



بررسی همبستگی وضوح تصویر حاصله از ارزیابی چشمی با دو نوع دستگاه متفاوت اندازه‌گیری این پارامتر

فرهاد عامری

استادیار، گروه پژوهشی فیزیک رنگ، موسسه پژوهشی علوم و فناوری رنگ و پوشش، تهران، ایران، صندوق پستی ۶۵۴-۱۶۷۶۵
تاریخ دریافت: ۹۳/۷/۲۳ تاریخ پذیرش: ۹۳/۹/۱۱ در دسترس به صورت الکترونیکی از: ۱۳۹۴/۳/۲۰

چکیده

در این تحقیق ارتباط نتایج وضوح تصویر اندازه‌گیری شده با دو دستگاه گونیوفوتومتر و *Wave scan DOI* که از دو روش کاملاً متفاوت اندازه‌گیری می‌شوند با نتایج ارزیابی چشمی بررسی گردید تا از این طریق کارایی دو دستگاه در اندازه‌گیری این پارامتر ارزیابی گردد. برای این منظور ۴ مقیاس وضوح تصویر از نمونه‌های اکروماتیک خودرویی مشکی متالیک، خاکستری متالیک، نقره‌ای متالیک و سفید غیرمتالیک آماده گردید به طوری که در هر مقیاس مقدار براقیت و دیگر صفات هندسی تقریباً ثابت و پارامتر وضوح تصویر متغیر بود. این نمونه‌ها توسط ۱۶ نفر مشاهده کننده و با روش اختلاف‌سنجی با مقیاس خاکستری مورد ارزیابی قرار گرفتند. سپس به صورت آماری نتایج ارزیابی چشمی با نتایج اندازه‌گیری دو دستگاه گونیوفوتومتر و *Wave scan DOI* بررسی گردید. نتایج نشان داد برای هر چهار فام مورد بررسی، بین وضوح تصویر اندازه‌گیری شده با دستگاه گونیوفوتومتر با نتایج ارزیابی چشمی ارتباط خطی بهتری در مقایسه با وضوح تصویر اندازه‌گیری شده با دستگاه *Wave scan DOI* وجود دارد، بنابراین به نظر می‌رسد که برای اندازه‌گیری وضوح تصویر نمونه‌های خودرویی دستگاه گونیوفوتومتر در مقایسه با دستگاه *WaveScan DOI* کارایی بهتری داشته باشد.

واژه‌های کلیدی: جلوه ظاهری، ارزیابی چشمی، وضوح تصویر، *Wave scan DOI*، گونیوفوتومتر.

Correlation of Visually Assessed DOI and Instrumentally Measured Equivalence in Two Types of Instruments

F. Ameri

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

Received: 15-10-2014

Accepted: 02-12-2014

Available online: 10-06-2015

Abstract

In this study the correlation between quantitative visual assessment of distinctness of image and its instrumental equivalents as measured by two types of measuring instruments namely a goniophotometer and a wavescan DOI instrument was sought after. To this end, 4 scales were prepared based on automotive achromatic samples varying in lightness i.e. black, grey, silver and white, having variable DOI values but the other geometric attributes being kept constant as far as possible. The differences in DOI of samples in each scale were visually assessed and quantified in terms of an also prepared lightness scale by a panel of 16 observers. The coefficient of determination was utilized to assess the correlation between such quantified visually assessed data and the equivalent instrument values as measured separately by a goniophotometer and a wavescan DOI instrument. Results show that irrespective of lightness of samples, the correlation of differences in visual and instrumental data was always superior for the goniophotometer than the wavescan DOI instrument. This implies that the measurement of DOI by a goniophotometer has unequivocal advantages. *J. Color Sci. Tech.* 9(2015), 83-89©. Institute for Color Science and Technology.

Keywords: Appearance, Visual assessment, Distinctness of image, Wavescan DOI, Goniophotometer.

