



تعیین کمی درک بصری براقیت، وضوح تصویر و پوست پرتقالی روکش‌های سطح خودروبی با استفاده از یک مقیاس خاکستری با فواصل برابر بصری

سیده هدی صادقی^۱، سیامک مرادیان^{۲،۳}، فرهاد عامری شهرابی^۴، فرشته میرجلیلی^۵
 ۱- کارشناس ارشد، 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- قطب علمی رنگ، موسسه پژوهشی علوم و فناوری رنگ، تهران، ایران، صندوق پستی: ۱۶۷۶۵-۶۵۴
 ۴- استادیار، گروه پژوهشی فیزیک رنگ، موسسه پژوهشی علوم و فناوری رنگ، تهران، ایران، صندوق پستی: ۱۶۷۶۵-۶۵۴
 ۵- دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی پلیمر و رنگ، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران، صندوق پستی: ۱۵۸۷۵-۴۴۱۳
 تاریخ دریافت: ۹۱/۳/۲۸ تاریخ پذیرش: ۹۱/۷/۱۸ در دسترس به صورت الکترونیکی از: ۱۳۹۱/۱۲/۲۰

چکیده

در این پژوهش، تلاش‌هایی جهت کمی نمودن ادراک بصری جلوه ظاهری روکش‌های سطح خودروبی توسط ۷ مشاهده‌کننده صورت پذیرفته است. برای دستیابی به این هدف، با استفاده از روکش‌های سطح خودروبی مشکی متالیک و سفید، سه مقیاس فیزیکی برای ویژگی‌های ظاهری براقیت آینه‌ای، وضوح تصویر و پوست پرتقالی تهیه گردید. این مقیاس‌ها تحت هندسه تابش/دید ۴۵/۰ و با استفاده از یک مقیاس خاکستری به صورت بصری مورد ارزیابی قرار گرفتند و خطای مشاهده‌کننده‌ها از طریق پارامترهای آماری مناسب محاسبه گردیدند. نتایج حاصل از بررسی صحت ارزیابی مشاهده‌کننده‌ها با استفاده از پارامترهای آماری مناسب نشان می‌دهد که کمترین مقادیر خطای مشاهده‌کننده‌ها در ارزیابی بصری مربوط به نمونه‌های مقیاس پوست پرتقالی و بیشترین مقادیر خطا مربوط به نمونه‌های مقیاس براقیت آینه‌ای است. همچنین کمی نمودن ارزیابی بصری نمونه‌های سفید در مقایسه با نمونه‌های مشکی متالیک برای مشاهده‌کننده‌ها دشوارتر می‌باشد. واژه‌های کلیدی: جلوه ظاهری، روکش سطح خودروبی، مقیاس براقیت، مقیاس وضوح تصویر، مقیاس پوست پرتقالی، ارزیابی بصری، مقیاس خاکستری.

Quantifying Visual Perception of Gloss, Distinctness of Image and Orange Peel of Automotive Finishes Utilizing a Visually Spaced Grey Scale

S. H. Sadeghi¹, S. Moradian^{1,2}, F. Ameri^{*3}, F. Mirjalili¹

¹ Department of Polymer Engineering & Color technology, Amirkabir University of Technology, P.O.Box: 15875-4413, Tehran, Iran

² Center of Excellence for Color Science and Technology, Institute for Color Science and Technology, P.O.Box: 16765-654, Tehran, Iran

³ Department of Color Physics, Institute for Colorants, Paint and Coatings, P.O.Box: 16765-654, Tehran, Iran

Received: 17-06-2012

Accepted: 09-10-2012

Available online: 08-02-2013

Abstract

In this study, attempts were made to quantify appearance perception of automotive finishes based on visual assessed data of 7 observers. To this end, three physical scales of appearance attributes, namely specular gloss, distinctness of image and orange peel were prepared using white and metallic black automotive finishes. The scales were visually evaluated under a 45/0 illumination and observation geometry by means of a grey scale technique, and observers accuracy were calculated using appropriate statistical parameters. The results showed that there seems to be a noticeable difference between the visual assessment of orange peel in comparison with specular gloss and distinctness of image. Moreover, it was found that quantification of visual perception of appearance attributes for white samples is much more difficult than black samples. *J. Color Sci. Tech.* 6(2013), 377-384 © Institute for Color Science and Technology.

Keywords: Appearance, Automotive finishes, Gloss scale, Distinctness of Image scale (DOI), Orange peel scale, Visual assessment, Grey scale.

۱- مقدمه

جلوه ظاهری روکش‌های سطح خودرویی ادراکی بصری از صفاتی همچون رنگ، بافتار، براقیت، عدم وجود پوست پرتقالی و غیره می‌باشد [۱]. از این رو اندازه‌گیری و کنترل خواص هندسی روکش‌های سطح خودرویی از جمله براقیت، وضوح تصویر و پوست پرتقالی از اهمیت فراوانی برخوردار است [۲-۷].

