available online @ www.jscw.icrc.ac.ir
نشریه علمی-ترویجی مطالعات در دنیای رنگ/ ۲ (۱۳۹۱)، ۴۰ -۲۹
نشریه علمی ترویجی مطالعات در دنیای رنگ
Journal of Studies in Color World
www.jscw.icrc.ac.ir
وزارت علوم تحقیقات و فناوری
مؤسسه پژوهشی علوم و فناوری رنگ

جلوه ظاهری روکش‌های سطح خودرویی، بخش اول: مروری بر مهم‌ترین ویژگی‌های ظاهری

فرشته میرجلیلی[۱]، سیامک مرادیان[۲،۳]، فرهاد عامری شهرابی[۴*]

۱- دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی پلیمر و رنگ، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران، صندوق پستی: ۱۵۸۷۵-۴۴۱۳

۲- استاد، دانشکده مهندسی پلیمر و رنگ، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران، صندوق پستی: ۱۵۸۷۵-۴۴۱۳

۳- استاد، قطب علمی رنگ، موسسه پژوهشی علوم و فناوری رنگ، تهران، ایران، صندوق پستی: ۶۵۴-۱۶۷۶۵

۴- استادیار، گروه پژوهشی فیزیک رنگ، موسسه پژوهشی علوم و فناوری رنگ، تهران، ایران، صندوق پستی: ۶۵۴-۱۶۷۶۵

تاریخ دریافت: ۹۱/۶/۲۸ تاریخ بازبینی: ۹۱/۱۰/۶ تاریخ پذیرش: ۹۱/۱۰/۹

چکیده

امروزه کنترل جلوه ظاهری روکش‌های سطح خودرویی به منظور جلب رضایت مشتری، به عنوان یکی از بزرگترین چالش‌های شرکت‌های خودروسازی در سراسر جهان مطرح است. کیفیت ظاهری خودرو اولین عاملی است که هر خریدار به هنگام خرید خودرو بدان توجه می‌نماید. این در حالی است که با توسعه بسیار سریع علم و ظهور فناوری‌های جدید در زمینه روکش‌های سطح خودرویی، سلیقه مشتری نیز روز به روز در حال ارتقاء است و این عاملی است که تولیدکنندگان خودرو را وادار می‌سازد در راستای تامین خواسته‌های خریدار، خود را با جدیدترین و به روزترین یافته‌های علمی دنیا همراه سازند. از جمله مهم‌ترین خصوصیات ظاهری یک خودرو می‌توان به رنگ، بافتار، براقیت، وضوح تصویر و پوست پرتقالی اشاره نمود. در این مقاله تلاش گردیده که مرور جامعی بر ویژگی‌های ذکر شده در روکش‌های سطح خودرویی که تحت عنوان کلی جلوه ظاهری شناخته می‌شوند، صورت پذیرد.

واژه‌های کلیدی

روکش سطح خودرویی، جلوه ظاهری، رنگ، براقیت، وضوح تصویر، پوست پرتقالی.

*Corresponding author: fameri@icrc.ac.ir

۱- مقدمه

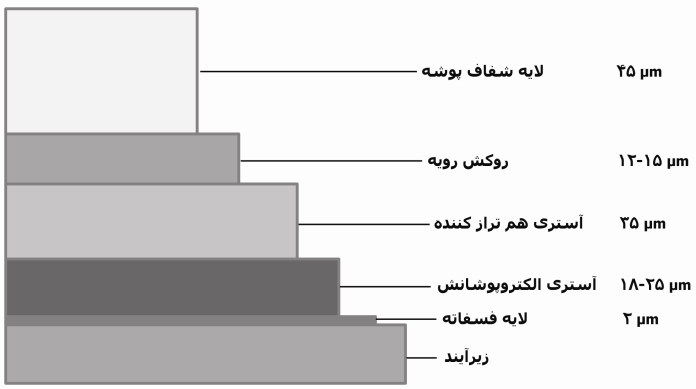
صنعت خودروسازی با قدمتی بیش از یک قرن و دارا بودن ارتباط با ۶۰ رشته صنعتی دیگر به عنوان لکوموتیو صنایع محسوب می‌گردد. به واسطه ارتباطات پسین و پیشین این صنعت با سایر صنایع، صنعت خودروسازی به عنوان یک نیروی محرکه قوی در توسعه صنعتی کشورها می‌باشد [۱]. یک بررسی آماری نشان می‌دهد در حالی که تولید و مصرف خودرو یکی از مهم‌ترین منابع درآمد مالیاتی دولت‌ها در سراسر جهان می‌باشد، رونق این صنعت منجر به اشتغال مستقیم بالغ بر ۸ میلیون نفر (بیش از ۵٪ اشتغال صنعتی جهان) و اشتغال غیرمستقیم بیش از ۵۰ میلیون نفر در سراسر جهان گردیده است. مطابق با رده‌بندی صنایع مختلف در فهرست درآمدی نشریه فورچون[1]، صنعت خودرو و قطعات با حدود ۲۰۰۰ میلیارد دلار گردش مالی و تولید حدود ۷۰ میلیون خودرو در سال ۲۰۰۸ پس از پالایش نفت و بانکداری، حائز رتبه سوم درآمدزایی است و از این رو توسعه آن مورد توجه بسیاری از کشورها از جمله ایران می‌باشد. در حال حاضر صنعت خودرو معادل ۱۱٪ درصد تولید ناخالص جهانی را شامل می‌شود و پیش‌بینی می‌گردد که تا سال ۲۰۱۳ تولید سالانه خودرو به بیش از ۷۵ میلیون برسد [۲]. از ابتدای پیدایش صنعت خودروسازی تاکنون، این صنعت همواره در حال دگرگونی و بازنگری در شاخه‌های مختلف مرتبط با آن بوده است و در این میان پوشش‌دهی سطح خودرو یکی از اصلی‌ترین این شاخه‌ها می‌باشد که همواره برای صنعت خودروسازی ارزش افزوده به همراه داشته است. در توسعه روکش‌های سطح خودرویی عواملی همچون کیفیت، قیمت و مسائل محیط زیستی همواره مورد توجه بوده است. در این میان آنچه کیفیت یک روکش سطح خودرویی را تعیین می‌نماید، توانایی روکش در محافظت بدنه خودرو در مقابل خوردگی و همچنین قابلیت آن در ایجاد جلوه ظاهری مطلوب مشتری به نحوی است که پایداری و دوام این جلوه ظاهری تا پایان عمر مفید خودرو تضمین شده باشد.

