



تعیین حدود رواداری برای شاخص‌های ارزیابی و کنترل کیفیت ظاهری خودرو

فرهاد عامری^{۱*}، نجمه خلیلی^۲، فرشته میرجلیلی^۲

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

۲- کارشناس پژوهشی، گروه پژوهشی فیزیک رنگ، موسسه پژوهشی علوم و فناوری رنگ و پوشش، تهران، ایران، صندوق پستی: ۱۶۷۶۵-۶۵۴

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

تاریخ دریافت: ۹۲/۹/۲۱ تاریخ پذیرش: ۹۳/۲/۲۴ در دسترس به صورت الکترونیکی از: ۱۳۹۳/۶/۲۰

چکیده

در این پژوهش، امکان تعریف یک فضای دوبعدی بر اساس مهم‌ترین ویژگی‌های هندسی سطح با حدود رواداری مشخص به منظور تسهیل فرآیند ارزیابی و کنترل جلوه ظاهری روکش‌های سطح خودرویی آکروماتیک مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور تعدادی نمونه با استفاده از چهار روکش سطح خودرویی مشکی متالیک، خاکستری متالیک، نقره‌ای متالیک و سفید غیرمتالیک تهیه گردید، به نحوی که ویژگی‌های هندسی آنها شامل براقیت، وضوح تصویر و پوست پرتقالی به صورت تصادفی متغیر بود. جلوه ظاهری کلی این نمونه‌ها توسط ۱۶ نفر مشاهده‌کننده و با روش اختلاف‌سنجی با مقیاس خاکستری در کابینت نوری مورد ارزیابی قرار گرفت. بررسی ارتباط نتایج ارزیابی چشمی با اندازه‌گیری‌های پارامترهای براقیت آیین‌های، وضوح تصویر و پوست پرتقالی (Wd و LW) نشان داد که مشاهده‌کنندگان در ارزیابی جلوه ظاهری کلی نمونه‌ها پوست پرتقالی (Wd) و وضوح تصویر را مورد توجه قرار می‌دهند. براساس نتایج اندازه‌گیری این دو عامل روی سطوح افقی و عمودی ۲۸ بدنه خودرو که به صورت تصادفی انتخاب شدند و نتایج ارزیابی چشمی ۶ نفر از آدیتورهای شرکت ایران خودرو روی مناطق مختلف این ۲۸ بدنه، یک فضای دوبعدی با استفاده از وضوح تصویر و Wd با حدود رواداری مشخص در سه منطقه مطلوب، قابل قبول و غیر قابل قبول برای هر یک از سطوح افقی و عمودی بدنه خودرو و به تفکیک برای هر فام تعریف گردید.

واژه‌های کلیدی: جلوه ظاهری، حدود رواداری، ارزیابی بصری، وضوح تصویر، پوست پرتقالی، براقیت.

Determination of Tolerance Regions for Assessment and Quality Control Parameters of Automotive Appearance

F. Ameri^{*1}, N. Khalili¹, F. Mirjalili²

¹ Department of Color Physics, Institute for Color Science and Technology, P.O.Box: 16765-654, Tehran, Iran

² Polymer Engineering and Color Technology Department, Amirkabir University of Technology, P.O. Box: 15875-4413, Tehran, Iran

Received: 12-12-2013

Accepted: 14-05-2014

Available online: 11-09-2014

Abstract

In the present study, attempts were made to investigate the possibility of developing a two dimensional appearance chart to make provisions for a straightforward assessment and control of appearance quality of achromatic automotive finishes. To this end, four series of random test samples in which the three geometric appearance attributes, namely specular gloss, distinctness of image and orange peel varied simultaneously were prepared using metallic black, metallic grey, metallic silver and solid white automotive finishes. The samples were visually evaluated by a panel of 16 observers, utilizing grey scale technique. Analyzing the results of correlation between visually quantified total appearance and instrumentally measured specular gloss, distinctness of image and orange peel attributes of random samples showed that there is a good correlation between instrumentally measured distinctness of image and the Wave scan Wd parameters, and the corresponding visually evaluated data at the four investigated achromatic levels. Using these two parameters, a two dimensional appearance chart was developed for achromatic automotive finishes under investigation. Discrete acceptable, tolerable and unacceptable tolerance regions were determined for distinctness of image and Wd parameters, separately for horizontal and vertical automotive body parts, using the results of visual inspections of 6 expert auditors of the Iran Khodro car manufacturing company on 28 randomly selected car bodies with different achromatic levels. *J. Color Sci. Tech.* 8(2014), 157-166©. Institute for Color Science and Technology.

Keywords: Appearance, Tolerance regions, Visual assessment, Distinctness of image, Orange peel, Gloss.

۱- مقدمه

عمدتاً از دستگاه براقیت‌سنج^۴ استفاده می‌گردد. وضوح تصویر یکی از جنبه‌های براقیت به شمار می‌رود و به عنوان میزان واضح بودن تصویر تشکیل شده از یک شیء روی سطح تعریف می‌گردد و در ارزیابی جلوه ظاهری روکش‌های سطح خودرویی که براقیت بالایی دارند، از اهمیت شایانی برخوردار است. این ویژگی هندسی روکش‌های سطح خودرویی با دستگاه‌های موج‌سنج^۵ و گونیوفوتومتر^۶ با دو روش مختلف اندازه‌گیری می‌گردد [۷]. ناپیکنواختی‌های سطحی و موجی بودن روکش سطح خودرویی که تحت عنوان پوست پرتقالی شناخته می‌شود، از عوامل موثر بر جلوه ظاهری خودرو می‌باشد. در حال حاضر به منظور اندازه‌گیری میزان پوست پرتقالی روکش‌های سطح خودرویی از دستگاه موج‌سنج استفاده می‌گردد. این دستگاه پروفایل‌های اپتیکی سطح را نقطه به نقطه در فواصل ۰،۰۲۷ سانتی‌متری ضبط نموده و برای مشابه‌سازی با قدرت تفکیک چشم انسان در فواصل مختلف، مقدار سیگنال‌ها با استفاده از توابع فیلتر ریاضی در چندین محدوده طول موجی مختلف از ۰،۱ تا ۳۰ میلی‌متر به صورت میانگین دامنه موج‌ها تحت عنوان "ساختارهای سطح" گزارش می‌گردد. هر یک از ساختارهای سطح (Dullness, Wa, Wb, Wc, Wd, We) در مقیاس ۰ تا ۱۰۰ گزارش می‌گردند. ساختارهایی با اندازه ۱۰ تا ۳۰ میلی‌متر در فاصله ۳ متری قابل مشاهده هستند و تحت عنوان طول موج‌های بلند سطح^۷ (LW) شناخته می‌شوند و ساختارهای کوچک در محدوده ۰،۱ تا ۱ میلی‌متر تنها در فواصل خیلی نزدیک قابل مشاهده هستند و تحت عنوان طول موج‌های کوتاه سطح^۸ (SW) شناخته می‌شوند. همچنین این دستگاه مقادارهای LW و SW را نیز گزارش می‌کند [۹، ۸]. نتایج تحقیقات اخیر نشان داده است که از میان این عوامل، Wd و LW رابطه خوبی با نتایج حاصل از ارزیابی چشمی پوست پرتقالی دارند [۱۰-۱۲]. در تحقیقات انجام گرفته بر روی سطوح عمودی و افقی مدل‌های مختلف خودرو با رنگ مشکی متالیک، مشخص گردیده که سطوحی که در طیف ساختاری آنها مقدار Wb بیشتر از ۲۵ و مقدار Wd بیشتر از ۱۳ است، جلوه ظاهری نامناسبی دارند [۱۳]. همان‌گونه که اشاره شد، استانداردها و دستگاه‌های اندازه‌گیری ویژگی‌های ظاهری همواره از سوی محققین این حوزه در حال ارتقاء می‌باشد و هریک از شرکت‌های خودروسازی شاخص‌ها و استانداردهایی را با حدود رواداری معین تعریف نموده و با استفاده از آنها ارزیابی جلوه ظاهری محصولات خود را انجام می‌دهند که در اغلب این استانداردها تمایل به بالا بودن براقیت و وضوح تصویر و پایین بودن میزان پوست پرتقالی به چشم می‌خورد. به عنوان نمونه در شرکت خودروسازی فورد^۹ یک شاخص ترکیبی با وزن‌های متفاوتی از سه

