Available online @ www.jscw.icrc.ac.ir
نشریه علمی ترویجی مطالعات در دنیای رنگ/ ۳(۱۳۹۲)/ ۱۲-۳
Journal of Studies in Color World, 3 (1392)/ 3-12

نشریه علمی ترویجی
مطالعات در دنیای رنگ
Journal of Studies in Color World
www.jscw.icrc.ac.ir

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

جلوه ظاهری روکش‌های سطح خودرویی. بخش دوم: روش‌ها و دستگاه‌های اندازه‌گیری

فرشته میرجلیلی[۱]، سیامک مرادیان[۲،۳]، فرهاد عامری شهرابی[۴*]

۱- دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی پلیمر و رنگ، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران، صندوق پستی: ۴۴۱۳-۱۵۸۷۵
۲- استاد، دانشکده مهندسی پلیمر و رنگ، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران، صندوق پستی: ۴۴۱۳-۱۵۸۷۵
۳- استاد، قطب علمی رنگ، موسسه پژوهشی علوم و فناوری رنگ و پوشش، تهران، ایران، صندوق پستی: ۶۵۴-۱۶۷۶۵
۴- استادیار، گروه پژوهشی فیزیک رنگ، موسسه پژوهشی علوم و فناوری رنگ و پوشش، تهران، ایران، صندوق پستی: ۶۵۴-۱۴۸۵۷

تاریخ دریافت: ۹۱/۷/۴ تاریخ بازبینی: ۹۱/۱۲/۱۹ تاریخ پذیرش: ۹۱/۱۲/۲۲

چکیده

کیفیت ظاهری خودرو اولین عاملی است که هر خریدار به هنگام خرید خودرو بدان توجه می‌نماید. از این رو، امروزه صاحبان تمامی صنایع خودروسازی بزرگ جهان به اهمیت فراوان کنترل جلوه ظاهری محصولات تولیدی خود واقف بوده و نیز بر این باورند که آنچه قابل اندازه‌گیری نیست، قابل کنترل نیز نمی‌باشد. بر این اساس، شرکت‌های خودروسازی همواره به دنبال روش‌ها و دستگاه‌هایی هستند که به کمک آن‌ها قادر باشند کلیه ویژگی‌های ظاهری روکش‌های سطح خودرویی را با دقت و صحت بالایی اندازه‌گیری نمایند. در این مقاله تلاش گردیده که مرور جامعی بر روش‌ها و کارآمدترین دستگاه‌های مورد استفاده به منظور اندازه‌گیری ویژگی‌های ظاهری روکش‌های سطح خودرویی صورت پذیرد.

واژه‌های کلیدی

جلوه ظاهری، روکش سطح خودرویی، دستگاه‌های اندازه‌گیری.

*Corresponding author: fameri@icrc.ac.ir

۱- مقدمه

شاید بتوان از دیدگاه جلوه ظاهری، رنگ خودرو را آشکارترین ویژگی ظاهری آن دانست. با توجه به اهمیت رنگ در جلب نظر مشتری، خودروسازان همواره به دنبال خلق رنگ‌های نو با اثرات رنگی منحصر به فرد بوده‌اند. امروزه با عرضه رنگدانه‌های جدید با اثرات ویژه همچون رنگدانه‌های متالیک و تداخلی امکان دستیابی تولیدکنندگان خودرو به این هدف تا حد زیادی فراهم گشته است. به نحوی که در حال حاضر ۸۰٪ روکش‌های سطح خودرویی را روکش‌های سطح با اثرات ویژه تشکیل می‌دهد.

در کنار رنگ، براقیت، وضوح تصویر[1]، پوست پرتقالی[2] و ابلقی شدن[3] نیز به عنوان مهم‌ترین ویژگی‌های ظاهری روکش‌های سطح خودرویی مطرح بوده که اندازه‌گیری دقیق آن‌ها به منظور کنترل جلوه ظاهری محصول از سوی خودروسازان سرار جهان مورد توجه فراوانی قرار گرفته است. با توجه به اهمیت این مسئله، شرکت‌های سازنده تجهیزات اندازه‌گیری نیز بیکار نمانده و متناسب با نیاز صنعت خودرو، دستگاه‌های متعددی به بازار عرضه نموده‌اند.

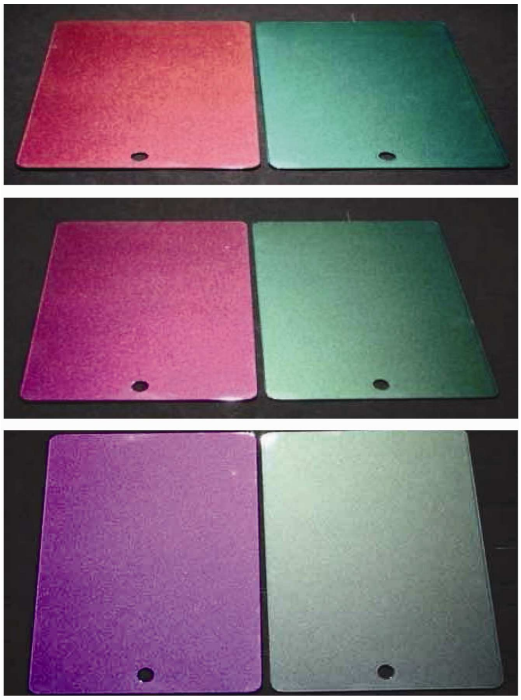
با توجه به افزایش تنوع محصولات و نیز بالا رفتن سطح سلیقه مشتری، قابلیت و کارامدی این دستگاه‌ها نیز دائما از سوی شرکت‌های سازنده در حال ارتقاء بوده است. در ادامه مقاله به بررسی نحوه اندازه‌گیری دستگاهی مهم‌ترین ویژگی‌های ظاهری روکش‌های سطح خودرویی پرداخته می‌شود.

۲- اندازه‌گیری رنگ

بر خلاف روکش‌های سطح با اثرات ویژه که ابعاد رنگی آن‌ها همچون فام و روشنایی با تغییر زاویه مشاهده تغییر می‌نماید، رنگ روکش‌های سطح بدون اثرات ویژه[4] به هندسه مشاهده بستگی ندارد. شکل ۱ نحوه تغییر رنگ دو نمونه روکش سطح خودرویی صدفی را در اثر تغییر زاویه مشاهده به خوبی نشان می‌دهد [۱].

