

مروری بر روش‌های کنترل جلوه ظاهری روکش‌های سطح خودرویی

نجمه خلیلی^۱، فرهاد عامری^{۲*}

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

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

تاریخ دریافت: ۹۲/۴/۵ تاریخ بازبینی: ۱: ۹۲/۶/۱۱ تاریخ پذیرش: ۹۲/۶/۲۷

چکیده

کنترل جلوه ظاهری روکش‌های سطح خودرویی برای شرکت‌های معتبر خودروسازی جهان دارای اهمیت فراوانی می‌باشد. در این راستا دستیابی به شاخص‌ها و استانداردهایی که به بهترین نحو جلوه ظاهری روکش‌های سطح خودرویی را تشریح نمایند و با نتایج ارزیابی بصری هم‌خوانی داشته باشند تبدیل به مسئله‌ای چالش برانگیز شده است. در حال حاضر هر یک از شرکت‌های خودروسازی شاخص‌ها و استانداردهایی را با حدود رواداری معین تعریف نموده و با استفاده از آنها ارزیابی جلوه ظاهری را انجام می‌دهند. این شاخص‌ها ترکیبی از مهم‌ترین صفات هندسی سطح با وزن‌های متفاوتی است. تعیین حدود رواداری برای این شاخص‌ها توسط مشاهده‌کنندگان و اغلب با توجه به عواملی نظیر روشنایی، نوع رنگ، کلاس خودرو، افقی و عمودی بودن سطح و قیمت محصول صورت می‌گیرد. در این مقاله مهم‌ترین و جدیدترین روش‌های کنترل و اندازه‌گیری جلوه ظاهری روکش‌های سطح خودرویی مرور می‌گردد.

واژه‌های کلیدی

جلوه ظاهری، پوست پرتقالی، دستگاه موج‌سنج، موج‌های بلند، موج‌های کوتاه.



*Corresponding author: fameri@icrc.ac.ir

A Review on the Appearance Control Methods in Automotive Finishes, N. Khalili, F. Ameri

۱- مقدمه

نوردهی^۱، زاویه تابش و مشاهده، ویژگی‌های فرد مشاهده‌کننده همچون تیزی بینی^{۱۱} سامانه بصری، عوامل روانی^{۱۲}، سن، جنسیت و سطح آموزش وی، در ارزیابی جلوه ظاهری تاثیر دارند. بنابراین ادراک جلوه ظاهری از یک طرف به عوامل فیزیکی و از طرف دیگر به مجموعه‌ای از عوامل فیزیولوژیکی و روانی مشاهده‌کننده وابسته است. با توجه به اینکه این عوامل روانی و ادراکی و از همه مهم‌تر تیزی بینی سامانه بصری از یک مشاهده‌کننده به مشاهده‌کننده دیگر متفاوت است لذا نمی‌توان از ارزیابی‌های بصری برای کنترل و سنجش دقیق جلوه ظاهری استفاده نمود [۱۱-۱۰].

۲- اندازه‌گیری جلوه ظاهری روکش‌های سطح خودرویی

در صنعت خودرو علاوه بر رنگ که عمده‌تاً با استفاده از گونیو اسپکتروفوتومترها و اسپکتروفوتومترها اندازه‌گیری می‌شود [۱۱]، تا مدت‌ها برایت آینه‌ای به عنوان تنها عامل کنترل‌کننده جلوه ظاهری مورد سنجش قرار می‌گرفت [۹]. اما با گذشت زمان روشن شد که بر خلاف تصور، ویژگی‌های هندسی روکش‌های سطح خودرویی محدود به یک بعد نبوده و ارزیابی برایت به تنهایی در دستیابی به جلوه ظاهری مطلوب خودرو چندان کارساز نیست. بدین ترتیب با روشن شدن مفهوم چند بعدی بودن جلوه ظاهری سطح، اندازه‌گیری عوامل دیگری همچون وضوح تصویر و پوست پرتقالی مطرح گردید [۱۲، ۸، ۷، ۳].

طی تحقیقات به‌عمل آمده بر روی محصولات شرکت‌های خودروسازی جهان و نیز استانداردهای موجود، کمینه مقدار قابل قبول برای برایت و وضوح تصویر در این صنعت ۷۰ می‌باشد [۱۴، ۱۳] که بر اساس روش‌های استاندارد برای اندازه‌گیری برایت از برایت‌سنج‌های^{۱۳} متداول و برای اندازه‌گیری وضوح تصویر از دستگاه‌های موج‌سنج^{۱۴} و گونیوفوتومتر^{۱۵} استفاده می‌گردد [۱۶، ۱۵].

پوست پرتقالی سطح یک روکش خودرویی که در اثر عوامل گوناگونی همچون زبری زیرآیند فلزی و لایه آستری، روش اعمال، ضخامت فیلم، جریان‌پذیری و قابلیت یکنواخت شدن پوشش و فرمولاسیون آن و دیگر عوامل فرآیندی، در سطح یک روکش سطح بوجود می‌آید در روش دستگاهی با دستگاه موج‌سنج سنجیده می‌شود. این دستگاه پروفایل‌های اپتیکی سطح را نقطه به نقطه در فواصل ۰/۰۲۷ سانتی‌متری ضبط نموده و برای مشابه سازی 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 به‌صورت میانگین دامنه موج‌ها تحت عنوان "ساختارهای سطح" ارائه می‌گردد. هر یک از ساختارهای سطح

