وزارت علوم تحقیقات و فناوری
موسسه پژوهشی علوم و فناوری رنگ و پوشش

available online @ www.jcst.icrc.ac.ir
نشریه علمی- پژوهشی علوم و فناوری رنگ/ ۷ (۱۳۹۲)، ۱۳۱- ۱۲۳

نشریه علمی پژوهشی علوم و فناوری رنگ
Journal of Color Science and Technology
www.jcst.icrc.ac.ir

بررسی تأثیر طیف ساختاری بر جلوه ظاهری روکش‌های سطح خودرویی

نجمه خلیلی[۱]، فرهاد عامری[۲*]، سیامک مرادیان[۳،۴]، کاملیا غفارزاده[۵]، سیدحمیدرضا رزمگیر[۵]

۱-دانشجوی کارشناسی ارشد،دانشکده مهندسی پلیمر، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران، صندوق پستی: ۴۴۳۵-۱۱۳۶۵
۲-استادیار، گروه پژوهشی فیزیک رنگ، موسسه علوم و فناوری رنگ و پوشش، تهران، ایران، صندوق پستی: ۶۵۴-۱۶۷۶۵
۳-استاد، دانشکده مهندسی پلیمر و رنگ، دانشگاه صنعتی امیر کبیر، تهران ایران، صندوق پستی:۴۴۱۳-۱۵۸۷۵
۴- استاد، قطب علمی رنگ کشور، موسسه علوم و فناوری رنگ و پوشش، تهران، ایران، صندوق پستی: ۶۵۴-۱۶۷۶۵
۵- کارشناس فنی، واحد مهندسی رنگ، شرکت ایران خودرو، تهران، ایران، صندوق پستی: ۱۱۱-۱۳۸۹۵

تاریخ دریافت: ۹۱/۱۰/۱۱ تاریخ پذیرش: ۹۱/۱۲/۱ در دسترس به صورت الکترونیکی از: ۱۳۹۲/۶/۲۰

چکیده

ارزیابی جلوه ظاهری سطح یک روکش خودرویی به کمک روش‌های استاندارد و بصورت کمی در این صنعت دارای اهمیت ویژه‌ای می‌باشد به‌گونه‌ای که این استانداردها بایستی با نتایج ارزیابی بصری هماهنگی داشته باشند. با توجه به اهمیت این موضوع، در این تحقیق ارتباط نتایج ارزیابی بصری جلوه ظاهری با نتایج اندازه‌گیری هریک از پارامترهای خروجی دستگاه موج‌سنج برای نمونه‌های خودرویی سفید غیرمتالیک، مشکی و خاکستری متالیک بررسی گردیده است. ارزیابی‌های بصری به روش جفت مقایسه‌ای و توسط ۱۴ مشاهده کننده شامل ۸ نفر زن و ۶ نفر مرد زیر کابینت نوری انجام گرفت به طوری که زاویه تابش ۴۵ درجه و زاویه مشاهده نسبت به نرمال صفر درجه بود. این نتایج ارزیابی کیفی توسط مقیاس تورستون به نتایج کمی متناظر با فواصل منظم بصری تبدیل شده و سپس ارتباط آنها با هریک از پارامترهای دستگاه موج‌سنج بررسی گردید. نتایج آماری نشان داد از بین پارامترهای اندازه‌گیری شده با دستگاه موج‌سنج، پارامترهای Wd ، LW و Wc به ترتیب در کلیه نمونه‌ها رابطه خوبی با مقیاس بصری دارند. بررسی طیف ساختاری نمونه‌ها نشان داد پارامتر مهم دیگری با نام Wb بصورت غیر مستقیم روی جلوه ظاهری سطح تاثیر دارد به طوری که در نمونه‌های قابل قبول مقدار این پارامتر بزرگ‌تر از مقدار پارامترهای Wd و Wc است و به نظر می‌رسد بین این پارامترها که نماینده موج‌های بلند و کوتاه سطح هستند رابطه‌پیچیده‌ای وجود دارد که در جلوه ظاهری روکش سطح خودرویی نقش اساسی دارد.

واژه‌های کلیدی: پوست پرتقالی، جلوه ظاهری، براقیت، طیف ساختاری، دستگاه موج‌سنج.

Investigation of the Effect of Structure Spectrum on the Appearance of Automotive Finishes

N. Khalili[1], F. Ameri[*2], S. Moradian[3,4], K. Ghafarzadeh[5], S. H. Razmgir[5]

[1] Department of Polymer Engineering, Islamic Azad University, South Tehran Branch, P.O.Box:11365-4435, Tehran; Iran
[2] Department of Color Physics, Institute for Color Science and Technology, P.O.Box: 16765-654, Tehran, Iran
[3] Department of Polymer Engineering & Color Technology, Amirkabir University of Technology, P.O.Box: 15875-4413, Tehran, Iran
[4] Center of Excellence for Color Science and Technology, P.O.Box: 16765-654, Tehran, Iran
[5] Paint Engineering Department, Iran Khodro, P.O.Box:13895-111, Tehran, Iran

Received: 31-12-2012 Accepted: 19-02-2013 Available online: 10-06-2013

Abstract

Assessment of the total appearance of an automotive coating using standard methods would have a great impact in the automotive industry. These methods should have a good correlation with visual assessments. In this research, the correlation between visual assessments and the wave scan DOI results were investigated for white, metallic grey and metallic black automotive samples. The visual assessments were carried out by a panel of 14 observers, including 6 males and 8 females under a light source simulating D65 in a light cabinet with a viewing geometry of 45/0. The visual assessment method used was one of paired comparison. Such quality rankings were then converted to quantitative equivalents by the aid of the Thurston scale and the results were compared with each of the wave scan output parameters. Statistical and error estimation parameters (i.e. R^2 and stress) illustrated that amongst all wave scan parameters, only Wd, Wc, LW and in that order strongly correlated with human evaluations of geometric attributes for these achromatic paint samples. Investigation of structure spectrum showed that Wb is another important parameter indirectly influencing on the surface appearance and in fact the value of Wb is greater than Wd and Wc in the acceptable region. Therefore, there seems to be a complex relationship between these parameters which represent the short and the long waves which is of utmost importance in assessing perceived total appearance. J. Color Sci. Tech. 7(2013), 123-131© Institute for Color Science and Technology.