به منظور اندازه‌گیری و کنترل رنگ در این نوع روکش‌های سطح از دستگاه‌های مرسومی همچون اسپکتروفوتومتر[5] استفاده می‌گردد. نمونه‌ای از دستگاه اسپکتروفوتومتر قابل حمل[6] که توسط شرکت Konica Minolta تولید و عرضه گردیده و برای اندازه‌گیری رنگ بخش‌های مختلف خودرو مورد استفاده قرار می‌گیرد، در شکل ۲ نشان داده شده است.

با ظهور روکش‌های سطح متالیک و تداخلی، اسپکتروفوتومترهای متداول دیگر قادر به ارزیابی رنگ خودرو بدان صورت که مشاهده کننده‌های انسانی درک می‌نمایند، نبودند. نتایج حاصل از پروژه‌های تحقیقاتی نشان می‌داد که به منظور اندازه‌گیری کامل رنگ یک روکش سطح متالیک، اندازه‌گیری باید حداقل در سه زاویه مشاهده انجام گیرد و نتیجه قابل قبول طی اندازه‌گیری در پنج زاویه مشاهده حاصل می‌گردد. از این رو تولیدکنندگان خودرو به استفاده از گونیواسپکتروفوتومترها[7] روی آوردند. گونیواسپکتروفوتومتر عملکردی مشابه اسپکتروفوتومتر دارد با این تفاوت که قادر است طیف انعکاسی نمونه را در چندین زاویه مشاهده یعنی زوایای ۱۵°، ۲۵°، ۴۵°، ۷۵° و ۱۱۰° نسبت به زاویه انعکاس آیینه‌ای اندازه‌گیری نماید.

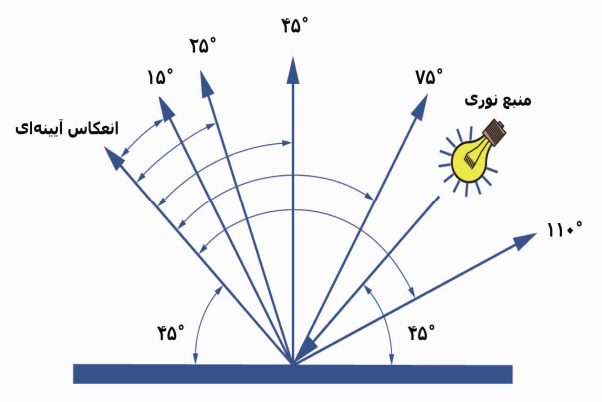


شکل ۱- تغییر رنگ دو نمونه روکش سطح خودرویی صدفی با تغییر زاویه مشاهده. نمونه سمت راست حاوی رنگدانه تداخلی Viola Fantasy Blue و نمونه سمت چپ حاوی رنگدانه تداخلی ChromaFlair 190 است [۱].

شکل ۲- تصویری از اسپکتروفوتومتر قابل حمل CM-2500C ساخته شده توسط شرکت Konica Minolta.

[1] Distinctness of Image (DOI)
[2] Orange peel
[3] Mottling
[4] Solid surface coatings
[5] Spectrophotometer
[6] Portable
[7] Goniospectrophotometer

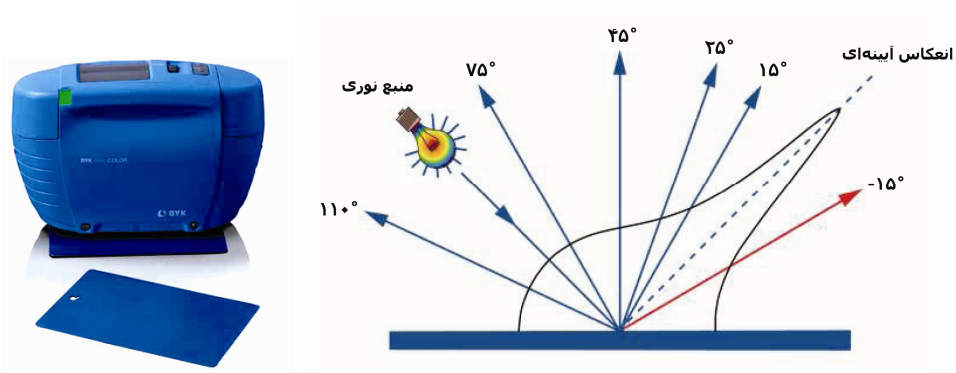
در این میان اصلی‌ترین زوایای اندازه‌گیری رنگ عبارتند از زاویه نزدیک آیینه‌ای[1] ۱۵°، زاویه نمای[2] ۴۵° و زاویه فلاپ[3] ۱۱۰°. نتیجه اندازه‌گیری در زاویه نزدیک آیینه‌ای تا حد زیادی تحت تاثیر روش اعمال و اختلاف در نحوه آرایش‌یافتگی رنگدانه‌های ورقه‌ای قرار دارد. زاویه ۴۵° معادل زاویه نرمال در اسپکتروفوتومترهای با هندسه ۴۵/۰ می‌باشد و اندازه‌گیری تحت زاویه ۱۱۰° میزان تغییرات روشنایی روکش در اثر تغییر زاویه مشاهده را نشان می‌دهد. هندسه تابش و مشاهده یک گونیواسپکتروفوتومتر در شکل ۳ نشان داده شده است [۳-۱].



شکل ۳- هندسه تابش و مشاهده در یک گونیواسپکتروفوتومتر [۴].