۱- مقدمه

بررسی قرار می‌گیرد. لازم به ذکر است درک این صفات به مجموعه‌ای از عوامل فیزیولوژیکی و روانی وابسته است و به همین دلیل اندازه‌گیری و کنترل این صفات تبدیل به چالش بزرگی گردیده است. همواره عرضه دستگاه‌هایی که قادر به اندازه‌گیری دقیق و نزدیک به نتایج ارزیابی چشمی باشند مورد توجه سازندگان خودرو بوده و هر روز با پیشرفت فناوری، دستگاه‌های جدیدی در این زمینه به بازار عرضه می‌گردد [۹-۷]. مطابق با تعریف ارائه شده استاندارد ASTM D523، براقیت آینه‌ای نسبت شار نور انعکاس یافته از سطح یک شیء در جهت انعکاس آینه‌ای و برای یک منبع نوری معین، به شار نور منعکس شده از سطح یک شیشه سیاه صیقلی به عنوان مرجع در جهت انعکاس آینه‌ای تحت شرایط کاملاً یکسان می‌باشد که طبق این روش استاندارد براقیت سطح توسط دستگاه براقیت‌سنج و یا دستگاه گونیو فوتومتر و بسته به میزان براقیت نسبی آن با استفاده از سه هندسه ۲۰، ۶۰ و ۸۵° اندازه‌گیری می‌شود [۱۰، ۹]. مطابق با استاندارد ASTM E284، وضوح تصویر (DOI) به عنوان یکی از جنبه‌های براقیت، به معنای وضوح و تیزی تصویر تشکیل شده از یک شیء روی سطح تعریف می‌گردد. می‌توان گفت مشاهده چنین تصویری در سطح، آسان‌ترین روش برای ارزیابی چشمی براقیت آن سطح توسط چشم است. وضوح تصویر در ارزیابی چشمی روکش‌های سطح خودرویی که از براقیت بالایی برخوردارند، از اهمیت فراوانی برخوردار است. جهت اندازه‌گیری کمی وضوح تصویر مطابق با استاندارد ASTM E430، مقدار انعکاس آینه‌ای نمونه مورد بررسی تحت زاویه تابش ۳۰° با مقدار انعکاس در زاویه ۳۰± مقایسه گردیده و وضوح تصویر با استفاده از این داده‌ها از طریق رابطه ۱ مورد محاسبه قرار می‌گیرد.

$$DOI = \left(\frac{R_s - R_{0.3}}{R_s} \right) \times 100 \quad (1)$$

در این رابطه، R_s مقدار انعکاس آینه‌ای در زاویه انعکاس آینه‌ای ۳۰° و $R_{0.3}$ مقدار انعکاس در زاویه ۰.۳° از زاویه انعکاس آینه‌ای می‌باشد [۱۴-۱۱]. برای اندازه‌گیری وضوح تصویر از دستگاه گونیوفتومتر و یا دستگاه موج‌سنج^{۱۰} استفاده می‌شود. دستگاه گونیوفتومتر در دو زاویه ۲۰ و ۶۰ درجه، توزیع نور انعکاس یافته را در زاویه ۰.۳± درجه حول زاویه انعکاس آینه‌ای طبق استاندارد ASTM D5767 اندازه‌گیری می‌کند و مقدار این پارامتر را با عددی از صفر تا ۱۰۰ گزارش می‌کند که ارزش ۱۰۰ به سطحی که بهترین وضوح تصویر و ارزش صفر به سطحی که بدترین وضوح تصویر را دارد اختصاص می‌یابد [۱۶، ۱۵]. نتایج تحقیقات در سال‌های اخیر نشان داده وجود بافتار و نایکنواختی سطح که از آن تحت عنوان پدیده پوست پرتقالی یاد می‌شود و بصورت یک الگوی موجی از نواحی تاریک

ظاهر اجسام یکی از مهم‌ترین منظرهای بیان کیفیت جسم است. در کنار رنگ، کنترل خواص هندسی پوشش نهایی نظیر براقیت، وضوح تصویر، یکنواختی و هارمونی جلوه ظاهری در تمامی بخش‌های خودرو نقش عمده و بسزایی در تصمیم‌گیری اولیه مشتری در خرید محصول دارد، که در این میان ارزیابی ویژگی‌های هندسی روکش‌های سطح خودرویی در مقایسه با کنترل رنگ پوشش، در سال‌های اخیر بیشتر مورد توجه سازندگان خودرو قرار گرفته به طوری که در شرکت‌های خودروسازی نظیر BMW، Audi و Ford تیم‌های تحقیقاتی تشکیل گردیده‌اند که هدف آنها معرفی استانداردها و شاخص‌هایی است که بتواند بین ارزیابی چشمی خواص هندسی سطح و اندازه‌گیری دستگاهی ارتباط خوبی برقرار نماید [۳-۱].