کیفیت ظاهری خودرو اولین عاملی است که هر خریدار به هنگام خرید خودرو بدان توجه می‌نماید. با توجه به اهمیت این مسئله هر یک از شرکت‌های خودروسازی در سراسر جهان در تلاش هستند تا با تدوین استانداردهای مشخص اقدام به اندازه‌گیری و کنترل جلوه ظاهری^۱ خودروهای تولیدی خود نمایند که در هر کدام از این استانداردها برای هر ویژگی ظاهری، یک روش اندازه‌گیری با حدود رواداری معین بر اساس ارزیابی بصری افراد تعیین گردیده است. در اغلب این استانداردها تمایل به بالا بودن برایت^۲ و وضوح تصویر^۳ و پایین بودن میزان پوست پرتقالی^۴ روکش سطح خودرویی به چشم می‌خورد [۲-۱]. در این میان صرف‌نظر از رنگ که امروزه تا حد زیادی شناخته شده و ابعاد گوناگون آن قابل اندازه‌گیری می‌باشد، صفات هندسی^۵ روکش‌های سطح خودرویی به طور جداگانه و کاملاً متفاوتی از رنگ درک و مشاهده می‌شوند که ریشه در نحوه ادراک بصری انسان‌ها در درک این صفات دارد [۳]. لذا ارزیابی و کنترل کمی جلوه ظاهری در این صنعت تبدیل به چالشی بزرگ گشته است و در بسیاری از شرکت‌های خودروسازی جهان تیم‌های تحقیقاتی تشکیل شده‌اند که هدف آنها معرفی استانداردها و شاخص‌هایی است که به‌توان با استفاده از آنها کیفیت جلوه ظاهری را مورد سنجش قرار داد. در این راستا معرفی شاخص‌های جدید و کارآمد که در تطابق بیشتری با آنچه چشم انسان مشاهده می‌کند باشند از درجه اهمیت بالایی برخوردار است. در بررسی جلوه ظاهری روکش‌های سطح خودرویی، مهم‌ترین ویژگی‌هایی که اندازه‌گیری دقیق آنها به منظور تدوین استانداردهای ظاهری مطابق با ارزیابی‌های بصری از سوی خودروسازان سراسر جهان مورد توجه است، عبارتند از رنگ، برایت، وضوح تصویر، پوست پرتقالی و ابلقی شدن^۶ [۴]. صفات رنگی در اثر تغییر در خصوصیات طیفی نور توسط شی پدید می‌آید و یک پدیده سه بعدی است که این سه بعد عبارتند از: فام، روشنایی یا عمق و خلوص. رنگ مطابق با تئوری سه رنگی و در اثر عملکرد مخروط‌های چشم درک می‌شود [۵]. امروزه با استفاده از مدل‌های ظاهر رنگی ارائه شده که ساده‌ترین و پرکاربردترین آنها مدل ظاهر رنگی CIELAB می‌باشد امکان اندازه‌گیری کمی صفات رنگی یک شی تا حد قابل قبولی فراهم گردیده است [۶]. اما صفات هندسی به‌طور کاملاً متفاوتی از رنگ توسط سامانه بصری انسان درک و مشاهده می‌شوند و دستگاه‌هایی که تاکنون برای سنجش صفات هندسی پدید آمده‌اند قادر به سنجش این صفات به خوبی یک مشاهده‌کننده انسانی نیستند [۹-۷].

عواملی همچون جنس نمونه (فلز، پلاستیک و غیره)، ساختار فیزیکی سطح (زبری^۷، همواری^۸ و موجی بودن^۹)، ابعاد یا اندازه نمونه، شرایط

⁸ Smoothness

⁹ Waviness

¹⁰ Illumination condition

¹¹ Visual acuity

¹² Psychological

¹³ Glossometer

¹⁴ Wavescan

¹⁵ Goniophotometer

¹ Appearance

² Gloss

³ Distinctness of image

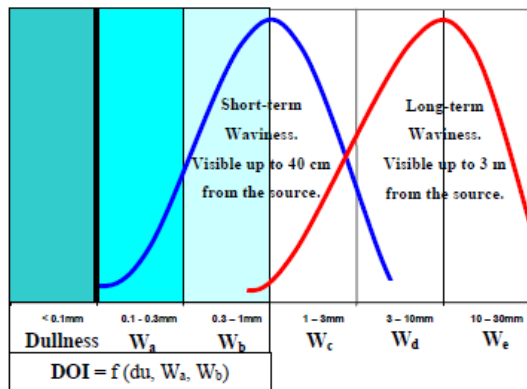
⁴ Orange peel

⁵ Geometric attributes

⁶ Mottling

⁷ Roughness

بر حسب میزان نایکنواختی و پوست پرتقالی و با روش مقایسه جفتی^۵ مرتب می‌نماید. ارزیابی‌های بصری در دو فاصله مشاهده ۱ متر و ۳ متر از سطح پنل صورت می‌گیرد که در شکل ۳ نشان داده شده است. این نتایج بصری در قالب دو عامل N1 و N3 ارائه می‌گردد و در نهایت جلوه ظاهری سطح توسط یک معادله ریاضی که ترکیبی از نتایج ارزیابی بصری (مقادیر N3/N1) و مقادیر اندازه‌گیری شده با دستگاه Wave scan DOI (پارامترهای Wa, Wc, Wb, Wd) است مورد سنجش قرار می‌گیرد. این معادله از سال ۲۰۰۵ وارد سیستم ارزیابی شرکت خودروسازی BMW شده است. در سال‌های اخیر، تلاش بر آن بوده است که سیستم مشابهی به منظور ارزیابی وضوح تصویر (DOI) و براقیت روکش خودرویی بر اساس عوامل du^6 و Wa اندازه‌گیری شده با دستگاه Wave scan DOI طراحی گردد [۲۱].



شکل ۱- عوامل خروجی دستگاه Wave scan DOI شامل طیف ساختاری سطح و وضوح تصویر به صورت تابعی از موج‌های کوتاه سطح [۲۶].



شکل ۲- پنل‌های استاندارد پوست پرتقالی ACT [۲۰].

