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)، ۳۳۰- ۳۲۳

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

تاثیر شرایط نوردهی در ارزیابی چشمی برخی از ویژگی‌های هندسی پوشرنگ‌های خودرویی

فرهاد عامری[1*]، نجمه خلیلی[2]

۱- استادیار، گروه پژوهشی فیزیک رنگ، موسسه پژوهشی علوم و فناوری رنگ و پوشش، تهران، ایران، صندوق پستی: ۶۵۴-۱۶۷۶۵
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی پلیمر، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران، صندوق پستی: ۴۴۳۵-۱۱۳۶۵

تاریخ دریافت: ۹۲/۳/۲۲ تاریخ پذیرش: ۹۲/۶/۱۳ در دسترس به صورت الکترونیکی از: ۱۳۹۲/۱۲/۲۰

چکیده

شرایط نوردهی، هندسه تابش و مشاهده از جمله عوامل مهمی است که در ارزیابی چشمی ویژگی‌های ظاهری نظیر براقیت، پوست پرتقالی و وضوح تصویر در پوشرنگ‌های خودرویی نقشی اساسی ایفا می‌نمایند. در این تحقیق ویژگی‌های براقیت، پوست پرتقالی و وضوح تصویر پوشرنگ‌های خودرویی تحت سه شرایط نوردهی تک سویه، پراکنده و کابینت نوری استاندارد و در هریک از شرایط تحت زاویه تابش و مشاهده مختلفی بررسی گردید. برای این منظور سه مقیاس براقیت، وضوح تصویر و پوست پرتقالی از پوشرنگ خودرویی مشکی متالیک تهیه گردید و هر سه مقیاس در هریک از شرایط نوردهی بطور جداگانه توسط ۸ نفر مشاهده کننده مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج آماری این تحقیق نشان داد میزان خطای مشاهده‌کنندگان در ارزیابی چشمی براقیت تحت شرایط نوردهی تک سویه و تحت زوایه تابش ۳۸ درجه و زاویه مشاهده ۷ درجه و ارزیابی وضوح تصویر و پوست پرتقالی تحت شرایط کابیت نوری استاندارد در مقایسه با سایر شرایط کمتر است به طوری که میانگین مقدار استرس برای ارزیابی براقیت، وضوح تصویر و پوست پرتقالی در هریک از شرایط ذکر شده کمتر از ۸٪ می‌باشد.

واژه‌های کلیدی:پوست پرتقالی، براقیت، وضوح تصویر، نوردهی تک‌سویه، نوردهی پراکنده، شرایط مشاهده.

Effect of Illumination/Observation Geometries on Visual Assessment of Certain Geometric Attributes of Automotive Paints

F. Ameri[*1], N. Khalili[2]

[1] Department of Color Physics, Institute for Color Science and Technology, P.O.Box: 16765-654, Tehran, Iran
2 Department of Polymer Engineering, Islamic Azad University, South Tehran Branch, P.O.Box:11365-4435, Tehran; Iran
Received: 02-06-2013 Accepted: 04-09-2013 Available online: 11-03-2014

Abstract

Illumination/observation geometries have an effective role in visual assessments of geometric attributes such as gloss, distinctness of image, orange peel of automotive paints. In this research, gloss, distinctness of image and orange peel of an automotive paint were investigated under three different illumination/observation conditions namely, directional, diffuse and combination of the two(i.e. directional plus diffuse) usually achieved in a standard light cabinet. For each condition, the visual assessments were carried out at various viewing geometries. For this purpose, three scales, i.e. specular gloss, distinctness of image and orange peel were prepared for a black automotive finish. These scales were separately evaluated visually under various illumination/viewing conditions by a panel of 8 observers. The statistical parameters showed that the visual perception of gloss under directional lighting/viewing geometry of 38°/7 ° along with visual perception of distinctness of image and orange peel observed in a standard light cabinet with a 45°/0° geometry gave the most reasonable results as the performance of observers in such set ups induced average stress values of less than 8%. J. Color Sci. Tech. 7(2014), 323-330©. Institute for Color Science and Technology.

Keywords: Orange peel, Gloss, Distinctness of image, Directional illumination, Diffuse illumination, Viewing conditions.