به منظور کنترل رنگ روکش‌های سطح خودرویی با اثرات ویژه، همانند روکش‌های سطح متداول، از پارامترهای رنگی L^*، a^* و b^* (یا L^*، C^* و h°) و ΔE^* استفاده می‌گردد. اما از آن جا که حدود رواداری برای زوایای نزدیک آیینه‌ای (۱۵° و ۲۵°) و زوایای فلاپ (۷۵° و ۱۱۰°) بیشتر از زاویه نما (۴۵°) است، به منظور دستیابی به پارامترهای رواداری مستقل از رنگ یکسان در معادله اختلاف رنگ از فاکتورهای وزن‌دهی استفاده می‌گردد. از این رو امروزه شرکت‌های خودروسازی از معادلات اختلاف رنگ CMC، CIE 94، CIE 2000 و استاندارد DIN 6175-2 برای کنترل کیفیت رنگ خودروهای خود استفاده می‌نمایند. در کنار معادلات اختلاف رنگ، شاخص فلاپ[4] نیز معیار بسیار مفیدی برای ارزیابی تغییرات روشنایی روکش سطح متالیک خودرو می‌باشد [۵، ۶]. همراه با تحولات صورت گرفته در دنیای روکش‌های سطح خودرویی و به دلیل افزایش تمایل شرکت‌های خودروسازی به استفاده از روکش‌های سطح تداخلی و صدفی برای پوشش دهی بدنه خودرو، در سال‌های اخیر نسل جدیدی از رنگدانه‌های تداخلی با اثرات ویژه همچون رنگدانه‌های زیرالیک[5] و کالر استریم[6] توسط شرکت مرک[7] و کرومافلر[8] توسط شرکت فلکس[9] به بازار روکش‌های سطح خودرویی معرفی گردیده است. از آن جا که تغییرات رنگی در این روکش‌های سطح جدید در مقایسه با نسل قدیم بیشتر است، متخصصان جلوه ظاهری در شرکت‌های خودروسازی دریافتند که نحوه ارزیابی دستگاهی رنگ در این روکش‌های سطح جدید نیاز به بازنگری دارد. در این زمینه نتایج بررسی‌ها نشان می‌داد که به منظور اندازه‌گیری کامل تغییرات رنگی این روکش‌های سطح لازم است زوایای دیگری به هندسه اندازه‌گیری گونیواسپکتروفوتومترهای متداول اضافه گردد [۷، ۸]. بر اساس نتایج به‌دست آمده، زاویه مشاهده ۱۵°- در سوی منفی زاویه انعکاس آیینه‌ای (شکل ۴) در دستگاه‌های اندازه‌گیری جدید تعبیه شده است. در حال حاضر اغلب شرکت‌های خودروسازی در سراسر جهان از چنین گونیواسپکتروفوتومترهایی به منظور ارزیابی رنگ خودروهای خود استفاده می‌نمایند. یکی از پرکاربردترین و کارامدترین این دستگاه‌ها، دستگاه BYK- mac است که توسط شرکت BYK Gardner طراحی و تولید شده است. تصویری از این دستگاه و هندسه اندازه‌گیری رنگ توسط آن در شکل ۴ نشان داده شده است.

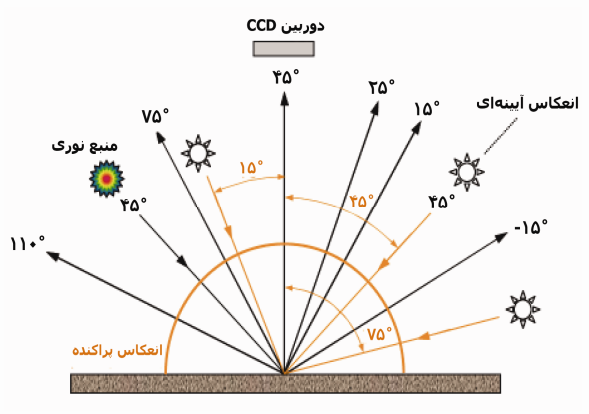
[1] Near specular
[2] Face
[3] Flop
[4] Flop index
[5] Xirallic effect pigment
[6] Colorstream effect pigment
[7] Merck
[8] ChromaFlair effect pigment
[9] Flex



شکل ۴- هندسه اندازه‌گیری BYK- mac برای اندازه‌گیری رنگ روکش‌های سطح خودرویی با اثرات ویژه [۷].

علاوه بر رنگ، BYK- mac به نحوی طراحی شده است که قادر به اندازه‌گیری پارامترهای بافتار یعنی تلالو[10] و زبری بصری[11] می‌باشد. اهمیت اندازه‌گیری بافتار بصری[12] روکش‌های سطح با اثرات ویژه زمانی مشخص می‌شود که نحوه آرایش یافتگی رنگدانه‌های ورقه‌ای در دو نمونه روکش سطح با فرمولاسیون یکسان، متفاوت باشد. در این حالت ارزیابی دستگاهی رنگ دو نمونه ممکن است به نتایج یکسانی منجر گردد. در حالی که ارزیابی بصری نشان می‌دهد که نمونه‌ها ظاهر کاملاً متفاوتی دارند [۵، ۷]. به منظور اندازه‌گیری درجه تلالو روکش، دستگاه مجهز به سه منبع نوری تک سویه مجزا در سه زاویه ۱۵°، ۴۵° و ۷۵° و یک دوربین در زاویه نرمال نسبت به سطح نمونه می‌باشد. همچنین برای اندازه‌گیری میزان زبری بصری روکش سطح، نور به صورت پراکنده به سطح تابیده شده و مقدار نور منعکس شده از سطح تحت زاویه نرمال توسط دوربین اندازه‌گیری می‌شود [۷].

شکل ۵ هندسه اندازه‌گیری دستگاه BYK- mac به منظور اندازه‌گیری پارامترهای رنگی و بافتاری روکش‌های سطح خودرویی را نشان می‌دهد.



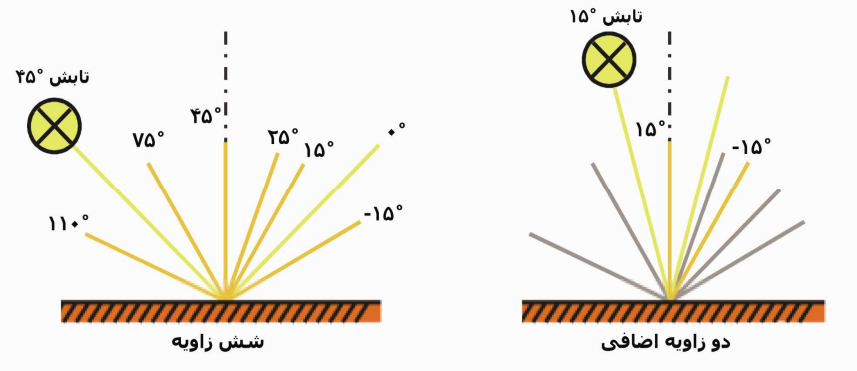
شکل ۵- نمایشی از هندسه اندازه‌گیری دستگاه BYK- mac جهت اندازه‌گیری پارامترهای رنگی و بافتاری روکش‌های سطح خودرویی [۷].