۲- روکش‌های سطح خودرویی

از ابتدای قرن بیستم تا به امروز، پوشش‌دهی سطوح خودرویی به عنوان یکی از صنایع رو به رشد همراه با توسعه فناوری تولید خودرو به لحاظ مواد اولیه و نیز روش‌ها و فرآیندها دستخوش تحولات بزرگی گردیده است. با در نظر گرفتن عواملی همچون سازگاری با محیط زیست و مکانیزه نمودن فرآیندها، امروزه چهار لایه یا بیشتر با عملکردهای مختلف و به روش‌های گوناگون بر سطح خودرو اعمال می‌گردد. این لایه‌ها شامل لایه فسفاته، آستری الکتروپوشانش[2]، آستری هم‌ترازکننده[3] و روکش رویه[4] که خود در برگیرنده روکش پایه[5] و لایه شفاف پوشه[6] است، می‌باشد. شکل ۱ نمایی شمایی از این لایه‌ها را نشان می‌دهد [۳]. می‌توان گفت از دیدگاه جلوه ظاهری در یک روکش سطح خودرویی می‌توان مهم‌ترین لایه را روکش رویه دانست. عمده‌ترین نقش‌های این لایه عبارت است از فراهم نمودن پایداری روکش سطح در مقابل آسیب‌های مکانیکی، شیمیایی و نوری و البته ایجاد ظاهری مطلوب و چشم‌گیر برای خودرو که خوشایند مشتری بوده و در طول مدت زمان سرویس‌دهی خودرو دوام داشته باشد. به منظور تامین نمودن این اهداف روکش رویه خود می‌تواند شامل لایه‌های مختلفی باشد. در روکش‌های سطح مرسوم که به صورت تک پوششه اعمال شده و تحت عنوان روکش‌های سطح بدون اثرات ویژه[7] شناخته می‌شوند، لایه رویه تنها شامل یک لایه است. در حالی‌که امروزه با ظهور نسل جدید روکش‌های سطح خودرویی یعنی روکش‌های سطح با اثرات ویژه[8] همچون روکش‌های سطح متالیک، روکش رویه در قالب دو لایه روکش پایه حاوی رنگدانه‌های ویژه و لایه شفاف پوشه اعمال می‌گردد. ضخامت روکش رویه در روکش‌های سطح خودرویی بدون اثرات ویژه در حدود ۳۵ تا ۴۰ میکرون می‌باشد. در حالی‌که در روکش‌های سطح با اثرات ویژه، روکش پایه با ضخامتی در حدود ۱۲ تا ۱۵ میکرون و لایه شفاف پوشه با ضخامتی در حدود ۴۵ تا ۶۰ میکرون اعمال می‌شود [۴, ۵].

[1] Fortune

[2] Electrodeposition primer
[3] Primer surfacer
[4] Topcoat
[5] Basecoat
[6] Clearcoat
[7] Solid surface coatings
[8] Special effect coatings



شکل ۱- نمایشی از لایه‌های مختلف روکش سطح خودروهای امروزی [۳].

امروزه با ظهور رنگدانه‌های با اثرات ویژه همچون رنگدانه‌های فلزی[1] و تداخلی[2] یا صدفی[3] امکان دست‌یابی تولیدکنندگان خودرو به روکش‌های سطحی با جلوه ظاهری بسیار مطلوب و منحصر به فرد فراهم گردیده است. به نحوی که در حال حاضر ۸۰٪ روکش‌های سطح خودرویی را روکش‌های سطح با اثرات ویژه تشکیل می‌دهد. همان گونه که قبلاً اشاره شد، این رنگدانه‌ها توسط روکش پایه بر سطح خودرو اعمال شده و به منظور محافظت از آن‌ها یک لایه شفاف پوشه بر روی روکش پایه اعمال می‌گردد [۶].

مهم‌ترین و پرکاربردترین رنگدانه متالیک که در روکش‌های سطح متالیک مورد استفاده قرار می‌گیرد، رنگدانه آلومینیم ورقه‌ای[4] است. از خواص منحصر به فرد این رنگدانه می‌توان به جلوه ظاهری جالب توجه، چگالی پایین و قیمت مناسب اشاره نمود [۷].

دسته دیگری از رنگدانه‌های ویژه که در سال‌های اخیر با اقبال گسترده خودروسازان در سراسر جهان مواجه شده است، رنگدانه‌های صدفی می‌باشد. علت محبوبیت این رنگدانه‌ها فعل و انفعالات فریبنده و بسیار چشم‌گیر رنگی آن‌ها می‌باشد که در اثر برهم‌کنش نور با لایه‌های متعدد موجود در ساختار آن‌ها اتفاق می‌افتد. در اثر انعکاس‌ها و شکست‌های متوالی نور درون این لایه‌ها اثرات رنگی منحصر به فردی خلق می‌گردد. در شکل ۲ تصاویر میکروسکوپی رنگدانه آلومینیم ورقه‌ای و رنگدانه صدفی زیرالیک نشان داده شده است.

ساختار تمامی رنگدانه‌های صدفی بر پایه میکا شکل می‌گیرد. میکاها که از آلوموسیلیکات‌ها[5] مشتق می‌گردند، ذرات ورقه‌ای ریز و شفافی هستند که به کار بردن آن‌ها به صورت اصلاح نشده در لایه رویه روکش‌های سطح خودرویی منجر به ایجاد یک ظاهر صدفی برای روکش می‌شود.

اما با پوشش‌دادن سطح ذرات میکا توسط اکسیدهای فلزات سنگین با ضرایب انکسار بالا همچون دی اکسید تیتانیم با ضریب انکسار ۲/۷، اکسید آهن با ضریب انکسار ۲/۴ و اکسید کروم با ضریب انکسار ۲/۵ می‌توان به رنگ‌های گوناگونی دست یافت. رنگ یک رنگدانه صدفی توسط ضخامت لایه اکسید فلزی تعیین می‌گردد. به عنوان مثال با افزایش ضخامت لایه دی اکسید تیتانیم رنگ رنگدانه صدفی از نقره‌ای به زرد، قرمز، آبی و سبز تغییر خواهد نمود. در روکش‌های سطح صدفی رنگ روکش با تغییر زاویه مشاهده تغییر می‌نماید [۹-۸].

۳- جلوه ظاهری روکش‌های سطح خودرویی و اهمیت آن

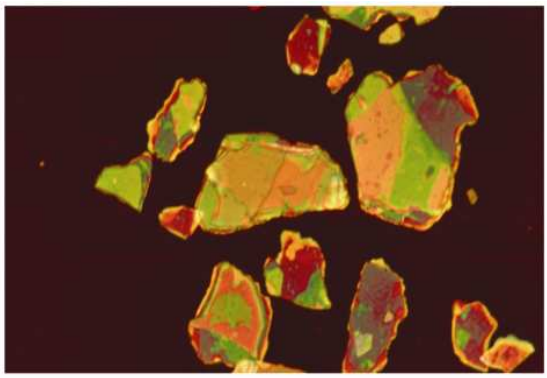
خصوصیات ظاهری بدنه خارجی یک خودرو و نیز بخش‌های داخلی آن در نحوه ادراک مشتری از کیفیت خودرو و بنابراین تصمیم‌گیری وی در خرید آن نقش کلیدی ایفا می‌نماید. روشن است که جلوه ظاهری روکش سطحی که بدنه خارجی خودرو را پوشانده است در این تصمیم‌گیری جایگاه ویژه‌ای دارد.