در روکش‌های سطح خودرویی تا مدت‌ها اندازه‌گیری براقیت آینه‌ای^۱ به عنوان تنها عامل کنترل‌کننده جلوه ظاهری خودرو مورد استفاده قرار می‌گرفت و اولین براقیت‌سنج در سال ۱۹۳۴ توسط هانتز^۲ ساخته شد. این دستگاه تحت زاویه ۴۵ درجه نسبت به نرمال طراحی و برای اندازه‌گیری میزان انعکاس آینه‌ای ساخته شد ولی نتایج ارزیابی چشمی نمونه‌های چینی لعاب‌دار با نتایج اندازه‌گیری براقیت‌سنج مطابقت نداشت و هانتز با تحقیقاتی که روی براقیت گروه‌های مختلفی از مواد انجام داد به این نتیجه رسید که حداقل ۶ نوع پدیده چشمی مختلف در ارتباط با براقیت وجود دارد که مشاهده‌کننده آنها را به صورت جمع‌بندی از آنچه دیده است بیان می‌کند. شش پدیده چشمی معرفی شده توسط هانتز عبارتند از براقیت آینه‌ای، درخشش در افق^۳، براقیت تباینی^۴، فقدان شیری‌شدن یا ابری‌شدن^۵، وضوح تصویر (تیزی تصویر^۶، نایکنواختی سطح^۷ نظیر بافتار^۸ و پوست پرتقالی^۹). بنابراین ارزیابی صفات هندسی سطوح براق تنها محدود به یک بعد براقیت آینه‌ای نبوده و بدین ترتیب مفهوم چند بعدی بودن براقیت و صفات هندسی دیگری نظیر وضوح تصویر و پوست پرتقالی مطرح گردید [۴-۶]. 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 در سطح مشاهده و درک می‌گردند. در حالت اول خصوصیتی همچون براقیت، وضوح تصویر و کدری و در حالت دوم اثراتی از قبیل پوست پرتقالی و همترازی سطح روکش توسط مشاهده‌کننده مورد

- 1- Specular gloss
- 2- Hunter
- 3- Sheen
- 4- Contrast gloss or luster
- 5- Absence of bloom
- 6- Sharpness
- 7- Surface non uniformity
- 8- Texture
- 9- Orange peel

10- Wave scan

در روکش مشکی متالیک به علت وجود مقدار زیادی رنگدانه کربن بلک (به عنوان منبعی برای جذب نور) بخش زیادی از نور رسیده به لایه متالیک جذب شده و مقدار کمی از نور توسط پرک‌های آلومینیم بازتاب می‌شود. روکش سفید غیرمتالیک بدین علت انتخاب گردیده که سفید از بیشترین میزان انتشار دهندگی و کمترین میزان انعکاس نور در جهت آینه‌ای برخوردار است. همچنین روکش خاکستری متالیک به عنوان فامی که عملکردی مابین روکش‌های مشکی و نقره‌ای متالیک دارد، انتخاب گردیده است. تمامی نمونه‌ها با استفاده از ورقه‌های فولادی با ابعاد $10 \times 20 \text{ cm}^2$ و در شرایط خط رنگ شرکت ایران خودرو سشتشو و چربی‌گیری شدند و پس از اعمال لایه‌های فسفاته تری کاتیونی، لایه آستری الکتروپوشانش^۲ و لایه آستری همترازکننده^۳، رنگ‌های رویه^۴ اعمال گردیدند. برای رسیدن به مقیاس مورد نظر که نیاز به تهیه نمونه‌هایی با مقادیر براقیت یکسان و وضوح تصویر متفاوت است دو لایه کیلر با ضخامت‌های مختلف به صورت تر روی تر^۵ بر روی نمونه‌ها اعمال گردید. بدین ترتیب که لایه اول حاوی مقداری مات‌کننده جهت کاهش دادن وضوح تصویر بود و لایه دوم بدون هیچ‌گونه افزودنی جهت افزایش براقیت بر روی لایه زیرین اعمال گردید. با توجه به اینکه علاوه بر متغیر بودن مقدار دستگاهی پارامتر وضوح تصویر در مقیاس، لازم است که این تغییرات به لحاظ چشمی نیز قابل درک باشد تا ارزیابی‌های مربوطه با صحت بیشتری توسط مشاهده‌کننده‌ها صورت گیرد لذا با در نظر گرفتن این موارد، در فام مشکی متالیک ۵ نمونه، در فام نقره‌ای متالیک ۶ نمونه، در فام سفید غیر متالیک ۵ نمونه و در فام خاکستری متالیک ۶ نمونه انتخاب گردید.