کنترل جلوه ظاهری روکش‌های سطح خودرویی برای شرکت‌های معتبر خودروسازی جهان از اهمیت فراوانی برخوردار است. این شرکت‌ها بر این باورند که آنچه قابل اندازه‌گیری نیست، قابل کنترل نیز نمی‌باشد. بر این اساس دستیابی به روش‌ها و دستگاه‌هایی که توسط آن بتوان جلوه ظاهری روکش‌های سطح خودرویی را با دقت و صحت بالایی اندازه‌گیری نمود، به نحوی که اندازه‌گیری‌ها با نتایج ارزیابی چشمی هم‌خوانی داشته باشد، تبدیل به مسأله‌ای چالش برانگیز در این صنعت گردیده است. در حال حاضر هر یک از شرکت‌های خودروسازی شاخص‌ها و استانداردهایی را با حدود رواداری معین تعریف نموده است که با استفاده از آنها به ارزیابی جلوه ظاهری محصولات خود می‌پردازند. این شاخص‌ها ترکیبی از مهم‌ترین صفات هندسی سطح نظیر براقیت^۱، وضوح تصویر^۲ و پوست پرتقالی^۳ با وزن‌های متفاوت می‌باشد. تعیین حدود رواداری قابل قبول و غیرقابل قبول برای این شاخص‌ها توسط مشاهده‌کنندگان و اغلب با در نظر گرفتن عوامل موثر بر جلوه ظاهری نظیر روشنایی، نوع رنگ، کلاس خودرو، افقی و عمودی بودن سطح و قیمت محصول صورت می‌گیرد [۲، ۱]. در بررسی جلوه ظاهری روکش‌های سطح خودرویی، مهم‌ترین ویژگی‌هایی که اندازه‌گیری دقیق آنها به منظور تدوین استانداردهای ظاهری مطابق با ارزیابی‌های چشمی از سوی خودروسازان سراسر جهان مورد توجه است، عبارتند از رنگ، براقیت، وضوح تصویر و پوست پرتقالی [۴، ۳]. برای اندازه‌گیری رنگ به صورت متداول از اسپکتروفوتومترها و گونیواسپکتروفوتومترها استفاده می‌شود. در کنار رنگ، اندازه‌گیری و کنترل ویژگی‌های هندسی سطح نیز از اهمیت فراوانی برخوردار است. در ارزیابی چشمی جلوه ظاهری، مشاهده‌کننده کلیه صفات هندسی سطح را با هم و به صورت هم‌زمان ارزیابی نموده و نتیجه را اعلام می‌نماید. در حالی که به منظور اندازه‌گیری دستگاهی، هر یک از این صفات به صورت جداگانه توسط دستگاه مربوطه اندازه‌گیری شده و یک دستگاه به تنهایی قادر به برآورد کامل جلوه ظاهری سطح نیست. علاوه بر این، انتظار می‌رود هر یک از ویژگی‌های هندسی سطح سهم متفاوتی در ارزیابی جلوه ظاهری کل داشته باشد. از این رو یافتن عوامل موثر بر ادراک جلوه ظاهری و رابطه میان آنها به نحوی که این رابطه با برآورد بصری افراد از جلوه ظاهری کل هم‌خوانی داشته باشد، یکی از اصلی‌ترین دغدغه‌های محققین این حوزه در سال‌های اخیر به شمار می‌رود [۵، ۶].

براقیت یکی از مهم‌ترین صفات هندسی یک روکش سطح خودرویی می‌باشد که منشا آن انعکاس نور از سطح در زاویه انعکاس آینه‌ای است. برای اندازه‌گیری براقیت یک روکش سطح خودرویی

4- Gloss meter
5- Wave scan
6- Goniophotometer
7- Long wave
8- Short wave
9- Ford

1- Gloss
2- Distinctness of image (DOI)
3- Orange peel

Gardner تعیین گردید.

به منظور تعیین اهمیت براقیت، وضوح تصویر و پوست پرتقالی در جلوه ظاهری کلی روکش‌های سطح خودرویی، کلیه نمونه‌های تصادفی تحت ارزیابی چشمی قرار گرفتند. برای ارزیابی چشمی، ۱۶ مشاهده‌کننده با میانگین سنی ۳۴ سال انتخاب شدند که ۹ نفر از آنها مشاهده‌کنندگان خبره شامل آدیتورهای شرکت ایران خودرو و ۳ نفر از افرادی که در این حوزه در حال تحقیق هستند، می‌باشند و به سایر مشاهده‌کنندگان قبل از انجام ارزیابی‌آموزش‌های لازم داده شد. بینایی رنگی نرمال تمامی مشاهده‌کنندگان با گذراندن آزمون ایشی‌هارا تایید گردید. ارزیابی‌های چشمی زیر کابینت نوری استاندارد مجهز به منبع نوری شبیه‌ساز استاندارد D65 تحت زاویه تابش ۴۵ درجه و زاویه مشاهده صفر درجه (نرمال) انجام شد. در کلیه ارزیابی‌ها فاصله مشاهده‌کننده از نمونه در حدود ۴۰ سانتی‌متر بود [۱۵].

برای ارزیابی چشمی از روش اختلاف‌سنجی با مقیاس خاکستری^۹ استفاده گردید. در این روش از یک مقیاس شامل تعدادی نمونه خاکستری استفاده می‌شود که هر جفت نمونه تنها در مقدار روشنایی با یکدیگر اختلاف دارند. ویژگی منحصر بفرد این مقیاس برابر بودن فواصل نمونه‌ها به لحاظ چشمی می‌باشد. در هر فام (مشکی متالیک، خاکستری متالیک، نقره‌ای متالیک و سفید غیر متالیک) نمونه دارای بیشترین مقدار براقیت و وضوح تصویر دستگاهی و کمترین مقدار Wd به عنوان استاندارد انتخاب شد. به منظور ارزیابی چشمی، مشاهده‌کننده ابتدا هر نمونه را با نمونه استاندارد انتخاب شده مقایسه نموده و سپس میزان اختلاف در جلوه ظاهری کلی نمونه با استاندارد را با اختلاف در روشنایی نمونه‌های مقیاس خاکستری معادل نموده و عدد نمونه خاکستری را به جفت مورد بررسی اختصاص می‌دهد. اعداد مقیاس خاکستری گزارش شده برای هر نمونه از طریق رابطه ۱ به اختلاف رنگ معادل در مقیاس خاکستری تبدیل گردید [۱۸-۱۶].

$$\Delta E = 0.163(GS)^2 + 0.45(GS) - 0.48 \quad (1)$$

در این رابطه ΔE اختلاف رنگ نمونه‌های مقیاس خاکستری و GS عدد مقیاس خاکستری اختصاص داده شده به نمونه توسط مشاهده‌کننده می‌باشد.