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

Archive of SID
www.SID.ir

۱ـ مقدمه

کنترل جلوه ظاهری[1] به منظور جلب رضایت مشتری در بسیاری از صنایع از جمله صنایع خودروسازی، چاپ و بسته‌بندی، الکترونیک، نساجی و غیره از اهمیت فراوانی برخوردار است. بطور مثال در صنعت خودروسازی کیفیت ظاهری خودرو اولین عاملی است که هر خریدار به هنگام خرید به آن توجه می‌نماید. امروزه در برجسته‌ترین شرکت‌های خودروسازی جهان ارزیابی چشمی[2] جلوه ظاهری پوشرنگ خودرو بر نتایج حاصل از اندازه‌گیری ویژگی‌های ظاهری توسط دستگاه‌ها ارجحیت دارد. صفات هندسی[3] همچون براقیت[4]، وضوح تصویر[5] و پوست پرتقالی[6] به طور جداگانه و کاملا متفاوتی از رنگ درک و مشاهده می‌شوند. رنگ مطابق با تئوری سه رنگی[7] و در اثر عملکرد مخروط‌های چشم درک می‌شود اما درک صفات هندسی توسط سامانه چشمی انسان‌ها کاملا متفاوت است. هانتر[8] براساس نحوه برهم‌کنش میان نور و شیء، جلوه ظاهری اشیاء را به دو دسته تقسیم نموده است: صفات رنگی[9] و صفات هندسی که صفات رنگی در اثر تغییر در خصوصیات طیفی نور توسط شیء پدید می‌آید در حالی که تغییر در توزیع هندسی نور توسط شیء، صفات هندسی را پدید می‌آورد [۱]. بنابراین درک صفات هندسی از یک طرف به توزیع هندسی نور انعکاس یافته از سطح و از طرف دیگر به سامانه چشمی انسان بستگی دارد، لذا یک پدیده فیزیکی - روانی محسوب می‌گردد و به همین دلیل است که دستگاه‌هایی که تاکنون برای سنجش صفات هندسی پدید آمده‌اند قادر به سنجش این کمیت‌ها به خوبی یک مشاهده‌کننده انسانی نیستند. در هر آزمون چشمی به ویژه آزمون‌هایی که در آنها به بررسی جلوه ظاهری سطوح پرداخته می‌شود، عوامل متعددی بر نتیجه آزمون موثر می‌باشند که توجه به آنها به منظور حصول نتایج صحیح و با دقت مناسب از اهمیت فراوانی برخوردار است. این عوامل عبارتند از جنس نمونه (فلز، پلاستیک و غیره)، ساختار فیزیکی سطح (زبری، همواری و موجی بودن)، ابعاد یا اندازه نمونه، ویژگی‌های فرد مشاهده‌کننده همچون تیزبینی سامانه چشمی، عوامل روانی[10]، سن، جنسیت و سطح آموزش وی، شرایط نوردهی، زاویه تابش و مشاهده و غیره [۳-۱]. بسته به اینکه تمرکز مشاهده‌کننده روی تصویر تشکیل شده از یک شیء روی سطح باشد یا روی نور انعکاس یافته از سطح، درک صفات ظاهری متفاوت خواهد بود. زمانی که مشاهده‌کننده روی تصویری که از یک شیء یا منبع نوری روی سطح نمونه تشکیل شده تمرکز دارد صفاتی نظیر براقیت آیینه‌ای[11]، کدری[12] و وضوح تصویر را مورد بررسی قرار می‌دهد و زمانی که روی خود سطح تمرکز دارد نایکنواختی‌های سطح نظیر بافتار[13] و پوست پرتقالی را ارزیابی می‌نماید. علاوه براین در صورتی که ارزیابی جلوه ظاهری نمونه تحت شرایط نوردهی مستقیم[14] یا نوردهی پراکنده[15] صورت گیرد منجر به حصول نتایجی متفاوت خواهدگردید. در اغلب موارد برای مطالعه خواص ظاهری خودرو از کابینت‌های نوری متداول استفاده می‌شود هر چند این کابینت‌های نوری برای ارزیابی چشمی برخی از مهم‌ترین خواص ظاهری پوشرنگ از جمله تلالو[16]، براقیت و وضوح تصویر مناسب نمی‌باشند و برای ارزیابی دقیق این ویژگی‌ها با توجه به ماهیت فیزیکی و نوری آنها نیاز به شرایط نوردهی متفاوتی می باشد. به عنوان مثال جلوه چشمی پدیده تلالو یک پوشرنگ متالیک تنها در شرایط نوردهی تک‌سویه و متمرکز مانند تابش مستقیم نور خورشید ظاهر می‌شود که در این حالت تعداد زیادی نقاط روشن در سطح روکش ظاهر شده که بطور قابل توجهی درخشنده‌تر از سایر نواحی هستند و با تغییر شرایط نوردهی این نقاط درخشندگی خود را از دست داده و به چشم نمی‌آیند و یا در پوشرنگ‌های خودرویی با اثرات ویژه که در آنها از رنگدانه‌های متالیک[17] و تداخلی[18] استفاده می‌شود، جلوه ظاهری آنها در اثر تغییر در هندسه تابش و مشاهده تغییر می‌یابد [۵، ۴]. از این رو ضروری است که آزمایش‌های چشمی بر روی چنین نمونه‌هایی تحت شرایط نوردهی متفاوت و نیز در زوایای تابش و مشاهده مختلفی صورت گیرد. سه شرایط نوردهی مختلف برای توصیف صفات ظاهری تعریف شده است که عبارتند از:

الف ـ شرایط نوردهی پراکنده

در این شرایط نوردهی که به شرایط ابری آسمان تشبیه شده است نمونه تحت تابش نوری غیرمستقیم و کاملا یکنواخت در تمامی جهات قرار می‌گیرد. کریشنر[19] و همکارانش به منظور فراهم نمودن این شرایط نوردهی جهت بررسی زبری چشمی[20]، از تعدادی لامپ فلورسنت با شدت نوری معادل ۲۰۰۰ لوکس و دمای رنگ همبسته ۶۱۵۰ درجه کلوین استفاده نمودند. همچنین به منظور پراکنده شدن

1- Appearance
2- Visual assessment
3- Geometric attributes
4- Gloss
5- Distinctness of image
6- Orange peel
7- Trichromatic theory
8- Rixhard S. Hunter
9- Color attributes
10- Psychology
11- Specular gloss
12- Haze
13- Texture
14- Directional illumination
15- Diffuse illumination
16- Sparkle
17- Metallic
18- Interference pigments
19- Krichner
20- Diffuse coarseness

Archive of SID
SID.ir

هر چه بیشتر نور در تمامی جهات، کلیه آزمایش‌های چشمی در یک اتاقک با دیوارهای سفید رنگ صورت گرفته است [۶].