شرکت X-Rite یکی از باسابقه‌ترین شرکت‌های تولیدکننده دستگاه‌های اندازه‌گیری جلوه ظاهری به ویژه رنگ است. یکی از جدیدترین تولیدات این شرکت سیستم اندازه‌گیری XDNA (X-Rite Dynamic Numerical Analysis) متشکل از دستگاه MA98 و نرم افزار X-ColorQC است که به منظور اندازه‌گیری پارامترهای رنگی روکش‌های سطح خودرویی با اثرات ویژه طراحی و تولید گردیده است. تصویری از این دستگاه در شکل ۶ نشان داده شده است.

شکل ۶- تصویری از دستگاه MA98 در سیستم XDNA ساخته شده توسط شرکت X-Rite [۹].

این سیستم اندازه‌گیری مطابق با استاندارد جدید ASTM E2539–08 مجهز به دو منبع نوری در زوایای تابش ۴۵° و ۱۵° و ده زاویه مشاهده می‌باشد، به نحوی که مشابه دستگاه BYK- mac برای زاویه تابش ۴۵°، شش زاویه مشاهده ۱۵°-، ۱۵°، ۲۵°، ۴۵°، ۷۵° و ۱۱۰° (نسبت به زاویه انعکاس آیینه‌ای) همگی در یک صفحه و عمود بر سطح نمونه قرار دارد. همچنین برای زاویه تابش ۱۵° که تنها در سیستم XDNA تعبیه شده و در دستگاه‌های مشابه وجود ندارد، اندازه‌گیری تحت دو زاویه مشاهده ۱۵°- و ۱۵° (نسبت به زاویه انعکاس آیینه‌ای) انجام می‌شود. در مقایسه با دستگاه‌های متداول، این زاویه تابش اضافی امکان اندازه‌گیری فام‌های بیشتری از جمله فیروزه‌ای و سبز را در روکش‌های سطح صدفی فراهم آورده است. نمایشی از این دو هندسه اندازه‌گیری در سیستم XDNA در شکل ۷ نشان داده شده است [۱۰].

[10] Sparkle
[11] Coarseness
[12] Visual texture



شکل ۷- نمایشی از دو هندسه تابش ۴۵° و ۱۵° و اندازه‌گیری در هشت زاویه مشاهده در سیستم XDNA

علاوه بر زوایای مشاهده ذکر شده، چهار زاویه مشاهده خارج از صفحه نیز در MA98 تعبیه گردیده است. این چهار زاویه عبارت‌اند از ۹۰ az[13] ،۲۵° az -۹۰ ،۲۵° az ۱۲۵,۳ و ۶۰° az -۱۲۵,۳ که امکان اندازه‌گیری تابع BRDF[14] نمونه تحت عنوان آنالیز عددی دینامیک X-Rite (XDNA) را فراهم می‌آورد. آرایش فضایی زوایای تابش و اندازه‌گیری در شکل ۸ نشان داده شده است [۱۰].

همان گونه که مشاهده می‌شود، این دستگاه قادر است در هر اندازه‌گیری طیف انعکاسی نمونه را تحت زوایای متعدد در سه بعد اندازه‌گیری نموده و به کمک آن‌ها مقادیر XDNA نمونه را محاسبه کند. بدین ترتیب کلیه اثرات رنگی یک روکش سطح با اثرات ویژه و تغییرات آن‌ها با تغییر زاویه تابش و مشاهده در سه بعد قابل بررسی است. با استفاده از نتایج اندازه‌گیری توسط XDNA، اطلاعات بسیار مفیدی در رابطه با اندازه و نحوه آرایش یافتگی رنگدانه‌های ورقه‌ای و نیز تاثیر پارامترهای فرآیندی و تغییرات فرمولاسیون پوشرنگ بر ابعاد رنگی روکش سطح بدست می‌آید. از دیگر قابلیت‌های سیستم XDNA این است که قادر به اندازه‌گیری سطوح انحنادار نیز می‌باشد [۱۰، ۱۱].

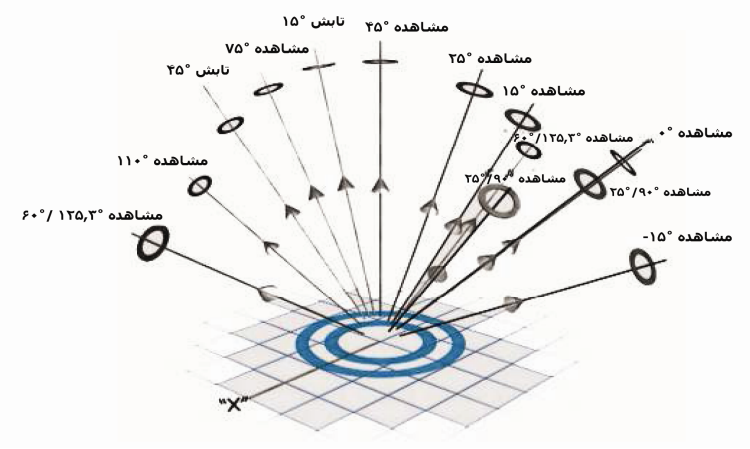
۳- اندازه‌گیری براقیت و وضوح تصویر

در کنار رنگ، اندازه‌گیری و کنترل دیگر خواص هندسی روکش‌های سطح خودرویی همچون براقیت، وضوح تصویر، ابری شدن[1] و به ویژه نایکنواختی فیزیکی سطح نیز از اهمیت فراوانی برخوردار است. در این میان براقیت و وضوح تصویر از اصلی‌ترین ویژگی‌های ظاهری روکش سطح خودرویی محسوب می‌گردند. تا مدت‌ها براقیت آیینه‌ای به عنوان عامل کنترل کننده جلوه ظاهری خودرو مورد استفاده بوده است. اما با گذشت زمان مشخص گردید که بر خلاف تصور، خواص هندسی روکش‌های سطح خودرویی محدود به یک بعد براقیت آیینه‌ای نبوده و ارزیابی این بعد به تنهایی در دستیابی به جلوه ظاهری مطلوب خودرو چندان کارساز نیست. بدین ترتیب مفهوم چند بعدی بودن براقیت و عوامل دیگری همچون وضوح تصویر و پوست پرتقالی مطرح گردید [۱۲، ۱۳]. به طور کلی برای روکش‌های سطح خودرویی براقیت و وضوح تصویر بالا مطلوب می‌باشد که امروزه به منظور اندازه‌گیری و کنترل این ویژگی‌های هندسی بر اساس روش‌های استاندارد از براقیت سنج‌های متداول و نیز گونیوفوتومترها استفاده می‌گردد. تصاویری از براقیت سنج و گونیوفتومتر Rhopoint IQ ساخته شده توسط شرکت Rhopoint در شکل ۹ نشان داده شده است.