Keywords: Orange peel, Appearance, Gloss, Structure spectrum, Wave scan.

***Corresponding author: fameri@icrc.ac.ir**

Archive of SID
www.SID.ir

۱ـ مقدمه

جلوه ظاهری[1] از مهم‌ترین عوامل در کیفیت روکش‌های سطح خودرویی می‌باشد که نقش کلیدی در تصمیم‌گیری اشخاص در خرید خودرو دارد. در صنعت خودرو تا مدت‌ها اندازه‌گیری براقیت آیینه‌ای[2] به عنوان تنها عامل کنترل‌کننده جلوه ظاهری مورد استفاده قرار می‌گرفت ولی با تحقیقات انجام شده و روشن شدن مفهوم چند بعدی بودن جلوه ظاهری، اندازه‌گیری کمیت‌های وضوح تصویر[3] و موجی بودن سطح[4] که تحت عنوان پدیده پوست پرتقالی[5] معروف است رواج پیدا کرد و امروزه ارزیابی ویژگی‌های هندسی روکش‌های سطح خودرویی در مقایسه با کنترل رنگ پوشش، بیشتر مورد توجه سازندگان خودرو قرار گرفته است. جلوه ظاهری اثر بر هم‌کنش نور و خواص فیزیکی سطح است و علاوه برآن ارزیابی فیزیولوژیکی مشاهده‌کننده نیز بر روی آن تاثیرگذار است. بنابراین جلوه ظاهری یک پدیده فیزیکی ـ روانی بوده که به شدت متاثر از عوامل روانی[6] و ادراکی[7] مشاهده‌کننده، شرایط نوردهی، جنس نمونه، ساختار فیزیکی سطح (زبری، هموار و موجی بودن)، ابعاد یا اندازه نمونه می‌باشد، لذا تنها نمی‌توان از ارزیابی‌های بصری برای کنترل و توصیف جلوه ظاهری استفاده نمود و در این میان معرفی شاخص‌ها و استانداردهایی که بتوانند بین ارزیابی بصری خواص هندسی سطح و نتایج اندازه‌گیری‌های دستگاهی ارتباط خوبی برقرار کنند از اهمیت بالایی برخوردار است[۷-۱]. عموما جلوه ظاهری در روکش‌های سطح خودرویی از دوجنبه مورد بررسی قرار می‌گیرد:

حالت اول- تمرکز بر نور انعکاس یافته ازسطح

حالت دوم- تمرکز بر تصویر تشکیل شده از منبع، روی سطح

در حالت اول خصوصیاتی همچون براقیت و وضوح تصویر و در حالت دوم پدیده پوست پرتقالی و موجی بودن سطح بررسی می‌گردد. عوامل گوناگونی نظیر زبری زیرآیند فلزی، ضخامت فیلم و فرمولاسیون آن و عوامل فرآیندی دیگری باعث ایجاد پستی و بلندی‌هایی در سطح روکش می‌گردد. این پستی و بلندی‌ها باعث انعکاس نور در جهات مختلفی شده بطوری که نواحی که نور را در راستای چشم مشاهده‌کننده منعکس می‌کنند، روشن‌تر از سایر نواحی به نظر می‌رسند و به این ترتیب تباین[8] بین نواحی تیره و روشن باعث ایجاد یک الگوی موجی روی سطح روکش شده که به پدیده پوست پرتقالی معروف است [۸]. مطابق با استاندارد ASTM E284، پوست پرتقالی نوعی بی‌نظمی سطحی است که همانند پوست یک پرتقال مشاهده می‌گردد [۹]. این پدیده تاثیر نامطلوبی روی جلوه ظاهری سطوح بسیار براقی همچون روکش‌های سطح خودرویی دارد.

اندازه‌گیری ساختارهای سطح با دستگاه موج‌سنج[9] ساخت کمپانی BYK Gardner انجام می‌گیرد. عملکرد این دستگاه این‌گونه است که پروفایل‌های نوری سطح را اندازه‌گیری نموده و مقدار این سیگنال‌ها را با استفاده از فیلترهای ریاضی در چندین محدوده طول موجی مختلف از ۰,۱ تا ۳۰ میلی‌متر تحت عنوان "ساختارهای سطح[10]" گزارش می‌کند. هریک از ساختارهای سطح یا پارامترهای دستگاه موج‌سنج (Wa, Wb, Wc,Wd,We) در مقیاس ۰ تا ۱۰۰ که متناسب با میانگین دامنه موج‌ها است گزارش می‌گردد به این ترتیب خروجی دستگاه موج‌سنج یک طیف ساختاری از سطح در فواصل طول موجی مختلف است که در جدول ۱ گزارش شده است. وضوح این ساختارها به فاصله مشاهده نیز وابسته است به طوری که ساختارهایی با اندازه ۰,۱ تا ۱ میلی‌متر که به موج‌های کوتاه سطح[11] (SW) معروف است در فواصل نزدیک قابل مشاهده هستند و ساختارهایی با اندازه ۱ تا ۳۰ میلی‌متر که به موج‌های بلند سطح[12] (LW) معروف هستند در فواصل دورتر تا ۳ متر نیز قابل مشاهده هستند و در جلوه بصری سطح روکش نقش اساسی دارند [۱۲-۱۰].

در این تحقیق ارتباط بین هریک از پارامترهای دستگاه موج‌سنج با نتایج ارزیابی بصری جلوه ظاهری برای نمونه‌های خودرویی سفید غیر متالیک، مشکی و خاکستری متالیک با استفاده از پارامترهای آماری بررسی می‌گردد. سپس محدوده قابل قبول برای جلوه ظاهری توسط مشاهده‌کنندگان تعیین شده و شکل طیف ساختاری نمونه‌هایی که دارای جلوه ظاهری قابل قبولی هستند بررسی می‌گردد.