حدود دو دهه است که روکش‌های سطح با اثرات ویژه یعنی روکش‌های سطح متالیک و صدفی، بازار روکش‌های سطح خودرویی را تحت کنترل خود درآورده‌اند. این در حالی است که کاربرد این نوع روکش‌ها با سرعت قابل توجهی در حال افزایش می‌باشد. علت این اقبال عمومی را می‌توان ویژگی‌های ظاهری منحصر به فرد آنها دانست. در این دسته از روکش‌های سطح، جلوه ظاهری وابسته به هندسه مشاهده می‌باشد [۸-۱۰]. صرف نظر از رنگ و اثرات ویژه‌ای همچون تالو^۱ و زبری بصری^۲، می‌توان از براقیت آینه‌ای، وضوح تصویر و پوست پرتقالی به عنوان مهم‌ترین ویژگی‌های ظاهری یک روکش سطح خودرویی نام برد [۱۱]. با توجه به اهمیت روزافزون این عوامل در جلوه ظاهری یک خودرو، دستگاه‌های متعددی جهت اندازه‌گیری آنها طراحی شده است و مورد استفاده قرار گرفته است. مهم‌ترین این دستگاه‌ها عبارتند از براقیت‌سنج، وضوح تصویرسنج^۳، ابری‌سنج^۴ و موج‌سنج^۵ که آخرین دستگاه به منظور اندازه‌گیری کمی میزان پوست پرتقالی شدن روکش سطح مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این جا توجه به این نکته ضروری است که برای روکش‌های سطح خودرویی براقیت آینه‌ای و وضوح تصویر بالا و پوست پرتقالی کم مطلوب می‌باشد [۱۲، ۱۳].

به منظور کنترل کیفیت ظاهری روکش‌های سطح خودرویی، ارزیابی بصری^۶ محصول توسط افراد متخصص در کنار اندازه‌گیری‌های دستگاهی از اهمیت فراوانی برخوردار می‌باشد، به نحوی که امروزه در بسیاری از برجسته‌ترین شرکت‌های خودروسازی جهان از جمله بی‌ام‌و، ارزیابی بصری جلوه ظاهری روکش سطح خودرو بر نتایج حاصل از اندازه‌گیری ویژگی‌های ظاهری توسط دستگاه‌ها ارجحیت دارد. زیرا کاملاً روشن است که در برآورد کیفیت محصول، این چشم انسان است که به عنوان قاضی نهایی عمل می‌کند. از این رو، یافتن ارتباط میان ادراک بصری انسان‌ها از ویژگی‌های ظاهری و نتایج حاصل از اندازه‌گیری‌های دستگاهی همواره مورد توجه محققان و صنعتگران روکش‌های سطح خودرویی بوده است.

علاوه بر این، در مطالعات مربوط به روش ادراک بصری افراد از

جلوه ظاهری و یافتن ارتباط میان آن با اندازه‌گیری‌های دستگاهی از روش‌های گوناگون به منظور انجام ارزیابی‌های بصری استفاده می‌گردد که آزمون‌های بصری مربوط به این روش‌ها را می‌توان به دو نوع تقسیم نمود:

۱. آزمون‌های آستانه‌ای^۷ و همانندی^۸ که به منظور تعیین میزان حساسیت بصری به تغییرات کوچک در محرک انجام می‌شود.

۲. آزمون‌های مقیاس‌گذاری که جهت به دست آوردن رابطه میان مقادیر صفات فیزیکی و ادراکی محرک صورت می‌گیرد [۱۴].

از آن جایی که در اغلب مطالعات مربوط به ادراک بصری جلوه ظاهری روکش‌های سطح خودرویی هدف یافتن ارتباط میان کمیت‌های فیزیکی قابل اندازه‌گیری از سطح همچون براقیت آینه‌ای و وضوح تصویر، با ادراک بصری از این ویژگی‌ها می‌باشد، استفاده از آزمون‌های مقیاس‌گذاری سودمندتر است. متداول‌ترین روش‌های مورد استفاده در آزمون‌های مقیاس‌گذاری مورد استفاده در ارزیابی بصری خواص هندسی سطوح شامل موارد زیر می‌باشد:

۱. روش رتبه بندی^۹: در این روش از مشاهده‌کننده‌ها خواسته می‌شود تا نمونه‌ها را بر حسب افزایش یا کاهش در یک ویژگی بصری خاص مرتب نمایند. در حالی که این روش در مقایسه با دیگر روش‌های مقیاس‌گذاری بصری روش ساده‌ای است، زمانی که اختلاف ویژگی مورد نظر بین نمونه‌ها اندک است، اغلب مشاهده‌کنندگان از دادن هر گونه نظر واحدی خودداری می‌کنند. از این روش مقیاس‌گذاری معمولاً به عنوان یک مرحله مقدماتی در کنار دیگر روش‌ها استفاده می‌گردد [۱۵، ۱۶].

۲. روش مقایسه جفت‌ها^{۱۰}: در این روش یک جفت از نمونه‌ها به شکل اتفاقی به مشاهده‌کننده ارائه شده و از وی خواسته می‌شود تا بگوید کدام نمونه از نظر دارا بودن ویژگی بصری مورد نظر بزرگ‌تر یا کوچک‌تر است. در حالت دیگری از این روش، جفت نمونه با یک جفت استاندارد که از حیث کیفیت مورد بررسی دارای اختلاف واحدی است مقایسه شده و اختلاف کیفیت مورد بررسی به صورت نسبی از آن واحد ارائه می‌شود [۱۷].

۳. روش تخمین مقدار^{۱۱}: در این روش نمونه‌ای به تصادف انتخاب و به مشاهده‌کننده ارائه شده و از وی خواسته می‌شود تا به ویژگی بصری مورد بررسی در آزمایش، عددی به عنوان مقدار به آن اختصاص یابد. در این روش معمولاً برای سهولت انجام آزمون توسط مشاهده‌کننده از یک نمونه مرجع استفاده می‌گردد [۱۷].