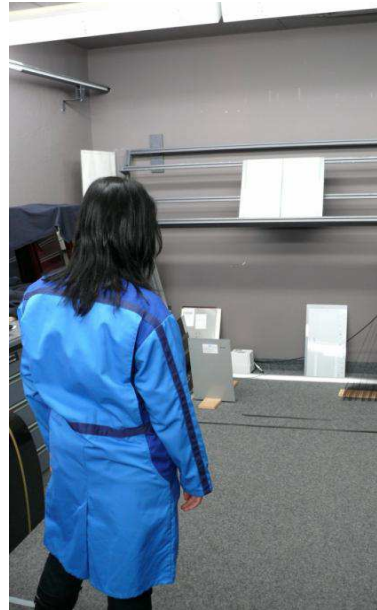
(Dullness, Wa, Wb, Wc, Wd, We) در مقیاس ۰ تا ۱۰۰ گزارش می‌گردد. ساختارهایی با اندازه ۱۰ تا ۳۰ میلی‌متر در فاصله ۳ متری قابل مشاهده هستند و تحت عنوان طول موج‌های بلند سطح^۱ "LW" شناخته می‌شوند و ساختارهای کوچک در محدوده ۰/۱ تا ۱ میلی‌متر تنها در فواصل خیلی نزدیک قابل مشاهده هستند و تحت عنوان طول موج‌های کوتاه سطح^۲ "SW" شناخته می‌شوند. شکل ۱ طیف ساختاری یک سطح را که توسط دستگاه موج‌سنج اندازه‌گیری شده نشان می‌دهد. تحقیقات در سال‌های اخیر نشان داده یکی دیگر از عوامل تاثیرگذار روی کیفیت و تیزی تصویر تشکیل شده در روکش‌های خودرویی ساختارهای ریز سطح می‌باشد [۱۷-۱۸] لذا در سال‌های اخیر برای اندازه‌گیری نور پراکنده شده توسط ساختارهای کوچک‌تر از ۰/۱ میلی‌متر، یک دوربین CCD در زاویه ۲۰ درجه در دستگاه‌های موج‌سنج مدل Wavescan DOI تعبیه شده است که با کمک آن می‌توان مقدار نور پراکنده شده توسط ساختارهای ریز سطح را تحت عنوان عامل "Dullness" اندازه‌گیری نمود. به این ترتیب در این دستگاه‌ها، وضوح تصویر به صورت تابعی از موج‌های کوتاه سطح (Dullness, Wb و Wa) تعریف می‌گردد و امکان اندازه‌گیری این عامل با این دستگاه که کاملاً متفاوت با یک دستگاه گونیوفتومتر است امکان‌پذیر می‌باشد. در برخی از شرکت‌های خودروسازی وضوح تصویر اندازه‌گیری شده با دستگاه موج‌سنج را در سیستم ارزیابی جلوه ظاهری خود وارد کرده‌اند اما برخی دیگر مانند شرکت جنرال موتور، اندازه‌گیری وضوح تصویر طبق استاندارد ASTM E430 [۱۶] و با دستگاه گونیوفتومتر انجام می‌گیرد [۲۵].

۱-۲- روش‌های مبتنی بر ارزیابی بصری

یکی دیگر از روش‌های ارزیابی کیفی پوست پرتقالی سطح مقایسه بصری با پنل‌های ACT^۳ است. کمپانی خودروسازی کرایسلر^۴ و جنرال موتور از استانداردهای فیزیکی ACT برای ارزیابی جلوه ظاهری سطح در کنار اندازه‌گیری‌های دستگاهی استفاده می‌نمایند. این پنل‌های استاندارد در سال ۱۹۷۰ توسط شرکت آمریکایی Advanced Coatings Technologies جهت استفاده در صنعت خودروسازی ارائه شد این استاندارد شامل ۱۰ پنل مشکی متالیک با درجات مختلف پوست پرتقالی می‌باشد. رتبه‌بندی پنل‌ها بصورت بصری است بطوریکه اعدادی از ۱ تا ۱۰ به این پنل‌ها نسبت داده شده و عدد یک به پنلی که بیشترین میزان پوست پرتقالی و عدد ده به پنلی که کمترین میزان پوست پرتقالی را از نظر مشاهده‌کننده دارا است اختصاص داده می‌شود. تصویری از این پنل‌ها در شکل ۲ نشان داده شده است [۲۰]. در شرکت BMW یک سری پنل تحت عنوان Master Panels از بخش‌های مختلف بدنه خودرو تهیه شده و توسط افراد متخصص و غیرمتخصص تحت شرایط تابش و مشاهده استاندارد مورد ارزیابی بصری قرار می‌گیرد به طوری که هر مشاهده‌کننده این پنل‌ها را

¹ Long wave
² Short wave
³ Advanced Coatings Technologies Test Panels
⁴ Chrysler

⁵ Paired comparison
⁶ Dullness



شکل ۳- ارزیابی جلوه ظاهری در فاصله ۱ و ۳ متری در شرکت BMW [۲۱].

پوست پرتقالی در سطوح افقی در هر نقطه تحت عنوان Merit POH از طریق رابطه ۱ محاسبه می‌گردد:

$$\text{Merit POH} = 15 - (15/784)(85 - \text{POH})^2 \quad (1)$$

در این رابطه، POH عدد پوست پرتقالی اندازه‌گیری شده برای سطوح افقی در هر نقطه است که مقدار آن بین صفر تا ۱۰۰ متغیر می‌باشد. ارزش پوست پرتقالی در هر نقطه از سطوح عمودی تحت عنوان Merit POV به وسیله رابطه ۲ محاسبه می‌شود.

$$\text{Merit POV} = 15 - (15/1936)(85 - \text{POV})^2 \quad (2)$$

در این رابطه POV عدد پوست پرتقالی برای سطوح عمودی و بین صفر تا ۱۰۰ متغیر است.

همچنین ارزش وضوح تصویر تحت عنوان Merit DOI در هر نقطه از سطوح افقی و عمودی به کمک عدد DOI اندازه‌گیری شده توسط Autospect محاسبه می‌گردد:

$$\text{Merit DOI} = 15 - (1/60)(80 - \text{DOI})^2 \quad (3)$$

عدد DOI نیز همانند اعداد پوست پرتقالی مقداری بین صفر تا ۱۰۰ دارد.