۲-۲- روش کار

اندازه‌گیری وضوح تصویر نمونه‌های تهیه شده تحت هندسه 20° توسط گونیوفتومتر Novo-Gloss I.Q ساخته شده توسط Rhopoint Instruments انجام گرفت. انتخاب این هندسه با این استدلال صورت گرفت که ابتدا براقیت نمونه‌ها در زاویه 60° درجه اندازه‌گیری شدند و با توجه به اینکه براقیت کلیه نمونه‌ها از 85 بیشتر بود کلیه اندازه‌گیری‌ها در زاویه 20° درجه انجام شد. همچنین وضوح تصویر نمونه‌ها که اختصاراً DOI_{BYK} نامیده شده است با دستگاه Wave scan DOI ساخته شده توسط BYK Gardner نیز اندازه‌گیری گردید.

برای ارزیابی چشمی، ۱۶ نفر مشاهده کننده 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 مشاهده کنندگان قبل از

و روشن روی سطح روکش دیده می‌شود در جلوه ظاهری سطح به ویژه روی وضوح تصویر تاثیرگذار است. موجی بودن روکش‌های خودرویی در محدوده 0.1 تا 3.0 میلی‌متر قابل مشاهده هستند. علاوه بر این وضوح این ساختارها به فاصله مشاهده نیز وابسته است به طوری که ساختارهای خیلی ریز سطح با اندازه‌ای کوچک‌تر از 0.1 میلی‌متر حتی در فواصل خیلی نزدیک نیز برای چشم قابل تشخیص نیستند ولی در کاهش وضوح و کیفیت تصویر تشکیل شده نقش داشته و باعث می‌شوند لبه‌های تصویر از حالت تیزی درآمده و تار^۱ شوند. در سال ۱۹۹۹ شرکت BYK Gardner دستگاهی را تحت عنوان Wave Scan DOI به بازار عرضه نمود. این دستگاه به نحوی طراحی شده است که بتواند ساختارهای ریز سطح را نیز اندازه‌گیری نماید. برای این منظور، یک دوربین CCD در زاویه 20° درجه در دستگاه تعبیه شده است و یک منبع نوری LED در زاویه 20° درجه سطح را روشن کرده و مقدار نور پراکنده شده توسط ساختارهای ریز سطح توسط دوربین CCD ثبت و تحت عنوان پارامتر dullness گزارش می‌گردد [۱۷، ۱۸]. این دستگاه کمیت وضوح تصویر را تحت عنوان DOI_{BYK} از ترکیب پارامترهای Wa و Wb که مربوط به موج‌های کوچک سطح است از رابطه ۲ محاسبه می‌نماید [۱۸، ۱۹].

$$DOI_{BYK} = f(\text{dullness}, wa, wb) \quad (2)$$

با توجه به اهمیت اندازه‌گیری پارامتر وضوح تصویر در صنعت خودرو در این تحقیق ارتباط نتایج پارامتر وضوح تصویر اندازه‌گیری شده با دو دستگاه گونیوفتومتر و Wave Scan DOI که از دو روش کاملا متفاوت اندازه‌گیری می‌شوند با میانگین نتایج ارزیابی چشمی بررسی شده تا از این طریق کارایی دو دستگاه در اندازه‌گیری این پارامتر ارزیابی 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 غیر متالیک به عنوان متداول‌ترین فام‌های خودرویی با خواص نوری متفاوت استفاده گردیده است. علت انتخاب فام‌های مشکی و نقره‌ای متالیک، عملکرد متفاوت آن‌ها بر روی نور عبور کرده از لایه شفاف و رسیده به لایه زیرین می‌باشد. در روکش‌های نقره‌ای متالیک نور عبور کرده از لایه شفاف و رسیده به لایه متالیک به علت وجود مقدار زیادی پرک آلومینیم در فرمولاسیون این روکش‌ها، از شناس بازتابش بالایی برخوردار بوده و در اثر انعکاس توسط این پرک‌ها، نور دوباره از لایه شفاف عبور کرده و میزان براقیت روکش را افزایش می‌دهد. در حالی که

1- Blurry

2- Electrodeposition primer

3- Primer surfacer

4- Base coat

5- Wet on wet

$$STRESS = \left(\frac{\sum (X_i - FY_i)^2}{\sum F^2 Y_i^2} \right)^{1/2} \times 100 \quad (4)$$

در این رابطه X و Y دو مجموعه داده و F برابر با $\frac{\sum X_i^2}{\sum X_i Y_i}$ 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].