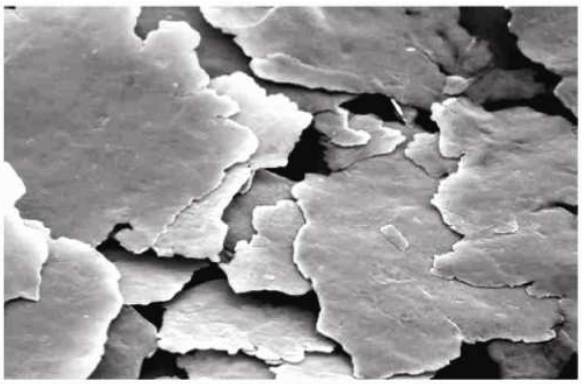
بررسی‌های محققین در شرکت‌های خودروسازی معتبر دنیا همچون جنرال موتورز نشان داده است که در مواجهه مشتری با یک خودرو معین به هنگام خرید، علاوه بر شهرت و خوش‌نامی، از سه دیدگاه متفاوت دیگر نیز به بررسی خودرو پرداخته می‌شود: کیفیتی که مشاهده و درک می‌شود[6]، کیفیت اولیه[7] و کیفیت بلند مدت[8]. در اولین نگاه زیبایی و خصوصیات ظاهری همچون رنگ، درخشندگی، براقیت و به عبارت دیگر کیفیت درک‌شده خودرو است که نظر فرد را به خود جلب می‌کند.

در مرحله بعد مشتری به بررسی این مطلب می‌پردازد که روکش سطح خودرو از هر گونه نقص عاری باشد. در نهایت پایداری و دوام بلند مدت خودرو و کیفیت ظاهری داخل آن است که مورد توجه مشتری قرار می‌گیرد.

[1] Metallic
[2] Interference pigments
[3] Pearlescent
[4] Al flake pigments
[5] Alumosilicates

[6] Perceptual quality
[7] Initial quality
[8] Long term quality





شکل ۲- تصاویری از رنگدانه آلومینیم ورقه‌ای (چپ) و رنگدانه صدفی زیرالیک[9] (راست).

[9] Xirallic

تمامی این فرآیندها که بر اساس آن‌ها فرد تصمیم نهایی خود را برای خرید اتخاذ می‌نماید، در فواصل زمانی متفاوتی صورت می‌گیرد. شکل ۳ روند تصمیم‌گیری مشتری برای خرید در فواصل زمانی مختلف و نقش کلیدی جلوه ظاهری خودرو را نشان می‌دهد.

همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود، در ده دقیقه اول پس از مواجهه با خودرو است که کیفیت ظاهری آن نظر فرد را جلب می‌کند. در این فاصله زمانی بسیار کوتاه مشتری تنها به شکل و جلوه ظاهری بیرونی خودرو توجه می‌نماید و خرید خودرو را مد نظر خود قرار می‌دهد. با گذشت زمان و بررسی دیگر خصوصیات خودرو و نیز بخش‌های داخلی آن فرد تصمیم نهایی خود را می‌گیرد [۱۰].

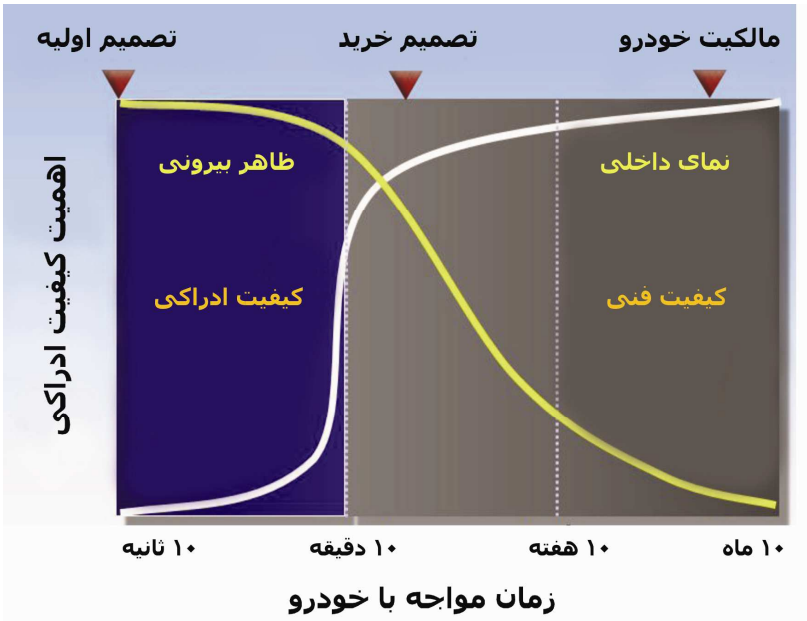
با توجه به اهمیت جلوه ظاهری، توجه به این نکته ضروری است که برای یک خودرو تنها داشتن رنگی زیبا و سطحی کاملاً هموار، براق و درخشنده کافی نمی‌باشد. بلکه یکنواختی و همگونی جلوه ظاهری در تمامی بخش‌های خودرو نیز از اهمیت بسیار فراوانی برخوردار است.

این اهمیت از جایی ناشی می‌گردد که وجود کوچک‌ترین اختلاف و ناهم‌گونی میان خصوصیات ظاهری در سراسر بدنه خودرو و بخش‌های جانبی آن از قبیل سپرها، قاب‌های آیینه و غیره در نگاه مشتری به عنوان نقص تلقی شده و منجر به افت کیفیت محصول می‌گردد [۱۱].

به دلیل اهمیت فراوان این مسئله، هر کدام از شرکت‌های خودروسازی معتبر در سراسر جهان برای رنگ و دیگر ویژگی‌های ظاهری محصولات خود استانداردهای مشخصی تعریف نموده‌اند.

روشن است که این استانداردها که در آن‌ها برای هر ویژگی ظاهری، روش اندازه‌گیری، یک مقدار هدف و حدود رواداری معین گردیده، بر اساس ارزیابی‌های بصری افراد از این خصوصیات تنظیم و تعریف گردیده است. در این راستا هدف شرکت‌های خودروسازی عرضه محصولات خود بر اساس این استانداردها و البته ارتقاء آن‌ها متناسب با عملکرد رقبا و نیز انتظارات مشتری می‌باشد [۱۲].

این در حالی است که ارائه محصول بر اساس این استانداردها برای تمامی تولیدکنندگانی که تمایل دارند در زنجیره تامین باقی بمانند کار چندان آسانی نیست. زیرا گذشته از چند بعدی بودن رنگ و به طور کلی جلوه ظاهری، عوامل بسیار متنوعی در طول فرآیند تولید خودرو بر خصوصیات ظاهری نهایی آن موثر می‌باشند.



شکل ۳- روند تصمیم‌گیری مشتری برای خرید در فواصل زمانی مختلف [۱۰].

از این رو به منظور دست‌یابی به ظاهر مطلوب تمامی این عوامل باید از سوی تولیدکننده خودرو مورد نظر قرار گیرد. برخی از این عوامل عبارتند از:

- زیرآیند فلزی، جنس و روش آماده‌سازی آن و نیز جنس و نحوه اعمال کلیه لایه‌های زیرین
- تجهیزات مورد استفاده برای اعمال لایه نهایی
- شرایط محیطی همچون درجه حرارت و میزان رطوبت نسبی
- شرایط فرآیندی همچون ضخامت فیلم روکش و نحوه پخت آن
- خصوصیات پوشرنگ از قبیل گرانروی و برنامه دمایی پخت آن
- دیگر عوامل همچون نحوه جریان‌پذیری هوا و میزان آلودگی موجود در اتاق اعمال رنگ و غیره [۴].