۴. روش مقیاس خاکستری^{۱۲}: در این روش اختلاف در ویژگی بصری

7- Threshold

8- Matching

9- Rank ordering

10- Pair comparison

11- Magnitude estimation

12- Grey scale

1- Glint

2- Coarseness

3- DOI meter

4- Haze meter

5- Wave Scan

6- Visual assessment

ساخت شرکت رنگ آفرین، مشابه با شرایط خط تولید شرکت ایران خودرو انجام گرفته است. در نهایت رنگ‌های روبه^۳ و لایه شفاف^۴ توسط پاشش به صورت تر روی تر^۵ بر روی نمونه‌ها اعمال گردیده است. همان گونه که در بخش مقدمه ذکر شده است، هدف از انجام این پژوهش بررسی نحوه ادراک بصری مشاهده‌کننده‌ها از ویژگی‌های ظاهری روکش‌های سطح خودرویی می‌باشد. از این رو نمونه‌های مورد استفاده در این تحقیق به صورت سه مقیاس براقیت، وضوح تصویر و پوست پرتقالی در هر یک از دو فام سفید و مشکی متالیک تهیه شده است [۱۹].

۲-۲- روش کار

به منظور اندازه‌گیری پارامترهای هندسی نمونه‌های تهیه شده شامل براقیت آینه‌ای و وضوح تصویر از گونیوفوتومتر Novo-Gloss I.Q. ساخته شده توسط Rhopoint Instruments استفاده گردیده است. اندازه‌گیری‌های مربوط به این دو پارامتر تحت هندسه ۲۰° انجام شده است. همچنین به منظور تعیین میزان پوست پرتقالی سطح از دستگاه موج سنج wave scan DOI ساخته شده توسط BYK Gardner استفاده گردیده است. با توجه به اهمیت موج‌های بلند و تاثیر بیشتر آن بر میزان پوست پرتقالی سطح در مقایسه با موج‌های کوتاه، از میان پارامترهای خروجی دستگاه موج‌سنج، پارامتر موج بلند^۶ (LW) به عنوان معیاری از پوست پرتقالی سطح نمونه‌ها انتخاب شده و در ارزیابی نتایج مورد استفاده قرار گرفته است [۱]. مشخصات مقیاس‌های تهیه شده شامل تعداد نمونه‌ها و نیز محدوده تغییرات پارامترهای اندازه‌گیری شده در هر مقیاس در جدول ۱ آورده شده است.

- 1- Electrodeposition primer
- 2- Primer surfacer
- 3- Base coat
- 4- Clear coat
- 5- Wet on wet
- 6- Long Wave

دو نمونه تصادفی از مجموعه نمونه‌ها با اختلاف در میزان روشنایی یک سری نمونه استاندارد خاکستری با نمونه خاکستری مرجع توسط مشاهده‌کننده مقایسه و معادل می‌گردد. در مجموعه نمونه‌های خاکستری که تحت عنوان مقیاس خاکستری شناخته می‌شود، اختلاف در روشنایی از نمونه مرجع تا آخرین نمونه به صورت تابعی نمایی افزایش می‌یابد. از آن جایی که این روش امکان مقایسه نتایج به دست آمده در زمان‌های مختلف را فراهم می‌سازد، در مطالعه ادراک جلوه ظاهری سطوح بسیار مورد استفاده قرار می‌گیرد [۱۸].

با توجه به اهمیت فراوان ویژگی‌های ظاهری روکش‌های سطح خودرویی شامل براقیت، وضوح تصویر و پوست پرتقالی، در این پژوهش تلاش گردیده تا با بهره‌گیری از روش مقیاس خاکستری به عنوان یک روش مقیاس‌گذاری قدرتمند، به بررسی نحوه ادراک انسان‌ها از این ویژگی‌ها پرداخته شود. برای دستیابی به این هدف، با استفاده از روکش‌های سطح خودرویی مشکی متالیک و سفید سه مقیاس فیزیکی برای براقیت آینه‌ای، وضوح تصویر و پوست پرتقالی تهیه شده و توسط چندین مشاهده‌کننده تحت ارزیابی بصری قرار گرفته است. سپس با استفاده از پارامترهای آماری مناسب، صحت مشاهده‌کننده‌ها و نیز ارزش و اهمیت هر یک از این ویژگی‌ها از دیدگاه مشاهده‌کننده‌ها مورد بررسی قرار گرفته است.

۲- بخش تجربی

۲-۱- مواد

در این پژوهش به منظور تهیه نمونه‌های مورد نظر به عنوان مقیاس‌های براقیت آینه‌ای، وضوح تصویر و پوست پرتقالی با استفاده از دو روکش سطح سفید و مشکی متالیک از ورقه‌های فولادی با ابعاد $10 \times 20 \text{ cm}^2$ استفاده گردیده است. آماده‌سازی نمونه‌ها شامل مراحل شستشو، چربی‌گیری، اعمال لایه‌های فسفات تری کاتیونی، لایه آستری الکتروپوشانش^۱ و لایه آستری همترازکننده^۲ سفید و دودی

جدول ۱: تعداد نمونه‌ها و محدوده تغییرات پارامترهای براقیت آینه‌ای و وضوح تصویر در زاویه ۲۰° و موج بلند در سه مقیاس براقیت، وضوح تصویر و پوست پرتقالی.