ب ـ شرایط نوردهی تک سویه و متمرکز

در این شرایط نوردهی که به شرایط تابش مستقیم نور خورشید تشبیه شده است نمونه تحت تابش مستقیم دسته پرتوهای موازی نور قرار می‌گیرد. در شرایط نوردهی تک سویه که توسط کریشنر و همکارانش به منظور مطالعه پدیده تلالو در پوشرنگ‌های خودرویی مورد استفاده قرار گرفت شار نوردهی حدود ۱۰۰۰۰ لوکس و دمای رنگ همبسته[1] ۵۶۰۰ درجه کلوین بهترین شرایط را برای این گونه ارزیابی فراهم نمود [۷، ۸].

ج ـ کابینت نوری استاندارد[2]

این شرایط نوردهی ترکیبی از شرایط نوردهی پراکنده و تک سویه می‌باشد. مطابق با ASTM-D 1729 به منظور فراهم نمودن این شرایط نوردهی، ارزیابی چشمی غالبا در کابینت نوری استاندارد و تحت منبع نوری استاندارد D65 که میانگینی از نور روز است انجام می‌گیرد [۹]. این کابینت‌ها معمولا مجهز به چندین (چهار یا پنج) منبع نوری استاندارد نظیر D65، TL84، A و فرابنفش (UV) می‌باشند. همچنین جداره داخلی و خارجی این کابینت‌ها به منظور حذف تاثیر رنگ زمینه بر نتایج ارزیابی چشمی معمولا با رنگ خاکستری استاندارد پوشانیده شده است. تمامی منابع نوری در کابینت نوری در جداره فوقانی (سقف) کابینت نصب گردیده است. با توجه به وسیع بودن محدوده روشنایی این منابع نوری به دلیل بزرگ بودن ابعاد لامپ‌های مورد استفاده و نیز عدم وجود عدسی به منظور موازی‌سازی پرتوهای نور ساطع شده، بخش اعظم نور بصورت پراکنده به سطح نمونه برخورد می‌کند، به طوری که شدت نور تابیده شده به قسمت‌های مختلف نمونه لزوما یکسان نمی‌باشد [۹].

با توجه به اینکه امروزه برای ارزیابی چشمی کیفیت ظاهری خودرو روش استانداردی وجود ندارد از این رو در این تحقیق به منظور تدوین یک روش استاندارد جهت ارزیابی مهم‌ترین صفات هندسی سطح شامل براقیت، وضوح تصویر و پوست پرتقالی که بطور عمده در بررسی جلوه ظاهری خودرو مورد ارزیابی قرار می گیرند تلاش شده تا ارزیابی چشمی صفات هندسی ذکر شده تحت سه شرایط نوردهی پراکنده، تک سویه و کابینت نوری استاندارد و در زوایای تابش و مشاهده مختلف روی نمونه‌های خودرویی مشکی متالیک با استفاده از آماره‌ها[3] بررسی گردد.

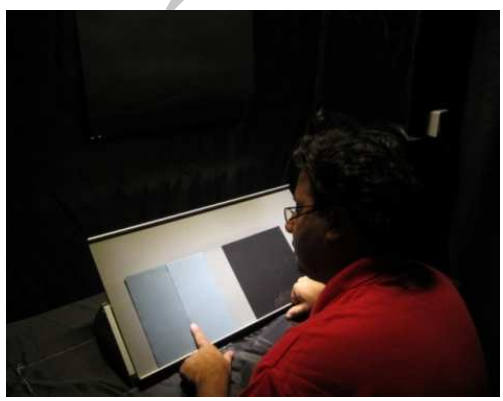
۲ـ بخش تجربی

۲ـ۱ـ مواد

در این تحقیق به منظور ارزیابی ویژگی‌های هندسی پوشرنگ‌های خودرویی تحت شرایط نوردهی مختلف، سه مقیاس براقیت، وضوح تصویر و پوست پرتقالی در شید مشکی متالیک تهیه شد به گونه‌ای که در هر مقیاس تنها یکی از ویژگی‌های ظاهری متغیر بوده و دو ویژگی دیگر تقریبا ثابت است. علت انتخاب نمونه‌های مشکی متالیک بدلیل بالا بودن توافق نظر مشاهده‌کنندگان روی این شید است که در تحقیقات قبلی نتایج آن گزارش شده است [۱۰]. کلیه نمونه‌های فولادی مورد استفاده، در شرایط خط رنگ شرکت ایران خودرو و با ابعاد ۲۰×۱۰ سانتی‌متر آماده شده است.

۲ـ۲ـ روش کار

به منظور فراهم نمودن شرایط نوردهی تک سویه از ۴۵ عدد لامپ LED ۳ واتی با دمای رنگ همبسته ۴۵۰۰ درجه کلوین استفاده شد که این لامپ‌ها در کنار هم و بر روی یک سامانه خنک‌کننده آلومینیمی قرار گرفتند. با وجود تک سویه بودن نور تابیده شده از منابع نوری LED، به منظور موازی و متمرکز نمودن هر چه بیشتر پرتوهای نور خروجی، در مقابل هر منبع نوری LED یک عدسی موازی‌ساز قرار داده شد. بدین ترتیب سامانه طراحی شده قادر به تولید نور تک سویه‌ای است که در فاصله ۱۲۰ cm از سطح نمونه شاری در حدود ۷۴۰۰ لوکس دارد و با تولید نور متمرکز مساحتی در حدود $20\times50\ cm^2$ را روشن می نماید. سامانه نوردهی فوق در اتاقکی نصب گردید و به منظور حذف پرتوهای نور خارجی و نیز حذف اثرات بازتابش نور از محیط اطراف، دیواره‌های اتاقک توسط پارچه مخمل مشکی پوشانیده شد. همچنین به منظور فراهم نمودن امکان ارزیابی چشمی نمونه‌ها در محدوده وسیعی از زوایای تابش و مشاهده، میزی با قابلیت چرخش به عنوان میز نگهدارنده نمونه در اتاقک و زیر سامانه نوردهی تعبیه شد. در شکل ۱ تصویری از شرایط نوردهی تک سویه مورد استفاده در این پژوهش نشان داده شده است.