۱-۳- ارزیابی چشمی

به منظور تعیین میزان توافق بین مشاهده‌کنندگان (تجدیدپذیری)، مقدار خطای هر یک از مشاهده‌کنندگان در ارزیابی وضوح تصویر نسبت به مقدار میانگین تمام مشاهده‌کنندگان با آماره $STRESS$ محاسبه گردید. مقادیر میانگین، حداقل و حداکثر $STRESS$ محاسبه شده برای مشاهده‌کنندگان به تفکیک برای فام‌های مشکی متالیک، خاکستری متالیک، نقره متالیک و سفید غیرمتالیک در جدول ۱ گزارش شده است.

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

نمونه	پارامتر آماری استرس	
	میانگین	حداکثر
مشکی متالیک	۴۱	۵۰,۰۶
سفید غیرمتالیک	۶۰,۵	۸۲,۱۹
خاکستری متالیک	۳۸,۷۷	۵۸,۴۴
نقره‌ای متالیک	۴۶	۸۲,۰۷

همان‌گونه که مشاهده می‌گردد، میانگین خطای ارزیابی چشمی مشاهده‌کنندگان برای فام‌های مشکی متالیک و خاکستری متالیک کمتر از دو فام دیگر است. با این وجود و با توجه به مراجع [۲۱، ۲۰، ۱۴]، می‌توان میانگین خطای ارزیابی را برای کلیه فام‌ها در محدوده قابل قبول در نظر گرفت.

۲-۳- ارتباط نتایج ارزیابی چشمی با اندازه‌گیری‌های دستگاهی

نتایج اندازه‌گیری دستگاهی وضوح تصویر با دستگاه گونیوفوتومتر در زاویه ۲۰ درجه و با دستگاه Wave scan DOI در جدول ۲ گزارش شده است.

انجام ارزیابی، آموزش‌های لازم داده شد. بینایی رنگی نرمال تمامی مشاهده‌کنندگان با گذراندن آزمون ایشی‌هارا تایید گردید. ارزیابی‌های چشمی زیر کابینت نوری استاندارد مجهز به منبع نوری شبیه ساز 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 cm بود [۱۹].

برای ارزیابی چشمی از روش اختلاف‌سنجی با مقیاس خاکستری^۱ 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 غیرمتالیک) نمونه‌ای که دارای بیشترین مقدار وضوح تصویر دستگاهی بود 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 وضوح تصویر 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 ۳ به اختلاف رنگ معادل در مقیاس خاکستری تبدیل گردید [۲۲-۲۰].

$$\Delta E = 0.163(GS)^2 + 0.45(GS) - 0.48 \quad (3)$$

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

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^۲ و به عبارت دیگر توافق بین مشاهده‌کنندگان در ارزیابی چشمی نمونه‌ها از آماره^۳ "STRESS" استفاده گردید [۲۰]. ارتباط میان نتایج حاصل از ارزیابی چشمی و نتایج اندازه‌گیری دستگاهی نمونه‌ها به وسیله آماره ضریب همبستگی (R^2) مورد بررسی قرار گرفت. آماره $STRESS$ با استفاده از رابطه ۴ و در مقیاس صفر تا صد محاسبه می‌گردد:

- 1- Grey scale
- 2- Reproducibility
- 3- Standardized Residual Sum of Squares

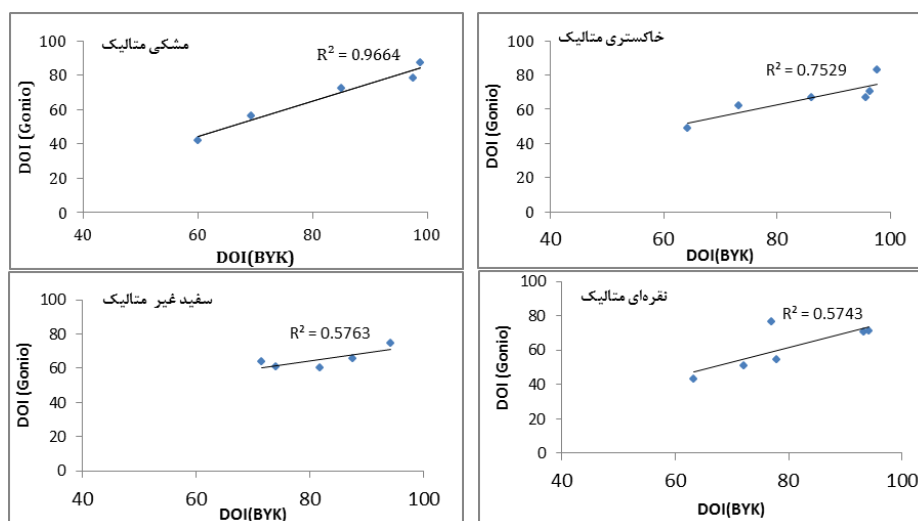
مقایسه نتایج اندازه‌گیری وضوح تصویر با دو دستگاه گونیوفتومتر در زاویه ۲۰ درجه و دستگاه Wave can DOI نشان می‌دهد همواره مقادیر اندازه‌گیری شده با دستگاه Wave can DOI پایین‌تر از گونیوفتومتر است.

نمودار شکل ۱ ارتباط بین نتایج اندازه‌گیری‌های دو دستگاه را نشان می‌دهد. همان‌طوری که نمودار شکل ۱ نشان می‌دهد تنها در فام مشکی متالیک ارتباط خطی مناسبی بین دو دستگاه در اندازه‌گیری وضوح تصویر وجود دارد و در سایر فام‌ها این ارتباط دیده نمی‌شود. برای بررسی کارایی دو دستگاه در اندازه‌گیری وضوح تصویر، نتایج ارزیابی چشمی با نتایج اندازه‌گیری دو دستگاه گونیوفتومتر و Wave can DOI بررسی گردید. در نمودار شکل ۲ میانگین اختلافات چشمی با نتایج اندازه‌گیری دستگاه گونیوفتومتر و دستگاه Wave can DOI برای نمونه‌های مشکی متالیک، سفید غیرمتالیک، خاکستری متالیک و نقره‌ای متالیک نشان داده شده است.

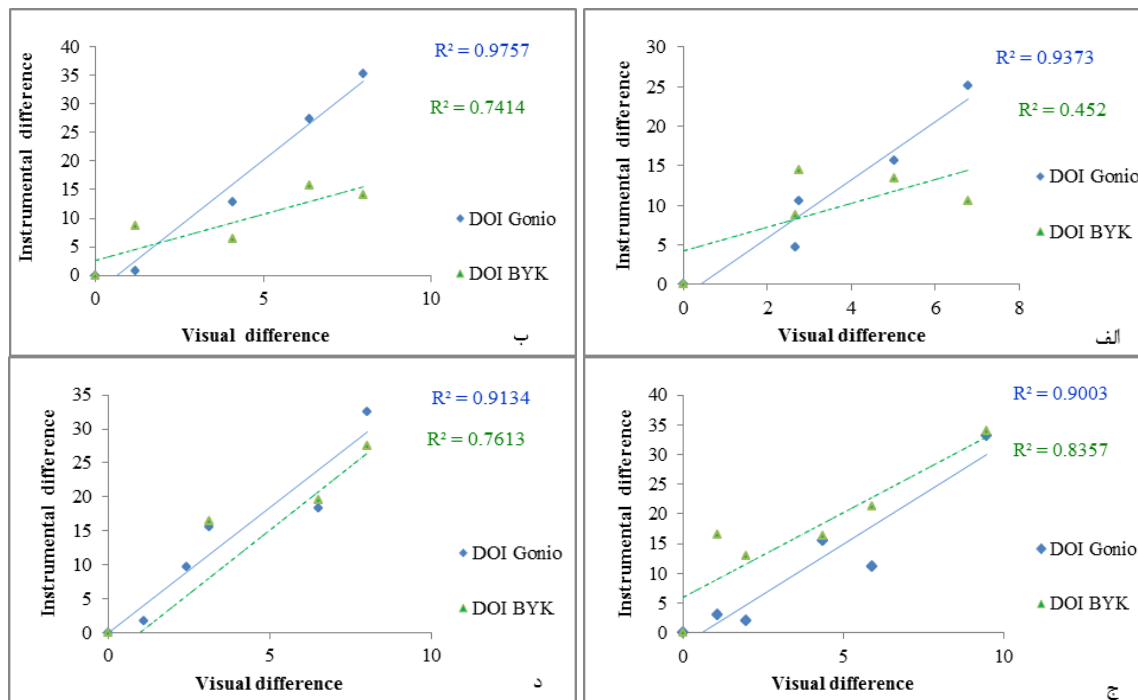
برای بررسی کارایی دو دستگاه در اندازه‌گیری وضوح تصویر، نتایج ارزیابی چشمی با نتایج اندازه‌گیری دو دستگاه گونیوفتومتر و Wave can DOI در هر فام بصورت جداگانه بررسی شده است. با توجه به این که اختلاف وضوح تصویر چشمی هر نمونه با نمونه استاندارد توسط مشاهده‌کنندگان بیان گردیده، برای هر نمونه مقادیر اختلاف دستگاهی نسبت به نمونه استاندارد نیز محاسبه شده و ارتباط آن با مقادیر اختلاف چشمی مربوطه مورد بررسی قرار گرفته است. در نمودارهای شکل ۲ نمودار همبستگی بین میانگین اختلافات چشمی پارامتر وضوح تصویر با اختلافات دستگاهی برای دو دستگاه گونیوفتومتر و Wave can DOI بصورت جداگانه برای نمونه‌های مشکی متالیک، سفید غیرمتالیک، خاکستری متالیک و نقره‌ای متالیک نشان داده شده است.