شکل ۴ برخی از عوامل موثر بر جلوه ظاهری یک خودرو را نشان می‌دهد.

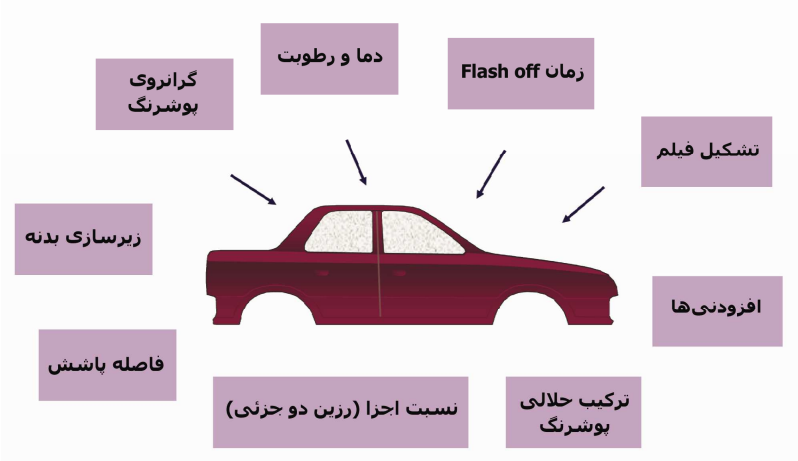
۳-۱- مهم‌ترین ویژگی‌های ظاهری روکش‌های سطح خودرویی

در بررسی جلوه ظاهری روکش‌های سطح خودرویی، مهم‌ترین ویژگی‌هایی که اندازه‌گیری دقیق آن‌ها به منظور تدوین استانداردهای ظاهری مطابق با ارزیابی‌های بصری از سوی خودروسازان سراسر جهان مورد توجه واقع شده، عبارت از رنگ، براقیت، وضوح تصویر[1]، پوست پرتقالی[2] و ابلقی‌شدن[3] می‌باشد.

۳-۱-۱- رنگ و اثرات ویژه

رنگ خودرو آشکارترین ویژگی ظاهری آن می‌باشد. از این‌رو، داشتن ظاهر رنگی یکنواخت و همگون به منظور ارتقاء کیفیت خودرو و ممانعت از نارضایتی مشتری یکی از ضروریات روکش‌های سطح خودرویی است. این مسئله نه تنها در زمان خرید، بلکه در طول عمر مفید خودرو از اهمیت فراوانی برخوردار می‌باشد. با توجه به اهمیت رنگ در جلب نظر مشتری، طراحان خودرو همواره به دنبال خلق رنگ‌های نو با اثرات رنگی منحصر به فرد بوده‌اند. همان گونه که قبلاً اشاره شد، امروزه چیزی در حدود ۸۰٪ روکش‌های سطح خودرویی را روکش‌های سطح با اثرات ویژه شامل روکش‌های سطح متالیک و صدفی تشکیل می‌دهد. بر خلاف روکش‌های سطح بدون اثرات ویژه، ابعاد رنگی یعنی روشنایی، فام و خلوص روکش‌های سطح فلزی و صدفی با تغییر هندسه تابش نور و مشاهده تغییر می‌نماید. تفاوت در ابعاد رنگی روکش‌های سطح متالیک و صدفی در شکل ۵ قابل مشاهده می‌باشد.

[1] Distinctness of image
[2] Orange peel
[3] Mottling



شکل ۴- برخی از عوامل موثر بر جلوه ظاهری خودرو.

در روکش‌های سطح متالیک ادراک بصری رنگ نه تنها به شرایط تابش نور، بلکه به زاویه مشاهده نیز وابسته است. در این روکش‌های سطح با تغییر زاویه مشاهده میزان روشنایی تغییر می‌نماید. به این اثر فلاپ تیره - روشن[1] گفته می‌شود. اثر فلاپ را می‌توان به سهولت بر روی سطوح انحنادار روکش‌شده توسط روکش‌های سطح متالیک مشاهده نمود. زمانی که مشاهده‌کننده به صورت عمودی به سطح روکش نگاه می‌کند، مسیر عبور نور به دلیل انعکاس آیینه‌ای آن توسط ورقه‌های آلومینیمی کوتاه است. اما تحت یک زاویه مشاهده بزرگتر، نور پس از انعکاسات متوالی درون روکش و پس از طی یک مسیر طولانی به چشم مشاهده‌کننده می‌رسد. از این رو روکش تیره‌تر به نظر می‌رسد. به‌طورکلی، روکش‌های سطح متالیک هنگامی که از زوایای نزدیک به عمود مشاهده می‌شوند، روشن‌تر و در صورت مشاهده از زوایای بزرگتر، تیره‌تر به نظر می‌رسند [۱۳, ۱۴].

میزان فلاپ یک روکش سطح متالیک به وسیله شاخص فلاپ[2] آن مشخص می‌گردد. هر چه شاخص فلاپ روکشی بالاتر باشد، این بدان معنی است که سطح اثرات ظاهری قوی‌تری دارد. شاخص فلاپ به‌عنوان تابعی از CIELAB L* اندازه‌گیری شده تحت سه زاویه ۲۰°، ۴۵° و ۱۱۰° مطابق با رابطه ۱ محاسبه می‌گردد:

$$F = \frac{2.69(L_1 - L_3)^{1.11}}{L_2^{0.86}} \qquad (1)$$

[1] Light - dark flop
[2] Flop index

در این رابطه، F شاخص فلاپ، L_1، L_2 و L_3 به ترتیب مقادیر روشنایی در سه زاویه ۲۰°، ۴۵° و ۱۱۰° می‌باشد [۱۵, ۱۶].

بر خلاف روکش‌های سطح متالیک، در روکش‌های سطح صدفی این فام رنگ است که با تغییر زوایای تابش نور و مشاهده تغییر می‌کند و بدین ترتیب یک اثر رنگی بسیار ویژه در مقایسه با روکش سطح فلزی خلق می‌شود که این اثر تحت عنوان فلاپ رنگ[3] شناخته می‌شود [۱۳, ۱۴].

در روکش‌های سطح با اثرات ویژه ادراک رنگ بسیار متاثر از اثر رنگدانه‌ها می‌باشد، به نحوی که این اثرات با تغییر شرایط تابش نور تغییر می‌نماید. این اثرات تحت عنوان کلی بافتار بصری[4] شناخته می‌شود.

۳-۱-۲- بافتار بصری در روکش‌های سطح خودرویی با اثرات ویژه

در روکش‌های سطح با اثرات ویژه، اصطلاح بافتار جنبه فیزیکی ندارد و به یکی از اثرات بصری سطح اطلاق می‌شود، بنابراین مطابق با استاندارد [۱۷] تحت عنوان بافتار بصری معرفی می‌شود و به معنای زبری و ناهمواری سطح و به عبارت دیگر بافتار فیزیکی[5] نمی‌باشد. بافتار بصری به نایکنواختی درک شده در رنگ روکش سطح اطلاق می‌شود که این نایکنواختی از رنگدانه‌های ورقه‌ای موجود در روکش ناشی شده و با تغییر شرایط تابش نور به چشم می‌آید. مهم‌ترین اثرات بصری که به‌عنوان پارامترهای بافتاری در روکش‌های سطح با اثرات ویژه شناخته می‌شوند، شامل تلالو[6] و زبری بصری[7] می‌باشد [۱۸, ۱۹].