[1] Haze

[13] Azimuthal

[14] BRDF مخفف Bidirectional Reflectance Distribution Function و توصیف پایه‌ای و دقیق انعکاس سطح است که چگونگی انعکاس نور از سطح را در همه جهات نشان می‌دهد.



شکل ۸- آرایش فضایی زوایای تابش و مشاهده در MA98 [۱۱].

شکل ۹- تصویری از براقیت سنج (راست) و گونیوفتومتر (چپ) Rhopoint IQ ساخته شده توسط شرکت Rhopoint [۱۴، ۱۵].

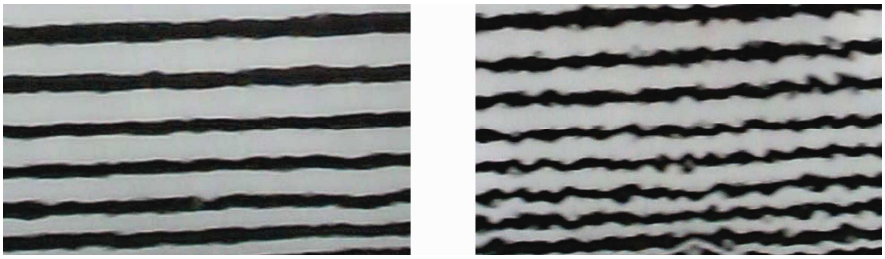
با وجود کاربردهای وسیعی که براقیت‌سنج در زمینه کنترل کیفیت ظاهر خودروها داشته است، این دستگاه دارای محدودیت‌هایی است. از آن جا که تصویر منبع نوری تشکیل شده که در تعیین براقیت مورد اندازه‌گیری قرار می‌گیرد به میزان انحنای سطح مورد بررسی بستگی دارد، براقیت نیز تابعی از انحنای سطوح می‌باشد. محدودیت دیگر این دستگاه وابستگی نتایج آن به ضریب شکست و جنس ماده می‌باشد. به عبارت دیگر هر چه ضریب شکست روکش سطحی بالاتر باشد، میزان نوری که از سطح آن منعکس می‌شود بیشتر خواهد بود و براقیت‌سنج براقیت بیشتری برای آن ارائه می‌کند، در حالی که براقیت این روکش سطح به لحاظ بصری با روکش سطح با ضریب شکست کمتر یکسان است [۵]. با در نظر گرفتن محدودیت‌های براقیت‌سنج، در سال‌های اخیر بافتار فیزیکی و ناهمگونی سطح روکش خودرو که از آن تحت عنوان پوست پرتقالی یاد می‌شود، به عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل موثر بر خواص ظاهری خودرو به ویژه وضوح تصویر شناخته شده است. از این رو اندازه‌گیری و کنترل آن برای شرکت‌های خودروسازی دنیا تبدیل به چالشی بزرگ گردیده است. این در حالی است که همراه با پیدایش مواد و فناوری‌های جدید در زمینه روکش‌های سطح خودرویی، دستگاه‌های اندازه‌گیری خواص ظاهری نیز به تدریج تکامل یافته‌اند. به نحوی که پس از براقیت‌سنج‌ها و اسپکتروفوتومترهای متداول، امروزه دستگاه‌های پیشرفته‌ای همچون Wave scan Dual، BYK- mac و XDNA در اختیار سازندگان خودرو در معتبرترین شرکت‌های خودروسازی جهان قرار دارد. با توجه به اهمیت این دستگاه‌های اندازه‌گیری در ادامه به معرفی آن‌ها پرداخته می‌شود.

۴- اندازه‌گیری پوست پرتقالی

در سال‌های اخیر بافتار فیزیکی و ناهمگونی سطح روکش خودرو که از آن تحت عنوان پوست پرتقالی یاد می‌شود، به عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل موثر بر جلوه ظاهری خودرو به ویژه براقیت و وضوح تصویر شناخته شده است. از این رو اندازه‌گیری و کنترل آن برای شرکت‌های خودروسازی جهان از اهمیت فراوانی برخوردار است. عوامل گوناگونی در مراحل مختلف خط تولید در ایجاد پدیده پوست پرتقالی موثر می‌باشند. با توجه به اینکه برای روکش‌های سطح خودرویی براقیت بسیار بالا مورد نظر است، وجود کوچکترین بافتار فیزیکی که براقیت نهایی سطح را تحت تاثیر قرار می‌دهد نامطلوب است. با توجه به اهمیت اندازه‌گیری و کنترل بافتار فیزیکی سطح و پوست پرتقالی آن در مراحل مختلف تولید ساخت دستگاه‌ها و تجهیزاتی که قادر به اندازه‌گیری دقیق و نزدیک به ارزیابی بصری این پدیده باشند، همواره مورد توجه شرکت‌های خودروسازی و نیز تولیدکنندگان دستگاه‌های اندازه‌گیری خواص روکش‌های سطح بوده است. در سال ۱۹۹۲ شرکت آلمانیBYK Gardner به عنوان یکی از بزرگترین شرکت‌های تولیدکننده دستگاه‌های اندازه‌گیری خواص ظاهری روکش‌های سطح خودرویی اولین دستگاه جهت اندازه‌گیری پوست پرتقالی روکش‌های سطح خودرویی را تحت عنوان Wave scan به بازار عرضه نمود. تصویری از این دستگاه در شکل ۱۰ نشان داده شده است [۵].

شکل ۱۰- دستگاه Wave scan برای اندازه‌گیری پوست پرتقالی روکش‌های سطح خودرویی [۵].