یکی از اهداف این تحقیق تعیین حدود رواداری قابل قبول و غیرقابل قبول برای مهم‌ترین صفات هندسی روکش‌های سطح خودرویی یعنی براقیت، وضوح تصویر و پوست پرتقالی می‌باشد. برای این منظور، اندازه‌گیری دستگاهی این سه عامل بر روی نقاط مختلفی از سطوح افقی و عمودی بدنه ۲۸ خودروی تولیدی شرکت ایران خودرو شامل ۶ بدنه مشکی متالیک، ۳ بدنه خاکستری متالیک، ۹ بدنه نقره‌ای متالیک و ۱۰ بدنه سفید غیرمتالیک با مدل‌های پژو ۴۰۵،

9- Grey scale

عامل درخشندگی^۱ به عنوان معیاری از براقیت، وضوح^۲ به عنوان معیاری از وضوح تصویر و پوست پرتقالی برای ارزیابی جلوه ظاهری تعریف شده است. همچنین شرکت خودروسازی دایملر کرایسلر^۳ از شاخص دیگری که از ترکیب سه عامل براقیت، وضوح تصویر و پوست پرتقالی به دست آمده است، استفاده می‌نماید [۱۴].

در این پژوهش تلاش گردیده است تا با استفاده از مهم‌ترین ویژگی‌های هندسی سطح که دارای بیشترین تطابق با مشاهده و ادراک چشم هستند، یک فضای دو بعدی تعریف شود و سپس با تعیین حدود رواداری مطلوب، قابل قبول و غیرقابل قبول در این فضا، امکان ارزیابی و کنترل کیفیت ظاهری یک روکش خودرویی فراهم گردد.

۲- بخش تجربی

۲-۱- مواد

به منظور تهیه نمونه‌های مورد نظر در این پژوهش از روکش‌های سطح خودرویی مشکی متالیک، خاکستری متالیک، نقره‌ای متالیک و سفید غیرمتالیک به عنوان متداول‌ترین فام‌های خودرویی با خواص نوری متفاوت استفاده گردیده است. تمامی نمونه‌ها با استفاده از ورقه‌های فولادی با ابعاد $10 \times 20 \text{ cm}^2$ و مشابه با شرایط خط تولید شرکت ایران خودرو تهیه گردیده است. برای این منظور پس از آماده‌سازی نمونه‌ها طی مراحل شستشو، چربی‌گیری و اعمال لایه‌های فسفات‌تری کاتیونی، لایه آستری الکتروپوشانش^۴ و لایه آستری هم‌ترازکننده^۵، رنگ‌های رویه^۶ و لایه شفاف^۷ توسط پاشش به صورت تر روی تر^۸ بر روی نمونه‌ها اعمال گردیده است. بدین ترتیب ۹ نمونه مشکی متالیک، ۱۰ نمونه خاکستری متالیک، ۹ نمونه نقره‌ای متالیک و ۱۰ نمونه سفید غیرمتالیک به صورت تصادفی و به عنوان نماینده جلوه ظاهری روکش‌های سطح خودرویی واقعی تهیه شد.

۲-۲- روش کار

اندازه‌گیری ویژگی‌های هندسی نمونه‌های تهیه شده شامل براقیت آیینی‌ای و وضوح تصویر تحت هندسه 20° توسط گونیوفوتومتر Novo-Gloss I.Q. ساخته شده توسط Rhopoint Instruments انجام گرفت. همچنین به منظور تعیین میزان پوست پرتقالی نمونه‌ها، Wd و LW توسط دستگاه موج‌سنج Wave scan DOI ساخته شده توسط BYK

- 1- Luster
- 2- Sharpness
- 3- Daimler Chrysler
- 4- Electrodeposition primer
- 5- Primer surfacer
- 6- Base coat
- 7- Clear coat
- 8- Wet on wet

عبارت دیگر توافق بین مشاهده‌کنندگان در ارزیابی چشمی نمونه‌ها از پارامتر آماره "STRESS"^۲ استفاده گردید [۱۶، ۱۲، ۱۱]. همچنین ارتباط میان نتایج حاصل از ارزیابی چشمی و نتایج اندازه‌گیری دستگاهی نمونه‌ها به وسیله ضریب همبستگی (R^2) و STRESS مورد بررسی قرار گرفت. آماره STRESS با استفاده از رابطه ۲ به صورت درصد محاسبه می‌گردد:

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

در این رابطه X و Y دو مجموعه داده و F برابر با $\sum X_i^2 / \sum X_i Y_i$ می‌باشد. هر چه مقدار STRESS محاسبه شده برای دو مجموعه داده کمتر باشد، همبستگی آنها بیشتر است. به عبارت دیگر در صورتی که X و Y دو مجموعه داده یکسان باشد، مقدار STRESS برای آنها صفر خواهد بود [۱۹].

۳-۱- ارزیابی چشمی

به منظور تعیین میزان توافق بین مشاهده‌کنندگان (تجدیدپذیری)، مقدار خطای هریک از مشاهده‌کنندگان نسبت به مقدار میانگین اختلاف بصری بدست آمده برای تمامی مشاهده‌کنندگان با آماره STRESS محاسبه گردید. مقادیر میانگین STRESS محاسبه شده برای مشاهده‌کنندگان به تفکیک برای فام‌های مشکی متالیک، خاکستری متالیک، نقره‌ای متالیک و سفید غیرمتالیک در جدول ۱ آورده شده است.

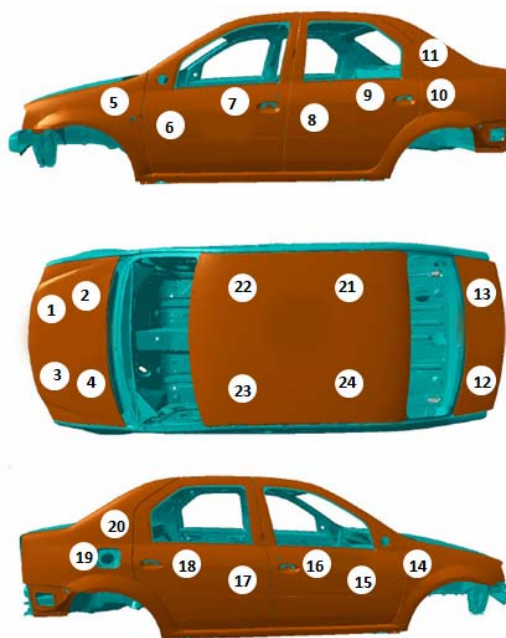
جدول ۱: مقادیر میانگین خطای ارزیابی بصری مشاهده‌کنندگان در قالب آماره STRESS.