[3] Color flop
[4] Visual texture
[5] Physical texture
[6] Sparkle (Glint impression)
[7] Diffuse coarseness (Graininess)

شکل ۵- خودروهایی با روکش سطح متالیک (راست) و صدفی (چپ).

۳-۱-۲-۱- تلالو

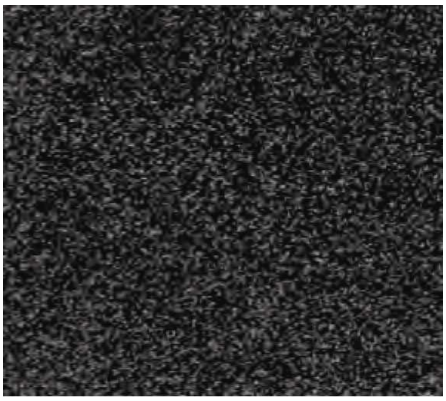
این جلوه بصری زمانی در سطح روکش مشاهده می‌شود که نور به صورت کاملاً تک سویه[1] و متمرکز (مثلاً تحت تابش مستقیم نور خورشید) و نه به صورت پراکنده به سطح بتابد. در این حالت در سطح روکش نقاط فراوانی به چشم می‌آید که به نحو واضحی روشن‌تر و درخشنده‌تر از دیگر نواحی روکش هستند. شکل ۶ این جلوه بصری را نشان می‌دهد. از عوامل موثر بر میزان تلالو سطح روکش می‌توان به نوع و اندازه ذرات رنگدانه ورقه‌ای، غلظت رنگدانه، نحوه آرایش یافتگی رنگدانه‌ها در روکش، و روش اعمال روکش اشاره نمود. در صورتی‌که رنگدانه‌های ورقه‌ای همگی موازی با یکدیگر درون روکش نهایی آرایش یابند، تمامی پرتوهای نور تابیده شده به سطح در اثر برخورد با رنگدانه‌ها به صورت آیینه‌ای انعکاس می‌یابند. از این رو، تمام سطح روکش کاملاً براق به نظر رسیده و تلالو چندانی نخواهد داشت. اما در حالتی‌که ورقه‌ها نه به صورت موازی، بلکه به شکل تصادفی درون روکش آرایش یابند، تنها بخش کوچکی از کل رنگدانه‌های ورقه‌ای موجود در روکش که موازی با سطح واقع شده‌اند نور را به چشم مشاهده کننده هدایت می‌کنند. در این مناطق است که روکش درخشنده‌تر از سایر نواحی به نظر می‌رسد و بدین ترتیب پدیده تلالو در سطح مشاهده می‌گردد [۷].

شکل ۶- پدیده تلالو در روکش‌های سطح خودرویی با اثرات ویژه [۴].

[1] Unidirectional

۳-۱-۲-۲- زبری بصری

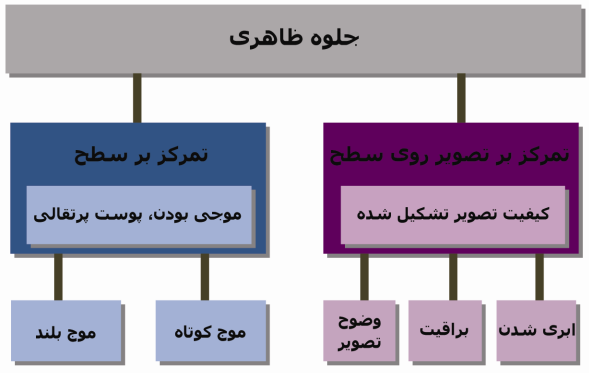
این جلوه بصری زمانی مشاهده می‌شود که سطح روکش تحت تابش نور پراکنده (آسمان ابری) قرار گیرد. بدین ترتیب نواحی تیره و روشنی در سطح مشاهده می‌شود. زبری بصری یک روکش سطح خودرویی فلزی در شکل ۷ نشان داده شده است.



شکل ۷- پدیده زبری بصری در روکش‌های سطح خودرویی با اثرات ویژه [۴].

از عوامل موثر بر پدیده زبری بصری می‌توان به نوع و قطر رنگدانه‌های ورقه‌ای، نحوه آرایش یافتگی آن‌ها در فیلم روکش و تجمع رنگدانه‌ها اشاره نمود. همچنین، بر خلاف تلالو، زبری بصری روکش سطح تحت تاثیر زاویه تابش نور قرار ندارد و تحت تابش نور پراکنده نیز قابل مشاهده می‌باشد [۱۸, ۲۰]. بر خلاف رنگ که در اثر تغییر طیفی نور تابیده به سطح درک می‌گردد، دیگر خواص ظاهری روکش‌های سطح خودرویی یا با تمرکز بر نور انعکاس یافته از سطح و یا با توجه به تصویر تشکیل شده از منبع نوری بر روی سطح مشاهده و درک می‌شوند. در حالت اول، خصوصیاتی همچون براقیت و وضوح تصویر[2] و در حالت دوم اثراتی از قبیل پوست پرتقالی[3] و هم‌ترازی سطح روکش توسط مشاهده کننده مورد بررسی قرار می‌گیرد. در شکل ۸ خواص ظاهری گوناگون سطوح و منشا ادراک آن‌ها نشان داده شده است [۲۱, ۲۲].

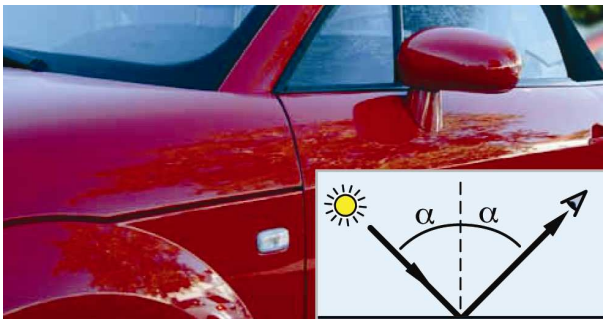
[2] Distinctness of Image (DOI)
[3] Orange peel



شکل ۸- منشا ادراک خواص ظاهری سطوح [۲۲].

۳-۱-۳- براقیت

براقیت یکی از مهم‌ترین صفات ظاهری هندسی سطوح است که باعث می‌شود آن سطح ظاهری درخشان و براق همچون سطح یک فلز داشته باشد. این ویژگی ظاهری از توزیع ناهمگون نور از سطح جسم به گونه‌ای که میزان انعکاس در جهت زاویه آیینه‌ای بیشترین است، ناشی می‌گردد. این ویژگی ظاهری در شکل ۹ نشان داده شده است.



شکل ۹- تصویری از براقیت و منشا ادراک آن در روکش سطح خودرویی [۲۲].