جدول۱: پارامترهای خروجی دستگاه موج‌سنج.

پارامتر خروجی دستگاه	محدوده طول موج (میلی‌متر)
Wa	۰/۱ – ۰/۳
Wb	۰/۳ – ۱
Wc	۱ – ۳
Wd	۳ – ۱۰
We	۱۰ - ۳۰

۲ـ بخش تجربی

۲ـ۱ـ مواد

در این تحقیق از نمونه‌های مشکی متالیک، سفید غیرمتالیک و خاکستری متالیک به عنوان نمونه‌های آکروماتیک پر کاربرد و دارای

1- Appearance
2- Specular gloss
3- Distinctness of image
4- Surface waviness
5- Orange peel
6- Psychology
7- Mood
8- Contrast

9- Wave Scan
10- Surface structure
11- Short wave
12- Long wave

Archive of SID
www.SID.ir

خواص نوری متنوع استفاده شد. کلیه نمونه‌ها در شرایط خط رنگ شرکت ایران خودرو بر روی صفحات فولادی با ابعاد ۲۰×۱۰ سانتی‌متر آماده شدند.

۲ـ۲ـ روش کار

فرآیند پوشش‌دهی به این ترتیب بود که ابتدا نمونه‌ها شستشو و چربی‌گیری شدند و پس از اعمال لایه فسفاته تری کاتیونی، لایه آستری الکتروپوشانش با ضخامت ۲۰ میکرون روی نمونه‌ها اعمال شد. در این قسمت از رنگ‌های آب پایه ساخت شرکت BASF استفاده شده است. نمونه‌ها پس از این مرحله به مدت ۲۰ دقیقه وارد کوره شده و با دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد پخت شدند. سپس لایه آستری همترازکننده سفید برای نمونه‌های سفید و دودی برای نمونه‌های خاکستری و مشکی ساخت شرکت رنگ آفرین با ضخامت حدودا ۳۰ میکرون روی نمونه‌ها اعمال و مجددا نمونه‌ها به مدت ۲۰ دقیقه در کوره با دمای ۱۴۵ درجه سانتی‌گراد پخت گردیدند. در مرحله بعد لایه بن پوشه با ضخامت تقریبی ۱۲ تا ۱۵ میکرون روی نمونه‌ها اعمال و پس از خشک‌شدن سطحی، لایه شفاف پوشه بر پایه اکریلیک-پلی‌یورتان ساخت شرکت تابا شیمی به صورت تر روی تر بر روی نمونه‌ها اعمال و سپس برای پخت به مدت ۲۰ دقیقه وارد کوره با درجه حرارت ۱۴۵ درجه سانتی‌گراد شدند. به این ترتیب از هر یک از نمونه‌های مشکی متالیک، سفید غیر متالیک و خاکستری متالیک، ۳۵ نمونه آماده گردید.

کمیت‌های براقیت و وضوح تصویر (DOI) در زاویه ۲۰ درجه با دستگاه گونیوفوتومتر مدل NOVO GLOSS IQ ساخت شرکت ROHOPOINT و طیف ساختاری نمونه‌ها با دستگاه موج‌سنج مدل WavescanDOI ساخت شرکت آلمانیBYK Gardner اندازه‌گیری گردید. از دستگاه کابینت نوری با منبع نوری استاندارد D65 نیز برای ارزیابی بصری نمونه ها استفاده شد.

به منظور ساده نمودن آزمایشات بصری از ۳۵ نمونه، تعداد محدودی انتخاب گردید به طوری که پارامتر Wd که نماینده موج‌های بلند سطح است را متغیر فرض کرده و در هر گروه از نمونه‌های سفید غیرمتالیک، مشکی و خاکستری متالیک نسبت به مقدار حداقل و حداکثر پارامتر Wd، نمونه‌ها را طوری انتخاب می‌کنیم که کل فضای این متغیر را پوشش دهند. علاوه براین با توجه به اینکه این تغییرات به لحاظ بصری نیز می‌بایست قابل درک باشد لذا در نهایت نمونه‌هایی انتخاب گردید که دارای اختلاف بصری در جلوه ظاهری نیز باشند. به این ترتیب از نمونه‌های سفید ۱۳ نمونه، از نمونه‌های خاکستری و مشکی متالیک ۱۴ نمونه انتخاب گردید.

۲ـ۳ـ ارزیابی‌های بصری

برای ارزیابی بصری ۱۴ مشاهده‌کننده با میانگین سنی ۳۵ سال که شامل ۸ نفر زن و ۶ نفر مرد بودند انتخاب شدند که از این تعداد ۸ مشاهده‌کننده کاملا آشنا با حوزه علوم رنگ و ظاهر رنگی پوشش بودند و سایر مشاهده‌کنندگان قبل از انجام ارزیابی با پدیده‌های ظاهر رنگی نظیر پوست پرتقالی، وضوح تصویر و براقیت و غیره به صورت مقدماتی آشنا شدند. ارزیابی‌های بصری زیر کابینت نوری با منبع نوری استاندارد D65 انجام شد به طوری که زاویه تابش ۴۵ درجه و زاویه مشاهده نسبت به نرمال صفر درجه بود و مشاهده کنندگان از فاصله نزدیک (حدود ۴۰ سانتی‌متر) نمونه‌ها را ارزیابی نمودند. روش ارزیابی بصری جفت مقایسه‌ای بود به طوری که در این روش یک نمونه به صورت تصادفی به مشاهده کننده ارائه و از وی خواسته شد تا با نمونه‌های دیگر بصورت جفت‌های دوتایی مقایسه کند و در هر بار مقایسه نمونه‌ای را انتخاب نماید که ظاهر مطلوب‌تری دارد. به این ترتیب در هر بار مقایسه کامل جفت‌ها یک نمونه به عنوان نمونه برتر انتخاب شده و کنار گذاشته می‌شود و این روند ادامه می‌یابد تا کلیه نمونه‌ها به ترتیب از بهترین تا بدترین جلوه ظاهری چیدمان شوند.