STRESS	نمونه
۳۳,۷۸	مشکی متالیک
۴۵,۰۷	سفید غیرمتالیک
۴۶,۴۴	خاکستری متالیک
۳۳,۵۰	نقره‌ای متالیک

همان‌گونه که مشاهده می‌گردد، میانگین خطای ارزیابی چشمی مشاهده‌کنندگان برای فام‌های مشکی متالیک و نقره‌ای متالیک کمتر از دو فام دیگر است. با این وجود، می‌توان میانگین خطای ارزیابی را برای کلیه فام‌ها در محدوده قابل قبول در نظر گرفت. به منظور تعیین

2- Standardized Residual Sum of Squares

سمند، پژو پارس و رانا توسط دستگاه‌های گونیوفوتومتر و موج‌سنج انجام شد. اندازه‌گیری‌ها روی هر بدنه در ۲۴ نقطه شامل ۴ نقطه بر روی درب موتور، ۴ نقطه بر روی سقف، ۲ نقطه بر روی صندوق به عنوان سطوح افقی و ۲ نقطه بر روی گلگیرهای جلو، ۴ نقطه بر روی درب‌های جلو، ۴ نقطه بر روی درب‌های عقب و ۴ نقطه بر روی گلگیرها و ستون‌های عقب صورت گرفت. شکل ۱ نمایشی از موقعیت‌های اندازه‌گیری روی بدنه خودرو را نشان می‌دهد.



شکل ۱: نمایشی از نقاط اندازه‌گیری شده توسط دستگاه‌های Wave scan DOI و Novo Gloss IQ Goniophotometer بر روی سطوح افقی و عمودی بدنه خودرو.

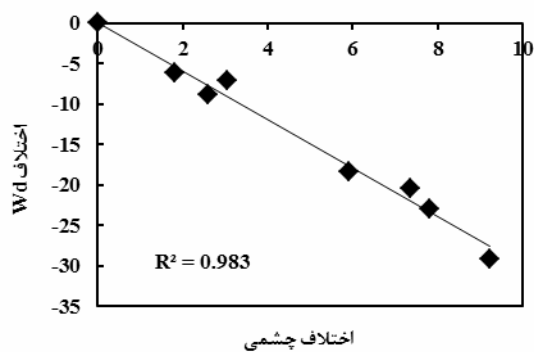
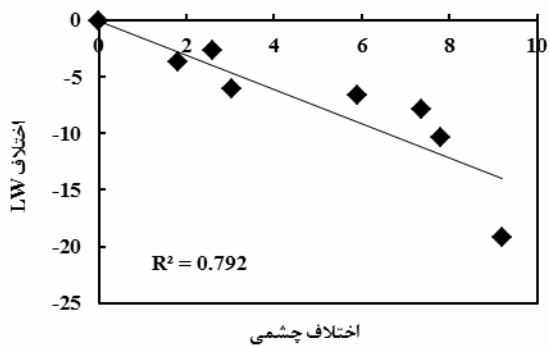
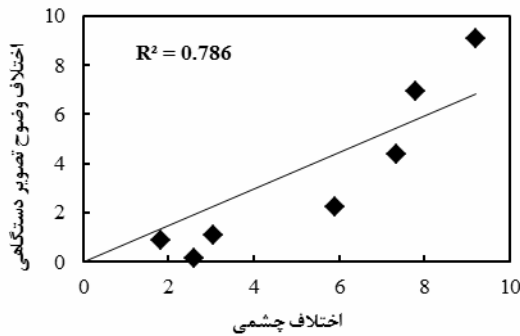
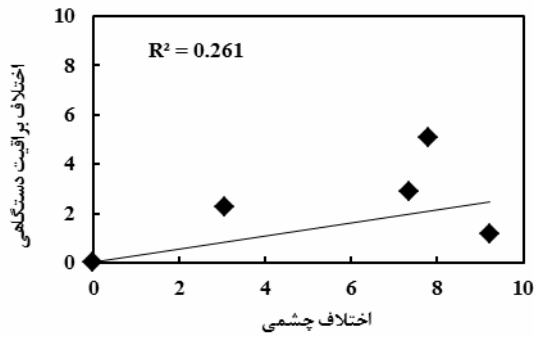
علاوه بر اندازه‌گیری‌های دستگاهی، جلوه ظاهری کلی موقعیت‌های ذکر شده توسط ۶ نفر از آدیتورهای شرکت ایران خودرو مورد ارزیابی چشمی نیز قرار گرفت. هریک از آدیتورها نتایج ارزیابی خود را با نمایه‌های OK، C و B گزارش نمودند که نمایه OK به معنای قبول بودن کیفیت ظاهری خودرو می‌باشد. در حالی که جلوه ظاهری خودرو با نمایه C در مقایسه با OK دچار افت شده است، با این وجود همچنان قابل قبول است. همچنین کیفیت جلوه ظاهری خودرو با نمایه B قابل قبول نمی‌باشد.

۳- نتایج و بحث

بررسی نتایج حاصل از ارزیابی‌های چشمی نیاز به یک روش آماری دارد تا بتوان با کمک آن از میزان صحت و دقت مشاهده‌کنندگان اطمینان حاصل نمود. به منظور تعیین میزان تجدیدپذیری^۱ و به

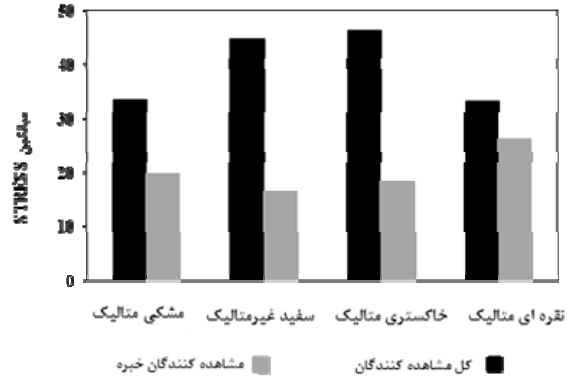
1- Reproducibility

اثر میزان تجربه و تخصص مشاهده‌کنندگان بر نتایج ارزیابی چشمی، خطای تجدیدپذیری دو گروه مشاهده‌کننده، گروه اول شامل کل مشاهده‌کنندگان خبره و غیرخبره (۱۶ نفر) و گروه دوم شامل تنها مشاهده‌کنندگان خبره (۹ نفر) محاسبه گردید. مشاهده‌کنندگان خبره شامل آدیوهای شرکت ایران خودرو و ۳ نفر از افرادی که در این حوزه در حال تحقیق هستند، می‌باشند. میانگین STRESS محاسبه شده برای دو گروه مشاهده‌کننده به تفکیک فام در شکل ۲ با هم مقایسه گردیده است.



شکل ۳: بررسی ارتباط میان نتایج حاصل از ارزیابی چشمی جلوه ظاهری با عوامل دستگامی برای نمونه‌های مشکی متالیک.

همان‌گونه که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، نتایج ارزیابی چشمی جلوه ظاهری با برآیند دستگامی رابطه خوبی ندارد، در حالی که با



شکل ۲: مقایسه خطای تجدیدپذیری ارزیابی‌های چشمی نمونه‌های تصادفی بین دو گروه مشاهده‌کننده با آماره STRESS.