تعداد نمونه‌ها	محدوده تغییرات			نمونه	مقیاس
	موج بلند (LW)	وضوح تصویر	براقیت آینه‌ای		
۱۲	۵,۸-۶,۶	۹۲,۷-۹۷,۹	۶۵,۶-۸۸,۶	مشکی متالیک	براقیت
۱۲	۲,۴-۶,۶	۸۰,۹-۹۸,۵	۶۵,۵-۸۷,۳	سفید	
۱۵	۴,۴-۹,۵	۵۳,۳-۹۸,۴	۸۰-۹۱,۲	مشکی متالیک	وضوح تصویر
۱۵	۲,۶-۷,۸	۵۵-۹۸,۸	۸۰-۹۳	سفید	
۱۶	۴,۴-۷۲,۹	۶۵-۹۷,۸	۸۴,۵-۹۲,۷	مشکی متالیک	پوست پرتقالی
۱۳	۲,۶-۷۳,۵	۶۳,۹-۹۹,۸	۸۰,۱-۹۱,۹	سفید	

و GretagMacbeth ColorEye 7000A تحت منبع نوری D65 و مشاهده کننده استاندارد 10° ، در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۲: مقادیر اختلاف رنگ (ΔE^*) نمونه‌های مقیاس خاکستری با نمونه مرجع (نمونه شماره ۱).

نمونه	اختلاف رنگ (ΔE^*_{1976})
۱ (مرجع)	۰
۲	۱,۷۰
۳	۲,۳۹
۴	۴,۳۳
۵	۵,۹۳
۶	۷,۸۲
۷	۱۰,۱۳
۸	۱۴,۰۳

به منظور مقایسه نتایج بدست آمده از ارزیابی بصری مقیاس پوست پرتقالی تهیه شده در این پژوهش با یک مقیاس استاندارد، مقیاس پوست پرتقالی شرکت خودروسازی فورد تهیه شده توسط شرکت ACT^۱ نیز توسط مشاهده کننده‌ها با استفاده از مقیاس خاکستری مورد ارزیابی قرار گرفته است. این مقیاس شامل ۱۰ نمونه مشکی غیر متالیک و در ابعاد $10 \times 15 \text{ cm}^2$ می‌باشد که توسط یک سری مشاهده کننده بر اساس کاهش میزان پوست پرتقالی مرتب و به ترتیب با اعداد ۱ تا ۱۰ رتبه بندی شده است.

۲-۲-۲-۲ بررسی صحت مشاهده کننده‌ها

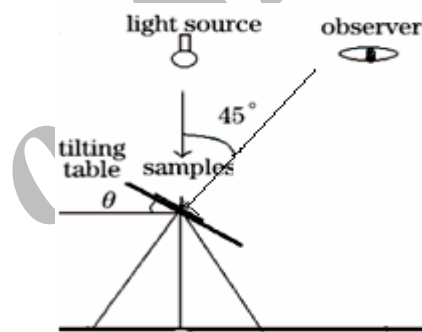
در هر آزمون بصری حصول اطمینان از صحت نتایج ارائه شده توسط مشاهده کننده‌ها به منظور استفاده از این نتایج از اهمیت فراوانی برخوردار است. از این رو در این پژوهش تلاش گردیده که با استفاده از پارامترهای آماری مناسب صحت مشاهده کننده‌ها از طریق بررسی قابلیت تکرارپذیری^۲ و قابلیت دوباره تولید^۳ مشاهده کننده‌ها مورد ارزیابی قرار گیرد. تکرارپذیری هر مشاهده کننده نشان می‌دهد که وی در ارائه نتایج ارزیابی خود تا چه میزان صحت داشته است. در حالی که قابلیت دوباره تولید مشاهده کننده‌ها نتایج ارائه شده توسط یک مشاهده کننده را با متوسط نتایج به دست آمده توسط دیگر مشاهده کننده‌ها مقایسه می‌نماید [۲].

در مطالعات مربوط به ادراک بصری مشاهده کننده‌ها از ویژگی‌های ظاهری همچون رنگ و براقیت، پارامترهای آماری متعددی توسط محققان [۲۰،۲۱] مورد استفاده قرار می‌گیرد که از میان آنها می‌توان

۲-۲-۱- ارزیابی بصری

همان گونه که قبلاً اشاره شد، به منظور ارزیابی بصری مقیاس‌های تهیه شده در این پژوهش از روش مقیاس خاکستری استفاده شده است. برای این منظور، ۷ مشاهده کننده شامل ۲ مرد و ۵ زن با میانگین سنی ۳۰ سال در آزمایش‌های بصری شرکت نمودند. بینایی نرمال رنگی تمامی مشاهده کنندگان با گذراندن آزمون ایشی هارا تایید گردید.

با در نظر گرفتن سه مقیاس متفاوت برای نمونه‌های مشکی متالیک و سفید، ارزیابی‌ها به تفکیک روشنایی و مقیاس در سه بخش و بدون قائل شدن هیچ گونه محدودیت زمانی توسط مشاهده کننده‌ها در کابینت نوری VeriVide CAC 120 و تحت منبع نوری D65 با زاویه تابش 45° و زاویه مشاهده صفر درجه نسبت به خط عمود بر سطح نمونه انجام گرفته است. نمایی از هندسه ارزیابی بصری در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱: نمایی از هندسه ارزیابی بصری.

به منظور ارزیابی بصری مقیاس‌های تهیه شده با استفاده از مقیاس خاکستری، در هر مقیاس نمونه‌ای که دارای بیشترین مقدار از ویژگی مورد نظر در آن مقیاس است، به عنوان نمونه مرجع و معادل با نمونه مرجع در مقیاس خاکستری (نمونه شماره ۱) انتخاب شده است. به عنوان مثال در مقیاس براقیت آینه‌ای مشکی متالیک، نمونه‌ای که دارای بیشترین مقدار براقیت آینه‌ای (۸۸,۶) است، نمونه مرجع در نظر گرفته شده است. در دو مقیاس وضوح تصویر و پوست پرتقالی نیز انتخاب نمونه‌های مرجع به همین ترتیب انجام شده است.