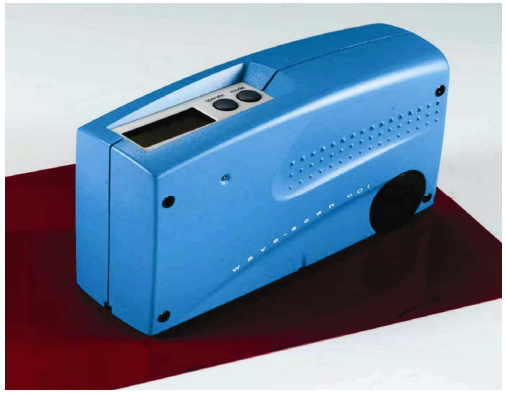
این دستگاه قادر است میزان موج‌های سطوحی با اندازه ساختار ۰/۳ تا ۱۲ میلی‌متر را با تابش نور تک سویه به سطح تحت زاویه ۶۰° و اسکن نمودن نور منعکس شده از آن تحت زاویه انعکاس آیینه‌ای و در مسیری به طول ۱۰ سانتی‌متر بر روی سطح اندازه‌گیری نماید. خروجی دستگاه دو پارامتر SW و LW است که به ترتیب میزان موج‌های کوتاه سطح با طول موج ۰/۳ تا ۱/۲ میلی‌متر و موج‌های بلند سطح با طول موج ۱/۲ تا ۱۲ میلی‌متر را نشان می‌دهد. اندازه پارامترهای SW و LW بین صفر تا ۱۰۰ متغیر است، به نحوی که مقدار صفر به یک سطح کاملا صاف و مقدار ۱۰۰ به سطحی با حداکثر نایکنواختی اختصاص دارد. در شکل ۱۱ دو نمونه روکش سطح با درجات پوست پرتقالی متفاوت نشان داده شده است. اندازه‌گیری میزان پوست پرتقالی سطوح آن‌ها توسط Wave scan این اختلاف را نشان می‌دهد [۱۶].



شکل ۱۱- تصاویر دو نمونه روکش سطح خودرویی با درجات پوست پرتقالی متفاوت؛ اندازه‌گیری توسط دستگاه Wave scan نشان می‌دهد که نمونه سمت راست SW برابر با ۱۷ و LW برابر با ۳۱ و نمونه سمت چپ SW برابر با ۱۵ و LW برابر با ۱۰ دارد [۱۷].

تا سال‌ها این دستگاه و پارامترهای خروجی آن جهت اندازه‌گیری نایکنواختی روکش‌های سطح خودرویی و محاسبه شاخص‌های ظاهری مطابق با روش‌های استاندارد توسط شرکت‌های خودروسازی دنیا مورد استفاده قرار می‌گرفت. اما بررسی‌ها نشان داد که دو پارامتر SW و LW به تنهایی قادر به برآورد کامل نایکنواختی‌های سطح نمی‌باشد. به عبارت دیگر مشخص گردید که نتایج دستگاه مطابقت چندانی با آنچه چشم مشاهده می‌نماید ندارد.

به عنوان مثال در مواردی که دستگاه همانندی ظاهر دو سطح را تایید می‌کند، چشم ظاهر آن دو را متفاوت از یکدیگر تشخیص می‌دهد. به منظور برطرف نمودن مشکل ناکارآمدی Wave scan، شرکت BYK Gardner در سال ۱۹۹۹ دستگاه دیگری با طراحی متفاوت و قابلیت‌های بیشتر تحت عنوان Wave scan DOI به بازار عرضه نمود. این دستگاه عملکردی مشابه با نسل قبلی دارد، با این تفاوت که محدوده طول موجی بزرگتر، از ۰/۱ تا ۳۰ میلی‌متر را با بزرگنمایی بیشتر اندازه‌گیری می‌نماید. شکل ۱۲ تصویری از این دستگاه را نشان می‌دهد.



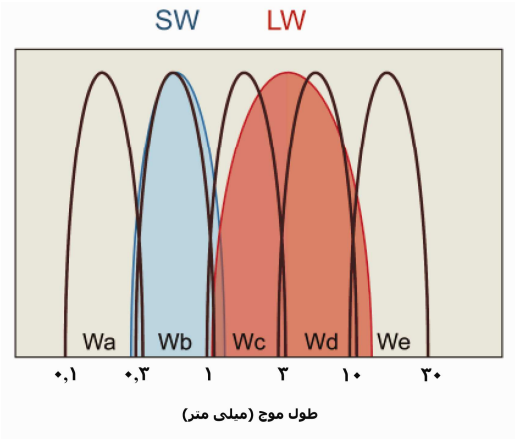
شکل ۱۲- دستگاه Wave scan DOI برای اندازه‌گیری پوست پرتقالی روکش‌های سطح خودرویی [۱۷]

همانند Wave scan، Wave scan DOI نیز سطح فیلم روکش را نقطه به نقطه اسکن نموده و پروفایل اپتیکی سطح را ثبت می‌نماید. سپس به منظور شبیه‌سازی میزان تفکیک‌دهی چشم انسان در فواصل مشاهده مختلف، سیگنال اندازه‌گیری شده را به چندین محدوده طول موجی تقسیم نموده و میزان موجدار بودن سطح را در قالب پنج پارامتر Wa، Wb، Wc، Wd و We اندازه‌گیری می‌نماید. جدول ۱ محدوده طول موجی این پارامترها را به تفکیک نشان می‌دهد [۱۷].

جدول ۱- محدوده اندازه‌گیری و پارامترهای خروجی دستگاه Wave scan DOI [۱۷]

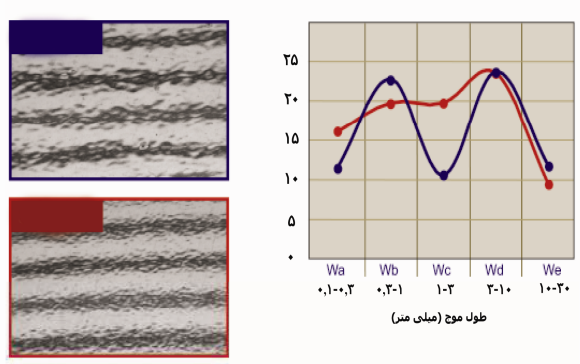
پارامتر خروجی دستگاه	محدوده طول موج (میلی‌متر)
Wa	۰/۱ - ۰/۳
Wb	۰/۳ - ۱
Wc	۱ - ۳
Wd	۳ - ۱۰
We	۱۰ - ۳۰

لازم به ذکر است که این دستگاه علاوه بر پارامترهای Wa تا We، پارامترهای کلاسیک SW و LW را نیز به عنوان خروجی ارائه می‌نماید. ارتباط این دو پارامتر با دیگر پارامترهای Wave scan DOI در شکل ۱۳ نشان داده شده است.



شکل ۱۳- پارامترهای خروجی دستگاه Wave scan DOI [۱۷].