شکل ۱: ارزیابی چشمی در شرایط نوردهی تک‌سویه.

1- Correlated color temperature
2- Standard light cabinet
3-Statistical parameters

Archive of SID

برای تهیه شرایط نوردهی پراکنده ۲۰ عدد لامپ فلورسنت ۱۸ واتی درون یک محفظه چوبی در کنار یکدیگر قرار داده شد و به منظور پراکنده نمودن نور ساطع شده، روی این لامپها با یک ورق پراکنده‌کن[1] از جنس اکریلیک پوشانده شد. سپس این منبع نوری ترکیبی بر روی سقف اتاقکی با دیوارهایی به رنگ سفید نصب گردید. سامانه نوردهی طراحی شده قادر به تولید نور پراکنده‌ای است که در فاصله ۱۴۰ cm از سطح نمونه شار نوری حدود ۲۵۰۰ لوکس و دمای رنگ همبسته ۵۴۰۰ درجه کلوین را تولید نماید. این شرایط نوردهی در شکل ۲ نشان داده شده است.

به منظور فراهم نمودن شرایط نوردهی کابینت نوری از کابینت نوری استاندارد استفاده گردید و کلیه آزمون‌های چشمی تحت منبع نوری استاندارد D65 انجام شد. در این شرایط شار نوری در فاصله cm ۵۰ از سطح نمونه در حدود ۱۰۷۰ لوکس و دمای رنگ همبسته منبع نوری ۵۷۰۰ درجه کلوین بود. در شکل ۳ این شرایط نوردهی نشان داده شده است.

شکل ۲: ارزیابی چشمی در شرایط نوردهی پراکنده.

شکل ۳: ارزیابی چشمی در شرایط نوردهی کابینت نوری استاندارد.

1- Diffuser

با توجه به اینکه روش ارزیابی چشمی مورد استفاده در این تحقیق جفت مقایسه‌ای و سپس اختلاف سنجی با مقیاس خاکستری می‌باشد و ابعاد مقیاس خاکستری تجاری در مقایسه با ابعاد نمونه‌ها کوچک است لذا در این پژوهش به منظور سهولت بیشتر در ارزیابی چشمی یک مقیاس خاکستری در ابعادی معادل با اندازه نمونه‌ها تهیه گردید. برای این منظور نمونه‌هایی از جنس پارچه پلی‌استر مات با غلظت‌های مختلفی (۰٫۳-٪۱ omf) از یک ماده رنگزای دیسپرس به نام Terasil Black SRL رنگرزی گردید. مختصات رنگی نمونه‌ها توسط اسپکتروفوتومتر Gretag Macbeth ColorEye 7000A اندازه گرفته شد و مقادیر اختلاف رنگ (ΔE) آنها نسبت به نمونه استاندارد (تیره‌ترین نمونه) تحت منبع نوری استاندارد D65 و مشاهده‌کننده استاندارد ۱۰ درجه تعیین گردید که در جدول ۱ نشان شده است [۱۱].

جدول ۱: مقادیر اختلاف رنگ (ΔE) نمونه‌های مقیاس خاکستری نسبت به نمونه استاندارد (شماره ۱).

نمونه	اختلاف رنگ (ΔE*1976)
۱ (استاندارد)	۰
۲	۱٫۷۰
۳	۲٫۳۹
۴	۴٫۳۳
۵	۵٫۹۳
۶	۷٫۸۲
۷	۱۰٫۱۳
۸	۱۴٫۰۳

طی تحقیقات به عمل آمده بر روی محصولات شرکت‌های خودروسازی جهان و نیز استانداردهای موجود [۱۴-۱۲]، محدوده براقیت قابل قبول در این صنعت از ۷۰ تا GU ۹۰ می‌باشد لذا برای تهیه مقیاس براقیت مناسب برای صنعت خودروسازی این محدوده تغییرات در نظر گرفته شد. برای تهیه مقیاس براقیت مشکی متالیک از شفاف پوشه[2] بر پایه رزین اکریلیک- پلی‌یورتان ساخت شرکت تابا شیمی با مقادیر مختلف مات کننده سیلیکایی استفاده گردید. شفاف پوشه ساخته شده با متوسط ضخامت خشک ۴۵ میکرون و به صورت تر روی تر[3] بر روی نمونه‌های دارای لایه آستری و لایه رویه اعمال و در دمای ۱۴۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۰ دقیقه پخت گردید. به این ترتیب در مقیاس براقیت ۱۲ عدد نمونه مشکی متالیک آماده گردید. با توجه به اینکه در هر مقیاس علاوه بر متغیر بودن مقدار دستگاهی ویژگی‌های ظاهری، لازم است که این تغییرات به لحاظ

2- Clear coat
3- Wet on wet

Archive of SID
SID.ir

چشمی نیز قابل درک باشد تا ارزیابی‌های مربوطه با صحت بیشتری توسط مشاهده‌کننده‌ها صورت گیرد لذا در این مقیاس ۵ نمونه انتخاب گردید. علاوه براین با توجه به روش ارزیابی چشمی انتخاب شده لازم است که در هر مقیاس نمونه استاندارد مشخص شود تا بتوان اختلاف بقیه نمونه‌ها را با این نمونه استاندارد تخمین زد. به این ترتیب در هر مقیاس نمونه‌ای که مقدار دستگاهی متغیر مقیاس آن در مقایسه با سایر نمونه‌ها بالاتر است بعنوان نمونه استاندارد انتخاب گردید.