۲-۲- شاخص و NAP^۱ و IAP^۲

همان‌گونه که اشاره شد معرفی شاخص‌های جدید و کارآمد که در تطابق بیشتری با آنچه چشم مشاهده می‌کند باشند از دغدغه‌های صنعت خودرو محسوب می‌گردد. در پی این تلاش‌ها در سال ۱۹۹۰ دستگاهی به نام Autospect توسط شرکت Autospect Co طراحی و تولید گردید. این دستگاه ویژگی‌های ظاهری خودرو را به عنوان تابعی از براقیت، وضوح تصویر و پوست پرتقالی با شاخصی به نام NAP اندازه‌گیری می‌کند. برای ارزیابی ویژگی‌های ظاهری روکش سطح خودرویی، اندازه‌گیری در ۲۶ نقطه مشخص (۱۲ نقطه در سطوح افقی و ۱۴ نقطه در سطوح عمودی) از بدنه خودرو توسط دستگاه انجام شده و در نهایت نتایج به دست آمده از طریق نرم افزار Niveau Aspect Peinture که بصورت اختصاری تحت عنوان NAP شناخته می‌شود جهت محاسبه شاخص‌های زیر مورد استفاده قرار می‌گیرد:

- متوسط پوست پرتقالی در سطوح عمودی و افقی
- متوسط وضوح تصویر در سطوح عمودی و افقی
- متوسط براقیت در سطوح عمودی و افقی
- ارزش کلی براقیت، وضوح تصویر و پوست پرتقالی
- عدد NAP

پس از تعیین عدد پوست پرتقالی و وضوح تصویر در سطوح عمودی و افقی در هر نقطه، این اعداد از طریق روابط معینی تبدیل به ارزش پوست پرتقالی و ارزش وضوح تصویر در سطوح افقی و عمودی می‌گردد. ارزش

¹ Niveau Aspect Peinture

² Indicateur Aspect Peinture

جدول ۱- ضرایب مربوط به محاسبه ارزش کلی پوست پرتقالی و وضوح تصویر [۲۳].

ضریب	ارزش محاسبه شده
۶	متوسط ارزش محاسبه شده در ۴ نقطه از درب موتور
۱	ارزش محاسبه شده در گلگیر جلو سمت چپ
۱	متوسط ارزش محاسبه شده در ۲ نقطه از درب جلو سمت چپ
۱	متوسط ارزش محاسبه شده در ۲ نقطه از درب عقب سمت چپ
۱	ارزش محاسبه شده در گلگیر عقب سمت چپ
۱	ارزش محاسبه شده در ستون عقب سمت چپ
۱	متوسط ارزش محاسبه شده در ۴ نقطه درب صندوق
۱	ارزش محاسبه شده در گلگیر جلو سمت راست
۱	متوسط ارزش محاسبه شده در ۲ نقطه درب جلو سمت راست
۱	متوسط ارزش محاسبه شده در ۲ نقطه درب عقب سمت راست
۱	ارزش محاسبه شده در گلگیر عقب سمت راست
۱	ارزش محاسبه شده در ستون عقب سمت راست
۳	متوسط ارزش محاسبه شده در ۴ نقطه سقف

مطابق با استاندارد D 255541 [۱۹] به طور رسمی دستگاه موج‌سنج و شاخص IAP جایگزین روش قبلی شده است. در این روش استاندارد، عامل LW برای سطوح افقی (LWH) و عمودی (LWV) توسط دستگاه موج‌سنج اندازه‌گیری شده و شاخص IAP به عنوان ترکیبی از این دو متغیر و عامل ناهمگونی^۱ (APE) محاسبه می‌گردد. مقدار شاخص IAP از صفر تا ۱۹۰ متغیر است و هر چه این مقدار کمتر و به صفر نزدیک‌تر باشد بدان معناست که خودرو جلوه ظاهری بهتر و یکنواخت‌تری دارد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، پژو تنها با تکیه بر عامل LW به ارزیابی جلوه ظاهری خودروهای خود می‌پردازد. هر چند تحقیقات نشان داده است که ارزیابی جلوه ظاهری با استفاده از شاخص IAP با نتایج ارزیابی بصری تطابق مناسبی ندارد [۲۳-۲۴].

۲-۳- شاخص فورد و دایملر کرایسلر

دو شرکت فورد و دایملر کرایسلر براقیت، وضوح تصویر و پوست پرتقالی را به عنوان مهم‌ترین خواص هندسی جهت ارزیابی ظاهر خودروهای تولیدی خود مورد استفاده قرار می‌دهند. البته برای هر کدام از این سه ویژگی وزن‌های متفاوتی در نظر گرفته شده است. به این ترتیب که فورد برای ارزیابی جلوه ظاهری از یک شاخص ترکیبی با وزن‌های مختلفی از سه عامل درخشندگی^۲ به عنوان معیاری از براقیت، تیزی^۳ به عنوان معیاری از وضوح تصویر و پوست پرتقالی استفاده می‌نماید و به‌طور مشابه دایملر کرایسلر شاخص ترکیبی دیگری را با استفاده از سه عامل براقیت،

پس از محاسبه ارزش‌های پوست پرتقالی و وضوح تصویر در هر نقطه از سطوح عمودی و افقی، عدد بدست آمده در ضریب مشخصی ضرب شده و حاصل جمع اعداد به‌دست آمده به عنوان ارزش کلی پوست پرتقالی و ارزش کلی وضوح تصویر محاسبه می‌گردد. ضرایب مربوط به هر نقطه از سطح به موقعیت آن روی بدنه خودرو بستگی دارد و مطابق با جدول ۱ می‌باشد.

ارزش براقیت در هر نقطه (Merit gloss) با استفاده از عدد براقیت اندازه‌گیری شده توسط Autospect با استفاده از رابطه ۴ محاسبه می‌شود.

$$\text{Merit gloss} = 15 - (1/60)(85 - \text{gloss})^2 \quad (۴)$$

سپس ارزش کلی براقیت با ضرب نمودن عدد ۱۴ در ارزش براقیتی هر نقطه محاسبه می‌گردد. ارزش نهایی T برابر است با مجموع ارزش کلی براقیت، ارزش کلی پوست پرتقالی و ارزش کلی وضوح تصویر. در نهایت عدد NAP از طریق رابطه ۵ محاسبه می‌گردد. عدد NAP بین صفر تا صد متغیر است.

$$NAP = \frac{71}{75} \times \frac{T}{90} \times 100 \quad (۵)$$

عدد NAP برای کلاس‌های مختلف خودرو دارای مقادیر متفاوتی می‌باشد [۲۲-۲۴].