با وجود این که ساختارهای کوچکتر از ۰/۱ میلی‌متر در سطح روکش توسط چشم تشخیص داده نمی‌شود، اما این ناهمواری‌های بسیار ریز بر DOI فیلم روکش بسیار موثر است. از این رو Wave scan DOI به نحوی طراحی شده که بتواند این ساختارهای کوچک را نیز اندازه‌گیری نماید. برای این منظور، یک دوربین شارژ همزمان شدت نور پراکنده شده توسط ساختارهای کوچک را تحت زاویه تابش و مشاهده ۲۰° اندازه‌گیری نموده و حاصل آن تحت عنوان پارامتر dullness ارائه می‌شود. Wave scan DOI از پارامتر dullness و نیز پارامترهای Wa و Wb که مربوط به موج‌های بسیار کوچک سطح می‌باشند به منظور محاسبه وضوح تصویر (DOI) استفاده می‌نماید [۱۷, ۱۸]. پارامترهای حاصل از اندازه‌گیری ساختار فیزیکی سطح توسطWave scan DOI در قالب یک طیف ساختاری[1] قابل ترسیم می‌باشد. این منحنی امکان تجزیه و تحلیل آسان‌تر و دقیق‌تر نتایج و بررسی تاثیر پارامترهای فرآیندی گوناگون را بر جلوه ظاهری روکش فراهم می‌نماید. نمونه‌ای از یک طیف ساختاری بدست آمده از پارامترهای Wave scan DOI مربوط به دو روکش سطح متفاوت در شکل ۱۴ نشان داده شده است [۱۸].



شکل ۱۴- طیف ساختاری مربوط به دو روکش سطح بدست آمده توسط Wave scan DOI [۱۸].

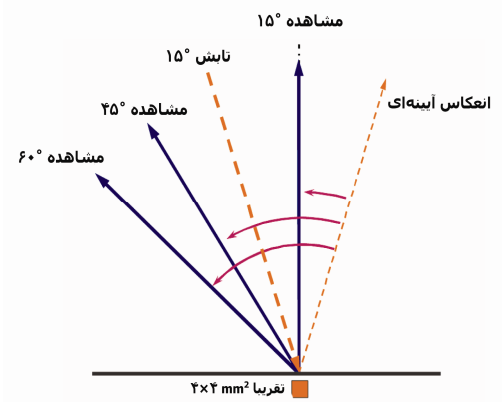
[1] Structure spectrum

۵- اندازه‌گیری ابلقی شدن

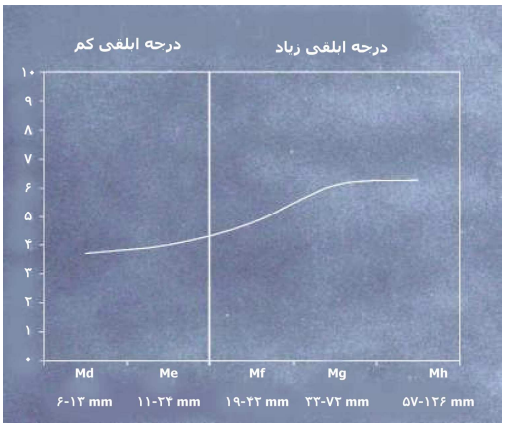
همانند پوست پرتقالی، ابلقی بودن نیز به عنوان یک ویژگی نامطلوب برای روکش‌های سطح خودرویی مطرح است. این ویژگی ظاهری به صورت تغییرات روشنایی و سایه روشن در فیلم روکش مشاهده شده و اغلب در روکش‌های سطح متالیک با رنگ روشن رخ می‌دهد. از این رو تمایل فراوانی از سوی سازندگان خودرو به ایجاد روش‌ها و تولید دستگاه‌های اندازه‌گیری این ویژگی ظاهری وجود دارد. امروزه در اغلب شرکت‌های خودروسازی ارزیابی ابلقی بودن روکش سطح خودرویی به صورت بصری و توسط افراد حرفه‌ای انجام می‌شود. همچنین از اسپکتروفوتومترهای چند زاویه‌ای به منظور اندازه‌گیری تغییرات روشنایی از طریق اسکن نمودن نقطه به نقطه سطح استفاده می‌گردد که این فرآیندی بسیار زمان‌بر است. در برخی شرکت‌های خودروسازی نیز از یک سری نمونه ابلقی استاندارد جهت رتبه‌بندی میزان ابلقی بودن روکش خودرویی استفاده می‌شود. با توجه به این ضرورت، در سال‌های اخیر شرکت BYK Gardner دستگاه cloud - runner را برای اندازه‌گیری میزان ابلقی بودن روکش‌های سطح خودرویی ارائه نموده است. تصویری از این دستگاه در شکل ۱۵ نشان داده شده است.

شکل ۱۵- تصویری از cloud - runner ساخته شده توسط BYK Gardner برای اندازه‌گیری میزان ابلقی بودن روکش سطح خودرویی [۱۹].

طراحی این دستگاه به نحوی صورت گرفته است که قادر به تقلید عملکرد چشم در تعیین میزان ابلقی بودن می‌باشد. به منظور اندازه‌گیری ابلقی بودن، cloud - runner الگوی تغییرات روشنایی محدوده وسیعی از سطح به طول ۱۰ تا ۱۰۰ سانتی‌متر را اندازه‌گیری و ثبت می‌نماید. این دستگاه مجهز به یک منبع نوری است که تحت زاویه ۱۵° سطح را روشن می‌کند. همچنین نور انعکاس یافته از سطح در سه زاویه ۱۵°، ۴۵° و ۶۰° نسبت به زاویه انعکاس آیینه‌ای اندازه‌گیری می‌شود. هندسه اندازه‌گیری cloud - runner در شکل ۱۶ نشان داده شده است. این پارامترها معمولاً به صورت الگوی ابلقی بودن رسم شده و مورد بررسی قرار می‌گیرند. نمونه‌ای از یک الگوی ابلقی بودن برای یک روکش سطح خودرویی در شکل ۱۷ نشان داده شده است. همان گونه که در شکل مشاهده می‌گردد، درجه ابلقی بودن سطح این روکش در نواحی مختلف آن متفاوت است و الگوی ابلقی بودن حاصل از اندازه‌گیری با cloud - runner این تغییرات را به خوبی نشان می‌دهد. خروجی دستگاه cloud - runner پارامترهای Md، Me، Mf، Mg، Mh و Mi می‌باشد که هر کدام اندازه ابلقی و به عبارت دیگر اندازه سایه روشن سطح را نشان می‌دهد. هر چه مقادیر این پارامترها کمتر باشد، میزان ابلقی بودن روکش کمتر است. مقادیر شش پارامتر cloud - runner در جدول ۲ آورده شده است [۱۹, ۲۰].