مطابق با تعریف ارائه شده توسط ASTM، براقیت آیینه‌ای نسبت شار نور انعکاس یافته از سطح یک شیء در جهت انعکاس آیینه‌ای و برای یک منبع نوری معین، به شار نور منعکس شده از سطح یک شیشه سیاه صیقلی به عنوان مرجع در جهت انعکاس آیینه‌ای تحت شرایط کاملاً یکسان می‌باشد. ضریب انکسار شیشه سیاه مرجع باید برابر با ۱/۵۶۷ باشد. واحد اندازه‌گیری براقیت GU[1] است و مقدار براقیت شیشه سیاه مرجع برای تمامی زوایای تابش برابر با ۱۰۰ GU در نظر گرفته می‌شود. رابطه ۲ جهت محاسبه براقیت آیینه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد.

$$G_s = \frac{R^s_{sample}}{R^s_{standard}} \qquad (۲)$$

در این رابطه، G_s براقیت آیینه‌ای، R^s_{sample} مقدار انعکاس آیینه‌ای نمونه و $R^s_{standard}$ مقدار انعکاس آیینه‌ای شیشه سیاه استاندارد می‌باشد.

اندازه‌گیری براقیت در صنایع گوناگون از جمله صنعت خودرو مطابق با استاندارد ASTM D523 صورت می‌گیرد. مطابق با این روش استاندارد، براقیت سطوح، بسته به میزان براقیت نسبی آن‌ها با استفاده از سه هندسه 20°، 60° و 85° اندازه‌گیری می‌شود.

به منظور تعیین براقیت سطوح مختلف انتخاب هندسه اندازه‌گیری مناسب از اهمیت فراوانی برخوردار است. مطابق با استاندارد ASTM D523، براقیت ابتدا تحت زاویه 60° اندازه‌گیری می‌شود. در صورتی که مقدار براقیت از ۷۰ GU بیشتر و به عبارت دیگر سطح براق باشد، اندازه‌گیری تحت هندسه 20° انجام می‌گیرد.

برای سطوح ماتی که مقدار براقیت آن‌ها در 60° از ۱۰ GU کمتر است، اندازه‌گیری در زاویه 85° صورت می‌گیرد. در مورد روکش‌های سطح خودرویی که براقیت بالا مطلوب است، مقدار براقیت در زاویه 20° باید بیشتر از ۸۰ GU باشد [۲۶-۲۳].

۳-۱-۴- وضوح تصویر

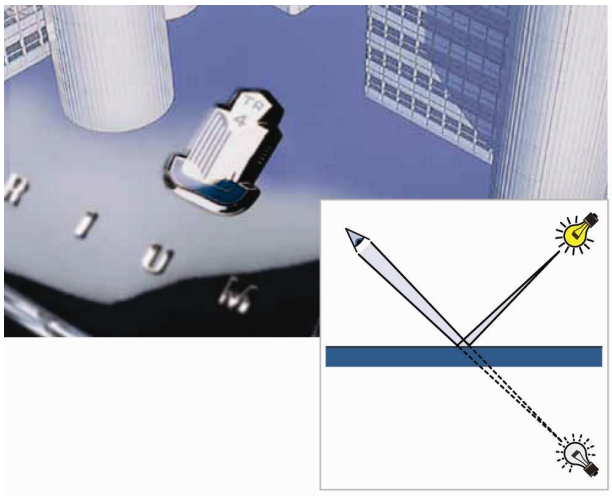
مطابق با استاندارد ASTM E284 وضوح تصویر به معنای وضوح تصاویر ایجاد شده از اجسام اطراف در سطح و در اثر انعکاس نورتعریف می‌گردد. وضوح تصویر در ارزیابی بصری روکش‌های سطح خودرویی براق از اهمیت فراوانی برخوردار است [۲۷].

همان‌گونه که قبلاً اشاره شد، به هنگام ارزیابی وضوح تصویر، تمرکز مشاهده‌کننده بر روی تصویری است که در سطح مشاهده می‌کند نه خود سطح. شکل ۱۰ وضوح تصویر و منشا ادراک آن توسط مشاهده‌کننده را نشان می‌دهد.

جهت اندازه‌گیری وضوح تصویر مطابق با استاندارد ASTM E430، مقدار انعکاس آیینه‌ای نمونه مورد بررسی تحت زاویه تابش 30° با مقدار انعکاس در زاویه $30^\circ \pm 0/3^\circ$ مقایسه گردیده و وضوح تصویر با استفاده از این داده‌ها از طریق رابطه ۳ مورد محاسبه قرار می‌گیرد.

$$DOI = \left(\frac{R_s - R_{0.3^\circ}}{R_s}\right) \times 100 \qquad (۳)$$

در این رابطه، R_s مقدار انعکاس آیینه‌ای در زاویه انعکاس آیینه‌ای 30° و $R_{0.3^\circ}$ مقدار انعکاس در $0/3^\circ$ فاصله از زاویه انعکاس آیینه‌ای می‌باشد [۲۳, ۲۸].



شکل ۱۰- تصویری از وضوح تصویر و منشا ادراک آن در روکش سطح خودرویی [۲۲].