جدول ۲: مقادیر میانگین ۳ بار اندازه‌گیری وضوح تصویر با دستگاه گونیوفتومتر در زاویه ۲۰ درجه و دستگاه Wave scan DOI.

نام نمونه	DOI(Gonio)	DOI(BYK)
BS	۹۸,۷۴	۸۷,۲
B1	۹۷,۶۳	۷۸,۶
B2	۸۵,۱۳	۷۲,۲
B3	۶۹,۳۲	۵۶,۴
B4	۶۰,۰۸	۴۲,۳
Ws	۹۴,۲۶	۷۴,۵
W1	۸۱,۸۰	۶۰,۰
W2	۸۷,۶۲	۶۵,۸
W3	۷۳,۹۹	۶۱,۱
W4	۷۱,۴۹	۶۳,۹
GS	۹۷,۶۸	۸۳,۱
G1	۹۵,۷۸	۶۶,۷
G2	۹۶,۴۵	۷۰,۲
G3	۸۶,۱۵	۶۶,۹
G4	۷۳,۳۳	۶۱,۹
G5	۶۴,۲۶	۴۹,۲
SS	۹۳,۱۸	۷۰,۸
S1	۹۴,۱۴	۷۱,۰
S2	۷۷,۰۴	۷۶,۷
S3	۷۷,۷۹	۵۴,۳
S4	۷۲,۱۹	۵۱,۲
S5	۶۳,۳۲	۴۳,۳



شکل ۱: ارتباط بین مقادیر دو دستگاه گونیوفتومتر و دستگاه Wave can DOI در اندازه‌گیری وضوح تصویر.



شکل ۲: ارتباط بین نتایج مقادیر دستگاهی وضوح تصویر در دستگاه گونیوفتومتر (DOI Gonio) و دستگاه Wave scan DOI (DOI BYK) با نتایج ارزیابی چشمی برای نمونه‌های مقیاس وضوح تصویر الف) سفید غیر متالیک ب) مشکی متالیک ج) خاکستری متالیک د) قره ای متالیک.