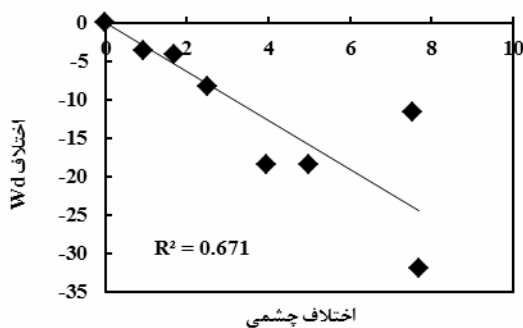
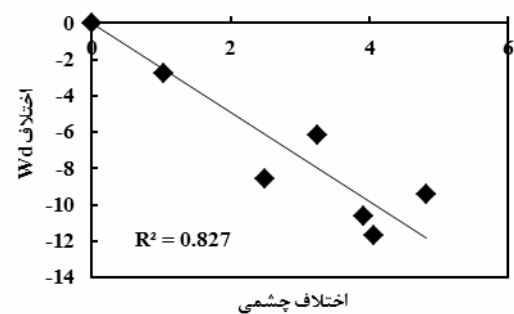
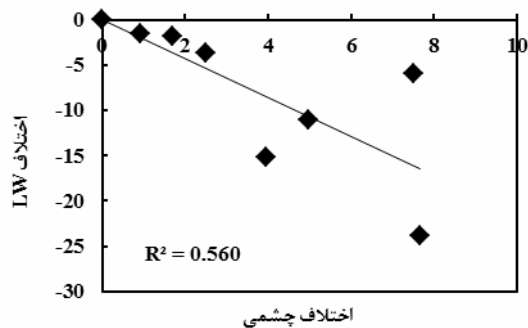
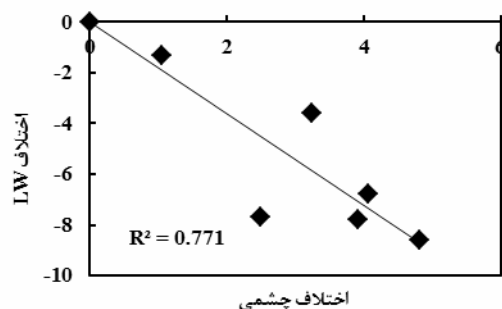
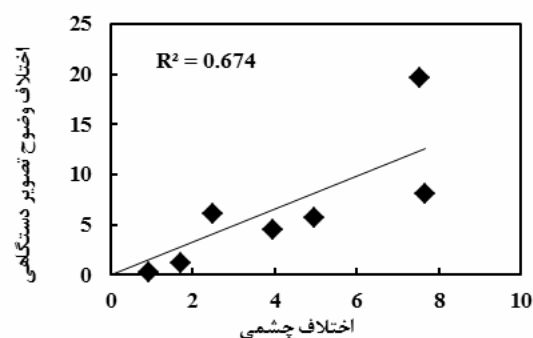
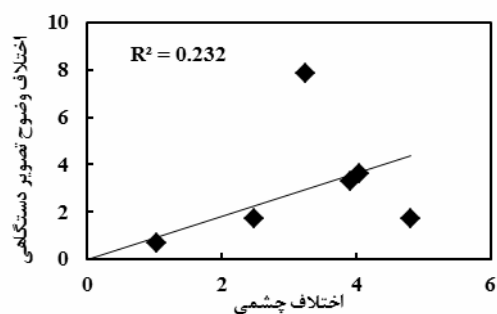
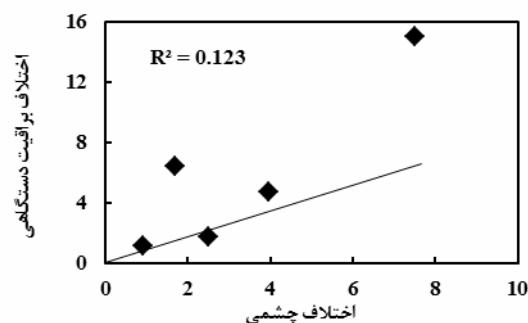
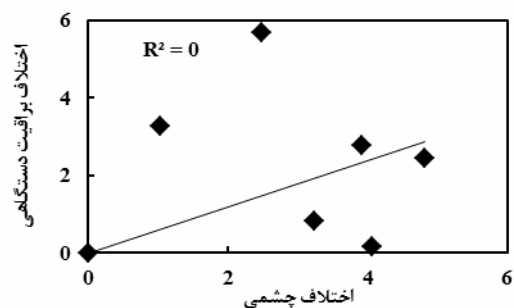
همان‌گونه که در شکل ۲ مشاهده می‌گردد، برای چهار فام مورد بررسی، میانگین آماره STRESS مربوط به گروه دوم که تنها شامل مشاهده‌کنندگان خبره است، بسیار کمتر از گروه اول که شامل مشاهده‌کنندگان خبره و غیرخبره است، می‌باشد. به عبارت دیگر، تجربه مشاهده‌کننده تاثیر قابل توجهی بر نتایج ارزیابی بصری دارد. از این رو به نظر می‌رسد امکان انجام ارزیابی‌های چشمی با تعداد کمتری مشاهده‌کننده که کاملاً آشنا به پدیده‌های جلوه ظاهری هستند میسر است، به طوری که این امر خود باعث کاهش خطای ارزیابی نیز می‌گردد.

۳-۲- ارتباط نتایج ارزیابی چشمی با اندازه‌گیری‌های دستگامی

ارتباط نتایج ارزیابی چشمی جلوه ظاهری کلی نمونه‌ها در قالب اختلاف چشمی با هر یک از موارد اندازه‌گیری شده توسط دستگاه شامل برآیند، وضوح تصویر و پوست پرتقالی (LW و Wd) به صورت جداگانه و برای تمامی فام‌ها بررسی گردید. نتایج این بررسی برای نمونه‌های مشکی متالیک در شکل ۳ نشان داده شده است. با توجه به این که اختلاف جلوه ظاهری (اختلاف چشمی) هر نمونه با نمونه استاندارد توسط مشاهده‌کنندگان بیان گردیده، برای هر نمونه مقادیر اختلاف دستگامی هر نمونه نسبت به نمونه استاندارد نیز محاسبه شده و ارتباط آن با مقادیر اختلاف چشمی مربوطه مورد بررسی قرار گرفته است.

رابطه بین نتایج ارزیابی چشمی جلوه ظاهری با هر یک از عوامل دستگاهی برای نمونه‌های سفید غیرمتالیک، خاکستری متالیک و قره‌ای متالیک نیز به ترتیب در شکل‌های ۴، ۵ و ۶ نشان داده شده است.

وضوح تصویر و پوست پرتقالی رابطه مناسبی نشان می‌دهد. همچنین از میان عوامل اندازه‌گیری شده با دستگاه موج‌سنج، Wd رابطه خطی بهتری با نتایج ارزیابی چشمی نشان می‌دهد.



شکل ۵: بررسی ارتباط میان نتایج حاصل از ارزیابی چشمی جلوه ظاهری با پارامترهای دستگاهی برای نمونه‌های خاکستری متالیک.