مقیاس خاکستری مورد استفاده در این پژوهش با استفاده از پارچه پلی استر رنگرزی شده توسط ماده رنگزای دیسپرس Terasil Black SRL تهیه شده که شامل ۸ نمونه با ابعاد $10 \times 20 \text{ cm}^2$ می‌باشد و نمونه‌ها تنها در میزان روشنایی (L^*) با یکدیگر اختلاف دارند. مقادیر اختلاف رنگ (ΔE^*) نمونه‌های مقیاس خاکستری با نمونه مرجع (نمونه شماره ۱) اندازه‌گیری شده توسط اسپکتروفوتومتر

1- Advanced coatings technology

2- Observer repeatability

3- Observer reproducibility

رابطه ۳ استفاده می‌گردد:

$$STRESS = \left(\frac{\sum (X_i - F_1 Y_i)^2}{\sum F_1^2 Y_i^2} \right)^{1/2} \times 100 \quad (3)$$

در این رابطه X و Y دو مجموعه داده و F_1 برابر با $\frac{\sum X_i^2}{\sum X_i Y_i}$ می‌باشد. هر چه مقدار استرس محاسبه شده برای دو مجموعه داده کمتر باشد، تطابق آن‌ها بیشتر است. به عبارت دیگر در صورتی که X و Y دو مجموعه داده یکسان باشد، مقدار استرس برای آنها صفر خواهد بود [۲۱، ۲۰].

۳- نتایج و بحث

همان‌گونه که قبلاً اشاره شده است، برای حصول اطمینان از صحت مشاهده‌کننده‌ها لازم است تکرارپذیری و قابلیت دوباره تولید آنها مورد بررسی قرار گیرد. برای این منظور در این پژوهش از پارامترهای آماری ضریب پراکندگی ($CV\%$)، استرس و ضریب همبستگی (r^2) استفاده گردیده است.

۳-۱- تکرارپذیری مشاهده‌کننده‌ها

۱۱ نمونه مشکی متالیک و ۹ نمونه سفید برای بررسی میزان تکرارپذیری مشاهده‌کننده‌ها در ارزیابی بصری مقیاس براقت آینه‌ای انتخاب گردیده است. همچنین از میان تمامی نمونه‌های تهیه شده برای مقیاس وضوح تصویر، ۶ نمونه مشکی متالیک و ۱۴ نمونه سفید و نیز در مقیاس پوست پرتقالی تهیه شده ۸ نمونه مشکی متالیک و ۸ نمونه سفید و در مقیاس پوست پرتقالی ACT ۵ نمونه برای دستیابی به این هدف انتخاب گردیده است. به منظور بررسی قابلیت تکرارپذیری مشاهده‌کننده‌ها، هر نمونه ۲ بار توسط هر مشاهده‌کننده مورد ارزیابی بصری قرار گرفته و اختلاف آن با نمونه مرجع در مقیاس مورد نظر با مقیاس خاکستری سنجیده شده و در قالب عدد اختلاف رنگ (ΔE^*) در این مقیاس مورد بررسی قرار گرفته است. میانگین نتایج حاصل از محاسبه پارامترهای ضریب پراکندگی ($CV\%$) و استرس به عنوان معیاری از میزان خطای مشاهده‌کننده‌ها در سه مقیاس براقت، وضوح تصویر و پوست پرتقالی به ترتیب برای نمونه‌های مشکی متالیک و سفید در جداول ۳ و ۴ آورده شده است. همان‌گونه که قبلاً اشاره شد، مقادیر پارامترهای $CV\%$ و استرس بین صفر تا صد درصد متغیر می‌باشد و این بدان معناست که صفر کمترین میزان خطا و صد بیشترین میزان خطا را دارد. با بررسی نتایج ارائه شده در جداول ۳ و ۴ مشاهده می‌شود که تغییرات هر دو پارامتر فوق روند مشابهی دارد و مقدار استرس همواره کمتر از مقدار $CV\%$ است.

به ضریب همبستگی (r^2)، ضریب انحراف (V_{AB})، ضریب پراکندگی ($CV\%$)، پارامتر گاما (γ) و فاکتور عملکرد ($PF/3$) نام برد.

ضریب همبستگی (r^2) معمول‌ترین شاخص برای مطالعات بصری محسوب می‌گردد. این ضریب حاصل جمع مجذور خطای نقاط از بهترین خط عبورکننده از مجموعه داده‌ها است. به عبارت دیگر میزان خطی بودن رابطه میان دو دسته داده را نشان می‌دهد. ضریب انحراف (V_{AB}) پارامتر پیشنهاد شده توسط شولتز می‌باشد که میزان انحراف دو دسته داده با یکدیگر را نشان می‌دهد. ضریب پراکندگی ($CV\%$) که پراکندگی داده‌ها را در یک مجموعه داده حول مقدار میانگین نشان می‌دهد، پارامتر آماری بسیار مفیدی است که به منظور تعیین میزان انحراف یک مجموعه داده از یک مجموعه داده دیگر مورد استفاده قرار می‌گیرد، حتی در حالتی که میانگین دو مجموعه داده اختلاف قابل توجهی با یکدیگر داشته باشد. برای دو مجموعه داده X و Y پارامتر ضریب پراکندگی ($CV\%$) از رابطه ۱ محاسبه می‌گردد [۲۰]:

$$CV = \frac{100}{\bar{y}} \sqrt{\frac{\sum (X_i - Y_i)^2}{n}} \quad (1)$$

در این رابطه n تعداد نمونه‌ها در دو مجموعه داده X و Y و \bar{y} مقدار میانگین داده‌ها در مجموعه داده Y می‌باشد.