ارزیابی‌ها در سه بخش انجام شد به این ترتیب که هر مشاهده‌کننده ابتدا نمونه‌های مشکی متالیک، سفید غیر متالیک و خاکستری متالیک را به طور مجزا ارزیابی کرده و سپس به منظور بررسی تکرارپذیری[1]، نمونه‌های مشکی را مجددا ارزیابی نمودند. در بخش سوم برای هر گروه از نمونه‌های سفید غیر متالیک، مشکی و خاکستری متالیک محدوده قابل قبول توسط هر یک از مشاهده‌کنندگان تعیین گردید. نتایج ارزیابی بصری به منظور مقایسه با نتایج کمی دستگاهی با استفاده از روش ریاضی تورستون [۱۳] به نتایج کمی تبدیل شد. در این مقیاس عدد صفر تورستون یک صفر قراردادی است و به نمونه‌ای اختصاص داده می‌شود که بهترین جلوه ظاهری را از نظر مشاهده‌کنندگان داشته است.

۳ـ نتایج و بحث

بررسی نتایج حاصل از ارزیابی بصری نیاز به یک روش آماری دارد تا بتوان با کمک آن از میزان صحت و دقت مشاهده‌کنندگان اطمینان حاصل نمود. لو[2] در پژوهش‌های تحقیقاتی خود به منظور ارزیابی تکرارپذیری هر یک از مشاهده‌کنندگان و همچنین تجدیدپذیری[3] یعنی ارزیابی میزان توافق بین مشاهده‌کنندگان از پارامتر آماری استرس[4] که مخفف کلمه " Standardized Residual Sum of Squares" است استفاده نمود. همچنین وی به منظور بررسی میزان خطای نتایج دستگاهی با نتایج ارزیابی بصری به طور مشابه از پارامتر استرس استفاده نمود [۱۴، ۱۵].

1- Repeatability
2- Lou
3- Reproducibility
4- Stress

Archive of SID
www.SID.ir

پارامتر آماری استرس از رابطه‌های ۱ و ۲ محاسبه می‌گردد.

$$\text{Stress}=\frac{\sqrt{\Sigma(E_i - FV_i)^2}}{\sqrt{\Sigma(F^2 V_i{}^2)}}\times 100 \quad (۱)$$

$$F=\frac{\Sigma E_i^2}{\Sigma E_i F_i} \quad (۲)$$

در این رابطه E_i و V_i دو گروه داده می‌باشند که اگر این دو گروه داده از یک مقیاس باشند F مساوی با یک است. مقدار استرس در محدوده ۱۰۰-۰ متغیر است به طوری که هر چقدر مقدار پارامتر استرس کمتر باشد دو مجموعه توافق بیشتری با هم دارند و مقدار صفر توافق صدرصد میان دو مجوعه داده را نشان می‌دهد.

۳ـ۱ـ بررسی نتایج ارزیابی بصری

برای ارزیابی دقت و صحت ارزیابی‌ها لازم است خطای تکرارپذیری و تجدیدپذیری مشاهدات با پارمترهای آماری بررسی گردد که در این تحقیق از پارمترآماری استرس استفاده گردید.

به منظور ارزیابی توافق بین مشاهده‌کنندگان (تجدید پذیری)، میزان خطای هریک از مشاهده‌کنندگان نسبت به مقدار میانگین با پارامتر آماری استرس محاسبه گردید که نتایج مقدار میانگین، حداقل و حداکثر پارامتر استرس در جدول ۲ برای نمونه‌های سفید غیرمتالیک، مشکی و خاکستری متالیک نشان داده شده است.

جدول ۲: مقادیر حداقل، حداکثر و میانگین خطای ارزیابی هر یک از مشاهده کنندگان نسبت به مقدار میانگین با پارامتر آماری استرس.

نمونه	پارامتر آماری استرس		
	میانگین	حداقل	حداکثر
سفید غیرمتالیک	۱۰,۳۱	۷,۵۶	۱۷,۵۷
مشکی متالیک	۷,۲۸	۴,۶۴	۱۲,۵۴
خاکستری متالیک	۱۰,۹۲	۴,۲۳	۲۳,۷۷

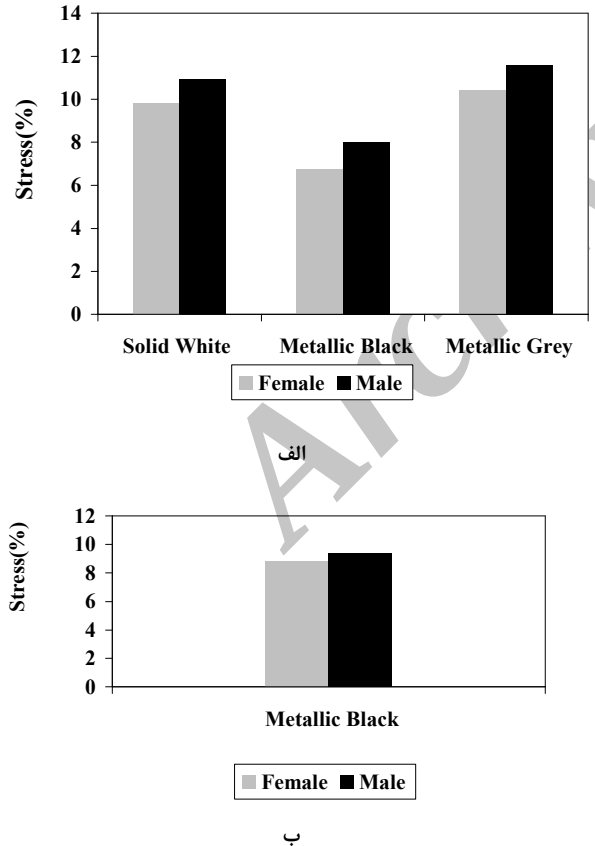
همان‌طوری‌که نتایج جدول ۲ نشان می‌دهد میانگین خطای تجدیدپذیری مشاهده‌کنندگان نسبتا پایین بوده و نشان می‌دهد مشاهده‌کنندگان در ارزیابی جلوه ظاهری نمونه‌های سفید غیر متالیک، خاکستری و مشکی متالیک توافق نظر داشته‌اند. علاوه براین با توجه به کاهش میزان خطای ارزیابی مشاهده‌کنندگان در نمونه‌های مشکی متالیک در مقایسه با نمونه‌های سفید غیر متالیک به نظر می‌رسد در روکش‌های تیره (مشکی متالیک) عیوب جلوه ظاهری نظیر موجی بودن سطح به طور واضح‌تری مشاهده می‌گردد و با افزایش مولفه روشنایی در نمونه‌های سفید غیرمتالیک ارزیابی این عیوب برای مشاهده کنندگان دشوارتر می‌باشد.