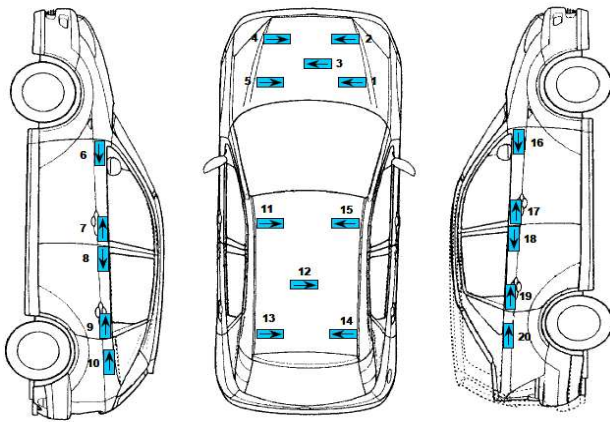
در شرکت پژو تا مدت‌ها بر اساس روش استاندارد Q735150 [۲۲] و با استفاده از دستگاه Autospect و نرم افزار NAP جلوه ظاهری روکش سطح خودرو مورد ارزیابی قرار می‌گرفت. اما از سال ۲۰۰۷ تاکنون و

^۱ Heterogeny

^۲ Luster

^۳ Sharpness

$$LC = 100 \times \frac{Wb - Wd}{Wb + Wd} \quad (7)$$



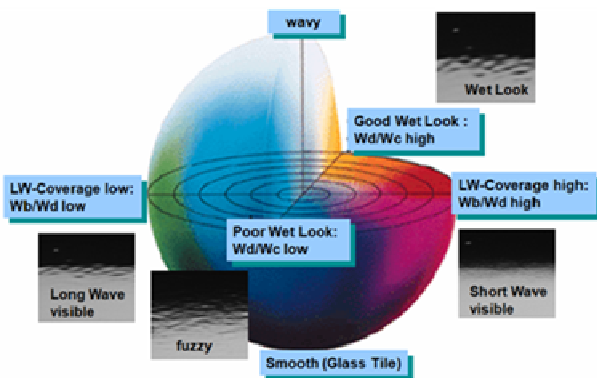
شکل ۳- اندازه‌گیری طیف ساختاری از بخش‌های مختلف سطوح عمودی و افقی در شرکت فورد [۲۶].

وضوح تصویر اندازه‌گیری شده با دستگاه گونیو فتومتر و پوست پرتقالی تعریف نموده است. عوامل ظاهری مورد استفاده توسط این دو شرکت و وزن دهی آنها به منظور دستیابی به شاخص ترکیبی خواص ظاهری در جدول ۲ ارائه شده است [۲۵-۲۶].

جدول ۲- عوامل ظاهری مورد استفاده توسط فورد و دایملر کرایسلر و وزن دهی آنها [۲۶].

شرکت دایملر کرایسلر		شرکت فورد	
Gloss	٪۲۰	Luster	٪۱۵
DOI	٪۴۰	Sharpness	٪۳۵
Orange peel	٪۴۰	Orange peel	٪۵۰

تعیین محدوده قابل قبول برای جلوه ظاهری در یک روکش سطح خودرویی به شرکت سازنده، قیمت فروش و بخش‌های مختلف خودرو وابسته است. بنابراین کلاس خودرو، عمودی و افقی بودن سطح و نوع رنگ مورد استفاده (متالیک، غیرمتالیک^۱) در کیفیت جلوه ظاهر خودرو نقش دارند. به‌طور مثال در رنگ‌های غیرمتالیک تیره عیوب جلوه ظاهری در مقایسه با رنگ‌های متالیک روشن به‌طور واضح‌تری مشاهده می‌گردد. بر همین اساس در سال‌های اخیر در شرکت فورد تعیین حدود روادای برای شاخص ترکیبی فورد^۲ بر اساس این سه عامل صورت می‌گیرد. به این ترتیب با استفاده از دستگاه موج‌سنج ساختارهای سطح در چندین نقطه از بخش‌های مختلف خودرو شامل سطوح افقی مانند سقف، درب موتور، صندوق و سطوح عمودی شامل درب‌ها، گلگیرها اندازه‌گیری می‌شود که در شکل ۴ نشان داده شده است، سپس حدود رواداری برای شاخص فورد با توجه به کلاس خودرو، نوع و میزان روشنایی رنگ و افقی و عمودی بودن سطح تعیین می‌گردد که در جدول ۳ نشان داده شده است [۲۶].



شکل ۴- فضای LC-WL-Wd [۲۹].

$$WL = 100 \times \frac{Wd - Wc}{Wd + Wc} \quad (6)$$

¹ Solid
² Combined Ford

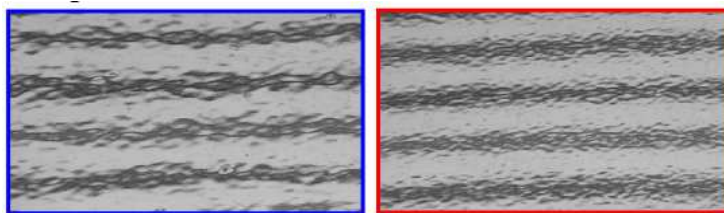
جدول ۳- حدود رواداری برای شاخص ترکیبی فورد بر اساس کلاس خودرو، نوع رنگ و عمودی بودن سطح [۲۶].