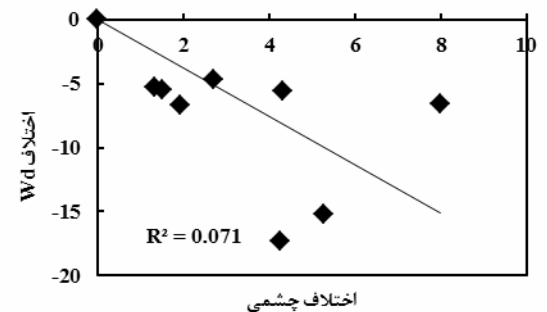
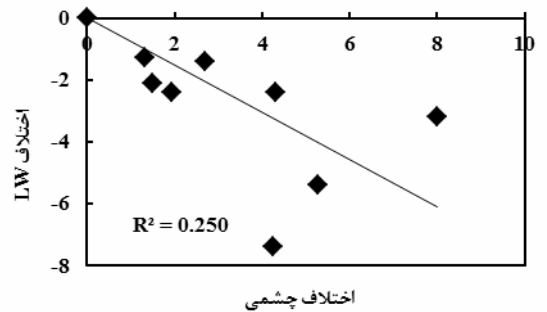
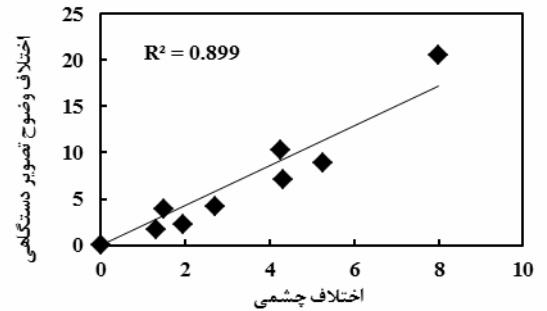
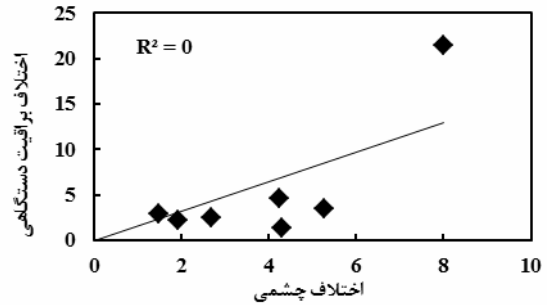
شکل ۴: بررسی ارتباط میان نتایج حاصل از ارزیابی چشمی جلوه ظاهری با پارامترهای دستگاهی برای نمونه‌های سفید غیرمتالیک.

می‌شود که به استثنای فام نقره ای متالیک در بقیه فام‌های مورد بررسی، پارامتر Wd در مقایسه با LW رابطه خطی بهتری با نتایج ارزیابی چشمی دارد. بر اساس این نتایج، یک فضای دو بعدی با استفاده از دو عامل وضوح تصویر و Wd به عنوان معیاری از میزان پوست پرتقالی تعریف گردید. در ادامه به تعیین حدود رواداری برای این فضا به تفکیک برای هر فام پرداخته می‌شود [۱۱، ۱۲].

در شکل ۷ میانگین مقادیر دستگامی پارامتر وضوح تصویر (DOI) و Wd برای مجموع سطوح افقی بدنه خودرو شامل درب موتور، سقف و صندوق اندازه‌گیری شده روی ۶ بدنه خودروی مشکی متالیک، ۳ بدنه خاکستری متالیک، ۹ بدنه نقره‌ای متالیک و ۱۰ بدنه سفید غیرمتالیک در فضای دو بعدی Wd - DOI نشان داده شده است. همان‌گونه که در بخش "روش کار" توضیح داده شد، تمامی موقعیت‌های افقی و عمودی اندازه‌گیری شده از نقطه نظر کیفیت جلوه ظاهری کلی توسط ۶ نفر از آدیته‌های شرکت ایران خودرو به منظور تعیین حدود رواداری مورد ارزیابی قرار گرفت و نتایج ارزیابی به صورت مطلوب (نمایه OK)، قابل قبول (نمایه C) و غیرقابل قبول (نمایه B) گزارش گردید. تعیین حدود رواداری، بر اساس نتایج ارزیابی ۶ نفر مشاهده‌کننده خبره به دلیل کمتر بودن خطای ارزیابی افراد خبره صورت گرفته است که در قسمت قبل به آن اشاره شد. نتایج این ارزیابی‌ها در شکل ۷ با مناطق سبز، زرد و قرمز نشان داده شده است. منطقه سبز، منطقه‌ای است که در آن جلوه ظاهری روکش سطح خودرو از نظر آدیته مطلوب به نظر می‌رسد. منطقه زرد، منطقه‌ای است که از نظر آدیته کیفیت جلوه ظاهری روکش سطح خودرو در مقایسه با منطقه سبز دچار افت شده ولی همچنان قابل قبول می‌باشد. منطقه قرمز، منطقه‌ای است که در آن کیفیت جلوه ظاهری روکش سطح خودرو از نظر آدیته غیر قابل قبول می‌باشد. حدود رواداری مشخص شده در نمودارهای شکل ۷ برای سطوح افقی بدنه خودرو به تفکیک فام نشان داده شده است.

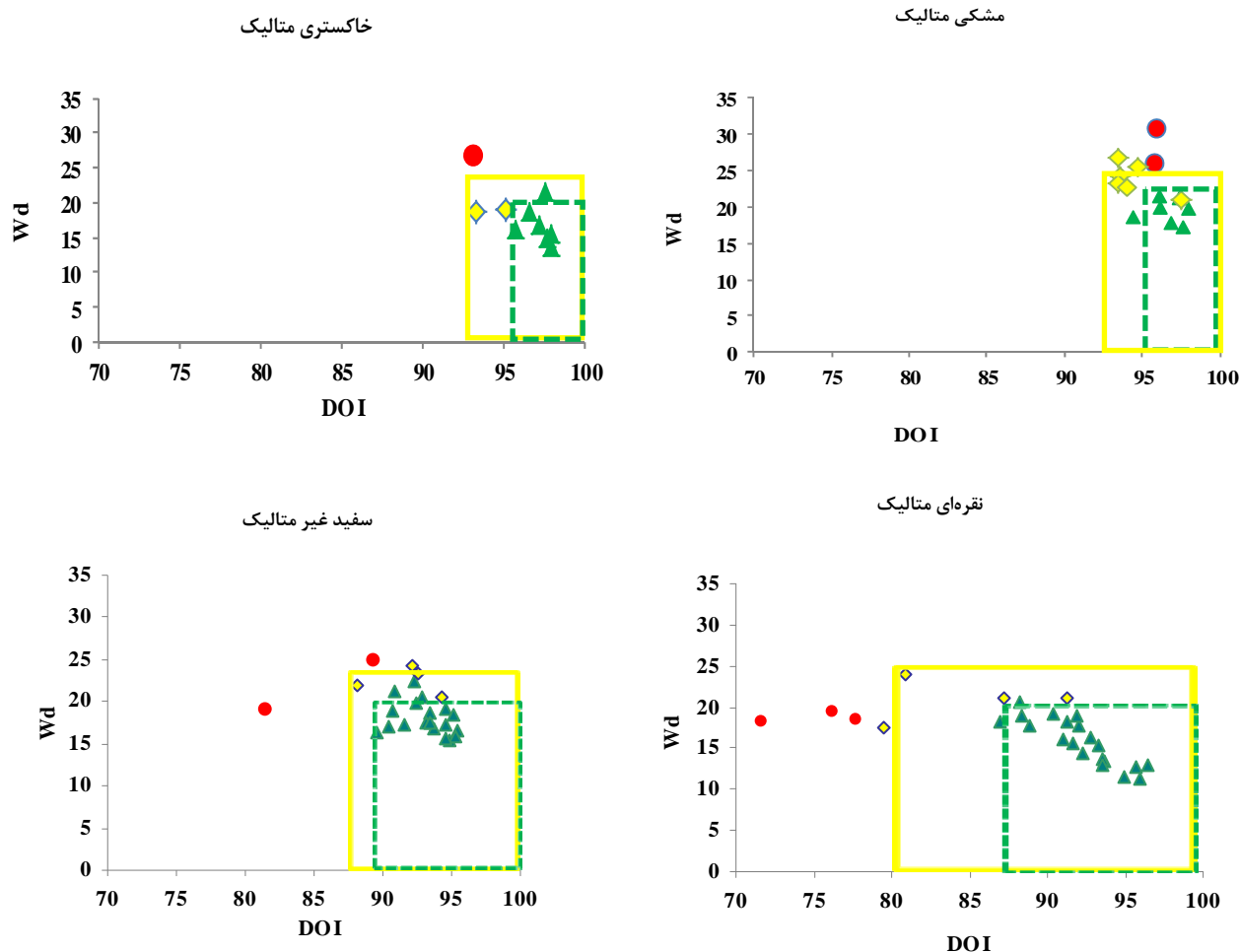
به طور مشابه میانگین مقادیر دستگامی DOI و Wd برای سطوح عمودی بدنه خودرو شامل گلگیرها و درب‌های جلو و درب‌ها، گلگیرها و ستون‌های عقب روی ۶ بدنه خودروی مشکی متالیک، ۳ بدنه خاکستری متالیک، ۹ بدنه نقره‌ای متالیک و ۱۰ بدنه سفید غیرمتالیک در فضای دو بعدی Wd - DOI در شکل ۸ نشان داده شده است. همچنین حدود رواداری تعیین شده توسط آدیته‌ها در سه منطقه سبز، زرد و قرمز در این نمودارها و به تفکیک برای هر فام مشخص گردیده است.