به منظور تهیه مقیاس وضوح تصویر نیاز به نمونه‌هایی با مقادیر براقیت و پوست پرتقالی تقریبا مشابه و وضوح تصویر متفاوت است. از این رو برای رسیدن به مقیاس مورد نظر دو لایه شفاف پوشه با ضخامت‌های مختلف به صورت تر روی تر روی تر[1] بر روی نمونه‌ها اعمال گردید. بطوری که لایه اول حاوی مقداری مات‌کننده جهت کاهش دادن وضوح تصویر بود و لایه دوم بدون هیچ گونه افزودنی جهت افزایش براقیت بر روی لایه زیرین اعمال گردید. به این ترتیب در مقیاس وضوح تصویر، ۶ نمونه مشکی متالیک انتخاب گردید بطوری که تغییرات وضوح تصویر نمونه‌ها از لحاظ چشمی نیز بخوبی قابل درک باشد.

در حال حاضر معیار سنجش میزان پوست پرتقالی در شرکت‌های خودروسازی به طور عمده مقدار طول موج بلند[2] (LW) می‌باشد. از این رو، به منظور تهیه مقیاس پوست پرتقالی نیاز به نمونه‌هایی است که محدوده وسیعی از مقادیر LW را شامل گردند [۱۷]. به منظور تهیه مقیاس پوست پرتقالی، با زیادکردن فاصله تفنگ پاشش در هنگام اعمال لایه شفاف پوشه و نیز کم کردن ضخامت آن، محدوده پوست پرتقالی با مقدار LW از حداقل ۲,۵ تا حداکثر ۷۵,۲ بدست آمد. به این ترتیب در مقیاس پوست پرتقالی ۸ عدد نمونه مشکی متالیک انتخاب گردید بطوری که تغییرات پوست پرتقالی نمونه‌ها علاوه بر مقادیر دستگاهی به لحاظ چشمی نیز بخوبی قابل درک باشد.

به منظور انجام ارزیابی‌های چشمی، ۸ مشاهده‌کننده با میانگین سنی ۳۳ سال انتخاب شدند به طوری که کلیه مشاهده کنندگان کاملا آشنا با حوزه علوم رنگ و ظاهر رنگی پوشرنگ بودند. ارزیابی‌های چشمی نمونه‌های سه مقیاس تحت سه شرایط نوردهی مختلف انجام شد بطوری که در هریک از شرایط نوردهی ابتدا هر یک از مشاهده‌کنندگان نمونه‌های هر مقیاس را تحت زوایای مختلفی ارزیابی نمودند. در نهایت با بررسی نتایج حاصل از این ارزیابی‌ها، زاویه‌ای که تحت آن، ویژگی مورد ارزیابی مثلا براقیت یا وضوح تصویر به نحو قابل ملاحظه‌ای بهتر مشاهده می‌شد برای ارزیابی آن ویژگی انتخاب گردید. به این ترتیب در شرایط نوردهی تک سویه، ارزیابی براقیت در مقیاس براقیت در زاویه تابش ۳۸ درجه و زاویه مشاهده ۷ درجه و ارزیابی وضوح تصویر در مقیاس وضوح تصویر و همچنین ارزیابی پوست پرتقالی در مقیاس پوست پرتقالی در زاویه تابش ۳۰ و مشاهده ۱۵ درجه از فاصله حدود ۴۰ سانتی‌متر از نمونه انجام شد. در شرایط نوردهی پراکنده ارزیابی چشمی براقیت، وضوح تصویر و پوست پرتقالی در هر یک از مقیاس‌های مربوطه تحت زاویه تابش ۴۵ درجه و مشاهده صفر درجه انجام شد و در شرایط نوردهی کابینت نوری استاندارد نیز ارزیابی چشمی هر سه مقیاس در زاویه تابش ۴۵ و مشاهده صفر درجه و از فاصله حدود ۴۰ سانتی‌متر صورت گرفت.

روش ارزیابی چشمی جفت مقایسه‌ای و اختلاف‌سنجی با مقیاس خاکستری بود به این ترتیب که ابتدا هر مشاهده‌کننده نمونه‌های هر مقیاس را به روش مقایسه جفت‌ها و به ترتیب مطلوب بودن متغیر مقیاس چیدمان نموده سپس نمونه‌های مرتب شده با نمونه استاندارد آن مقیاس مقایسه شده و اختلاف بین آنها در مقایسه با مقیاس خاکستری گزارش می‌گردد. به طور مثال در مقیاس پوست پرتقالی که میزان پوست پرتقالی نمونه، متغیر مقیاس محسوب می‌گردد یک نمونه بصورت تصادفی به مشاهده‌کننده داده می‌شد و از وی خواسته می‌شد تا با نمونه‌های دیگر بصورت جفت‌های دوتایی مقایسه و در هر بار مقایسه نمونه‌ای را که کمترین پوست پرتقالی را دارد انتخاب نماید 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 کمترین تا بیشترین میزان پوست پرتقالی مرتب شوند و به این ترتیب نمونه‌ای که کمترین پوست پرتقالی را دارد در ابتدای ردیف و نمونه‌ای که بیشترین پوست پرتقالی را دارد در انتهای ردیف قرار می‌گیرد. سپس نمونه‌های مرتب شده در هر مقیاس با نمونه استاندارد مقایسه شده و اختلاف بین دو نمونه در مقایسه با مقیاس خاکستری با درجات ۱ تا ۸ و با فواصل ۰,۲۵ گزارش می‌گردد. سپس اختلاف گزارش شده برای هر نمونه نسبت به نمونه استاندارد از طریق رابطه ۱ به اختلاف رنگ معادل در مقیاس خاکستری تبدیل می‌شود [۱۱، ۱۵، ۱۶].