در این تحقیق به منظور آسان نمودن ارزیابی‌ها تنها نمونه‌های مشکی متالیک برای بررسی تکرارپذیری هریک از مشاهده‌کنندگان انتخاب گردید. جدول ۳ میزان خطای تکرارپذیری مشاهده کنندگان را در نمونه‌های مشکی متالیک نشان می‌دهد.

جدول ۳: مقادیر حداقل، حداکثر و میانگین خطای تکرارپذیری هر یک از مشاهده‌کنندگان با پارامتر آماری استرس برای نمونه‌های مشکی متالیک.

نمونه	پارامتر آماری استرس		
	میانگین	حداقل	حداکثر
مشکی متالیک	۹,۰۶	۳,۹	۲۳,۰۶

همان‌طوری‌که نتایج جدول ۳ نشان می‌دهد ارزیابی‌های انجام شده کاملا تکرارپذیر بوده و میزان خطای هریک از مشاهده‌کنندگان در هر بار ارزیابی نسبتا پایین می‌باشد. نتایج تجدیدپذیری و تکرارپذیری ارزیابی‌های بصری بین خانم‌ها و آقایان نیز در این تحقیق با هم مقایسه گردید که در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل۱: الف) نتایج تجدیدپذیری ب) نتایج تکرارپذیری ارزیابی بصری بین خانم‌ها و آقایان در نمونه‌های سفیدغیر متالیک، مشکی و خاکستری متالیک.

Archive of SID

www.SID.ir

همان‌طوری‌که نتایج تجدیدپذیری و تکرارپذیری نمودارهای الف و ب شکل ۱ نشان می‌دهد میانگین پارامتر استرس خانم‌ها کمتر از آقایان است بنابراین به نظر می‌رسد میزان خطای تکرارپذیری و تجدیدپذیری خانم‌ها در مقایسه با آقایان کمتر است و نتایج ارزیابی بصری خانم‌ها از دقت و صحت بیشتری برخوردار است.

۳ـ۲ـ بررسی ارتباط پارامترهای دستگاهی دستگاه موج‌سنج با نتایج ارزیابی بصری

جدول ۴ محدوده تغییرات براقیت و وضوح تصویر در زاویه ۲۰ درجه و پارامترهای ساختار سطح را برای ۱۳نمونه سفید غیرمتالیک و ۱۴ نمونه مشکی و خاکستری متالیک نشان می‌دهد.

برای‌اینکه تفاوت بین دو عددی که مشاهده‌کنندگان به دو نمونه اختصاص دادند بر اساس فاصله واقعی آنها تفسیر شود از روش ریاضی تورستون استفاده شد به این ترتیب نتایج ارزیابیهای بصری ۱۴ مشاهده‌کننده به یک مقیاس بصری با فواصل منظم بصری تبدیل شد به طوری که هریک از نمونه ها دارای عدد متناظر بصری هستند .

در این قسمت ارتباط هر یک از ساختارهای سطح که با دستگاه موج‌سنج اندازه گیری شده با مقیاس بصری بررسی گردید. در جدول‌های ۵، ۶ و ۷ ارتباط هر یک از پارامترهای دستگاه موج‌سنج با مقیاس بصری به ترتیب در نمونه‌های سفید غیرمتالیک، مشکی و خاکستری متالیک با پارامترهای آماری ضریب تعیین[1] (R^2) و استرس نشان داده شده است.

1- Coefficient of Determination

جدول۴: محدوده تغییرات ویژگی‌های هندسی سطح روکش برای ۱۳ نمونه سفید غیرمتالیک و ۱۴ نمونه مشکی و خاکستری متالیک.

نمونه	تعداد	محدوده تغییرات				
		DOI	Gloss	dullness	Wa	Wb
سفید غیرمتالیک	۱۳	۹۱-۹۸,۹	۸۹,۷-۹۵,۱۴	۷,۲-۲۷,۵	۲,۲-۲۴,۸	۷,۵-۴۳,۶
خاکستری متالیک	۱۴	۸۰,۲-۹۷,۷۷	۸۲,۵-۹۳,۴۹	۱۱,۱-۳۶,۷	۸,۱-۲۷	۷,۳-۴۵,۲
مشکی متالیک	۱۴	۸۹,۲-۹۸,۸	۸۷,۱-۹۵,۶	۶,۵-۳۰,۳	۱۰,۲-۳۳,۳	۲۳,۵-۶۴,۳

		Wc	Wd	We	LW	SW
سفید غیرمتالیک	۱۳	۲,۵-۳۷,۶	۱,۵-۳۴,۳	۳,۳-۲۴,۷	۰,۶-۲۴,۷	۶,۹-۴۶,۵
خاکستری متالیک	۱۴	۳,۳-۳۹	۷-۴۱,۹	۹,۷-۲۳,۴	۱,۷-۳۲,۷	۴,۵-۴۳,۱
مشکی متالیک	۱۴	۱۲,۳-۷۴,۲	۷,۸-۶۱,۳	۶,۸-۳۵,۵	۴-۷۲,۹	۱۸-۶۹,۹

جدول ۵: ارتباط مقیاس بصری با پارامترهای ساختار سطح در نمونه‌های سفید غیرمتالیک.