با بررسی نمودارهای دو شکل ۷ و ۸ مشاهده می‌شود که ارزیابی کیفیت ظاهری برای سطوح افقی بدنه خودرو در مقایسه با سطوح عمودی با سخت‌گیری بیشتری صورت گرفته است، به نحوی که حدود رواداری تعیین شده برای منطقه سبز و زرد در سطوح افقی کوچک‌تر از سطوح عمودی است.



شکل ۶: بررسی ارتباط میان نتایج حاصل از ارزیابی چشمی جلوه ظاهری با عوامل دستگامی برای نمونه‌های نقره‌ای متالیک.

بررسی شکل‌های ۴، ۵ و ۶ نشان می‌دهد همانند نمونه‌های مشکی متالیک، برای نمونه‌های سفید غیرمتالیک، خاکستری متالیک و نقره‌ای متالیک نیز ارتباطی میان مقادیر اختلاف چشمی و اختلاف برآیند دستگامی وجود ندارد. از این رو به نظر می‌رسد مشاهده‌کنندگان در ارزیابی جلوه ظاهری کلی، وضوح تصویر و پوست پرتقالی روکش را بیشتر مورد توجه قرار می‌دهند، در حالی که برآیند برای مشاهده‌کنندگان از کمترین اهمیت برخوردار است. همچنین مشاهده



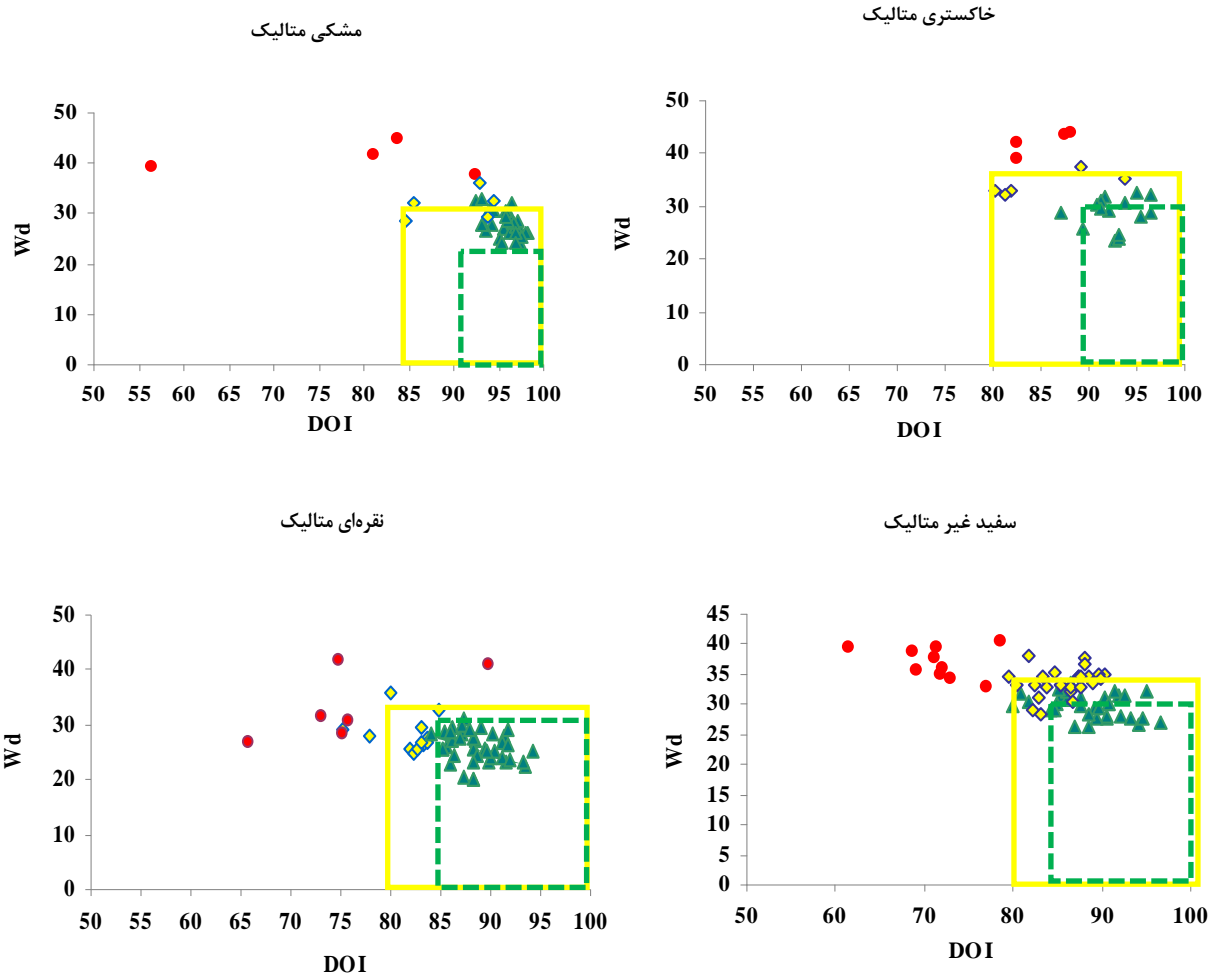
شکل ۷: میانگین نتایج دستگاهی DOI و Wd برای سطوح افقی بدنه خودرو در فضای دوبعدی DOI- Wd با حدود رواداری مشخص شده در سه منطقه سبز(---)، زرد(—) و قرمز.