ضریب گاما (γ) مقیاسی است که فاصله نقاط را از بهترین خط عبوری از مجموعه داده‌ها اندازه‌گیری می‌نماید. در این حالت مقدار $(\gamma-1)$ برای مقادیر خطای کوچک برابر با ضریب پراکندگی ($CV\%$) می‌باشد. آخرین پارامتر مورد استفاده پارامتر $PF/3$ است که از ترکیب سه پارامتر آماری ذکر شده میزان انطباق داده‌ها را محاسبه می‌نماید (رابطه ۲).

$$PF/3 = 25[\gamma + V_{AB} + \frac{CV}{100}] \quad (2)$$

در این رابطه هر چه مقدار $PF/3$ به صفر نزدیک‌تر باشد، بدان معناست که دو مجموعه داده انحراف کمتر و بنابراین انطباق بیشتری با یکدیگر دارند [۲۰].

با وجود استفاده فراوان از پارامترهای ذکر شده در متون علمی، در سال‌های اخیر پارامتر جدیدی تحت عنوان "مجموع مربعات خطای استانداردسازی شده"^۱ که به اختصار با نام استرس^۲ شناخته می‌شود، معرفی شده است. از آن جایی که این پارامتر در مقایسه با پارامترهای قبلی بسیار ساده‌تر است، در مطالعات اخیر در حوزه جلوه ظاهری مورد استفاده فراوانی قرار گرفته است [۲۱، ۲۰]. به منظور محاسبه از

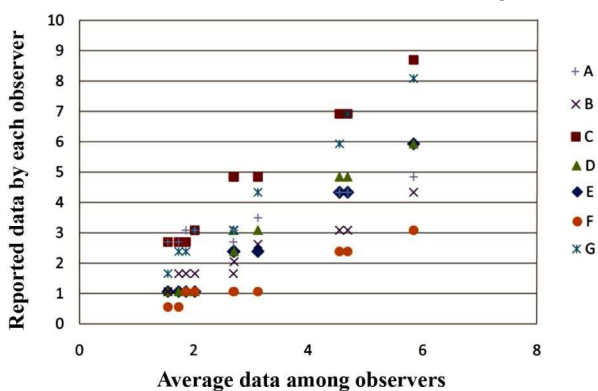
1- Standardized residual sum of squares

2- STRESS

۳-۲- قابلیت دوباره تولید مشاهده‌کننده‌ها

به منظور بررسی قابلیت دوباره تولید مشاهده‌کننده‌ها، اعداد گزارش شده توسط هر مشاهده‌کننده با متوسط اعداد گزارش شده توسط دیگر مشاهده‌کننده‌ها مقایسه گردیده و نتایج این مقایسه در قالب پارامترهای ضریب همبستگی (r^2) و ضریب پراکندگی (CV%) مورد بررسی قرار گرفته است.

با توجه به حجم بالای داده‌ها، نحوه پراکندگی اعداد گزارش شده توسط ۷ مشاهده‌کننده (A تا G) در ارزیابی بصری نمونه‌های مشکی متالیک در مقیاس براقیت آینه‌ای به عنوان نمونه در شکل ۲ نشان داده شده است. ضریب همبستگی (r^2) این داده‌ها به عنوان میزان اختلاف آنها از مقادیر میانگین ارائه شده توسط تمامی مشاهده‌کننده‌ها محاسبه گردیده است.



شکل ۲: میانگین نتایج مشاهده‌کننده‌ها برحسب داده‌های هر مشاهده‌کننده برای نمونه‌های مشکی متالیک در مقیاس براقیت.

نتایج حاصل از محاسبه مقادیر ضرایب همبستگی (r^2) و پراکندگی (CV%) همه مشاهده‌کننده‌ها برای نمونه‌های مشکی متالیک و سفید در مقیاس‌های براقیت آینه‌ای، وضوح تصویر و پوست پرتقالی در جدول‌های ۵ و ۶ نشان داده شده است.

با بررسی نتایج ارائه شده در جدول‌های ۵ و ۶، مشاهده می‌شود که مقادیر ضرایب همبستگی (r^2) مشاهده‌کننده‌ها برای تمامی مقیاس‌ها بسیار بالا و نزدیک به یک می‌باشد. این بدان معناست که انحراف از میانگین همه مشاهده‌کننده‌ها و در نتیجه خطای ارزیابی آنها بسیار ناچیز می‌باشد. هر چند مقادیر ضرایب همبستگی (r^2) هر مشاهده‌کننده و میانگین آن برای نمونه‌های سفید کمتر از نمونه‌های مشکی متالیک است. به عبارت دیگر، ارزیابی نمونه‌های سفید توسط مشاهده‌کننده‌ها به خصوص در مورد دو مقیاس براقیت آینه‌ای و وضوح تصویر، در مقایسه با نمونه‌های مشکی با خطای بیشتری همراه بوده است. بالاتر بودن مقادیر ضریب پراکندگی (CV%) نمونه‌های سفید در دو مقیاس فوق در مقایسه با مقیاس پوست پرتقالی نیز این مسئله را تایید می‌نماید.

جدول ۳: میانگین نتایج حاصل از تکرارپذیری مشاهده‌کننده‌ها در سه مقیاس براقیت، وضوح تصویر و پوست پرتقالی نمونه‌های مشکی متالیک.