پارامتر آماری	پارامترهای ساختار سطح							
	dullness	Wa	Wb	Wc	Wd	We	LW	SW
R^2	۰,۱۷	۰,۳	۰,۴۸	۰,۹	۰,۹۴	۰,۴۹	۰,۹۲	۰,۶۱
Stress	۵۶,۳	۵۶,۲	۴۳,۸	۱۹,۵	۱۵,۵۶	۴۳,۷	۲۴,۵۶	۳۷,۷۶

جدول ۶: ارتباط مقیاس بصری با پارامترهای ساختار سطح در نمونه‌های مشکی متالیک.

پارامتر آماری	پارامترهای ساختار سطح							
	dullness	Wa	Wb	Wc	Wd	We	LW	SW
R^2	۰,۸۱	۰,۴۳	۰,۴	۰,۷۴	۰,۹۶	۰,۶۵	۰,۸۱	۰,۳۷
Stress	۲۷,۹	۴۵	۴۴,۶	۳۰,۳	۱۳,۴	۳۵,۰۴	۳۶,۶۸	۴۶,۵

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۷: ارتباط مقیاس بصری با پارامترهای ساختار سطح در نمونه‌های خاکستری متالیک.

پارامتر آماری	پارامترهای ساختار سطح							
	dullness	Wa	Wb	Wc	Wd	We	LW	SW
R^2	۰,۲۸	۰,۳	۰,۲۳	۰,۷۸	۰,۹۱	۰,۰۱	۰,۸۵	۰,۲۸
Stress	۳۶,۴۴	۳۷,۷	۴۰,۰۶	۲۰,۷	۱۳,۰۴	۴۶,۶	۲۵,۰۳	۳۸,۱۸

در نمونه‌های سفید غیرمتالیک، نتایج بررسی بین ارزیابی‌های بصری و هریک از پارامترهای ساختار سطح که با دستگاه موج‌سنج اندازه‌گیری شده نشان می‌دهد تنها پارامترهای Wd، LW و Wc ارتباط خطی خوبی با مقیاس بصری دارند. به طوری که ضریب تعیین (R^2) نمودارها به ترتیب برابر با ۰,۹۲،۰,۹۴ و ۰,۹ است. مقادیر پارامتر آماری استرس نیز نتایج مشابهی را نشان می‌دهد به طوری که مقادیر پارامتر استرس بین دو مجموعه مقیاس بصری و پارامترهای دستگاهی Wd، LW و Wc به ترتیب برابر با ۱۵,۵۶، ۲۴,۵۶ و ۱۹,۵ می‌باشد.

نتایج جدول ۶ و ۷ روند مشابهی را برای نمونه‌های مشکی و خاکستری متالیک نشان می‌دهد. با توجه به اینکه مقادیر مهم‌ترین ویژگی‌های هندسی سطح یک روکش خودرویی نظیر براقیت و وضوح تصویر که در ارزیابی جلوه ظاهری نقش دارند در کلیه نمونه‌ها مطابق با استاندارد و بیشتر از ۸۰ است لذا به نظر می‌رسد ارزیابی بصری جلوه ظاهری نمونه‌ها براساس پدیده پوست پرتقالی صورت گرفته است و نتایج آماری نشان می‌دهد توصیف پدیده پوست پرتقالی و موجی بودن سطح به خوبی با پارامترهای دستگاهی Wd ، LW و Wc قابل ارزیابی است به طوری که این پارامترهای دستگاهی با نتایج ارزیابی بصری رابطه خوبی دارند و در این میان پارامتر Wd بهترین معیاری است که از آن می‌توان برای ارزیابی جلوه ظاهری یک روکش خودرویی استفاده نمود.

۳ـ۳ـ بررسی طیف ساختاری نمونه‌هایی با جلوه ظاهری مطلوب

در این قسمت به منظور تعیین محدوده قابل قبول برای سه پارامتر دستگاهی Wd ، LW و Wc برای نمونه‌های خودرویی سفید غیر متالیک، مشکی و خاکستری متالیک، از مشاهده‌کنندگان خواسته شد تا در هر گروه از نمونه‌ها محدوده قابل قبول جلوه ظاهری را در همان شرایط ارزیابی قبلی تعیین نمایند به این ترتیب محدوده‌ای که تعداد بیشتری از مشاهده‌کنندگان در انتخاب آن بعنوان محدوده قابل قبول توافق نظر داشتند انتخاب گردید و با توجه به این نتایج محدوده قابل قبول برای هریک از پارامترهای دستگاهی Wd ، LW و Wc تعیین گردید که نتایج آن در جدول ۸ نشان داده شده است.

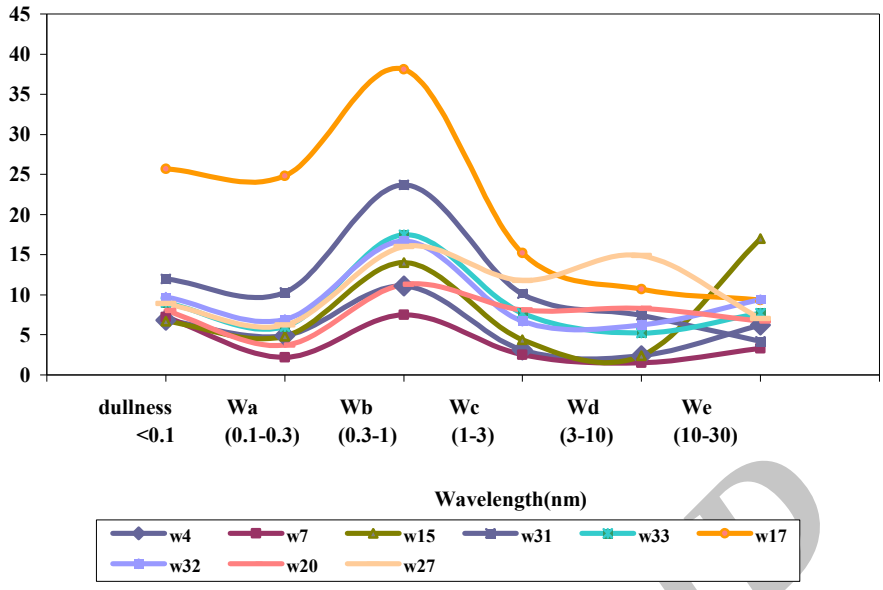
همان‌طوری که نتایج جدول ۸ نشان می‌دهد محدوده قابل قبول برای نمونه‌های سفید غیر متالیک، خاکستری و مشکی متالیک کمی متفاوت است لذا نمی‌توان یک محدوده قابل قبول برای این پارامترهای دستگاهی تعریف نمود که قابل تعمیم به تمام روشنایی‌ها باشد. منحنی طیف ساختاری نمونه‌های سفید غیرمتالیک، خاکستری و مشکی متالیک که دارای جلوه ظاهری قابل قبولی هستند در اشکال ۲ تا ۴ نشان داده شده است. علاوه براین عدد مقیاس بصری متناظر با هر نمونه نیز روی شکل مربوطه با علامت اختصاری "Vs" نمایش داده شده است.