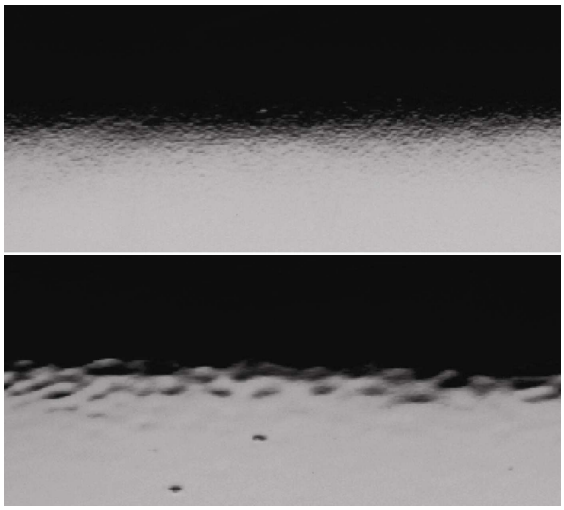
[1] Gloss Unit

۳-۱-۵- پوست پرتقالی

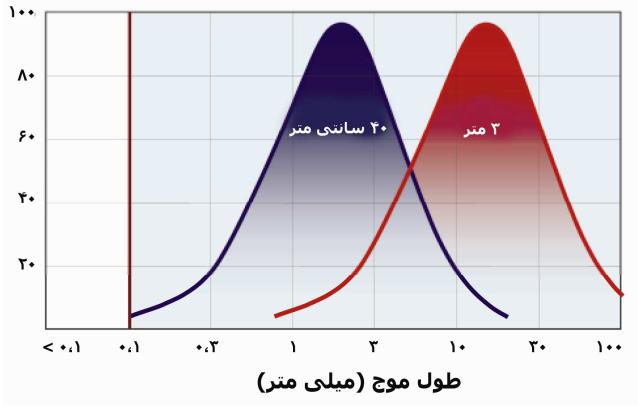
در اثر عوامل گوناگونی همچون زبری زیرآیند فلزی و لایه آستری، روش اعمال، ضخامت فیلم، جریان‌پذیری و قابلیت یکنواخت‌شدن پوشرنگ و فرمولاسیون آن و دیگر عوامل فرآیندی، در سطح یک روکش سطح خودرویی، ساختارهای فیزیکی[1] با اندازه‌های متفاوت ایجاد خواهد شد. وجود این ساختارهای فیزیکی در سطح روکش که به صورت یک الگوی موج‌دار (دارای قله و دره) و نواحی تیره و روشن مشاهده می‌گردد، تحت عنوان پدیده پوست پرتقالی شناخته می‌شود. مطابق با استاندارد ASTM E284، پوست پرتقالی به عنوان نوعی بی‌نظمی سطحی که همانند پوست یک پرتقال به چشم می‌آید، تعریف می‌گردد [۴]. این پدیده که به شکل نامطلوبی در روکش‌های سطح خودرویی به چشم می‌خورد، امروزه به عنوان یکی از بزرگترین چالش‌های صنعت خودروسازی در سراسر جهان و نیز شرکت‌های داخلی مطرح می‌باشد. در شکل ۱۱ تصاویری از دو نمونه روکش سطح خودرویی با درجات پوست پرتقالی متفاوت نشان داده شده است.

پدیده پوست پرتقالی را می‌توان از فواصل متفاوتی از سطح در حدود ۴۰ سانتی‌متر تا ۳ متر مشاهده نمود. با این وجود، چشم انسان تنها می‌تواند الگوی موجی سطح را به صورت نواحی تیره و روشن مشاهده نماید و قادر به تشخیص اندازه واقعی و دقیق اختلاف ارتفاع برآمدگی‌ها و فرورفتگی‌های موج نمی‌باشد. حداقل اختلاف ارتفاع قابل تشخیص توسط چشم انسان در حدود ۲۰ میکرون است. این در حالی است که در مورد یک روکش سطح خودرویی، الگوی موج‌دار و به عبارت دیگر اثر پوست پرتقالی سطح اختلاف ارتفاعی در حدود ۱ میکرون و اندازه ساختاری در حدود ۰/۱ تا ۳۰ میلی‌متر (در قالب طول موج) دارد. ادراک فیزیولوژیکی انسان‌ها از ساختارهای فیزیکی موجود در سطح روکش، علاوه بر اندازه ساختار به قدرت تفکیک‌پذیری چشم و نیز فاصله مشاهده بستگی دارد. در شکل ۱۲، میزان حساسیت چشم انسان به اندازه ساختار فیزیکی سطح نشان داده شده است [۲۹].

[1] Physical structures



شکل ۱۱- تصویری از روکش‌های سطح خودرویی با درجات پوست پرتقالی متفاوت [۴].



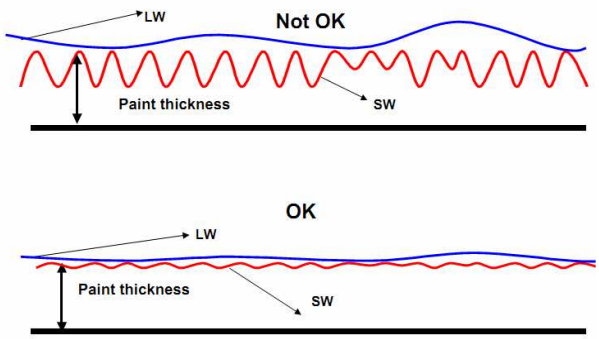
شکل۱۲- حساسیت چشم انسان به اندازه ساختار فیزیکی سطح [۲۹].

در فاصله ۴۰ سانتی‌متری از سطح، مشاهده‌کننده قادر به مشاهده جزئیات بیشتر و تشخیص اندازه ساختارهایی در حدود ۰/۱ تا ۱۰ میلی متر (در قالب طول موج) است که چشم حداکثر حساسیت خود را در محدوده طول موج ۱ تا ۳ میلی‌متر نشان می‌دهد. این ساختارهای کوچک در محدوده طول موج ۰/۱ تا ۱ میلی‌متر تحت عنوان موج کوتاه[1] (SW) شناخته می‌شود. در فاصله مشاهده ۳ متر، مشاهده‌کننده ساختارهایی با اندازه بزرگتر در حدود ۳ تا ۱۰۰ میلی‌متر (در قالب طول موج) را تشخیص می‌دهد و حداکثر حساسیت چشم در محدوده طول موج ۱۰ تا ۳۰ میلی‌متر می‌باشد. این ساختارهای بزرگ تحت عنوان موج بلند[2] (LW) شناخته می‌شود. بررسی‌ها نشان داده است که عدم جریان‌پذیری مناسب پوشرنگ و یکنواخت شوندگی نامناسب آن منجر به ایجاد موج‌های بلند در سطح روکش و بروز پدیده پوست پرتقالی می‌شود. در حالی‌که تغییر در زبری زیرآیند فلزی و لایه آستری در ایجاد موج‌های کوتاه در سطح موثر است. در بررسی میزان پوست پرتقالی بودن یک روکش سطح خودرویی همواره مطلوب این است که میزان موج‌های کوتاه و نیز بلند سطح به حداقل برسد [۲۹, ۳۰]. شکل ۱۳ نمایشی از موج‌های کوتاه و موج‌های بلند را در دو روکش سطح خودرویی با درجات پوست پرتقالی متفاوت نشان داده است.

[1] Short wave
[2] Long wave

۳-۱-۶- ابلقی‌شدن

یکی از عوامل تاثیرگذار بر کیفیت رنگی روکش‌های سطح خودرویی ابلقی‌شدن است. این ویژگی ظاهری به صورت تغییرات روشنایی و سایه روشن در فیلم روکش مشاهده شده و اغلب در روکش‌های سطح متالیک با رنگ روشن رخ می‌دهد. شکل ۱۴ تصویری از این پدیده ظاهری را نشان می‌دهد. ابلقی‌شدن به عنوان یک ویژگی ظاهری نامطلوب که بیشتر بر روی سطوح بزرگ قابل مشاهده است، در اثر عواملی همچون فرمولاسیون پوشرنگ و نیز روش اعمال ایجاد می‌گردد. اما عدم آرایش یافتگی رنگدانه‌های ورقه‌ای به عنوان اصلی‌ترین عامل بروز این پدیده مطرح است. ناسازگاری ترکیبات موجود در فرمولاسیون پوشرنگ و نیز نایکنواختی ضخامت روکش پایه منجر به آرایش یافتگی نامناسب رنگدانه‌های متالیک و در نتیجه ایجاد پدیده ابلقی‌شدن می‌شود. همانند پوست پرتقالی شدن عواملی همچون نحوه تابش نور، هندسه مشاهده، فاصله مشاهده و اندازه سایه روشن سطح بر میزان ابلقی‌بودن روکش سطح موثر است. بررسی‌ها نشان داده است که در ارزیابی ابلقی‌شدن روکش‌های سطح خودرویی، اغلب افراد متخصص و نیز غیر متخصص قادرند سایه روشن‌هایی با اندازه ۵۰ تا ۱۰۰ میلی‌متر را مشاهده نمایند [۳۱].