شکل ۱۶- هندسه تابش و اندازه‌گیری ابلقی شدن روکش سطح خودرویی در cloud - runner [۱۹].



شکل ۱۷- الگوی ابلقی بودن یک روکش سطح خودرویی اندازه‌گیری شده توسط دستگاه cloud - runner [۱۹].

جدول ۲- پارامترهای خروجی دستگاه cloud - runner [۱۹].

پارامتر خروجی دستگاه	اندازه ابلقی (میلی‌متر)	حداقل طول اسکن‌شده (میلی‌متر)
Md	۶ -۱۳	۱۰-۱۰۰
Me	۱۱ - ۲۴	۱۰-۱۰۰
Mf	۱۹ - ۴۲	۱۳۰
Mg	۳۳ - ۷۲	۲۳۰
Mh	۵۷ - ۱۲۶	۴۲۰
Mi	۱۰۰ - ۲۰۰	۷۵۰

۶- نتیجه‌گیری

با توجه به اهمیت فراوان کنترل جلوه ظاهری در صنعت خودروسازی، امروزه تولیدکنندگان بزرگ خودرو در سراسر جهان با تدوین استانداردهای مشخص اقدام به اندازه‌گیری و کنترل جلوه ظاهری خودروهای تولیدی خود می‌نمایند.

در اغلب این استانداردها تمایل به همگونی رنگ و دیگر خواص هندسی همچون براقیت، وضوح تصویر در تمامی بخش‌های بدنه خارجی خودرو به چشم می‌خورد. همچنین بالا بودن براقیت و وضوح تصویر و نیز پایین بودن میزان پوست پرتقالی روکش سطح خودرویی در این استانداردها مطلوب می‌باشد. در حال حاضر کنترل جلوه ظاهری بر اساس استانداردهای مدون در شرکت‌های خودروسازی، به طور عمده از طریق اندازه‌گیری ویژگی‌های ظاهری گوناگون توسط دستگاه‌های اندازه‌گیری صورت می‌گیرد. لازم به ذکر است که در برخی از شرکت‌های خودرو بزرگ جهان از جمله جنرال موتورز، ارزیابی بصری جلوه ظاهری محصول بر ارزیابی‌های دستگاهی ارجحیت دارد. در این میان آنچه روشن است این است که صرف نظر از رنگ که امروزه تا حد زیادی شناخته شده و ابعاد گوناگون آن قابل اندازه‌گیری می‌باشد، خواص هندسی روکش‌های سطح خودرویی نیز پدیده‌ای چند بعدی است که این مطلب ریشه در نحوه ادراک بصری انسان‌ها از این خواص دارد. با این وجود ارتباط میان ادراک بصری از خواص هندسی سطوح و پارامترهای حاصل از دستگاه‌های اندازه‌گیری به درستی مورد بررسی قرار نگرفته و به عنوان سوال بزرگی مطرح است. از این رو، در راستای دستیابی به پارامتر یا پارامترهایی که به بهترین نحو جلوه ظاهری روکش‌های سطح خودرویی را تشریح می‌نمایند، یافتن ارتباط میان ارزیابی بصری انسان‌ها از ویژگی‌های هندسی سطوح و نتایج حاصل از اندازه‌گیری دستگاهی این خواص در درجه اول اهمیت قرار دارد.

۷- تشکر و قدردانی

مولفان وظیفه خود می‌دانند که از حمایت‌های قطب علمی رنگ و شرکت ایران خودرو تشکر نمایند.

۸- مراجع

1. J. Nisper, T. Richardson, B. Teunis, R. Feld, "Major advances in the reliable measurement of the colour and appearance of special effect paints and coatings", X-Rite Incorporated, American Coatings Conference, **2008**.
2. "Introduction -color perception", available in: http://www.byk.com/fileadmin/BYK/downloads/support-downloads/instruments/theory/color/en/Intro_Solid_Color.pdf, **2010**.
3. A. Rodrigues, "Color technology and paint", Proceeding of AIC 2004 Color and Paints, Interim Meeting of the International Color Association, **2004**.
4. "Introduction -Metallic Coatings", available in: http://www.byk.com/fileadmin/BYK/downloads/support-downloads/instruments/theory/color/en/Intro_Metallic_Color.pdf, **2010**.
5. H. J. Streitberger, K. F. Dossel, "Automotive paints and coatings", Second edition, Weinheim, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, **2008**.
6. W. H. Kettler, "Approaches to modelling surface colour perception for industrial applications", DuPont Performance Coatings, 9th BYK-Gardner European User Meeting, **2010**.
7. S. Weixel, "BYK-mac with smart-chart - The QC solution for effect coatings", BYK-Gardner GmbH, 6th BYK-Gardner US User Meeting, Dearborn, **2011**.
8. "What's New in Automotive Paint Technology", available in: projects.nfstc.org/trace/docs/final/Thur_1000AM/brun_conti.pps, **2011**.
9. "The new technology X-Rite MA98 - Portable multi-Angle spectrophotometer", available in: http://www.xrite.com, **2012**.
10. "MA98 portable Multi-Angle spectrophotometer", available in: https:// www.xrite.com/product_ overview .aspx?ID=1148&Action=Specifications, **2012**.
11. "xDNA - Case study, X-Rite incorporated", available in: http://www.xrite.com/documents/literature/en/L10-369-case_study_en.pdf, **2012**.
12. C. S. McCamy, "Observation and measurement of the appearance of metallic materials. Part I. macro appearance", Color Res. Appl. 21, 292-304, **1996**.
13. R. S. Hunter, R. W. Harold, "The measurement of appearance", Second edition, Wiley Interscience, **1987**.
14. "Novo-Gloss IQ goniophotometer, instrument manual", available in: http://www.labsolutions.fr/wp-content /uploads/2011/02/Novo-Gloss-IQ-Manual.pdf, **2012**.
15. "Rhopoint instruments, Rhopoint IQ data sheet", available in: http://www.rhopointinstruments.com/images/pdfs/rhopointiq1.pdf, **2012**.
16. "Introduction-Orange peel / DOI", available in: http://www.pact-egypt.com/pdf/WAVESCAN%20DOI.pdf, **2010**.
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. S. Wimmer, "Cloud-runner - measurement of mottling", 9th BYK-Gardner User Meeting, **2010**.
20. "Mottling Meter, Objective mottling measurement of effect coatings", available in**:** https:// www.byk.com/en /instruments /products/?a=1&b=16&f=0&faction=, **2013**.