$$\Delta V=0.163(GS)^2+0.45(GS)-0.48 \qquad (1)$$

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

۳ـ نتایج و بحث

به منظور بررسی نتایج ارزیابی‌های چشمی تحت سه شرایط نوردهی ذکر شده از آماره استرس استفاده شده است. آماره استرس از رابطه‌های ۲ و ۳ محاسبه می‌گردد [۱۰، ۱۸].

1- Wet on wet on wet
2- Long wave

Archive of SID
.ir

$$\text{Stress}=\frac{\sqrt{\sum(E_i-FV_i)^2}}{\sum F^2V_i^2}\times 100 \quad (۲)$$

$$F=\frac{\sum E_i^2}{\sum E_i F_i} \quad (۳)$$

در این روابط 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 بین صفر تا صد متغیر است هرچه اختلاف بین دو گروه بیشتر باشد مقدار استرس نیز افزایش می‌یابد. در این تحقیق نتایج ارزیابی چشمی هر یک از مشاهده‌کنندگان نسبت به مقدار میانگین با آماره استرس بررسی گردید.

در جدول ۲ میانگین اختلافات چشمی براقیت تحت سه شرایط نوردهی مختلف برای نمونه های مقیاس براقیت نشان داده شده است.

جدول ۲: مقادیر میانگین اختلافات چشمی براقیت تحت سه شرایط نوردهی برای نمونه‌های مقیاس براقیت.

نمونه	میانگین اختلافات چشمی(ΔV)		
	شرایط نوردهی تک سویه	شرایط نوردهی پراکنده	کابینت نوری استاندارد
11B	۰	۰	۰
10B	۳,۴۷	۱,۵۵	۱,۸۷
aB	۵,۳۹	۲,۸۳	۴,۱۱
8B	۷,۹۵	۷,۳۱	۸,۲۷
12B	۹,۲۳	۵,۳۹	۵,۷۱

در هریک از شرایط نوردهی میزان خطای ارزیابی هر یک از مشاهده‌کنندگان نسبت به مقدار میانگین با آماره استرس برای نمونه‌های مقیاس براقیت محاسبه گردید که در جدول ۳ میانگین آماره استرس در هریک از شرایط نوردهی گزارش شده است.

جدول ۳: میانگین خطای اختلافات گزارش شده توسط مشاهده‌کنندگان با آماره استرس تحت هر یک از شرایط نوردهی برای نمونه‌های مقیاس براقیت.

مقیاس براقیت	شرایط نوردهی		
	تک سویه	پراکنده	کابینت نوری استاندارد
میانگین آماره استرس (٪)	۷,۱۴	۱۶,۶۸	۱۱,۰۹

همان‌طوری که نتایج جدول ۳ نشان می‌دهد خطای مشاهده‌کنندگان در ارزیابی چشمی براقیت تحت هر سه شرایط نوردهی کوچک بوده بطوری که حداقل و حداکثر مقدار آماره استرس ۷,۱۴ و ۱۶,۶۸ ٪ می‌باشد و نشان‌دهنده آن است که توافق خوبی بین هر یک از مشاهده‌کنندگان نسبت به مقدار میانگین وجود دارد. علاوه براین ارزیابی چشمی براقیت تحت شرایط نوردهی تک سویه نسبت به سایر شرایط نوردهی مناسب‌تر به نظر می رسد به طوری که میانگین آماره استرس در این شرایط ۷,۱۴ ٪ می‌باشد. همان‌طوری که نتایج مطالعات و تحقیقاتی که در زمینه براقیت چشمی و ارتباط این نتایج با نتایج دستگاهی به دست آمده نشان می‌دهد براقیت با انعکاس آیینه‌ای سطح رابطه خوبی دارد [۱۹]. در شرایط نوردهی تک‌سویه که یک دسته پرتو موازی با شدت یکسان به هر نقطه از سطح نمونه برخورد می‌کند مقدار انعکاس آیینه‌ای سطح بیشتر از حالتی است که نور بصورت پراکنده و در زوایای مختلف و با شدت‌های متفاوتی به هر نقطه از سطح برخورد می‌کند لذا همان‌طوری که انتظار می‌رفت ارزیابی براقیت در این شرایط برای مشاهده‌کنندگان آسان‌تر بوده است.

در جدول ۴، میانگین اختلافات چشمی وضوح تصویر تحت سه شرایط نوردهی برای نمونه های مقیاس وضوح تصویر نشان داده شده است.

جدول ۴: مقادیر میانگین اختلافات چشمی وضوح تصویر تحت سه شرایط نوردهی برای نمونه‌های مقیاس وضوح تصویر.