گونیوفتومتر با استفاده از مقدار انعکاس در زوایای نزدیک به زاویه انعکاس آینه‌ای به اندازه‌گیری وضوح تصویر می‌پردازد در حالی که دستگاه Wave scan DOI، وضوح تصویر را به صورت تابعی از موج‌های کوتاه سطح $f(dull, Wa, Wb)$ اندازه‌گیری می‌نماید. برای مقایسه و صحت نتایج این دو دستگاه در ارزیابی وضوح تصویر در این پژوهش ارتباط بین نتایج اندازه‌گیری هر دستگاه با میانگین نتایج ارزیابی ۱۶ مشاهده‌کننده بررسی گردید. نتایج آماری نشان داد برای نمونه‌های مشکی، خاکستری و قره‌ای متالیک و سفید غیرمتالیک رابطه خطی خوبی بین میانگین نتایج ارزیابی چشمی وضوح تصویر با نتایج اندازه‌گیری با دستگاه گونیوفتومتر در زاویه ۲۰ درجه وجود دارد. به طوری که ضریب تعیین نمودارها از ۰,۹ تا ۰,۹۷۶ متغیر است. بنابراین بنظر می‌رسد که برای اندازه‌گیری وضوح تصویر نمونه‌های خودروبی دستگاه گونیوفتومتر در مقایسه با دستگاه WaveScan DOI کارایی بهتری داشته باشد.

بررسی نتایج آماری نمودارهای شکل ۲ نشان می‌دهد ارتباط خطی خوبی میان میانگین اختلاف چشمی نمونه‌ها و اختلاف وضوح تصویر اندازه‌گیری شده با دستگاه گونیوفتومتر برای هر چهار فام مورد بررسی وجود دارد. بطوری که مقدار ضریب تعیین از ۰,۹ تا ۰,۹۷۶ متغیر است. در حالی که میان میانگین اختلاف چشمی نمونه‌ها و وضوح تصویر اندازه‌گیری شده با Wave scan DOI رابطه خطی مناسبی وجود ندارد. بنابراین به نظر می‌رسد به منظور تعیین کمی میزان وضوح تصویر نمونه‌های خودروبی بهترین گزینه اندازه‌گیری وضوح تصویر در زاویه ۲۰ درجه با دستگاه گونیوفتومتر می‌باشد.

۴- نتیجه‌گیری

برای اندازه‌گیری و ارزیابی کمی وضوح تصویر غالباً از دو دستگاه گونیوفتومتر و WaveScan DOI استفاده می‌گردد که با دو روش کاملاً متفاوت، وضوح تصویر را اندازه‌گیری می‌کنند. دستگاه

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. F. Mirjalili, S. Moradian, F. Ameri, The appearance of automotive finishes. Part 2: A review of important measurement methods and instruments. *J. Stud. Color World*. 3 (2013), 3-12.

4. W. J. MR Pointer, R. M. Luo, Gloss as an aspect of the measurement of appearance. *J. Opt. Soc. Am. B.* 22-23, 2006.
5. 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.
6. R. S. Hunter, R. W. Harold, The measurement of appearance, Second edition, Wiley Interscience, 1987.
7. Introduction-Appearance perception, available in: http://www.byk.com/fileadmin/BYK/downloads/support-downloads/instruments/theory/appearance/en/Intro_Appearance.pdf
8. H. B. Westlund, G. M Meyer, Applying appearance standards to light reflection models, ACM SIGGRAPH proceeding, 2001.
9. N. Khalili, F. Ameri. A review on the appearance control methods in automotive finishes. *J. Stud. Color World.*3(2013), 3-12.
10. Standard Test Method for Specular Gloss, ASTM D 523 – 89, 1999.
11. Standard terminology of appearance, ASTM E284-13 b, 2013.
12. Standard test method for measurement of gloss of high-gloss surfaces by goniophotometry, ASTM E430, 1999.
13. H. J. Streitberger, K. F. Dossel, Automotive paints and coatings. Second edition, Willy-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, 2008.
14. 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.
15. Standard test methods for instrumental measurement of Distinctness-of-Image gloss of coating surfaces, ASTM D5767, 2012.
16. Novo Gloss IQ Operation Manual, Rhopoint instrument Ltd, UK.
17. Wave-scan DOI - The new generation for understanding the appearance of coatings, 9th BYK-Gardner European User Meeting, 2010.
18. G. Kigle-Böckler, Surface quality control on high and medium gloss surfaces: wave-scan dual, 7th wave-scan User Meeting, 2006.
19. N. Khalili, F. Ameri, Effect of illumination/observation geometries on visual assessment of certain geometric attributes of automotive paints. *J. Color. Sci. Tech.* 7(2013), 323-330.
20. 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.*77(2014), 425-430.
21. M. R. Lou, New color differences formula for surface colors. Ph.D. thesis, University of Bradford, Bradford, UK, 1986.
22. Standard test method for evaluation of visual color difference with a grey scale, ASTM D2616-96, 2003.