نوع خودرو	نوع پوشش رنگ	شاخص فورد بر روی سطوح افقی	شاخص فورد بر روی سطوح عمودی
تجاری	متالیک روشن	≥ ۵۳	≥ ۴۴
	متالیک تیره	≥ ۵۸	≥ ۴۹
	غیر متالیک روشن	≥ ۵۸	≥ ۴۹
	غیر متالیک تیره	≥ ۶۰	≥ ۵۰
مسافرتی	متالیک روشن	≥ ۵۸	≥ ۴۹
	متالیک تیره	≥ ۶۳	≥ ۵۳
	غیر متالیک روشن	≥ ۶۳	≥ ۵۳
لوکس	غیر متالیک تیره	≥ ۶۵	≥ ۵۵
	به‌صورت معمول	≥ ۶۰	≥ ۵۰

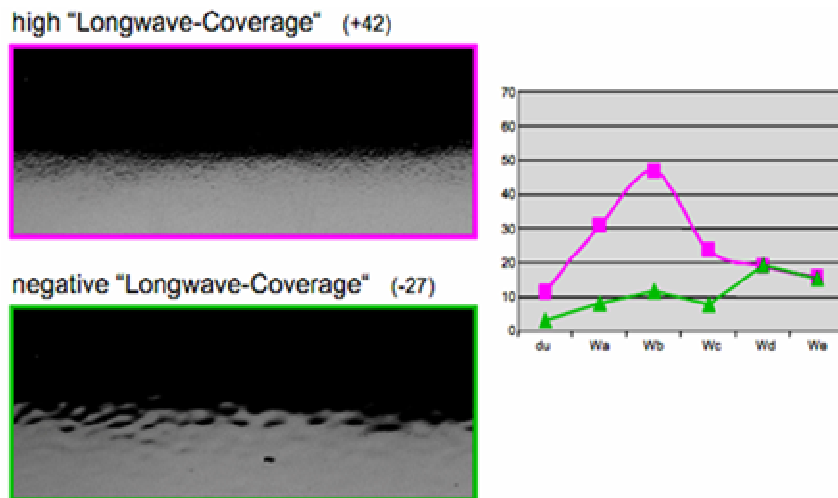
نشان می‌دهد هر چه در این فضای طراحی شده مقدار LC و WL بزرگتر باشد جلوه ظاهری سطح موجی به نظر می‌رسد. همچنین در این فضا هر چه مقدار LC بزرگتر و WL کوچکتر باشد جلوه ظاهری سطح از حالت موجی^۱ به حالتی که قابلیت تشکیل تصویر بهتری دارد حرکت خواهد کرد. شکل ۷ نمودار LC در مقابل WL را برای قسمت‌هایی از بدنه یک خودرو را نشان می‌دهد. همان‌طوری که ملاحظه می‌شود قسمت‌هایی که دارای LC بالا و WL پایینی باشند (قسمت قرمز) پوست پرتقالی کمتری نسبت به قسمت‌هایی دارند که دارای WL بالاتر و LC پایین‌تری هستند (قسمت آبی) [۲۸-۳۰].

مقادیر این دو عامل بین ۱۰۰- و ۱۰۰+ متغیر است. هر چه Wet Look سطح بیشتر باشد، بدان معنا است که سطح قابلیت تشکیل تصاویر واضح‌تری دارد. در شکل ۵ دو سطح که دارای مقادیر مختلفی از WL هستند نشان داده شده است. هر چه مقدار Longwave Coverage بیشتر باشد، موج‌های کوتاه در سطح واضح‌تر از موج‌های بلند به نظر می‌رسند. کم بودن مقدار LC بدان معنا است که ظاهر روکش تحت تاثیر موج‌های بلند قرار دارد. شکل ۶ طیف‌های ساختاری دو نمونه روکش سطح با LC متفاوت را نشان می‌دهد. همان‌طوری که در شکل نشان داده شده است در این دو نمونه مقدار عامل Wd تقریباً یکسان و مقدار عامل Wb متغیر است و نمونه‌ای که دارای Wb بزرگتر است مقدار LC آن بزرگتر است لذا این شاخص تحت تاثیر موج‌های کوتاه و عامل Wb قرار دارد. نتایج تحقیقات ارزیابی بصری مشاهده‌کنندگان

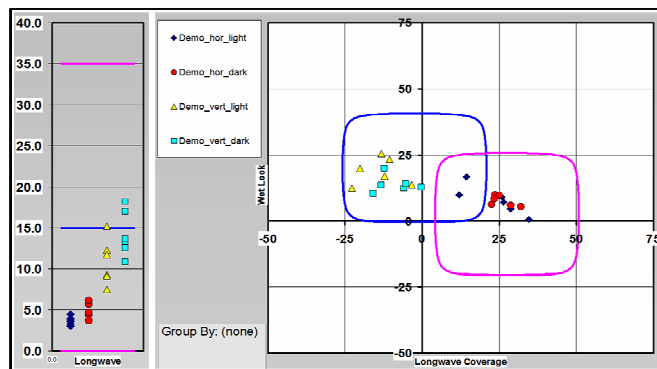
^۱ Fuzzy



شکل ۵- مقایسه WL دو روکش سطح خودرویی، نمونه راست WL برابر با ۱۱+ و نمونه چپ WL برابر با ۳۷+ دارد [۲۸].



شکل ۶- مقایسه LC دو روکش سطح خودرویی، در نمونه بالا LC برابر با ۴۲+ و در نمونه پایین LC برابر با ۲۷- است [۲۸].



شکل ۷- بررسی شاخص LC و WL قسمت‌های مختلف بدنه یک خودرو [۲۹]

۲-۴- شاخص توازن^۱ و نمودار توازن^۲

در سال ۲۰۰۸ طی تحقیقاتی که توسط محققین شرکت BYK و AUDI روی ۱۶ نمونه روکش خودرویی تیره انجام گرفت عامل جدیدی تحت عنوان شاخص توازن (B) با استفاده از عوامل Wd و Wb حاصل از نتایج اندازه‌گیری دستگاه Wave scan تعریف گردید. این گروه تحقیقاتی از روش جفت مقایسه‌ای و ۱۶ نفر مشاهده‌کننده برای ارزیابی‌های بصری استفاده کردند. بررسی‌های صورت گرفته توسط این گروه تحقیقاتی نشان داد که موج‌های کوتاه و بلند سطح به صورت جداگانه و مستقل از هم روی جلوه ظاهری تأثیر ندارند بلکه لازم است میان این دو تعادل مناسبی برقرار باشد تا جلوه ظاهری مطلوب به نظر برسد. بررسی طیف‌های ساختاری حاصل از دستگاه موج‌سنج نشان داده که در سطح نمونه‌هایی که دارای جلوه ظاهری قابل قبولی هستند، ارتباط مشخصی میان عوامل Wb (به عنوان نماینده میزان موج‌های کوتاه سطح) و Wd (به عنوان نماینده میزان موج‌های بلند سطح) وجود دارد. به این ترتیب که حداقل مقدار Wb برابر با ده بوده و اختلاف این دو عامل (Wb-Wd) با ترم $6 \times (Wd)^{1/2}$ رابطه مستقیم دارد. بر این اساس، شاخص توازن توسط رابطه‌های ۸ و ۹ تعریف گردیده است:

$$W_{bo} = 6 \times \sqrt{Wd + 4} \quad (8)$$

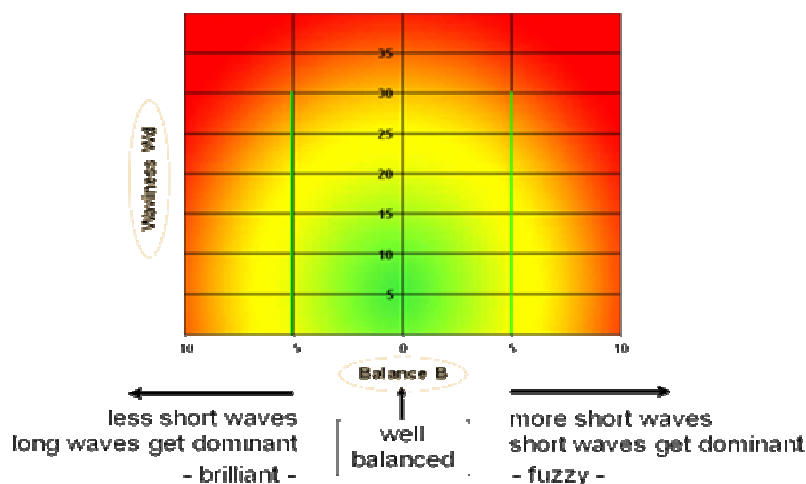
$$B = 10 \times \frac{Wb - W_{bo}}{W_{bo}} \quad (9)$$

نتایج به دست آمده از اندازه‌گیری در نموداری تحت عنوان نمودار توازن رسم می‌گردد و بررسی جلوه ظاهر خودرو به کمک آن انجام می‌گیرد. این نمودار مقدار عامل Wd را به عنوان تابعی از شاخص توازن نشان می‌دهد. در شکل ۸ نمونه‌ای از یک نمودار توازن نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود، منفی بودن شاخص توازن به معنای غالب بودن موج‌های

بلند و مثبت بودن آن به معنای غالب بودن موج‌های کوتاه در سطح می‌باشد. روشن است که هر چه شاخص توازن به صفر نزدیک‌تر باشد، توازن میان موج‌های کوتاه و بلند بیشتر بوده و جلوه ظاهری خودرو مطلوب‌تر خواهد بود [۳۰-۳۳]. محدوده تغییرات شاخص توازن در سه محدوده سبز، زرد و قرمز در نمودار توازن تعریف شده است. در محدوده سبزها شاخص توازن بین +۵ و ۵- و عامل Wb حداقل ۱۰ و عامل Wd کوچکتر از ۲۰ است. در این محدوده که به‌عنوان محدوده قابل قبول تعریف گردیده است کلیه نمونه‌ها از نظر بصری دارای جلوه ظاهری مطلوبی خواهند بود. در محدوده زردها تعداد کمی از مشاهده‌کنندگان این محدوده را به‌عنوان محدوده قابل قبول برای جلوه ظاهری روکش انتخاب می‌کنند و در محدوده قرمزها از نظر کلیه مشاهده‌کنندگان نمونه‌ها از نظر بصری دارای جلوه ظاهری نامطلوب و غیرقابل قبولی به‌عنوان یک روکش سطح خودرویی هستند [۳۰-۳۱]. طی تحقیقاتی که در شرکت پژو روی شاخص توازن صورت گرفته است نشان داده شده است که این شاخص می‌تواند به‌عنوان یک تنظیم‌کننده ثانویه در کنار عامل LW مورد استفاده قرار گیرد. علاوه بر این می‌بایست حدود رواداری جدیدی برای این شاخص تعیین گردد [۳۲]. اخیراً در شرکت ایران خودرو تحقیقاتی با هدف ارزیابی کارآمدی شاخص توازن (B) انجام شده است. در این تحقیق از نمونه‌های خودرویی سفید غیرمتالیک، مشکی، خاکستری متالیک استفاده گردید. روش ارزیابی بصری مورد استفاده مقایسه جفتی بود و ارزیابی‌ها توسط ۱۶ مشاهده‌کننده در شرایط کابینت نوری استاندارد انجام گرفت به طوری که در این حالت زاویه تابش ۴۵ درجه و زاویه مشاهده نسبت به نرمال صفر درجه بود. رسم نمودار توازن برای هر گروه از نمونه‌های سفید، مشکی و خاکستری نشان داد محدوده‌های تعریف شده توسط BYK، قابل تعمیم به تمام روشنایی‌ها نمی‌باشد و برای هر سطح روشنایی می‌بایست حدود رواداری جدیدی تعریف گردد. علاوه بر این در محدوده‌های سبز، زرد و قرمز الزامات تقارنی وجود ندارد لذا برای ارزیابی جلوه ظاهری از شاخص توازن تنها می‌توان در کنار عامل Wd و LW استفاده نمود [۳۳].

¹ Balance index

² Balance chart



شکل ۸- نمودار شاخص توازن [۳۰].

اغلب این استانداردها تمایل به بالا بودن براقیت و وضوح تصویر و پایین بودن میزان پوست پرتقالی روکش سطح خودرویی به چشم می‌خورد، ولی تا کنون استاندارد یا شاخص ایده‌آلی تعریف نشده که بتوان به کمک آن جلوه ظاهری را کنترل و اندازه‌گیری نمود به طوری که نتایج آن به خوبی با نتایج ارزیابی بصری هم‌خوانی داشته باشد لذا در برخی از این شرکت‌ها ارزیابی بصری جلوه ظاهری محصول بر اندازه‌گیری‌های دستگاهی ارجحیت دارد و از دستگاه‌های اندازه‌گیری صفات هندسی در کنار ارزیابی‌های بصری استفاده می‌شود.