پارامتر آماری	مقیاس پوست پرتقالی شرکت ACT	مقیاس پوست پرتقالی	مقیاس وضوح تصویر	مقیاس براقیت
CV %	۱۸,۳۹	۱۶,۴۴	۲۲,۳۱	۲۷,۷۵
STRESS	۱۸,۰۳	۱۵,۲۶	۲۰,۱۹	۲۵,۳۹

جدول ۴: میانگین نتایج حاصل از تکرارپذیری مشاهده‌کننده‌ها در سه مقیاس براقیت، وضوح تصویر و پوست پرتقالی نمونه‌های سفید.

پارامتر آماری	مقیاس پوست پرتقالی	مقیاس وضوح تصویر	مقیاس براقیت
CV %	۱۶,۵	۲۵,۶۸	۳۲,۸۴
STRESS	۱۵,۶	۲۲,۰۹	۳۰,۰۷

همچنین با مشاهده نتایج مربوط به هر دو سری نمونه دیده می‌شود که برای نمونه‌های مشکی و سفید، بیشترین میزان خطای مشاهده‌کننده‌ها در ارزیابی بصری مقیاس آینه‌ای و کمترین میزان خطای آنها مربوط به مقیاس پوست پرتقالی می‌باشد. به عبارت دیگر، به نظر می‌رسد که تحت شرایط به کار برده شده در این پژوهش به منظور ارزیابی بصری، سنجش براقیت برای مشاهده‌کننده‌ها دشوارتر از دو ویژگی ظاهری دیگر بوده است و این سهولت به ترتیب برای مقیاس وضوح تصویر و پوست پرتقالی افزایش می‌یابد.

نتیجه قابل توجه دیگری که از بررسی نتایج جدول‌های ۳ و ۴ قابل برداشت است، بیشتر بودن اعداد خطای مربوط به نمونه‌های سفید در هر سه مقیاس براقیت آینه‌ای، وضوح تصویر و پوست پرتقالی در مقایسه با نتایج مشابه برای نمونه‌های مشکی متالیک می‌باشد که این اختلاف در مورد مقیاس پوست پرتقالی به حداقل می‌رسد. بدین ترتیب مشاهده می‌شود که ارزیابی نمونه‌های سفید تحت شرایط ارزیابی بصری به کار برده شده در این کار در مقایسه با نمونه‌های مشکی برای مشاهده‌کننده‌ها دشوارتر بوده است. همان‌گونه که می‌دانیم، در نمونه‌های سفید، میزان انتشار و انعکاس پراکنده نور در مقایسه با انعکاس سطحی و آینه‌ای نور بسیار قابل توجه است و این پدیده، تفکیک اثرات ناشی از این برهم‌کنش‌های نور با سطح نمونه‌ها را توسط مشاهده‌کننده با مشکل مواجه می‌نماید. از این رو در ارزیابی بصری نمونه‌های سفید، تشخیص براقیت آینه‌ای و وضوح تصویر به عنوان نتیجه انعکاس‌های سطحی و آینه‌ای نور برای مشاهده‌کننده‌ها دشوارتر از نمونه‌های سیاه که انعکاس پراکنده نور در آنها حداقل است، می‌باشد.

جدول ۵: مقادیر میانگین ضرایب پراکندگی و همبستگی مشاهده‌کننده‌ها در مقیاس‌های مختلف برای نمونه‌های مشکی متالیک.

میانگین پارامتر آماری	مقیاس پوست پرتقالی شرکت ACT	مقیاس پوست پرتقالی	مقیاس براقیت	مقیاس وضوح تصویر	میانگین کل
CV %	۱۳,۹۷	۱۲,۶۰	۳۴,۶۴	۲۴,۲۸	۲۳,۸۴
r ²	۰,۹۶	۰,۹۶	۰,۹۶	۰,۹۴	۰,۹۵

جدول ۶: مقادیر میانگین ضرایب پراکندگی و همبستگی مشاهده‌کننده‌ها در مقیاس‌های مختلف برای نمونه‌های سفید.

میانگین پارامتر آماری	مقیاس پوست پرتقالی	مقیاس براقیت	مقیاس وضوح تصویر	میانگین کل
CV %	۱۲,۴۹	۴۴,۳۳	۳۰,۱۳	۲۸,۹۸
r ²	۰,۹۵	۰,۹۲	۰,۹۳	۰,۹۳

۴- نتیجه‌گیری

بر اساس تحقیقات انجام شده در این پژوهش، بررسی نحوه ادراک بصری مشاهده‌کننده‌ها از ویژگی‌های ظاهری براقیت آینه‌ای، وضوح تصویر و پوست پرتقالی روکش‌های سطح خودرویی با استفاده از پارامترهای آماری نشان می‌دهد که مشاهده‌کننده‌ها در ارزیابی بصری پوست پرتقالی در مقایسه با براقیت آینه‌ای و وضوح تصویر با مشکل کمتری مواجه بوده و ارزیابی آنها با خطای کمتری همراه است. از سوی دیگر به نظر می‌رسد که به دلیل اثرات ناشی از انتشار و انعکاس پراکنده نور، درک جلوه ظاهری در نمونه‌های سفید در مقایسه با نمونه‌های مشکی برای مشاهده‌کننده‌ها دشوارتر است، به نحوی که خطای مشاهده‌کننده‌ها در ارزیابی بصری نمونه‌های سفید به خصوص در مورد براقیت آینه‌ای و وضوح تصویر، از خطای مربوط به نمونه‌های مشکی بسیار بیشتر می‌باشد. لازم به ذکر است که نتایج این بررسی تا حد زیادی ناشی از شرایط اتخاذ شده برای ارزیابی بصری توسط مشاهده‌کننده‌ها از جمله نحوه نوردهی به نمونه‌ها و نیز هندسه تابش و مشاهده می‌باشد و تغییر این نتایج با اعمال تغییر در شرایط ارزیابی بصری محتمل به نظر می‌رسد.