نمونه	میانگین اختلافات چشمی(ΔV)		
	شرایط نوردهی تک‌سویه	شرایط نوردهی پراکنده	کابینت نوری استاندارد
26B	۰	۰	۰
31B	۰,۷	۳,۷۹	۳,۴۷
25B	۴,۷۵	۴,۱۱	۵,۳۹
30B	۵,۳۹	۶,۶۷	۷,۴۱
24B	۸,۴۳	۶,۵۱	۷,۹۵
29B	۱۱,۱۵	۷,۹۵	۱۰,۱۹

در هریک از شرایط نوردهی میزان خطای ارزیابی هر یک از مشاهده‌کنندگان در ارزیابی وضوح تصویر نسبت به مقدار میانگین با آماره استرس بررسی گردید که در جدول ۵ میانگین آماره استرس در هریک از شرایط نوردهی گزارش شده است.

Archive of SID

SID.ir

جدول ۵: میانگین خطای اختلافات گزارش شده توسط مشاهده‌کنندگان با آماره استرس تحت هر یک از شرایط نوردهی برای نمونه‌های مقیاس وضوح تصویر.

مقیاس وضوح تصویر	شرایط نوردهی		
	تک سویه	پراکنده	کابینت نوری استاندارد
میانگین آماره استرس (٪)	۱۷,۹۸	۹,۲۰	۷,۷۷

همان‌طوری که نتایج جدول ۵ نشان می‌دهد خطای مشاهده کنندگان در ارزیابی چشمی وضوح تصویر تحت هر یک از شرایط نوردهی کمتر از ۲۰٪ است که نشان‌دهنده آن است که توافق خوبی بین هر یک از مشاهده‌کنندگان نسبت به مقدار میانگین وجود دارد. علاوه براین ارزیابی چشمی وضوح تصویر تحت شرایط نوردهی کابینت نوری استاندارد نسبت به سایر شرایط نوردهی مناسب‌تر به نظر می‌رسد به طوری که میانگین آماره استرس در این شرایط ۷,۷۷٪ می‌باشد و در شرایط نوردهی تک‌سویه میزان خطا در ارزیابی وضوح تصویر حداکثر است. همان‌طوری که قبلا اشاره شد وضوح تصویر به توانایی سطح در تشکیل تصویر یک منبع یا یک شیء گفته می‌شود و مربوط به انعکاس آیینه‌ای سطح در زوایای نزدیک انعکاس آیینه‌ای است و هر چه کیفیت تصویر تشکیل شده بالاتر باشد وضوح تصویر سطح بالاتر است، ولی با توجه به اینکه در سامانه نوردهی تک سویه طراحی شده از منابع نوری نقطه‌ای LED استفاده گردید تصویر تشکیل شده از منبع روی سطح شامل تعداد زیادی نقطه نورانی با شدت زیاد بوده که برای مشاهده کننده مقایسه تصویر این نقاط در این شدت بالا آزاردهنده بوده و بهمین علت است که خطای ارزیابی وضوح تصویر در شرایط نوردهی تک سویه در مقایسه با سایر شرایط نوردهی بیشتر است، لذا سامانه نوردهی تک سویه طراحی شده برای ارزیابی وضوح تصویر مناسب به نظر نمی‌رسد.

در جدول ۶ میانگین اختلافات چشمی پوست پرتقالی تحت سه شرایط نوردهی مختلف برای نمونه های مقیاس پوست پرتقالی نشان داده شده است.

در هریک از شرایط نوردهی میزان خطای ارزیابی هر یک از مشاهده‌کنندگان در ارزیابی پوست پرتقالی نسبت به مقدار میانگین با آماره استرس بررسی گردید که در جدول ۷ میانگین آماره استرس در هریک از شرایط نوردهی گزارش شده است.

همان‌طوری که نتایج جدول ۷ نشان می‌دهد خطای مشاهده‌کنندگان در ارزیابی چشمی پوست پرتقالی تحت هر یک از شرایط نوردهی کمتر از ۱۴٪ است که نشان می‌دهد توافق خوبی بین هر یک از مشاهده‌کنندگان نسبت به مقدار میانگین وجود دارد و به طور مشابه با مقیاس وضوح تصویر، ارزیابی چشمی پوست پرتقالی تحت کابینت نوری استاندارد نسبت به سایر شرایط نوردهی مناسب‌تر بوده بطوری که میانگین آماره استرس در این شرایط ۷,۵۲ می‌باشد. با توجه به اینکه در ارزیابی پوست پرتقالی، مشاهده‌کننده روی خود سطح تمرکز دارد نه تصویر تشکیل شده روی سطح، لذا ارزیابی این ویژگی در کابینت نوری که بخش اعظم نور بصورت پراکنده به سطح نمونه برخورد می‌کند نسبت به سایر شرایط مناسب‌تر به نظر می‌رسد. علاوه براین با توجه به اینکه شرایط نوردهی در کابینت نوری استاندارد تقریبا مشابه با شرایط نوردهی پراکنده است لذا میزان خطای مشاهده‌کنندگان در این دو شرایط اختلاف چندانی با هم ندارد.

جدول ۶: مقادیر میانگین اختلافات چشمی پوست پرتقالی تحت سه شرایط نوردهی برای نمونه‌های مقیاس پوست پرتقالی.

نمونه	میانگین اختلافات چشمی(ΔV)		
	شرایط نوردهی تک سویه	شرایط نوردهی پراکنده	کابینت نوری استاندارد
7B	۰	۰	۰
19B	۰,۹۳	۳,۱۵	۳,۹۵
16B	۲,۸۳	۶,۳۵	۵,۷۱
10B	۵,۵۵	۵,۷۱	۶,۳۵
15B	۷,۳۱	۷,۶۳	۶,۱۹
6B	۹,۵۵	۷,۹۵	۹,۲۳
11B	۱۰,۱۹	۹,۲۳	۹,۸۷
9B	۱۲,۴۳	۱۱,۱۵	۱۱,۷۹

جدول ۷: میانگین خطای اختلافات گزارش شده توسط مشاهده‌کنندگان با آماره استرس تحت هر یک از شرایط نوردهی برای نمونه‌های مقیاس پوست پرتقالی.