جدول ۸: محدوده قابل قبول تعیین شده برای هریک از پارامترهای دستگاهی Wd ، LW و Wc در نمونه‌های سفید غیر متالیک، مشکی و خاکستری متالیک.

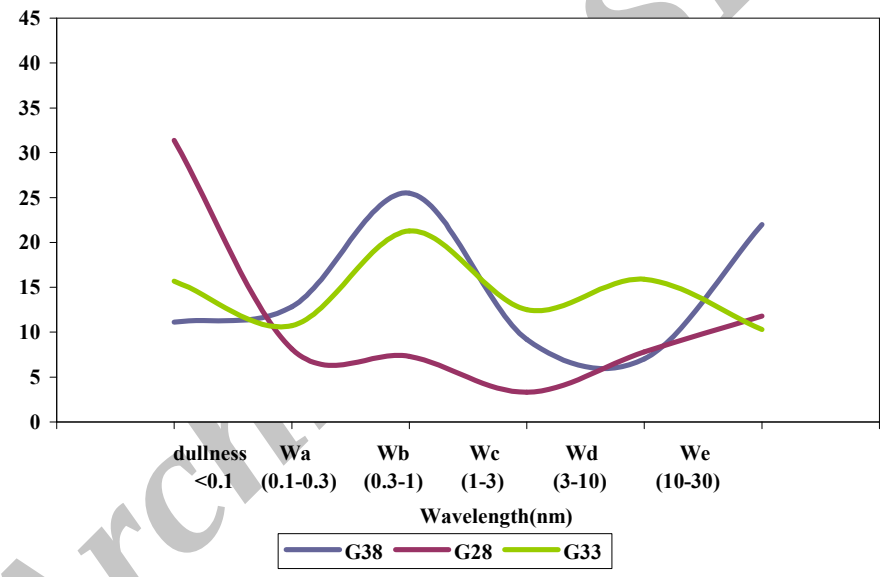
نمونه	تعداد مشاهده‌کنندگان (٪)	محدوده قابل قبول تعیین شده برای پارامترهای دستگاهی		
		Wd	Wc	LW
سفید غیرمتالیک	٪۲۸,۶	۱,۵-۱۴,۹	۲,۵-۱۵,۲	۰,۶-۵,۵
خاکستری متالیک	٪۶۴,۳	۷-۱۵,۹	۳,۳-۱۲,۵	۱,۷-۶,۶
مشکی متالیک	٪۵۷,۲	۷,۸-۱۶,۲	۱۲,۳-۱۹,۶	۴-۷,۵

Archive of SID

www.SID.ir



شکل۲: طیف ساختاری نمونه‌های سفید غیرمتالیک که در محدوده قابل قبول قراردارند.



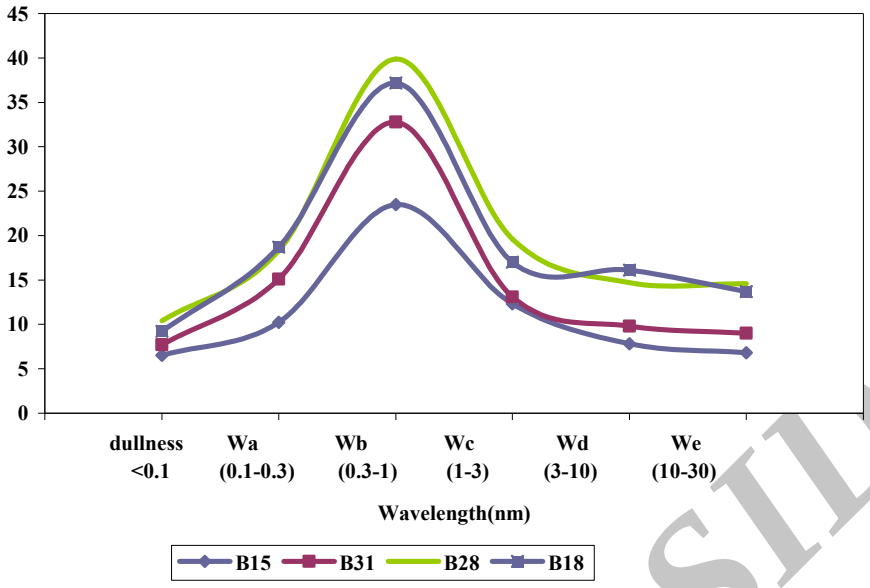
شکل۳: طیف ساختاری نمونه‌های خاکستری متالیک که در محدوده قابل قبول قراردارند.