تقدیر و تشکر

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

همچنین ارزیابی نتایج جدول‌های ۵ و ۶ نشان می‌دهد که برای هر دو سری نمونه مورد بررسی در این تحقیق، مقادیر ضریب همبستگی برای مقیاس‌های براقیت و وضوح تصویر کمترین و مقدار ضریب همبستگی (r²) برای مقیاس پوست پرتقالی بیشترین است. از سوی دیگر ارزیابی بصری دو مقیاس براقیت و وضوح تصویر در هر دو فام منجر به بالاترین مقادیر ضریب پراکندگی (CV%) و سنجش نمونه‌ها در مقیاس پوست پرتقالی دو فام منجر به کمترین مقادیر ضریب پراکندگی گردیده است. به عبارت دیگر همان‌گونه که از بررسی نتایج مربوط به میزان تکرارپذیری مشاهده‌کننده‌ها نیز روشن است، برای مشاهده‌کننده‌ها و تحت شرایط به کار گرفته شده در این پژوهش، ارزیابی بصری پوست پرتقالی همواره آسان‌تر از دو ویژگی ظاهری دیگر یعنی براقیت آینه‌ای و وضوح تصویر می‌باشد. همچنین مشاهده‌کننده‌ها در درک وضوح تصویر در مقایسه با براقیت آینه‌ای با مشکل کمتری مواجه بوده‌اند.

نکته دیگری که از نتایج ارائه شده در جدول ۵ قابل برداشت است، برابری تقریبی ضرایب پراکندگی (CV%) و همبستگی (r²) مشاهده‌کننده‌ها در مقیاس پوست پرتقالی شرکت ACT با همین ضرایب در مقیاس پوست پرتقالی تهیه شده در این پژوهش می‌باشد. از آن جا که مقیاس پوست پرتقالی ACT شامل یک سری نمونه روکش سطح مشکی غیرمتالیک و مقیاس پوست پرتقالی تهیه شده در این کار حاوی نمونه‌های متالیک است، به نظر می‌رسد با توجه به شرایط ارزیابی بصری، ادراک بصری مشاهده‌کننده‌ها از پدیده پوست پرتقالی مستقل از اثرات ویژه و بافتار بصری سطح باشد. هر چند احراز این نتیجه نیاز به بررسی‌های بیشتر و به کارگیری شرایطی کامل‌تر برای ارزیابی بصری دارد.

۵- مراجع

1. H. J. Streitberger, K. F. Dössel, Automotive paints and coatings. Second edition, Wiley Interscience, 2008.
2. Z. Huang, H. Xu, M. R. Luo, G. Cui, H. Feng, Assessing total differences for effective samples having variations in color, coarseness, and glint. *Chin.Opt. Lett.* 8(2010), 717-720.
3. 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(2011), 4-14.
4. E. J. J. 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(2007), 256 -266.
5. H. Kang, C. Butler, Q. Yang, F. Sacerdotti, F. Benati, Appearance measurement system using fuzzy logic, *IEEE*, 2000.
6. H. Gradischnig, First experience with the wave scan DOI and correlation to the visual perception. 6th Wave-scan User Meeting, Konigsdorf, Germany: BYK- Gardner, Gerestried, Germany, 2004.
7. G. Hemashankar, Correlation between visual perception and waviness measurements for coated surface, ProQuest Dissertations and Thesis; 2008.
8. I. Wheeler, Metallic Pigments in polymers. Rapra Technology Limited, 1999.
9. C. S. McCamy, Observation and measurement of the appearance of metallic materials. Part I. macro appearance. *Color Res. Appl.* 21(1996), 292-304.
10. R. Durikovi, Appearance measurements in industry and their application in light reflection models. *J. Three Dimension. Images.* 21(2007), 47-52.
11. A. Goldschmidt, H. J. Streitberger, BASF handbook on basics of coating technology. Second edition, William Andrew Inc., 2003.
12. H. Kipphan, Handbook of Print media: Technologies and production methods. Springer, 2001.
13. M. A. MacGregor, A review of the topographical causes of gloss variation and the effect on perceived print quality. Proceedings of the Hansol Symposium, Seoul, Korea, 2000.
14. R. S. Hunter, R. W. Harold, The measurement of appearance. Second edition, Wiley Interscience, 1987.
15. W. Ji, M. R. Pointer, R. M. Luo, J. Dakin, Gloss as an aspect of the measurement of appearance. *J. Opt. Soc. Am. A.* 23(2006), 22-33.
16. V. G. W. Harrison, S. R. C. Poulter, Gloss measurement of papers - the effect of luminance factor. *Br. J. Appl. Phys.* 2(1951), 92-97.
17. F. W. Billmeyer, F. X. D. ODonnel, Visual gloss scaling and multidimensional scaling analysis of painted specimens. *Color Res. Appl.* 12(1987), 315-326.
18. M. R. Luo, New color difference formula for surface colors. Ph.D Thesis, University of Bradford, 1986.
19. S. H. Sadeghi, Quantitative evaluation of geometrical attributes of automotive coatings, MSC thesis, Amirkabir University of Technology, Iran, 2012.
20. T. Aksaranan, A study on quantifying color appearance of translucent material. Ph.D Thesis, University of Wisconsin Madison, 2008.
21. J. Ma, H. Xu, M. R. Luo, G. Cui, Color appearance and visual measurements for color samples with gloss effect. *Chin.Opt. Lett.* 7(2009), 860-872.