مقیاس پوست پرتقالی	شرایط نوردهی		
	تک سویه	پراکنده	کابینت نوری استاندارد
میانگین آماره استرس (٪)	۱۳,۰۸	۹,۸۴	۷,۵۲

۴ـ نتیجه‌گیری

نتایج آماری این تحقیق نشان داد کمترین میزان خطای مشاهده‌کنندگان برای نمونه های مقیاس براقیت تحت شرایط نوردهی تک سویه و تحت زوایه تابش ۳۸ درجه و زاویه مشاهده ۷ درجه

Archive of SID

می‌باشد، به طوری که میانگین آماره استرس در این شرایط نوردهی حدود ۷ ٪ می‌باشد که نشان‌دهنده آن است که در شرایط نوردهی تک سویه طراحی شده، نوری کاملا موازی و متمرکز با شدت یکسان به هر نقطه از سطح نمونه برخورد می‌کند و در این شرایط میزان انعکاس آیینه‌ای سطح در مقایسه با سایر شرایط که نور در زوایای مختلف و با شدت‌های متفاوتی به سطح نمونه برخورد می‌کند بیشتر است، لذا براقیت نمونه‌ها در این شرایط به صورت واضح‌تری مشاهده می‌گردد. ارزیابی چشمی نمونه‌های مقیاس‌های وضوح تصویر و پوست پرتقالی در شرایط کابینت نوری استاندارد و تحت زاویه تابش ۴۵ درجه و زاویه مشاهده صفر درجه در مقایسه با شرایط نوردهی تک سویه و پراکنده مناسب‌تر بوده به طوری که میانگین خطای مشاهده‌کنندگان در ارزیابی چشمی وضوح تصویر و پوست پرتقالی در این شرایط نوردهی کمتر از ۸ ٪ است. میزان خطای مشاهده‌کنندگان در ارزیابی وضوح تصویر در شرایط نوردهی تک سویه، حداکثر می‌باشد که علت آن استفاده از منابع نوری نقطه‌ای LED در طراحی سامانه نوردهی تک‌سویه می‌باشد بطوری که تصویر تشکیل شده روی سطح شامل تعداد زیادی نقطه نورانی با شدت زیاد بوده که برای مشاهده‌کننده مقایسه تصویر این نقاط در این شدت بالا آزاردهنده می‌باشد، لذا سامانه نوردهی تک سویه طراحی شده برای ارزیابی وضوح تصویر مناسب به نظر نمی‌رسد.

۵ـ مراجع

1. R. S. Hunter, R. W. Harold, The measurement of appearance, Second edition, Wiley Inter Science, 1987.
2. G. K. Boeckler, Measuring gloss and reflection properties of surfaces. *J. Tappi*. 79(1996), 194-198.
3. D. Jameson, L. M. Hurvich, M. Alpern, Visual Psychophysics, Springer-Verlag, 1972.
4. C. S. Mccamy, Observation and measurement of the appearance of metallic materials. parII. Micro appearance. *Col. Res. Appl*. 23(1998), 362-373.
5. ASTM E284-49 A, Standard terminology of appearance, Philadelphia, 19103-1187.
6. N. Dekker, E. J. Krichner, R. Super, G. J. Van den Keboom, R. Gottenbos, Total appearance difference for metallic and pearlescent materials: contribution from color and texture. *Col. Res. Appl.* 36(2011), 4-14.
7. E. Kirchner, J. Houweling, Measuring flake orientation for metallic coating. *Prog. Org. Coat*. 64(2009), 287-293.
8. J. Ravi, Texture model: Texture prediction from car color formulas, BYK user meeting, Akzo Noble, 6 Dec 2012.
9. ASTM E1729-05, Standard practice for visual appraisal of colors and color differences of diffusely illuminated opaque materials, 2005.
10. 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.
11. ASTM D2616-96, Standard test method for evaluation of visual color difference with a grey scale, (2003).
12. Renault document, No. BMIR-V5805-2005-0028, Measurement of the paint's brilliance BYK glossometer 20°. by JP. Dormoy, Issued by RENAULT DDIV: DIMCAP, Dept.65303, 2006.
13. Renault document, No BMIR-V5805-2005-0021, Paint appearance measurement orange peel, brilliance and clearness wave scan DOI. by JP. Dormoy, Issued by RENAULT DDIV: DIMCAP, Dept.65303, 2006.
14. Appearance of painted surfaces - N1/N3 method – development, use and outlook, BMW Group, Wave Scan User Meeting, March, 2007.
15. M. R. Lou, New color differences formula for surface colors. Ph.D. Thesis, University of Bradford, UK, 1986.
16. I. Wheeler, Metallic pigments in polymers, First edition. *Rapra Technology Limited*. 1999.
17. H. J. Streitberger, K. F. Dossel, Automotive paints and coatings. second edition, Willy-VCH Verlag GMBH & CO. KGaA, Weinheim, 2008.
18. Ma, H. Xu, M. R. Luo, G. Cui, Color appearance and visual measurements for color samples with gloss effect. *Chin. Opt. Lett.* 7(2009), 860-872.
19. 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.

Archive of SID

SID.ir