شکل ۱۳- نمایشی از موج کوتاه (SW) و بلند (LW) در یک روکش سطح خودرویی [۳۰].

شکل ۱۴- تصویری از ابلقی شدن در یک روکش سطح خودرویی [۳۱].

۴- نتیجه‌گیری

در دنیای امروز که هر لحظه در حال تحول است، توسعه صنایع مدرن و رو به رشد تا حد زیادی مرهون ترقی و پیشرفت‌های صورت گرفته در زمینه روکش‌های سطوح، به منظور حفاظت و نیز ارتقاء جلوه ظاهری کالاهای تولیدی است. در این میان هیچ صنعتی به اندازه صنعت خودروسازی از گام‌های بلندی که دانشمندان و تولیدکنندگان در حیطه روکش‌های سطح برداشته‌اند، سود نبرده است. از دیدگاه خریدار خودرو می‌توان مهم‌ترین ویژگی یک روکش سطح خودرویی را جلوه ظاهری آن دانست که شامل خصوصیاتی همچون رنگ، براقیت، وضوح تصویر و پوست پرتقالی شدن می‌گردد.

امروزه هر یک از شرکت‌های خودروسازی در سراسر جهان با تدوین استانداردهای مشخص اقدام به اندازه‌گیری و کنترل جلوه ظاهری خودروهای تولیدی خود می‌نمایند که در اغلب این استانداردها تمایل به همگونی رنگ در بخش‌های مختلف بدنه خودرو، بالا بودن جلا و وضوح تصویر و پایین بودن میزان پوست پرتقالی شدن روکش سطح خودرویی به چشم می‌خورد.

۵- تشکر و قدردانی

مولفان بدین وسیله وظیفه خود می‌دانند که از حمایت‌های قطب علمی رنگ و شرکت ایران خودرو در قالب طرح پژوهشی شماره ۱۰۰۲۴ تشکر نمایند.

۶- مراجع

۱. م. فقیه نصیری، ه. وجدانی طهرانی، "وضعیت صنعت خودرو در ایران و جهان"، دفتر مطالعات اقتصادی - گروه تولید، معاونت برنامه‌ریزی و بررسی‌های اقتصادی، **۱۳۸۲**.

۲. "بررسی صنعت خودرو، ارزشیابی سهام شرکت‌های سایپا و ایران خودرو و تحلیل مقایسه‌ای نسبت‌های مالی دو شرکت"، واحد مشاوره و سبدگردانی شرکت کارگزاری خبرگان سهام، **۱۳۸۹**.

3. T. Dirking, N. Willenbacher, L. Boggs, "Elongational flow behavior of automotive coatings and its relation to atomization and mottling", Prog. Org. Coat. 42, 59-64, **2001**.
4. H. J. Streitberger, K. F. Dossel, "*Automotive paints and coatings*", Second edition, Weinheim, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, **2008**.
5. G. Fettis, "*Automotive paints and coatings*", First edition, New York, VCH Publishers, **1995**.
6. S. Weixel, "BYK-mac with smart-chart - The QC solution for effect coatings, BYK-Gardner GmbH", 6th BYK-Gardner US User Meeting, Dearborn, **April 2011**.
7. I. Wheeler, "*Metallic pigments in polymers*", First edition, Rapra Technology Limited, **1999**.
8. J. Alspach, A. Rodrigues, "Measurement and specification of gonioapparent color and appearance, DuPont performance coatings", 6th BYK-Gardner US User Meeting, Dearborn, **2011**.
9. M. E. Nadal, E. A. Early, "Color measurements for pearlescent coatings", Color Res. Appl. 29, 38-42, **2004**.
10. L. J. Gerhardt, "Paint perceptual quality: Measuring what the customer values, General motors global paint & polymers", 6th BYK-Gardner US User Meeting, Dearborn, **2011**.
11. G. Kigle-Böckler, "Harmony: Uniform color & Appearance", 6th BYK-Gardner US User Meeting, Dearborn, **2011**.
12. "Uniform Color and Appearance of Exterior Automotive Finishes", http: //www .byk. com/ fileadmin /BYK /downloads /support-downloads/ instruments/ theory/articles /en/ Uniform -Color.pdf, **2010**.
13. C. S. McCamy, "Observation and measurement of the appearance of metallic materials. Part I. Macro appearance", Color Res. Appl. 21, 292-304, 1996.
14. C. S. McCamy, "Observation and measurement of the appearance of metallic materials. Part II. Micro appearance", Color Res. Appl. 23, 362-373, 1998.
15. A. Karbasi, S. Moradian, N. Tahmassebi, P. Ghodsi, "Achievement of optimal aluminum flake orientation by the use of special cubic experimental design", Prog. Org. Coat. 57, 175-182, **2006**.
16. E. Kirchner, J. Houweling, "Measuring flake orientation for metallic coatings", Prog. Org. Coat. 64, 287-293, **2009**.
17. ASTM Standards on color and appearance, 8th edition. West conshohocken, PA: ASTM international, **2008**.
18. E. Kirchner, G. J. van den Kieboom, L. Njo, R. Super, R. Gottenbos, "Observation of visual texture of metallic and pearlescent Materials", Color Res. Appl. 32, 256 - 266, **2007.**
19. CIE Publ. 175, "A framework for the measurement of visual appearance", Vienna: central bureau of the CIE, **2006**.
20. N. Dekker, E. J. J. Kirchner, R. Super, G. J. van den Kieboom, R. Gottenbos, "Total appearance differences for metallic and pearlescent materials: Contributions from color and texture", Color Res. Appl. 36, 4-14, **2011**.
21. C. Eugene, "Measurement of total appearance: A CIE challenge of soft metrology", 12th IMEKO TC1 & TC7 Joint Symposium on Man, Science & Measurement, **2008**.
22. "Introduction - Appearance perception", http: //www.byk.com /fileadmin /BYK/downloads/support-downloads /instruments /theory/ appearance/en/Intro_Appearance.pdf, **2010**.
23. "Introduction - Gloss measurement", http:// www.byk.com /fileadmin/BYK/downloads/support-downloads /instruments /theory/appearance/en/Intro-Gloss.pdf, **2010**.
24. R. S. Hunter, R. W. Harold, "*The measurement of appearance*", Second edition, Wiley Interscience, **1987**.
25. M. Lindstrand, "Gloss: measurement, characterization and visualization-in the light of visual evaluation", Thesis No. 975, Linkoping University, **2002**.
26. R. Silvennoinen, K. E. Peiponen, K. Muller, "S*pecular gloss*", Elsevier, **2008**.

27. American society for testing and materials, "ASTM D 523 - 89", Standard test method for specular gloss, **1999**.
28. American society for testing and materials, "ASTM E284-09a", Standard terminology of appearance, **2009**.
29. "Introduction-Orange peel", http:// www.byk. Com /fileadmin/BYK/downloads/support-downloads / instruments /theory /appearance/en/Intro-Orange-Peel.pdf, **2010**.
30. G. Kigle-Böckler, "Surface quality control on high and medium gloss surfaces: Wave-scan dual", 7th wave-scan User Meeting, **2006**.
31. S. Wimmer, "Cloud-runner - measurement of mottling", 9th BYK-Gardner User Meeting, **2010**.