۳- نتیجه‌گیری

همان‌طور که مشاهده می‌شود، در حال حاضر در اغلب شرکت‌های خودروسازی معتبر جهان از مدل‌های مختلف دستگاه‌های موج‌سنج، براقیت‌سنج و گونیوفتومتر به منظور بررسی صفات هندسی روکش‌های سطح خودرویی و یکنواختی آنها در تمامی بخش‌های بدنه استفاده می‌گردد. هر یک از شرکت خودروسازی با تدوین استانداردهای مشخص با حدود رواداری معین که بر اساس نتایج ارزیابی بصری افراد تعیین گردیده است اقدام به اندازه‌گیری و کنترل جلوه ظاهری خودروهای خود می‌نمایند. اگر چه در

۴- 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. Kigle-Böckler, "Harmony: Uniform color & Appearance", 6th BYK-Gardner US User Meeting, Dearborn, 2011.
3. R. S. Hunter, R. W. Harold, "The measurement of appearance", Second edition, Wiley Interscience, 1987.
4. "Introduction - Appearance perception", http://www.byk.com/fileadmin/BYK/downloads/support-downloads/instruments/theory/appearance/en/Intro_Appearance.pdf, 2010.
5. س. مرادیان، "اصول علم و تکنولوژی رنگ"، مرکز نشر دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی‌تکنیک تهران)، ۱۳۷۴.
6. س. ح. امیرشاهی، ف. آگهیان، "فیزیک رنگ محاسباتی"، ارکان دانش، ۱۳۸۶.
7. ف. میر جلیلی، س. مرادیان، ف. عامری شهرابی، "جلوه ظاهری روکش‌های سطح خودرویی، بخش اول: مروری بر مهم‌ترین ویژگی‌های ظاهری"، نشریه علمی ترویجی مطالعات در دنیای رنگ، ۲۹، ۴۰-۱۳۹۱، ۲۰۲۹.
8. ف. میر جلیلی، س. مرادیان، ف. عامری شهرابی، "جلوه ظاهری روکش‌های سطح خودرویی، بخش دوم: مروری بر مهم‌ترین روش‌ها و دستگاه‌های اندازه‌گیری"، نشریه علمی ترویجی مطالعات در دنیای رنگ، ۳، ۱۲-۱۳۹۲، ۲۰۲۹.
9. G. Obein, K. Knoblauch, F. Viénot, "Difference scaling of gloss: Nonlinearity, binocularity, and constancy", *Journal of Vision*, 4, 711-720, 2004.
10. G. K. Boeckler, "Measuring gloss and reflection properties of surfaces", *Journal of Tappi.*, Vol 79, 9, 1996.
11. H. J. Streitberger, K. F. Dossel, "Automotive paints and coatings", Second edition, Weinheim, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2008.
12. C. S. McCamy, "Observation and Measurement of the Appearance of Metallic Materials", Part I. Macro Appearance, Color research and application, 21, 292-304. 1996.
13. Renault document, No. BMIR-V5805-2005-0028, "Measurement of the paint's brilliance BYK glossometer 20", J. P. Dormoy, Issued by RENAULT DDIV: DIMCAP, Dept.65303, 2006.
14. Renault document, No. BMIR-V5805-2005-0021, "Paint appearance measurement orange peel, brilliance and clearness wave scan DOI". J. P. Dormoy, Issued by RENAULT DDIV: DIMCAP, Dept.65303, 2006.
15. ASTM D 523-89, "Standard Test Method for Specular Gloss", American Society for Testing and Materials, 1999.
16. ASTM E430, "Standard test method for Measurement of Gloss of High-Gloss surfaces by Goniophotometry", American Society for Testing and Materials, 1999.
17. N. Khalili, F. Ameri, S. Moradian, K. ghafarzadeh, S. H. Razmgir, "Investigation of The effect of Structure spectrum on The Appearance of Automotive finishes", *Journal of Color Science and Technology*, 7, 123-130, 2013.
18. 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", *Journal of Color Science and Technology*, 6, 377-384, 2013.
19. "Paint appearance measurement orange peel, Brilliance and clearness", NO.BMIR-V5805-2005-0021, 2005.
20. G. Hemashankar, "Correlation between visual perception and waviness measurement for coated surfaces", MSC thesis, University of Windsor, Ontario, Canada, 2008.
21. "Appearance of Painted Surfaces - N1/N3 Method - Development, Use and Outlook", BMW Group, Wave Scan User Meeting March, 2007.
22. PSA Peugeot Citroen Norm Quality, Q735150 standard; "Evaluation of Quality of Bodies (NAP)", 2001.
23. س. اصلان زاده، ح. بیات، م. میرفخرایی، "اندازه‌گیری کیفیت ظاهری رنگ با Autospect یا Wave scan DOI"، سالن رنگ ۲ ایران خودرو.
24. PSA Peugeot Citroen, D25554 standard, Evaluation of the quality aspect of the vehicles, Paining As-pect Indicator (IAP)", 2005.
25. "CD340 Appearance optimization utilizing Wave scan technology", Ford CD34X Paint Team, 2005.
26. P. J. Schubel, "Characterization of 'class A' Polymer Composites for the Automotive Industry", Ph. D. thesis, University of Nottingham, United Kingdom, 2004.
27. G. K. Bockler, "Surface quality control on high and medium gloss surface wave scan-dual", 7th wave scan user meeting, 2006.
28. "Wave scan DOI-The new generation for understanding the appearance of coatings", 9th BYK-Gardner European User meeting, 2010.

29. K. Lex, "Advanced QC Tool for Process Control - Structure Space", 6th BYK-Gardner European User meeting, April 20, **2004**.
30. "New structure space with Balance chart analysis", 9th BYK-Gardner European user meeting, **2010**.
31. "Audi Redefinition of the wave scan structure space", Audi user meeting, **2006**.
32. T. N. Trung, "Introduction of the B parameter in PSA", 9th BYK-Gardner European User Meeting, **2010**.
33. N. Khalili, F. Ameri shahrabi, D. Zareei, "Investigating the Correlation of BYK's Balance Index with Visual Assessment of Appearance of Automotive Finishes", MSC thesis, Islamic Azad University, Tehran south branch, **2011**.