وزنی	شماره نمونه			میانگین
افزودنی	۱	۲	۳	(٪)
رنگ بدون افزودنی	۹۵	۹۰	۹۰	۹۲
رنگ حاوی ٪۵ خرده شیشه	۹۰	۹۰	۸۵	۸۸
رنگ حاوی ٪۱۰ خرده شیشه	۸۵	۸۵	۸۰	۸۴
رنگ حاوی ٪۲۰ خرده شیشه	۸۰	۷۵	۸۰	۷۸

براساس تحلیل یاد شده بر روی نتایج جدول ۹ چون F=۱۰۴/۲۰ (برای خرد شیشه ۲۰ درصد) از مقدار بحرانی در سطح معنا داری ۹۹ درصد(F=۱۳/۷۵) بیشتر است فرض یک (عدم تساوی میانگینها) را نمی‌توان رد کرد و اختلاف در میانگینها شانسی 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=۱۲/۷۱ (برای خرده شیشه ۱۰ درصد) و F=۸/۳۷ (برای خرده شیشه ۵ درصد) از مقدار بحرانی در سطح معنا داری ۹۹ درصد (F=۱۳/۷۵) کمتر است، فرض صفر (تساوی میانگینها) را نمی‌توان رد کرد و اختلاف در میانگینها شانسی و تصادفی است. با توجه به تحلیل صورت گرفته شده می توان نتیجه گرفت که رنگ حاوی خرده شیشه با درصدهای ۵ و ۱۰ مقاومت چسبندگی را به اندازه ۵ درصد کاهش می دهد، 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.

۶-۲-۲ 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 رنگ های حاوی خرده شیشه در درصدهای مختلف

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

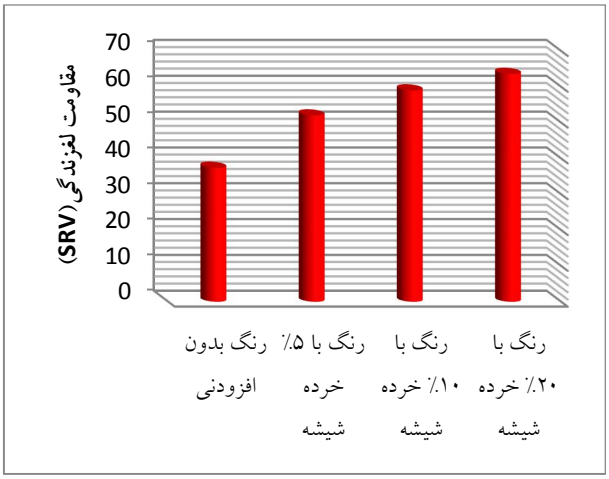
۶-۲-۳ نتایج آزمایش چسبندگی

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. نمونه های 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 داده اند 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.

۶-۲-۴ نتایج آزمایش اصطکاک

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



شکل ۱۲. نتایج آونگ انگلیسی بر روی رنگ های 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 و۱۰ درصد وزنی رنگ با دانه بندی شماره۳ به ترتیب باعث افزایش ۳۹ و ۵۸ درصدی مقاومت لغزندگی سطح رنگ گردید، به گونه ای 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

را از خود نشان می‌دهد، بنابراین می توان ۱۰ درصد را به عنوان درصدمناسب 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 خط کشی دوجزئی پرکاربرد در معابر شهر تهران نتایج زیر حاصل شد:

۱. افزودن موادی مانند ذرات سیلیس، خرده شیشه و خرده لیکا (با دانه بندی شماره۱) به اندازه ۵ درصد وزنی رنگ، باعث افزایش مقاومت لغزشی به ترتیب به میزان ۱۳، ۱۷ و ۱۰ واحد می‌شوند.

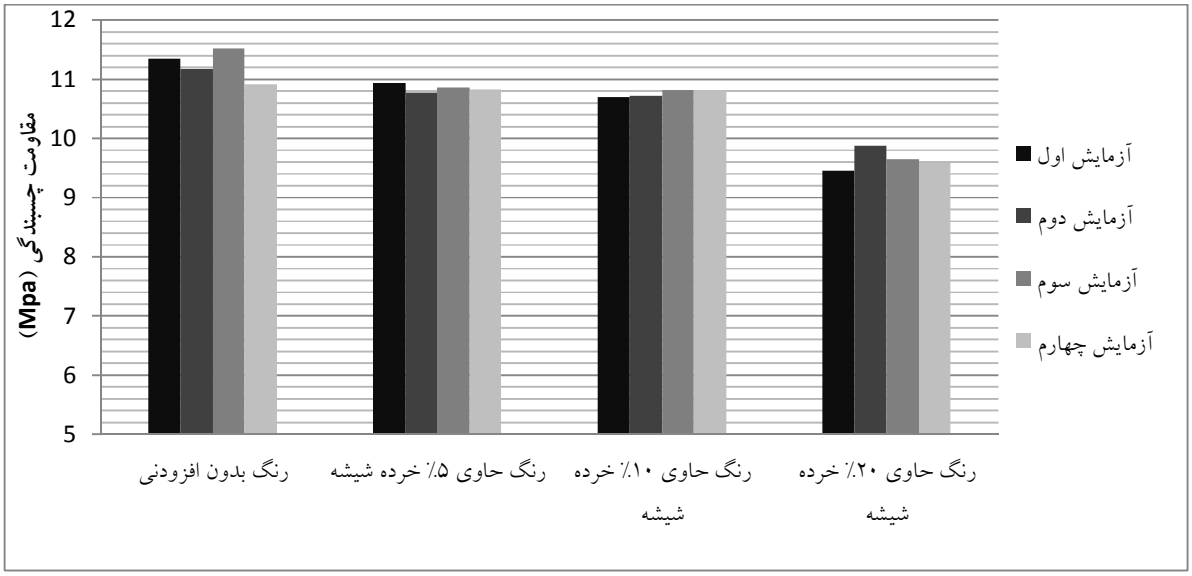
۲. افزودن مصالح باید بعد از اختلاط دو جزء رنگ های دوجزئی در زمان اجرا باشد تا چسبندگی مصالح به رنگ بیشتر گردد.

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 بخشند ولی مقاومت سایشی را به ترتیب به اندازه ۱۵٪ و ۲۶٪ کاهش می دهند. به این دلیل شاید نمی‌توانند 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 خط کشی دوجزئی نداشت.

۶. برای افزایش و بهبود اصطکاک سطح رنگ خط کشی 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.



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

۸. پی نوشت

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)

- 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)

- Europion Committee for Standardization, EN 1871. (2000) “Road marking materials- physical properties” available at (www.cen.eu)

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

- 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.