نمونه‌های تیره در مقایسه با نمونه‌های روشن باشد. حدود رواداری معین شده برای وضوح تصویر (DOI) و پوست پرتقالی (Wd) به تفکیک برای سطوح افقی و عمودی روکش‌های سطح خودرویی تیره و روشن در جدول ۲ خلاصه گردیده است. با استفاده از این حدود رواداری، امکان ارزیابی و کنترل کیفیت ظاهری مناطق مختلف خودرو برای تولیدکنندگان خودرو فراهم می‌گردد.

همچنین مناطق سبز تعیین شده برای نمونه‌های مشکی و خاکستری متالیک در هر یک از سطوح افقی و عمودی، کوچک‌تر از محدوده سبز تعیین شده برای نمونه‌های سفید غیرمتالیک و نقره‌ای متالیک است. بنابراین به نظر می‌رسد که ارزیابی و کنترل جلوه ظاهری نمونه‌های تیره سخت‌گیرانه‌تر انجام شده است و این می‌تواند به دلیل وضوح بیشتر عیوب ظاهری همچون پوست پرتقالی در

جدول ۲: حدود رواداری برای جلوه ظاهری مطلوب، قابل قبول و غیرقابل قبول به تفکیک فام برای سطوح افقی و عمودی بدنه خودرو.

سفید غیر متالیک		نقره‌ای متالیک		خاکستری متالیک		مشکی متالیک		محدوده رواداری
عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	
DOI>85 Wd<30	DOI>90 Wd<20	DOI>85 Wd<30	DOI>85 Wd<20	DOI>90 Wd<30	DOI>95 Wd<20	DOI>90 Wd<30	DOI>95 Wd<20	مطلوب (سبز)
DOI>80 Wd<35	DOI>85 Wd<25	DOI>80 Wd<35	DOI>80 Wd<25	DOI>80 Wd<35	DOI>90 Wd<25	DOI>85 Wd<35	DOI>90 Wd<25	قابل قبول (زرد)
DOI<80 Wd>35	DOI<85 Wd>25	DOI<80 Wd>35	DOI<80 Wd>25	DOI<80 Wd>35	DOI<90 Wd>25	DOI<85 Wd>35	DOI<90 Wd>25	غیرقابل قبول (قرمز)



شکل ۸: میانگین نتایج دستگاهی DOI و Wd برای سطوح عمودی بدنه خودرو در فضای دو بعدی DOI - Wd با حدود رواداری مشخص شده در سه منطقه سبز(---)، زرد(—) و قرمز.

در حالی است که براقیت دستگاهی کمترین ارتباط را با نتایج ارزیابی بصری نشان می‌دهد. همچنین مشاهده می‌شود که برای اغلب فام‌های مورد بررسی، Wd در مقایسه با LW رابطه خطی بهتری با نتایج ارزیابی چشمی دارد. بر این اساس یک فضای دوبعدی با استفاده از وضوح تصویر و Wd (نماینده پوست پرتقالی) با حدود رواداری مشخص تعریف گردید که با استفاده از آن ارزیابی و کنترل جلوه ظاهری سطوح افقی و عمودی بدنه خودرو امکان پذیر است. علاوه بر این بررسی حدود رواداری تعیین شده نشان می‌دهد که محدوده مطلوب و قابل قبول برای فام‌های تیره و نیز سطوح افقی کوچکتر می‌باشد. به بیان دیگر، ارزیابی جلوه ظاهری برای فام‌های تیره و سطوح افقی در مقایسه با فام‌های روشن و سطوح عمودی با سخت‌گیری بیشتری صورت می‌گیرد.

لازم به ذکر است که برای خودروهای لوکس که رتبه و قیمت بالاتری در مقایسه با خودروهای معمولی دارند، همیشه ارزیابی جلوه ظاهری با سخت‌گیری بسیار بیشتری صورت می‌گیرد. برای چنین خودروهایی، استفاده از حدود رواداری تعیین شده در منطقه سبز فضای دو بعدی تعریف شده مناسب به نظر می‌رسد.

۴- نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که در بررسی جلوه ظاهری کلی روکش‌های سطح خودرویی مشکی، خاکستری و نقره‌ای متالیک و سفید غیرمتالیک مشاهده‌کنندگان غالباً پوست پرتقالی و وضوح تصویر روکش سطح را مورد توجه قرار می‌دهند، به نحوی که نتایج ارزیابی چشمی جلوه ظاهری با مقادیر دستگاهی آنها رابطه بهتری دارد. این

۵- مراجع

1. 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.
2. G. K. Böckler, Harmony: Uniform color and appearance. 6th BYK-Gardner US User Meeting, Dearborn, 2011.
3. R. S. Hunter, R. W. Harold, The measurement of appearance. Second edition, Wiley Interscience, New York, 1987.
4. Introduction-Appearance perception, http://www.byk.com/fileadmin/BYK/downloads/support-downloads/instruments/theory/appearance/en/Intro_Appearance.pdf, 2010.
5. New structure space with Balance chart analysis. 9th BYK-Gardner European user meeting, 2010.
6. Audi redefinition of the wave scan structure space. Audi user meeting, 2006.
7. H. J. Streitberger, K. F. Dossel, Automotive paints and coatings. Second edition, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, 2008.
8. Wave-scan DOI-The new generation for understanding the appearance of coatings. 9th BYK-Gardner European User Meeting, 2010.
9. N. Khalili, F. Ameri. A review on the appearance control methods in automotive finishes. *J. Stud. Color World*. 3(1392), 3-12.
10. F. Mirjalili, S. Moradian, F. Ameri, A new approach to investigate relationships between certain instrumentally measured appearance parameters and their visually perceived equivalents in the automotive industry. *J. Coat. Technol. Res.* DOI 10.1007/s11998-013-9544-9, January 2014.
11. F. Ameri, N. Khalili, S. Moradian, D. Zaarei, F. Mirjalili, Correlation between the BYK's balance index and the appearance of visually assessed achromatic automotive finishes. *Prog. Org. Coat.* 2013, Doi 10.1016.
12. N. Khalili, F. Ameri, S. Moradian, K. Ghafarzadeh, S. H. Razmgir, Investigation of the structure spectrum effects on the appearance of automotive finishes. *J. Color. Sci. Tech.* 7(2013), 123-131.
13. H. Gradisch, First experience with the wave scan DOI and correlation to the visual perception. 6th Wave scan User meeting, Konigsdorf, Germany, BYK-Gardner, Gerestried, 2004.
14. P. J. Schubel, Characterization of 'class A' polymer composites for the automotive industry. Ph.D. Thesis, University of Nottingham. United Kingdom, 2004.
15. N. Khalili, F. Ameri, Effect of illumination/observation geometries on visual assessment of certain geometric attributes of automotive paints. *J. Color. Sci. Tech.* 7(2014), 323-330.
16. S. H. Sadeghi, S. Moradian, F. Ameri, F. Mirjalili, Quantifying visual perception of gloss, distinctness of image and orange peel of automotive finishes utilizing a visually spaced grey scale. *J. Color. Sci. Tech.* 6(2012), 377-384.
17. M. R. Lou, New color differences formula for surface colors. Ph.D. thesis, University of Bradford, Bradford, UK, 1986.
18. ASTM D2616-96 (2003), Standard test method for evaluation of visual color difference with a grey scale.
19. J. Ma, H. Xu, M. R. Luo, G. Cui, Color appearance and visual measurements for color samples with gloss effect. *Chin. Opt Letter.* 7(2009), 860-872.