بررسی شکل ۲ نشان می‌دهد منحنی طیف ساختاری نمونه‌های سفید غیرمتالیک که دارای جلوه ظاهری قابل قبول هستند دارای یک پیک در قسمت Wb هستند که مقدار آن حداقل ۷,۵ و حداکثر ۳۸ است. علاوه بر این برای سه نمونه w4، w7 و w15 که دارای بهترین جلوه ظاهری هستند و عدد مقیاس بصری آنها کوچک است مقدار پارامتر Wd (نماینده موجهای بلند سطح) آنها در مقایسه با سایر نمونه‌ها حداقل و تقریبا با هم برابر است و در این شرایط مقدار پارامتر Wb (نماینده موجهای کوتاه سطح)، غالبا جلوه ظاهری سطح روکش را کنترل می‌کند به طوری که کاهش مقدار این پارامتر همیشه باعث بهبود جلوه ظاهری نمی‌شود و دارای یک مقدار کمینه مشخص می‌باشد. علاوه براین مقایسه دو نمونه w4، w20 که به ترتیب عدد مقیاس بصری آنها ۰ و ۳,۳۱ است نشان می‌دهد در این دو نمونه با اینکه مقدار پارمتر Wb تقریبا برابر است تفاوت در مقدار پارامتر Wd تا حد بسیار زیادی می‌تواند در جلوه ظاهری سطح نقش داشته باشد.

شکل‌های ۳ و ۴ نیز روند مشابهی را برای نمونه‌های خاکستری و مشکی متالیک نشان می‌دهند به طوری که منحنی طیف ساختاری این نمونه‌ها نیز دارای یک پیک در قسمت Wb هستند و مقدار پارامترهای Wb و Wd در جلوه ظاهری سطح نقش مهمی دارند. با توجه به اینکه نتایج آماری بدست آمده در قسمت قبل نشان داد بین پارامتر Wb و مقیاس بصری رابطه خطی وجود ندارد ولی این پارامتر بطور غیر مستقیم بر جلوه ظاهری یک روکش خودرویی تاثیر گذار بوده است.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل۴: طیف ساختاری نمونه‌های مشکی متالیک که در محدوده قابل قبول قراردارند.

۴ـ نتیجه‌گیری

نتایج آماری این پژوهش نشان داد توافق مشاهده‌کنندگان در ارزیابی جلوه ظاهری نمونه‌های مشکی متالیک از نمونه‌های سفید غیرمتالیک و خاکستری متالیک بیشتر است. همچنین در ارزیابی بصری جلوه ظاهری، خطای تکرارپذیری و تجدیدپذیری خانم‌ها در مقایسه با آقایان کمتر است. نتایج آماری پارامتر استرس نشان داد شرایط و روش ارزیابی بصری مورد استفاده در این تحقیق برای ارزیابی جلوه ظاهری روکش‌های خودرویی مناسب به نظر می‌رسد به طوری که میانگین خطای تکرارپذیری و تجدیدپذیری مشاهده‌کنندگان در این شرایط کمتر از ۱۱ درصد است. در نمونه‌های خودرویی سفید غیرمتالیک، مشکی و خاکستری متالیک که براقیت و وضوح تصویر آنها بیشتر از ۸۰ است نتایج ارزیابی بصری به ترتیب با پارامترهای Wd ، LW و Wc در مقایسه با سایر پارامترهای خروجی دستگاه موج‌سنج رابطه خوبی دارد. بررسی طیف ساختاری نمونه‌ها نشان داد کلیه نمونه‌هایی که دارای جلوه ظاهری قابل قبولی هستند دارای یک پیک در قسمت موج‌های کوتاه (Wb) هستند به طوری که همواره مقدار پارامتر Wb بزرگتر از مقدار پارامتر Wd و Wc است. بنابراین پارامتر مهم دیگری نیز وجود دارد که به طور غیرمستقیم بر جلوه ظاهری سطح تاثیرگذار است و به نظر می‌رسد بین موج‌های کوتاه و موج‌های بلند سطح رابطه پیچیده‌ای وجود دارد که در جلوه ظاهری روکش خودرو نقش اساسی دارد.

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.

۵ـ مراجع

1. R. S. Hunter, R. W. Harold, The measurement of appearance, *Second edition, Wiley Inter science*, 1987.
2. W. J. MR. Pointer, R. M. Luo, Gloss as an aspect o the measurement of appearance. *J. Opt. Soc. Am.* 23(2006), 22-23.
3. H. J. Streitberger, K. F. Dossel, Automotive paints and coatings, *second edition, Willy-VCH Verlag GMBH&CO.* KGaA, Weinheim, 2008.
4. 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. *Col. Res. Appl.* 36(2011), 4-14.
5. E. J. J. Kirchner, G. J. van den Kieboom, L. Njo, R. Super, R. Gottenbos, Observation of visual texture of metallic and pearlescent materials. *Col. Res. Appl.* 32 (2007) 256 -266.
6. Z. Huang, H. Xu, M. R. Luo, G. Cui, and H. Feng, Assessing total differences for effective samples having variations in color, coarseness, and glint. *Chin.Opt. Lett*. 8, 717 (2010).
7. V. G. W. Harrison, S. R. C. Poulter, Gloss measurement of

Archive of SID

www.SID.ir

papers-the effect of luminance factor. *J. Appl. Phys.* 2 (1951), 92-97.
8. G. K. Boeckler, Measuring gloss and reflection properties of surfaces.*J. Tappi*. 79, 9,1996.
9. ASTM E284-09a standard, ASTM international, West Conshohocken, 2009.
10. G. Hemashankar, Correlation between visual perception and waviness measurements for coated surface. *ProQuest Dissertations and Theses*; 2008.
11. H. Gradischnig, First experience with the wave scan DOI and correlation to the visual perception, 6th Wave-scan User Meeting, Konigsdrof, Germany:BYK-Gardner, Gereststried, Germany,2004.
12. Wave-scan DOI, The new generation for understanding the appearance of coatings, 9th BYK-Gardner European User Meeting, 2010.
13. W.S. Toregerson, Theory and methods of scaling, *John Wiley & Sons*, New York, 1958.
14. 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.
15. 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(2013), 377-384.

Archive of SID

www.SID.ir